

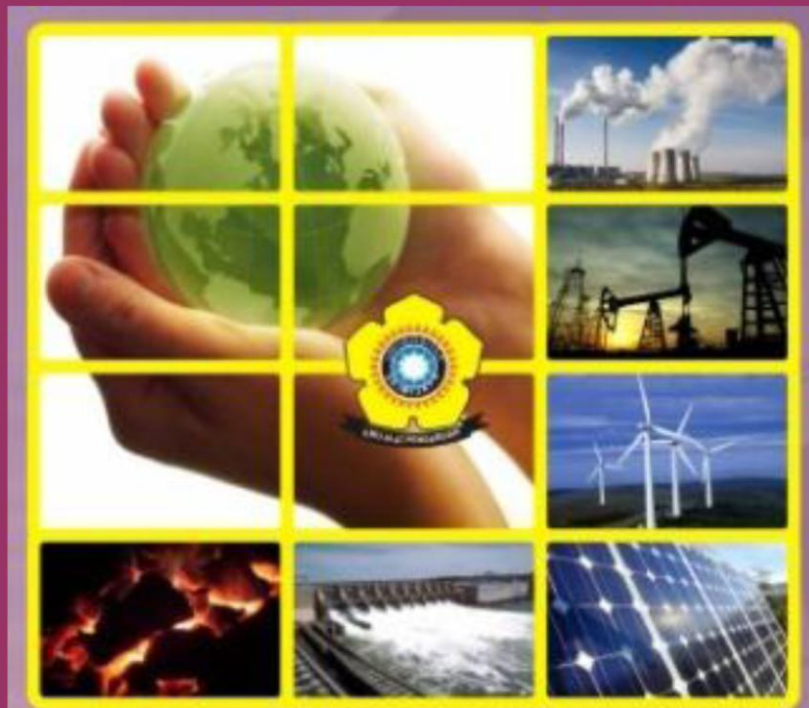
# PROSIDING



**SEMINAR NASIONAL  
AVoER ke-3 Tahun 2011**



**Universitas Sriwijaya  
Fakultas Teknik**



**Gedung Serba Guna Program Pasca Sarjana  
Jl. Srijaya Negara Kampus UNSRI Bukit Pesar Palembang  
Rabu-Kamis/26 - 27 Oktober 2011**

**Supported by :**



**PERTAMINA**

**PT PLN (PERSERO)**



**FT UNSRI**



**Bukit Asam**



**MEDCOENERGI**



**TIRTA MUSTI**



# PROSIDING



## SEMINAR NASIONAL AVoER ke-3 Tahun 2011



ISBN : 979-587-395-4

© Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

**Gedung Serba Guna Program PascaSarjana**  
Jl. Srijaya Negara Kampus UNSRI Bukit Pesar Palembang  
Rabu-Kamis/26 - 27 Oktober 2011

Supported by :



PERTAMINA

PT PLN (PERSERO)



FT UNSRI



Bukit Asam



MEDCOENERGI





SEMINAR NASIONAL ADDED VALUE OF ENERGY RESOURCES (AVoER)KE-3  
Gedung Serba Guna Program PascaSarjana  
Jl. Srijaya Negara Kampus UNSRI Bukit Pesar Palembang  
Rabu-Kamis/26 - 27 Oktober 2011

Untuk segala pertanyaan mengenai AVoER Ke-3 Tahun 2011  
silakan hubungi :

Sekretariat :

Gedung E Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya  
Kampus Bukit Besar Palembang

Telp. : 0711 370178

Fax. : 0711 352870

Website: <http://avoer.unsri.ac.id>

Contact Person :

Al Antoni Ahmad

08117100429/08127364029

Baitullah Al Amin

081368768186

**Reviewer :**

Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, MSc

Dr. Ir. Riman Sipahutar, MSc

Dr. Irfan Jambak, ST, MT

Dr. Budhi Setiawan, ST, MT

Dr. Ir. Endang Wiwik DH, MSc

Dr. Novia, ST, MT

M. Yanis, ST., MT.

Iwan Murachman, ST, MT



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmatNya sehingga Seminar Nasional AVoER ke-3 tahun 2011 ini dapat dilaksanakan sesuai jadwal.

Seminar Nasional *Added Value of Energy Resources* (AVoER) 2011 dilaksanakan oleh Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya sebagai salah satu bentuk kepedulian Perguruan Tinggi terhadap usaha mencari nilai tambah, atau penambahan nilai dari suatu sumberdaya energi. Oleh karena itu, Seminar Nasional **AVoER 2011**, akan digunakan sebagai suatu forum ilmiah untuk membicarakan masalah nilai tambah atau pertambahan nilai dari suatu sumberdaya energi baik energi baru, maupun energi terbarukan.

Forum ini diharapkan akan dapat menjembatani semua unsur terkait dari pihak pemerintahan, industri, instansi, dan praktisi yang peduli terhadap pemanfaatan energi, penganekaragaman penyediaan dan pemanfaatan berbagai sumber energi dalam rangka optimasi penyediaan energi, termasuk yang dihasilkan oleh teknologi baru baik yang berasal dari energi tak terbarukan dan energi terbarukan dimana teknologi dalam pengolahan dan penggunaan energi termasuk pengolahan limbah untuk mengatasi masalah lingkungan hidup akan menentukan efisiensi system secara keseluruhan. Hal ini amat ditentukan oleh manajemen energi sehingga diharapkan akan bermanfaat untuk umat manusia dalam rangka mengurangi laju pemanasan global. Oleh karena itu tema pada seminar AVoER tahun ini adalah ***Teknologi dan Manajemen Energi untuk Mengurangi Limbah dan Pemanasan Global***. Jadi Pelaksanaan Seminar Nasional AVoER 2011 bertujuan :

1. Merupakan wadah untuk mendiskusikan kegiatan riset dasar dan aplikatif antar akademisi, industri, pemerintah dan praktisi untuk mengurangi limbah dan pemanasan global.
2. Menjadi forum pertemuan komunikasi dan informasi untuk membahas perkembangan ilmu pengetahuan dan hasil riset dalam bidang teknologi dan manajemen yang berkaitan dengan energi dan lingkungan.

Pada kesempatan ini kami menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada Kementerian Lingkungan Hidup, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, PT Pertamina, PT PLN, PT Medco, dan dari pihak akademisi Prof. Dr. Raldi Artono Koestoer dari Universitas Indonesia yang telah berkenan untuk menjadi narasumber pada Seminar Nasional AVoER ke-3 tahun 2011 yang berlangsung tanggal 26 dan 27 Oktober 2011 ini. Selain itu kami juga menyampaikan penghargaan setingginya dan ucapan terimakasih yang tak terhingga kepada PT. Tambang Batubara Bukit Asam, PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang, PT. MEDCO E&P Indonesia yang telah berpartisipasi sebagai sponsor emas, dan Pemerintah Kota Palembang, Pemerintah Kabupaten Ogan Komering Ilir, PT Bank Negara Indonesia Cabang Palembang, Perusahaan Daerah Air Minum Tirta Musi Palembang yang telah berpartisipasi sebagai sponsor perak.





Akhir kata, kami berharap akan bermanfaat bagi kita semua dan tujuan dari pelaksanaan seminar ini akan tercapai.

Palembang, 26 Oktober 2011  
Dekan Fakultas Teknik Unsri,

Prof. Dr. Ir. H. Taufik Toha, DEA



**PANITIA PELAKSANA  
SEMINAR NASIONAL AVoER KE-3 TAHUN 2011**

- Pengarah : Prof. Dr. Ir. H. M. Taufik Toha, DEA  
(Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya)
- Penanggung Jawab : Dr. Tuty Emilia Agustina, ST, MT (Pembantu Dekan I FT Unsri)  
Dr. Ir. Amrifan S. M, Dipl. Ing (Pembantu Dekan II FT Unsri)  
Ir. H. Hairul Alwani, HA, MT (Pembantu Dekan III FT Unsri)
- Ketua : Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, MT  
Wakil ketua : Ir. Helmy Alian, MT  
Sekretaris : Zulkarnain, ST, MT
- Bendahara : Ir. Marwani, MT  
Wakil Bendahara : Ir. H. Djuki Sudarmono, DESS
- Seksi-seksi :
1. Seksi Makalah : Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, MSc  
Anggota : Dr. Ir. Riman Sipahutar, MSc  
Dr. Irfan Jambak, ST, MT  
Dr. Budhi Setiawan, ST, MT  
Dr. Ir. Endang Wiwik DH, MSc  
Dr. Novia, ST, MT  
M. Yanis, ST., MT.  
wan Murachman, ST, MT
  2. Seksi Web/Publikasi : David Bahrin, ST, MT  
Anggota : Bakti Yudho, ST, MT  
Budi Santoso, ST., MT  
Buchori, ST  
Al Antoni Ahmad, ST., MT  
Baitullah Al Amin, ST, MT  
Barlin, ST., MT  
Irfan R
  3. Seksi Dana : Ir. Hj. Farida Ali, DEA  
Anggota : Ir. Hj. Ika Juliantina, MT  
Ir. Irwin Bizzy, MT  
Ir. Tuter Lussetyowati, MT  
Ir. Rudyanto Thayib, MSc  
Dr. Ir. Nukman, MT  
Harminuke Eko handayani, ST, MT  
Wenty Triyuli, ST, MT
  4. Seksi Acara : Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi, DEA  
Anggota : Prof. Dr. Ir. Eddy Sutriono  
Ir. H. Darmawi Bayin, MT., MT  
Ellyanie, ST., MT

Gustini, ST., MT  
Ir. Aryulius Jasuan, MS  
Marzuki, SE.

5. Seksi Transportasi : Qomarul Hadi, ST., MT

Anggota : Ir. Valentino CH.  
Ir. Fusito HY  
Aneka Firdaus, ST., MT  
Subiyanto, SE.  
Iskandar  
M. Jamil  
Maryono  
A. Rifai

6. Seksi Tata Tempat : Ir. Firmansyah Burlian, MT

Anggota : Ir. H. Teguh Budi, SA., MT  
H. Ismail Thamrin, ST., MT  
Hasan Basri, SE  
Irhas Bambang  
Ibrahim  
Ahmad Husni

7. Seksi Konsumsi : Astuti, ST., MT

Anggota : Lisa Nurmala, SE  
Tetra Septiani, SE  
Heriyanto, SE  
Umiati  
Ida Farida

8. Seksi Pembantu Umum : Rendra Maha Putra Jf

Anggota : BEM FT Unsri

## UCAPAN TERIMA KASIH

Panitia AVoER Ke-3 Tahun 2011 mengucapkan banyak terimah kasih kepada sponsor, keynote speaker dan semua pihak yang membantu terlaksananya kegiatan ini.

### **Sponsor Emas**

PT. Tambang Batubara Bukit Asam, Tbk  
PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang  
PT. MEDCO E&P Indonesia

### **Sponsor Perak**

Pemerintah Kota Palembang  
Pemerintah Kabupaten Ogan Komering Ilir  
PT Bank Negara Indonesia Cabang Palembang  
Perusahaan Daerah Air Minum Tirta Musi Palembang

### **Keynote Speaker**

Kementrian Lingkungan Hidup  
Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral  
PT. Perusahaan Tambang Minyak Nasional  
PT. Perusahaan Listrik Negara  
PT. MEDCO E&P Indonesia  
Prof. Dr. Raldi Artono Koestoer (Universitas Indonesia)



## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iv
KEPANITIAN	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii

### ***Konversi Energi, Manajemen Energi (MKE)***

<b>Pengaruh Geometri Sudu Dari Turbin Air Darrieus Terhadap Kinerjanya</b> <i>Kaprawi (Universitas Sriwijaya)</i>	MKE-1 1
<b>Optimasi Desain Sistem Termal Pada Ruang Bakar Tungku Pengecoran Kuningan Menggunakan Briket Batubara Kalori Rendah</b> <i>Diah Kusuma Pratiwi (Universitas Sriwijaya)</i>	MKE-2 9
<b>Pengaruh Temperatur Lingkungan Terhadap Efisiensi Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)</b> <i>NK.Caturwati, Imron Rosyadi, Febriana Irfani C. (Universitas Sultan Ageng Tirtayasa)</i>	MKE-3 16
<b>Studi Eksperimental Pada Turbin Air Aliran Lintang Yang Menggunakan Sudu Helikal Dengan Penampang Airfoil</b> <i>Dyos Santoso, Joni Yanto, Marwani (Universitas Sriwijaya)</i>	MKE-4 23

### ***Energi Baru dan Terbarukan (KMT)***

<b>Membangun Perhutanan Sosial Berbasis Energi Terbarukan Tanaman Bintaro di Sentra Produksi Pangan</b> <i>Najib Asmani (Universitas Sriwijaya)</i>	KMT-1 33
<b>Pemanfaatan Aliran Air Dari Buangan Pompa Tambang Dijadikan Energi Terbarukan Dengan Mikrohidro</b> <i>Munandar Sai Sohar, Danang Sudira, Agus Artadi, Paulus Wendi Saputra (PTBA)</i>	KMT-2 40
<b>Rancang Bangun Alat Pengering Ubi Kayu Tipe Rak Dengan Memanfaatkan Energi Surya</b> <i>Ismail Thamrin, Anton Kharisandi (Universitas Sriwijaya)</i>	KMT-3 49







<b>Photovoltaic Hybrid System in the University of Sriwijaya, South Sumatra, Indonesia</b> <i>Muhammad Faizal, Adjat Sudradjat, Dedi Setiabudidaya</i> (Universitas Sriwijaya)	KMT-4	55
<b>Studi Potensi Energi Matahari Dalam Perancangan Peralatan Pelayuan Dan Pengeringan Pucuk Daun Gaharu</b> <i>Irwin Bizzy, Muhammad Faisal, Dedi Setiabudidaya</i> (Universitas Sriwijaya)	KMT-5	62
<b>Produksi Biogas Dari Campuran Molasses Dan Limbah Sayuran</b> <i>Nonot Soewarno, Ali Altway, Widiyastuti dan Faisal Cahyo Kusuma</i> (Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya)	KMT-6	69
<b>Program Percepatan Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikdohidro di Indonesia Melalui Pola Kemitraan</b> <i>Barlin</i> (Universitas Sriwijaya)	KMT-7	78
<b>Potensi Penggunaan Kompor Energi Surya Untuk Kebutuhan Rumah Tangga</b> <i>Marwani</i> (Universitas Sriwijaya)	KMT-8	85
<b>Kaji Eksperimental Alat Pengering Kerupuk Tenaga Surya Tipe Box Menggunakan Kosentrator Cermin Datar</b> <i>Firmansyah Burlian, Aneka Firdaus</i> (Universitas Sriwijaya)	KMT-9	95
<b>Biomassa: Bahan Bakar Bersih untuk Industri Karet di Sumatera Selatan</b> <i>David Bahrin, Nukman, Yuri Dariansyah</i> (Universitas Sriwijaya)	KMT10	110
<b><i>Eko Arsitektur, Efek Rumah Kaca, Bangunan Hemat Energi (A)</i></b>		
<b>Penelitian Terhadap Pengembangan Penggunaan Material Plastik (polikarbonat) Pada Selubung Bangunan</b> <i>Kandy Felixon</i> (Universitas Tarumanagara)	A-1	116
<b>Eco-Programming Sebagai Salah Satu Pendekatan Dalam Tahapan Penyusunan Program Pada Proses Perancangan Arsitektur</b> <i>Olga Nauli Komala</i> (Universitas Tarumanagara)	A-2	125
<b>Penerapan Konsep Sadar Energi Dalam Perancangan Arsitektur Yang Berkelanjutan</b>	A-3	136



Sukawi (Universitas Diponegoro Semarang)

<b>Efisiensi Energi Pada Smart Building Untuk Arsitektur Masa Depan</b> <i>Meivirina Hanum, Chairul Murod (Universitas Sriwijaya)</i>	A-4	144
<b>Perbaikan Ventilasi Alami Pada Pemukiman Padat Penduduk Bentuk dari Eko-Arsitektur</b> <i>Esther Prawira (Universitas Tarumanagara)</i>	A-5	152
<b>Keefektifan Styrofoam Sebagai Material Kulit Bangunan Menginsulasi Panas</b> <i>Cindy Tania Andersen (Universitas Tarumanagara)</i>	A-6	161
<b>Pandangan Holistik Tentang Bangunan Hemat Energi</b> <i>Franky Liauw (Universitas Tarumanagara)</i>	A-7	169
<b>Pemanfaatan Warna untuk Fasade Dinamis</b> <i>Lydia (Universitas Tarumanagara)</i>	A-8	178
<b>Innovative Use of Technology in Sustainable Development</b> <i>Sylvie Wirawati (Universitas Tarumanagara)</i>	A-9	186
<b>Analisa Penyediaan Ruang Terbuka Hijau Perkotaan, Studi Kasus Kota Martapura</b> <i>Tutur Lusetyowati (Universitas Sriwijaya)</i>	A-10	195
<b>Teknik Sipil, Transportasi, Hidrolika (S)</b>		
<b>Estimasi Potensi Pengurangan Kemacetan Lalu Lintas Jalan Raya Pada Jam Puncak Berbasis Kebutuhan Riil Mobilitas Orang dan Barang</b> <i>Ibnu Hisyam (Teknik Industri ITS – Surabaya)</i>	S-1	208
<b>Pemodelan Struktur Bangunan Gedung Bertingkat Beton Bertulang Rangka Terbuka Simetris di Daerah Rawan Gempa dengan Metoda Analisis <i>Pushover</i></b> <i>Siti Aisyah N, Yoga Megantara (Balai Diklat Wilayah VII Kementerian Pekerjaan Umum)</i>	S-2	218
<b>Perkembangan Sistem Struktur Beton Pracetak Sebagai Alternatif pada Teknologi Konstruksi Indonesia yang Mendukung Efisiensi Energi Serta Ramah Lingkungan</b> <i>Siti Aisyah Nurjannah (Balai Diklat Wilayah VII Kementerian Pekerjaan Umum)</i>	S-3	234



***Teknologi Proses Pengolahan Limbah (K)***

- Biodegradasi Fraksi Asfalten Oleh Bakteri Yang Diisolasi Dari Tanah Terkontaminasi Minyak Bumi di Propinsi Sumatera Selatan** K-1 243  
*Munawar, Pingkan Aditiawati, Dea Indriani Astuti* (Institut Teknologi Bandung, Universitas Sriwijaya)
- Studi Analisis Penurunan Kadar Pb Pada *Crystallizer* di Unit Metalurgi PT. Timah (Persero) Tbk Mentok Bangka Barat Provinsi Bangka Belitung** K-2 251  
*A.Taufik Arief, Irko* (Universitas Sriwijaya)
- Pengolahan Air Limbah Pewarna Sintetis Dengan Menggunakan Reagen Fenton** K-3 260  
*Tuty E. Agustina, Enggal Nurisman, Prasetyowati, Nina Haryani, Lia Cundari, Alien Novisa Oki Khristina* (Universitas Sriwijaya)
- Peningkatan Kualitas Air Domestik di Kampus Universitas Sriwijaya Indralaya Menggunakan Filter Keramik Berbahan Tanah Liat Alam dan Abu Terbang Batubara** K-4 267  
*Subriyer Nasir, Rizka Wulandari Putri, Jelita Intan* (Universitas Sriwijaya)
- Pengolahan Limbah Kertas Menjadi Pulp Sebagai Bahan Pengemas Produk Agroindustri** K-5 278  
*M.Hatta Dahlan* (Universitas Sriwijaya)
- Pengaruh Jenis Sampah, Komposisi Masukan dan Waktu Tinggal Terhadap Komposisi Biogas Dari Sampah Organik Pasar di Kota Palembang** K-6 283  
*David Bahrin, Destilia Anggraini, Mutiara Bunga Pertiwi* (Universitas Sriwijaya)
- Pengolahan Limbah Cair Industri Kecap Menggunakan Membran Keramik** K-7 294  
*M.Hatta Dahlan, Andyanjati R, Martin FO Sihotang* (Universitas Sriwijaya)
- Geo thermal, Gas Metana Batubara, Batubara, Migas (TMK)***
- Model Matematika Untuk Optimasi Nilai Kalori Batubara *Blending* di PT. Batubara Bukit Kendi Tanjung Enim – Sumatera Selata** TMK-1 303  
*Ubaidillah Anwar, A.Taufik Arief* (Universitas Sriwijaya)
- Teknologi Pemanfaatan Batubara Untuk Menghasilkan Batubara Cair, Pembangkit Tenaga Listrik, Gas Metana Dan Briket Batubara** TMK-2 309  
*Sodikin Mandala Putra* (Universitas Sriwijaya)





<b>Pemodelan CFD Proses Pencairan Batubara: Distribusi Suhu <i>Slurry</i> Batubara Dalam <i>Autoclave</i></b> <i>Lia Cundari, Nova</i> (Universitas Sriwijaya)	TMK-3	319
<b>Karakterisasi Parameter Masukan Untuk Analisis Kestabilan Lereng Tunggal (Studi Kasus di PT Tambang Batubara Bukit Asam Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan)</b> <i>Masagus Ahmad Aziz, Rr Harminuke Eko Handayani</i> (Universitas Sriwijaya)	TMK-4	328
<b><i>Teknologi Material, Mesin Produksi dan Manufaktur, Teknologi Automotive (M)</i></b>		
<b>Pemanfaatan Abu Terbang Dalam Jumlah Besar Pada Pembuatan Beton (<i>The Use of High Volume Fly Ash in the Concrete Production</i>)</b> <i>I Made Alit Karyawan Salain, Ida Bagus Dharma Giri Mayun Adi Alice Saraswati</i> (Universitas Udayana)	M-1	342
<b>Pengaruh Beberapa Jenis Bahan Penggumpal Lateks Dan Hubungannya Dengan Susut Bobot, Kadar Karet Kering Dan Plastisitas</b> <i>Mili Purbaya, Tuti Indah Sari, Chessa Ayu Saputri, Mutia Tama Fajriaty</i> (Universitas Sriwijaya)	M-2	351
<b>Pengurangan Tingkat Kebisingan Dengan Menggunakan Serat Sabut Kelapa Digunakan Sebagai Bahan Penyerap Bunyi</b> <i>Zulkarnain</i> (Universitas Sriwijaya)	M-3	358
<b>Pembuatan Alat Bantu Pengukuran Geometri dan Toleransi Pada Koordinate <i>Measuring Machine</i></b> <i>Al Antoni Akhmad, Amrifan S.M, Zulkarnain</i> (Universitas Sriwijaya)	M-4	368
<b>Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan Catalytic Converter Terhadap Tmisi Gas Buang Pada Motor Yamaha RX-King Tahun Pembuatan 2006</b> <i>Riman Sipahutar</i> (Universitas Sriwijaya)	M-5	378
<b>Analisis Eksergi Siklus Kombinasi Turbin Gas-Uap Unit PLTGU Inderalaya</b> <i>Dyos Santoso, Hasan Basri</i> (Universitas Sriwijaya)	M-6	389
<b>Pengaruh Variasi Fraksi Volume Semen Putih Terhadap Kekuatan Tarik dan Impak Komposit <i>Glass Fiber Reinforced Plastic (GFRP)</i> Berpenguat Serat <i>E-Glass Chop Strand Mat</i> dan Matriks Resin Polyester</b> <i>Helmy Alian</i> (Universitas Sriwijaya)	M-7	401





<b>Pengaruh Waktu Tahan <i>Pouring</i> Terhadap Struktur Mikro Plat TWDI 1 mm</b> <i>Rianti D. Sulamet-Ariobimo, Johny W. Soedarsono, Bambang Suharno</i> (Universitas Trisakti, Universitas Indonesia)	M-8	416
<b>Pengaruh Jenis Proses Pengelasan Terhadap Ketahanan Korosi SS316L</b> <i>Muhammad Anis, Johny Wahyuadi Soedarsono, Rr. Reni Indraswari</i> (Universitas Indonesia)	M-9	422
<b>Pengaruh Jumlah Lalan Arah Bolak-Balik Pada Alumunium Komersil Dengan Proses ECAP Terhadap Sifat Mekanik</b> <i>Qomarul Hadi</i> (Universitas Sriwijaya)	M-10	429
<b>Pengaruh Penggunaan <i>three-way catalytic converter</i> Terhadap Emisi Gas Buang Pada Kendaraan Toyota Kijang Innova</b> <i>Ellyanie</i> (Universitas Sriwijaya)	M-11	437
<b><i>Kelistrikan dan Teknologi Proses Pengolahan Energi (KM)</i></b>		
<b><i>Ionic Liquid</i> Sebagai Katalisator Potensial Untuk Meningkatkan Produksi Biofuel KM-1</b> <i>Elda Melwita</i> (Universitas Sriwijaya)	KM-1	446
<b>Hidrolisis Enzimatik dan Fermentasi TKKS yang Didelignifikasi dengan Asam Sulfat dan NaOH untuk Memproduksi Etanol</b> <i>Novia, Muhammad Faizal, Meilinda Fitriani Ariko, Daru Hw Yogamina</i> (Universitas Sriwijaya)	KM-2	451
<b>Perhitungan Indeks Keandalan Sistem Tenaga Listrik Interkoneksi Sumatera Bagian Selatan</b> <i>Rudyanto Thayib</i> (Universitas Sriwijaya)	KM-3	463
<b>Perbandingan Minyak Nabati Kasar Hasil Ekstraksi Buah Kepayang Segar Dengan Kluwek</b> <i>Cokorda Prapti Mahandari, Wiwik, Anwar Fatoni</i> (Universitas Gunadarma)	KM-4	482
<b>Katalis Basa Heterogen Campuran CaO &amp; SrO Pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit</b> <i>Tuti Indah .S., M. Said, Adhitya Summa .W, Ani .K. Sari</i> (Universitas Sriwijaya)	KM-5	64





ISBN : 979-587-395-4

SEMINAR NASIONAL ADDED VALUE ENERGY OF RESOURCES  
**AVOER KE-3**  
GEDUNG SERBA GUNA PROGRAM PASCASARJANA  
KAMPUS UNSRI BUKIT PESAR PALEMBANG  
RABU-KAMIS/26 - 27 OKTOBER 2011



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2011**

## PENGARUH GEOMETRI SUDU DARI TURBIN AIR DARRIEUS TERHADAP KINERJANYA

Kaprawi\*

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya  
Jl.Raya Palembang-Prabumulih, km 32,Inderalaya-OI (30622)

\*Koresponensi Pembicara. Phone: +62 711 580139, Fax: +62 711 580139  
Email: kaprawis@yahoo.com

### ABSTRACT

The study to the influence of blade geometry of Darrieus water turbine was done experimentally in water stream flow. The blades have variable thickness and geometry which are correspond to NACA 0015, 0020,0030 and the other blade is NACA 4424. The measurements were conducted in a channel of irrigation in Lubuk Linggau with constant stream velocity 0,8 m/s. The results show that for symmetrical blades, the curves of performance are similar but difference in values where the smallest the blade thickness the higher the power coefficient and the tip speed ratio operation range from 1,8 to 2,5. For the unsymmetrical blade (NACA 4424), the power coefficient and the speed of operation of turbine are lower than that one of symmetrical blade.

**Keywords** : blade, geometry, Darrieus water turbine, power coefficient, performance

### 1. PENDAHULUAN

Aliran air dari sungai mempunyai energi kinetik yang dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin air. Jenis turbin air aliran sungai yang sering digunakan adalah turbin Gorlov dan Darrieus. Dari kedua turbin ini, turbin Darrieus mempunyai torsi yang lebih besar dan sudunya dapat dibuat dengan mudah. Sudu ini memakai standard NACA agar menghasilkan *lift* dan aliran disekitarnya tidak terjadi separasi apabila sudut serang tidak besar.

Kedua turbin diatas telah mulai dimanfaatkan untuk menggerakkan generator listrik baik skala kecil maupun besar. Bila aliran sungai yang deras dan dengan debit yang besar maka akan dapat menghasilkan daya yang besar pula. Turbin Darrieus dan Gorlov mempunyai efisiensi yang rendah dibandingkan turbin lainnya seperti jenis Pelton, Francis dan lainnya. Walaupun demikian untuk mendapatkan daya yang besar maka ukuran turbin dapat diperbesar dan dipasangkan pada sungai yang besar dan kapasitas besar pula.

### 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bila sudu turbin dipasang tetap dan tidak dapat diatur maka sudut serang dari sudu akan berubah setiap saat tergantung dengan posisi dari sudu tersebut yang akibatnya merubah gaya dinamik air kepada sudu tersebut dan oleh karena itu turbin cenderung terjadi *shaking*. Oleh karena itu salah satu untuk mengatasinya adal

ah dengan membuat sudu turbin dapat diatur *pitch* atau sudut sudunya (Kirke et al.,2008). Selain itu dapat meningkatkan *self-starting torque* dan efisiensi turbin.

Salah satu kelemahan turbin Darrieus adalah rendahnya *self-starting torque*, oleh karena itu Kyuzuka (2008) menggabungkan sudu turbin Savonius untuk mengatasi hal tersebut. Oleh karena itu dengan mengkombinasikan sudu tersebut yang posisinya lebih dekat dengan poros akan meningkatkan torsi awal turbin secara signifikan.

Beberapa jenis dan geometri sudu telah diberikan oleh Claessens (2006) tentang kinerjanya pada turbin angin Darrieus. Untuk sudu NACA 0021,0018 dan 0015 koefisien daya praktis sama besarnya namun beroperasi pada TSR yang sedikit berbeda. NACA 0021 batas operasi yang baik pada TSR 1,5 – 4,3 untuk NACA 0018 pada 2,0 – 4,3 dan NACA 0015 pada 2,2 – 4,3 sedangkan NACA 0012 pada batas yang sempit yaitu 3,0 – 4,3 dan efisiensi yang paling rendah diantara ketiga sudu diatas.

Kondisi aliran mempengaruhi kinerja sudu dari turbin. Diantara beberapa jenis sudu diatas maka sudu yang baik untuk semua kecepatan aliran ada jenis sudu NACA 0015 dan 0018 karena mempunyai koefisien *lift* bergerak naik seiring dengan kenaikan kecepatan aliran, namun tidak sama halnya dengan sudu NACA 0012 dan 0015 yang mana koefisien *lift* mulai bergerak naik mulai pada saat Reynolds tertentu (Claessens,2006).

Claessens (2006) telah mengembangkan geometri jenis sudu DU-06-W-200 yang merupakan pengembangan dari sudu NACA 0020 namun pada bagian dekat leading edge salah satu busurnya dibuat lengkung kedalam dan dekat dengan leading edge salah satu sisinya kelengkungannya bergeser kedepan. Hasil simulasi dari sudu jenis ini mempunyai koefisien daya lebih tinggi dan TSR batas operasi lebih besar.

Soliditas turbin mempengaruhi batasan penggunaan turbin Darrieus yang mana hal ini telah diberikan studi secara eksperimental dan teoritis oleh Hilton (1983) untuk soliditas 0,18, 0,24 dan 0,3 dengan memakai sudu simetris NACA 0015. Apabila soliditas naik maka batas operasi turbin maksimum pada  $TSR < 4,3$  akan tetapi bila soliditas turun maka batas operasi besar namun efisiensi maksimumnya praktis sama.

Kinerja turbin tergantung dengan kecepatan air, soliditas, dan sudut kemiringan sudu yang telah ditunjukkan oleh Shiono et al. (2002). Studi menunjukkan bahwa efisiensi turbin akan naik apabila kecepatan air naik, untuk kecepatan air 1,4 m/s efisiensi maksimum adalah sekitar 17% dan bila kecepatan turun menjadi 0,6 m/s maka efisiensi maksimum adalah sekitar 11% yang terletak batas TSR antara 0,8 – 2,0. Soliditas yang terbaik adalah antara 0,2 – 0,3. Selain itu dengan membuat sudu miring dengan sudu tertentu maka turbin menjadi turbin heliks (Gorlov). Torsi yang terbesar terjadi pada sudut kemiringan sudu  $90^\circ$  (tubin Darrieus).

Penggunaan *software fluent* untuk studi kinerja turbin Darrieus telah diberikan oleh Lain et al. (2010) dan dari hasil simulation telah divalidasi secara eksperimental. Dengan model turbin mempunyai tiga sudu maka batas operasi turbin adalah antara 1,2 – 2,0 dan turbin mempunyai efisiensi maksimum sekitar 30% pada TSR 1,74.

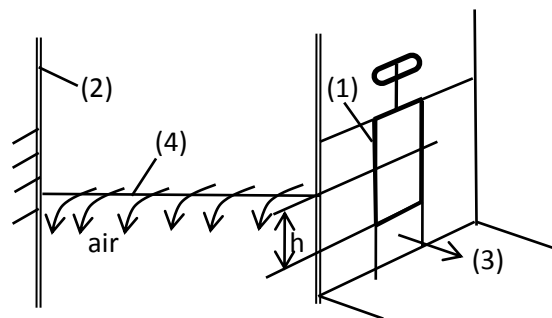
Sebagian besar sudu turbin Darrieus menggunakan sudu berstandar NACA jenis simetris, namun Batten (2006) mencoba menggunakan sudu tak-simetris untuk mengetahui kinerja turbin air Darrieus karena sudu tersebut dapat mengurangi kavitas yang terjadi atau mengurangi tekanan minimum yang terjadi. Jenis sudu seri NACA 63-2XX dan 63-8XX telah digunakan dalam studi ini. dengan memakai teori *blade element momentum* kedua sudu ini menunjukkan bahwa turbin dengan memakai kedua sudu ini mempunyai perbedaan kinerja yang sangat kecil dan dapat diabaikan.

Ketebalan sudu mempengaruhi kuat tidaknya sudu turbin, sudu yang tebal mempengaruhi pada semakin besarnya tahanan (*drag*) pada sudut serang yang kecil dan kekuatannya besar. Ketebalan yang optimum sulit ditentukan. Pada umumnya ketebalan sudu 12% sampai 18% sering kali digunakan.

Turbin Darrieus sangat mudah dibuat dibandingkan dengan turbin aliran sungai Gorlov karena sudu yang lurus. Dalam studi ini, diberikan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh geometri dalam hal ini adalah ketebalan dari sudu yang simetris (NACA 00XX) dan geometri sudu yang tidak simetris dalam hal ini NACA 4424.

### 3. METODE PENELITIAN

Pengujian ini dilakukan pada saluran keluaran pintu air (3) dam irigasi di sungai kelingi Lubuk Linggau. Skema dam untuk irigasi diberikan pada Gbr.1. Sungai didam sehingga akan terjadi *overflow* (melimpah) apabila permukaan air melebihi tinggi dam (4). Pada salah satu dinding sungai (2) dipasang pintu air (1) yang diangkat sebagian sehingga air (3) akan keluar mengalir pada saluran irigasi. Dengan system ini kecepatan air akan konstan karena head,  $h$  adalah konstan. Air keluar dari pintu air diukur dan nilainya adalah 0,84 m/s. Posisi pengukuran pada jarak sekitar 5 m dari dinding sungai dan aliran sudah seragam kecepatannya.



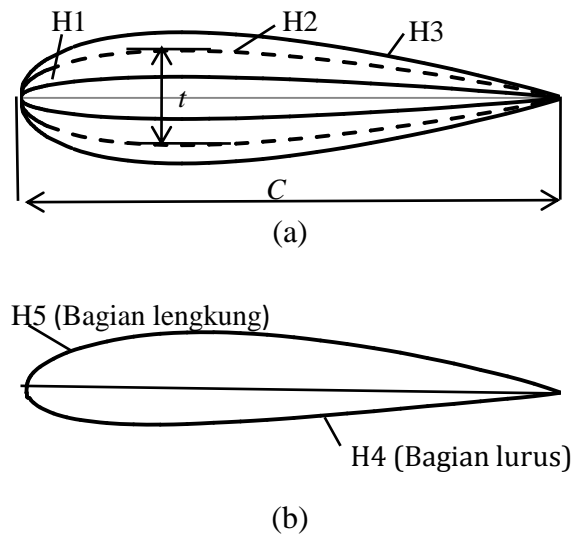
Gambar 1 : Skema sistem dam sungai

Turbin yang digunakan berdiameter  $d = 300$  mm dan panjang  $L = 300$  mm yang mempunyai sudu  $B = 3$  sudu (Gbr. 2a). Soliditas turbin dipilih  $\sigma = 0,2$  dengan demikian maka lebar sudu  $C$  turbin haruslah sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{CB}{\pi d} \text{ atau } C = \frac{\sigma \pi d}{B}$$

sehingga  $C = 62,8$  mm.

Sudu simetris yang digunakan mempunyai ketebalan  $t$  yang bervariasi yang dinyatakan dalam NACA 0015 kita sebut H1, NACA 0020 disebut H2, NACA 0030 disebut H3 (Gbr. 2a) dan sudu tak-simetris adalah NACA 4424 disebut H4 (Gbr. 2b) dan H5 yang mana H4 untuk sudu bagian lurus menghadap keluar poros sedangkan H5 bagian lurus dipasang menghadap ke poros (bagian lengkung menghadap keluar poros).

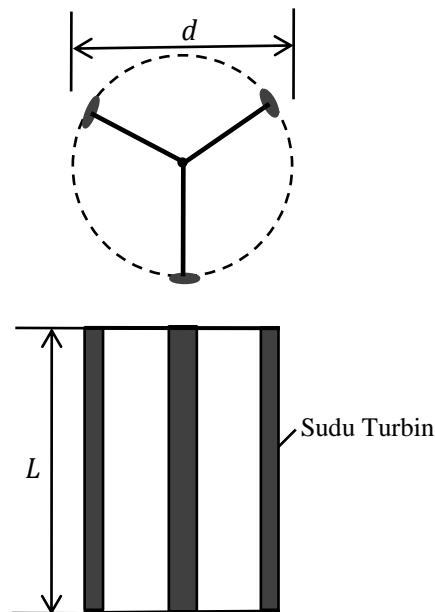


Gambar 2. Sudu hydrofoil simetris dan tak-simetris

Turbin dimasukkan kedalam aliran air sampai kerangka dan roda torsi berada beberapa centimeter diatas permukaan air. Untuk satu jenis sudu yang digunakan, tanpa dibebani dengan pembebanan maka turbin akan berputar setelah dicelupkan di aliran sungai dan setelah beberapa menit kemudian putaran turbin diukur dengan *digital tachometer* dengan menyorotkan sinar keluar dari *tachometer* ke roda torsi. Sistem pengukuran torsi dengan dynamometer pita yang terbuat dari kulit. Setelah itu turbin dibebani dengan suatu masa pada salah satu dynamometer pita, dalam hal ini batu kecil (sebut  $m_1$ ) yang sudah ditimbang terlebih dahulu, dan kemudian dengan adanya pembebanan yang kecil ini maka turbin akan menurun putarannya yang setelah didiamkan beberapa menit agar putaran sudah konstan diukur lagi putaran roda torsi / turbin dan diukur pula gaya pada *tubular spring scale* yang terpasang bersatu dengan dynamometer pita. Setelah selesai pengukuran maka masa pembebanan ditambah lagi masa sebesar  $m_2$  (sudah ditimbang) dan akibatnya putaran turbin akan menurun yang setelah stabil operasinya dilakukan pengukuran putaran lagi dan gaya pada *tubular spring scale*.

Begitulah seterusnya prosedur pengukuran dilakukan dengan menambah beban sampai pada suatu saat dimana dengan suatu pembebanan turbin akan berhenti berputar. Setelah selesai maka sudu turbin diganti dengan bentuk yang lain dan prosedur pengukuran sama seperti diatas. Turbin Darrieus yang diuji seperti ditunjukkan oleh Gbr. 3.



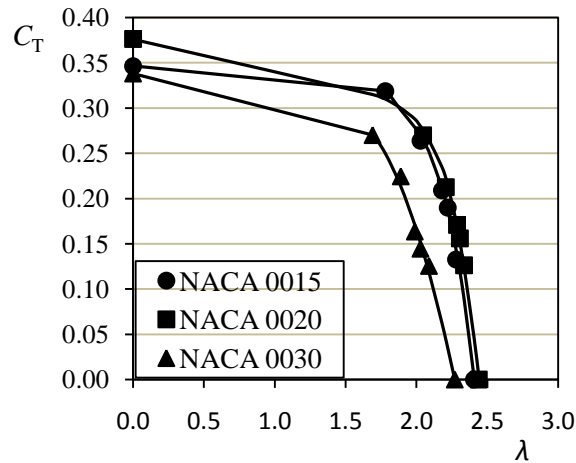


Gambar 3 : Turbin Darrieus

## 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

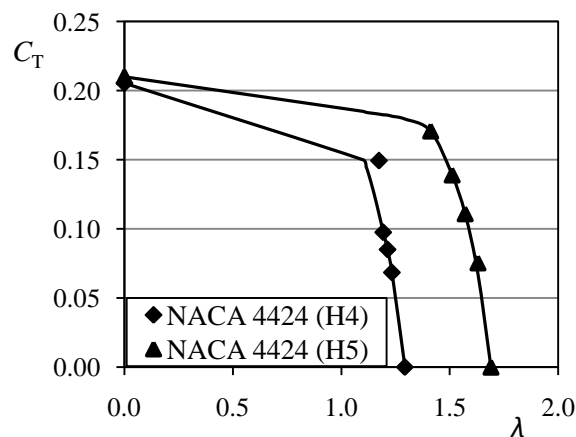
Salah satu parameter kinerja turbin adalah torsi yang dihasilkan oleh turbin. Torsi yang diukur pada pulley torsi adalah sama dengan torsi yang dihasilkan oleh turbin oleh karena energi yang dihasilkan adalah konstan untuk suatu putaran dan pembenanan yang konstan pula. Perlu dicatat bahwa studi pengaruh ketebalan atau jenis sudu simetris yang digunakan adalah untuk soliditas 0,2 dan studi untuk bentuk sudu tak-simetris digunakan soliditas 0,35 atau dengan diameter rotor yang konstan dan jumlah sudu yang sama maka semakin besar lebar sudu maka semakin besar soliditasnya.

Pengaruh koefisien torsi dengan sudu ketebalan yang berbeda yang dinyatakan dengan standard NACA 0015, 0020 dan 0030 diberikan pada Gbr. 4. Sebagai contoh NACA 0015 maka ketebalan maksimum dari sudu adalah 15% dari lebar sudu (*chord*). Torsi yang dihasilkan turbin praktis sama dalam batas operasi  $1,3 < \lambda < 2,5$  untuk sudu NACA 0015 dan 0020 karena profil hampir segaris satu sama lain. Oleh karena itu pengaruh ketebalan sudu terhadap torsi yang dihasilkan dalam batas ketebalan 15% s.d 20% dapat dikatakan identik. Dalam batas operasi  $0 \leq \lambda \leq 1,3$  dapat dikatakan bahwa perubahan yang signifikan terhadap  $\lambda$  untuk perubahan pembebanan yang kecil yang dan oleh karena itu ditarik garis lurus akibat kurang presisi alat ukur yang digunakan yaitu torsimeter pita. Profil torsi untuk sudu NACA 0030 terdapat perbedaan yang signifikan dengan NACA 0015 DAN 0020. Semakin tebal sudu maka semakin menurun putaran turbin dan semakin kecil torsi yang dihasilkan. hal ini disebabkan oleh mulai meningkatnya *drag* yang dihasilkan akibat gesekan dan semakin menurun *lift* yang dihasilkan untuk memutar turbin.



Gambar 4 : Pengaruh tebal sudu terhadap torsi ( $\sigma = 0,2$ )

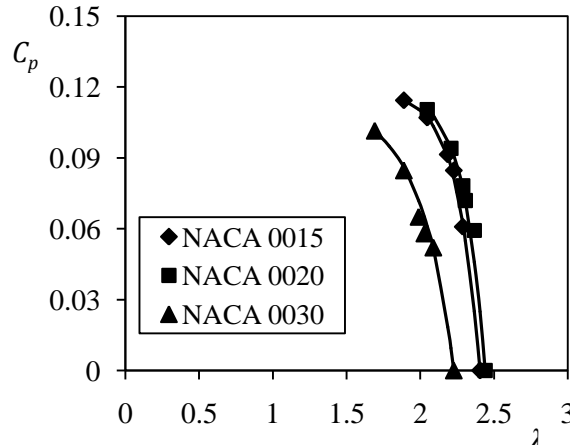
Penggunaan sudu tak-simetris yaitu dalam hal ini NACA 4424 dengan konfigurasi H4 dan H5 untuk soliditas 0,35 memberikan hasil profil torsi seperti pada Gbr. 5. Dapat dilihat bahwa perbedaan pemasangan sudu tak-simetris menghasilkan variasi torsi yang berbeda nilainya namun profilnya masih sama. Untuk konfigurasi H4 mempunyai batas operasi turbin sangat sempit yaitu  $1,15 < \lambda < 1,30$  sedangkan untuk sudu bagian lengkung menghadap keluar poros (H5) maka daerah operasi turbin disekitar  $1,4 < \lambda < 1,7$  yang lebih tinggi dari H4. Sudu dengan pemasangan bagian lengkung menghadap keluar poros menghasilkan torsi lebih besar. Namun apabila turbin menghasilkan torsi yang sama maka haruslah turbin beroperasi pada  $\lambda$  yang berbeda. Perlu dicatat bahwa semakin besar nilai  $\lambda$  suatu operasi turbin maka semakin baik kinerja turbin tersebut karena dengan kecepatan tinggi maka sudut serang semakin kecil dan semakin kecil kemungkinan terjadinya *stall* aliran di sekitar sudu. Terjadinya *stall* akan mengurangi kinerja turbin turbin.



Gambar 5 : Pengaruh geometri terhadap torsi ( $\sigma = 0,35$ )

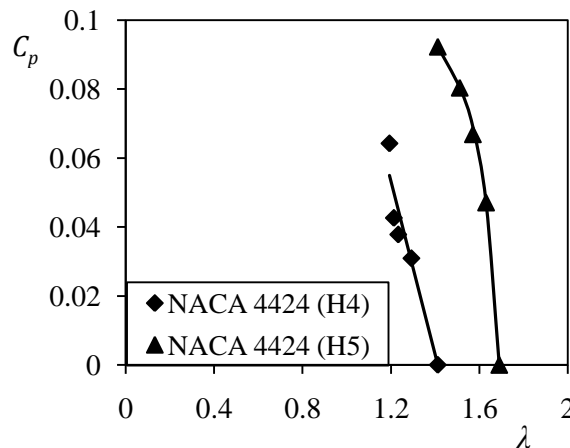
Efisiensi atau koefisien daya turbin untuk tiga jenis ketebalan sudu yang digunakan diberikan oleh Gbr. 6. Kita lihat pada Gambar bahwa sudu NACA 0015 dan 0020 mempunyai perbedaan koefisien daya yang sangat kecil dan profilnya praktis sama. Kedua sudu tersebut ternyata mempunyai kinerja yang lebih baik dari NACA 0030 yang lebih tebal oleh karena dengan kedua sudu tersebut menghasilkan

batasan operasi turbin pada putaran lebih tinggi dan apabila pada kecepatan putar yang sama maka efisiensi lebih tinggi. Untuk NACA 0030 beroperasi pada putaran lebih kecil. Batasan operasi tersebut adalah  $1,8 < \lambda < 2,5$  untuk sudu NACA 0015 dan 0020 serta  $1,5 < \lambda < 2,2$ . Semakin tinggi putaran turbin maka akan semakin baik kinerjanya karena turbin pada putaran tinggi akan mengurangi terjadinya *stall* sehingga menaikkan efisiensinya.



Gambar 6 : Pengaruh tebal sudu terhadap  $C_p$  ( $\sigma = 0,2$ )

Gbr. 7 memberikan perubahan koefisien daya terhadap *tip speed ratio* untuk geometri sudu tak-simetris NACA 4424. Sudu dengan konfigurasi H5 mempunyai putaran yang lebih tinggi dan begitu pula dengan koefisien dayanya. Kedua sudu mempunyai batasan operasi yang sempit dan kecil yaitu  $1,2 < \lambda < 1,4$  untuk konfigurasi H4 dan  $1,4 < \lambda < 1,75$  untuk konfigurasi H5. Oleh karena itu konfigurasi H5 mempunyai kinerja yang lebih baik. Pengaruh soliditas dapat dilihat antara Gbr 6 dan 7 yang mana apabila soliditas naik maka koefisien daya semakin turun karena sudu semakin lebar yang membuat *drag* menjadi naik dan *lift* turun.



Gambar 7 : Pengaruh geometri terhadap  $C_p$  ( $\sigma = 0,35$ )

## 6. KESIMPULAN

Turbin aliran sungai yang mana sering digunakan salah satunya adalah turbin jenis Darrieus telah dipelajari secara eksperimental. Ketepatan hasil yang didapat tergantung dengan kualitas pembuatan turbin yang mana dinding sudu harus dibuat licin, ukuran harus tepat yang menghasilkan kestabilan operasi turbin. Pemakaian

sudu dengan ketebalan antara 15% s.d 20% adalah yang terbaik untuk digunakan dibandingkan dengan sudu yang lebih tebal lagi karena mempunyai efisiensi dan kecepatan operasi yang lebih tinggi. Sedangkan untuk sudu yang tidak simetris adalah tidak mempunyai efisiensi yang lebih baik dari sudu simetris karena kinerjanya lebih kecil dari sudu simetris.

## 7. REFFERENCES

- Batten W.M.J, Bahaj A.S., Molland A.F., Chaplin J.R, 2006, Hydrodynamics of Marine Current Turbines, *Journal of Renewable Energy*, Vol. 31 p. 249–256
- Claessens M.C, 2006, The Design and Testing of Airfoils for Application in Small Vertical Axis Wind Turbines, Master Thesis of Delf University of Technology
- Hilton D.J, 1983, Performance of a Darrieus Water Turbine at Various Solidities, Eight Australasian Fluid Mechanic Conference, University of New Castle
- Kirke B.,Lazauskas L.,2008, Variable Pitch Darrieus Water Turbine, *Journal of Fluid Science and Technology*, Vol.3 No. 3
- Kyuzuka Y., 2008, An Experimental Study on the Darrieus-Savonius Turbine for the Tidal Current Power Generation, *Journal of Fluid Science and Technology*, Vol.3 No. 3
- Lain S., Osario C., 2010, Simulation and Evaluation of a Sraight Bladed Darrieus-Type Cross flow Marine Turbine, *Journal of Scientific & Research*, Vol. 69 p.906-912
- Mitsuhiro Shiono, Kdsuyuki Suzuki, Sezji Kiho, 2002, Output Characteristics of Darrieus Water Turbine with Helical Blades for Tidal Current Generations, *Proceedings of The Twelfth (2002) International Offshore and Polar Engineering Conference Kitakyushu, Japan, May 26–31*

## OPTIMASI DESAIN SISTEM TERMAL PADA RUANG BAKAR TUNGKU PENGECORAN KUNINGAN MENGGUNAKAN BRIKET BATUBARA KALORI RENDAH

Oleh :  
Diah Kusuma Pratiwi

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya  
Kampus Indralaya, Jalan Palembang-Prabumulih Km 32 Indralaya-Ogan Ilir  
[pratiwi.diahkusuma@yahoo.com](mailto:pratiwi.diahkusuma@yahoo.com)

### ABSTRACT

*Fuel price increases of oil and gas currently causing most of the small metal casting industries can not survive. Therefore, the design and development of foundry furnace fuel briquettes using low grade coal which is much cheaper than fuel oil and gas conducted. However, this furnace was only able to produce maximum combustion chamber temperatures 600 ° C and unable to cast aluminum which has melting temperature 659 ° C and 750 ° C for its pouring temperature. After design optimization by applying the principles of heat loss management then the furnace can even melt the brass which has 1200 ° C of pouring temperature.*

**Keywords:** metal casting furnaces, low calorie coal briquettes, heat loss management, brass

### 1. Pendahuluan

Cadangan minyak yang terkandung didalam bumi Indonesia semakin menipis dan ini berpengaruh terhadap harga minyak bumi saat ini. Akibatnya harga bahan bakar minyak dan gas semakin mahal. Hal ini berdampak negatif terhadap berbagai sektor, termasuk juga sector industri manufaktur dan industri kecil pengecoran logam.

Selama ini industri kecil pengecoran logam menggunakan minyak tanah dan solar sebagai bahan bakar. Kenaikan harga bahan bakar minyak menyebabkan biaya operasi dan produksi semakin tinggi. Proses produksi pengecoran hanya dapat dilaksanakan bila ada pesanan dan tidak dapat dilakukan secara kontinyu. Akibatnya jumlah pegawai terpaksa dikurangi. Hal ini menyebabkan kenaikan angka pengangguran. Secara makro, kenaikan angka pengangguran ini akan menyebabkan kenaikan angka kriminalitas yang akan berpengaruh terhadap kestabilan keamanan dan sosial masyarakat. Oleh karena itu di perlukan jenis bahan bakar lain yang lebih murah yang dapat menggantikan minyak tanah dan solar sebagai sumber energi untuk pengecoran logam.

Pada saat ini terdapat dua macam jenis briket batubara non karbonisasi yang umum dijual, yaitu : jenis telur dan sarang tawon. Kedua jenis ini berasal dari bahan yang sama namun bentuk cetaknya berbeda. Pada penggunaan untuk temperatur pembakaran yang relatif rendah, misalnya untuk pengering dan pemanas ruangan untuk peternakan ayam, biasanya digunakan jenis sarang tawon. Sedangkan untuk temperatur yang lebih tinggi digunakan jenis telur. Hal ini karena bentuk kedua jenis

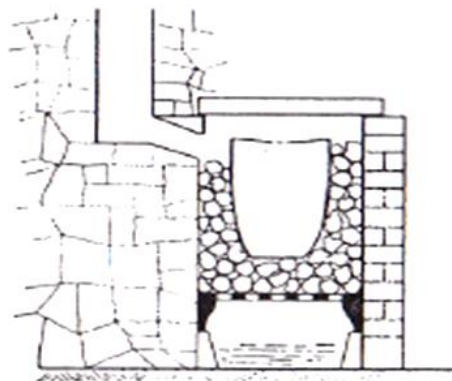


briket ini mempengaruhi sirkulasi udara yang dapat terjadi didalam ruang bakar. Pada jenis telur, lebih banyak udara yang dapat masuk disela-sela briket dan dapat menyentuh permukaan briket bila dibandingkan menggunakan jenis sarang tawon, sehingga temperatur pembakaran yang dapat dicapai bisa lebih tinggi.

Penelitian yang telah dilakukan oleh *Pratiwi, DK. et.al, 2008* [1], menunjukkan bahwa penggunaan briket batubara non karbonisasi ternyata potensial untuk dijadikan sumber energi untuk melebur logam-logam non ferro. Pada penelitian udara yang bertemperatur 50 °C dialirkan kedalam ruang bakar yang berisi briket batubara non karbonisasi jenis telur. Logam yang dilebur adalah aluminium skrap. Lama waktu yang dibutuhkan dari saat memasukan skrap sampai dengan penuangan hanya 1 jam. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan juga sebagai penelitian lanjutan, dimana tungku akan digunakan untuk melebur kuningan.

Secara alamiah, sebagaimana dijelaskan pada *Pratiwi, DK., et.al, 2009* [2], briket batubara non karbonisasi adalah bahan bakar yang sulit dinyalakan dan menghasilkan temperatur pembakaran yang rendah, yaitu hanya sekitar 900 °C sehingga tidak dapat dipakai untuk melebur logam yang temperatur cairnya sekitar 1000 °C. Agar briket ini dapat digunakan untuk menjadi bahan bakar tungku peleburan logam, maka diperlukan tungku yang dirancang secara khusus agar briket batubara non karbonisasi mampu mencapai temperatur pembakaran yang lebih tinggi dari 1000 °C sehingga dapat digunakan untuk melebur kuningan yang temperatur leburnya sekitar 1085 °C dan temperatur tuangnya 1185 °C.

Menurut *Gilchrist, J.D., 1977* [3] secara umum terdapat dua model tungku pengecoran yang menggunakan bahan bakar padat dari batubara sebagai mana ditampilkan pada Gambar 1 berikut ini.



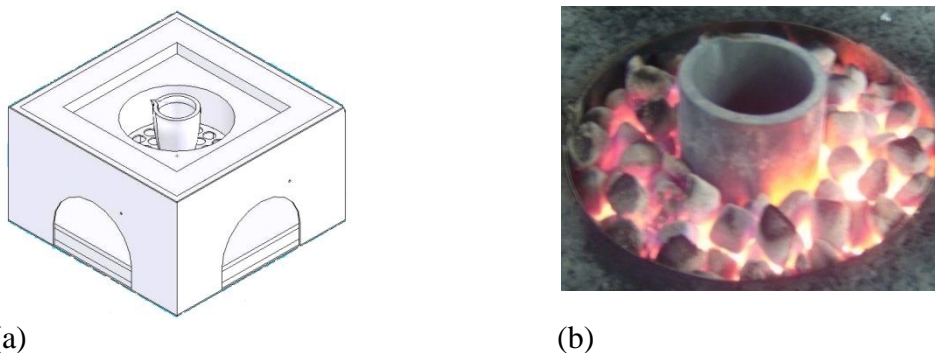
Gambar 1. Tungku pengecoran krus berbahan bakar batubara atau kokas menggunakan pembakaran natural draft

Pada pembakaran natural draft, udara masuk kedalam ruang bakar karena tarikan alam. Akibatnya aliran udara yang masuk kedalam ruang bakar akan berlangsung lambat, dan jumlah oksigen yang terlibat dalam ruang bakar sedikit. Sedangkan pada pembakaran dengan menggunakan udara yang didorong oleh blower, akan menyebabkan aliran udara yang dapat masuk ruang bakar lebih banyak sehingga jumlah oksigen yang masuk kedalam ruang bakar lebih banyak, *Pratiwi, DK., et.al, 2009* [2]. Namun desain dan metode pembakaran yang tepat agar tungku dapat melebur logam kuningan belum diketahui.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui desain tungku dan metode pembakaran briket batubara yang tepat agar mampu melebur logam hingga temperature 1200 °C.

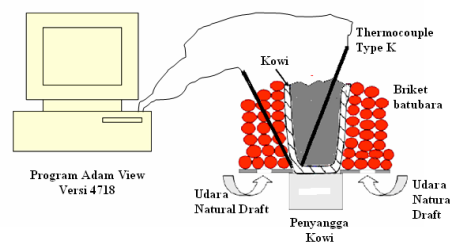
## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan kajian pustaka terhadap text book, jurnal, dan media elektronik tentang peleburan kuningan, karakteristik pembakaran briket, desain dan optimasi tungku pengecoran logam, dan hal-hal lain yang berhubungan. Selanjutnya melakukan eksperimen pembakaran briket batubara non karbonisasi untuk mempelajari temperatur maksimum rata-rata yang dapat dicapai dan lama proses pembakaran dapat berlangsung dengan cara pembakaran natural draft dan udara bertekanan. Hasil dari eksperimen ini di dapatkan data  $T$  vs  $t$  yang dapat digunakan untuk acuan tentang sifat pembakaran briket batubara non karbonisasi sebagai bahan bakar dalam mendesain tungku pengecoran kuningan.



Gambar 2. Tungku pengecoran kuningan (a) sketsa tungku (b) ruang bakar

Kajian eksperimental dilakukan untuk pembakaran *natural draft* dan pembakaran gabungan antara udara berkecepatan atau bertekanan dari blower dan udara *natural draft* dari udara ambien pada prototype tungku pengecoran kuningan menggunakan bahan bakar briket batubara non karbonisasi. Perubahan temperatur diukur dengan menggunakan thermokopel type K yang dipasang pada dinding bagian dalam dan pada dinding bagian luar kowi seperti yang ditampilkan pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Metode eksperimen

Perubahan temperatur yang diukur oleh thermocouple dibaca dengan menggunakan program ADAM VIEW versi 4718. Aliran udara baik secara *natural draft* maupun udara bertekanan yang berasal dari blower yang masuk dari lubang di bagian bawah tungku, kecepatan aliran udara diukur dengan menggunakan *Hot Wire Anemometer*.

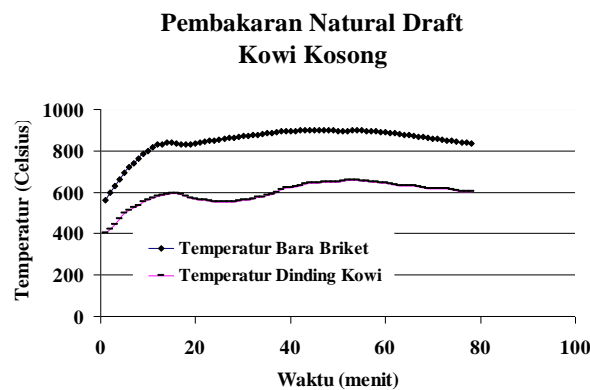
Selanjutnya dilakukan kajian termal dan kinerja tungku untuk mengetahui rugi-rugi kalor dan efisiensi tungku bila ruang bakar dan kowi dibuka dan ditutup. Hal ini bertujuan agar dapat dilakukan pengendalian terhadap rugi-rugi kalor selanjutnya atau

*losses management* terhadap tungku dan rugi-rugi kalor dapat ditekan hingga sekecil mungkin. Sehingga dapat dilakukan optimasi dengan cara melakukan modifikasi terhadap tungku.

Tungku yang telah dioptimasi selanjutnya diuji kembali untuk mengetahui peningkatan kinerja dan effisiensinya, serta kemampuannya sebagai tungku pengecoran kuningan yang dapat beroperasi hingga temperatur 1200 °C.

### 3. Analisa Data dan Pembahasan

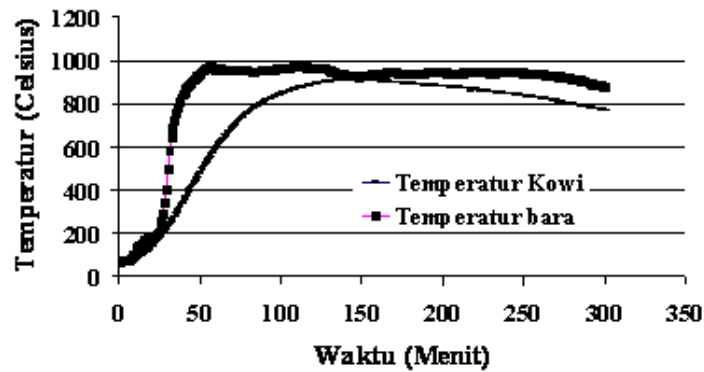
Hasil pengujian pembakaran secara natural draft ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini untuk kondisi kowi kosong.



Gambar 4. Kurva Temperatur vs waktu untuk pengujian pembakaran briket secara *natural draft* dengan kowi dalam keadaan kosong

Pada gambar diatas tampak bahwa pada keadaan kowi kosong dan ruang bakar yang bagian atasnya dibuka, maka temperatur bara lebih tinggi dari pada temperatur dinding di permukaan bagian dalam kowi. Temperatur bara briket maksimum adalah 901°C dan temperatur permukaan dinding bagian dalam kowi maksimum adalah 657°C. Temperatur bara dan temperatur kowi mengalami kenaikan pada 15 menit pertama. Selanjutnya cenderung menurun, oleh karena itu dilakukan penambahan briket kedalam ruang bakar sehingga temperatur naik kembali dan hampir mendekati konstan selama 70 menit.

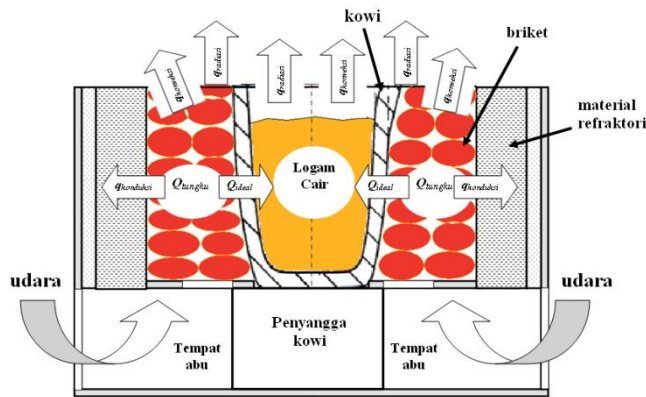
Pengujian dalam kondisi kowi ditutup dan ruang bakar terbuka ditampilkan pada Gambar 5 dimana ditunjukkan bahwa temperatur bara maksimum dan kowi maksimum hampir berhimpit. Pada pengujian ini, temperatur bara maksimum mencapai 970°C dan temperatur kowi mencapai 917°C dan kondisi ini stabil selama 6 jam di atas temperatur 600°C. Tampak bahwa temperatur kowi hampir berhimpit dengan temperatur bara maksimum. Selama proses pembakaran dilakukan beberapa kali penambahan briket kedalam ruang bakar yang menyebabkan penurunan temperatur antara 50 °C hingga 100 °C. Hal ini disebabkan karena briket yang masih dingin menyerap energy panas sebelum terbakar. Setelah briket terbakar, maka temperature kebalik naik.



Gambar 5. Pembakaran briket *natural draft* dengan kowi penuh berisi pasir

Perbedaan temperature yang besar pada saat pengujian dengan kowi terbuka dan tertutup amat berhubungan dengan rugi-rugi kalor yang terjadi.

Berdasarkan data yang telah ada, maka dilakukan analisa thermal pada proses yang berlangsung didalam tungku selama proses pembakaran berlangsung sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 6 berikut ini.

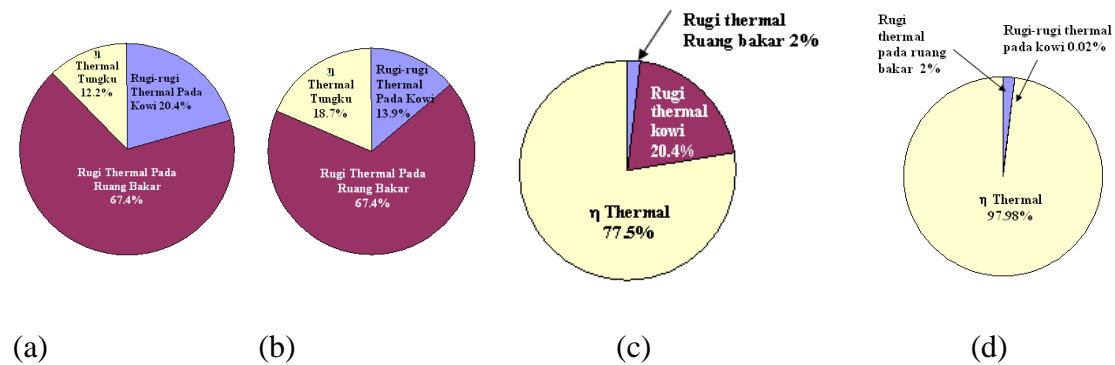


Gambar 6. Sketsa siklus thermal pada tungku pengecoran logam menggunakan bahan bakar briket

Kajian analitis dilakukan untuk mengetahui rugi-rugi thermal pada kondisi ruang bakar ditutup dan dibuka yang dikombinasikan dengan kowi kosong dibuka atau ditutup. Hasil kajian analitis ditampilkan pada Gambar 7 berikut ini. Pada kondisi ruang bakar dibuka dan kowi kosong dibuka, kehilangan kalor pada kowi terjadi karena radiasi kearah atas tungku. Sedangkan kehilangan kalor akibat konveksi terjadi didalam kowi dan dibibir kowi karena pengaruh perbedaan temperatur yang besar antara permukaan kowi dengan udara disekitarnya. Hal ini mengakibatkan terjadi perbedaan kerapatan udara yang menyebabkan udara didalam kowi bergerak dan membawa kalor kelingkuangan. Sedangkan perpindahan kalor konduksi terjadi dari kowi ke penyangganya. Kehilangan kalor yang terjadi melalui kowi kosong sebanyak 20,4 % dari total kalor yang dilepaskan dari reaksi pembakaran briket didalam ruang bakar. Sedangkan kehilangan kalor pada ruang bakar yang terbuka adalah sebanyak 67,4%. Sehingga efisiensi thermal tungku hanya 12,2%. Sebagaimana ditampilkan pada Gambar 7 (a).

Pada kondisi ruang bakar dibuka dan kowi ditutup, kehilangan kalor akibat radiasi dan konveksi pada kowi hanya terjadi pada pinggir kowi bagian atas yang kontak dengan udara lingkungan. Didalam kowi tidak terjadi kehilangan kalor. Hal inilah

yang menyebabkan perbedaan temperatur yang kecil pada bagian dalam kowi dan temperatur bara briket yang terdapat diluar kowi. Kehilangan kalor yang terjadi pada kowi ini hanya 13,9%, sehingga efisiensi thermal naik dari 12,2% menjadi 18,7% seperti yang ditampilkan pada Gambar 7 (b).



Gambar 7. Efisiensi thermal bila (a) ruang bakar dibuka dan kowi dibuka (b) ruang bakar dibuka dan kowi ditutup (c) ruang bakar ditutup dan kowi kosong dibuka (d) ruang bakar ditutup dan kowi ditutup

Pada Gambar 7 (c) ditampilkan gambar bila ruang bakar ditutup, maka tidak terjadi kehilangan kalor akibat radiasi dan konveksi. Rugi-rugi thermal yang terjadi pada ruang bakar hanya 2 % dari kalor yang dilepaskan oleh reaksi pembakaran briket didalam ruang bakar. Kehilangan kalor 2 % ini terjadi pada bagian bawah ruang bakar. Oleh karena itu bila ruang bakar ditutup dan kowi kosong dibuka maka efisiensi thermal tungku mencapai 77,5% .

Bila ruang bakar ditutup dan kowi juga ditutup maka rugi-rugi kalor akibat lingkungan tidak terjadi. Pada Gambar 16 ditunjukkan bahwa rugi-rugi thermal yang terjadi pada kowi kosong ditutup sebesar 0,1% sedangkan pada Gambar 17 untuk kowi berisi pasir yang ditutup rugi-rugi thermalnya sebesar 0,02%. Hal ini terjadi karena pada kowi kosong masih ada sedikit kalor yang keluar lewat tutup kowi sedangkan pada kowi berisi pasir, aliran kalor telah ditahan lebih dahulu oleh pasir. Sehingga efisiensi thermal tungku naik sedikit dari 97,9% menjadi 97,98% seperti yang ditampilkan pada Gambar 7 (d) diatas.

Pada saat proses peleburan dimana tungku ditutup dan kowi berisi penuh dan ditutup, maka kalor yang dipindahkan kedalam kowi dapat mencapai 97,98 % dari kalor yang dihasilkan oleh reaksi pembakaran briket. Sedangkan pada saat kowi dibuka dan berisi penuh, misalnya pada saat proses penuangan, maka efisiensi thermal tungku turun menjadi 77,5–79,3%.

#### 4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah ternyata bahwa kondisi ruang bakar dan kowi yang terbuka atau tertutup selama proses pembakaran dan peleburan logam berlangsung sangat berpengaruh terhadap rugi-rugi thermal yang terjadi. Sehingga efisiensi thermal akan berubah tergantung pada kegiatan yang dilakukan oleh operator selama proses berlangsung.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pratiwi, DK., Nugroho, YS., Koestoer, RA., Soemardi, TP., *Kajian Analitis Penggunaan Batubara Untuk Bahan Bakar Tungku Peleburan Logam*, Seminar Nasional – VI Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri Kampus ITENAS - Bandung, 28 Januari 2008
  
- [2] Pratiwi, DK., Nugroho, YS., Koestoer, RA., Soemardi, TP., *Experimental Study of South Sumatra Low Rank Coal Briquette Flame Temperature, Fluid and Thermal Energy Conversion 2009*, Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea, December 7-10, 2009.



## PENGARUH TEMPERATUR LINGKUNGAN TERHADAP EFISIENSI TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI (PLTP)

**NK.Caturwati, Imron Rosyadi, Febriana Irfani C.**

Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl.Jenderal Sudirman km.3 Cilegon 42435

Telp. +62 254 395502, Fax. +62 254 395440

e-mail : [n4wati@yahoo.co.id](mailto:n4wati@yahoo.co.id)

### ABSTRAK

Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Indonesia diperkirakan memiliki potensi energi panas bumi sebesar 27.000 MW yang tersebar di 256 lokasi [Suyanto]. Jumlah ini menyatakan Indonesia merupakan daerah yang memiliki cadangan energi panas bumi 40% dari total cadangan panas bumi dunia. Paper ini menyajikan hasil penelitian mengenai pengaruh temperatur lingkungan terhadap unjuk kerja turbin pembangkit listrik tenaga panas bumi. Penelitian dilakukan di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) PT. Pertamina Geothermal Energy (PT. PGE) Area Kamojang, pada 2 Maret 2010 hingga 2 Mei 2010. Pengambilan data dilakukan secara berulang sepanjang hari dari jam 5.00 hingga jam 01.00 keesokan harinya dengan jeda waktu pengamatan 2 – 3 jam, yaitu meliputi data temperatur lingkungan, debit uap air masuk turbin serta temperatur dan tekanan uap air masuk dan keluar turbin uap. Disamping itu dilakukan pengamatan terhadap daya listrik yang dihasilkan. Berdasarkan data pengukuran tersebut dilakukan pengolahan data untuk mengetahui hubungan antara kinerja turbin uap terhadap temperatur lingkungan.

Hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan kinerja turbin uap jika temperatur lingkungan semakin rendah. Penurunan temperatur lingkungan hingga 4 °C (dari 15,5 hingga 11,5 °C) membuat efisiensi turbin rata-rata berkurang hingga 0,8 %.

**Kata kunci:** *Geothermal*, temperatur lingkungan, efisiensi turbin.

### 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi dewasa ini terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk serta kemajuan teknologi yang dipergunakan manusia. Pemenuhan kebutuhan energi selama ini terpusat pada penggunaan energi fosil, seperti minyak bumi, batubara dan gas yang saat ini berada pada kondisi kritis dengan jumlah cadangan terbatas. Oleh karena itu perlu adanya usaha penggunaan energi alternatif yang dapat mengalihkan konsumsi energi dari energi fosil.

Energi panas bumi merupakan salah satu energi terbarukan yang paling potensial dan dapat dikembangkan secara ekonomi, ramah lingkungan dengan emisi polusi yang sangat kecil. Berdasarkan data Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Indonesia memiliki potensi energi panas bumi sebesar 27.000 MW yang



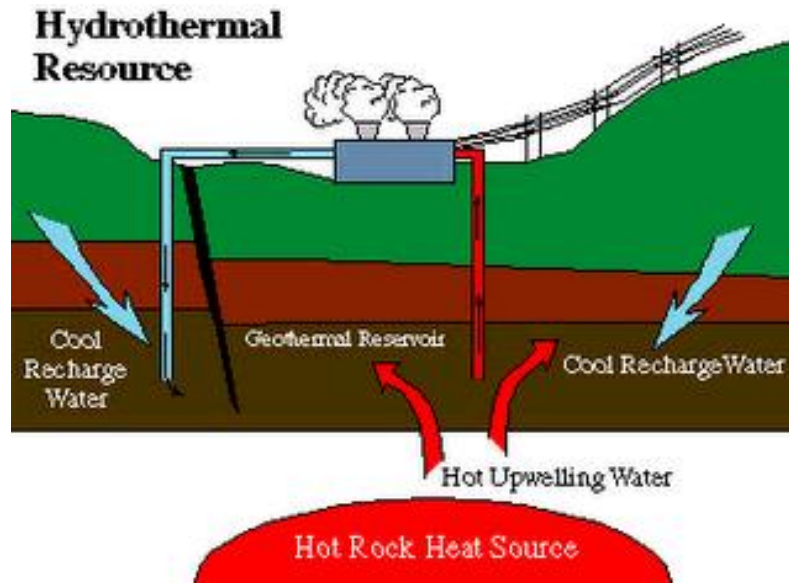
tersebar di 256 lokasi atau mencapai 40% dari cadangan panas bumi dunia. Dengan potensi energi sebesar itu, Indonesia merupakan negara dengan sumber energi panas bumi terbesar di dunia [Suyanto]. Namun, potensi energi panas bumi tersebut baru dimanfaatkan sekitar 4%, sehingga untuk mengatasi krisis energi nasional, pemerintah melalui Perusahaan Listrik Negara (PLN) akan melaksanakan program percepatan pembangunan pembangkit listrik nasional 10.000 MW tahap ke-II yang salah satu prioritas sumber energinya adalah panas bumi (*geothermal*).

Panas bumi merupakan sumber energi panas yang terbentuk secara alami di bagian bawah lapisan permukaan bumi. Sumber energi tersebut berasal dari pemanasan magma terhadap batuan dan air bersama unsur-unsur lain yang terkandung di dalam kerak bumi. Untuk pemanfaatannya perlu dilakukan penambangan berupa eksplorasi dan eksploitasi guna mentransfer energi panas tersebut ke permukaan dalam wujud uap panas, air panas atau campuran uap dan air, serta unsur-unsur lain yang terkandung. Fenomena keberadaan panas bumi umumnya terjadi di lokasi sekitar gunung berapi atau lokasi bekas letusan gunung berapi, seperti di Gunung Kamojang Kabupaten Garut, Gunung Salak Kabupaten Sukabumi, Gunung Wayang Windu di Pangalengan Kabupaten Bandung, serta gunung-gunung berapi di daerah lainnya.

Di Indonesia, secara bertahap energi panas bumi tersebut telah dimanfaatkan sebagai sumber energi pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP). Proses pemanfaatannya dimulai dengan kegiatan eksplorasi di lokasi yang diduga memiliki cadangan panas bumi. Di lokasi yang diyakini terdapat sumber energi panas bumi dalam jumlah besar, kemudian dibangun kilang pengeboran (eksploitasi). Panas bumi yang berwujud uap yang keluar dari sumur pengeboran, selanjutnya dialirkan ke mesin turbin uap untuk dikonversi menjadi energi listrik.

Panas dari inti bumi secara terus-menerus mengalir ke lapisan yang lebih luar sekitar batuan (*rock*), yang dinamakan *mantle*. Ketika temperatur dan tekanan menjadi cukup tinggi, beberapa batuan mencair dan menjadi magma (*mantle rock melts*). Karena mempunyai densiti yang lebih ringan dari batuan sekitar, magma bertambah dan mengalir secara perlahan ke atas menuju lapisan kerak bumi (*earth crust*) yang membawa panas dari bawah. Kadang-kadang magma panas ini menerobos ke permukaan dengan segala cara. Magma tersebut dikenal sebagai *lava*. Namun, yang lebih sering magma tersisa di bawah lapisan kerak bumi memanasi batuan di sekitarnya dan juga air (air hujan yang telah mengendap ke dalam tanah). Sebagian dari air panas bumi ini merambat dan mengalir melalui celah hingga mencapai permukaan tanah, tetapi kebanyakan darinya tetap mengendap di dalam tanah, terperangkap dalam retakan dan pori-pori batuan. Kumpulan alami dari air panas ini dinamakan sebagai reservoir panas bumi (*geothermal reservoir*). Gambar 1. Menampilkan sistem hidrotermal pemanfaatan panas bumi [Nandar].

Ciri-ciri daerah yang memiliki potensi sumber panas bumi diantaranya memiliki sumber air panas dan lubang yang mengeluarkan uap secara konstan. Daerah yang memiliki potensi panas bumi identik dengan daerah pertemuan tiga lempengan geologis, yaitu lempeng Pasifik, lempeng India-Australia dan lempeng Eurasia. Tumbukan yang terjadi antara ketiga lempeng tektonik tersebut telah memberikan peranan yang sangat penting bagi terbentuknya sumber energi panas bumi di Indonesia.



Sumber: Nandar [2].

**Gambar 1.** Sistem hidrothermal panas bumi.

## 2. METODE PENELITIAN

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan berbagai informasi yang berhubungan dengan kinerja turbin uap serta temperatur lingkungan yang ada disekitar PLTP. Pengumpulan data dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

- Metode pengamatan;
- Metode dokumentasi;
- Metode wawancara.

### Metode Pengamatan

Metode pengamatan dilakukan untuk mendapatkan data-data fisik yang berkaitan dengan sarana dan fasilitas pembangkit energi panas bumi di PT. Pertamina Geothermal Energi (PGE) Area Kamojang. Pengamatan dimulai dari *steam supply* (pasokan uap) hingga mesin turbin yang mengonversi energi panas bumi menjadi energi listrik dan *cooling water system* (sistem pendingin air).

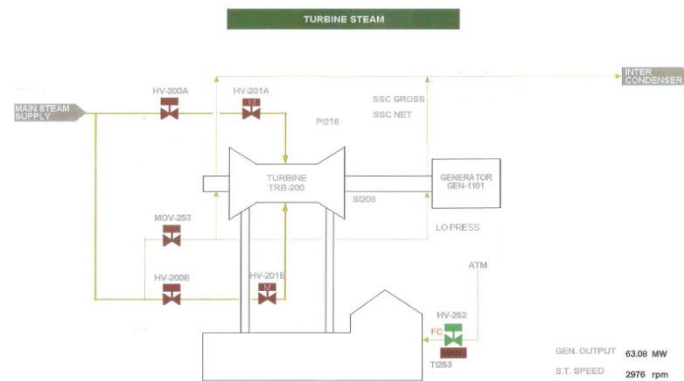
### Metode Dokumentasi

Metode dokumentasi dilakukan untuk menghimpun semua data empirik yang diperlukan dalam penelitian, yaitu:

Survei lapangan untuk mendapatkan data tentang:

- Laju aliran uap;
- Tekanan masuk turbin;
- Temperatur masuk turbin;
- Tekanan keluar turbin;
- Temperatur keluar turbin;
- Energi listrik yang dihasilkan generator;
- Efisiensi generator;
- Temperatur lingkungan.

Skema komponen turbin tempat pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Data-data turbin uap

### Metode Analisis Data

Metode analisis adalah mengolah data hasil penelitian sehingga mendapatkan nilai efisiensi mesin turbin meliputi:

- a) Menentukan daya turbin ideal. Dengan menggunakan data temperatur dan tekanan uap yang masuk dan keluar turbin dapat ditentukan nilai entalpi uap air masuk ( $h_1$ ) dan uap air keluar turbin diperkirakan dengan asumsi sistem turbin ideal ( $h_{2,s}$ ). Sehingga daya turbin ideal dinyatakan dalam persamaan (1).

$$W_{T,s} = m_{uap} \cdot (h_1 - h_{2,s}) \quad (1)$$

- b) Menentukan daya turbin sebenarnya. Penentuan daya turbin sebenarnya dilakukan berdasarkan besarnya daya listrik yang dihasilkan generator listrik dengan memberikan asumsi nilai efisiensi generator ( $\eta_g = 90\%$ ). Sehingga daya turbin aktual dinyatakan seperti dalam persamaan (2).

$$\dot{W}_t = W_g / \eta_g \quad (2)$$

- c) Menghitung efisiensi turbin. Dari kedua analisis data diatas maka efisiensi turbin uap dinyatakan dalam persamaan (3).

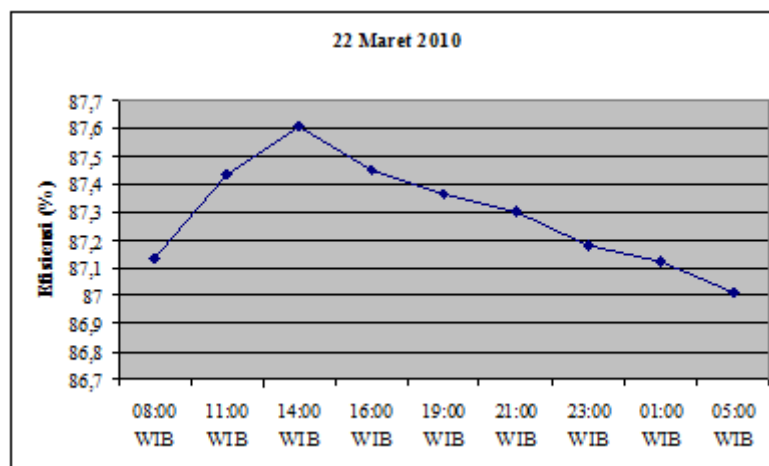
$$\varepsilon_T = \frac{W_T}{W_{T,s}} \quad (3)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data lapangan yang disertai temperatur lingkungan serta perhitungan efisiensi turbin pada tanggal 22 Maret 2010 dari jam 08.00 – 05.00 keesokan harinya diperlihatkan pada Tabel 1 dan pada Gambar 3 ditampilkan perubahan nilai efisiensi turbin uap berdasarkan waktu pengambilan data.

Tabel 1. Perhitungan efisiensi turbin geothermal Tanggal: 22 Maret 2010

No.	Jam	h1	h2s	h1-h2	ηt	T.Lngkngn
1	08:00	2788,835175	2094,948403	604,6196291	87,13520032	18,3
2	11:00	2787,925935	2102,694904	599,1291354	87,43461812	21,4
3	14:00	2787,609822	2104,544558	598,4264012	87,60896400	21,6
4	16:00	2787,919958	2103,720687	598,3363616	87,45059907	25,4
5	19:00	2788,363254	2100,850015	600,6571025	87,36662350	24,8
6	21:00	2788,472498	2099,651841	601,3456129	87,30075198	19,5
7	23:00	2788,928106	2096,040187	604,0729587	87,18191523	18,6
8	01:00	2788,605445	2095,888840	603,5114663	87,12241937	17,4
9	05:00	2790,579311	2091,130885	608,6156205	87,01365219	16,8

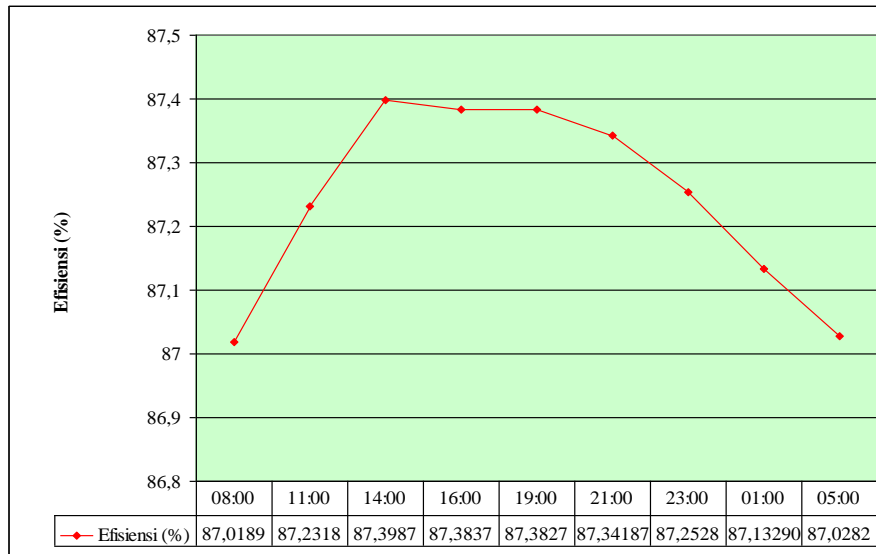


Gambar 3. Nilai efisiensi berdasarkan waktu pengukuran.

Tabel 2. Rata-rata efisiensi turbin berdasarkan perbedaan waktu

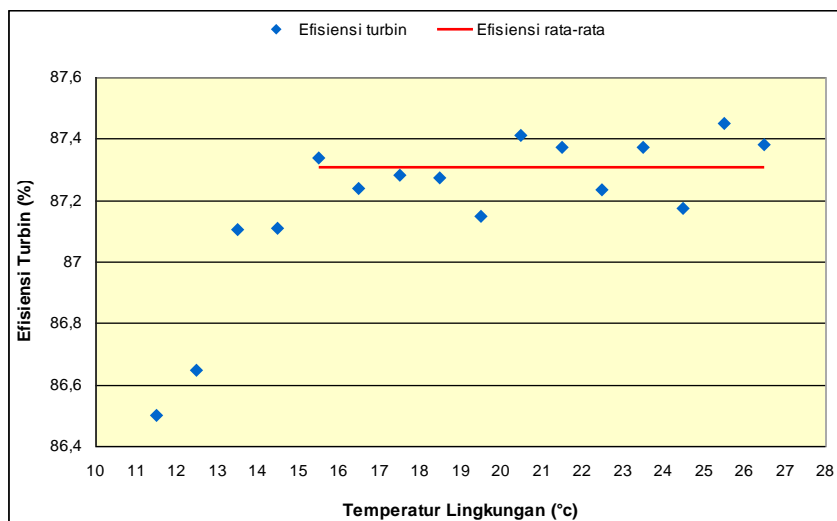
Jam	Rata-rata efisiensi turbin (%)	Jam	Rata-rata efisiensi turbin (%)
08:00	87,02	21:00	87,34
11:00	87,23	23:00	87,25
14:00	87,40	01:00	87,13
16:00	87,38	05:00	87,02
19:00	87,38	-	-

Pengambilan dan pengolahan data dilakukan berulang kali sehingga data rata-rata untuk efisiensi serta waktu pengukuran ditampilkan seperti pada Tabel 2 dan Gambar 4.



Gambar 4. Grafik rata-rata efisiensi turbin berdasarkan perbedaan waktu.

Dari kumpulan data lapangan serta perhitungan dapat digambarkan hubungan antara nilai efisiensi serta temperatur lingkungan seperti diperlihatkan pada Gambar 5 . Tampak bahwa efisiensi turbin mendekati stabil pada rentang temperatur lingkungan 16 – 27 °C. Temperatur lingkungan yang sangat rendah membuat efisiensi turbin menurun.



Gambar 5. Efisiensi turbin uap terhadap temperatur lingkungan pada PLTP.

#### 4. KESIMPULAN

Efisiensi turbin konversi panas bumi menunjukkan perbedaan nilai sejalan dengan perputaran waktu pagi hari, siang, sore dan malam hari. Efisiensi paling kecil terjadi pada pagi hari pukul 08:00 yaitu rata-rata 87,02 persen, sedangkan efisiensi paling besar terjadi pada tengah hari pukul 14:00 yaitu rata-rata 87,40%.

Temperatur lingkungan mempengaruhi besarnya efisiensi turbin konversi panas bumi. Efisiensi turbin pada temperatur lingkungan di bawah 15,5°C lebih rendah dibanding efisiensi turbin di atas temperatur lingkungan 15,5°C yang menghasilkan nilai efisiensi turbin yang cenderung stabil pada nilai sekitar 87,3 persen. Penurunan

temperatur lingkungan hingga 4 °C (dari 15,5 hingga 11,5 °C) membuat efisiensi turbin rata-rata berkurang hingga 0,8 %.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

Hutauruk Gilbert, 2008, *Pembangkit Listrik Panasbumi (1)*, <http://www.pertamina.com>.

M.J. Moran dan H.N. Shapiro, *Termodinamika Teknik Jilid 2*, Edisi 4, Terjemahan Y.S. Nugroho dan A. Surjosatyo, Erlangga, Jakarta, 2004.

Nandar Cuk Supriadi Ali, *Negeri Terkaya Energi Panas Bumi*, Pusat Teknologi Industri Manufaktur (PTIM), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Jakarta, 2009.

Suyanto, 2009, *Cadangan Panas Bumi di Indonesia Dapat Menghasilkan 27.000 Megawatt*, <http://www.bppt.go.id>.

## STUDI EKSPERIMENTAL PADA TURBIN AIR ALIRAN LINTANG YANG MENGGUNAKAN SUDU HELIKAL DENGAN PENAMPANG AIRFOIL

Dyos Santoso<sup>1\*</sup>, Joni Yanto<sup>2</sup> dan Marwani<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya Km.32, Inderalaya

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya Km.32, Inderalaya

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya Km.32, Inderalaya

\*Koresponensi Pembicara. Phone: +62 711 580272, Fax: +62 711 580272  
Email: dyos\_santoso@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Pengujian performansi di lapangan terhadap turbin hidrolis telah dilaksanakan untuk mengkaji hubungan antara daya-kecepatan dalam rangka mengidentifikasi titik operasi puncak dari turbin tersebut. Hubungan ke dua parameter ini sangatlah penting untuk keefisienan pengoperasian suatu turbin hidrolis. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mendemonstrasikan kemampuan untuk mengekstrak daya berguna dari suatu arus air. Sebuah turbin aliran lintang sekala kecil yang menggunakan sudu helical dengan penampang airfoil yang dirancang berdasarkan turbin Gorlov telah dirancang untuk mengekstrak daya dari arus air sungai-sungai kecil atau arus air yang serupa. Produk akhir dari proyek ini adalah sebuah turbin dengan tiga sudu dengan dimensi-dimensi: diameter turbin 300 mm, tinggi/panjang 400 mm, profil sudu-NACA-0020 dengan panjang chord 60 mm, yang dipasang pada rangka penumpu sehingga memungkinkan dipasang dengan mudah pada aliran bebas sungai. Energi kinetik dari aliran arus air yang melewati penampang yang ekuivalen dengan luas penampang prototipe turbin air tersebut adalah 104 W, Dari studi eksperimental pada prototipe diperoleh bahwa besarnya koefisien daya/efisiensi adalah sekitar 17%, memungkinkan kita untuk mengekstraksi 18 W dari arus sungai untuk kecepatan aliran air sebesar 1,2 m/s. Kecepatan putaran turbin pada kondisi itu kira-kira 95 rpm.

**Kata Kunci:** Airfoil, hidrokinetik, sudu helikal, soliditas. turbin air aliran lintang.

### 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia saat ini masih didominasi oleh energi yang berbasis bahan bakar fosil, seperti minyak bumi dan batu bara. Kerugian dari bahan bakar fosil adalah sifatnya yang tidak ramah lingkungan, karena hasil pembakaran bahan bakar fosil adalah CO<sub>2</sub> yang merupakan gas rumah kaca. Selain itu bahan bakar fosil merupakan energi yang tak terbarukan sehingga, jika dieksploitasi terus, maka cadangan bahan bakar fosil akan habis. Oleh karena itu perlu dikembangkan sumber energi alternatif yang dapat menggantikan sumber energi berbasis fosil yang tidak ramah lingkungan dan bersifat terbarukan.

Teknologi energi terbarukan memberikan harapan besar sebagai alternatif yang bebas polusi untuk menggantikan instalasi tenaga berbahan bakar nuklir dan fosil



untuk memenuhi pertumbuhan kebutuhan energi listrik. Salah satu kategori teknologi energi terbarukan yang sangat menjanjikan adalah hidrokinetik yang menawarkan cara untuk menyediakan energi dari air yang mengalir tanpa memerlukan bendungan (dam) atau atau pengarah sebagaimana pada kebanyakan fasilitas hidroelektrik konvensional.

Potensi tenaga air skala mikrohidro di Indonesia tersebar hampir mencapai 7.500 MW; sementara itu pemanfaatannya baru mencapai 4,5% dari potensi yang ada. Pengembangan teknologi, penerapan dan standarisasi sistem dan komponen mini/mikrohidro perlu terus dilaksanakan untuk memberi kontribusi pada pemenuhan target pemakaian energi baru dan terbarukan sebesar 15% pada tahun 2025 (ARN, 2006-2009). *Blueprint* pengelolaan energi nasional 2005-2025 mengisyaratkan besaran sumber daya energi mini/mokrohidro setara 0,45 GW dengan kapasitas terpasang sebesar 0,206 GW, data tersebut memberikan konsekuensi bahwa peluang pengembangan dan pengelolaan sumber energi air masih terbuka sangat luas.

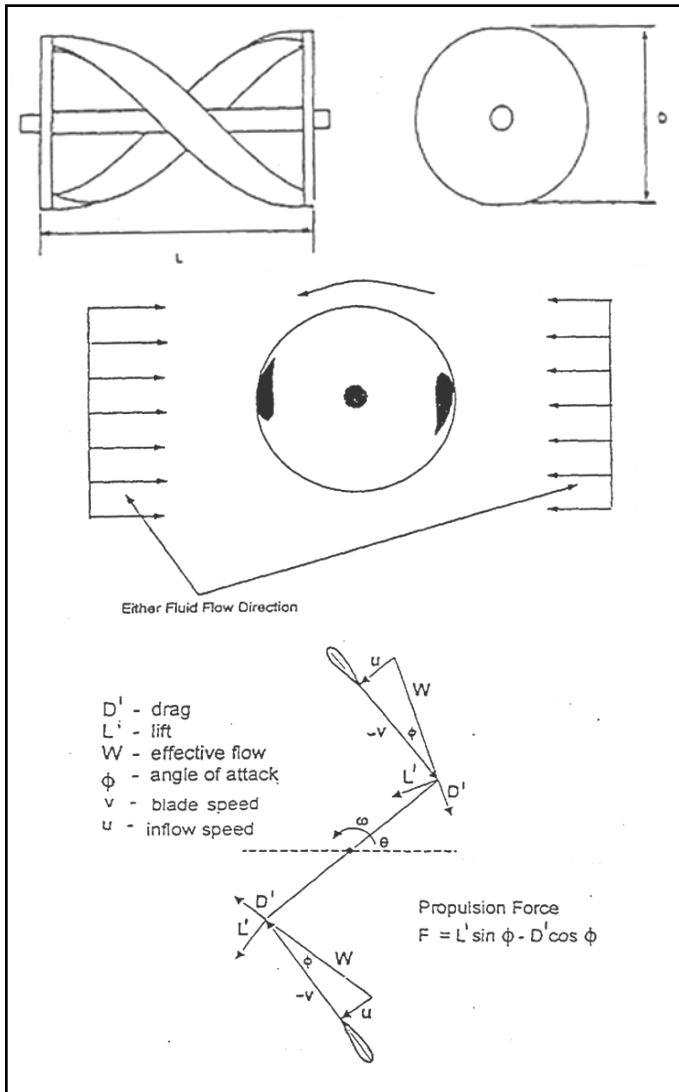
Turbin Arus Air (hidrokinetik) didefinisikan sebagai sistem-sistem yang mengkonversikan energi kinetik dari air yang mengalir menjadi energi mekanis atau energi listrik. Pada umumnya Turbin Arus Air adalah tipe-tipe dari peranti rotor, seperti halnya kincir air. Perbedaan yang mendasar antara eksploitasi turbin head tinggi dan rendah adalah bahwa turbin head rendah harus mempunyai bukaan aliran besar untuk mengalirkan massa air yang besar dengan kecepatan dan tekanan yang rendah, sementara turbin-turbin konvensional dirancang untuk tekanan tinggi dan saluran air relatif kecil.

Pemanfaatan energi aliran air untuk pembangkitan energi listrik adalah salah satu kandidat untuk mempercepat peningkatan penggunaan sumber energi terbarukan. Pengembangan yang terus menerus, efisien, cenderung murah dan ramah lingkungan. Pada aliran *low head* dimanfaatkan turbin *helical* bersudu tiga yang dapat juga didayagunakan pada arus pasang surut. Turbin tersebut dapat membangkitkan multi megawatt dari arus pasang surut namun juga dapat membangkitkan dalam skala beberapa kilo Watt (Gorlov, 2001).

Turbin Helikal terdiri dari satu atau lebih sudu helikal panjang yang menyusuri permukaan silindris imajiner seperti ulir sekrup (Gambar 1.1). Sudu-sudu airfoil helikal memberikan gaya reaksi yang dapat menariknya lebih cepat dari aliran fluida itu sendiri. Kecepatan tinggi tanpa adanya vibrasi dari turbin helikal pada aliran fluida yang relatif lambat merupakan kunci terhadap efisiensinya yang baik.

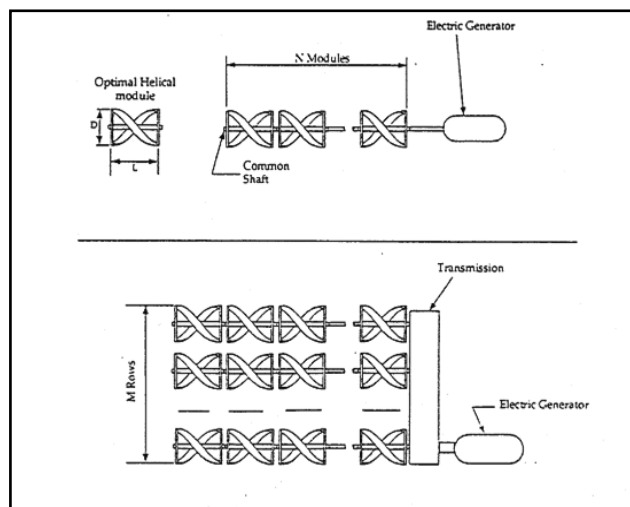
Pada turbin helikal dimungkinkan untuk melakukan pengurangan diameternya sementara secara simultan dilakukan penambahan panjangnya tanpa adanya peningkatan kerugian daya. Hal ini merupakan sifat-sifat turbin helikal yang menarik dan menguntungkan yang dapat mempengaruhi pendekatan tradisional terhadap perancangan suatu pembangkit untuk rumah tangga. Setiap turbin gas atau turbin hidrolis kecepatan tinggi mempunyai batasan kuat yang berhubungan dengan output daya maksimum. Karena kecepatan linier mencapai nilai maksimumnya pada keliling luar roda gerak turbin, jelaslah bahwa sebagian besar torsi dibangkitkan oleh bagian turbin yang terjauh dari pusat rotasinya. Hal ini adalah salah satu alasan mengapa para ahli mencoba merancang turbin-turbin diameter maksimum dengan sejumlah sudu-sudu pendek yang diletakkan disepanjang batas luar dari roda gerak.

Sesungguhnya, bila suatu modul turbin helikal dirancang dengan airfoil optimal dan dengan  $\omega$ ,  $D$ , dan  $L$  yang optimal, sistem tenaga secara keseluruhan dapat dirakit dari modul-modul yang demikian itu dengan salah satu cara yang diperlihatkan pada Gambar 1.2.



Sumber: <http://gcktechnology.org/Final Technical Report>

**Gambar 1.1.** Mekanisme kerja turbin helikal



**Gambar 1.2.** Berbagai rakitan turbin helikal

Turbin Gorlov mempunyai efisiensi yang paling tinggi dan paling konstan pada kecepatan arus air (head) rendah dibandingkan dengan tipe turbin lainnya, yaitu sebesar 35% dengan *Tip Speed Ratio* (TSR) 2 – 2,2 (The Gorlov Turbine, 1997).

Aplikasi turbin Gorlov dipilih untuk diteliti berdasarkan beberapa pertimbangan; tidak semua aliran air memiliki head yang tinggi, sungai-sungai pada daerah hilir walaupun dengan head rendah tetapi memiliki debit besar yang sangat berpotensi untuk dimanfaatkan, struktur fisik turbin ini tidak memerlukan rancangan dan pekerjaan sipil yang rumit, serapan teknologi pada masyarakat lebih aplikatif.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mendemonstrasikan kemampuan turbin air dengan sudu helikal (turbin Gorlov) dalam mengekstrak daya berguna dari suatu arus air. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental pada model turbin tersebut antara lain untuk mendapatkan korelasi antara daya mekanis yang dihasilkan dan efisiensi (koefisien daya) turbin tersebut dengan kecepatan arus air dan rasio kecepatan keliling (tip speed ratio).

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan dasar dalam merancang dan mengoperasikan turbin air dengan sudu helikal berukuran besar untuk menggerakkan generator listrik.

Semua kegiatan pengujian dalam penelitian ini dilaksanakan di bendungan Water Vang, Lubuk Linggau Sumatera Selatan. Turbin dipasang di sebelah hilir bendungan untuk memungkinkan pengaturan laju aliran dengan mengatur bukaan katup gerbang (*sluice gate*).

## 2. BAHAN DAN ALAT

### 2.1. Bahan

Perancangan model turbin didasarkan atas pertimbangan material yang banyak tersedia di pasaran dan kemampuan fabrikasi. Proses fabrikasi yang paling sulit adalah pembuatan sudu turbin dengan penampang airfoil yang berbentuk helikal. Untuk itu dalam penelitian ini, sudu turbin dibuat dari pipa PVC dengan diameter nominal DN 300 dan tebal 12 mm. Sedangkan bagian turbin lainnya dibuat dari baja profil yang ada di pasaran.

Profil NACA yang diterapkan pada bentukan airfoil adalah NACA 0020, pertimbangan ini didasarkan pada profil NACA tersebut sering diterapkan juga pada turbin dengan sudu helikal (Gorlov). Selanjutnya dari bentukan NACA yang ada tersebut maka dengan mengacu pada panjang dan diameter yang telah ditetapkan selanjutnya ditentukan besaran-besaran pada *chord blade* turbin. Dari hasil perhitungan, sudut inklinasi diperlukan sebagai sudut peletakan antara sudu turbin yang berjumlah tiga diperoleh sebesar  $\phi = 52^\circ$ .

Dari hasil penetapan dan perhitungan selanjutnya diperoleh dimensi utama turbin secara keseluruhan sebagai berikut:

Diameter turbin, $d$	= 0,3 m
Tinggi turbin, $h$	= 0,4 m
Jumlah sudu, $n$	= 3 buah
Panjang chord, $C$	= 0,06 m
Tebal maksimum profil sudu, $t$	= 0,012 m
Soliditas, $\sigma$	= 0,19
Sudut inklinasi, $\phi$	= $52^\circ$

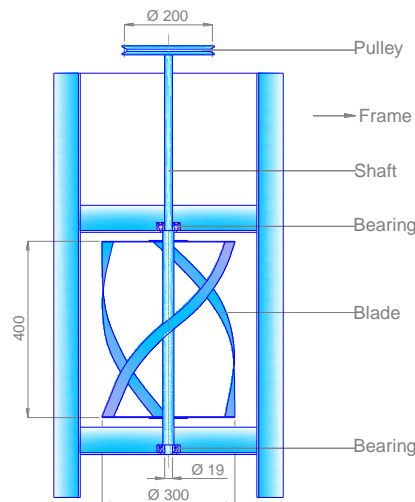
Selanjutnya hasil rancang bangun model turbin air sudu helikal secara keseluruhan diperlihatkan pada Gambar 2.1.

## 2.2. Alat

Variabel yang diamati dalam penelitian ini adalah variabel bebas (*independent variable*) dan variabel terikat (*dependent variable*). Variabel bebas merupakan variabel penelitian yang tidak tergantung atau terpengaruh oleh variabel lain, sedangkan variabel terikat adalah variabel yang tergantung dari atau terpengaruhi oleh variabel lain.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kecepatan aliran air dengan dan tanpa beban, sedangkan variabel terikat yang akan diteliti adalah kecepatan putaran, efisiensi dan *tip speed ratio* dari turbin.

Pengukuran kecepatan aliran dilakukan dengan metode konvensional yaitu dengan mengukur waktu yang diperlukan pada jarak tempuh tertentu dengan *stop watch*. Pengukuran putaran dilakukan dengan menggunakan *tachometer*. Sedangkan pengukuran torsi dilakukan dengan menggunakan prinsip rem kabel/tali (*cable brake principle*).



**Gambar 2.1.** Konstruksi Model Turbin Air Sudu Helikal

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

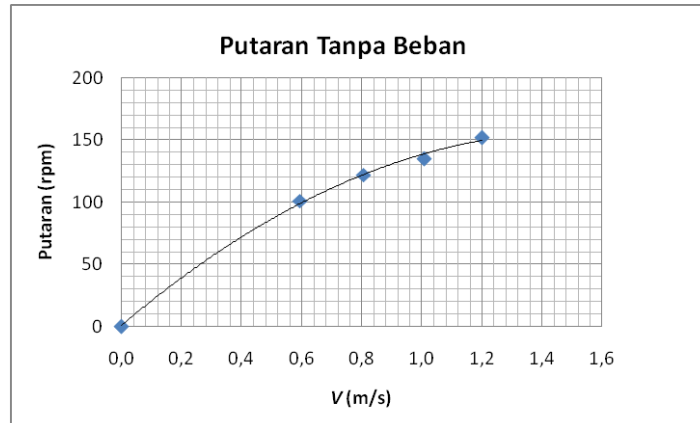
Tiga karakteristik dasar yang telah diukur dan didokumentasikan dalam penelitian ini, yaitu kecepatan aliran, torsi yang dibangkitkan poros turbin dan kecepatan putar turbin. Dari ketiga besaran tersebut, selanjutnya dapat dihitung besarnya daya air, daya turbin, efisiensi (koefisien daya) dan rasio kecepatan (*tip speed ratio*).

### 3.1. Hasil

Pengambilan data pada penelitian ini terdiri dari dua tahap; tahap pertama adalah dengan melakukan pengujian turbin pada kondisi tanpa beban, dan tahap kedua dengan melakukan pengujian berbeban untuk berbagai nilai kecepatan aliran. Pengujian berbeban terbatas pada pengujian mekanis dengan perlakuan penambahan beban.

#### 3.1.1. Pengujian Tanpa Beban

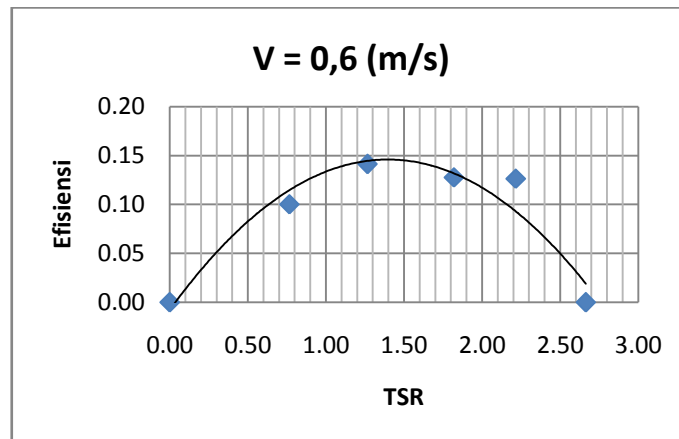
Pengujian ini dilakukan dengan mengamati putaran turbin tanpa beban ( $n_0$ ) melalui piranti alat ukur *tachometer*, untuk empat nilai kecepatan aliran. Hasil pengujian tanpa beban dapat dilihat pada grafik (Gambar 3.1) berikut ini.



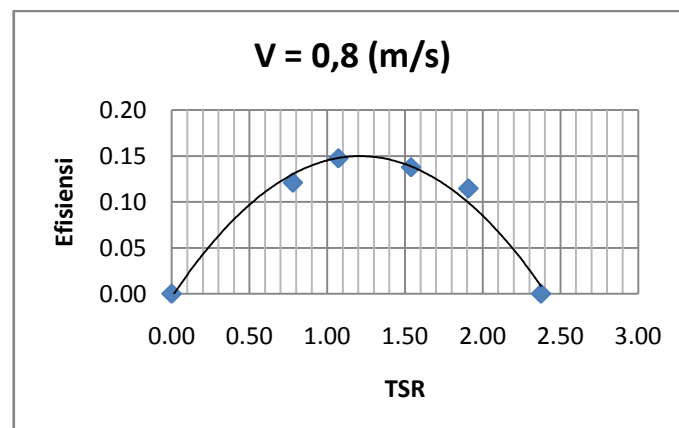
**Gambar 3.1.** Grafik putaran tanpa beban vs kecepatan aliran

### 3.1.2. Pengujian Berbeban

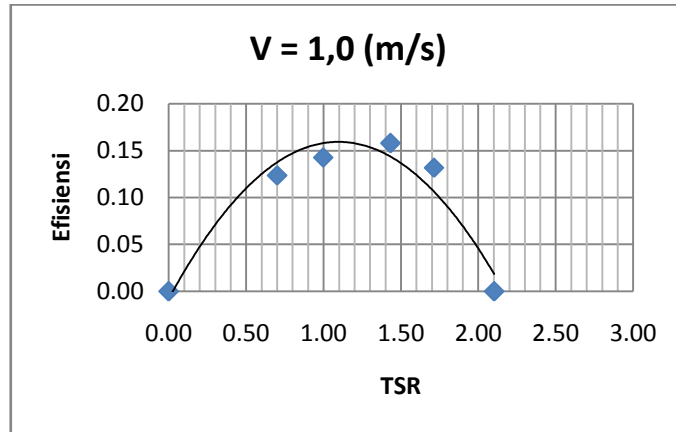
Pengujian berbeban juga dilakukan pada empat nilai kecepatan aliran, yaitu 0,6 m/s, 0,8 m/s, 1,0 m/s dan 1,2 m/s. Hasilnya seperti yang diperlihatkan pada grafik-grafik berikut ini.



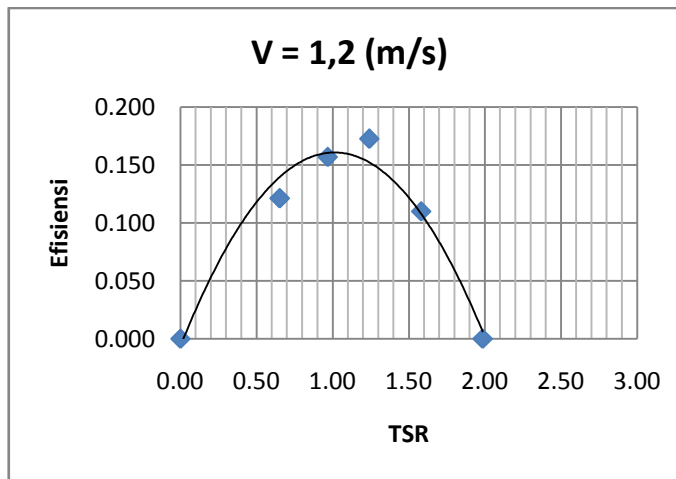
**Gambar 3.2.** Grafik efisiensi vs *TSR* pada  $V = 0,6$  m/s



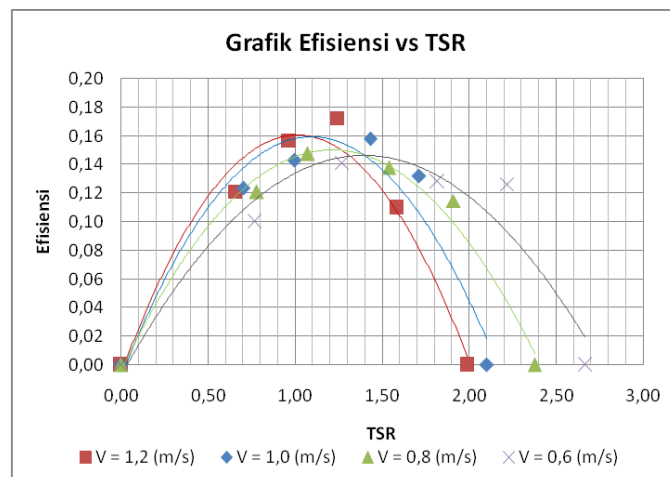
**Gambar 3.3.** Grafik efisiensi vs *TSR* pada  $V = 0,8$  m/s



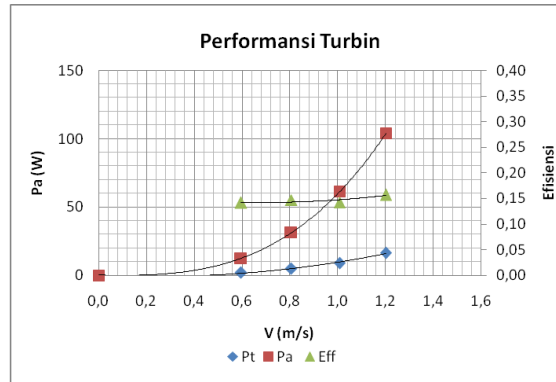
Gambar 3.4. Grafik efisiensi vs *TSR* pada  $V = 1,0$  m/s



Gambar 3.5. Grafik efisiensi vs *TSR* pada  $V = 1,2$  m/s



Gambar 3.6 Grafik efisiensi vs *TSR* untuk berbagai kecepatan aliran



Gambar 3.7. Grafik daya dan efisiensi vs kecepatan aliran

## 3.2. Pembahasan

### 3.2.1. Analisa Pengujian Tanpa Beban

Pada gambar 3.1, dalam pengujian ini dapat kita lihat bahwa kecepatan putaran maksimum adalah 152 rpm pada kecepatan aliran 1,2 m/s. Tampak juga bahwa kecepatan aliran yang semakin besar menghasilkan kecepatan putaran yang semakin besar pula.

### 3.2.2. Analisis Hubungan Efisiensi Turbin dengan *Tip Speed Ratio*

Berdasarkan dari gambar 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, dan 3.6, efisiensi (koefisien daya) turbin optimum pada *tip speed ratio* adalah berkisar antara 0,8-1,2 yang mana semakin meningkatnya kecepatan aliran juga semakin tingginya level efisiensi turbin.

Hasil yang diperoleh pada pengujian model turbin sudu helikal menunjukkan bahwa efisiensi maksimum berkisar 17% pada  $TSR = 1,24$ . Nilai efisiensi ini masih jauh daripada yang dihasilkan oleh turbin Gorlov, yaitu 35%. Demikian pula dengan  $TSR$  dari model ini yang sebesar 1,24 pun masih lebih rendah daripada nilai  $TSR$  turbin Gorlov, yaitu: 2 – 2,2.

Dari Gambar 3.6 dan 3.7, Nampak bahwa efisiensi turbin relatif konstan, tidak terlalu dipengaruhi oleh besarnya kecepatan aliran. Ini merupakan salah satu kelebihan turbin sudu helikal.

### 3.2.3 Analisis Profil Airfoil Sudu Helikal

Profil dan dimensi model turbin sudu helikal yang dirancang belum menghasilkan performansi yang maksimal. Hal ini terutama disebabkan oleh desain profil airfoil belum sempurna. Akurasi dalam pembuatan sudu helikal dengan penampang airfoil merupakan salah satu permasalahan utama dalam rancang bangun turbin ini. Untuk profil airfoil sudu pada turbin helikal, biasanya digunakan profil airfoil yang simetris, yaitu profil dengan dua digit pertama adalah 00. Peneliti telah mencoba untuk menggunakan profil yang tak simetris, hasilnya sangatlah tidak baik bahkan turbin sulit untuk berputar.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1. Kesimpulan

Dari penelitian ini, baik dari sisi rancang bangun maupun pengujian dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Turbin Sudu Helikal terbukti dapat menghasilkan daya mekanik dari energi kinetik arus air.
2. Berdasarkan hasil pengukuran dalam pengujian ini efisiensi turbin baru mencapai



17%, dan daya maksimum yang dihasilkan adalah 17,98 W pada kecepatan aliran air 1,2 m/s.

3. Turbin sudu helikal mempunyai efisiensi yang relatif sangat stabil terhadap variasi kecepatan aliran.
4. Kesempurnaan profil sudu airfoil adalah faktor utama yang menentukan performansi turbin.

#### 4.2. Saran

Dari penelitian ini, banyak kendala yang ditemui baik dalam proses rancang bangun maupun dalam pelaksanaan pengujian di lapangan. Berikut ini beberapa saran yang dapat diberikan antara lain:

1. Untuk mendapatkan turbin dengan performansi yang lebih baik, akurasi dalam pembuatan profil airfoil sudu helikal benar-benar harus diperhatikan, dan sebaiknya digunakan sudu dengan profil airfoil yang simetris.
2. Perlu dilakukan penelitian pada turbin dengan dimensi dan jumlah sudu yang berbeda untuk mencari efisiensi turbin yang lebih baik.
3. Pengukuran performa turbin sebaiknya dilakukan dengan penggunaan perangkat pengukuran yang lebih akurat, seperti *torque meter* elektrik dan *data logger*.

#### 5. REFERENCES

- Antheaume, S., Maitre, T., Achard, J. (2007). A Innovative Modelling Approach to Investigate The Efficiency of Cross Flow Water Turbine Farms, 2<sup>nd</sup> IAHR International Meeting of The Workgroup on Cavitation and Dynamic Problems in Hydraulics Machinery and Systems, Scientific Bulletin of The Politechnica University of Timisoara Transaction on Mechanics, Romania.
- ARN. (2006). Agenda Riset Nasional, Dewan Riset Nasional.
- Bedard R., Epri (Ed). (2005). Tidal in Stream Energy Conversation Devices, <http://www.epri.com/oceanenergy/attachments/streamenergy/reports/004TISECDeviceReportFinal111005.pdf>.
- Betz, A. (1926). Wind Energy and its Extraction trough Wind Mills, German.
- Brenner, W.; Detter, H.; Popovic, G.; Vujanic, A.; Haddad, G.; Delic, N.: "The Measurement of Minimotors and Micromotors Torque-Characteristic Using Miniaturised Cable Brake". Microsystems Technologies Vol. 3, Nr. 2, Feb 1997, pp. 68-71
- DJLPE. (2008). Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi.
- Gorban, N., Gorlov, A.M., Silantyev, A.M, Valentin, M. (2001). Limits of The Turbine Efficiency for Free Fluid Flow Journal of Energy Resources Technology Vol.123: 311-317, diakses: 12 Desember 2008.
- Gorlov, A.M. (1998). Development of The Helical Reaction Hydraulic Turbine, Northeastern University, Boston.
- Gorlov, A.M. (2001). Tidal Energy, Northeastern University, Boston.
- Guittet, Linda, Kusulja, Mile, Maitre, Thierry. (2005). Setting-up of an Experiment to Test Vertical Axis Water Turbines, Laboratoire des Geophysiques et Industriels, Grenoble.
- Hau, Eric. (2005). Wind Turbine (Fundamental, Technology, Applications, Economics) 2<sup>nd</sup> Edition, Springer – Verlag Berlin Heidelberg.
- IMIDAP-DJLPE (2008) Pedoman Teknis Standarisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), DESDM.
- Perpres RI No 5. (2005). Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2005.



- UKN. (2008). Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- The Gorlov Turbine. (1997). Allied Signal Aerospace, Report on independent testing at Michigan University.
- Weimann, P., Muller, G., Senior, J., Review of Current Developments in Low Head and Small Hydropower, diakses 2-6-2009.



## MEMBANGUN PERHUTANAN SOSIAL BERBASIS ENERGI TERBARUKAN TANAMAN BINTARO DI SENTRA PRODUKSI PANGAN

Najib Asmani<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Agribisnis Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya Jl. Raya  
Inderalaya Km.32, Inderalaya

\*Korespondensi Pembicara. Phone: +62 811715025, Fax: +62 711 580662  
Email: [jib\\_mania@yahoo.com](mailto:jib_mania@yahoo.com)

### ABSTRACT

The needs for fossil energy, the renewable energy in future together with the population growth, industrial and economic growth tend to increase. Using it comes from coal, natural gas and oil will increase the green house gas, mainly carbon dioxide to atmosphere, huge amount of emission contributor for global warming. The scarcity of non renewable must be overcome through using variety of renewable energy resources, like sea-mango crop as bio fuel. The fruit of sea-mango never be used then become waste. One hectare sea-mango producing 1.8 ton biodiesel or equal to 10 million rupiahs per year. Besides overcome the energy scarcity and as income resource, developing it will contribute the benefits for environment mainly for absorbing carbon dioxide emission and avoiding the release of emission from the peat land. Planting degraded peat land with timber plantation will avoid emission as much as 460 tons carbon dioxide per hectare. Sea-mango crop could be developed through the social forestry program in the food crop zone. This activity will imply for emission reduction and rice production increasing incentive. The low incentive from paddy farming as reason the farmers change it to be estate crop, as the threat for Indonesian Food Security, mainly for rice.

**Keywords:** Bio Fuel, Food Security, Sea-Mango, Social Forestry.

### 1. PENDAHULUAN

Konsep hutan untuk rakyat dalam bingkai *Social Forestry* atau perhutanan sosial dari segi kepemilikan merupakan hutan rakyat, bukan untuk pemilik kapital. Aktifitas pemanfaatan hutan untuk rakyat dapat merupakan kegiatan agroindustri untuk pengembangan *commercial agroforestry* bukannya *subsistence agroforestry*. Hutan rakyat dapat berada di pekarangan atau ladang (Nugraha dan Istoto, 2007). Fenomena yang ada bahwa pada lahan milik rakyat di kawasan sentra produksi pangan dengan kondisi tingkat kesuburan marjinal banyak yang terbengkalai karena produksi yang diperoleh relatif rendah. Demikian pula pada kawasan hutan produksi yang belum termanfaatkan atau yang berada pada tata ruang hutan tanaman yang dialokasikan untuk tanaman kehidupan dan tanaman unggulan. Juga masih terdapat kawasan lindung yang tidak ada penutupan akibat kebakaran (Asmani, 2011). Pada lahan tersebut dapat dimanfaatkan dengan tanaman yang menghasilkan bio energi atau bahan bakar minyak nabati seperti tanaman bintaro atau *Cerbera odollam* Gaertn atau *sea mango*. Pemanfaatan bioenergi dari tanaman Bintaro berasal dari bijinya yang diambil dari buah yang sudah mengering atau yang jatuh ke tanah. Buahnya

berbentuk bulat dan berwarna hijau pucat sampai kemerahan. Tanaman Bintaro saat ini banyak digunakan untuk penghijauan dan sekaligus sebagai penghias kota. Bintaro berasal dari daerah tropis di Asia, Australia, Madagaskar, dan kepulauan sebelah Barat Samudera Pasifik. Tanaman ini merupakan jenis *mangrove*, biasanya tumbuh di bagian tepi daratan atau hutan rawa pesisir atau di pantai hingga jauh ke darat 800 m di atas permukaan laut, menyebar di daratan terbuka dan tempat yang tidak teratur tergenang air pasang surut (Purwanto *et. al.* 2011). Kebutuhan bahan bakar fosil (BBF) energi yang tidak terbarukan ke depan, seiringan dengan penambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan industri, makin meningkat. Penggunaan BBF yang berasal dari batubara, minyak bumi dan gas alam akan menaikkan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) terutama karbondioksida di atmosfer, sebagai penyumbang emisi terbesar terhadap pemanasan global. Kelangkaan energi harus dapat diatasi melalui pemanfaatan berbagai sumber energi yang bersifat terbarukan.

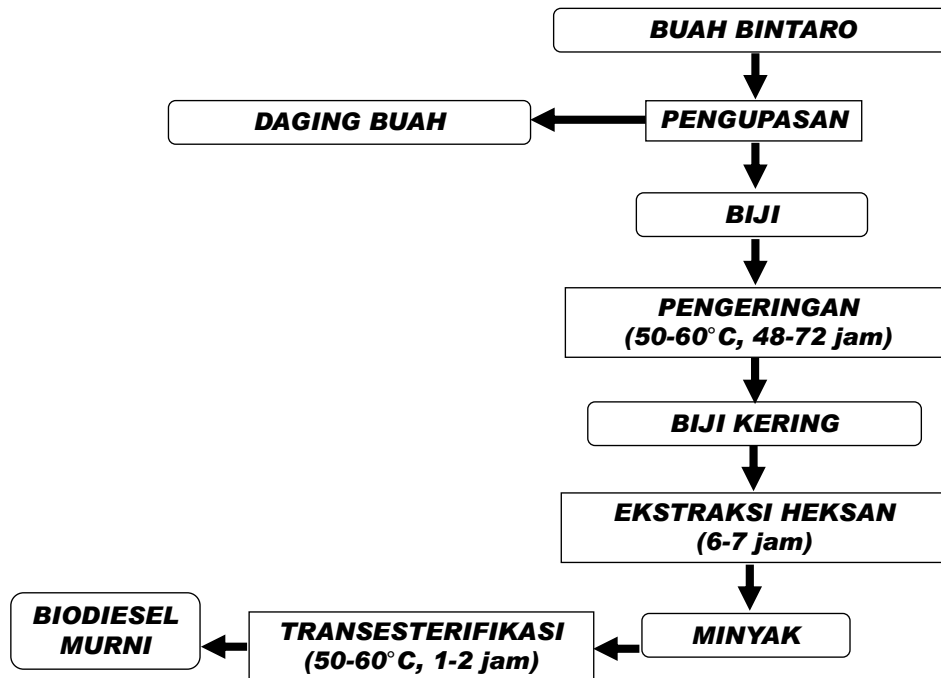
Indonesia tidak terlepas dari dilema pangan, terutama beras yang menjadi makanan pokok. Luas lahan padi pada Tahun 2011 sekitar 12,92 juta hektar dengan produksi sebesar 68,06 juta ton GKG, dan impor beras ditargetkan sekitar 2,00 juta ton. Pertumbuhan luas lahan padi sebesar 2,05 persen sampai Tahun 2014 (Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2011). Di sisi lain, masih terdapat lahan-lahan pertanian yang marjinal tidak bisa dimanfaatkan, dan ada juga yang dialihkan menjadi lahan perkebunan terutama untuk tanaman kelapa sawit (Asmani *et. al.*, 2011).

Penelitian dilakukan bertujuan untuk: Membangun kegiatan perhutanan sosial pada kawasan hutan produksi yang terdegradasi dan kawasan sentra produksi pangan dengan tanaman bintaro yang menghasilkan bio energi; Menganalisis pendapatan petani bila mengusahakan tanaman bintaro yang memproduksi bio energi. Kegunaan dari penelitian adalah untuk mencari energi alternatif melalui bio energi dalam upaya peningkatan pendapatan petani melalui pemanfaatan lahan terdegradasi di kawasan sentra produksi pangan sekitar kawasan hutan produksi.

## 2. BAHAN DAN ALAT

Proses pengolahan bio energi yang menghasilkan bio didsel dari tanaman diperlukan buah bintaro yang sudah masak yang berwarna coklat tua, yang jatuh di bawah pohon. Buah bintaro dikupas dengan parang untuk diambil bijinya dengan mengeluarkan daging buahnya dengan rendemen biji keringnya sebesar 6 persen dari keseluruhan buah, biji Bintaro mengandung 50-70% minyak yang tersusun atas 43% asam oleat, 31% asam palmitat dan 17% asam linoleat, yang mempunyai sifat beracun (*cerebrin*) disamping kandungan asam lemak esensialnya yang sangat rendah (Heyne, 1987). Minyak bintaro skala laboratorium diproses menggunakan metode ekstraksi dengan pelarut dengan menggunakan peralatan soxhlet dan pelarut *n*-heksana. Proses pengeringan biji pada suhu 50<sup>0</sup> sampai 60<sup>0</sup> C selama 48 sampai 72 jam dan kemudian diekstraksi sekitar 6 sampai 8 jam yang menghasilkan bungkil dengan kadar minyak rendah (1 sampai 2 persen), dengan mutu minyak kasar yang dihasilkan relatif baik.

Dari proses ekstraksi minyak bintaro pada skala laboratorium diperoleh rendemen sebesar 56,3% dengan kualitas minyak yang sangat baik. Komposisi asam lemak minyak bintaro didominasi oleh asam lemak oleat, palmitat, linoleat dan stearat. Dari hasil proses ekstraksi diperoleh ampas yang mempunyai nilai kalor cukup tinggi. Hasil uji coba skala laboratorium ini disajikan dalam bentuk neraca massa yang ditunjukkan pada Gambar 1, dan karakteristik minyak biodiesel bintaro seperti Tabel 1 (Purwanto *et. al.*, 2011).



Gambar 1. Proses pengolahan buah bintaro menjadi bio diesel

Tabel 1.

Karakteristik biodiesel bintaro

Parameter	Nilai	Standar Biodiesel Indonesia
Viskositas (cSt, 40°C)	3,55	2,3 - 6,0
Densitas (g/cm <sup>3</sup> , 40°C)	0,894	0,850 - 0,890
Bilangan asam (mg KOH/g)	0,34	Maks. 0,8
Titik asap (mm)	26	Min. 18°C
Titik tuang (°C)	< 0	-15 - 10
Nilai kalor (MJ/kg): -Gross	39,56	38,45 - 41,00
-Nett	39,47	

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Perhutanan Sosial

Target pengembangan kegiatan hutan tanaman industri (HTI) pada kawasan hutan produksi di Sumatera Selatan pada lahan kering dan lahan basah, yakni seluas 1.089.240 hektar. Perencanaan tata ruang HTI dialokasikan 70 persen untuk kegiatan tanaman pokok dan sebesar 5 persen untuk sarana dan prasarana. Sebesar 25 persen selebihnya dicadangkan untuk kegiatan konservasi dan tanaman unggulan masing-masing 10 persen dan 5 persen untuk tanaman kehidupan. Kegiatan konservasi dilakukan pada kawasan yang mempunyai fungsi untuk keberlanjutan ekologis. Tanaman unggulan untuk pengusahaan tanaman tahunan yang mempunyai nilai tinggi, dan tanaman kehidupan yang dapat mebreikan penghasilan cepat. Kegiatan tanaman unggulan alternatifnya dapat dilakukan melalui tanaman bintaro sebagai

penghasil bio energi atau bio diesel yang mempunyai nilai tinggi. Potensi luas lahan tersebut yakni sekitar 100 ribu hektar (Dinas Kehutanan Sumatera Selatan, 2011).

Perusahaan HTI dalam mengembangkan usahanya melibatkan masyarakat sekitar lokasi usahanya melalui kegiatan community based forest management (CBFM) atau corporate social responsibility (CSR) sebagai implementasi dari program perhutanan sosial (Machmud, 2011). Kegiatan perhutanan sosial adalah suatu keadaan dimana masyarakat lokal dilibatkan secara intensif dalam kegiatan pengelolaan hutan. Kegiatan penanaman pohon atau tumbuhan lainnya pada lahan untuk tujuan tertentu, di dalam maupun di luar kawasan hutan dikelola secara intensif dan terintegrasi dengan kegiatan lainnya dengan melibatkan masyarakat, dengan maksud untuk menyediakan barang dan jasa secara luas baik kepada individu penggarap maupun masyarakat (FAO, 1978 dalam Awang, 2000).

Lahan gambut yang terdegradasi bila dilakukan kegiatan silvikultur dapat mencegah pelepasan emisi. Hasil penelitian Asmani *et. al.*, (2011) bahwa pada lahan gambut yang terdegradasi yang ditanami akasia melalui kegiatan HTI dapat mengurangi emisi akibat kebakaran gambut periode degradasi 74,767 ton C atau sebesar 274,39 ton CO<sub>2</sub>. Menurut Jauhanien *et al.* (2004) bahwa lahan gambut pada hutan sekunder yang terbuka dapat mengemisi karbon sebesar 50,954 ton C atau sebesar 187,00 ton CO<sub>2</sub>. Dengan demikian apabila lahan gambut yang terdegradasi bila dilakukan penanaman dapat menyimpan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sekitar 460 ton per hektar.

Reforestasi dengan tanaman bintaro dapat dikembangkan melalui kegiatan perhutanan sosial di sentra produksi pangan. Kegiatan tersebut berdampak bagi penurunan emisi dan insentif agar petani dapat meningkatkan produktivitas pangan, terutama beras. Selanjutnya Purwanto *et. al.*, (2011) menjelaskan bahwa pemanfaatan tanaman sebagai sumber energi terbarukan ini mengacu pada Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tanggal 25 Januari 2006 tentang pengelolaan energi nasional dalam rangka menjamin keamanan pasokan energi dalam negeri serta guna mendukung pembangunan berkelanjutan, dimana target sampai tahun 2025 untuk mengoptimalkan bahan bakar nabati mencapai 5 persen. Instruksi Presiden No. 1 Tahun 2006 bahwa penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati (bio fuel) sebagai bahan bakar alternatif.

### 3.2. Bio Energi Bintaro

Buah bintaro masih belum dimanfaatkan, dibiarkan jatuh berserakan di bawah pohon sebagai sampah. Selain dari mengatasi kelangkaan energi dan sumber pendapatan, pengembangan bintaro memberikan manfaat lingkungan dalam penyerapan emisi karbon dioksida dan mencegah emisi dari lahan gambut. Bintaro tumbuh bebas di lahan-lahan di kawasan hutan tanpa dipelihara, bila diusahakan sebagai tanaman komersial dapat menghasilkan sekitar 2,2 ton minyak mentah atau sebesar 1,8 ton biodiesel atau senilai sekitar 10 juta rupiah per tahun. Analisis produksi disajikan pada Tabel 2.

#### Tabel 2.

Analisis produksi bio diesel dan penerimaan per hektar (*diolah dari Purwanto et. al.*, 2011).

---

Uraian

Keterangan



Umur tanaman bintaro mulai berbuah (tahun)	4,00
Populasi bintaro (pohon/hektar)	400,00
Produksi (buah/pohon/tahun)	800,00
Berat per buah (gram)	250,00
Produksi buah (ton/ha/tahun)	80,00
Berat biji kering (kg/100 kg buah)	5,00
Produksi minyak (kg/10 kg biji kering)	5,50
Produksi minyak (ton/ha/tahun)	2,20
Produksi bio diesel (ton/ha/tahun)	1,80
Penerimaan dengan asumsi harga Rp5.500,00/liter (jutarp/ha/thn)	10.000,00
Pendapatan asumsi biaya produksi 40% (juta rp/ha/tahun)	6.000,00

Harga bahan bakar solar di kawasan pasang surut atau kawasan perairan yang jauh dari pompa bahan bakar resmi mengalami kenaikan sekitar 20 persen dari harga eceran tertinggi, atau sekitar Rp5.500,00 per liter. Dengan perhitungan harga tersebut dan asumsi biaya produksi dari produk bintaro menjadi minyak diesel sebesar 40 persen dari penerimaan, maka pendapatan petani diprediksi sebesar 6 juta rupiah per hektar per tahun. Bila 100 ribu hektar tanaman kehidupan di kawasan HTI ditanam bintaro maka akan terdapat potensi biodiesel sebesar 180 ribu ton per tahun.

### 3.3. Pendapatan Petani di Zona Produksi Pangan

Asmani *et. al.* (2011) melaporkan bahwa pada kawasan produksi pangan dengan tanaman pokok padi luas lahan baku dimiliki oleh petani eks transmigran seluas 2,250 hektar, dan yang tidak dimanfaatkan sekitar 17 persen. Sumber pendapatan sekitar 74 persen berasal dari kegiatan usahatani tanaman padi. Dari kegiatan usahatani yang dilakukan petani masih kekurangan untuk memenuhi kebutuhan keluarga (Tabel 3). Tambahan penghasilan petani diperoleh dari kegiatan sebagai buruh tani dan HTI, dagang dan nelayan. Buah bintaro yang banyak terdapat di bantaran sungai dan kawasan hutan produksi belum dimanfaatkan untuk menjadi sumber nafkah dan bio energi. Rendahnya insentif dari usahatani padi menyebabkan kecenderungan petani untuk mengalihkan lahan padi menjadi lahan perkebunan yang dapat mengancam ketahanan pangan Indonesia terutama beras.

**Tabel 3.**

Luas lahan baku, luas tanam, produksi usahatani, pendapatan dan pengeluaran pada petani contoh di Desa Kerta Mukti dan Desa Srijaya Baru Kecamatan Air Sugihan Kabupaten Ogan Komering Ilir Sumatera Selatan, 2009 (*dalam Asmani et. al., 2011*).

Uraian	Nilai
Luas baku lahan (ha)	2,250
Luas tanaman padi (ha/tahun)	1,560
Luas tanaman jagung (ha/tahun)	0,180
Luas tanaman ubikayu (ha/tahun)	0,125
Lahan kosong (ha/tahun)	0,385
Produksi padi (ton gabah kering giling/ha)	2,850
Produksi jagung (ton pipil kering/ha)	6,670
Produksi ubikayu (ton/ha)	4,800
Pendapatan usahatani per hektar (juta rupiah/tahun)	5.498,690



---

<b>Pendapatan usahatani total (juta rupiah/tahun)</b>	10.255,060
<b>Pengeluaran petani (juta rupiah/tahun)</b>	10.349,000

---

Dari data Tabel 1 dan 2 di atas bahwa pendapatan petani per tahun pada lahan seluas satu hektar bila mengusahakan tanaman bintaro sebesar 6 juta rupiah, lebih besar dari pada mengusahakan kegiatan tanaman pangan dengan pendapatan sebesar sekitar 5,5 juta rupiah. Keunggulan melakukan budidaya tanaman bintaro yakni merupakan tanaman tahunan masa produktif panjang. Tanaman pangan merupakan tanaman semusim yang secara berkala harus dilakukan penanaman kembali setelah panen. Dengan demikian pengusahaan tanaman bintaro dapat menghemat tenaga kerja, yang dibutuhkan pada waktu panen dan pengolahan hasil menjadi bio diesel. Adanya lahan yang tidak optimal dimanfaatkan untuk kegiatan tanaman pangan dan potensi buah bintaro yang belum dimanfaatkan merupakan suatu peluang untuk penambahan pendapatan petani sekaligus penyediaan sumber energi alternatif dari tumbuhan atau bio energi.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Tanaman bintaro merupakan suatu potensi sebagai energi alternatif yang menghasilkan bio diesel yang simultan dengan konservasi hutan untuk memperkaya stok karbon dan meningkatkan kesejahteraan petani. Perlunya inovasi teknologi yang dapat memproses buah bintaro dalam skala yang luas yang efektif dan efisien.

#### 5. REFERENCES

- Asmani, N. 2011. Using The Forest Zone through The Low Carbon Development for The Welfare of People Around The Forest. Paper on "Exploring Research Potentials" International Seminar Cooperation between The Council of Rector of Indonesian State University (CRISU), The Council of University President of Thailand (CUPT) and University of Sriwijaya in Palembang, October 20 - 22, 2011.
- Asmani, N., F. Sjarkowi, R.H. Susanto, K.A. Hanafiah, Soewarso, & C.A. Siregar. 2011. Analisis Nilai Pendaman Karbon dan Manfaat Deforestasi Ekosistem Rawa Gambut Berbasis HTI Berpola SUPK. Disertasi. PPS Unsri. Palembang.
- Awang, S.A. 2000. Hutan Desa: Peluang, Strategi dan Tantangan. Jurnal Hutan Rakyat, Volume 3 (November). Fakultas Kehutanan UGM, Yogyakarta: 19-32.
- Bornia, N., N. Asmani, & M. Hakim. 2011. Analisis Pengembangan Usaha pada Eks Pekerja Penebang Liar di Lokasi Merang REDD Pilot Project (MRPP) Kab. Musi Banyuasin. Seminar Skripsi Jurusan Sosial Ekonomi Pertanian Fakultas Pertanian Unsri. Palembang.
- Dinas Kehutanan Sumatera Selatan. 2011. Program Kerja REDD+ Sumatera Selatan. Makalah pada Sosialisasi Nasional Standarisasi MRV Perubahan Iklim Pusat Penelitian Hutan dan Lingkungan Kementerian Kehutanan RI di Palembang . 15 September 2011.
- Heyne, K. 1987. Tumbuhan Berguna Indonesia Jilid 3. Badan Litbang Kehutanan. Jakarta.

Jauhiainen, J., H. Vasander, A. Jaya, I. Takashi, J. Heikkinen, & P. Martikinen. 2004.

Carbon balance in managed tropical peat in Central Kalimantan Indonesia. In wise

Use of peatlands proceedings of the 12 th International Peat Congress, 06-11.06.2004.

Tenpene. Volume 1, Paivanen, J(ed). International Peat Society, Jyväskylä. Finland. pp. 653-659.

Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 2011. Kebijakan Pangan Indonesia sampai Tahun 2020.

Machmud, E. 2011. Keberadaan HTI Bagi Peningkatan Kesejahteraan Masyarakat dan Konservasi Lingkungan yang Terdegradasi. PT. SBAWI. Palembang.

Nugraha, A. & Y.E. Istoto. 2007. Hutan, Industri dan Kelestarian. Penerbit Warna Aksara. Tangerang.

Purwanto, Y.A., B.I. Setiawan, & K. Sunandar. 2011. Pengembangan Tanaman Bintaro

untuk Pemenuhan Bioenergi sebagai Kegiatan Tanaman Kehidupan HTI. Makalah

pada Seminar dan Lokakarya Nasional HTI sebagai Kegiatan Ekonomi Hijau Kerjasama Unsri, Sinar Mas Forestry dan BP2HP Wilayah V Palembang Tanggal 12 April 2011 di Palembang.

## PEMANFAATAN ALIRAN AIR DARI BUANGAN POMPA TAMBANG DIJADIKAN ENERGI TERBARUKAN DENGAN MIKROHIDRO DI PT BUKIT ASAM (PERSERO) TBK UNIT PERTAMBANGAN TANJUNG ENIM – SUMATERA SELATAN

Munandar Sai Sohar<sup>1</sup>, Danang Sudira<sup>2</sup>, Agus Artadi<sup>3</sup>, Paulus Wendi Saputra<sup>4</sup>

<sup>1</sup>General Manager Unit Pertambangan Tanjung Enim

<sup>2</sup>Senior Manager Pengelolaan Lingkungan dan Penunjang Tambang

<sup>3</sup>Manager Penunjang Tambang

<sup>4</sup>Enginer Tambang

### ABSTRAK

PT. Bukit Asam (Persero) Tbk Tanjung Enim melakukan kegiatan penambangan dengan sistem tambang terbuka (surfice mining), yang menggunakan metode open pit sehingga diperlukan main sump untuk menampung limpasan air dari cathment area. Air didalam main sump tersebut perlu dilakukan pemompaan untuk menjaga elevasi muka air sehingga tidak mengganggu kegiatan penambangan. Air yang dipompakan ditampung dalam Kolam Pengendap Lumpur dan dilakukan pengolahan agar sesuai dengan baku mutu lingkungan sebelum di alirkan ke perairan umum. Debit air yang dipompakan dari main sum TAL saat ini adalah 40 M<sup>3</sup>/menit (2400 M<sup>3</sup>/detik) yang berpotensi untuk digunakan sebagai tenaga penggerak pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH).

Salah satu upaya yang dilakukan PT Bukit Asam (Persero) Tbk untuk konservasi energy adalah menerapkan teknologi mikrohidro (pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak). Tenaga air yang digunakan adalah aliran air dari buangan pompa tambang yang dialirkan melalui 5 jalur pipa HDPE berdiameter 320 mm. Pipa tersebut diposisikan berada diatas kincir air sehingga aliran air dari pipa tersebut jatuh dan menggerakkan kincir tersebut. Putaran kincir air tersebut dihubungkan pada generator dengan menggunakan belt sehingga dihasilkan energy listrik.

Potensi daya yang dihasilkan dari 5 jalur buangan pompa tambang ini adalah  $(9.8 \times 2400 \text{ M}^3/\text{s} \times 1 \text{ m} \times 0.5) = 11.76 \text{ Kw}$ . Saat ini kita baru memanfaatkan 1 jalur buangan pompa tambang yang mampu menghasilkan 2 kw sebagai supply energy listrik untuk kantor lapangan di sekitar PLTMH yang selama ini menggunakan Genset BBM sebagai sumber Energi Listrik. Efisiensi biaya dari penerapan mikrohidro dibandingkan dengan system pembangkit genset BBM adalah Rp 8.200 per kWh.

Diharapkan hasil dari implementasi Mikrohidro di PT. Bukit Asam (Persero) Tbk dapat di jadikan salah satu contoh konservasi energy.

**Kata kunci:** Konservasi Energy, Mikrohidro, PTBA

### 1. PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

PT. Bukit Asam (Persero) Tbk Tanjung Enim melakukan kegiatan penambangan dengan sistem tambang terbuka (surfice mining), yang menggunakan metode open pit

sehingga diperlukan main sump untuk menampung limpasan air dari cathment area. Air didalam main sump tersebut perlu dilakukan pemompaan untuk menjaga elevasi muka air sehingga tidak mengganggu kegiatan penambangan.

Debit air yang dipompakan dari sump utama cukup besar ( $40 \text{ M}^3/\text{Menit}$ ) sehingga berpotensi menghasilkan energy potensial yang dapat diubah menjadi energy listrik melalui kincir air dan generator listrik. Kantor-kantor disekitar area buangan pompa cukup jauh dari jaringan listrik PLN sehingga selama ini menggunakan Genset BBM untuk supply listrik di kantor tersebut. Pemanfaatan air buangan pompa menjadi energy listrik, dapat mensubtitusi sumber energy listrik dari genset BBM sehingga dapat mengefisiensi penggunaan BBM untuk Genset.

Penerapan teknologi Mikrohidro untuk menghasilkan listrik dengan memanfaatkan air buangan pompa tambang merupakan salah satu usaha dari perusahaan dalam konservasi energy yang mampu memberi nilai tambah bagi perusahaan.

## 1.2. Permasalahan

Permasalahan yang terjadi adalah;

- Air buangan pompa yang memiliki potensi energy potensial yang cukup besar belum dimanfaatkan
- Aliran air dari pompa tambang sangat tergantung dengan curah hujan di areal tambang.
- Kantor lapangan yang ada disekitar buangan pompa jauh dari jaringan listrik, sehingga sumber listrik berasal dari Genset BBM.

## 1.3. Tujuan

Penerapan teknologi Mikrohidro di PTBA bertujuan untuk mensupply energy listrik ke kantor lapangan disekitar buangan pompa sehingga dapat meminimalkan penggunaan genset dan sebagai salah satu usaha perusahaan melaksanakan konservasi energy.

## 2. ALAT DAN METODE

### 2.1. Alat

- a. **Kincir Air**, dengan dimensi kincir sebagai berikut :  
Diameter = 50 cm  
Lebar = 30 cm  
Jumlah Sudu = 6 sudu



Gambar 1 : Kincir air

- b. **Pulley Kincir**  
Diameter 30 cm



Gambar 2 : Pulley Kincir

- c. **Pulley Generator**  
Diameter 5 cm



Gambar 3 : Pulley Generator

d. **Generator Listrik**

Voltage : 220 V

Frequency : 50 Hz

Rate Output : 2 kVA

Max Output : 2.4 kVA



Gambar 4 : Generator Listrik

e. **Skate/Ponton**, dengan dimensi

Panjang = 6 meter

Lebar = 1,5 meter

Tinggi = 0,5 meter



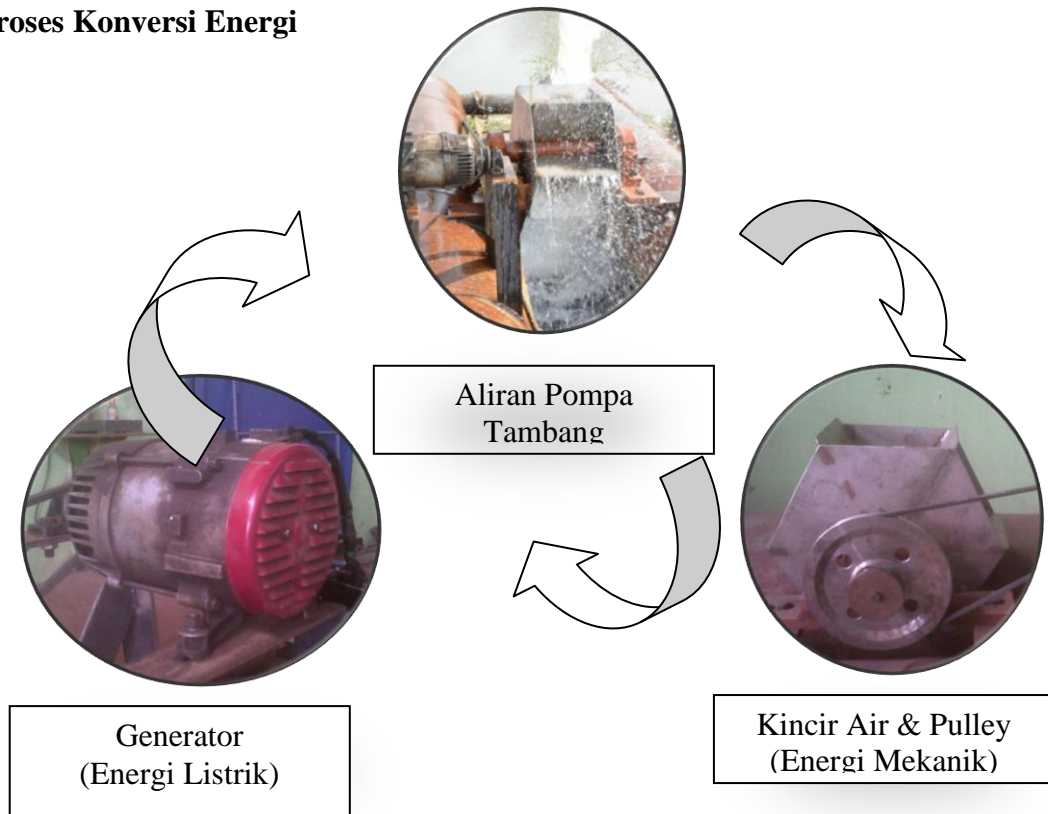
Gambar 5 : Skate/Ponton

## 2.2. Metode

Air buangan pompa diarahkan ke kincir air dengan pola aliran backshot (pitchback), sehingga kincir berputar. Tenaga Putaran kincir diteruskan ke generator listrik melalui dua pulley yang terhubung dengan belt. Pulley pada kincir berdiameter lebih besar dibandingkan pulley pada generator listrik, sehingga kecepatan putaran pulley pada generator lebih cepat dibanding pulley pada kincir. Putaran pulley tersebut memutarakan generator yang mengubah energy mekanik menjadi energy listrik. Siklus konversi energinya adalah Energi Potensial-Energy Mekanik-Energi Listrik.



## Alur Proses Konversi Energi



## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1.1 Perhitungan Teknis

Potensi Daya yang dihasilkan dari instalasi mikrohidro dengan memanfaatkan aliran buangan pompa tambang adalah:

$$P = 9.8 \times Q \times H_n \times \eta \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Q &= 8 \text{ m/menit} \\ &= 480 \text{ m/detik} \\ H_n &= 1 \text{ meter} \\ \eta &= 50\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= 9.8 \times 480 \times 1 \times 0.5 \\ P &= 2352 \text{ Watt} \\ P &= 2,3 \text{ kW} \end{aligned}$$

Secara actual dilapangan daya yang dihasilkan adalah 2000 watt sampai dengan 2300 watt, hal tergantung dari debit pompa tambang dan efisiensi keseluruhan. Daya sebesar ini dimanfaatkan untuk sumber listrik di kantor lapangan yang ada disekitar buangan pompa tersebut sehingga dapat mensubtitusi penggunaan genset bbm yang selama ini dipakai. Tetapi untuk musim kemarau penggunaan Genset BBM tetap diperlukan, karena tidak ada pemompaan sehingga mikrohidro tidak operasi.



Saat ini baru ada 1 dari 5 pipa buangan pompa yang dimanfaatkan sebagai sumber penggerak kincir.



Gambar 6 : Aplikasi Mikrohidro

### 1. Perhitungan Ekonomis

Nilai investasi penerapan teknologi Mikrohidro yang menghasilkan daya 2 kW adalah Rp. 10 juta yang meliputi biaya bahan baku dan installasi. Bahan dan alat yang digunakan sebagaimana merupakan barang bekas (limbah) yang awalnya kurang dimanfaatkan. Umur pakai alat ini diperkirakan sampai dengan 10 Tahun, dengan biaya rawatan pertahun 700 Ribu. Maka, biaya rata-rata (Rp) perhari adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Biaya/Hari} &= \frac{\text{Biaya Investasi} + \text{Biaya Rawatan pertahun}}{\text{Umur Pakai (Tahun)} \times 365} \\ &= \frac{\text{Rp } 10.000.000 + \text{Rp } 7.000.000}{10 \times 365} \\ &= \text{Rp } 4.657/\text{Hari}\end{aligned}$$

Biaya (harga) per kWh ditentukan oleh biaya rata-rata perhari dan besarnya energi listrik yang dihasilkan per hari (kWh/hari). Energi perhari ini ditentukan oleh besarnya daya terpasang serta faktor daya. Jika diasumsikan faktor daya besarnya 18 (jam/hari), maka harga energi listrik per kWh adalah:

$$\begin{aligned}\text{Harga/kWh} &= \text{Biaya perhari} / \text{Daya terpasang (kW)} \times \text{Faktor Daya} \\ &= \text{Rp } 4.657/\text{hari} / 2 \text{ kW} \times 18 \text{ (jam/hari)} \\ &= \text{Rp } 129/\text{kWh}\end{aligned}$$

Perhitungan untuk sumber listrik menggunakan genset BBM dengan asumsi umur pakai alat adalah 5 tahun adalah sebagai berikut:

$$\text{Biaya Investasi Genset 2 Kw} = \text{Rp } 3.000.000$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya /hari} &= \frac{\text{Biaya Investasi} + \text{Biaya Rawatan pertahun}}{\text{Umur alat} \times 365} \\ &= \frac{\text{Rp.5.000.000} + \text{1.000.000}}{5 \text{ th} \times 365} \\ &= \text{Rp 3287/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Operasi per 18 jam} &= 18 \text{ jam} \times 1.26 \text{ Ltr/jam} \times \text{Rp 8000} \\ &= \text{Rp 181.440} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya per kWh} &= \frac{\text{Rp 3287} + \text{Rp 181.440}}{2 \text{ kW} \times 18 \text{ jam}} \\ &= \text{Rp 8.327/kWh} \end{aligned}$$

Efisiensi biaya dari penerapan mikrohidro dibandingkan dengan penggunaan genset BBM adalah: **Rp 8.198 per kWh** (Rp 8.327- Rp 129)

### **Mikrohidro untuk Masyarakat**

PTBA saat ini juga telah menerapkan teknologi mikrohidro ini untuk membantu masyarakat di daerah Semendo Muara Enim untuk menjadi masyarakat mandiri energy. Data-data mikrohidronya adalah sebagai berikut :

- Sungai Meo lebar 8-10 m kedalaman  $\pm$  40 cm debit 0.757 m<sup>3</sup>/detik
- Saluran untuk Mikro Hidro lebar 90 cm tinggi 45 cm debit 0.282 m<sup>3</sup>/detik
- Inlet Mikro Hidro lebar 45 cm tinggi 45 cm debit 0.125 m<sup>3</sup>/detik
- Bak Kontrol panjang 4 m lebar 3 m tinggi 2 m
- Pipa Baja DN. 400 panjang 21 m
- Rumah Turbin panjang 3 m lebar 3 m tinggi 2 m
- Turbin beda tinggi as Turbin dengan Generator  $\pm$  1 m
- Generator daya output 5 KW 220 Volt
- Jaringan Kabel panjang kabel dari Generator ke Perumahan  $\pm$  200 m
- Beda Tinggi Bak Kontrol dengan Turbin  $\pm$  2.5 m

Rincian data pemakaian listrik di daerah Semendo adalah

- 5 Rumah Ustadz : 5 buah lampu XL/rumah, 15 watt/buah, 25 buah x 15 watt = 375 watt
- Masjid : 5 buah lampu XL x 40 watt = 200 watt
- 40 Rumah Santri : 1 buah lampu XL/rumah, 5 watt/buah, 40 x 5 watt = 200 watt
- Penerangan Jalan : 5 buah lampu XL, 15 watt/bush, 5 x 15 watt = 75 watt
- Elektronik :
  - Komputer PC 4 buah = 240 watt
  - Kulkas 5 buah = 400 watt
  - Televisi 32'' 4 buah = 240 watt
  - Seterika 4 buah = 1400 watt
  - Mixer Kue 2 buah = 150 watt
  - Megic jar 3 buah = 1050 watt

### **TOTAL PEMAKAIAN LISTRIK = 4330 WATT**

Foto-foto penerapan teknologi mikrohidro di daerah Semendo adalah sebagai berikut:



Gambar 7. Sungai Meo lebar 8 -10 m kedalaman  $\pm$  40 cm aliran normal



Gambar 8. Saluran lebar 90 cm kedalaman 45 cm Debit =  $0.282 \text{ m}^3/\text{detik}$



Gambar 9. Inlet Mikro hidro lebar 45 cm kedalaman 45 cm Debit =  $0.125 \text{ m}^3/\text{detik}$



Gambar 10. Bak Kontrol Mikro hidro panjang 4 m lebar 3 m tinggi 2 m



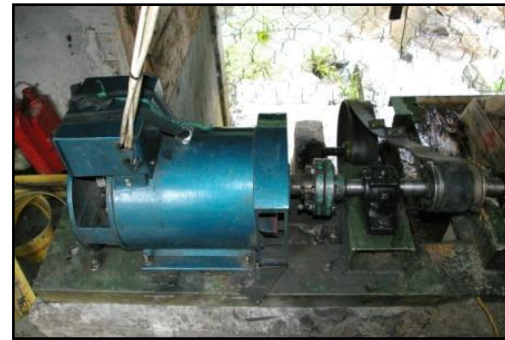
Gambar 11. Pipa Mikro hidro DN. 400



Gambar 12. Rumah Turbin Mikro hidro



Gambar 13. Turbin Mikro hidro beda tinggi as turbin dengan Generator  $\pm$  1 m



Gambar 14. Generator daya output 5 KW





Gambar 15. Jaringan kabel dari Generator menuju Perumahan dan penerangan Jalan



Gambar 16. Jaringan kabel untuk Masjid



Gambar 17. Jaringan kabel untuk perumahan



Gambar 18. Jaringan kabel untuk perumahan

#### 4. KESIMPULAN

1. Penerapan Teknologi Mikrohidro merupakan sumber energy terbarukan yang lebih ramah terhadap lingkungan.
2. Teknologi Mikrohidro secara ekonomis lebih efisien Rp 8.200 per kWh dibandingkan dengan genset BBM.
3. Kantor lapangan disekitar buangan pompa tambang, sumber energy listriknya dapat disubstitusi dari genset BBM menjadi PLT Mikrohidro.
4. Pemanfaatan aliran buangan pompa tambang merupakan salah satu upaya dalam konservasi energy.
5. Penerapan teknologi mikrohidro bisa dijadikan program unggulan CSR untuk mewujudkan masyarakat mandiri energy.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

Bibit Supardi, S.Pd.,MT, "Membangun Desa Mandiri Energi Berbasis PLTMH di Kabupaten Klaten", UGM 2006

Damastuti Anya P., *Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro*, 1997

Puguh Adi Satriyo, "Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro untuk daerah Terpencil", <http://buletinlitbang.dephan.go.id>

Priyanti, "Studi Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dan Pikohidro Aliran Kali Gandong di Kabupaten Magetan", ITS, 2008.

## **RANCANG BANGUN ALAT PENGERING UBI KAYU TIPE RAK DENGAN MEMANFAATKAN ENERGI SURYA**

**Ismail Thamrin, Anton Kharisandi**

Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya

Jl.Raya Palembang-Prabumulih KM.32. Kec. Inderalaya30662 Ogan Ilir

e-mail : [ismailthamrin@plasa.com](mailto:ismailthamrin@plasa.com)

### **ABSTRAK**

Alat pengering energi surya tipe rak adalah salah satu contoh pemanfaatan energi surya yang sangat berguna, namun belum begitu banyak digunakan oleh masyarakat. Dengan menggunakan alat pengering surya tipe ini kita dapat mengeringkan hasil perikanan dan perkebunan tanpa menggunakan bahan bakar fosil, dimana prinsip kerjanya sinar matahari diserap atau ditampung melalui kolektor, panas yang akan dihasilkan dari kolektor dibawa oleh sistem aliran udara menuju ruang plenum atau pengumpul panas dan menuju ruang pengering yang terdiri dari rak-rak. Perancangan alat pengeringan ini bertujuan untuk mengeringkan ubi kayu dari kadar air awal 38 % menjadi  $\pm 14\%$ . Medium pengering adalah udara panas yang dihasilkan melalui kolektor yang menangkap sinar matahari dan dialirkan secara alamiah keruang ruang pengering selanjutnya akan digunakan untuk mengeringkan ubi kayu. Setelah dilakukan penelitian dengan metode eksperimen yakni dengan cara mengamati dan mengukur langsung hal-hal yang dilakukan pada alat pengering tersebut kemudian dilakukan pengolahan serta evaluasi data pengujian. Berdasarkan evaluasi data pengujian didapatkan bahwa laju pengeringan ubi kayu tercepat terjadi pada rak I sebesar 1,89 gram/menit dan terendah sebesar 0,73 gram/menit terjadi pada rak V. efisiensi pengeringan tertinggi sebesar 16,62% pada rak I dan terendah 9,36% pada rak V.

### **1. PENDAHULUAN**

Energi radiasi dari matahari merupakan salah satu bentuk energi alternatif yang dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan guna menggantikan energi yang dihasilkan minyak bumi. Salah satu pemanfaatan dari energi radiasi matahari yang umum digunakan adalah sebagai alat pengering energi surya. Suatu karunia yang besar bahwa Indonesia yang terletak pada khatulistiwa bumi mendapatkan sinar matahari sepanjang tahun. Sehingga bentuk energi yang tak terhabiskan ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan sebagai bentuk energi alternatif.

Alat pengering kolektor surya tipe rak adalah salah satu contoh pemanfaatan energi surya yang sangat berguna, namun belum begitu dikenal oleh masyarakat Indonesia. Dengan menggunakan alat pengering surya tipe ini kita dapat mengeringkan hasil perikanan dan perkebunan tanpa menggunakan bahan bakar fosil, dimana prinsip kerjanya sinar matahari diserap atau ditampung melalui kolektor, panas yang akan dihasilkan dari kolektor dibawa oleh sistem aliran udara menuju ruang plenum atau pengumpul panas dan menuju ruang pengering yang terdiri dari beberapa rak. Dari hasil pengujian terhadap laju pengeringan, efisiensi pengeringan, prosentase

kadar air, kalor penguapan dan kalor radiasi, hasil studi menunjukkan terjadi pengaruh efisiensi pengeringan pada tiap rak pengering.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### a. Alat Pengering Surya

Alat pengering energi surya adalah suatu alat yang mengubah energi surya menjadi energi termal atau panas, sehingga bisa digunakan untuk mengeringkan bahan pangan tanpa menggunakan bahan bakar fosil. Alat pengering energi surya merupakan salah satu cara paling efektif untuk memanfaatkan energi yang dapat diperbaharui. Alat pengering energi surya mengurangi ketergantungan terhadap listrik dan bahan bakar minyak, sehingga mengurangi pencemaran lingkungan. Alat pengering energi surya terdiri dari 4 bagian utama yaitu : kolektor, ruang plenum atau pengumpul panas, ruang pengering, dan ventilasi. Bentuk-bentuk energi yang diperlukan manusia untuk konsumsi langsung adalah kerja, panas, dan listrik.

Pengeringan ubi kayu adalah pengurangan sejumlah air dari ubi kayu, dalam arti kata dapat diambil sebagian atau seluruhnya sehingga air di dalam ubi kayu mencapai jumlah tertentu yang diinginkan.

Kadar air bahan dapat ditentukan berdasarkan bobot basah dan bobot kering. Kedua cara ini memungkinkan untuk menghitung kadar air dalam proses pengeringan.

Adapun prosentase kadar air basis basah dirumuskan sebagai berikut :

$$m = \frac{W_m}{(W_m + W_d)} \times 100\% \quad (1)$$

dimana :

$W_m$  = berat air bahan ( kg )

$W_d$  = berat kering bahan ( kg )

Sedangkan prosentase kadar air basis kering dirumuskan sebagai berikut :

$$m' = W_b - W_d \quad (2)$$

dimana :

$W_b$  = berat bahan awal ( kg )

$W_k$  = berat bahan akhir ( kg )

Dan untuk menghitung berat air yang diuapkan dirumuskan sebagai berikut :

$$W_w = \frac{100(m_0 - m_1)}{(100 - m_0)(100 - m_1)} \times W_d \quad (3)$$

dimana :

$W_w$  = berat air yang diuapkan ( kg )

$m_0$  = kadar air basis basah ( % )

$m_1$  = kadar air akhir ( % )

### b. Efisiensi Pengeringan

Efisiensi pengeringan mempunyai arti penting untuk nilai kualitas kerja dari alat pengering yang dibuat. Kalitas kerja dari pengering surya meliputi aspek konversi energi dan perpindahan massa. Aspek konversi energi ditunjukkan oleh efisiensi kolektor, sedangkan aspek perpindahan massa dinyatakan dengan laju pelepasan massa air dari produk ke udara yang memanasinya. Efisiensi pengeringan dinyatakan sebagai perbandingan kalor yang digunakan untuk penguapan kandungan air dari ubi kayu terhadap energi radiasi surya yang tiba di alat pengering. Kalor yang digunakan untuk pengeringan kandungan air dari ubi kayu dinyatakan

$$Q_e = (m_b - m_k) \times h_{fg} \quad (4)$$

dimana :

$m_b$  = massa ubi kayu yang akan dikeringkan ( kg )

$m_k$  = massa ubi kayu yang sudah dikeringkan ( kg )

$h_{fg}$  = entalpi penguapan pada temperatur rata-rata  
(kJ/kg)

Energi radiasi yang tiba di alat pengering dinyatakan dalam persamaan :

$$Q_{rs} = A \cdot I_r \cdot t \quad (5)$$

dimana :

$A$  = luas pelat kolektor (  $m^2$  )

$I_r$  = intensitas radiasi surya ( Watt/ $m^2$  )

$t$  = selisih antara waktu akhir pengeringan dengan waktu awal pengeringan  
(detik )

Sehingga persamaan efisiensi pengeringan dapat ditulis sebagai berikut :

$$\eta_p = (Q_e / Q_{rs}) \times 100\% \quad (6)$$

### 3. PROSEDUR PENGUJIAN

Lokasi pengujian dilaksanakan pada tempat terbuka di halaman depan. Adapun prosedur pengujiannya sebagai berikut :

- ✓ Menempatkan alat pengering dengan bagian kolektornya menghadap matahari.
- ✓ Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan yaitu thermometer air raksa dan timbangan.
- ✓ Sebelum melakukan pengujian pengeringan , terlebih dahulu diukur massa bahan basah ubi kayu yang akan dikeringkan.
- ✓ Kemudian melakukan pengujian dengan cara meletakkan bahan di rak dalam ruang pengering.
- ✓ Mengukur massa bahan dan mencatat perubahan suhu yang terjadi tiap jamnya, masing – masing pada lingkungan, ruang kolektor dan ruang pengering
- ✓ Pengujian dilakukan sampai tercapai kadar air yang diinginkan yaitu  $\pm 14$  %



Gambar 1. Rangka Alat Pengering Surya





**Gambar 2. Alat Pengering Energi Surya Tipe Rak**

#### **4. INSTRUMENTASI PENGUJIAN**

##### **4.1. Pengukuran Temperatur**

Pengukuran temperatur dilakukan untuk mengetahui temperatur udara masuk kolektor dan ruang pengering. Dalam melakukan pengukuran temperatur ini digunakan tujuh buah thermometer air raksa dengan karakteristik sebagai berikut :

- Jenis alat ukur : Thermometer Air Raksa
- Merk alat ukur : Laborthem
- Range pengukuran : ( 0 – 100 ) ° C

##### **4.2. Pengukuran Berat**

Pengukuran berat dilakukan terhadap ubi kayu setiap selesainya waktu pengeringan. Pengukuran berat ini menggunakan timbangan dengan karakteristik sebagai berikut:

- Jenis alat ukur : Timbangan
- Merk alat ukur : Tanita
- Kapasitas : 5 Kg
- Graduasi : 10 Gram

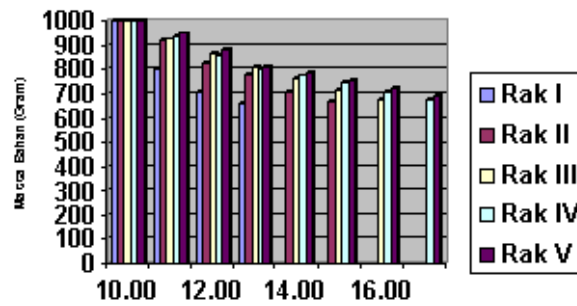
##### **4.3. Pengukuran Radiasi Matahari**

Untuk memperoleh data-data radiasi sinar matahari dapat diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika Stasiun Klimatologi Kenten Palembang.

#### **5. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari data di atas berat mula-mula ubi kayu tiap rak yaitu 1000 gram, karena terdiri dari 5 rak maka massa total yaitu 5000 gram. Pada rak I berat mula-mula 1000 gram setelah pengeringan selama 4 jam, berat bahan akan berkurang menjadi 660 gram. Pada rak II massa mula-mula 1000 gram setelah pengeringan selama 5 jam, berat ubi kayu berkurang menjadi 670 gram, sedangkan pada rak III,IV dan V massa mula-mula 1000 gram setelah pengeringan selama 6 jam pada rak III dan 7 jam pada rak IV dan V , pada rak III dan IV berat ubi kayu berkurang menjadi 675 gram dan 695 gram pada rak V.

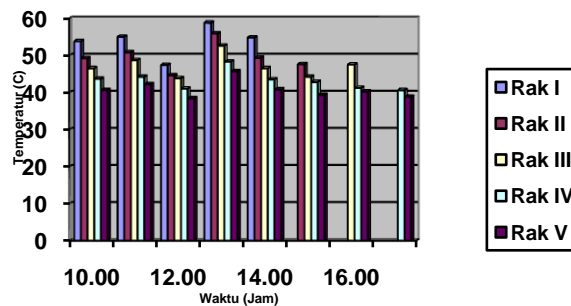
Data hasil pengujian, dan perhitungan berat ubi kayu selama pengujian di atas diplotkan dalam grafik dibawah ini :



**Gambar 3. Grafik massa bahan terhadap waktu**

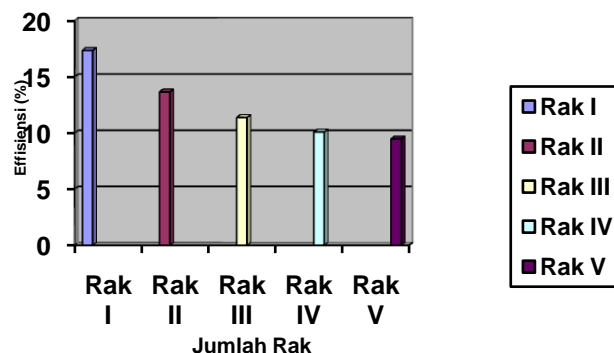
Dari grafik di atas terlihat bahwa berat ubi kayu akan terus menurun seiring dengan lamanya waktu pengeringan. Sehingga yang mula-mulanya berat ubi kayu awal 1000 gram untuk masing-masing rak, akan mencapai kadar air yang diinginkan sebesar  $\pm 14\%$ .

Dari hasil pengujian dan ditabelkan dapat dibuat juga garifik suhu ruang pengering terhadap waktu selama pengujian, yaitu sebagai berikut :



**Gambar 4. Grafik temperatur ruang pengering terhadap waktu**

Dari grafik di atas terlihat pada jam 10.00 pada masing-masing rak, temperatur tertinggi terjadi pada rak 1 sebesar  $53,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  sedangkan temperatur yang paling rendah terjadi pada rak V sebesar  $40,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Temperatur tertinggi sepanjang percobaan sebesar  $58,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan yang terendah  $38,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , masing-masing terjadi pada jam 13.00 dan 12.00. Hal ini terjadi karena pada pukul 13.00 temperatur lingkungan meningkat menjadi  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sedangkan pada pukul 12.00 temperatur lingkungan hanya sebesar  $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dari data dan hasil perhitungan diatas dibuat grafik efisiensi masing-masing rak.



### Gambar 5. Grafik efisiensi masing-masing rak

Dari grafik diatas terlihat bahwa efisiensi tertinggi terdapat pada rak I yaitu sebesar 17,33 % dan yang terendah pada rak V sebesar 9,46 %. Hal ini disebabkan karena semakin keatas temperatur semakin menurun dan kecepatan angin semakin berkurang. Dan efisiensi keseluruhan sebesar 61,87 %.

Kenyataan bahwa pembuatan peralatan pengering ini masih banyak terjadi losses sehingga menurunkan *performance* alat pengering. Losses ini terjadi karena adanya rongga udara antara penyanggah pelat kolektor dengan penyanggah ruang pengering, adanya rongga udara sisi kiri dan kanan kolektor kolektor, serta adanya losses pada penutup transparan dan pintu pada ruang pengering

Secara keseluruhan dari hasil pengujian dan perhitungan terlihat bahwa alat pengering ini cukup baik dalam menyerap energi matahari, tetapi masih ada beberapa kelemahan yang mengakibatkan *performance* alat menurun.

## 6. KESIMPULAN

Dari hasil perencanaan, pembuatan, dan pengujian terhadap alat pengering ini, maka dapat diambil kesimpulan :

1. Alat pengering ini dalam segi penangkapan sinar matahari dapat dikatakan cukup baik.
2. Efisiensi pengeringan tertinggi terjadi pada rak I yaitu sebesar 17,33 % dan yang terendah sebesar 9,46 % yang terjadi pada rak V, dengan efisiensi keseluruhan alat pengering ini yaitu sebesar 61,47 %
3. laju pengeringan akan lebih cepat pada terjadi pada rak I yaitu sebesar 1,89 gram/menit dibandingkan dengan rak lainnya dan yang terendah pada rak V sebesar 0,73 gram/menit

## 7. DAFTAR PUSTAKA

- Bizy, Irwin. Edi Saputra. 2000. *pengeringan produk ubi kayu dengan alat penukar kalor bersirip*. Jurnal Teknik Mesin, inderalaya. FT : Unsri.
- Departemen Teknik Kimia ITB. *Panduan pelaksanaan laboratorium modul 2.02 Pengeringan*, <http://www.che.itb.ac.id>
- Djojodihardjo, H. *Dasar-dasar Termodinamika Teknik*, PT Gramedia, Jakarta, 1985
- Earle, R.L. *Unit operations in food processing*, <http://www.nzifst.org.nz/unitoperation/matleneg.htm>
- Holman, J.P. 1995. *perpindahan kalor*. Jakarta, Erlangga.

## PHOTOVOLTAIC HYBRID SYSTEM IN THE UNIVERSITY OF SRIWIJAYA, SOUTH SUMATRA, INDONESIA

Muhammad Faizal<sup>1</sup>, Adjat Sudradjat<sup>2</sup>, and Dedi Setiabudidaya<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup> Director of RUSNAS Energy, Sriwijaya University, South Sumatra, Indonesia

<sup>2</sup> Energy Technology Centre, BPPT Indonesia

<sup>3</sup> Department of Physics, Sriwijaya University, South Sumatra, Indonesia

\* Corresponding Author. Tel: (+62)711580743, Fax: (+62)711580056, E-mail:

[setiabudidaya@hotmail.com](mailto:setiabudidaya@hotmail.com)

### ABSTRACT

Sriwijaya University makes a research cooperation with the Energy Technology Center, the Agency for the Assessment and Application of Technology (B2TE-BPPT) through RUSNAS program in the field of photovoltaic system technology. In Indonesia, the PV Hybrid System is one of several alternatives which are taken into consideration by the government to become a resolve option in coping with electricity supply problem in rural areas along the Indonesian archipelago. The hybrid power systems integrate renewable energy technologies with diesel generators, batteries and inverters to provide electrical power. The PV hybrid systems has been installed in the University with the capacity of 1 kWp photovoltaic array, 24 kWh VRLA battery bank, 10 kVA Hybrid Power Conditioner (HPC) powering the street light. The system will be extended to 5 kWp PV array and 48 kWh battery bank in the 2011 fiscal year. The preliminary research utilizing the SAM (Solar Advisor Model) software and performance of the system installed will be elaborated in this paper.

**Keywords:** renewable, technology, photovoltaic, hybrid, SAM

### 1. INTRODUCTION

Indonesian energy sector is still heavily dependent on non-renewable energies such as fossil fuels, coal and natural gas as sources of energy. The government policy in long term national energy supply through the Presidential Decree No 5/2006 explained that the target of national energy supply should achieve the optimum energy mix in the year of 2025. The contribution of the energy source into the national energy consumption plan to be oil is less than 20 %, gas is more than 30%, coal becomes more than 33%, biofuel becomes more than 5%, geothermal more than 5%, and the renewable energy especially nuclear, hydro, wind and solar will be more than 5%. Renewable energy sources are quite abundant in Indonesia. These are, bio-ethanol as substitution for gasoline, bio-diesel for diesel oil, geothermal, micro-hydro, wind energy and solar energy to generate electricity.

Viewing the percentage of energy usage which mentioned in the Presidential Decree No 5/2006, the application of photovoltaic system should be about 800 MWp in the year 2025. It means that the number of photovoltaic that should be installed is about 40 MWp per year. At the moment, the installed capacity up to 2008 is about 20 MWp. Therefore, it is going to be a tough challenge for Indonesia to achieve the target. Several actions have to be taken to achieve the target and one of those actions

is increasing the qualified man-power who are working in the field of photovoltaic system technology.

Contributing to these actions the University of Sriwijaya in Palembang, South Sumatra makes a research cooperation with the Energy Technology Center, the Agency for the Assessment and Application of Technology (B2TE-BPPT) through RUSNAS program in the field of photovoltaic system technology. In Indonesia, the PV Hybrid System is one of several alternatives which are taken into consideration by the government to become a resolve option in coping with electricity supply problem in rural areas along the Indonesian archipelago.

It has been common practice throughout rural/remote areas in Indonesia to provide diesel generator for supplying electricity as a power generation is relatively cheap and the time frame to construct power plants is short. Despite these considerations of a capital nature, diesel generator has very poor fuel consumption efficiency at low load and high maintenance costs, furthermore, both fuel and transportation cost is high for remote sites. Examination of the life-cycle costs of hybrid systems, as opposed to conventional diesel generation provides a greater understanding of cost/benefits associated with hybrid power system. Hybrid power systems integrate renewable energy technologies with diesel generators, batteries and inverters to provide electrical power. The PV hybrid systems has been installed in the University with the capacity of 1 kWp photovoltaic array, 24 kWh VRLA battery bank, 10 kVA Hybrid Power Conditioner (HPC) powering the street light.

## 2. INSTALLED SYSTEM

The system was installed in February 2011 comprises of:

- Photovoltaic array with the capacity of 1 kWp, the nominal working voltage is 120 Volt DC.
- The battery as an energy storage with the capacity of 24 kWh.
- 1 Phase Hybrid Power Conditioner (HPC) as a *bi-directional* inverter with automatic control with the capacity of 10 kVA.
- 5 Lamps, 25 watt each and one 150 Watt street light as a loads.

The DSP based one phase Hybrid Power Conditioner (HPC) provides one-phase AC power to loads. The role of the inverter module includes the transfer of power from the photovoltaic array to the load and the importing of power from a diesel generator to charge the battery bank. The battery bank is a back-up power source to meet instantaneous peak loads and supply the load when no diesel generator operation is required. The photovoltaic modules provide power to aid charging the batteries and reduce the load on the diesel generator.

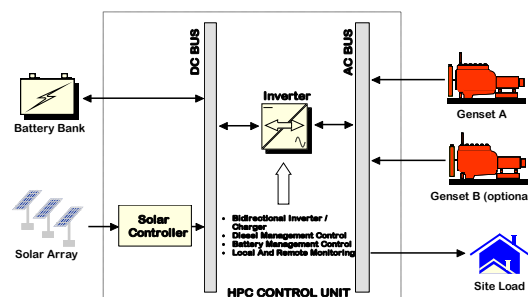


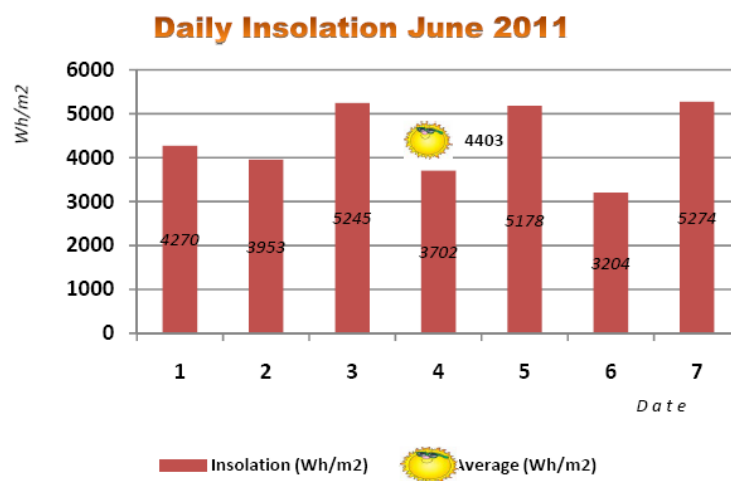
Figure 1 Block Diagram

HPC – Features & Options (see Figure 1)

- Full automatic operation with no break to the supply during transitions from inverter to diesel generator operation.
- No loss of supply on dual diesel generator systems if a diesel generator fails to start as the alternate diesel generator will automatically be selected.
- Diesel generator loading is kept relatively high during its required operating period giving high fuel efficiency and lower overall maintenance.
- Solar resources are fed directly to the site load via the inverter as much as possible.
- Local LCD (liquid crystal display) and keypad for system control, monitoring instantaneous system data, event logs, data logs and changing set points.
- Time and date stamped system data logs and event logs available for importation into a spreadsheet for analysis via a local RS232 connection.
- Remote control and monitoring option available (with local dedicated telephone line).
- Integrated PWM or MPPT solar regulator.

At low load condition when the diesel off-line the battery and photovoltaic output energy operating through inverter, when the load increase to medium load diesel running at optimal loading, and excess diesel generator capacity charge the battery through the HPC. The diesel generator will operate in parallel with inverter when the load came to the peak condition. Inverter converts photovoltaic and battery output energy into AC power. The system completed with the system monitoring and control because comprehensive and uninterrupted monitoring plays an important role. The monitoring system used is SCADA which are measure and record all data parameters and event logs. The data store in internal memory for two years in ten minutes base. The data can be taken anytime locally or by remote system if there is communication line available. Additionally, instantaneous data can be done by the operator on the screen.

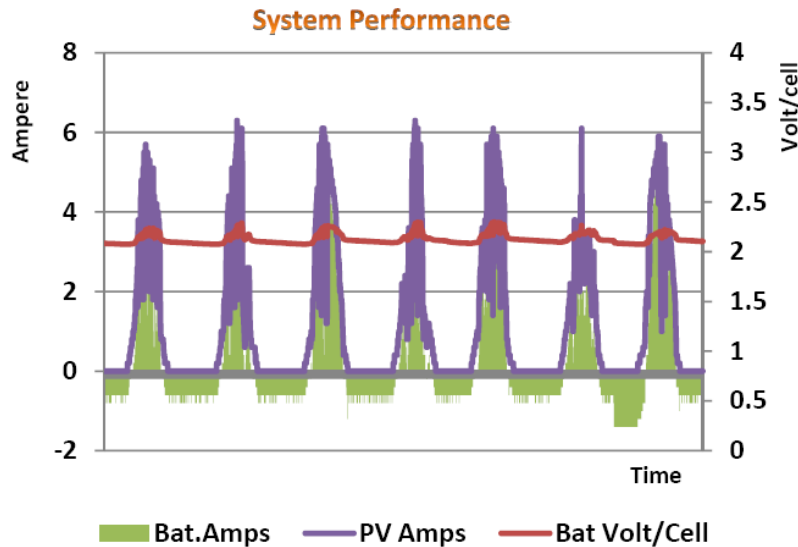
The evaluation of the performance is not done entirely, because the component of diesel generator is not available yet. The incoming solar radiation (insolation) data of 1<sup>st</sup> to 7<sup>th</sup> of June 2011 is on Figure 2. The daily average is 4,403 kWh/m<sup>2</sup> with the highest of the 7<sup>th</sup> is 5,27 kWh/m<sup>2</sup> and the lowest is 3,702 kWh/m<sup>2</sup>.



**Figure 2** Daily Insolation



The performance of the system is shown in Figure 3. The PV energy output is still higher than the load energy consumed, it can be seen that battery voltage is always higher than 2,1 Volt per cell. Currently the load is 5 lamps with power of 25 watt each, and running for 12 hours.



**Figure 3** System Performance

### 3. SOLAR ADVISORY MODEL (SAM)

The Solar Advisor Model (SAM) is a stand-alone software program created in 2006 by a partnership with the National Renewable Energy Laboratory (NREL) and SNL through the DOE Solar Energy Technologies Program. The program can be downloaded at <https://www.nrel.gov/analysis/sam/>. The model is being continuously updated and improved and has an active user community that can be accessed at: <http://groups.google.com/group/sam-user-group>. The version used in this paper is SAM 2010.11.9.

This model is considered a “system” model because it has the ability to model PV system performance, and perform financial analysis. A useful feature in SAM is that it provides access to many different array performance models described below in Table 1. In terms of radiation inputs, the model will accept either beam and diffuse and calculate total radiation, or total and beam and calculate diffuse radiation.

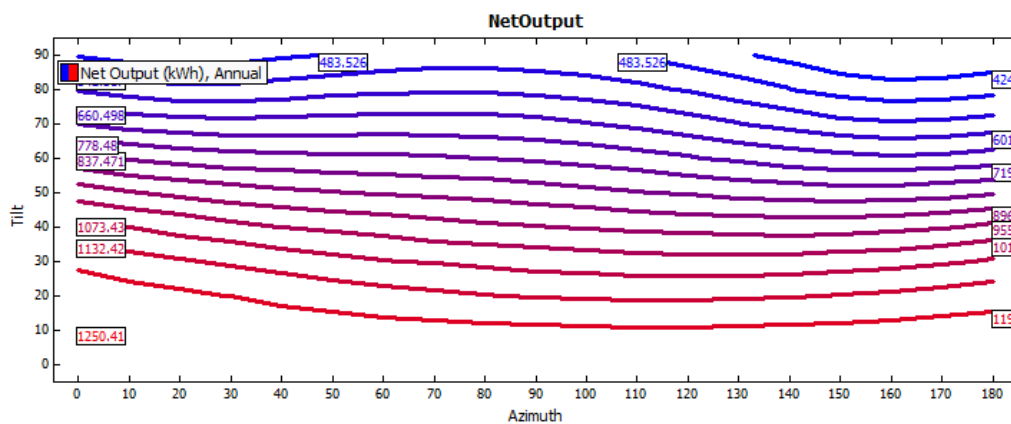
**Table 1.** Algorithm Options in SAM for Solar Radiation, Array and Inverter Performance

Solar Radiation	Array Performance	Inverter
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isotropic Sky</li> <li>• Hay and Davies</li> <li>• Reindl</li> <li>• Perez et al.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sandia PV array performance model (empirical)</li> <li>• 5-parameter performance model (semi-empirical)</li> <li>• PVWatts</li> <li>• Simple-efficiency model</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sandia inverter performance model</li> <li>• Single-point efficiency</li> </ul>

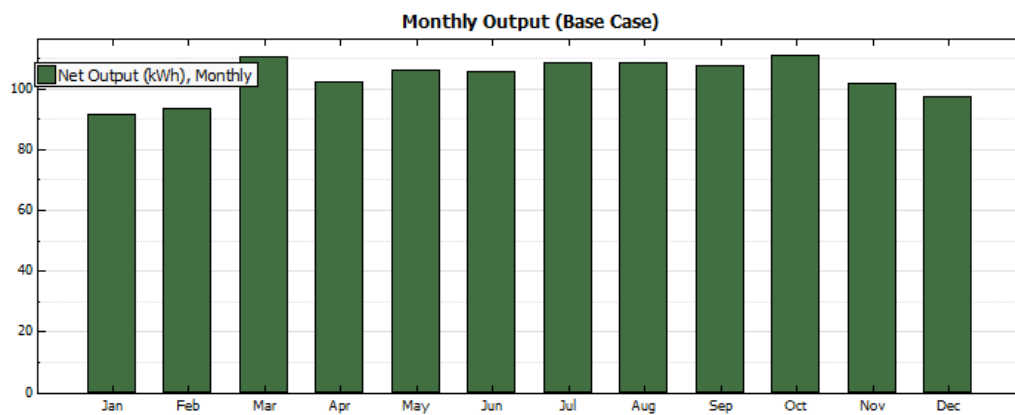


The radiation models in SAM include Isotropic Sky (Liu and Jordan, 1963), Hay and Davies (Davies and Hay, 1980), Reindl (1988) and Perez et al. (1987, 1988). For array performance, Table 1 above shows the four different options. SAM uses the Transient Systems Simulation (TRNSYS) code developed by the Wisconsin Solar Energy Laboratory as the ‘engine’ for implementing the array performance models. For weather and solar insolation, SAM uses TMY2, TMY3, EnergyPlus Weather (EPW) and METEONORM data. Other useful features include the ability to perform sensitivity analysis and optimize against a selected output.

Weather Analytics has kindly provided us with a sample of TMY file for our site. By running the SAM and do some simulations, the output shows some interesting results (see Figure 4 and Figure 5). The azimuth of the array is around  $60^\circ$  E and the tilt is less than  $12^\circ$  (see Figure 6).



**Figure 4** Contour Plot of the Net Output in kWh at the Location ( $2.966^\circ$ S,  $104.688^\circ$ E)



**Figure 5** Histogram of the Monthly Net Output in kWh at the Location ( $2.966^\circ$ S,  $104.688^\circ$ E)



**Figure 6** PV Facility at Sriwijaya University, Indonesia

## 4. CONCLUSION AND DISCUSSION

### Conclusion

- The load energy is still lower than the PV output energy; it needs to be calculated precisely to get the optimum energy balance.
- More data on the calculation of incoming solar radiation are required to compare with the SAM calculation. So we can use the SAM calculation to design PV system in Palembang more precisely.
- The most favorable system is to add the diesel generator into the system.

### Discussion

To complete the efforts of achieving the target of PV Program at the University of Sriwijaya, Indonesia several actions have to be taken such as:

1. Complete the system with adding diesel generator and increase the capacity of PV arrays and storage battery.
2. Utilize the SAM software optimally, because SAM allows users to investigate the impact of variations in physical, cost, and financial parameters to better understand their impact on key figures of merit. The figures of merit of these systems include:
  - System output
  - Peak and annual system efficiency
  - Levelized cost of electricity
  - System capital and operating and maintenance (O&M) costs
  - Hourly system production

## 5. ACKNOWLEDGMENTS

The authors gratefully acknowledge the contribution of the Weather Analytics (<https://www.weatheranalytics.com>) by supplying the sample weather TMY file of the location.

## 6. REFERENCES

- [1] **Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy** *IEA Technology Roadmaps* OECD/IEA 24 June 2010 | ISBN: 9264088047
- [2] **PV Technology and development**, PT SEI Bandung. 2010

- [3] **Rapat Pembahasan Kebijakan Energi Klaster Energi Surya**, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Ditjen Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, 2010.
- [4] **The performance of the first biggest PV-Diesel Hybrid system in Indonesia**, Parlindungan Sihombing and Adjat Sudradjat, World Renewable Energy Congress, Bali 2011.
- [5] **Investigation of Solar Photovoltaic Simulation Softwares**, Mahendra Lalwani and Mool Singh, International Journal of Applied Engineering Research, Dindigul, Volume 1, No 3, 2010, p. 585 – 601, Integrated Publishing Association.
- [6] **World-wide overview of design and simulation tools for hybrid PV systems**, Report IEA-PVPS T11-01:2011
- [7] **Models Used to Assess the Performance of Photovoltaic Systems**, SANDIA REPORT SAND2009-8258 Unlimited Release Printed December 2009.

## STUDI POTENSI ENERGI MATAHARI DALAM PERANCANGAN PERALATAN PELAYUAN DAN PENGERINGAN PUCUK DAUN GAHARU

Irwin Bizzy<sup>1\*</sup>, Muhammad Faisal<sup>2</sup>, Dedi Setiabudidaya<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya  
Km.32, Inderalaya

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya  
Km.32, Inderalaya

<sup>3</sup>Program Studi Fisika, Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya  
Km.32, Inderalaya

\*Korespondensi Pembicara. Phone: +62 711 580272, Fax: +62 711 580272  
Email: irwin\_bizzymt@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Kolektor energi radiasi surya jenis pelat hitam berlubang yang biasa digunakan pada pemanas udara surya tanpa penutup transparan memungkinkan untuk digunakan mengering pucuk daun gaharu. Efisiensi sesaat kolektor bertambah dengan kenaikan kecepatan aliran udara dan peningkatan kapasitas udara panas sebagai fungsi luas absorber dan kecepatan udara yang digunakan. Radiasi matahari yang datang ke permukaan pelat absorber dapat memenuhi standar ASHRAE yang digunakan. Radiasi matahari dapat dimanfaatkan untuk proses pengeringan pucuk daun gaharu yang hanya membutuhkan temperatur di bawah 40 °C. Perancangan peralatan menggunakan absorber berlubang lebih murah dibandingkan memakai kaca transparan.

**Kata Kunci:** absorber, energi, efisiensi, gaharu, surya.

### 1. PENDAHULUAN

Peralatan pemanas surya telah sejak lama ditemukan dan telah banyak dibuat dengan bermacam-macam bentuk. Penerapan secara luas belum berkembang dengan baik, malahan cenderung terjadi kelambatan dikarenakan masih relatif mahal dibandingkan dengan peralatan konvensional dan juga energi surya atau matahari yang tiba dipermukaan bumi selalu berubah-ubah intensitasnya, tergantung waktu dan cuaca.

Konstruksi umum pemanas udara surya terdiri dari pelat absorber, penutup transparan dan saluran udara yang salah satu dindingnya adalah dinding kolektor. Penutup transparan yang biasa digunakan terbuat dari plastik atau kaca. Kaca penutup berfungsi untuk memberikan efek rumah hijau (*green house*), tetapi untuk pemakaian dalam luas yang besar menyebabkan harga pemanas udara surya menjadi sangat mahal. Untuk pemakaian pada temperatur rendah berkisar 40 °C, penghilangan kaca penutup dapat dilakukan dan untuk mengurangi kerugian panas ke udara luar, pelat absorber dilubangi dan udara yang akan dipanaskan dihisap melalui lubang-lubang

tadi. Dengan demikian kehilangan panas konveksi ke bagian atas kolektor dapat dihindari.

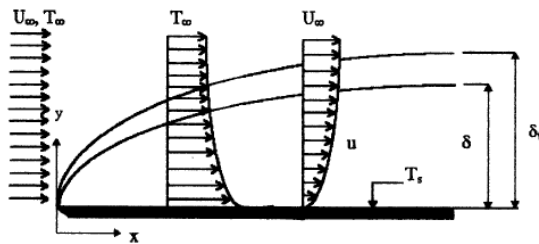
Pemanfaatan pelat absorber berlubang (dengan bentuk permukaan bergelombang) telah dilakukan di Pabrik Teh, Perkebunan Malabar PTP XIII untuk proses pelayuan daun teh. Luas kolektor 560 m<sup>2</sup> dan diameter lubang 1,5 mm. Energi yang dapat diperoleh melalui kolektor surya ini adalah 330,5 GJ per tahun. Proses pelayuan daun teh ini hanya membutuhkan temperatur udara berkisar antara 26 °C hingga 30 °C sehingga kolektor jenis ini dapat digunakan. Pemanas udara dengan bahan bakar masih tetap digunakan sebagai pemanas utama. Penggabungan dengan pemanas udara surya telah memberikan penghematan pertahun sebesar 8,5 persen (Indrayoto:1993).

Kolektor jenis pelat berlubang telah diuji dengan diameter, jumlah, dan susunan lubang absorber berbeda untuk melihat pengaruhnya terhadap efisiensi kolektor pada kecepatan aliran udara yang berbeda-beda (Bizzy: 1996).

Pucuk daun gaharu merupakan salah satu potensi untuk dijadikan teh mengingat pohon gaharu dapat tumbuh dengan baik di daerah tropis. Pucuk daun gaharu ini diambil dari pohon gaharu. Beberapa jenis Pohon Gaharu dan penyebarannya di Indonesia adalah: *Aquilaria malaccensis* (Sumatra dan Kalimantan), *Aquilaria beccariana* (Sumatra dan Kalimantan), *Aquilaria microcarpa* (Sumatra dan Kalimantan), *Aquilaria filaria* (Irian dan Maluku), *Aquilaria cumingiana* (Sulawesi), *Aquilaria tomentosa* (Irian), *Grynops audate* dan *Grynops podocarpus* (Irian), *Grynops versteegii* (Nusa Tenggara, Maluku, Sulawesi, dan Irian), *Wikstoemia androsaemifolia* (Jawa, Kalimantan, Nusa Tenggara, dan Sulawesi).

## 2. LAPISAN BATAS DI ATAS PELAT DATAR DAN BERLUBANG

Teori lapisan batas hidrodinamik dan termal pada pelat datar telah dikenal dan dapat diperoleh pada berbagai pustaka (Schlichting:1979 dan Incropera:1990). Secara skematis lapisan batas hidrodinamik dan termal ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Lapisan batas hidrodinamik dan termal pada pelat datar.

Persamaan tebal lapisan batas hidrodinamik untuk aliran laminar di atas pelat datar telah diselesaikan oleh Blasius sebagai berikut.

$$\delta = \frac{5x}{Re_x^{1/2}} \quad (1)$$

Untuk tebal lapisan batas termal:

$$\delta_t = \frac{\delta}{Pr^{1/3}} \quad (2)$$

Koefisien perpindahan kalor konveksi lokal (Incropera:1990) untuk aliran laminar:

$$h_x = 0,332 \frac{k}{x} Re_x^{1/2} Pr^{1/3} \quad (3)$$

Bila persamaan (1) dan (2) disubstitusikan ke persamaan (3) didapat hubungan antara koefisien perpindahan kalor lokal dan tebal lapisan batas hidrodinamik dan termal:

$$h_x = 1,66 \frac{k}{\delta Pr^{-1/3}} = 1,66 \frac{k}{\delta_t} \quad (4)$$

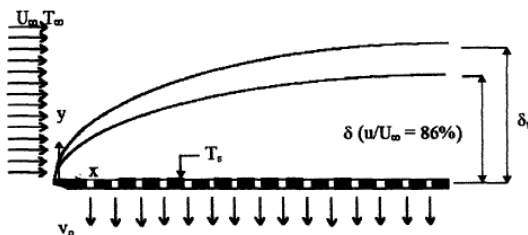
di mana:

- $x$  = jarak dari ujung depan pelat
- $h_x$  = koefisien konveksi lokal
- $\delta$  = tebal lapisan batas hidrodinamik
- $\delta_t$  = tebal lapisan batas termal
- $Pr$  = bilangan Prandtl
- $Re_x$  = bilangan Reynolds lokal
- $k$  = konduktivitas termal fluida

Koefisien perpindahan kalor lokal akan bertambah jika tebal lapisan batas termal berkurang. Untuk mengurangi tebal lapisan batas maka salah satu cara yang dilakukan adalah membuat lubang-lubang pada pelat datar. Pengisapan fluida pada pelat datar berlubang dapat mengurangi tebal lapisan batas yang akan meningkatkan harga koefisien perpindahan kalor konveksi, berarti meningkatkan perpindahan kalor konveksi dari permukaan pelat.

Menurut Schliting (1979) yang telah melakukan analisis untuk kasus pelat berlubang dengan pengisapan kontinu, di mana jumlah udara yang diisap dari arus bebas sangat kecil (gambar 2). Kecepatan aliran fluida pada lubang  $v_o$  dinyatakan sebagai berikut:

$$v_o = (0,0001 \div 0,01)U_\infty \quad (5)$$



Gambar 2. Lapisan batas pada pelat berlubang dengan pengisapan kontinu

Dengan menggunakan asumsi kecepatan pengisapan pengisapan seperti gambar 2, Kutscher (1993) mendapatkan korelasi tebal lapisan batas hidrodinamik dan termal untuk pelat berlubang dengan pengisapan kontinu sebagai berikut:

$$\delta_{86} = 2,0 \frac{v}{v_o}; \Delta_{86} = \frac{\alpha_t}{v_o} = \frac{\delta_{86}}{Pr} \quad (6)$$

di mana:

$\delta_{86}$  = tebal lapisan batas hidrodinamik  $u/U_\infty = 0,86$

Tebal lapisan batas tersebut ternyata konstan sepanjang pelat dan tak bergantung dari jarak maupun kecepatan arus bebas.

Dalam penelitian ini, aliran  $U_{\infty}$  adalah aliran udara bebas (angin) di mana kecepatan maksimum sebesar 3,5 m/s. Sedangkan  $v_o$  adalah kecepatan udara pada lubang pengisapan. Oleh karena pada kasus pemanas udara surya,  $v_o$  berbanding  $U_{\infty}$  lebih besar dari 0,01 maka pendekatan teoritis tidak dapat dilakukan dengan analisis Kutscher.

Penelitian-penelitian pada pemanas udara surya dengan absorber berlubang juga telah pernah dilakukan, diantaranya oleh Kokko (1992) dan Carpenter.

Intensitas radiasi matahari berfluktuasi tergantung waktu dan cuaca. Untuk itu, dalam pengujian kolektor surya ditentukan efisiensi kolektor sesaat. Pedoman yang biasa digunakan adalah standar ASHRAE. Pengertian efisiensi sesaat dari sebuah kolektor yaitu jumlah energi yang dipindahkan oleh fluida persatuan luas kolektor selama periode waktu tertentu dibagi dengan radiasi matahari total yang datang pada kolektor persatuan luas selama periode waktu yang sama. Selanjutnya, efisiensi kolektor dihitung sesaat dilakukan untuk selang waktu 15 menit dan dalam keadaan tunak (Reddy:1986).

Standar ASHRAE biasanya digunakan untuk kolektor pemanas udara surya dengan absorber pelat datar yang dilengkapi dengan kaca penutup, di mana udara berada di antara kaca dan absorber. Persamaan balans energinya (Ginting:1990) dituliskan sebagai berikut:

Energi radiasi matahari tiba pada pelat = peningkatan energi dalam kolektor + kehilangan panas dari kolektor + energi yang diserap udara

$$(\tau\alpha)_e A_c I_c = \rho \dot{m} (c_p)_c \left( \frac{d\bar{T}_p}{dt} \right) + U_L A_c (\bar{T}_p - T_a) + Q_u \quad (7)$$

di mana:

$(\tau\alpha)_e$  = transmisivitas dan absorpsivitas kolektor kolektif

$A_c$  = luas permukaan pelat absorber

$I_c$  = intensitas matahari global

$(c_p)_c$  = kapasitas kalor kolektor

$\bar{T}_p$  = temperatur pelat rata-rata

$T_a$  = temperatur ambien atau udara sekitar

$U_L$  = koefisien rugi-rugi kalor global

$Q_u$  = laju energi yang diserap udara

$\dot{m}$  = laju udara volumetrik

Untuk kondisi tunak, persamaan (7) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$(\tau\alpha)_e A_c I_c = U_L A_c (\bar{T}_p - T_a) + Q_u \quad (8)$$

atau:

$$Q_u = F_R (\tau\alpha)_e A_c I_c - U_L A_c (\bar{T}_p - T_a) \quad (9)$$

di mana:





$F_R$  = faktor perpindahan kalor kolektor

Efisiensi sesaat kolektor adalah:

$$\eta = \frac{Q_u}{I_c A_c} = \frac{F_R \{ (\sigma\alpha)_e A_c I_c - U_L A_c (\bar{T}_p - T_a) \}}{I_c A_c} \quad (10)$$

$$\eta = F_R (\tau\alpha)_e - \left\{ \frac{U_L (\bar{T}_p - T_a)}{I_c} \right\} \quad (11)$$

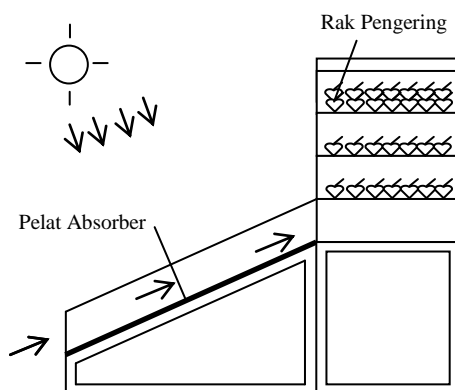
Efisiensi kolektor untuk selang waktu tertentu:

$$\bar{\eta} = \frac{\int_0^t Q_u dt}{\int_0^t I_c A_c dt} \quad (12)$$

Persamaan (12) merupakan persamaan eksperimental dan besarnya ditentukan dari hasil pengukuran.

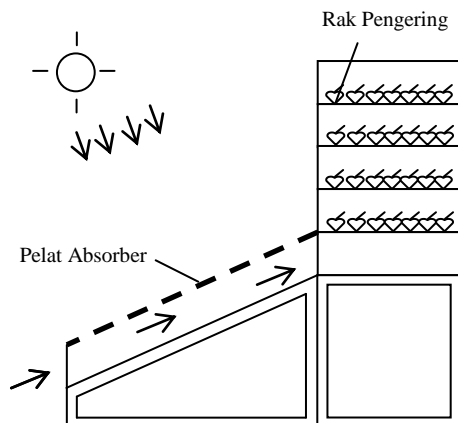
### 3. BAHAN DAN ALAT

#### a. Memakai Kaca Transparan



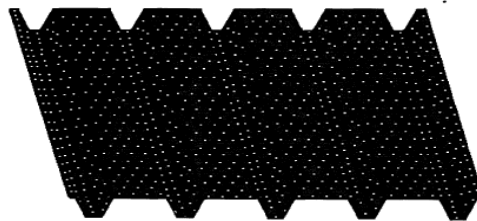
Gambar 3. Peralatan Pengering Memakai Kaca Transparan

#### b. Tanpa Kaca Transparan



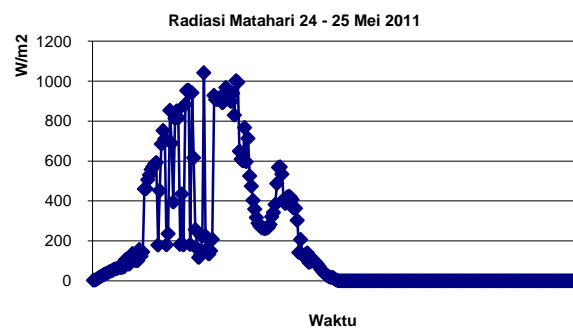
Gambar 3. Peralatan Pengering Tanpa Kaca Transparan

c. Absorber Pelat Berlubang



Gambar 3. Absorber Pelat Berlubang

4. DATA RADIASI YANG TIBA KE PERMUKAAN



Gambar 5. Data Radiasi Matahari dimulai Pukul 05:58 – 05:58 [Rusnas Unsri Inderalaya]

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagaimana diketahui *pressure drop* dari fluida melalui suatu laluan berbanding lurus dengan kuadrat kecepatannya. Fluida yang melewati lubang-lubang yang dekat dengan saluran udara ke luar kolektor akan lebih tinggi kecepatannya dibandingkan dengan kecepatan fluida yang melewati lubang yang letaknya jauh dari saluran ke luar kolektor sehingga *pressure drop* yang ditimbulkan juga berbeda.

Berdasarkan data yang dihasilkan (Bizzy:1996), unjuk kerja dan *pressure drop* keseluruhan sistem terendah adalah kolektor yang memiliki diameter lubang 2,5 mm dan temperatur udara rata-rata yang dapat diserap di bawah 40 °C. Data radiasi matahari rata-rata yang datang ke permukaan cukup berpotensi untuk pengeringan pucuk daun gaharu sesuai standar ASHRAE.

## 6. KESIMPULAN

Potensi energi matahari dan perancangan peralatan pengering pucuk daun gaharu dimungkinkan. Faktor-faktor pendukung sebagai berikut:

1. Radiasi matahari dapat dimanfaatkan untuk proses pengeringan pucuk daun gaharu yang hanya membutuhkan temperatur di bawah 40 °C.
2. Perancangan peralatan menggunakan absorber berlubang lebih murah dibandingkan memakai kaca transparan.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

- Bizzy, Irwin. 1996. Kaji Eksperimental Pemanas Udara Surya Jenis Pelat Berlubang Tanpa Penutup Transparan. Tesis S-2 Jurusan Teknik Mesin. Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- Faisal, M., dan Dedi, S. 2011. Data Pengamatan Radiasi Matahari di Kampus Unsri Inderalaya Tahun 2011. Rusnas Unsri: Inderalaya.
- Garg, H.P. 1982. Treatise on Solar Energy, Fundamentals of Solar Energy. Volume 1. John Wiley & Sons: Chichester.
- Kutcher, F. Charles, Christensen, B. Craig, dan Barker, M. Gregory. 1993. Unglazed Transpired Solar Collector: Heat Loss Theory. ASME: Solar Engineering.
- Schlichting, Hermann. 1979. Boundary Layer Theory. McGraw-Hill Book Company: New York.
- Incropera, P. Frank., Dewitt, P. David. 1990. Introduction to Heat Transfer. John Wiley & Sons: New York.
- Reddy, T.A., Bouix, Ph. (Editor). Solar Thermal Component and System Testing: Proceeding of The Fourth Asian School on Solar Energy Harnessing. 1986. Renewable Energy Resources Information Center (RERIC) Asian Institute of Technology: Bangkok.
- Ginting, Sibuk. 1990. Kaji Eksperimental Berbagai Kolektor Udara Surya dengan Bantuan Data Akusisi. Tesis S-2 Jurusan Teknik Mesin. Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- Indrayoto, Bambang. 1993. Penerapan Pemanas Udara Surya Jenis Pelat Berlubang pada Proses Pelayuan Daun Teh. Tesis S-1 Jurusan Teknik Mesin. Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- Kokko, John P. 1992. Performance of The Next Generation of Solarwalls. Edmonton: SESCI'92 Conference.
- Jasjfi, E. (Penterjemah). Metode Pengukuran Teknik. Penerbit Erlangga: Jakarta.
- Seminar Notes. Solar Collectors for Crop Drying Applications Enermodal Engineering Limited: . Canada.
- Carpenter, Stephen C. Performance of Solar Preheated Ventilation Air Systems. Enermodal Engineering Limited: Waterloo.
- Hollick C, John. Personal Communication. President of Conserval Engineering Inc.: Canada.

## PRODUKSI BIOGAS DARI CAMPURAN MOLASSES DAN LIMBAH SAYURAN

Nonot Soewarno, Ali Altway, Widiyastuti dan Faisal Cahyo Kusuma  
<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh  
Nopember Surabaya, Gedung N, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111  
Korespodensi Pembicara. Phone: +62 811332989  
Email: ltd\_tkits\_sby@yahoo.com

### ABSTRAK

Biogas merupakan sumber energi alternatif pengganti bahan bakar minyak dan sebagai sumber energi yang dapat diperbarui (renewable), dapat diperoleh dari limbah sayuran melalui proses anaerobik. Limbah sayuran merupakan bahan baku pada proses anaerobik karena memiliki kandungan COD yang cukup tinggi kurang lebih 101.000 mg/liter. Proses pembuatan dilakukan di dalam bioreaktor dengan volume 4.500 Liter.

Tujuan penelitian ini untuk memperoleh produksi biogas secara maksimal dari campuran antara molasses dengan limbah sayuran. Karena gas yang dihasilkan kurang maksimal, maka dilakukan tahap-tahap sebagai berikut : komposisi feed yang berbeda, dimana mula-mula feed yang digunakan adalah cairan kotoran sapi 120 liter/hari + molasses 2 liter/hari diencerkan hingga 120 liter selama 15 hari; gula pasir 2 kg/hari diencerkan hingga 120 liter selama 10 hari; molasses 2 liter/hari diencerkan hingga 120 liter selama 18 hari; dan kemudian feed berupa limbah sayuran 3 kg/hari + molasses 2 liter/hari diencerkan hingga 120 liter selama 12 hari.

Dari hasil penelitian diperoleh produksi gas maksimal yaitu 0,4762 m<sup>3</sup>/kg COD removal pada komposisi feed limbah sayuran 3 kg/hari + molasses 2 liter/hari yang diencerkan hingga 120 liter. COD removal maksimum 52,8 %, dan produksi gas maksimum 0,78 m<sup>3</sup>/hari.

**Kata Kunci :** Bioreaktor Anaerob, *Hydraulic Retention Time* (HRT), dan Produksi Gasbio

## I. PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang

Kebutuhan energi dunia terutama yang bersumber pada bahan bakar fosil di dunia semakin meningkat seiring dengan perkembangan peradaban manusia. Meningkatnya kebutuhan tersebut tidak diikuti dengan peningkatan produksi justru yang terjadi sebaliknya, kapasitas produksi minyak nasional terus menerus mengalami penurunan. Impor *crude oil* Indonesia sejak tahun 2002 mengalami peningkatan rata-rata 6% per tahun, sebaliknya ekspor minyak mentah mengalami penurunan 9% tiap tahunnya. Penurunan produksi minyak dikarenakan cadangan minyak pada sumur-sumur yang berproduksi mulai habis.

Untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar minyak dalam negeri, maka diperlukan suatu strategi yang tepat. Pemerintah telah mengambil kebijakan melalui upaya peningkatan program penghematan (*konservasi*) energi, maupun penggunaan sumber energi alternatif. Biogas merupakan salah satu sumber energi alternatif pengganti

bahan bakar minyak dan sebagai sumber energi yang dapat diperbarui (*renewable*) serta diperoleh dari kotoran hewan maupun limbah cair industri organik, sampah organik, melalui fermentasi secara anaerobik.

Secara umum, jumlah timbunan sampah perkotaan di Indonesia didominasi oleh sampah berjenis organik. Sementara sumber kegiatan yang paling banyak menghasilkan sampah adalah segala bentuk kegiatan yang dilakukan di tingkat rumah tangga kemudian diikuti oleh pasar. Sebagai contoh Kota Surabaya, Pasar Keputran yang merupakan pasar induk sayur di Surabaya setiap harinya menghasilkan sampah sebanyak  $68.57\text{m}^3$  dengan jumlah bahan organiknya sebesar 93.40 % potensial untuk diolah menjadi energi alternatif biogas.

Pemanfaatan sampah organik secara biologis dapat dilakukan dengan sistem anaerob. Pemilihan secara anaerob dikarenakan kandungan COD yang cukup tinggi diatas  $3.500\text{ mg/L}$  (Tjandra Setiadi, 2000), sedangkan kandungan COD limbah sayuran sangat tinggi yaitu sebesar  $104.800\text{ ppm}$ .

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Kebutuhan energi yang semakin meningkat mengakibatkan banyak dilakukan pengembangan energi alternatif yang dapat diperbarui. Pembuatan *biogas* merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui dan merupakan teknologi ramah lingkungan.

### II.1 Tinjauan Umum Proses.

Biogas merupakan hasil dari fermentasi bahan – bahan organik berupa campuran (mixture) dari beberapa jenis gas yang terdiri atas karbon dioksida (carbon dioxide) dan metan (methane). Kisaran umum komposisi biogas dapat diketahui pada Tabel II.1.1:

**Tabel II.1.1 Kisaran umum komposisi biogas**

Komposisi biogas	Jumlah (%)
Metana ( $\text{CH}_4$ )	5 – 75
Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ )	25 – 45
Karbon monoksida ( $\text{CO}$ )	0 – 0,3
Nitrogen ( $\text{N}_2$ )	1 – 5
Hidrogen ( $\text{H}_2$ )	0 – 3
Hidrogen Sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ )	0,1 – 0,5
Oksigen ( $\text{O}_2$ )	sisanya

(Suyitno, 2010)

Umumnya keseluruhan gas yang dihasilkan tidak begitu berbau, tak berwarna dan dalam pengapian berwarna biru. Nilai kalori biogas yang dihasilkan sekitar  $5000 - 6513\text{ kkal/m}^3$ .



Gambar II.1 Warna api dari kompor biogas

Kesetaraan 1 m<sup>3</sup> biogas dengan sumber energi lain dapat dilihat pada Tabel II.1.2 :

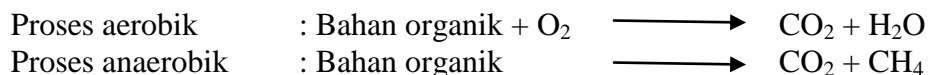
**Tabel II.1.2 Kesetaraan biogas dengan sumber energi lain**

Sumber energi lain	Jumlah
Elpiji	0.46 kg
Minyak tanah	0.62 liter
Solar / Diesel	0.52 liter
Bensin	0.80 liter
Gas kota	1.50 m <sup>3</sup>
Kayu bakar	3.50 kg

(www.agribisnis.deptan.go.id)

## II.2 Prinsip Dasar Pembentukan Biogas dari Bahan Organik.

Pengolahan limbah secara biologis dibedakan menjadi dua proses yaitu proses aerobik dan proses anaerobik, Pada proses aerobik berlangsungnya proses sangat tergantung dari adanya Oksigen, sedangkan dalam proses anaerobik justru sebaliknya karena oksigen akan menghambat jalannya proses. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

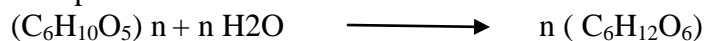


Kelebihan utama yang dimiliki pada proses anaerobik yaitu :

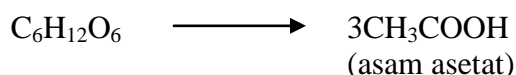
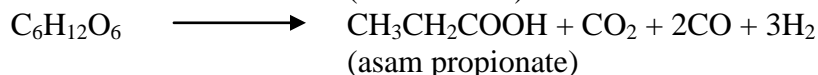
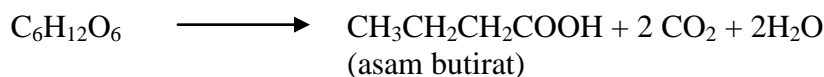
1. Dihasilkan biogas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternative.
2. Tidak diperlukan energi untuk aerasi.

Penguraian bahan – bahan organik menjadi gas bio melalui 3 tahapan proses yaitu :

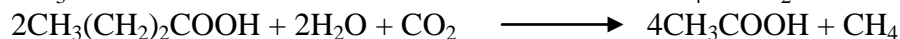
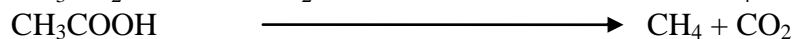
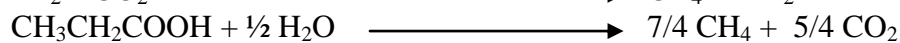
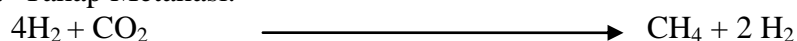
### A. Tahap Hidrolisa.



### B. Tahap Asidifikasi.



### C. Tahap Metanasi.



## II.5. Biodigester





Biodigester merupakan tempat dimana material organik diuraikan oleh bakteri secara anaerob (tanpa oksigen) menjadi  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$ . Biodigester harus dirancang sedemikian rupa sehingga proses anaerob dapat berjalan dengan baik. Pada umumnya, biogas dapat terbentuk pada 4-5 hari setelah digester diisi.

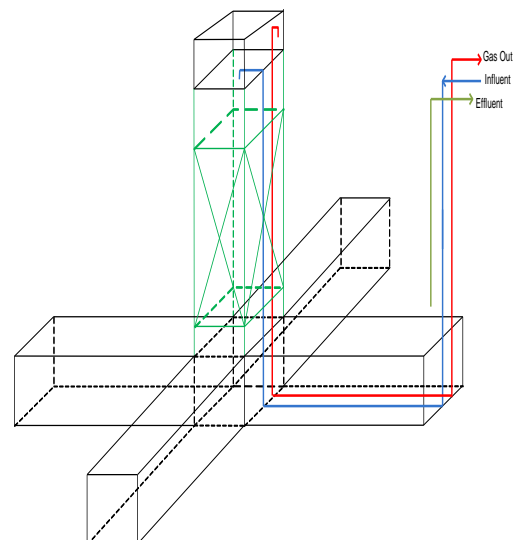
### III. BAHAN DAN ALAT

#### III.2.1 Bahan dan peralatan yang digunakan antara lain:

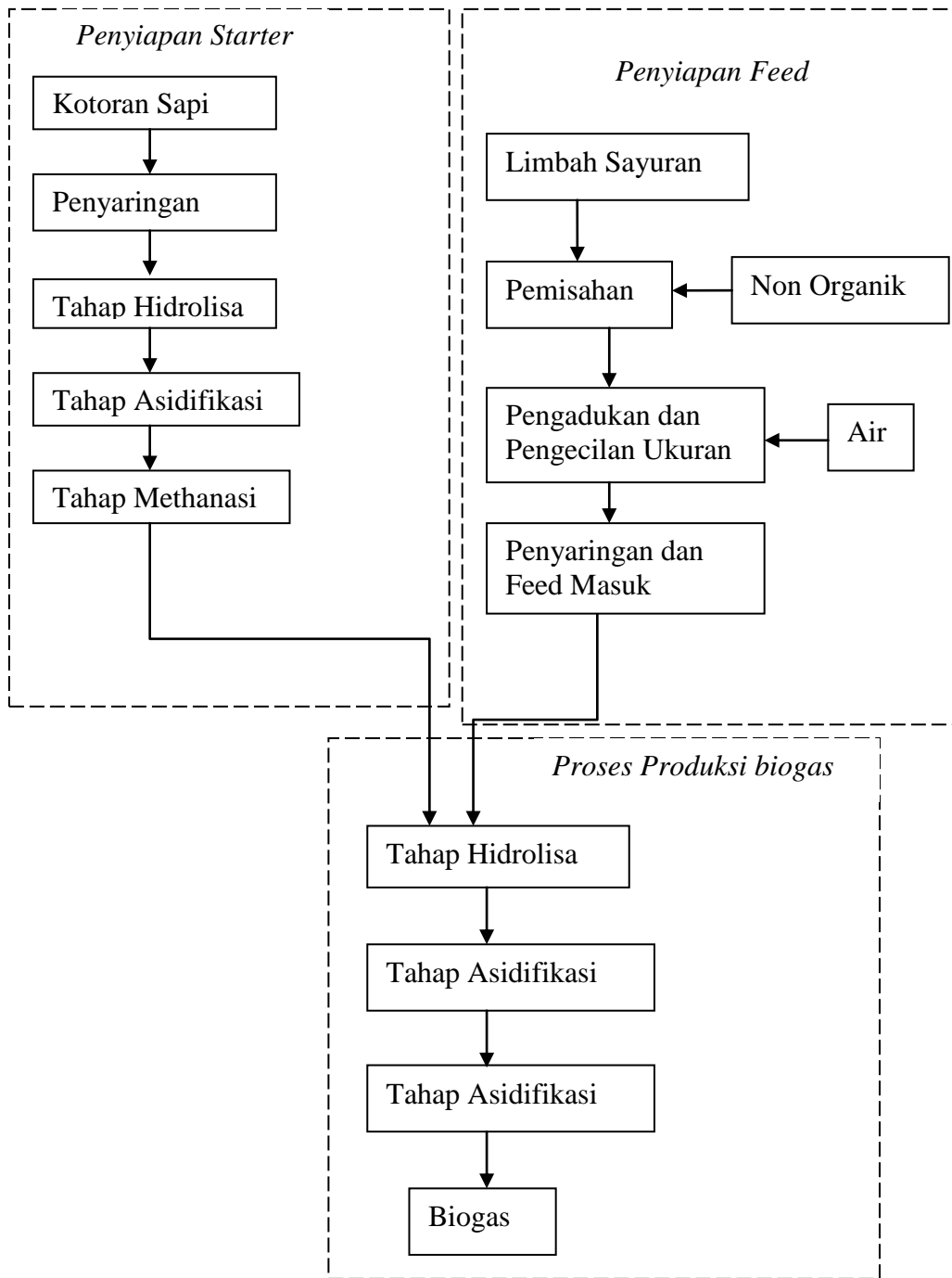
- |                    |                        |
|--------------------|------------------------|
| 1. Digester        | Valve                  |
| 2. Pipa            | Pompa                  |
| 3. Termometer      | Labu Erlenmeyer 250 mL |
| 4. Manometer       | Gelas ukur 500 mL      |
| 5. Gas holder      | Pemanas / hotplat      |
| 6. Kawat screening |                        |

#### III.3. Bahan-bahan yang Digunakan

1. Air
2. Aquades / air suling
3. Limbah sayuran
4. Kotoran sapi
5.  $\text{HgSO}_4$
6.  $\text{NaOH}$
7.  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$
8. Indikator feroin
9.  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$  0.1 N
10.  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0,25 N



#### III.2. Diagram Alir Penelitian



**Gambar.III.2.1.** Diagram Alir Penelitian



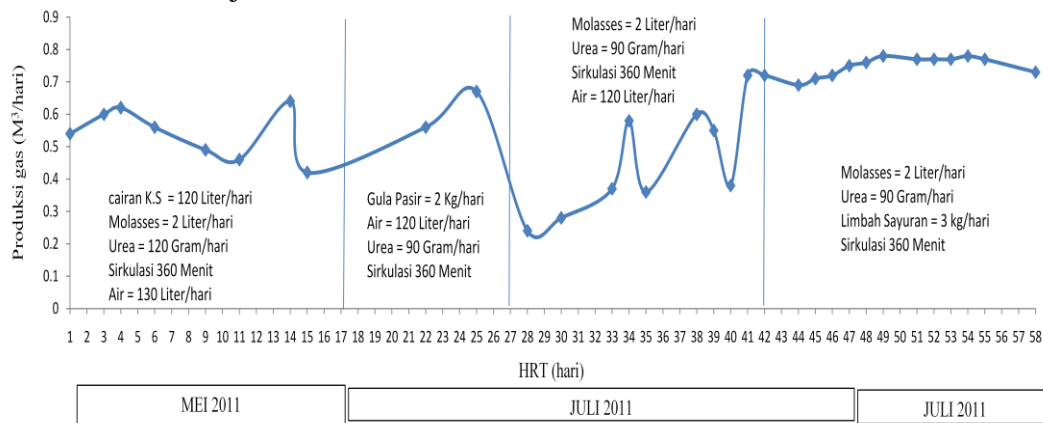
**III.2.2 Gambar** Peralatan Percobaan Reaktor 4.500 Liter

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan untuk mengetahui hubungan antara *Hydraulic retention Time* (HRT) dan Produksi Gasbio dari limbah sayuran. Percobaan dilakukan didalam bioreaktor *anaerob* dengan volume sebanyak 4.500 Liter, diisi dengan limbah sayuran yang telah ditreatment terlebih dahulu menggunakan air kemudian disaring.

### IV.1 Hubungan HRT dan Produksi Biogas

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui hubungan antara *Hydraulic retention Time* (HRT) dan Produksi biogas ( $m^3/hari$ ) dari limbah sayuran . Dikarenakan produksi biogas tidak maksimal, maka digunakan feed yang berbeda untuk memaksimalkan kerja bakteri.

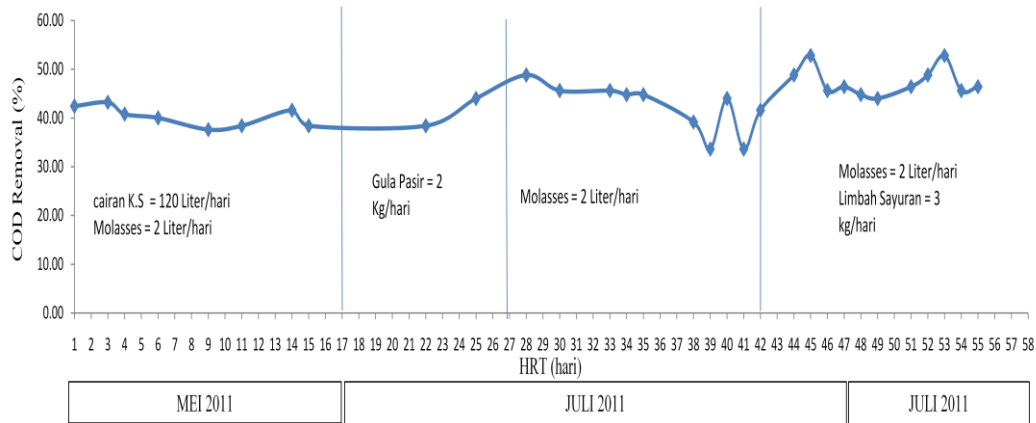


**Gambar IV.1.1. Pengaruh HRT Terhadap Produksi Biogas.**

Dari Gambar IV.1.1. dapat dilihat bahwa dengan penggunaan feed yang berbeda akan mempengaruhi jumlah produksi biogas. Penggunaan kombinasi feed yang berbeda pada percobaan ini bertujuan untuk mengaktifkan kembali bakteri pada digester yang mengalami penurunan produksi gas.

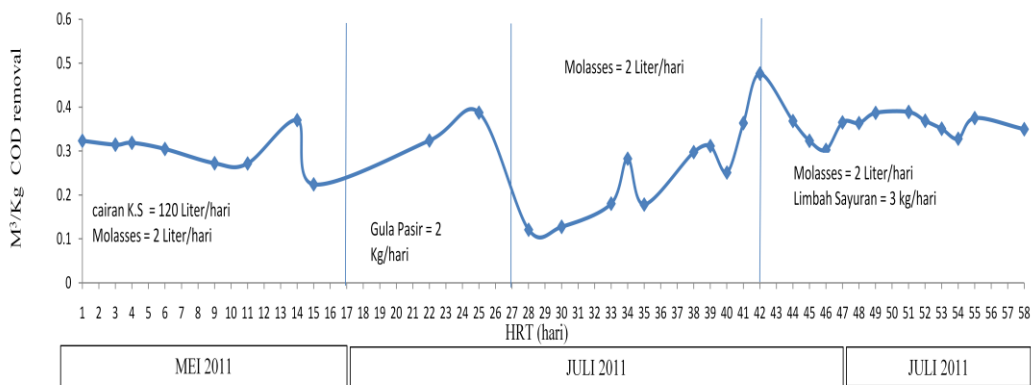
Setelah produksi gas maksimal, penggunaan feed limbah sayuran di masukkan, sesuai dengan perhitungan dimana limbah sayuran yang di campurkan dengan molasses sebesar 3 kg/hari dengan di tambahkan molasses 2 liter/hari yang di encerkan dengan 120 liter air. Pada penggunaan limbah sayuran ini produksi gas yang dihasilkan maksimal sebanyak  $0,78 m^3/hari$ .

Pada Gambar IV.1.2 dapat dilihat , hubungan antara HRT dan % *COD removal*. Untuk kombinasi *feed* yang berbeda. HRT mempengaruhi presentase kehilangan COD dimana secara umum semakin lama HRT atau semakin rendah beban COD di dalam reaktor, presentase pengurangan COD semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja bakteri cukup baik dalam menguraikan zat-zat yang kompleks menjadi zat-zat yang lebih sederhana.



**Gambar IV.1.2. Pengaruh HRT terhadap % COD removal.**

Diketahui bahwa dengan COD *removal* semakin menurun maka produksi biogas semakin meningkat. Dari gambar diatas COD *removal* cenderung datar. COD *removal* maksimum pada percobaan ini sebesar 52,8% pada kombinasi antara 2 liter molasses di encerkan dengan 120 liter air di tambahkan dengan limbah sayuran sebanyak 3 kg/hari.



**Gambar IV.1.3. Pengaruh HRT terhadap produksi biogas per kg COD removal.**

Gambar IV.1.3. dapat dilihat bahwa produksi gas per kg COD *removal* paling maksimal adalah 0,4762 m<sup>3</sup>/kg COD *removal*. Produksi gas paling maksimal diperoleh pada hari ke 42 dengan campuran 2 liter molasses yang diencerkan 120 liter air ditambah dengan 3 kg limbah sayuran. Dari literature (Natural Resources Canada and Agriculture) disebutkan bahwa secara stoikiometri produksi *biogas* adalah 0,35 m<sup>3</sup> *biogas*/kg COD *removal*, sehingga untuk setiap 1 kg COD yang terurai seharusnya dapat menghasilkan 0,35 m<sup>3</sup> *biogas*. Dan dalam percobaan ini produksi gas telah tercapai.

## IV.2 Komposisi Methana

Pada penelitian ini untuk mengetahui komposisi gas metane pada biogas yang dihasilkan dapat diperoleh dengan 2 metode yaitu metode uji tes kandungan komposisi metane melalui nilai kalor dan analisa menggunakan GC (*Gas Chromatography*), dengan menggunakan metode uji tes kandungan komposisi metane melalui nilai kalor diperoleh komposisi gas metan pada biogas sebesar 57,92 %



sedangkan dengan analisa GC diperoleh komposisi gas metane sebesar sebesar 54,73%.

## V. KESIMPULAN

Dari penelitian ini, diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut

1. Penggunaan kombinasi *feed* yang berbeda dengan HRT selama 18 hari diperoleh % COD *removal* sebesar 52,80 %
2. Produksi biogas maksimal pada kombinasi *feed* berupa campuran antara molasses dengan limbah sayuran di peroleh produksi biogas sebesar 0,4762 m<sup>3</sup>/Kg.COD *removal*, serta produksi gasbio sebesar 0,78 M3/hari.

### Ucapan terimakasih.

Penyusun makallah ini mengucapkan terimakasih kepada Jurusan Teknik Kimia, FTI-ITS yang telah memfasilitasi demi terlaksananya penelitian.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- Burke P.E., Dennis A; "Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook. Environmental Energi Company", *Olympia*, 2001
- Hawkins, Gary L. "Characterization of Fruit and Vegetable Waste for Energy Production"; University of Georgia, Department of Biological and Agricultural Engineering.
- Kavitha, Selina E. and Josep Kurian; "Biomethantion of Vegetable Waste", *Journal of the IPHE, India*.
- Khamdan Cahyari and Ryan Anugrah Putra; "Design of Biogas Plant from Fruit Market Waste in Indonesia"; Renewable Energy Conference, Berlin, Germany, 2010.
- Lucas, Sughezzo., 2004."Anaerobic Treatment of Domestic Wastewater in Subtropical Regions" Thesis Wageningen University, Netherlands.
- Regen A.K, L wong Sak Hoi and T Ramjaewon,"Pilot Plant of the Treatment of Synthetic Sugar Factory Wastewater Using the Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Process", Foot and Agliculture research Council, Reduit, Mauritius, 2001
- Stalin N, and Prabu H.J,"Effect of microbial Growth on Biogas Generation Using Carrier Material in Selft Circulating Biogas Plant", *ARPN*,2007
- Suyitno; Nizam, Muhammad; dan Dharmanto : " TEKNOLOGI BIOGAS : Pembuatan, Operasional, dan Pemanfaatan", Yogyakarta, Graha Ilmu.,2010.
- Zhang, Ruihong; Hamed M. El-Mashad; Karl Hatman : "Characterization of Food Waste as Feedstock for Anaerobic Digestion", Biological and Agricultural Engineering Department, University of California; April 2006.

[www.Wikipedia.com](http://www.Wikipedia.com)



## PROGRAM PERCEPATAN PENGEMBANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DI INDONESIA MELALUI POLA KEMITRAAN

**Barlin**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik , Universitas Sriwijaya  
Jl. Raya Palembang – Prabumulih KM 32 , Indralaya, Ogan Ilir Sumsel, 30662  
Email : barlin\_oemar@yahoo.com

### ABSTRAK

Studi literatur telah dilakukan untuk mengetahui potensi dan pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Indonesia. Berdasarkan studi literatur dapat disimpulkan bahwa Pengembangan PLTMH di Indonesia dapat dilakukan dengan mengintegrasikan antara program pengembangan PLTMH dengan kegiatan ekonomi masyarakat, memaksimalkan potensi saluran irigasi untuk PLTMH, mendorong industri mikrohidro dalam negeri, dan mengembangkan berbagai pola kemitraan. Pola kemitraan akan menjamin pembangunan, operasional dan pemeliharaan akan berjalan baik karena sinergisitas antara masing-masing komponen.

*Kata kunci : Energi Baru Terbarukan, Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, Sistem Konversi Energi Air*

### I. PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Dalam kurun waktu dari tahun 1990 sampai 2002, konsumsi listrik nasional meningkat dengan laju pertumbuhan rata-rata sebesar 10% per tahun dari 27,7 TWh menjadi 87,1 TWh, sementara produksi listrik PLN meningkat rata-rata 8,8% per tahun dari 23,29 TWh menjadi 89,29 TWh. Sedangkan kebutuhan bahan bakar fosil dan bahan bakar terbarukan untuk pembangkit listrik juga terus meningkat rata-rata sebesar 7,8% per tahun. Jenis bahan bakar yang mengalami peningkatan tertinggi selama periode tersebut adalah bahan bakar gas bumi sebesar 27,8%, panas bumi 15,1%, batubara 10,1%, minyak solar 9,5%, dan tenaga air 2,7% per tahun. Sedangkan pemakaian minyak diesel dan minyak bakar menurun masing-masing sebesar -3,3% dan -1% per tahun.

#### 1.2. Potensi Energi Baru Terbarukan

Indonesia memiliki potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang cukup besar diantaranya, mini/micro hydro sebesar 450 MW, biomassa 50 GW, surya 4,80 kWh/m<sup>2</sup>/hari, angin 3-6 m/det dan nuklir 3 GW. Pengembangan EBT mengacu kepada Perpres No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional dimana kontribusi EBT dalam bauran energi primer nasional pada tahun 2025 adalah sebesar 17% dengan komposisi bahan bakar nabati sebesar 5%, panas bumi 5%, biomassa, nuklir, air, surya, dan angin 5%, serta batubara yang dicairkan sebesar 2%. Langkah-langkah yang akan dilakukan pemerintah adalah menambah kapasitas terpasang Pembangkit Listrik Mikro

Hidro menjadi 2,846 MW pada tahun 2025, biomasa 180 MW pada tahun 2020, angin (PLT Bayu) 0,97 GW, surya 0,87 GW, dan nuklir 4,2 GW. Total investasi yang diserap pengembangan EBT sampai tahun 2025 diproyeksikan sebesar 13,197 juta USD.

### 1.3. Upaya Pengembangan Energi Baru Terbarukan

Pengembangan biomasa dilakukan dengan mendorong pemanfaatan limbah industri pertanian dan kehutanan sebagai sumber energi secara terintegrasi dengan industrinya, mengintegrasikan pengembangan biomassa dengan kegiatan ekonomi masyarakat, mendorong pabrikasi teknologi konversi energi biomassa dan usaha penunjang, dan meningkatkan penelitian dan pengembangan pemanfaatan limbah termasuk sampah kota. Upaya dalam mengembangkan energi angin dilakukan melalui pengembangan energi angin untuk listrik dan non listrik (pemompaan air untuk irigasi dan air bersih), mengembangkan teknologi energi angin yang sederhana untuk skala kecil (10 kW) dan skala menengah (50 - 100 kW) dan mendorong pabrikan memproduksi SKEA skala kecil dan menengah secara massal. Pengembangan energi surya mencakup pemanfaatan PLTS di pedesaan dan perkotaan, mendorong komersialisasi PLTS dengan memaksimalkan keterlibatan swasta, mengembangkan industri PLTS dalam negeri, dan mendorong terciptanya sistem dan pola pendanaan yang efisien dengan melibatkan dunia perbankan. Untuk mengembangkan energi nuklir, langkah-langkah yang diambil pemerintah adalah melakukan sosialisasi untuk mendapatkan dukungan masyarakat dan melakukan kerjasama dengan berbagai negara untuk meningkatkan penguasaan teknologi. Sedangkan pengembangan mikrohidro dilakukan dengan mengintegrasikan program pengembangan PLTMH dengan kegiatan ekonomi masyarakat, memaksimalkan potensi saluran irigasi untuk PLTMH, mendorong industri mikrohidro dalam negeri, dan mengembangkan berbagai pola kemitraan dan pendanaan yang efektif.

### 1.4. Kebijakan dan Regulasi untuk Pengembangan EBT

Untuk mendukung upaya dan program pengembangan EBT, pemerintah sudah menerbitkan serangkaian kebijakan dan regulasi yang mencakup Peraturan Presiden no. 5/2006 tentang kebijakan energi nasional, undang-undang no.30/2007 tentang energi, undang-undang no.15/1985 tentang ketenagalistrikan, PP no.10/1989 yang telah diubah dengan PP no. 03/2005 tentang perubahan Peraturan Pemerintah no.10 tahun 1989 tentang penyediaan dan pemanfaatan tenaga listrik dan PP no. 26/2006 tentang penyediaan & pemanfaatan tenaga listrik, Permen ESDM no.002/2006 tentang perusahaan pembangkit listrik tenaga energi terbarukan skala menengah, dan Kepmen ESDM no.1122k/30/mem/2002 tentang pembangkit skala kecil serta RPP tentang Energi Baru Terbarukan yang berisi pengaturan kewajiban penyediaan dan pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan dan pemberian kemudahan serta insentif.

## II. PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO

Indonesia adalah negara kepulauan yang masih memiliki banyak daerah terpencil yang belum memiliki listrik. Padahal listrik sangat dibutuhkan agar daerah tersebut tidak ketinggalan dalam memperoleh informasi yang bertujuan untuk memajukan daerah tersebut dan dapat meningkatkan produktifitas masyarakat. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan akan listrik untuk daerah terpencil perlu diciptakan alat yang dapat menjangkau tempat terpencil yang murah dan ramah lingkungan, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). PLTMH khususnya di daerah

terpencil perlu dikembangkan karena daerah-daerah tersebut masih banyak yang memiliki gunung dan air terjun yang belum dimanfaatkan secara optimal. PLTMH dapat juga digunakan sebagai alternatif pembangkit listrik dengan menggunakan diesel (PLTD) yang menggunakan bahan bakar minyak khususnya solar.

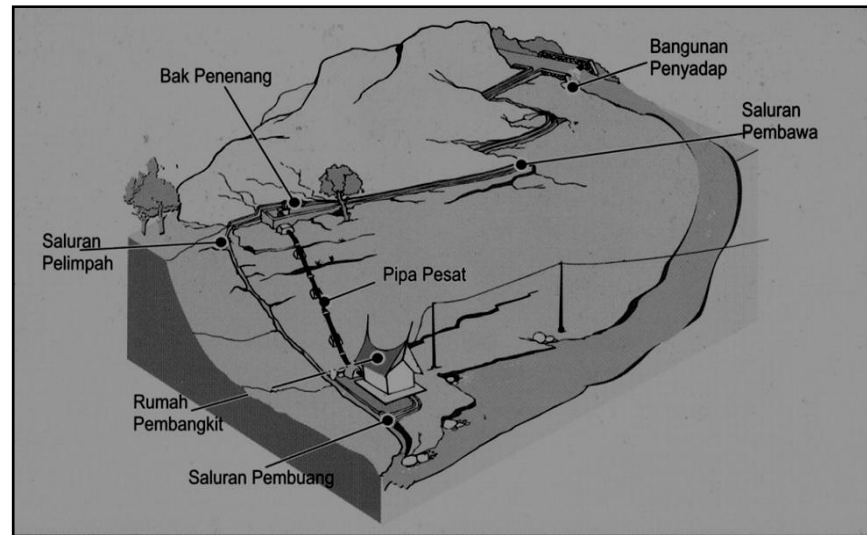
Berdasarkan keadaan tersebut maka perlu diadakan pengembangan tentang pembangkit listrik tenaga mikrohidro karena bahan baku air yang mudah didapat dari saluran irigasi, sungai kecil yang ada didataran rendah, atau kepulauan yang tidak memiliki bukit-bukit tetapi air yang melimpah. Pada daerah seperti ini PLTMH menggunakan sistem cetak miring. Pada sistem cetak miring, sebagian air sungai diarahkan ke saluran pembawa kemudian dialirkan melalui pipa pesat (*penstock*) menuju turbin. Air yang keluar dari turbin akan dikembalikan lagi ke aliran semula, sehingga hal ini tidak banyak mempengaruhi lingkungan atau mengurangi air yang keperluan pertanian. Air akan dialirkan kedalam turbin melalui sudu-sudu *runner* yang akan memutar poros turbin. Putaran inilah yang akan memutar generator untuk menghasilkan energi listrik.



**Gambar 1. Contoh Konstruksi PLTMH**

Hingga saat ini diperkirakan sekitar 48% atau 100 juta penduduk Indonesia, khususnya yang tinggal di daerah pedesaan, belum menerima aliran listrik. Padahal potensi sumber alam Indonesia untuk memenuhi kebutuhan listrik penduduk pedesaan cukup besar, khususnya pembangkit listrik tenaga air skala mikro (PLTMH), potensi tersebut sekitar 7500 MW. Pembangkit listrik yang dibangun dengan memanfaatkan air akan menghemat dana yang cukup besar. Bila dibandingkan dengan pembangkit listrik bertenaga bahan bakar minyak (BBM), tiap 1 megawatt (MW) listrik yang dihasilkan bisa menghemat uang Rp 10 miliar per tahun. "Pembangkit listrik di Indonesia saat ini masih banyak menggunakan energi fosil, padahal harga BBM sudah tinggi. Kalau digantikan dengan pemanfaatan air, kita bisa menghemat uang cukup besar, 1 MW saja bisa menghemat Rp 10 miliar per tahun," Pada sistem *run of river* ini, sebagian air sungai diarahkan ke saluran pembawa kemudian dialirkan melalui pipa pesat (*penstock*) menuju turbin. Setelah melewati turbin, air dikembalikan lagi ke aliran semula. Dengan demikian PLTMH tidak banyak mempengaruhi lingkungan atau mengurangi air untuk keperluan pertanian. Yang terpenting pembangunan PLTMH tidak memerlukan relokasi tempat tinggal masyarakat setempat akibat

pembuatan bendungan atau waduk. Disamping itu PLTMH tidak memerlukan bahan bakar apapun. Masukan energi primer berupa aliran massa air tidak dikurangi, namun hanya dimanfaatkan energinya dalam jarak ketinggian tertentu atau diambil energi potensialnya saja. PLTMH tidak mengeluarkan emisi gas rumah kaca. Sumber air yang dibutuhkan PLTMH relatif sedikit dan itu banyak terdapa di desa-desa. Untuk itulah pemerintah Indonesia dengan pemerintah Jepang telah merealisasi penerapan sistem model hidro ini di desa Taratak (Lombok Tengah) dengan kapasitas PLTS 48 kWP dan PLTMH sebesar 6,3 kW.



**Gambar 2. Konstruksi PLTMH**

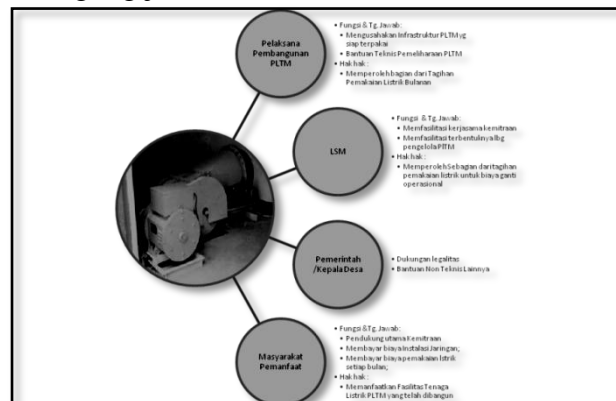
### III. POLA KEMITRAAN

Langkah-langkah dalam pengembangan mikrohidro adalah dengan mengintegrasikan program pengembangan PLTMH dengan kegiatan ekonomi masyarakat, memaksimalkan potensi saluran irigasi untuk PLTMH, mendorong industri mikrohidro dalam negeri, dan mengembangkan berbagai pola kemitraan dan pendanaan yang efektif. Penyediaan dan pembangunan PLTMH di desa diusahakan menggunakan pola kemitraan antara komponen Perusahaan Pelaksana Konstruksi PLTMH, LSM, Pemerintah Setempat dan Masyarakat. Pola kemitraan antar komponen tersebut dapat digambarkan pada gambar 3. Pengusaha lokal dan sebuah LSM yang bertindak selaku fasilitator bersama dengan masyarakat lokal melakukan kerjasama membangun PLTMH bagi warga masyarakat pedesaan setempat dengan konsep kemitraan. Melalui konsep kemitraan, diharapkan tercipta suatu model pengelolaan bersama yang saling menguntungkan melalui pendekatan kesejahteraan sosial masyarakat. Kapasitas daya yang dibutuhkan akan disesuaikan dengan kebutuhan masyarakat desa setempat. Untuk keberlanjutan fungsi PLTMH nantinya diharapkan dapat terbentuk wadah pengelola yang merepresentasikan unsur-unsur terkait dalam kerjasama tersebut. Rencana pembangunan PLTMH ini, nantinya sedapat mungkin mengusahakan model kemitraan yang saling menguntungkan antara pihak terkait.

### 3.1. Pembangunan PLTMH

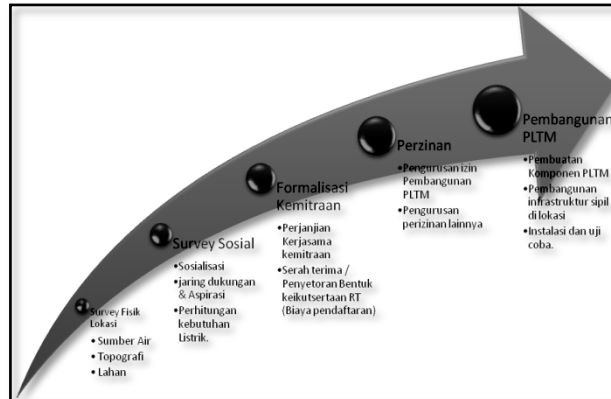
Sebelum pembangunan pembangkit listrik dilaksanakan ada beberapa kegiatan yang perlu dilakukan terlebih dahulu antara lain :

- 1) Studi kondisi fisik lokasi rencana pembangunan PLTMH; Kegiatan ini dilakukan sepenuhnya oleh TIM Pelaksana Pembangunan PLTMH. Hasil dari kegiatan studi ini adalah rekomendasi dapat tidaknya dibangun PLTMH di lokasi tersebut. Beberapa bagian dari kegiatan studi antara lain survey dan pengukuran sumber air, perhitungan daya sumber, dan lahan untuk lokasi dan tata letak Turbin dan gardu generator.
- 2) Sosialisasi dan Penjaringan aspirasi dan dukungan masyarakat dan pemerintah/aparat desa setempat; Kegiatan ini dilaksanakan bersama antara Pelaksana Konstruksi PLTMH dan LSM. Maksud kegiatan adalah untuk memperoleh dukungan dari masyarakat /pemerintah desa setempat tentang rencana pembangunan PLTMH dengan model kemitraan. Hal mendasar yang perlu diketahui adalah keinginan masyarakat setempat untuk memperoleh penerangan dan atau tenaga listrik untuk kebutuhan rumah tangga, serta kesediaan untuk berkontribusi dalam pengadaan jaringan dan pembayaran biaya pemakaian listrik, serta dukungan kemanana sosial lainnya.
- 3) Pengurusan perizinan dan surat-surat formal; dilaksanakan bersama antara pelaksana konstruksi PLTMH, LSM, Aparat desa serta surat dukungan masyarakat. Dukungan masyarakat calon pemanfaat daya listrik PLTMH diformalkan dalam bentuk surat perjanjian kerjasama kemitraan yang disertai dengan jaminan kesediaan bermitra dalam bentuk biaya pendaftaran. Besarnya biaya pendaftaran ditentukan secara bersama antara pelaksana konstruksi, aparat desa dan masyarakat yang diasilitasi oleh LSM. Biaya pendaftaran tersebut untuk sementara akan disimpan dalam rekening bersama Pelaksana Konstruksi dan Aparat Desa yang tidak dapat dicairkan oleh keduanya sebelum listrik dinikmati oleh masyarakat.
- 4) Pembangunan dan Instalasi PLTMH; Merupakan pekerjaan teknis yang sepenuhnya menjadi tanggung jawab Pelaksana Konstruksi.



**Gambar 3.** Komponen Kemitraan, Fungsi, dan Tanggung Jawab Masing-masing Komponen





**Gambar 4. Tahapan Rencana Pembangunan PLTMH**

### 3.2. Operasional PLTMH

Tahap operasional PLTMH berlangsung sejak kegiatan pembangunan dan instalasi PLTMH selesai dikerjakan. Sebelum operasionalisasi PLTMH berlangsung, masih terdapat kegiatan pendahuluan yang sifatnya administratif yang masih perlu diselesaikan terlebih dahulu. Kegiatan yang dimaksud adalah penyelesaian kewajiban masing-masing pihak, terutama kewajiban masyarakat terhadap pelaksana konstruksi, berupa pelunasan biaya pemasangan /instalasi jaringan listrik ke rumah masing-masing. Kegiatan ini difasilitasi oleh LSM sebelum secara resmi unit pengelola PLTMH terbentuk. Kegiatan lainnya setelah itu adalah pembentukan dan pengoperasian unit pengelola PLTMH, dan pengoperasian PLTMH sendiri sehingga masyarakat dapat segera menikmati listrik di rumah masing-masing.

### 3.3. Aspek Pembiayaan

Kebutuhan modal untuk pembangunan PLTMH sangat tergantung dari besarnya PLTMH atau besarnya daya listrik yang akan dihasilkan. Dana dibutuhkan terutama untuk :

- 1) Investasi pengadaan peralatan dan bangunan PLTMH;
- 2) Instalasi Jaringan Listrik ke pengguna;
- 3) Pemeliharaan peralatan dan jaringan.

Dengan model kemitraan, kebutuhan dana tersebut dapat ditanggulangi secara bersama, dimana setiap komponen kemitraan memiliki porsi atau kontribusi tertentu. Secara umum, kontribusi penyediaan dana untuk PLTMH pada model kemitraan yang selama ini diterapkan adalah sebagai berikut :

- 1) Pengusaha/Pelaksana Konstruksi : Menyediakan keseluruhan dana untuk investasi pengadaan dan bangunan PLTMH;
- 2) Masyarakat Pemanfaat Listrik : Menanggung biaya instalasi dari Pusat pembangkit ke rumah masing-masing, serta menanggung biaya pemakaian listrik setiap bulan.

## IV. KESIMPULAN

1. Upaya pengembangan energi terbarukan tidak bisa hanya dengan mengandalkan anggaran pemerintah setempat saja, akan tetapi dibutuhkan peran serta dari berbagai pihak diantaranya Industri/swasta, LSM dan masyarakat yang terkait untuk lebih mengembangkan energi terbarukan.
2. Penyediaan dan pembangunan PLTMH diusahakan menggunakan pola kemitraan antara komponen Perusahaan Pelaksana Konstruksi PLTMH, LSM, Pemerintah setempat dan masyarakat. Adanya konsep dan pola kemitraan akan menjamin



pembangunan, operasional dan pemeliharaan akan berjalan baik karena sinergisitas antara masing-masing komponen.

#### **V.DAFTAR PUSTAKA**

Buku Putih Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Sumber Energi Baru dan Terbarukan untuk Pengetahuan dan Teknologi Bidang Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2025, Kemenristek, 2006

Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025, ESDM, 2005

*Case Study: PLTMH Tanjung Durian, West Sumatra*, Mini Hydro Power Project Newsletter, 5 Edition, Th July 2003

Kusuma Raghunala dkk, "*Pengembangan Energi Terbarukan, Studi kasus di Yogyakarta*", Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, 2008

Muh.Ikhsan Ahmad, ST, MT dan Awaluddin, ST, "*Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Pedesaan*", CV. Atalanta, 2007

Nurdyastuti, I, "*Analisis Pemanfaatan Energi pada Pembangkit Tenaga Listrik di Indonesia*", 2007

Yusgiantoro, P, "*Energy Policy Related To Bioenergy Development*", One Day Seminar on The Role Of Methanol Industry On Sustainable Biodiesel Production And Development On Chemical Industries In Indonesia, Yogyakarta, 7 September 2007

[www.lipi.go.id/artikel/online](http://www.lipi.go.id/artikel/online)

## POTENSI PENGGUNAAN KOMPOR ENERGI SURYA UNTUK KEBUTUHAN RUMAH TANGGA

**Marwani**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Palembang Prabumulih  
Km.32, Inderalaya, OKI,  
Korespondensi Pemakalah. Phone: +62 711 580272, Fax: +62 711 580272  
Email: marwanizk@yahoo.com

### ABSTRAK

Kebutuhan energi untuk memasak hampir diperlukan oleh setiap rumah tangga dan setiap hari, disisi lain energi matahari untuk daerah di Indonesia tersedia melimpah setiap hari khususnya saat musim kemarau; jadi penggunaan kompor energi surya untuk rumah tangga sangat tepat. Keberhasilan penggunaan kompor energi surya ini bergantung pada besar dan lamanya waktu matahari memancarkan radiasi termalnya, atau dengan kata lain bergantung pada cuaca. Untuk mengetahui lebih jauh potensi pemanfaatan energi surya untuk kebutuhan memasak dalam rumah tangga telah dilakukan penelitian/ pengujian terhadap sebuah kompor energi surya tipe kolektor parabola berdiameter 166 cm dan aluminium foil sebagai bahan reflektornya. Pengujian dilakukan dengan memanaskan air sebanyak 2,5 liter. Dari hasil pengujian dengan berbagai kondisi radiasi termal matahari disimpulkan bahwa kompor energi surya dapat berfungsi dengan baik jika radiasi termal matahari berkisar antara 500 W/m<sup>2</sup> sampai dengan 900 W/m<sup>2</sup> selama lebih kurang 3 jam. Efisiensi maksimum kompor surya didapat sebesar 12 %.

**Keywords:** Kompor energi surya, kolektor parabola, radiasi termal matahari, reflektor.

### 1. PENDAHULUAN

Energi surya merupakan energi yang ramah lingkungan dan didapat secara gratis. Indonesia sebagai negara yang terletak digaris katulistiwa mempunyai periode untuk memanfaatkan matahari lebih besar baik secara kuantitas maupun kualitasnya dibanding dengan kawasan yang tidak dilintasi oleh garis katulistiwa. Penggunaan energi surya di Indonesia merupakan pilihan yang tepat sebagai energi alternatif untuk kebutuhan energi dalam industri atau memenuhi kebutuhan energi sehari-hari di rumah tangga.

Salah satu kebutuhan energi sehari-hari dalam rumah tangga adalah untuk keperluan memasak. Untuk memanfaatkan energi matahari dalam keperluan memasak dapat digunakan kompor energi surya; dimana sebuah kolektor dengan bidang berbentuk parabolik digunakan untuk mengumpulkan sinar matahari ke satu titik fokus sehingga menghasilkan panas yang besar. Bentuk dan kelengkungan kolektor parabolik ini sangat menentukan letak titik fokusnya yang nantinya berpengaruh pada kinerja dari kompor energi surya. Untuk mengetahui seberapa besar potensi

pemanfaatan kompor energi surya untuk keperluan rumah tangga khususnya memasak ini, perlu dilakukan penelitian/ pengujian.

## 2. DASAR TEORI

Dalam pemanfaatan energi surya dapat dibedakan menjadi tiga cara yaitu :

- Pemanfaatan langsung panas sinar matahari untuk pengeringan, misalnya: menjemur pakaian, pembuatan garam, pembuatan ikan kering, dll.
- Mengumpulkan energi termal matahari melalui suatu kolektor energi surya yang selanjutnya energi termal tersebut digunakan secara langsung atau dikonversikan menjadi energi listrik.
- Mengkonversikan energi radiasi termal matahari langsung menjadi energi listrik melalui sel fotovoltaik.

Pemanasan dengan pemanfaatan secara langsung panas matahari, suhu yang dicapai tidak akan melampaui  $100^{\circ}\text{C}$ . Suhu pemanasan dan efektivitas pemanfaatan energi surya dapat dicapai lebih tinggi dengan menggunakan pengumpul-pengumpul panas yaitu kolektor energi surya. Sinar matahari yang jatuh pada permukaan kolektor dikonsentrasikan/ difokuskan pada sebuah titik atau pada area tertentu sehingga diperoleh suhu yang sangat tinggi. Secara umum bentuk geometrik permukaan kolektor surya ada tiga jenis yaitu : pipih/ rata, parabolik silindris dan parabolik bulat.

Kompor tenaga surya adalah perangkat memasak yang menggunakan energi termal matahari melalui suatu kolektor sebagai sumber energi. Prinsip dasar cara kerja kompor surya adalah radiasi termal sinar matahari yang jatuh pada permukaan kolektor dipantulkan ke sebuah titik / area tertentu yang disebut titik api kolektor; konsentrasi energi termal matahari pada titik/ area ini menghasilkan suhu yang sangat tinggi. Panci atau alat tempat memasak ditempatkan pada daerah titik api ini sedemikian rupa sehingga energi termal yang terkonsentrasi mengenai alas panci dan meneruskan energi termal tersebut ke produk yang sedang dimasak. Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja kompor tenaga surya ini selain lamanya waktu bersinar dan besarnya intensitas radiasi termal dari matahari, adalah:

- Refleksivitas material kolektor
- Luas permukaan kolektor
- Bentuk geometrik dan letak titik api dari kolektor
- Arah normal permukaan kolektor terhadap sinar matahari yang datang.
- Sifat benda hitam dari panci atau alat memasak
- Besarnya kehilangan energi kalor ke sekitarnya

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam perhitungan :

- Titik Fokus Parabola (  $f$  )

$$f = 1/2R$$

(1)

Dimana :  $R$  = jari-jari kelengkungan parabola (m)

- Energi yang diterima Kolektor

$$Q_{kol} = \varepsilon \cdot A_k \cdot I_r$$

(2)

Dimana :

$Q_{kol}$  = Energi yang diterima kolektor (W)

$\varepsilon$  = Reflektivitas Aluminium foil



$A_{kol}$  = Luas penampang normal kolektor parabola ( $m^2$ )  
 $I_r$  = Intensitas radiasi matahari ( $W/m^2$ )

### c. Energi yang diterima air

$$Q_{air} = m.C_p.(T_2 - T_1) \quad (3)$$

Dimana :

$Q_{air}$  = Energi yang diterima air (J)

$m$  = massa air (kg)

$C_p$  = Panas Jenis air ( $kJ/kg. ^\circ C$ )

$T_2$  = Temperatur akhir air ( $^\circ C$ )

$T_1$  = Temperatur awal air ( $^\circ C$ )

### d. Efisiensi kompor

$$\eta_k = \frac{\Delta Q_{air} / \Delta t}{Q_{kol}} \times 100\% \quad (4)$$

Dimana :

$\eta_k$  = efisiensi kompor (%)

$\Delta Q_{air}$  = pertambahan energi yang diterima air pada selang waktu  $\Delta t$  (J)

$\Delta t$  = selang waktu pertambahan energi air (s)

$Q_{kol}$  = energi yang diterima kolektor (W)

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

Metoda penelitian menggunakan metoda eksperimental dengan membuat peralatan dan melakukan serangkaian pengujian serta pengambilan data-data terhadap kompor energi surya sebagai alat untuk memasak. Penelitian ini dilakukan selama 5 hari pada bulan Juni 2011. Pengujian dilakukan di lapangan terbuka Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Kenten Palembang, dimana pengaruh angin dan kerugian lainnya diabaikan.

### 3.1 Kompor Energi Surya

Kompor energi surya terbuat dari kolektor parabola yang berdiameter permukaan 166 cm dengan jari-jari kelengkungan 123 cm dan dilapisi dengan Aluminium foil sebagai reflektornya. Dalam penelitian ini menggunakan panci Aluminium berdiameter 21 cm sebagai tempat untuk memasak air sebanyak 2,5 liter.

### 3.2 Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan adalah termometer, termokopel dan Actinograph yaitu alat untuk mengukur radiasi matahari.

### 3.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian adalah sebagai berikut :

- Siapkan perangkat uji/ kompor energi surya beserta panci yang berisi air serta alat ukurnya.
- Letakkan di lokasi tempat lakukan pengujian, dimana kolektor parabolik kompor energi surya harus menghadap sinar matahari.
- Pastikan posisi/letak dari panci tempat memasak tepat pada titik fokusnya.
- Catat data yang diperlukan seperti temperatur air, radiasi matahari, dsb dalam selang waktu yang telah ditentukan.



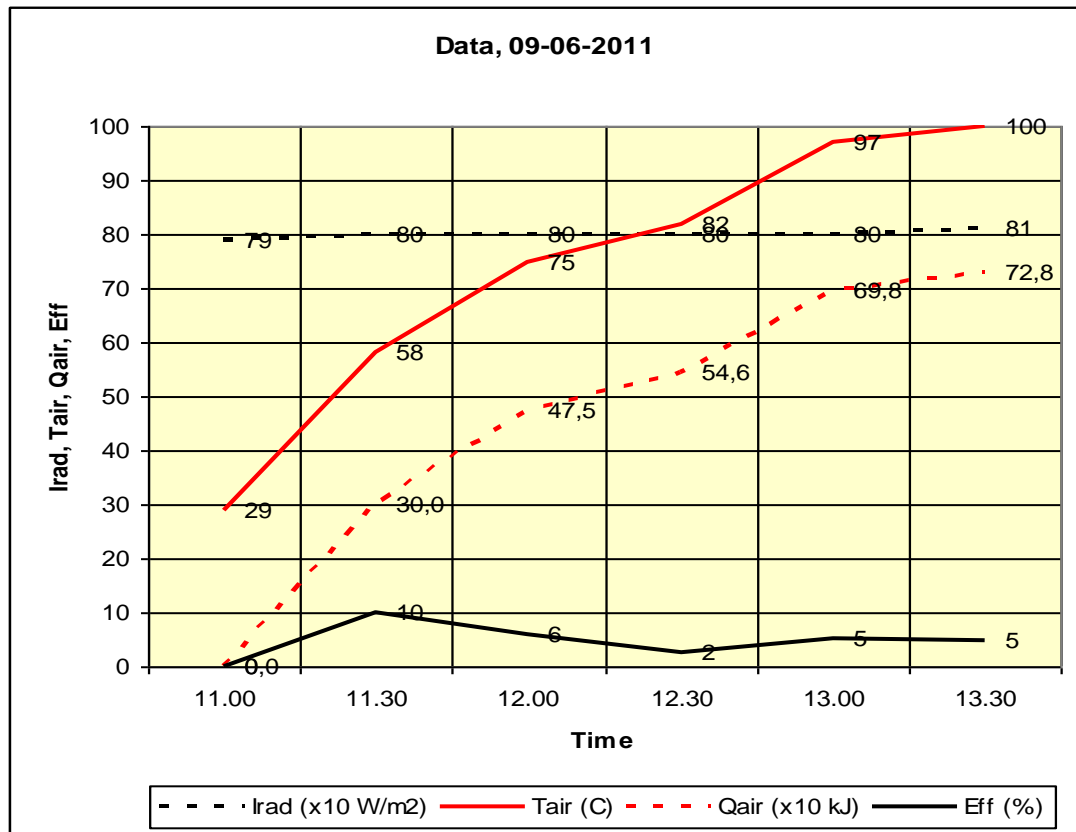
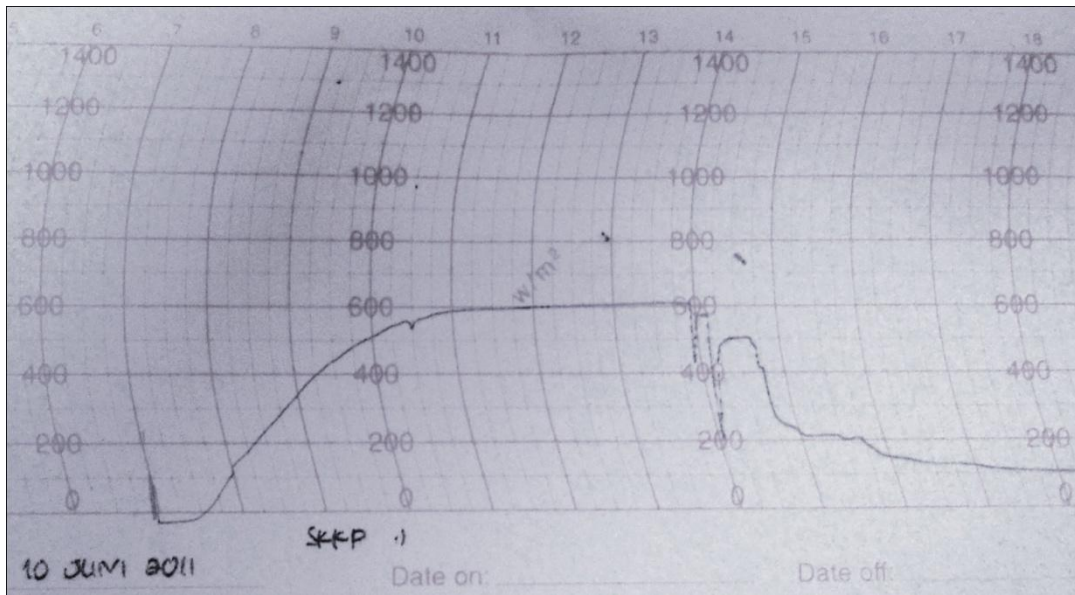
**Gambar 1.** Konstruksi Kompor Energi Surya

#### **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari data hasil pengujian dan perhitungan didapat gambar 2 sampai dengan gambar 6 yaitu gambar grafik Intensitas radiasi termal matahari sepanjang siang hari dan kenaikan suhu air, kalor yang diterima air serta efisiensi kompor surya terhadap waktu mulai jam 11.00 sampai jam 14.00 selama lima hari berturut-turut dari tgl 11 Juni sampai 13 Juni 2011.

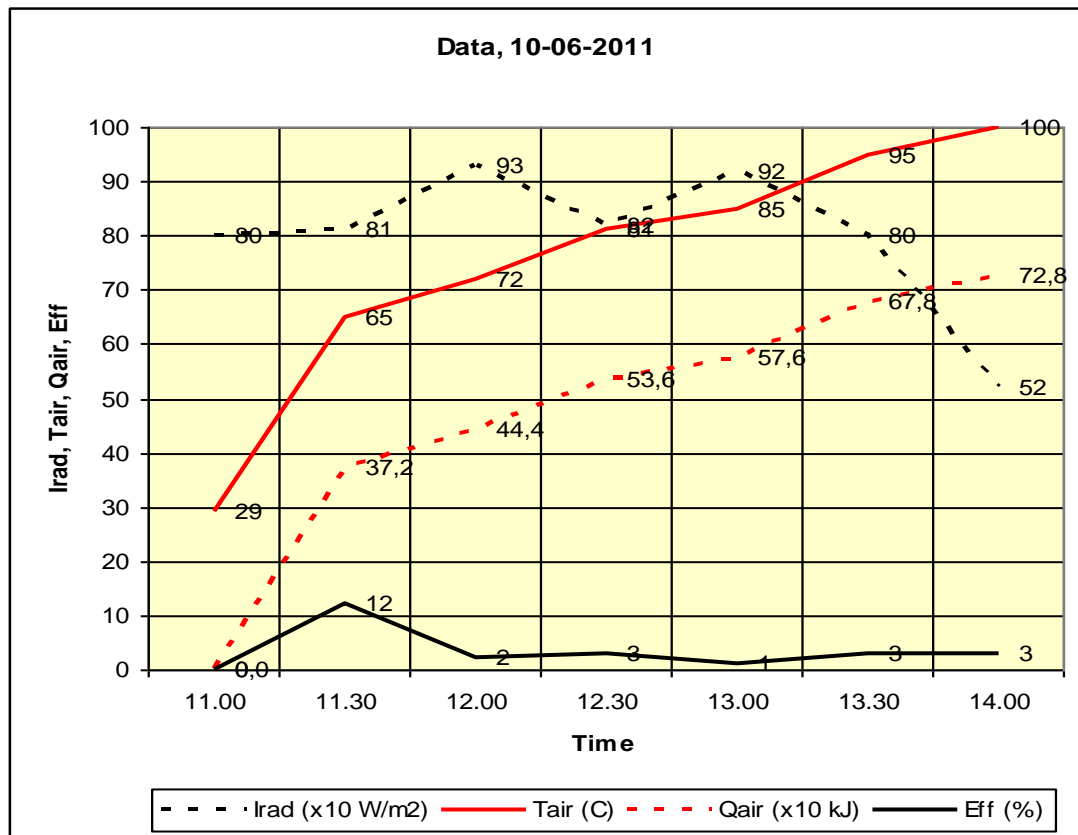
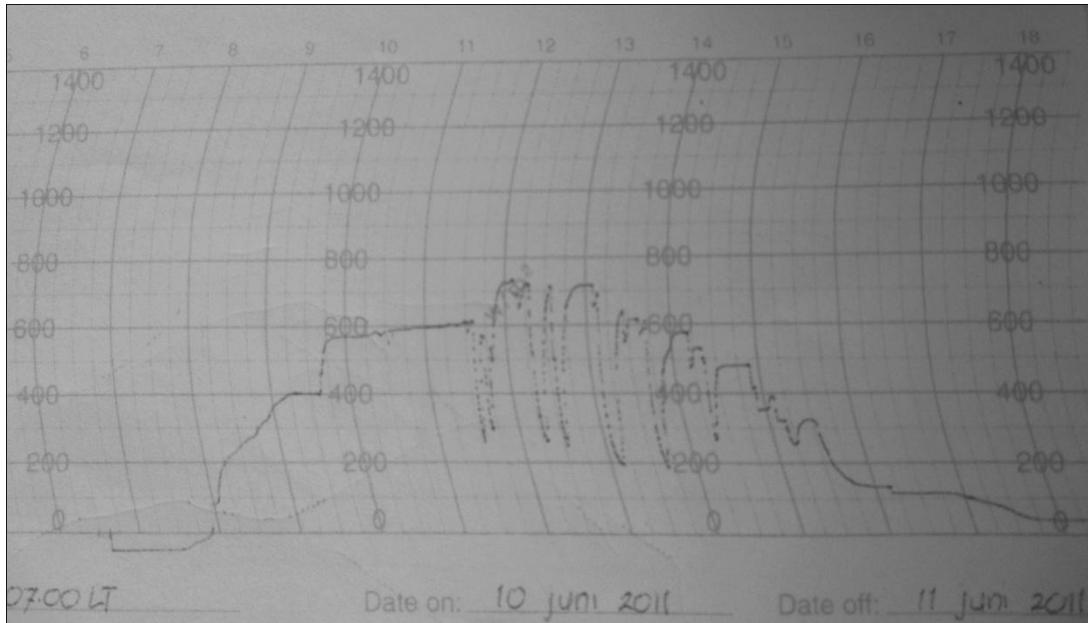
Dari gambar grafik yang didapatkan, terlihat bahwa air sebanyak 2,5 L dengan suhu awal 29 °C mencapai 100 °C hanya pada tgl 9 dan tgl 10 (gambar 2 dan gambar 5) dimana Intensitas radiasi matahari diatas 500 W/m<sup>2</sup> selama durasi kurang lebih 3 jam atau dari jam 11.00 sampai jam 14.00. Pada Intensitas radiasi yang konstan (tidak fluktuasi) sebesar 800 W/m<sup>2</sup> air lebih cepat mendidih yaitu kurang dari 2,5 jam (gambar.2). Untuk Intensitas radiasi termal matahari yang fluktuasi selama durasi tiga jam dibawah rata-rata 500 W/m<sup>2</sup> kompor surya tidak dapat bekerja dengan baik atau air tidak mencapai mendidih.

Effisiensi kompor surya pada satu jam pertama mengalami kenaikan kemudian menurun, hal ini disebabkan semakin tinggi suhu air akan semakin besar kehilangan kalor dari air ke udara sekitarnya. Efisiensi kompor maksimum yang dicapai sebesar 12 %. Kehilangan kalor ini diebabkan terjadinya perpindahan kalor konveksi dari panci atau air yang dipanaskan ke udara sekitar, untuk menguranginya panci harus terhindar dari tiupan angin dan dinding serta tutup panci dipasang insulator termal.

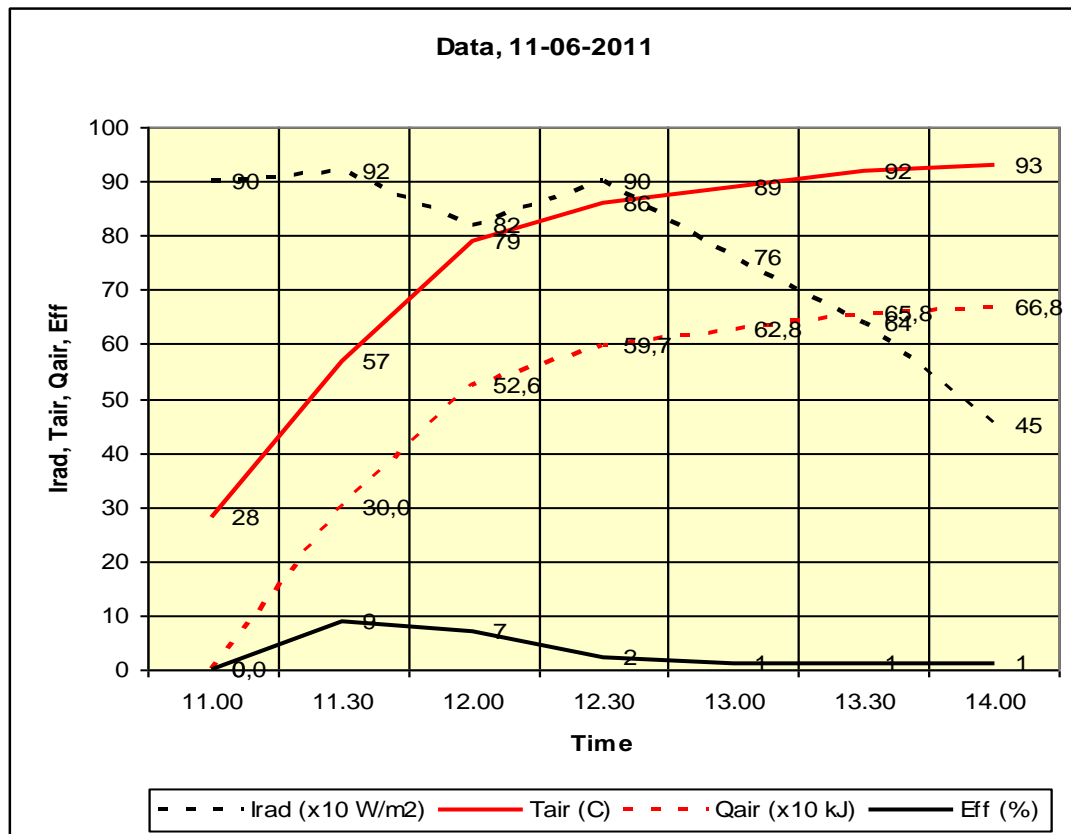
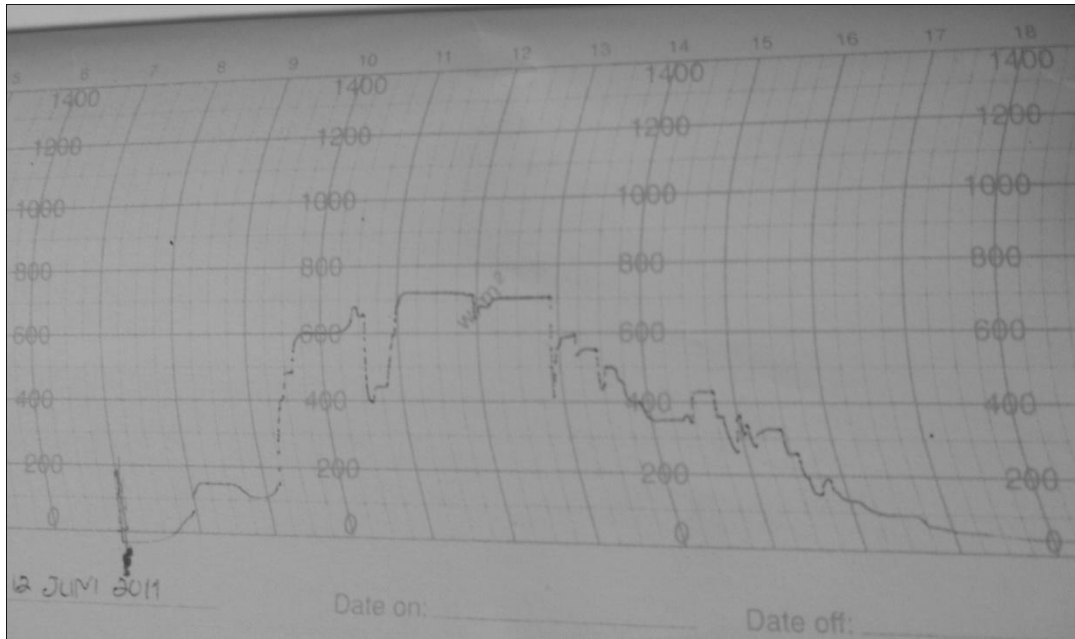


**Gambar 2.** Intensitas radiasi matahari dan temperatur air, kalor air, efisiensi terhadap waktu pada tanggal 9 -06-2011.

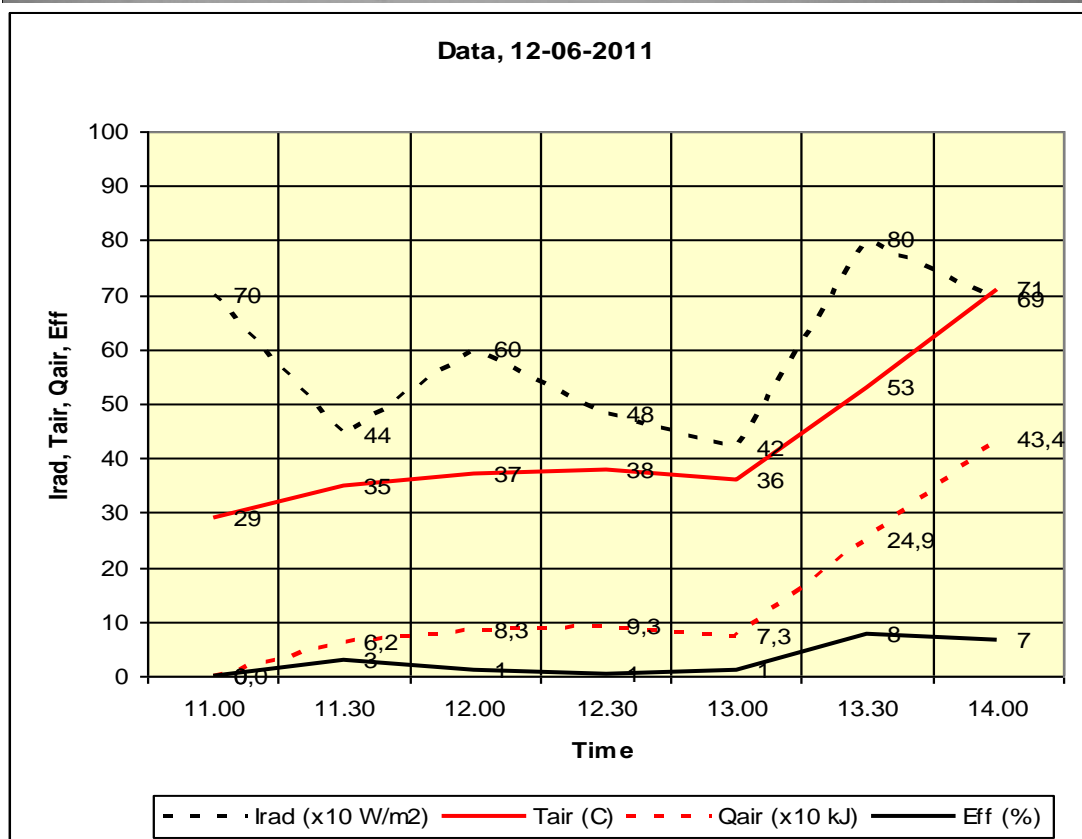
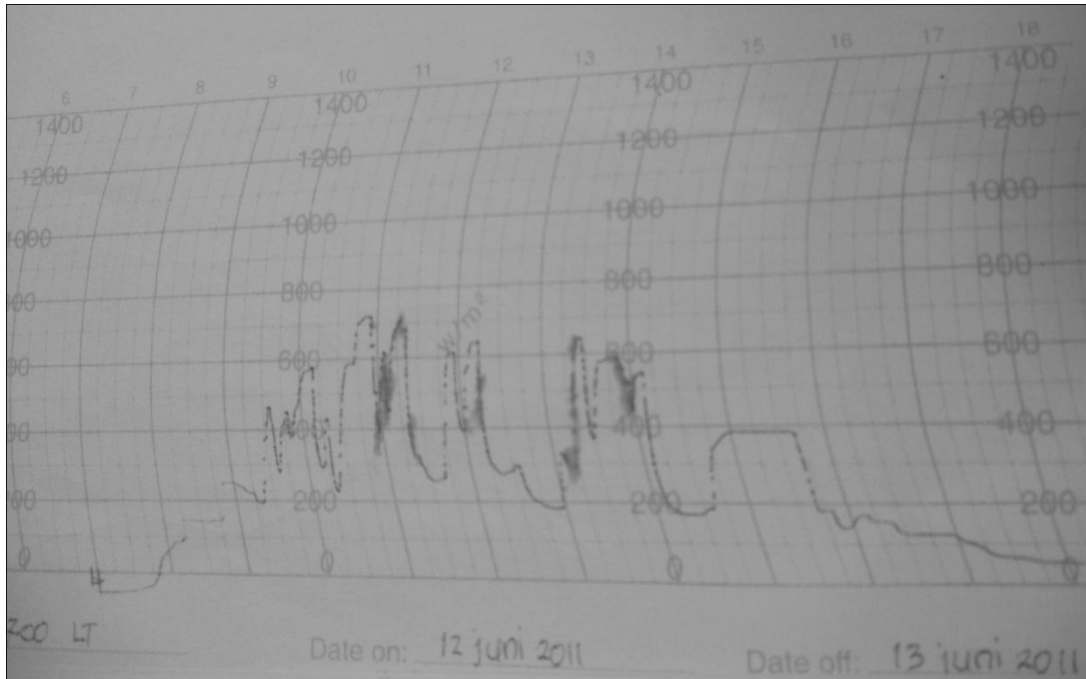




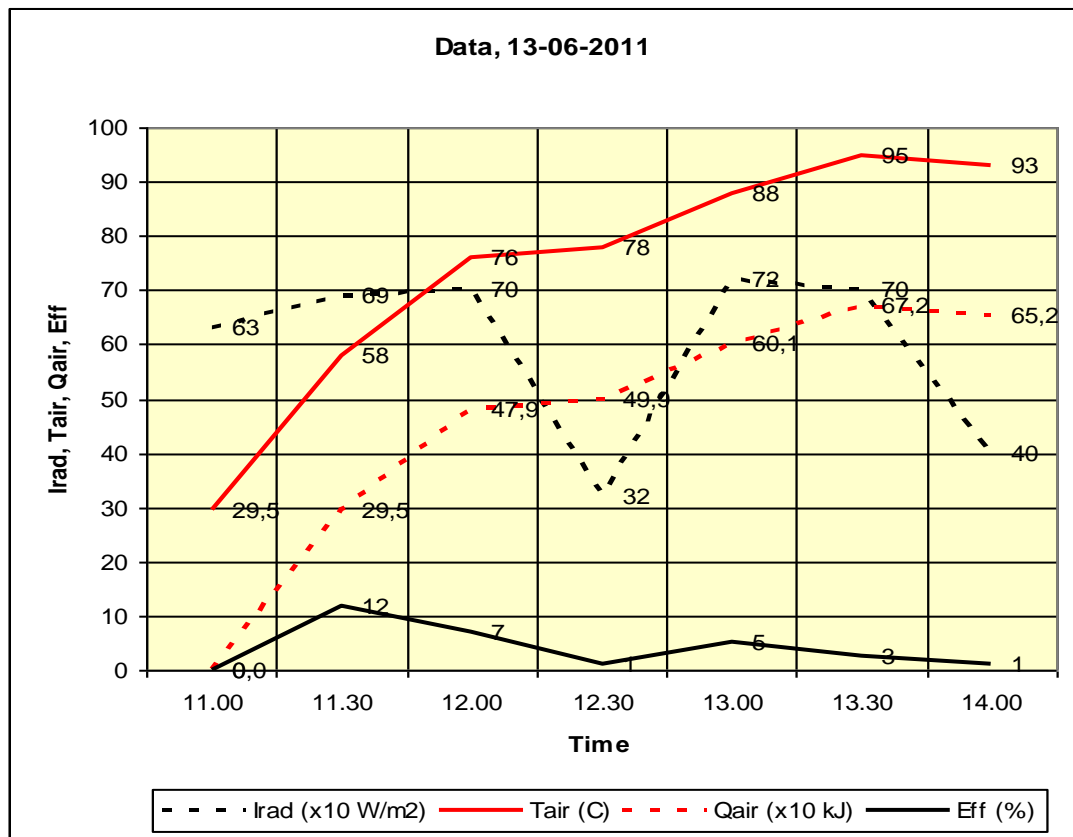
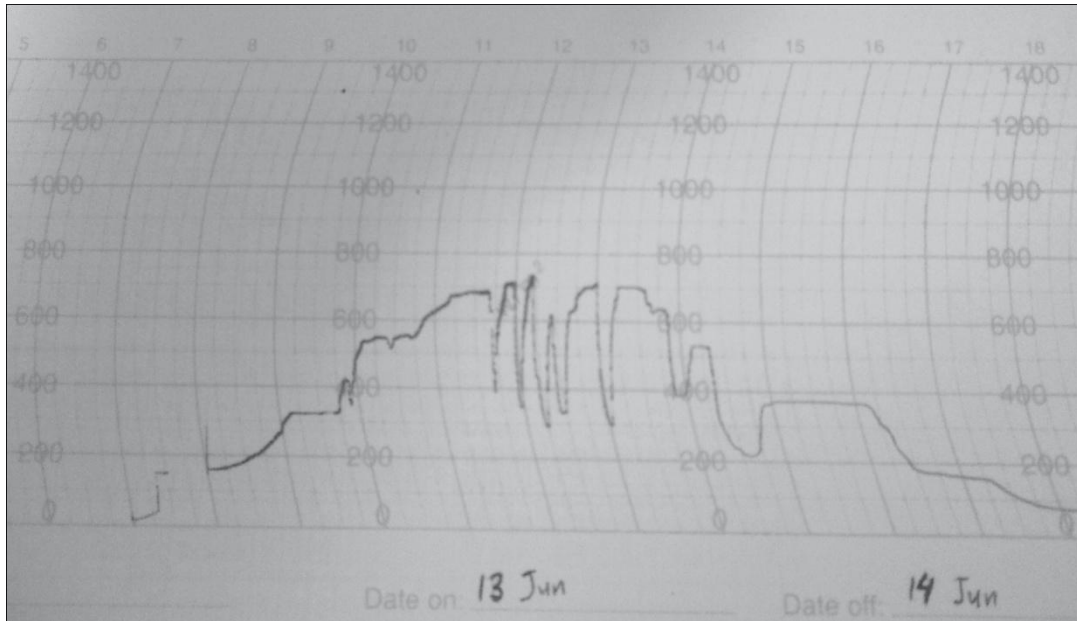
**Gambar 3.** Intensitas radiasi matahari dan temperatur air, kalor air, efisiensi terhadap waktu pada tanggal 10-06-2011.



**Gambar 4.** Intensitas radiasi matahari dan temperatur air, kalor air, efisiensi terhadap waktu pada tanggal 11-06-2011.



**Gambar 5.** Intensitas radiasi matahari dan temperatur air, kalor air, efisiensi terhadap waktu pada tanggal 12-06-2011.



**Gambar 6.** Intensitas radiasi matahari dan temperatur air, kalor air, efisiensi terhadap waktu pada tanggal 13-06-2011.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. KESIMPULAN

- a. Potensi penggunaan kompor surya sebagai alat untuk memasak dalam rumah tangga cukup besar dengan fluktuasi intensitas radiasi termal berkisar antara  $500 \text{ W/m}^2$  dan  $900 \text{ W/m}^2$  selama durasi kurang lebih 3 jam.
- b. Efisiensi maksimum kompor surya 12 %, tetapi hal ini masih dapat ditingkatkan.

### 5.2. SARAN

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memperbaiki konstruksi kompor surya secara keseluruhan, baik disain kolektor atau panci pemanasnya agar didapatkan efisiensi yang lebih tinggi dan dapat beroperasi pada intensitas radiasi termal matahari yang relatif lebih rendah.

## 6. REFERENSI

- Duffie, John.A., Beckman, William.A., (1991) Solar Engineering of Thermal Process. Second edition. New York John Willey & Sons, Inc.
- Holman, J. P., (1991) Perpindahan Kalor edisi keenam. Jakarta; Penerbit Erlangga.
- Kadir, Abdul, (1995) Energi; Sumberdaya, Inovasi, Tenaga Listrik, Potensi ekonomi/ Edisi kedua/ Revisi. Jakarta; Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
- Kalogirou, Soteris. (2009) Handbook Solar Energy Engineering - Processes and Systems 1st ed. p.cm. Includes bibliographical references and index.

## KAJI EKSPERIMENTAL ALAT PENGERING KERUPUK TENAGA SURYA TIPE BOX MENGGUNAKAN KOSENTRATOR CERMIN DATAR

Firmansyah Burlian<sup>1</sup>, Aneka Firdaus<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering Sriwijaya University  
Jl.Raya Palembang Prabumulih km 32, Inderalaya-Ogan Ilir (30662)  
South Sumatera, Indonesia

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering Sriwijaya University  
Jl.Raya Palembang Prabumulih km 32, Inderalaya-Ogan Ilir (30662)  
South Sumatera, Indonesia

Phone: +62857-69011117, E-mail: nefirda@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Alat pengering surya dengan memanfaatkan kosentrator cermin datar adalah salah satu contoh pemanfaatan energi surya yang sangat berguna. Dengan menggunakan alat pengering surya tipe ini kita dapat mengeringkan hasil perikanan dan perkebunan maupun hasil komoditi dagang tanpa menggunakan bahan bakar fosil, serta dapat menghasilkan produk pengeringan yang tidak terkontaminasi oleh debu, kotoran, polusi kendaraan yang menyebabkan kurang higienisnya suatu produk dan mengakibatkan mutu produk menjadi rendah. Adapun prinsip kerja dari alat pengering ini adalah energi radiasi matahari yang datang baik secara langsung maupun yang datang dari pantulan cermin yang dipasang sebagai reflektornya akan diserap atau ditampung oleh kolektor, akibat dari sinar matahari yang terus-menerus, temperatur di dalam kolektor akan meningkat lebih tinggi. Udara yang ada di dalam ruang kolektor tidak bertukar dengan udara di luar kolektor karena tertutup rapat, sehingga udara panas tadi memanaskan rak-rak yang disusun di dalam ruang kolektor. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengeringkan komoditi berupa irisan kerupuk dari kadar air awal sebesar  $\pm 80\%$  di inginkan menjadi  $\pm 10\%$ - $15\%$ . Media pengering adalah udara panas yang dihasilkan oleh kolektor yang menangkap dan mengumpulkan sinar matahari baik secara langsung maupun dari pantulan reflektor dan memanaskan rak-rak pengering. Setelah dilakukan penelitian dengan metode eksperimen yakni dan dilakukan beberapa kali dilakukan pengujian didapatkan bahwa laju pengeringan rata-rata tercepat terjadi pengujian III dimana rak I yakni sebesar 1,07 gram/menit, rak II sebesar 0,87 gram/menit dan rak III sebesar 0,70 gram/menit sedangkan bila dikeringkan langsung dibawah sinar matahari laju pengeringan rata-raa sebesar 0,47 gram/menit. Efisiensi pengeringan tertinggi pada pengujian III sebesar 29,25% pada rak I, total efisiensinya pada alat pengering surya ini adalah 75,42% sedangkan efisiensi dikeringkan langsung dibawah sinar matahari didapat sebesar 14,59 %.

**Kata kunci :** Alat pengering surya, kosentrator, reflektor, kolektor, rak pengering.

### 1. PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Energi radiasi matahari merupakan salah satu energi alternatif yang dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan guna menggantikan energi yang dihasilkan oleh minyak



bumi. Salah satu pemanfaatan dari energi radiasi matahari yang banyak digunakan adalah sebagai alat pengering energi surya. Suatu karunia yang besar bahwa Indonesia yang terletak pada khatulistiwa bumi mendapatkan sinar matahari sepanjang tahun dan secara berkesinambungan. Sehingga bentuk energi yang tak terhabiskan ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan sebagai bentuk energi alternatif.

Pada saat ini pemanfaatan surya telah dikembangkan di Indonesia, tetapi masih sangat terbatas, sehingga perlu diadakan penelitian dan pengembangan untuk mendapatkan system ekonomis guna memanfaatkan secara luas energi surya ini sebagai sumber energi yang dapat dipakai khususnya untuk keperluan industri kecil, menengah maupun dalam skala besar.

Selama ini kebutuhan energi bahkan kebutuhan dunia masih mengandalkan minyak bumi sebagai penyangga utama kebutuhan energi. Sementara itu tidak dapat dihindarkan bahwa sumber energi ini semakin langka dan mahal harganya. Bagi Indonesia masalah energi menjadi lebih penting lagi artinya dan perlu mendapatkan penanganan yang khusus karena :

- Lebih kurang 80 % kebutuhan energi di Indonesia dipenuhi oleh minyak bumi (data 2002)
- Harga minyak dan Konsumsi minyak bumi yang cenderung meningkat dengan pesat setiap tahun.
- Banyaknya sumber-sumber alternatif di Indonesia yang perlu dikembangkan

Di dalam skripsi ini penulis bermaksud memperkenalkan serta menguji penggunaan alat pengering tenaga surya ini untuk menguji bahan komoditi berupa potongan kerupuk dengan memanfaatkan energi surya.

### 1.2 Rumusan Masalah

Adapun batasan masalah yang akan dibahas adalah

- 1.massa air yang dikeringkan
- 2.prosentase kadar air tiap jam per rak
- 3.laju massa air yang dikeringkan per jam
- 4.laju pengeringan rata-rata
- 5.Energi kalor pengerinan
- 6.Energi kalor radiasi
- 7.Efisiensi pengeringan

### 1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk memahami pembuatan dan cara kerja alat pengering surya ini.
2. Untuk mengetahui massa air yang dikeringkan, prosentase kadar air tiap jam per rak, laju pengeringan dan efisiensi pengeringan pada alat pengering surya ini.

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Dapat memenuhi kebutuhan masyarakat khususnya para pedagang yang menginginkan adanya pemanfaatan energi alternatif untuk pengeringan dari hasil komoditi dagangan mereka.
2. Sebagai hasil pembandingan bagi penelitian selanjutnya
3. Dapat bermanfaat bagi generasi penerus dalam melakukan penelitian dan pengembangan ilmu teknologi yang memanfaatkan energi surya khususnya pengering surya.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Penjelasan Umum Kerupuk

Kerupuk adalah makanan ringan yang dibuat dari adonan tepung tapioka dicampur bahan perasa seperti udang atau ikan. Kerupuk dibuat dengan mengukus adonan sebelum dipotong tipis-tipis, dikeringkan di bawah sinar matahari dan digoreng dengan minyak goreng yang banyak. Kerupuk sering dijadikan pelengkap untuk berbagai makanan Indonesia seperti nasi goreng dan gado-gado. Kerupuk ikan dan kerupuk udang merupakan jenis kerupuk yang paling sering dijumpai di Indonesia. Ikan, telur dan daging adalah bahan penyedap yang dapat digunakan dalam pembuatan kerupuk. Merica, bawang putih, bawang merah, dan garam merupakan bumbu utama dari pembuatan kerupuk ini.

Pengeringan dengan cara konvensional selama ini dianggap paling mudah dan praktis karena sudah biasa dilakukan, biaya operasional murah, namun memiliki beberapa kelemahan. Selain dibutuhkan lahan yang luas, juga terjadinya kontaminasi produk oleh debu, kotoran dan polusi kendaraan, sehingga kurang higienis yang menyebabkan mutu menjadi rendah, pecah-pecah dan tidak menarik.

### 2.2. Kerupuk Kering

Kerupuk yang kering memiliki kadar airnya yang rendah  $\pm 10\%$  dari kadar air semula (sebelum pengeringan), tandanya adalah berbunyi bila dipatahkan. Dan hasil pengeringan disebut dengan kerupuk mentah.

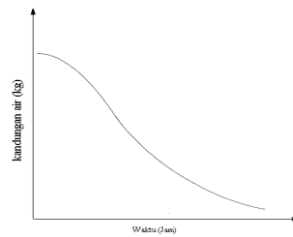
### 2.3. Proses Pengeringan

Proses pengeringan adalah proses pemindahan panas dan uap air secara simultan, yang memerlukan energi panas untuk menguapkan kandungan air yang dipindahkan dari permukaan bahan, yang dikeringkan oleh media pengering yang berupa panas udara yang dihasilkan oleh kolektor

Adapun peristiwa yang terjadi selama proses pengeringan adalah :

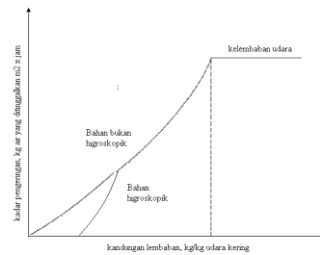
- a. Proses pemindahan panas, yaitu proses yang terjadi karena perbedaan temperature, panas yang dialirkan akan meningkatkan suhu bahan yang lebih rendah, menyebabkan tekan uap air didalam bahan lebih tinggi dari tekan uap air di udara.
- b. Proses pemindahan massa, yaitu suatu proses yang terjadi karena kelembaban relatif udara pengering lebih rendah dari kelembaban relatif bahan, panas yang dialirkan diatas permukaan bahan akan meningkatkan uap air bahan sehingga tekanan uap air akan lebih tinggi dari tekanan uap udara ke pengering.

Pada proses pengeringan berlaku dua proses yaitu : pada permulaan proses, air dipermukaan bahan akan diuapkan seperti yang digambarkan pada kurva pengeringan yang berkemiringan rendah kemudian barulah berlaku proses pemindahan air dari bagian bahan dalam kepermukaannya samapi air yang terikat saja di dalam bahan.



**Gambar 1.** Kurva pengeringan

Kurva penting lainnya yang dapat menjelaskan mekanisme kadar pengeringan dengan lebih baik adalah kurva kadar pengeringan, seperti ditunjukkan pada gambar 2.2 yang menggambarkan kadar perubahan kandungan air bahan terhadap kandungan air mula-mula.



**Gambar 2.** Kurva kadar pengeringan

Pengeringan kerupuk adalah pengurangan sejumlah air dari irisan kerupuk yang dipotong-potong, dalam arti kata dapat diambil sebagian atau seluruhnya sehingga air di dalam kerupuk basah mencapai jumlah tertentu yang diinginkan

Kadar air dapat ditentukan berdasarkan basis basah dan basis kering. Basis basah adalah persen massa air yang terkandung pada komoditi dibandingkan terhadap massa seluruh, yaitu massa bahan kering ditambah massa air yang terkandung.

Untuk menghitung kadar air basis basah digunakan rumus perhitungan :

$$Ka = \frac{Ba}{(Ba + Bk)} \times 100\%$$

Dimana :

= Kadar air basis basah (%)

$Ba$  = Massa air dalam bahan (gram)

$Bk$  = Massa bahan kering mutlak (gram)

Laju massa air yang dikeringkan menggunakan perhitungan :

$$W_a = \frac{M_0 - M_1}{\text{Waktu Pengeringan}}$$

Dimana :

$W_a$  = Laju massa air yang dikeringkan (gram/menit)

$M_0$  = Massa air dalam bahan (gram)

$M_1$  = Massa bahan produk kering (gram)

Laju pengeringan rata-rata dapat dituliskan dengan persamaan :

$$\bar{W} = \frac{\text{pengurangan massa air (gram)}}{\text{waktu pengeringan (menit)}}$$

Dimana :

$\bar{W}$  = Laju pengeringan rata-rata (gram/menit)

#### 2.4. Efisiensi Pengeringan

Efisiensi pengeringan mempunyai arti penting untuk nilai kualitas kerja dari pengeringan tenaga surya yang dirancang. Kualitas kerja dari pengering tenaga surya meliputi aspek konversi energi dan perpindahan massa. Aspek konversi energi ditujukan oleh efisiensi kolektor, sedangkan aspek perpindahan massa dinyatakan dengan laju pelepasan massa air dari produk udara yang memanaskannya. Efisiensi pengeringan dinyatakan sebagai perbandingan kalor yang digunakan untuk penguapan kandungan air dari kerupuk terhadap energi radiasi surya yang tiba di pengering.

Kalor yang digunakan untuk pengeringan kandungan air kerupuk adalah :

$$Q_e = (m_b - m_k) \cdot h_{fg}$$

Dimana :

$m_b$  = Berat bahan produk kerupuk awal (kg)

$m_k$  = Berat bahan produk kerupuk setelah pengeringan (kg)

$h_{fg}$  = Entalpi penguapan pada temperatur rata-rata kerupuk (kJ/kg)

Adapun untuk energi yang tiba pada alat pengering menggunakan perhitungan :

$$Q_{rs} = A \cdot I_r \cdot t$$

Dimana :

$A$  = Luas pelat kolektor ( $m^2$ )

$I_r$  = Intensitas radiasi surya ( $Watt/m^2$ )

$t$  = Waktu yang dibutuhkan untuk pengeringan(s)

Sehingga persamaan efisiensi pengeringan dapat dituliskan sebagai berikut :



$$\eta = (Q_e / Q_{rs}) \times 100\%$$

Dimana :

$\eta$  = Efisiensi pengeringan (%)

$Q_e$  = Energi kalor penguapan (kJ)

$Q_{rs}$  = Energi kalor radiasi (kJ)

## 2.5 Faktor yang mempengaruhi Pengeringan

Prinsip pengeringan biasanya akan melibatkan dua kejadian yaitu : (1) panas harus diberikan pada bahan yang akan dikeringkan, dan (2) air harus dikeluarkan dari dalam bahan. Dua fenomena ini menyangkut pindah panas ke dalam dan pindah massa keluar. Pindah massa adalah pemindahan air keluar dari bahan komoditi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam kecepatan pengeringan adalah :

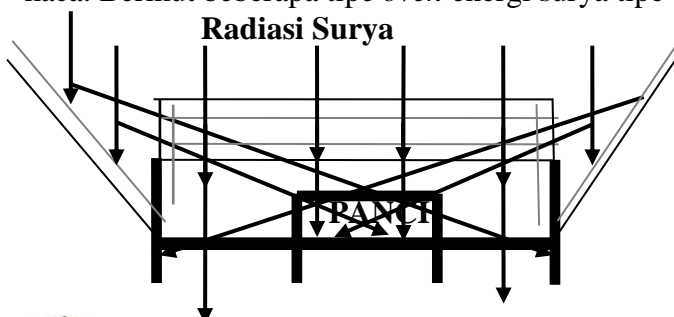
- Luas permukaan
- Perbedaan suhu sekitar
- Kecepatan aliran udara
- Tekanan Udara

## 2.6 Kelembaban Udara

Kelembaban udara mempengaruhi kemampuan udara untuk memindahkan uap air. Secara umum, kelembaban udara adalah ukuran kandungan air di udara. Kelembaban udara dapat dinyatakan dalam dua pengertian yang berbeda yaitu kelembaban mutlak dan kelembaban relative. Kelembaban mutlak adalah massa uap air dalam tiap satuan massa udara kering., dinyatakan oleh satuan massa uap air per satuan massa udara kering. Tingkat kejenuhan udara dinyatakan oleh relative humidity (RH). Jelasnya, RH adalah perbandingan kelembaban udara tertentu dengan kelembaban udara jenuh pada kondisi tekanan dan temperature yang sama. Perbandingan ini dinyatakan dalam persentasi kejenuhan dengan 100% RH untuk udara jenuh dan 0% untuk udara yang bebar-benar kering.

## 2.7 Energi Surya

Energi surya merupakan salah satu sumber energi yang tidak akan pernah habis. Energi surya dipancarkan ke bumi secara radiasi, yaitu perpindahan panas dalam bentuk gelombang elektromagnetik tanpa medium perantara. Untuk mengubah radiasi matahari menjadi energi panas dibutuhkan kolektor surya. Pemakaian cermin sebagai kosentrator akan memperpanjang gelombang radiasi matahari sehingga akan membantu dalam peningkatan intensitas radiasi matahari seperti halnya efek rumah kaca. Berikut beberapa tipe *oven* energi surya tipe box.



**Gambar 1.** Oven energi surya dengan kolektor  
Penyerap serta dibantu empat sisi  
Cermin pemantul

Dilihat arah pemantulan dan penyerapannya, penggunaan cermin datar sebagai kosentrator memungkinkan peningkatan intensitas radiasi matahari yang tinggi pada *Oven* energi surya tipe box.

Radiasi surya yang mencapai permukaan bumi bila dilihat dari jatuh pada permukaan horizontal sepanjang hari pada cuaca baik, maka akan terlihat pada perubahan dari kurang lebih  $0 \text{ W/m}^2$  pada jam 6 pagi dan pada jam 12 siang mencapai maksimum kurang lebih  $1000 \text{ W/m}^2$ , lalu menurun kembali menjadi  $0 \text{ W/m}^2$  pada jam 6 sore.

### 2.8 Jenis Pengereng Surya

Berdasarkan cara pemanfaatan energi surya, maka dikenal 2 macam alat pengereng energi surya :

1. Type Radiasi langsung bekerja dengan cara meneruskan radiasi langsung menuju bahan
2. Type tidak langsung yaitu Panas didapat dari dinding penyekat. Untuk mempertahankan panas digunakan sekat transparan (kaca yang di buat lubang).

Berdasarkan prinsip kerja alat pengereng energi surya terdiri atas dua jenis yaitu :

1. System pasif yaitu Pengerengan system pasif memanfaatkan radiasi surya dan kecepatan angin tanpa sumber energi selain energi surya
2. System Hybrid yaitu memanfaatkan energi surya dengan tambahan sumber energi lain(listrik, bahan bakar, dan lain-lain).

### 3. PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

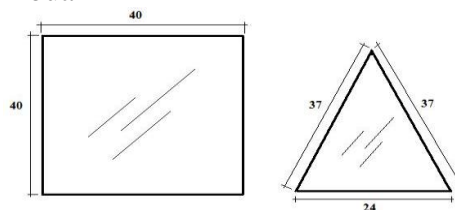
Dalam perencanaan dan pembuatan alat pengereng surya ini konsep perencanaan yang dipakai adalah konvensional, artinya pengereng surya ini dibuat didasarkan pada ketersediaan bahan yang ada di pasar dan tidak memerlukan peralatan khusus pada pembuatan pengereng ini.

#### a. Perencanaan reflektor

Pembuatan reflektor terdapat beberapa komponen yaitu :

1. Pembentukan cermin

Pada tahap ini kita bentuk kaca cermin dengan 2 ukuran yaitu segi empat dengan ukuran  $40 \times 40 \text{ Cm}$  dan segetiga dengan ukuran sisi-sisinya  $37 \times 37 \times 24 \text{ cm}$  keduanya masing-masing berjumlah 4 buah

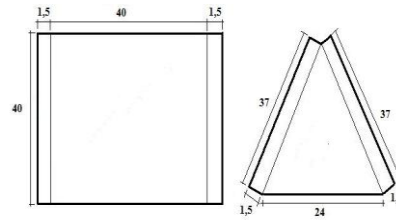


**Gambar 5.** Ukuran kaca cermin

2. Pembentukan kerangka reflektor

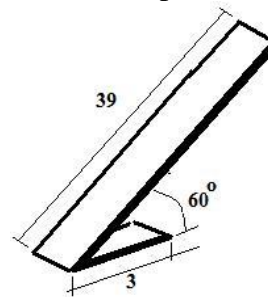


Buat rangka reflektor dari bahan triplek plat aluminium dan besi batangan. Triplek kita potong dengan sesuai ukuran kaca dan jumlah yang sama dengan potongan cermin, sedangkan plat aluminium kita bentuk sesuai dengan ukuran dengan ketebalan 0,2 mm.



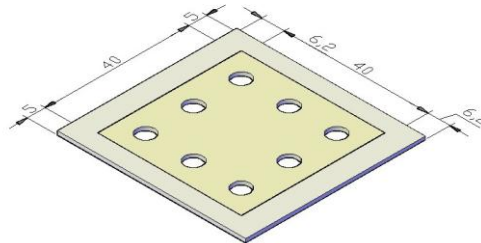
**Gambar 6.** Ukuran kerangka reflektor

Kemudian bentuk pula batangan besi dengan tebal 2 mm potong dengan panjang 39 cm dan buat sudut  $60^{\circ}$  terhadap horizontal seperti Gambar 7.



**Gambar 7.** Batang besi penyanggah

Kemudian bentuk lagi kerangka bawah sekaligus tempat peletakan kaca transparan dengan ukuran 40 x 40 cm

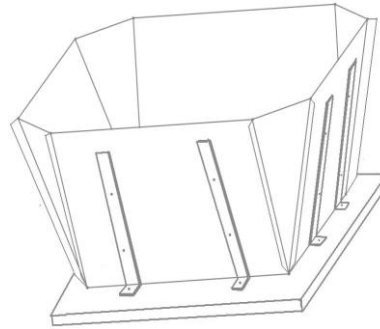


**Gambar 8.** Kerangka bawah reflektor

Pada kaca transparan ini dibuat 8 buah lubang dengan diameter masing – masing 2,5 cm.

### 3. Pembentukan reflektor

Pada proses ini bagian-bagian berupa cermin, triplek, aluminium dan batang besi disusun seperti gambar di bawah



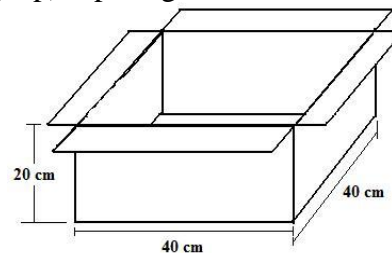
**Gambar 9.** Reflektor pengering surya

## b. Perencanaan kolektor

Bagian kolektor yang dirancang oleh penulis terpisah dengan reflektor. Untuk perencanaan kolektor dibagi beberapa komponen antara lain :

### 1. Perencanaan pelat absorber

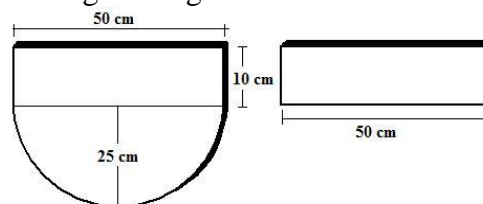
Pembuatan pelat absorber dibuat dengan menggunakan bahan dari aluminium yang berukuran 40 x 40 cm dan tinggi 20 cm dan dirakit menggunakan paku keling kemudian di cat hitam buram (dop) seperti gambar 10.



**Gambar 10.** Pelat absorber

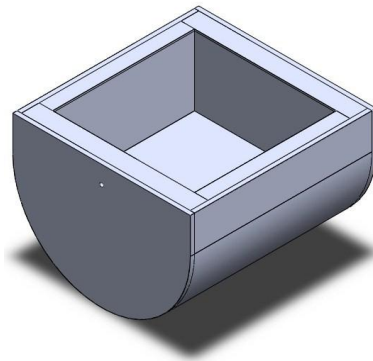
### 2. Pembuatan rangka kolektor

Rangka kolektor menggunakan bahan triplek dengan tebal 12 mm dengan ukuran-ukuran seperti di bawah ini masing-masing dua buah



**Gambar 11.** Ukuran kerangka kolektor

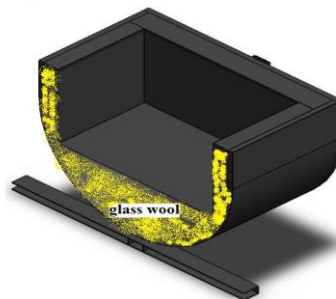
Kemudian untuk tutup kolektor berbahan aluminium dengan ukuran 100 x 50 cm. Kemudian susun semua bagian dan didapat hasil seperti gambar di bawah ini.



**Gambar 12.** Bagian tempat pengeringan

3. Pembuatan isolator

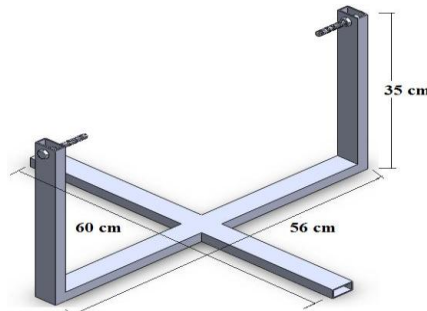
Isolator kolektor terdapat pada bagian bawah dan ke empat sisi. Isolator menggunakan glasswool yang di isi padat pada rongga kolektor.



**Gambar 13.** Letak Glasswool

c. Perencanaan kerangka penyangga

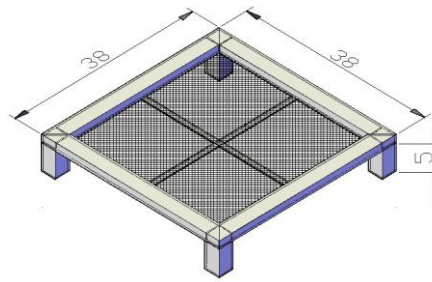
Kerangka dibuat dari besi kotak dengan dimensi 4 x 2 cm dan tebal 2 mm kemudian rakit batangan besi dan di beri 2 buah baut 14'



**Gambar 14/** Kerangka penyanggah kolektor

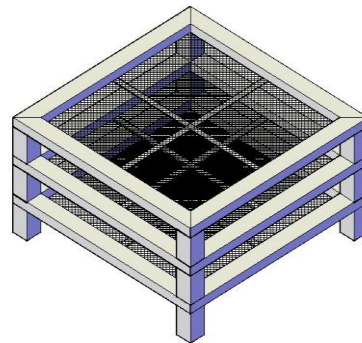
d. Perencanaan rak pengering

Rak pengering dibuat dari aluminium sebagai kerangka dengan tebal aluminium 0,2 cm. Dimensi rak pengering 38 cm x 38 cm. dan kawat nyamuk sebagai landasan untuk bahan komoditi. Kawat nyamuk di pasang pada rangka aluminium dengan menggunakan paku keling.



**Gambar 15.** Gambar rak pengering

Untuk mengoptimalkan kapasitas dari bahan yang akan dikeringkan maka dibuat 3 tingkat seperti gambar dibawah



**Gambar 16.** Gambar rak tiga tingkat

#### 4. PENGUJIAN PERALATAN DAN INSTRUMENTASI

##### 1. Metode pengujian

Metode pengujian dalam melaksanakan pengujian ini adalah metode eksperimental yaitu pengamatan langsung terhadap pengujian yang dilakukan secara seksama dengan melakukan pengukuran-pengukuran.

##### 2. Tempat pengujian

Pengujian alat pengering tenaga surya ini dilakukan ditempat terbuka agar terkena dari radiasi matahari, dimana pada kesempatan ini berlokasi di Teknik Mesin Palembang

##### 3. Prosedur pengujian

1. Penulis mempersiapkan alat pengering surya.
2. Menempatkan alat pengering dan bagian kolektor menghadap matahari.
3. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan yaitu termometer air raksa dan timbangan digital.
4. Ukur massa basah total bahan produk kerupuk tiap rak dengan massa yang sama tiap rak
5. Kemudian dilakukan pengujian dengan meletakkan bahan di rak ke dalam ruang pengering.
6. Ukur temperatur udara pada kondisi awal
7. Ukur temperatur dan massa produk kerupuk tiap jam
8. Pengujian dilakukan sampai mencapai kadar air yang diinginkan sebesar  $\pm 10\% - 15\%$ .
9. Pengujian dimulai dari pukul 10.00-17.00 WIB.

10. Untuk pengujian dengan cara dikeringkan langsung dilakukan dengan cara menghamparkan kerupuk dibawah sinar matahari langsung.

#### 4. Instrumentasi pengujian

a. Alat ukur temperatur

Untuk mengukur temperatur lingkungan digunakan termometer air raksa range pengukuran  $0^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan untuk temperatur kolektor dan rak digunakan termokopel Krisbow range pengukuran  $-20^{\circ}\text{C} - 1370^{\circ}\text{C}$

b. Alat ukur massa

Untuk menghitung perubahan massa yang terjadi digunakan Neraca Digital Range pengukuran 5 kg dan skala terkecil 1 gram.

c. Pengukuran Radiasi matahari

Adapun data radiasi matahari diambil dari Badan Metereologi dan Geofisika Stasiun Klimatologi Kenten Palembang.

#### 5. Hasil pengujian dan pembahasan

Berdasarkan pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan maka didapatkan hasil sebagai berikut :

**Tabel 1. Hasil pengolahan data kadar air perjam tiap rak pada pengujian I, II dan III Menggunakan Alat Pengering Surya**

Pengujian I Tanggal 15 Februari 2011						
Waktu	M <sub>1</sub> (Gram)	M <sub>2</sub> (Gram)	M <sub>3</sub> (Gram)	Ka <sub>1</sub> (%)	Ka <sub>2</sub> (%)	Ka <sub>3</sub> (%)
10.00	300	300	300	80	80	80
11.00	243	232	265	64,8	67,2	70,6
12.00	183	200	223	48,8	53,3	59,4
13.00	125	147	185	33,3	39,2	49,2
14.00	67	96	148	17,8	25,6	39,4
15.00	42	68	103	11,2	18,1	27,4
16.00	-	46	69	-	12,2	18,4
17.00	-	-	39	-	-	10,4
Pengujian II Tanggal 23 Februari 2011						
Waktu	M <sub>1</sub> (Gram)	M <sub>2</sub> (Gram)	M <sub>3</sub> (Gram)	Ka <sub>1</sub> (%)	Ka <sub>2</sub> (%)	Ka <sub>3</sub> (%)
10.00	300	300	300	80	80	80
11.00	235	244	260	62,6	65,0	69,3
12.00	185	192	216	49,3	51,2	57,6
13.00	129	136	175	34,4	36,2	46,6
14.00	61	89	134	16,2	23,7	35,7
15.00	40	60	99	10,6	16,0	26,4
16.00	-	42	69	-	11,2	18,4
17.00	-	-	40	-	-	10,6
Pengujian III Tanggal 26 Februari 2011						
Waktu	M <sub>1</sub> (Gram)	M <sub>2</sub> (Gram)	M <sub>3</sub> (Gram)	Ka <sub>1</sub> (%)	Ka <sub>2</sub> (%)	Ka <sub>3</sub> (%)
10.00	300	300	300	80	80	80
11.00	213	221	239	56,8	58,9	63,7
12.00	143	152	175	38,1	40,5	46,6
13.00	80	103	126	21,3	27,4	33,6
14.00	43	65	88	11,4	17,3	23,4
15.00	-	39	61	-	10,4	16,2
16.00	-	-	45	-	-	12,0
17.00	-	-	-	-	-	-

Keterangan :

Ka<sub>1</sub> = Kadar air rak I pada masing-masing Pengujian

Ka<sub>2</sub> = Kadar air rak II pada masing-masing Pengujian

Ka<sub>3</sub> = Kadar air rak III pada masing-masing Pengujian

**Tabel 2. Hasil pengolahan data kadar air perjam Pengujian I, II dan III Dengan Cara Dikeringkan Langsung Tanpa Alat**

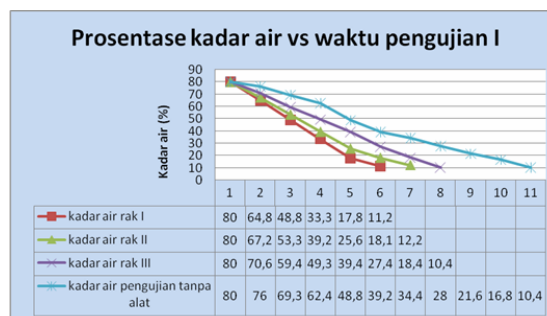
Pengujian I				
Tanggal 15 dan 16 Februari 2011				
Waktu	15 Februari	16 Februari	Ka <sub>I</sub> (%)	Ka <sub>II</sub> (%)
	M <sub>1</sub> (Gram)	M <sub>2</sub> (Gram)		
10.00	300	105	80	28,0
11.00	285	81	76,0	21,6
12.00	260	63	69,3	16,8
13.00	234	39	62,4	10,4
14.00	183	-	48,8	-
15.00	147	-	39,2	-
16.00	130	-	34,4	-
17.00	105	-	28,0	-
Pengujian II				
Tanggal 23 dan 24 Februari 2011				
Waktu	15 Februari	16 Februari	Ka <sub>I</sub> (%)	Ka <sub>II</sub> (%)
	M <sub>1</sub> (Gram)	M <sub>2</sub> (Gram)		
10.00	300	101	80	26,9
11.00	277	78	73,8	20,8
12.00	251	62	66,9	16,5
13.00	225	48	60	12,8
14.00	179	-	47,7	-
15.00	145	-	38,6	-
16.00	125	-	33,3	-
17.00	101	-	26,9	-
Pengujian III				
Tanggal 26 dan 27 Februari 2011				
Waktu	15 Februari	16 Februari	Ka <sub>I</sub> (%)	Ka <sub>II</sub> (%)
	M <sub>1</sub> (Gram)	M <sub>2</sub> (Gram)		
10.00	300	88	80	23,4
11.00	266	66	70,9	17,6
12.00	237	42	63,2	11,2
13.00	208	-	55,4	-
14.00	156	-	41,6	-
15.00	126	-	33,6	-
16.00	103	-	27,4	-
17.00	88	-	23,4	-

Keterangan :

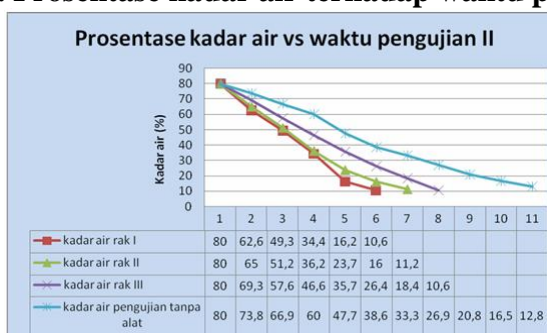
Ka<sub>I</sub> = Kadar air pada masing-masing pengujian hari I

Ka<sub>II</sub> = Kadar air pada masing-masing pengujian hari II

Dari tabel hasil perhitungan diatas maka dapat di plotkan dalam gambar dibawah ini :

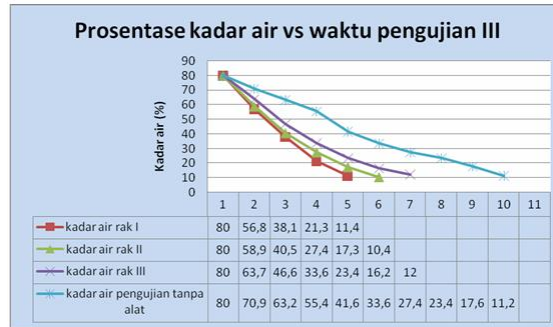


**Grafik 1. Prosentase kadar air terhadap waktu pengujian I**



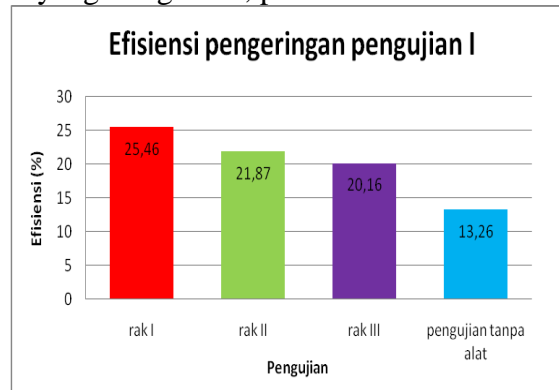
**Grafik 2. Prosentase kadar air terhadap waktu pengujian II**



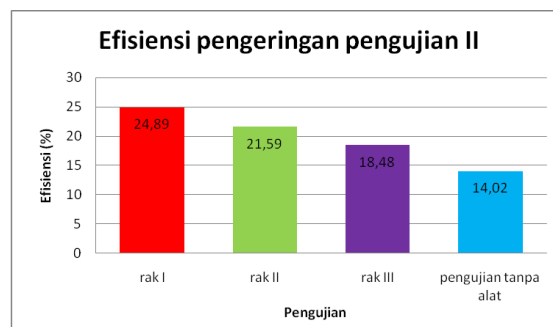


**Grafik 3. Prosentase kadar air terhadap waktu pengujian III**

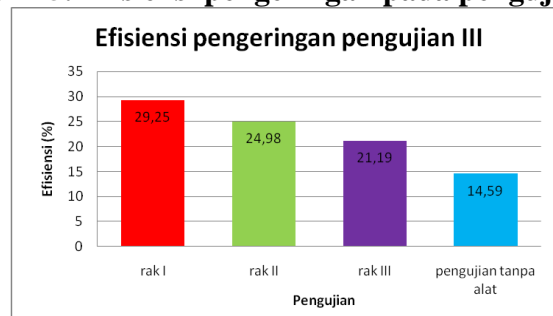
Pada grafik diatas dapat kita ketahui bahwa persen kadar air tercepat pada pengujian III, hal ini terlihat pada rak I selama 4 jam sebesar 11,4% , rak II selama 5 jam sebesar 10,4% dan rak III selama 6 jam sebesar 12,0% sedangkan pengujian langsung tanpa alat selama 7 jam baru mencapai 23,4% sehingga dilanjutkan hari berikutnya sampai mendapatkan kadar air yang diinginkan, pada hari II kadar air telah mencapai 11,2%



**Grafik 4. Efisiensi pengeringan pada pengujian I**



**Grafik 5. Efisiensi pengeringan pada pengujian II**



**Grafik 6. Efisiensi pengeringan pada pengujian III**

Dari grafik efisiensi diatas terlihat bahwa efisiensi tertinggi masing-masing pengujian terdapat pada pengujian III dimana efisiensi tertinggi pada rak I sebesar 29,25 %, rak II sebesar 24,98 % dan rak III sebesar 21,19 % sedangkan untuk pengujian langsung tanpa alat sebesar 14,59 %.

## 6. Kesimpulan dan Saran

### Kesimpulan

1. Laju pengeringan terjadi lebih cepat pada Pengujian III, pada rak I sebesar 1,07 gram/menit, rak II sebesar 0,87 gram/menit, rak III sebesar 0,70 gram/menit, sedangkan pengujian dengan cara dikeringkan langsung tanpa alat sebesar 0,47 gram/menit, hal ini menyebabkan proses pengeringan dengan cara dikeringkan langsung lebih lambat dibandingkan menggunakan alat pengering surya.
2. Waktu yang dibutuhkan untuk pengeringan yang paling cepat yaitu pada pengujian III, pada rak I selama 4 jam, rak II selama 5 jam, dan rak III selama 6 jam sedangkan untuk pengeringan langsung tanpa alat selama 9 jam, dimana proses pengeringan langsung tanpa alat membutuhkan waktu 2 hari untuk proses pengeringan.
3. Efisiensi yang tertinggi yang di dapat dari Alat Pengering Surya Tipe Box ini adalah pada Pengujian III, dimana pada rak I sebesar 29,25%, rak II sebesar 24,98 % dan rak III sebesar 21,19 %. Efisiensi total yang didapat dari Alat Pengering Surya ini adalah sebesar 75,42% sedangkan efisiensi tertinggi dengan cara dikeringkan langsung tanpa alat sebesar 14,59%.
4. Dengan menggunakan alat pengering surya ini hasil komoditi yang dikeringkan lebih bersih, higienis, dan bebas dari kotoran atau debu.

### Saran

Saran-saran yang diberikan untuk alat pengering surya tipe box ini adalah : Apabila potensi energi termal yang dihasilkan oleh kolektor dipengaruhi oleh kondisi cuaca, maka untuk mengatasi kendala ini, energi termal yang dihasilkan dapat dikonveksi menjadi energi listrik dengan teknologi sel surya sehingga dapat disimpan dan digunakan sewaktu-waktu.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Astawan, Made dan Christina. *Kajian Mutu Kerupuk Kemplang dari Ikan Gabus dan Ikan Tenggiri*. J. ilmu dan teknologi pangan 3(2):11-20, 1998.
- Hasibuan, Rosdanelli. *Mekanisme Pengeringan*, Jurnal Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara, 2004
- Perkasa, Lughantha. *Rancang Bangun Alat Pengering Kunyit Tipe Rak Menggunakan Energi Surya*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya, Inderalaya, 2009.
- Kharisandi, Anton. *Rancang Bangun Alat Pengering Surya Dengan Memanfaatkan Energi Surya*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya, Inderalaya, 2008
- Ramadhansyah, Handoko. *Rancang Bangun Kolektor Surya Konvensional Bentuk Prismatik Untuk Pemanas Air*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya, Palembang.
- Holman, J, P. *Perpindahan Kalor*, Erlangga, Jakarta, 1995.
- Pusat Riset dan Pengembangan (PRP), *Solar Cooker & Dryer*, Universitas Diponegoro Semarang.

## BIOMASSA: BAHAN BAKAR BERSIH UNTUK INDUSTRI KARET DI SUMATERA SELATAN

David Bahrin<sup>1\*</sup>, Nukman<sup>2</sup>, Yuri Dariansyah<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya  
Km.32, Inderalaya

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya  
Km.32, Inderalaya

<sup>3</sup>Boiler Engineer, PT.Sri Trang Lingga Indonesia, Jl. Musi Dua, Palembang

\*Koresponensi Pembicara. Phone: +62 813 73577612  
Email: [davidbahrin@unsri.ac.id](mailto:davidbahrin@unsri.ac.id) / david\_lht@yahoo.com

### ABSTRACT

Industri karet menggunakan pembakaran bahan bakar pada ketel atau boiler untuk menghasilkan *steam* atau *hot hoil* yang dipakai dalam pengolahan karet. Kebutuhan energi untuk bahan bakar cukup besar atau sekitar 10% dari total biaya produksi industri karet. Saat ini, sebagian besar industri karet di Palembang menggunakan bahan bakar batubara untuk memproduksi steam tersebut. Penggunaan batubara ternyata membawa masalah tersendiri karena emisi gas buang dan abu sisa pembakaran yang dihasilkan cukup besar. Penggunaan biomassa seperti cangkang sawit memberikan peluang pengurangan emisi gas rumah kaca (CO<sub>2</sub>) dan jumlah abu yang dihasilkan. Konsumsi batubara perton karet yang diolah rata-rata sebesar 105 kg dengan jumlah gas CO<sub>2</sub> dan abu yang dihasilkan masing-masing sebesar 60,6 kg dan 4,46 kg. Sedangkan jika menggunakan bahan bakar biomassa cangkang sawit, rata-rata kebutuhan cangkang sawit perton produk karet yang diolah sebesar 109 kg dengan jumlah gas CO<sub>2</sub> dan abu yang dihasilkan masing-masing sebesar 46,8 kg dan 1,69 kg. Penggunaan biomassa cangkang sawit di industri karet ternyata mampu mengurangi emisi gas rumah kaca (CO<sub>2</sub>) dan abu yang dihasilkan masing-masing sebesar 22,8 % dan 62 % dibandingkan dengan penggunaan batubara.

**Keywords:** batubara, biomassa, efisiensi, industri dan karet.

### 1. PENDAHULUAN

Biomassa telah lama digunakan manusia sebagai sumber bahan bakar sudah sekian lama sebelum bahan bakar primer seperti batubara dan minyak bumi secara luas digunakan oleh manusia. Penggunaan batubara sebagai bahan bakar utama dimulai sejak abad 19 atau sejak munculnya revolusi industri di Inggris. Sedangkan minyak bumi mulai digunakan sebagai bahan bakar utama yang menggantikan posisi batubara dimulai tahun 1920an. Batubara maupun minyak bumi merupakan bahan bakar yang bersifat tidak bisa diperbaharui (*non-renewable*) yang membutuhkan waktu jutaan tahun untuk membentuknya kembali, bersifat mencemari lingkungan dengan efek rumah kacanya, kontinuitas suplainya tidak terjamin, dan bersifat tidak berkelanjutan (*non-sustainable*). Penggunaan energi yang tidak terkontrol saat ini menyebabkan kerusakan lingkungan akibat adanya emisi gas buang yang dihasilkan.

Protokol Kyoto menentukan target batas emisi gas rumah kaca untuk periode tahun 2008-2012 harus 12,5% lebih rendah dari batas tahun 1999 (Kyoto-Protocol). Negara-negara di dunia berkomitmen untuk mengurangi emisi atau pengeluaran karbon dioksida dan lima gas rumah kaca lainnya untuk meminimasi pemanasan global. Indonesia sendiri berkomitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan sebesar 26% dengan upaya sendiri dan 41% jika ada bantuan dari negara maju hingga tahun 2020 (IESR, 2011). Perlu upaya yang keras dari seluruh untuk mencapai target pengurangan emisi tersebut, salah satunya adalah mengurangi penggunaan bahan bakar fosil pada industri maupun kendaraan bermotor. Bahan bakar fosil tersebut diantaranya adalah Bahan Bakar Minyak (BBM) dan batubara di ganti dengan bahan bakar yang ramah lingkungan seperti gas, geothermal, biomassa, biodiesel, mikrohidro, fuel cell, solar sel dan nuklir.

Cangkang sawit adalah limbah padat hasil pengelolaan kelapa sawit dapat menjadi salah satu potensi biomassa yang dapat menghasilkan energi. Asia merupakan penyuplai 79 % tandan buah segar (TBS) kelapa sawit dari total produksi di dunia. Dimana 95 % dari total suplai Asia dihasilkan oleh negara Malaysia dan Indonesia. Pada tahun 2000 produksi tandan buah sugar dunia adalah 94 juta ton dimana 43 % – 45 % merupakan limbah padat serabut, tempurung dan tandan kosong. Indonesia sebagai penghasil kelapa sawit terbesar setelah Malaysia menghasilkan 8,2 juta ton pertahun limbah padat berupa serabut, batok dan tandan kosong yang setara dengan energi yang dapat dihasilkan sebesar 67 GJ/Tahun (The Bronzoek Group, 1999 dalam Vidian. F., 2009). Cangkang kelapa sawit pada saat dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pada industri salah satunya adalah industri pengolahan karet. Industri karet menggunakan cangkang sawit sebagai bahan bakar boiler untuk memproduksi steam.

## **2. PERKEMBANGAN INDUSTRI KARET DI SUMATERA SELATAN**

Sejak tahun 2005, karet menjadi komoditas primadona di Indonesia dengan semakin mahalnya harga karet dipasaran dunia. Menurut Aman. A (2007), jumlah industri pengolahan karet alam di provinsi Sumatera Selatan sebanyak 22 perusahaan dimana 11 perusahaan berada di kota Palembang dan sisanya di luar kota Palembang. Total kapasitas terpasang dari ke 22 perusahaan karet tersebut adalah sebanyak 940.000 ton pertahun dengan jenis olahan karet yang dihasilkan oleh perusahaan karet adalah jenis SIR (*Sheet Indonesia Rubber*) 20. Industri karet memberikan manfaat cukup besar bagi perekonomian di Sumatera Selatan, seperti penyediaan lapangan kerja, penghasilan masyarakat, paru-paru dunia, pajak dan retribusi, bumper untuk pencegahan penggundulan hutan dan bahan baku insutri kayu olahan. Namun selain dampak positif ada dampak negatif yang ditimbulkan diantaranya adalah limbah yang dihasilkan oleh pabrik pengolahan karet, penyebab kebakaran hutan, kecelakaan kerja dan kriminalitas. Data tahun 2006 menunjukkan bahwa dengan volume ekspor sebanyak 548.408 ton, devisa yang dihasilkan adalah sebesar US \$ 1.079.838.000 atau dalam rupiah sebesar Rp.10.258.461.000.000,-. Mengingat kontribusi industri karet terhadap perekonomian daerah cukup besar maka pemerintah daerah telah memasang target pada tahun 2012 produksi dan ekspor karet olahan sebesar 1.000.000 ton.

## **3. POTENSI BIOMASSA CANGKANG SAWIT DI SUMATERA SELATAN**

Menurut Eka (2010), potensi energi terbarukan di Indonesia mencapai 311.232 MW, namun kurang lebih baru 22% yang dimanfaatkan. Potensi energi terbarukan yang cukup besar dan belum banyak dimanfaatkan adalah biomassa. Biomassa adalah

bahan organik yang berasal dari tumbuhan atau hewan. Namun, sebagian besar biomassa berasal dari tumbuhan yang mengandung energi tersimpan dari matahari yang diserap pada waktu tanaman tumbuh dalam proses yang disebut fotosintesis. Energi kimia dalam tumbuhan selanjutnya diserap oleh hewan dan manusia pada saat mengkonsumsinya. Indonesia memiliki potensi besar untuk memanfaatkan produk samping sawit sebagai sumber energi terbarukan. Kelapa sawit merupakan salah satu komoditi yang mengalami pertumbuhan sangat pesat. Potensi biomassa di Sumatera Selatan cukup besar. Biomassa tersebut bersumber dari hutan alam, perkebunan, lahan gambut dan padang rumput. Perkebunan di Sumatera Selatan didominasi oleh perkebunan kelapa sawit dan perkebunan karet.

Kelapa sawit merupakan salah satu sumber minyak nabati yang penting di Indonesia. Data dari Kementerian Pertanian Direktorat Jenderal Perkebunan RI memperlihatkan bahwa produksi Tandan Buah Segar (TBS) provinsi Sumatera Selatan tahun 2008 sebesar 1.753.212 ton pertahun dengan luas lahan perkebunan kelapa sawit mencapai 690.729 hektar. Luasnya lahan perkebunan sawit di Sumsel tersebut merupakan potensi sumber biomassa yang tidak ternilai harganya. Tanaman sawit selain menghasilkan Tandan Buah Segar (TBS) juga menghasilkan pelepah daun, batang dan akar. TBS sendiri mengandung lebih kurang 67 % daging buah kelapa sawit, 20% tandan kosong dan 10 % air. Dari 67 % daging sawit mengandung minyak mentah (*Crude Oil*) sekitar 43%, biji 11 %, dan ampas 13%. Didalam Biji mengandung inti sekitar 5 %, cangkang 5% dan air 1 % (Pranata. J., 2008). Ini dapat diartikan bahwa dalam 1 (satu) ton TBS, produksi cangkang sawit sekitar 33,5 kg. Dari hasil olah data menunjukkan bahwa produksi cangkang sawit sebagai limbah padat industri kelapa sawit di Sumatera Selatan pada tahun 2008 mencapai 58.732,6 ton/tahun. Dan diperkirakan pada tahun 2012, produksi cangkang sawit di Sumsel mencapai 100.000 ton/tahun.

#### 4. PEMANFAATAN CANGKANG SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKAR

Saat ini sebagian besar cangkang sawit dimanfaatkan oleh perusahaan perkebunan hanya sebagai material untuk perkerasan jalan. Belum banyak industri yang menggunakan cangkang sawit sebagai bahan bakar. Pada Tabel 1 dapat dilihat pemanfaatan limbah industri kelapa sawit.

**Tabel 1.** Pemanfaatan Limbah Industri Kelapa Sawit

Jenis limbah	Potensi perton TBS (%)	Pemanfaatan
Tandan buah kosong	23,0	Pupuk kompos, pulp kertas, papan partikel & energi
Sabut sawit	13,0	Energi, Pulp kertas dan papan partikel
Cangkang sawit	6,5	Arang, Karbon aktif dan papan partikel
<i>Wet Decanter Solid</i>	4,0	Pupuk, kompos dan makanan ternak
Limbah Cair	50	Pupuk dan air irigasi

Sumber: Tim PT.SP (2000) dalam Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit, Departemen Pertanian (2006).

Menurut Effendi., R (2008), cangkang buah kelapa sawit merupakan turunan dari Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit yang kalau diolah dapat berfungsi sebagai bahan bakar untuk pengganti BBM. Biasanya cangkang ini digunakan untuk beriket sejenis briket batu bara. Di provinsi Jambi belum ada perusahaan yang melakukan ekspor maupun mengolah cangkang tersebut menjadi bahan bakar. Cangkang sawit memiliki potensi yang cukup besar jika dimanfaatkan sebagai bahan bakar karena nilai kalor yang dimilikinya cukup tinggi, sekelas dengan batubara jenis lignit. Hasil olah data menunjukkan bahwa total kebutuhan biomassa cangkang sawit untuk industri karet di Sumsel baru sekitar 15.000 ton pertahun. Namun demikian, diperkirakan kebutuhan cangkang sawit untuk bahan bakar industri karet pada tahun 2012 dapat mencapai 54,5 ribu ton pertahun. Pada Tabel 2 dapat dilihat perbandingan hasil analisis proximat dan ultimat antara biomassa cangkang sawit dengan Batubara Jenis Lignit.

**Tabel 2.** Perbandingan Hasil Analisa Proximat dan Ultimat antara Biomassa Cangkang Sawit dengan Batubara Jenis Lignit

<b>Analisa/Parameter</b>	<b>Cangkang Sawit</b>	<b>Batubara Lignit</b>
<i>Proximat</i> (% berat)		
<i>Moisture</i>	6,12	17,56
<i>Volatile Mater</i>	56,64	37,20
<i>Ash</i>	10,62	6,36
<i>Fixed Carbon</i>	26,62	40,31
<i>Low Heating Value</i> (kkal/kg)	4594	5324
<i>Ultimat</i> (% Berat)		
C	48,48	57,01
H	6,32	6,57
O	43,59	28,34
N	0,21	1,16
S	0,01	0,56

Sumber: Vidian F. (2009) dan Bahrin D. (2009)

Tabel 2 diatas menunjukkan bahwa, tidak ada perbedaan yang signifikan antara biomassa cangkang sawit dibandingkan dengan batubara jenis lignit baik dilihat dari nilai kalor, analisa proksimat dan analisa ultimat. Berdasarkan hasil analisis tersebut maka biomassa cangkang sawit dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pada industri karet menggantikan batubara.

## 5. PEMBAHASAN

Industri karet dalam mengolah karet menjadi produk setengah jadi (SIR 20) membutuhkan *steam* atau *hot oil* untuk proses pengeringannya. *Steam* atau *hot oil* dapat dihasilkan dari pembakaran bahan bakar seperti minyak, batubara, gas atau biomassa. Sebagian industri karet di Palembang menggunakan batubara sebagai bahan bakar boiler/ketel. Hasil olah data memperhatikan bahwa konsumsi batubara perton karet yang diolah rata-rata sebesar 105 kg dengan jumlah rumah kaca (CO<sub>2</sub>) dan abu yang dihasilkan masing-masing sebesar 60,6 kg dan 4,46 kg. Dari data tersebut diperkirakan total kebutuhan batubara untuk industri karet di Sumsel pada tahun 2010 yang lalu mencapai 49.350 ton. Jumlah ini akan meningkat setiap tahun dan jika semua industri karet menggunakan batubara maka diperkirakan kebutuhan batubara industri karet pada tahun 2012 mencapai 105 ribu ton pertahun. Persentase rata-rata



produksi rumah kaca ( $\text{CO}_2$ ) dan abu sisa hasil pembakaran batubara pada boiler masing-masing sebesar 57,7% dan 4,23% dari total berat batubara yang digunakan. Sehingga dapat prediksi bahwa pada tahun 2012 produksi rumah kaca ( $\text{CO}_2$ ) dan abu sisa hasil pembakaran batubara yang dihasilkan oleh industri karet di Sumatera Selatan masing-masing sebesar 60.600 ton dan 4.441,5 ton. Jumlah tersebut akan terus meningkat dengan bertambahnya kapasitas produksi pabrik baik karena adanya ekspansi pembangunan pabrik oleh industri yang sudah ada maupun pembangunan pabrik karet baru oleh investor.

Emisi gas  $\text{CO}_2$  dari pembakaran bahan bakar fosil seperti batubara merupakan parameter terbesar yang bertanggung jawab terhadap terjadinya pemanasan global. Sehingga perlu upaya yang nyata bagaimana mengurangi jumlah emisi gas rumah kaca ( $\text{CO}_2$ ) salah satunya adalah menggunakan bahan bakar alternatif seperti biomassa cangkang sawit. Bahan bakar alternatif biomassa cangkang sawit telah digunakan oleh industri karet PT. Sri Trang Lingga Indonesia. Saat ini, penggunaan cangkang sawit diperusahaan tersebut telah mencapai 100% dari total kebutuhan bahan bakar boiler. Rata-rata kebutuhan cangkang sawit perton produk karet yang diolah sebesar 109 kg dengan jumlah gas rumah kaca ( $\text{CO}_2$ ) dan abu yang dihasilkan masing-masing sebesar 46,8 kg dan 1,69 kg. Persentase rata-rata produksi gas rumah kaca ( $\text{CO}_2$ ) dan abu sisa hasil pembakaran batubara pada boiler masing-masing sebesar 43 % dan 1,6 % dari total berat cangkang sawit yang digunakan.

Penggunaan biomassa cangkang sawit di industri karet ternyata mampu mengurangi emisi gas rumah kaca ( $\text{CO}_2$ ) dan abu yang dihasilkan masing-masing sebesar 22,8 % dan 62 % dibandingkan dengan penggunaan batubara. Namun demikian, selain dampak positif, penggunaan cangkang sawit ternyata memberikan dampak negatif karena menyebabkan peralatan menjadi cepat rusak. Hal tersebut mungkin dapat disebabkan karena sifat asam gas hasil pembakaran cangkang sawit tersebut. Sehingga perlu di kaji sejauh mana keekonomian penggunaan cangkang sawit di bandingkan batubara. Namun demikian cangkang sawit tetap menguntungkan bagi industri karet karena selain bersih dan ramah lingkungan, ketersediaan cangkang sawit juga cukup berlimpah dan mudah dalam hal penanganannya (transportasi, proses pembakaran dan pengolahan limbahnya) dibandingkan batubara.

## 6. KESIMPULAN

1. Biomassa adalah bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan merupakan bahan bakar terbarukan (*renewable energy*)
2. Potensi biomassa atau cangkang sawit di Sumatera Selatan cukup besar sehingga dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif pada industri karet.
3. Penggunaan biomassa di industri karet mampu mengurangi emisi gas rumah kaca ( $\text{CO}_2$ ) dan abu yang dihasilkan masing-masing sebesar 22,8 % dan 62 % dibandingkan dengan penggunaan batubara.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

- Annual Boiler Report. 2010. Fuel Usage for Boiler at PT. Sri Trang Lingga Indonesia: Palembang.
- Bahrin., D. 2009. Blending Batubara Sumatera Selatan untuk Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Makalah Seminar Kenaikan Pangkat dan Jabatan. Inderalaya: Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

- Departemen Pertanian RI. 2006. Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit. Di akses pada tanggal 27 September 2011 dari [pphp.deptan.go.id](http://pphp.deptan.go.id).
- Effendi., R. 2008. Jambi Belum Ekspor Cangkang Kelapa Sawit. Di akses pada tanggal 18 Mei 2011 dari <http://www.kabarindonesia.com>.
- Institute for Essetial Service Reform. 2011. Saatnya Negara Maju berkomitmen Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca. Di akses pada tanggal 01 Oktober 2011 dari <http://www.iesr-indonesia.org>.
- Kementerian Pertanian Direktorat Jenderal Perkebunan. 2011. Potensi Kelapa Sawit di Sumatera Selatan dalam Statistik Perkebunan Indonesia 2008-2010. diakses pada tanggal 26 Agustus 2011 dari <http://regionalinvestment.com>.
- Monthly Boiler Report. 2011. Fuel Usage for Boiler at PT. Sri Trang Lingga Indonesia: Palembang.
- Pranata., J. 2008. Pemanfaatan Sabut Dan Tempurung Kelapa Serta Cangkang Sawit Untuk Pembuatan Asap Cair. Di akses pada tanggal 25 Juli 2011 dari <http://www.scribd.com>
- Vidian., F dan Fikri. 2009. Pemanfaatan Tempurung Kelapa Sawit Menjadi Bahan Bakar Gas Melalui Teknologi Gasifikasi. Prosiding Seminar Nasional AVoER. Palembang: Universitas Sriwijaya.

## **PENELITIAN TERHADAP PENGEMBANGAN PENGGUNAAN MATERIAL PLASTIK (POLIKARBONAT) PADA SELUBUNG BANGUNAN**

**Kandy Felixon**

Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara, Jl. S.Parman no.1 –  
Grogol, Bakarta Barat  
Korespondensi pembicara. Phone +62 8978836668  
E-mail : Kandy\_felixon@yahoo.com

### **ABSTRAK**

Isu pemanasan global telah menjadi isu yang mendunia, menyebabkan seluruh bidang kehidupan manusia mendapat pengaruh yang kuat dari isu tersebut. Arsitektur pun tidak luput dari isu tersebut, hal ini terbukti dari kemunculan *green architecture* sebagai tren di dunia arsitektur akhir-akhir ini. Material merupakan salah satu unsur yang penting dalam arsitektur. Tidak terhitung banyaknya bangunan yang dibangun setiap tahunnya di dunia, salah memilih material berarti memberi konstribusi besar pada kondisi bumi. Plastik merupakan material yang dapat di daur ulang. Memang plastik bukanlah material yang baru untuk digunakan di dalam bangunan, namun penggunaannya pada saat ini hanya berkisar pada bagian-bagian tertentu seperti pada perabot-perabot, pipa-pipa dan sebagainya. Tujuan dari pembuatan makalah ini adalah membantu memberikan gambaran dan petunjuk dalam mengembangkan plastik (polikarbonat) sebagai material dalam selubung bangunan. Penggunaan material plastik dalam bangunan memang bukanlah hal yang baru. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian kepustakaan. Dari hasil penelitian yang dilakukan diketahui pengembangan penggunaan plastik (polikarbonat) pada selubung bangunan, serta keuntungan dan kerugian pengembangan polikarbonat pada selubung bangunan, baik secara umum maupun secara spesifik dari sisi arsitektural.

**Keyword** : plastik (polimer), polikarbonat, selubung bangunan, pengembangan.

### **1. PENDAHULUAN**

Isu pemanasan global telah menjadi isu yang mendunia, menyebabkan seluruh bidang kehidupan manusia mendapat pengaruh yang kuat dari isu tersebut. Arsitektur pun tidak luput dari isu tersebut, hal ini terbukti dari kemunculan *green architecture* sebagai tren di dunia arsitektur akhir-akhir ini.

Material merupakan salah satu unsur yang penting dalam arsitektur. Tidak terhitung banyaknya bangunan yang dibangun setiap tahunnya di dunia, salah memilih material berarti memberi konstribusi besar pada kondisi bumi.

Plastik telah menjadi bagian yang amat penting bagi kehidupan manusia. Begitu banyak produk yang digunakan manusia terbuat dari bahan ini, mulai dari kantong plastik belanja yang biasanya digunakan di supermarket, peralatan makanan sekali pakai, hingga ke perabotan-perabotan di dalam rumah kita. Plastik ini menjadi begitu ‘mendunia’, karena dinilai memiliki keunggulan dalam sifat-sifatnya yang dikenal fleksibel, tidak mudah pecah, tahan terhadap karat, mudah dibentuk untuk berbagai fungsi, merupakan isolator panas/ listrik yang baik, dan lain-lain.

Penggunaan namun penggunaannya pada saat ini hanya berkisar pada bagian-bagian tertentu seperti pada perabot-perabot, pipa-pipa dan sebagainya. Mengacu

kepada kelebihan – kelebihan material ini, maka pengembangan penggunaannya di dalam bangunan akan turut mendukung penggunaan material yang mendukung tema hijau bagi kehidupan manusia.

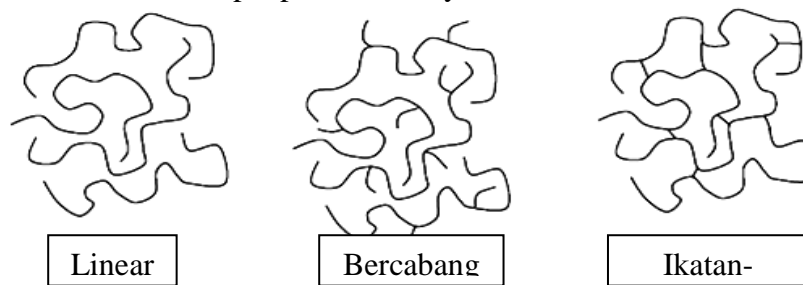
## 2. PLASTIK

Material polimer sebenarnya sudah digunakan sejak lama. Pada tahun 1400-an, Christopher Columbus menemukan penduduk asli Haiti bermain-main dengan bola yang terbuat dari suatu materi yang berasal dari sebuah pohon. Materi tersebut merupakan karet alam. Selanjutnya manusia mulai mengembangkan penggunaan materi ini.

Namun, penggunaan bahan polimer ini masih terbatas pada bahan yang berbasis pada alam. Polimer sintesis pertama dibuat di awal 1900-an menggunakan fenol dan formaldehida membentuk resin - (disebut *Bakelite* oleh Dr. Baekeland) . Bahkan dengan pengembangan polimer sintesis, para ilmuwan masih tidak menyadari sifat sejati dari bahan yang telah mereka persiapkan. Semakin lama, ilmu pengetahuan semakin berkembang, maka perkembangan polimer pun mengalami kemajuan hingga saat ini.

### KATEGORISASI PLASTIK

Pada dasarnya plastik dapat dibedakan menjadi dua, yaitu *thermoplastic* dan *thermoset*. Perbedaan ini terdapat pada ikatannya.



**Gambar 1.** Perbedaan ikatan yang ada pada polimer.

*Thermoplastic* adalah polimer yang tidak memiliki ikatan silang antar molekul. Material *thermoplastic* dapat ditemukan dalam struktur linear atau bercabang. Sebuah material *thermoplastic* yang mengalami proses pemanasan, akan menjadi cairan yang sangat kental yang dapat dibentuk dengan menggunakan peralatan pengolahan plastik. Tidak peduli berapa kali pun proses tersebut diulang, *thermoplastic* akan selalu melunak bila dipanaskan dan mengeras jika didinginkan. Terdapat 22 jenis plastik yang termasuk dalam kategori ini.

Sedangkan *thermoset* memiliki sifat yang sebaliknya. *Thermoset* memiliki ikatan silang antar molekul yang kuat dan apabila dipanaskan akan mengalami perubahan kimia sehingga bentuknya tidak dapat kembali. Dalam kondisi mentah umumnya *thermoset* berbentuk tepung atau cair.

Karena sifatnya yang mudah didaur ulang, maka jenis plastik *thermoplastic* akan lebih tepat untuk dikembangkan sebagai material dalam bangunan. Dengan demikian material bangunan ini tidak menjadi sampah ketika bangunan tersebut dihancurkan atau ingin mengganti material lain, tetapi dapat didaur ulang menjadi produk yang dapat bermanfaat.

### Tabel 1

Perbandingan antar polimer *thermoplastic*

Material	Heat deflection temperature @ 1.,82 Mpa, °c	Tensile strength MPa	Tensile modulus GPa	Impact Strength J/m	Density g/ cm <sup>3</sup>	Dielectric streghth MV/m	Dielectric constant @ 60 Hz
ABS	99	41	2.3	347	1,18	15,7	3,0
CA	68	37,6	1,26	210	1,30	16,7	5,5
PFTE	-	17,1	0,38	173	2,2	17,7	2,1
PCTFE		50,9	1,3	187	2,12	22,2	2,6
PB	102	25,9	0,18		0,91		2,25
PMP	-	23,6	1,10	128	0,83	27,6	
PI	-	42,7	3,7	320	1,43	12,2	4,1
PP	102	35,8	1,6	43	0,90	25,6	2,2
PS	93	45,1	3,1	59	1,05	19,7	2,5
PVC-rigid	68	44,4	2,75	181	1,4	34,0	3,4
PVC-fleksible		9,6		293	1,4	25,6	5,5
POM	136	69	3,2	133	1,42	19,7	3,7
PMMA	92	72,4	3	21	1,19	19,7	3,7
Poliarylate	155	68	2,1	288	1,19	15,2	3,1
LCP	311	110	11	101	1,70	20,1	4,6
Nylon 6	65	81,4	2,76	59	1,13	16,5	3,8
Nylon 6/6	90	82,7	2,83	53	1,15	23,6	4,0
PBT	54	52	2,3	53	1,31	15,7	3,3
PC	129	69	2,3	694	1,20	15	3,2
PEEK	160	93,8	3,5	59	1,32		
PEI	210	105	3	53	1,27	28	3,2
PES	203	84,1	2,6	75	1,37	16,1	3,5
PET	224	159	8,96	101	1,56	21,3	3,6
PPS	260	138	11,7	69	1,67	17,7	3,1
PSU	174	73,8	2,5	64	1,24	16,7	3,5

Dalam memilih material plastik untuk dikembangkan dalam selubung bangunan, harus melihat karakteristik material plastik itu sendiri. Secara alamiah, polikarbonat memiliki *impact strength* yang sangat besar, bahkan berkali-kali lipat dari jenis plastik *thermoplastic* lainnya. Maka polikarbonat secara alamiah tepat digunakan sebagai material selubung bangunan

### 3. SELUBUNG BANGUNAN

Selubung bangunan adalah seluruh komponen yang menjadi pembatas fisik antara lingkungan interior dan eksterior dari sebuah bangunan. Selubung bangunan bertindak sebagai ‘cangkang’ luar yang membantu menjaga lingkungan di dalam (bersama-sama dengan sistem mekanikal) dan memfasilitasi kontrol terhadap iklim. Merancang selubung bangunan adalah area khusus praktek arsitektur dan keteknikan berdasarkan semua bidang ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan bangunan serta kontrol iklim dalam ruangan.

Selubung bangunan biasa disebut *building envelope*, atau terkadang disebut *bulding enclosure*.

#### CAKUPAN SELUBUNG BANGUNAN

Karena fungsi dasarnya sebagai pemisah antara lingkungan interior dan lingkungan eksterior yang membuatnya terekspos. Maka secara fisik , selubung bangunan secara tipikal terdiri dari:

- Sistem atap
- Sistem dinding di atas tanah, termasuk dinding dan jendela
- Sistem dinding di bawah tanah

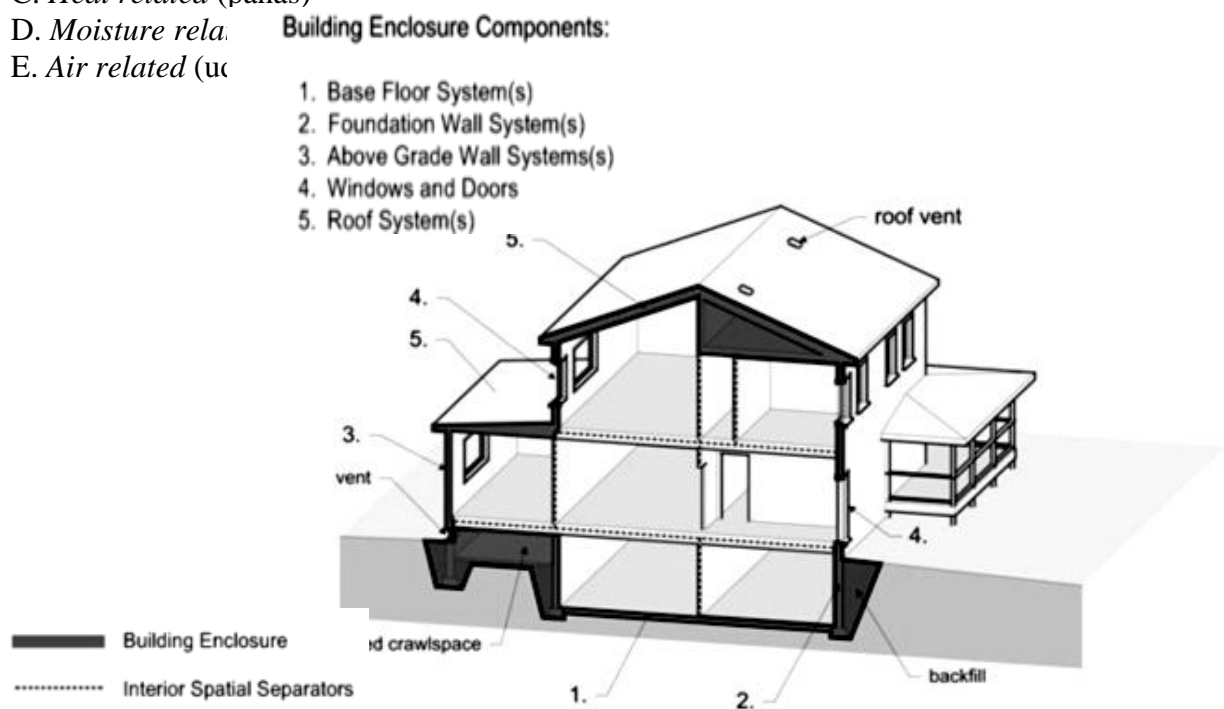
- Sistem lantai paling dasar

Selubung bangunan tidak boleh dipandang sebagai kombinasi dari garis satu dimensi yang menerus, atau bahkan sebagai komponen bidang dua dimensi. Setiap komponen selubung bangunan ialah tiga dimensi, multi-layer, perakitan multi-material yang membentang dari bidang terdalam dari lapisan interior sampai ke bidang terluar dari lapisan eksterior.

### BEBAN YANG DIHADAPI SELUBUNG BANGUNAN

Selubung bangunan akan menghadapi beban-beban, yang dapat dikategorikan ke dalam lima tipe yaitu:

- Gravity related* (gravitasi)
- Ground related* (tanah)
- Heat related* (panas)
- Moisture related* (kelembapan)
- Air related* (udara)



**Gambar 2.** Komponen selubung bangunan.

### 4. POLIKARBONAT

Polikarbonat merupakan jenis plastik terkemuka dengan lapisan tembus pandang yang bisa mencapai ketebalan 5cm. Bahan sisis ini merupakan hasil reaksi antara bisphenol A dengan phosgene (*carbonyl dichloride*,  $\text{COCl}_2$ ).

#### JENIS POLIKARBONAT

Polikarbonat memiliki banyak variasi jenis. Variasi jenis ini dapat dikelompokkan melalui tiga hal, yaitu dilihat dari bentuk (bentuk susunan), sifat permukaan, dan *grade*. Dalam pembahasan ini lebih di bahas jenis polikarbonat yang dapat dipakai pada selubung bangunan.

#### BENTUK



Secara umum polikarbonat diproduksi dalam bentuk lembar, film, dan profil. Walaupun ketika dipanaskan, bahan ini dapat dibentuk ulang menjadi berbagai bentuk.

#### A. Lembar (*sheet*)

Bentuk lembar merupakan bentuk yang paling **umum dipakai dalam bidang arsitektur**. Bentuk lembar terbagi atas tiga jenis, yaitu:

##### A.1. Lembar multilapis (*multiwall sheet*)

Seperti namanya, lembar multilapis ini terdiri dari beberapa lapis polikarbonat dalam satu lembaram. Macam-macam lembar multilapis antara lain:

- Dua lapis (*twin walls*)
- Tiga lapis (*triple walls*)
- Empat lapis (*four walls*)
- Lima lapis (*five walls*)
- *Reinforce wall*

Tipe ini merupakan pengembangan tipe-tipe dari tipe-tipe sebelumnya dengan menambahkan perkuatan berupa *bracing diagonal*.

- *Multicell wall*

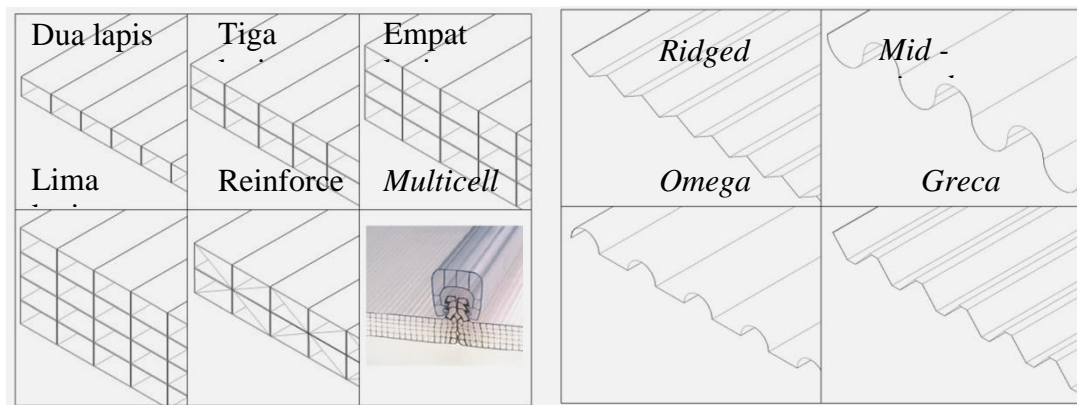
Tipe ini memiliki konsentrasi sel yang tinggi, sedangkan kekuatannya mencapai dua kali kekuatan multilapis lainnya.

##### A.2. Lembar Padat

Jenis polikarbonat ini lebih berat bila dibandingkan dengan lembar multilapis.

##### A.3. Lembar berombak

Bentuk – bentuk dari jenis lembar berombak antara lain: *ridged, mid-circular / wave, omega / archwave, greca*, dan lain lain.



**Gambar 3.** Variasi jenis polikarbonat lembaran.

#### B. Film

Polikarbonat film memiliki ketebalan sekitar 0.125 mm – 0.760 m dan standar lebar 915 mm – 1220 mm. Polikarbonat jenis ini terbagi atas tiga macam yaitu: *polished grade, textured grade*, dan *high performance grade*. Jenis ini tidak umum dipakai sebagai material bangunan.

#### C. Profil

Secara umum memiliki keunggulan yang sama dengan yang berbentuk lembaran. Perbedaannya terdapat pada bentuk dan penerapannya. Terdapat dari dua macam, yaitu:

##### C.1. Profil kopong (*hollow profile*)

Profil ini terdiri atas bentuk dasar lingkaran, persegi, dan sebagainya, namun paling banyak diproduksi dalam bentuk tabung. Profil kopong diterapkan antara lain sebagai rumah lampu, mini disk infiltrometer, dan birdfeeder.

#### C.2. Profil padat (solid profile)

Profil ini terdiri atas bentuk dasar lingkaran, persegi, dan sebagainya, Namun paling banyak diproduksi adalah berbentuk tabung. Profil padat diterapkan antara lain sebagai kusen tirai dan peralatan memasak.

Polikarbonat profil umumnya diterapkan dalam sistim sambungan bangunan.

### PERMUKAAN

Polikarbonat dapat diproduksi dalam berbagai sifat permukaan dan warna, namun umumnya (terutama dalam bentuk lembaran) polikarbonat terdiri dari tiga jenis tipe permukaan, yaitu :

#### A. Transparan (*clear*)

Polikarbonat transparan memiliki kemampuan transmisi cahaya yang paling tinggi. Polikarbonat transparan memiliki kemampuan menolak panas paling rendah dibanding tipe permukaan yang lainnya.

#### B. Putih (*white / opal*)

Polikarbonat jenis ini memiliki kemampuan transmisi cahaya sedang, memiliki sifat memantulkan cahaya matahari, transparansi paling kecil sehingga menimbulkan privasi, serta dapat menyembunyikan kotoran.

#### C. Perunggu (*bronze/ smoke*)

Polikarbonat jenis ini memiliki kemampuan transmisi cahaya yang lebih rendah dari jenis tipe permukaan transparan atau putih. Memiliki kemampuan paling baik dalam mengurangi cahaya, silau, dan panas. Koefisien muai yang lebih tinggi. Dan banyak dipilih karena alasan estetik.

Namun, dalam perkembangannya jenis permukaan dan warna polikarbonat berkembang menjadi sangat banyak variasi. Tiap – tiap sifat dan permukaan memiliki karakteristik serta pengaruh tersendiri dalam penggunaannya, terutama berpengaruh pada kemampuan transmisi cahaya dan penolakan terhadap panas.

### GRADE

Perbedaan utama antar *grade* polikarbonat dilihat berdasarkan sifat kimianya, yaitu pada perbedaan berat molekul, kandungan *polyhydroxy compound* dan aditif. Polikarbonat dibedakan ke dalam beberapa *grade* dikarenakan dalam pengaplikasiannya menuntut keunggulan yang berbeda serta spesifik.

A. Optical grade: transparan, sangat jernih dan sangat kecil kemungkinannya untuk pecah. Diaplikasikan pada kacamata dan lensa kacamata.

B. FDA grade: tipe yang paling aman jika mengalami kontak dengan makanan atau obat. Tipe ini memenuhi standar US Pharmacopoeia. Diterapkan pada peralatan makanan dan kedokteran.

C. Machine grade: memiliki keunggulan dalam hal ketahanan terhadap bahan kimia serta benturan yang sangat tinggi, kualitas elektrikal & mekanikal yang baik, dan modulus elastisitas tinggi. Diterapkan pada peralatan elektrikal dan elektronik.

D. Abrasion Resistance grade: memiliki permukaan yang licin, antigores dan mudah dibersihkan. Selain itu, tipe ini lebih tahan bentur dibanding polikarbonat standar. Diterapkan pada jendela kendaraan dan *sign board*.

- E. Bullet resistance grade: Jenis ini diberi lapisan anti peluru dan tetap memiliki sifat transparan. Diterapkan pada pengkacaan yang dekat dengan bidang yang dekat dengan kekerasan, misalnya pada mobil polisi dan kaca antipeluru.
- F. High heat resistance grade: Tipe ini memiliki ketahanan terhadap panas yang tinggi, bahkan memungkinkan mengalami sterilisasi pada suhu  $134^{\circ}\text{C}$ . Diterapkan misalnya pada lampu mobil dan inkubator.
- G. Flame inhibit grade: Tipe ini memiliki ketahanan terhadap api yang tinggi. Diterapkan pada peralatan elektronik.
- H. UV stabilized grade: memiliki ketahanan yang tinggi terhadap sinar ultraviolet dibandingkan polikarbonat biasa. Umumnya diterapkan pada pengkacaan yang terkena cahaya matahari terus menerus seperti atap dan kanopi.

### KELEBIHAN POLIKARBONAT SECARA UMUM

- A. Memiliki kejernihan  
Namun tingkat kejernihan ini berada di bawah material kaca, akrilik, dsb.
- B. Termasuk bahan yang ringan  
Dengan ketebalan yang sama, polikarbonat memiliki berat sebanding dengan 50% berat kaca atau 43% berat aluminium. Karena polikarbonat ringan, maka dalam pengerjaannya tidak dibutuhkan banyak pekerja, selain itu apabila dipakai sebagai bahan dalam bangunan, maka akan berpengaruh terhadap berat bangunan serta pondasi yang digunakan
- C. Kuat dan tahan terhadap benturan  
Polikarbonat merupakan bahan yang kuat, hal ini diakibatkan oleh angka *impact strength* yang tinggi ( $694\text{ J/m}$ ). Polikarbonat sangat sulit dipatahkan.
- D. Transmisi cahaya yang baik  
Polikarbonat dapat mentransmisi cahaya tanpa menyerap panas. Namun, hal ini sangat bergantung kepada sifat permukaan dan warna dari polikarbonat. Selain itu, polikarbonat memiliki sifat menyebarkan cahaya, sehingga polikarbonat mengurangi silau.
- E. Stabil terhadap suhu  
Bentuk dan kekuatan polikarbonat stabil dalam suhu  $14^{\circ} - 400^{\circ}\text{C}$ .
- F. Tidak mengalami perubahan bentuk apabila dibebani
- G. Tidak tembus air
- H. Insulasi yang baik terhadap listrik
- I. Fleksibel, tahan lama dan dapat didaur ulang  
Keunggulan ini juga dimiliki oleh jenis plastik yang lain, namun hanya polikarbonat yang memiliki kombinasi dari semua keunggulan di atas.

### KEKURANGAN POLIKARBONAT SECARA UMUM

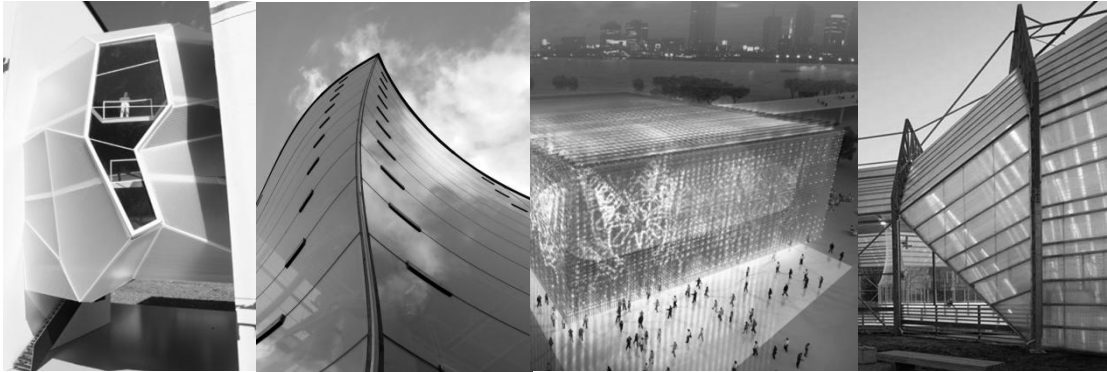
- A. Tidak tahan terhadap bahan kimia
- B. Tidak tahan terhadap gores
- C. Menguning, melemah, dan retak apabila terkena sinar ultraviolet dalam jangka waktu yang lama.  
Namun, kelemahan pada poin A, B, dan C dapat diatasi dengan memberikan pelapis yang tepat.
- D. Harga yang cukup tinggi  
Polikarbonat memiliki harga yang cukup tinggi, namun dalam penggunaannya juga harus mempertimbangkan pula biaya yang dihemat karena konstruksinya yang ringan, serta polikarbonat tidak membutuhkan banyak perawatan.

E. Memiliki batas stabilitas terhadap kelembaban

Kelembaban di atas ambang tertentu dapat mengakibatkan mengembunnya polikarbonat.

F. Ketika terbakar, polikarbonat akan menimbulkan asap dan bau yang beracun.

## 5. KELEBIHAN PENGGUNAAN POLIKARBONAT SEBAGAI SELUBUNG BANGUNAN DARI SISI ARSITEKTUR



### A. Fleksibilitas

Polikarbonat merupakan bahan yang mudah dibentuk ke dalam bentuk apapun. Lembaran-lembarannya pun mudah dipotong ke dalam berbagai bentuk serta ukuran. Sehingga bentuk arsitektural yang terjadi dapat bervariasi bervariasi. Dengan demikian polikarbonat sangat baik dalam menterjemahkan bentuk arsitektural yang diinginkan sang arsitek.

### B. Menghemat luasan ruang

Polikarbonat sebagai dinding memiliki ketebalan yang relatif tipis. Bila dibandingkan dengan material lain seperti batu-bata, hebel, kayu, dan lain-lain, polikarbonat jauh lebih tipis ketebalannya. Ketebalan ini akan berpengaruh langsung kepada besaran ruang fungsional (ruang yang dapat terpakai).

### C. Estetika Transparansi

Polikarbonat secara alamiah memiliki sifat transparan. Sifat transparan ini memang tidak seperti kaca, akrilik, atau sebagainya. Sifat transparan polikarbonat berada di bawah material-material tersebut. Namun, sifat transparansi polikarbonat memiliki keindahan tersendiri, terutama apabila dikombinasikan dengan permainan cahaya pada malam hari. Polikarbonat tidak menampilkan benda / manusia yang berada di baliknya secara terang-terangan, namun hanya menampilkannya berupa siluet. Hal ini menjadi estetika tersendiri.

### D. Ringan dan smooth

Karena sifatnya yang memiliki transparansi (semi), juga karakteristik warna dan sifat permukaannya, sebuah massa bangunan yang dibuat menggunakan bahan polikarbonat akan terlihat ringan dan smooth.

## 6. KESIMPULAN

Material merupakan salah satu unsur yang penting dalam arsitektur. Tidak terhitung banyaknya bangunan yang dibangun setiap tahunnya di dunia, salah memilih material berarti memberi konstibusi besar pada kondisi bumi.

Pemilihan plastik sebagai material pada selubung bangunan mengacu kepada sifatnya yang dapat di daur ulang, sehingga ketika suatu saat material tersebut hendak diganti atau bangunan tersebut dihancurkan, material ini tidak menjadi sampah melainkan dapat diproses kembali menjadi suatu benda yang memiliki daya guna.

Plastik polikarbonat sangat memungkinkan dikembangkan penggunaannya pada selubung bangunan dikarenakan secara alamiah memiliki kekuatan dan sifat-sifat yang dibutuhkan sebagai selubung bangunan. Bahan ini memiliki keunggulan baik secara umum, maupun secara spesifik dari sisi arsitektural.

## 6. REFERENCES

- Arad, ron, Dkk. *Plastic and Funtastic*. Vienna: Austria
- Elder, A. J. *AJ Handbook of Building Enclosure*. London: The Architectural Press.
- Harper, Charles A. (1999). *Modern plastics handbook / Modern Plastics*. USA: McGraw Hill.
- Straube, John. (2006). *The Building Enclosure*. Building Science Press.
- Leidner, Jacob, dkk. (2000). *Handbook of polycarbonate science and technology*. New York : Marcel Dekker, Inc.

Penelitian :

- Priatman, Jimmy. *Tradisi dan Inovasi Material Fasade Bangunan Tinggi*. Staf Pengajar Fakultas Teknik- Jurusan Arsitektur, Universitas Kristen Petra.
- Mujiarto, Iman. *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*. Staf pengajar AMNI Semarang, 2005.

## **ECO-PROGRAMMING SEBAGAI SALAH SATU PENDEKATAN DALAM TAHAPAN PENYUSUNAN PROGRAM PADA PROSES PERANCANGAN ARSITEKTUR**

**OlgaNauli Komala**

Staf Pengajar Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara  
Jl. Letjend S.Parman No.1, Jakarta Barat 11440 *email* : olganauli@yahoo.com, *mobile*  
*phone* : 08561845852

### **ABSTRAK**

Dalam azas pembangunan berkelanjutan, Frick mengemukakan bahwa penerapan pembangunan berkelanjutan memiliki pengaruh terbesar pada bagian pra-rencana arsitektur. Sebagai salah satu titik awal proses desain, penyusunan program arsitektur adalah hasil analisa dari keseluruhan data yang ada, yang menghasilkan desain pada proses sintesanya. Baik analisis dan sintesis, memerlukan pertimbangan terhadap keseluruhan sistem dalam lingkungan permukiman. Doxiadis dalam *ekistics*, mengemukakan bahwa suatu permukiman pada dasarnya memiliki lima elemen: *nature, man, society, shells* dan *network*, yang di dalamnya terdapat prinsip – prinsip hubungan antara manusia dengan lingkungannya. Adanya perbedaan dalam sistem pemrograman arsitektur dan hubungan antara elemen *ekistics*, akan menghasilkan *type* arsitektur yang berbeda. Guy dan Farmer mengemukakan enam *logics* dalam *sustainable architecture: eco-technic, eco-centric, eco-aesthetic, eco-aesthetic, eco-cultural* dan *eco-medical*. Berdasarkan landasan teori tersebut, penulisan ini bertujuan untuk melakukan tinjauan *eco-architecture* dari tahapan penyusunan program pada proses perancangan arsitektur, dengan menggunakan parameter *ekistics* dengan prinsip ekologis. Sebagai hasilnya akan terdapat beberapa kemungkinan sistem hubungan yang berbeda pada penyusunan programnya.

**Kata kunci** : *eco-programming, ekistics, ekologi, pemrograman arsitektur*

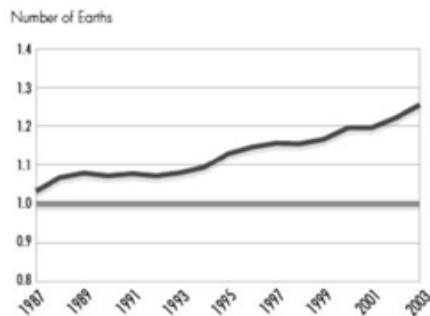
### **1. PENDAHULUAN**

Ketidakeimbangan ekosistem merupakan isu global yang terus menjadi sorotan akhir-akhir ini karena dampak negatif dari ketidakseimbangan tersebut telah meluas dan mengalami peningkatan baik secara kualitatif maupun kuantitatif. UNEP (*United Nations Environment Programme*) dalam uraiannya memperlihatkan beberapa akibat umum yang terjadi karena adanya ketidakseimbangan alam, antara lain data pada tahun 2007 yang memperlihatkan bahwa emisi CO<sub>2</sub> telah naik secara tahunan sebesar satu pertiga sejak tahun 1987; terjadinya degradasi terhadap kualitas tanah penurunan kuantitas dan kualitas air bekurangnya keaneka ragaman hayati serta *human ecological footprint* yang ada mengindikasikan adanya konsumsi yang terus meningkat dibandingkan dengan *biocapacity*, serta berbagai dampak negatif lain sebagainya.

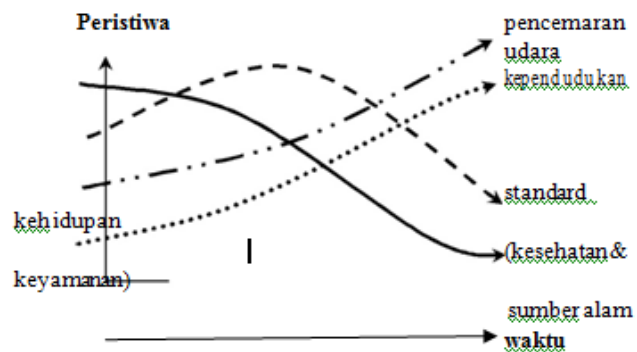
Meningkatnya suhu udara serta adanya perubahan ekstrim terhadap iklim,



terjadinya pengurangan sumber daya alam baik yang tidak dapat terbaharui maupun terbaharui kesemuanya ini tidak terlepas dari adanya intervensi manusia terhadap alam. Gambar 1 dan 2 berikut ini memberikan arti bahwa manusia dalam proses pembangunan dan berhuninya telah mengganggu keseimbangan ekosistem dan *biocapacity* yang ada.



**Gambar 1.** Perbandingan antara *biocapacity* alam yang memiliki keterbatasan dengan *human footprint* yang selalu mengalami peningkatan  
Sumber : CCCC, Kick The Habit, A UN Guide To Climate Neutrality, 2008



**Gambar 2.** Hubungan antara tingkat pencemaran dengan standard kehidupan dan sumber alam yang tersedia  
Sumber : Dasar – dasar Arsitektur Ekologis, 2007

Grafik tersebut turut memperlihatkan bahwa saat ini potensi peningkatan terjadinya kerusakan Pada ekosistem ternyata berbanding lurus dengan besarnya intervensi manusia terhadap lingkungan alam yang ada, jumlah penduduk serta kemajuan teknologi, yang pada akhirnya berakibat pada menurunnya standard kesehatan dan kenyamanan manusia serta berkurangnya sumber daya alam. Secara keseluruhan, bangunan setidaknya memberikan andil yang cukup besar dalam menciptakan ketidakseimbangan ekosistem. Data dari *World Green Building Council* pada tahun 2010, memperlihatkan bahwa bangunan adalah pengguna 32% sumber daya alam dalam proses pembangunannya, pemakai 40% energi secara global dan penghasil 30% dari efek *Green House Gas* (GHS). Di Indonesia sendiri, Frick (2007) mengemukakan bahwa hampir semua gedung yang dibangun di Indonesia sejak tahun 1950 tidak memenuhi Tuntutan pembangunan berkelanjutan, begitu pula dengan hampir 75% dari seluruh gedung di dunia Frick (2007) mengelompokkan komponen energi yang mempengaruhi suatu pembangunan berkelanjutan atas penggunaan energi dalam riwayat hidup atau yang terkandung dalam bahan bangunan energi yang dibutuhkan untuk membangun energi untuk memelihara sampai pada energi untuk membongkar suatu bangunan. Data dari UNEP's *Sustainable Building and Construction Initiative* terungkap bahwa energi yang dibutuhkan untuk pemanasan, pendinginan, pencahayaan dan perlengkapan rumah tangga telah menyerap sekitar 11% dari energi secara keseluruhan. Lebih lanjut Konsul Bangunan Hijau Indonesia, memaparkan data dari *Green Building Index* (2010) yang memperlihatkan penggunaan energi pada proses penghunian bangunan secara umum. Data tersebut tentu akan berbeda lagi jika melihat fungsi bangunan secara khusus. Secara umum, penggunaan energi terbesar ada pada sistem AC (60%), pencahayaan (22%), *building transport* (6%) dan lain – lain (12%).

Dari uraian data tersebut, berikut ini adalah beberapa hal pencipta ketidakseimbangan ekosistem yang disebabkan oleh bangunan, antara lain :

- a. penggunaan material bangunan yang tidak ramah lingkungan, baik dalam proses pembangunan, penggunaan, pembongkaran dan pembuangan
- b. penggunaan energi yang berlebihan pada masa pembangunan, penghunian, renovasi/perbaikan, atau pembuangan/pembongkaran bangunan, baik yang berhubungan dengan elemen pembentuk ruangnya secara langsung maupun tidak langsung
- c. penggunaan energi yang berhubungan dengan proses perpindahan manusia atau barang antara satu bangunan dengan bangunan lain dalam lingkup skala lingkungan alam dan lingkungan terbangun yang lebih luas

## 2. BEBERAPA PARAMETER DESAIN ARSITEKTUR YANG EKOLOGIS (*ECO – ARCHITECTURE*)

Keinginan untuk menggabungkan seni dan pengetahuan sebagai jawaban terhadap permasalahan lingkungan yang ditimbulkan oleh ketidakseimbangan ekosistem, telah muncul sejak tahun 1930-an. Salah satu tokoh yang muncul pada saat itu adalah Moholo–Nagy yang mengkritik jargon arsitektur, “*form follows function*”, yang dalam perkembangannya disebutnya sebagai sebuah jargon komersial yang kehilangan makna sesungguhnya. Menurutnya sebuah *form* dalam arsitektur muncul dari fungsi yang seharusnya. Ia menyebutnya sebagai “*phenomena occurring in nature*”, yang memberi perhatian pada ilmu – ilmu biologi sebagai penentu dari *functionality* dan lingkungan binaan manusia. Seiring dengan meningkatnya kerusakan lingkungan, maka perhatian pada desain arsitektur yang berpegang pada prinsip ekologis turut meningkat.

Graham dalam Frick (2007) mengemukakan setidaknya ada empat azas dalam pembangunan yang memegang prinsip ekologis, yaitu: azas pertama berhubungan dengan penggunaan bahan baku alam yang tidak lebih cepat dari pada alam mampu membentuknya; azas kedua menyangkut penciptaan sistem yang menggunakan sebanyak mungkin energi terbarukan; azas ketiga mengupayakan penggunaan kembali bahan bangunan yang digunakan atau yang merupakan bahan mentah untuk produksi bahan lain; dan azas keempat menyangkut penyesuaian fungsional dan keanekaragaman biologis.

Lebih lanjut, beberapa penelitian berikut ini mengemukakan parameter – parameter bagi sebuah desain arsitektur yang memperhatikan prinsip – prinsip ekologis, antara lain :

- a. DGNB (*German Sustainable Building Certificate – GeSBC*), 2007, Jerman, yang menekankan pada adanya : *ecological quality, economical quality, social quality, technical quality, process quality dan site quality*.
- b. BREEAM (*BRE Environmental Assessment Method*), 1990, Inggris, yang memberi perhatian pada hal – hal berikut : *management, health & well being, energy, water, material, site ecology, pollution, transport, & land consumption*.
- c. LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), 1998, Amerika, dengan parameter sebagai berikut: *sustainable sites, water efficiency, energy & atmosphere, material & resources, indoor air quality, innovation & design*.
- d. *Green Star*, 2003, Australia, menekankan pada adanya *management, indoor comfort, energy, transport, water, material, land consumption & technology, emission dan innovations*.
- e. CASBEE, 2001, Jepang, menguraikan kriteria – kriteria utamanya atas: *energy*

*efficiency, resource consumption efficiency, building environment & building interior.*

- f. Minergie, 1998, Swiss, menguraikan atas tiga kriteria pokok. Kriteria pertama terdiri atas : *dense building envelope, efficient heating system, comfort ventilation*. Kriteria kedua : *airtightness of building envelope, efficiency of household appliances*. Serta kriteria tambahan yang terdiri atas: *healthy & healthy ecological manner of construction*.

Sementara itu *Green Building Council Indonesia (GBCI)* menguraikan beberapa kriteria dari bangunan ramah lingkungan, antara lain: Tepat Guna Lahan; Efisiensi dan Konservasi Energi; Konservasi Air; Sumber dan Siklus Material; Kualitas Udara dan Kenyamanan Ruangan dan Manajemen Lingkungan Bangunan. Masing – masing kriteria tersebut memiliki *point /rating* yang berbeda – beda sesuai dengan biaya, dampaknya terhadap lingkungan, hambatan dalam penerapan, sampai pada teknologi yang dipergunakan untuk mencapai kriteria tersebut, dan sebagainya.

Dari beberapa parameter – parameter *eco-architecture* tersebut, maka dapat tersimpulkan sebagai berikut :

- a. prinsip – prinsip ekologis meliputi keseluruhan aspek yang terkait dengan bangunan secara langsung maupun tidak langsung, baik aspek fisik maupun non fisik yang tercakup dalam keseluruhan tahapan pembangunan, mulai dari tahapan perencanaan, penyusunan program dan sistem hubungan, pembangunan, penghunian, pemeliharaan, kemungkinan perluasan sampai pada perombakan bangunan.
- b. prinsip – prinsip ekologis mengedepankan adanya keseimbangan dalam penggunaan, pengolahan energi serta harga energi (*energy cost*) secara efisien dan efektif.
- c. prinsip – prinsip ekologis pada akhirnya tidak hanya melihat kepentingan manusia pada saat tertentu saja, namun juga memperhatikan keberlanjutannya, dalam segala bidang  
kehidupannya, Penerapan prinsip ekologi yang benar akan berbanding lurus dengan tingkat kenyamanan, kesejahteraan dan kesehatan manusia.

Gambar 5 akan memperlihatkan bagan hubungan berbagai parameter dalam *eco-architecture*.

### 3. ENAM LOGICS DALAM PEMBANGUNAN ARSITEKTUR YANG BERKELANJUTAN

Selain kriteria – kriteria arsitektur yang ramah lingkungan tersebut, Guy dan Farmer (2001) mengemukakan setidaknya ada enam *logics* (yang disebutnya sebagai *the six competing logics of sustainable architecture*) yang berhubungan dengan pembangunan arsitektur berkelanjutan. Guy dan Farmer (2001) melihat *logics* dalam hal ini ini bukanlah sebagai sesuatu yang terpisahkan satu dengan yang lain namun lebih merupakan sekumpulan sistem ide, gagasan dan pengelompokan yang dihasilkan, dihasilkan kembali atau mengalami transformasi. *Environmental logics* dalam hal ini menggambarkan isu yang mendominasi permasalahan dalam lingkungan tersebut, sehingga masing – masingnya memiliki pendekatan yang berbeda. Keenam *logics* ini adalah *eco – technic, eco – centric, eco – centric, eco – aesthetic, eco – cultural, eco – medical, eco – social*. Dalam penerapannya kemudian, *environmental logics* tersebut bukanlah sesuatu yang sangat kaku, namun dapat menyesuaikan dengan isu, permasalahan dan konsep lingkungan yang ada.

*Eco-technic* misalnya, menekankan pada ilmu pengetahuan dan teknologi sebagai

alat untuk memecahkan permasalahan lingkungan yang ada. Salah satu contoh pendekatan *eco-technic* dalam suatu bangunan dapat terlihat pada penggunaan *intelligent facades, photovoltaic, translucent insulation* dan pendekatan – pendekatan teknologi lainnya, yang secara garis besar tingkat keberhasilannya dapat terukur secara kuantitatif, antara lain seperti adanya penurunan jumlah konsumsi energi pada bangunan, sampah dan sebagainya. Hal ini berbeda dengan pendekatan *eco-centric* yang melihat bahwa permasalahan lingkungan terlalu kompleks untuk hanya diselesaikan dengan pendekatan ilmu pengetahuan dan teknologi. Pendekatan ini lebih menekankan pada sistem dan ilmu ekologi dalam hubungan dinamis yang tidak terlepas antara makhluk hidup dan tak hidup. Keberhasilan dengan pendekatan ini terlihat dengan berkurangnya *ecological footprint* dari bangunan tersebut dan berkurangnya dampak negatif terhadap lingkungan. Lain halnya dengan pendekatan *eco-aesthetic* yang menekankan pada adanya kreativitas individu dan percaya bahwa keselamatan dunia manusia berpusat pada hati manusia. *Eco-aesthetic* sendiri mengarah pada *organicism, expressionism, chaotic* dan *non-linear*, yang keseluruhannya berdasarkan pada *ecological model*. Sedangkan *eco-cultural* sendiri menekankan adanya perhatian pada masalah lingkungan dan kebudayaan secara bersama-sama, pelestarian pada keberagaman dari budaya

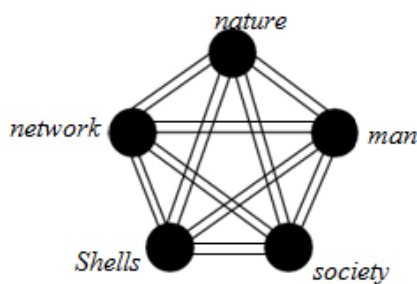
– budaya yang ada berdasarkan pada budaya lokal, yang terekspresikan dalam transformasi dan penggunaan kembali teknik – teknik konstruksi tradisional, termasuk di dalamnya adanya penyesuaian terhadap iklim mikro maupun makro. Lebih lanjut, *eco-medial* menekankan bahwa kesehatan individu memiliki peranan penting dalam kesehatan lingkungan. Pendekatan ini melihat bahwa penggunaan teknologi pada bangunan, pemisahan manusia dari lingkungan alam dan hilangnya kontrol manusia atas lingkungan sekitarnya merupakan akar permasalahan. Dalam prinsip ini, kesehatan dapat membantu menciptakan lingkungan kehidupan yang lebih baik. Dalam pendekatan yang keenam, *eco-social* melihat bahwa kerusakan lingkungan merupakan suatu bentuk dominasi manusia yang mendominasi lingkungan. *Eco-social* lebih menggunakan strategi yang bersifat sosial, desentralisasi unit – unit sosial menjadi unit yang lebih kecil, adanya *communal unit*, penggunaan teknologi menengah yang memegang prinsip – prinsip ekologi, yang tujuan utamanya untuk menciptakan masyarakat yang sehat, mandiri dan bertanggung jawab terhadap lingkungannya. Gambar 6 akan memperlihatkan hubungan antara konsep *eco-* dengan arsitektur.

#### 4. ELEMEN – ELEMEN DALAM LINGKUNGAN PERMUKIMAN MANUSIA

Suatu karya arsitektur merupakan suatu kesatuan dari lingkungan bangun manusia, yang terdapat pada lingkungan alami. Dengan demikian baik secara langsung maupun tidak langsung, suatu karya arsitektur akan mempengaruhi dan dipengaruhi oleh elemen-elemen dalam suatu lingkungan permukiman manusia. Doxiadis dalam *ekistics* menyebutkan bahwa setidaknya suatu permukiman manusia terdiri dari lima elemen yang saling mempengaruhi satu sama lain, antara lain : *nature, man, society, shell* dan *network*. Menurut Doxiadis apa yang terjadi pada permukiman manusia adalah sebagai berikut: alam (*nature*) adalah wadah dimana manusia (*man*) masuk ke dalamnya. Pada akhirnya manusia akan membentuk kelompok sosial yang disebutnya sebagai masyarakat (*society*). Masyarakat kemudian memerlukan tempat berlindung (*shells*) dan akhirnya semuanya dihubungkan dengan *networks* pada saat semuanya menjadi kian semakin kompleks.

Secara sederhana, Doxiadis mengelompokkan elemen – elemen *ekistics* sebagai

berikut : *nature* (dapat terdiri dari sumber daya alam, hewan, tumbuhan, iklim, dan sebagainya); *man* (yang memiliki kebutuhan biologis, sensasi, persepsi, kebutuhan emosional, pendidikan, kesehatan dan kesejahteraan, hukum dan administrasi); *society* (terdiri dari komposisi dan kepadatan penduduk, stratifikasi sosial, pengembangan ekonomi, kesehatan dan kesejahteraan); *shells* (yang dapat meliputi perumahan, pasar, *shopping center*, bangunan – bangunan industri, pusat transportasi, fasilitas rekreasi, pusat bisnis dan kemasyarakatan, dan sebagainya); *network* (dapat berupa sistem penyediaan air bersih, sumber listrik, transportasi, komunikasi, sampah dan drainase, dan lainnya).



Doxiadis mengemukakan bahwa cara pandang dan penekanan pada sistem hubungan antara elemen – elemen *ekistics* ini berbeda-beda, sesuai dengan bidangnya masing – masing. Seorang ahli sosiologi misalnya akan lebih menekankan hubungan antara *man* dengan *society*, dibandingkan dengan ahli infrastruktur kota yang lebih menekankan pada elemen dan hubungan antara *man*, *shells* dan *networks*.

**Gambar 3.** Elemen – elemen *ekistics* dan sistem hubungannya dalam permukiman manusia Sumber : *Ekistics, The Science of Human Settlement, 1971*

Kelima elemen *ekistics* tersebut membentuk sistem hubungan antara satu sama lain, dan akan memiliki banyak kemungkinan hubungan di antaranya. Semakin kompleks *ekistics unit* maka akan semakin kompleks hubungan yang terjadi di antaranya. Demikian pula perkembangan suatu permukiman terlihat melalui perkembangan elemen *ekistics* yang ada (*ekistics evolutionary forces*).

Apa yang terjadi pada permukiman manusia pada saat ini adalah adanya ketidakseimbangan dari berbagai elemen *ekistics* yang ada, baik secara kuantitatif maupun kualitatif. Seperti yang telah teruraikan pada bagian sebelumnya (Gambar 1 dan 2), ketidakseimbangan pada satu elemen pasti akan mempengaruhi elemen – elemen lainnya dan sistem hubungan yang terjadi di antara elemen – elemen tersebut. Usaha manusia dalam menghadapi ketidakseimbangan seringkali terjadi tanpa adanya kesatuan dan penyesuaian dari masing – masing sistem. Sistem- sistem yang ada berjalan sendiri dan memiliki penekanannya masing - masing, sehingga tidak terjadi koordinasi dan penyesuaian tujuan secara keseluruhan antara sistem yang ada.

## 5. SUATU ANALISA DAN SISTEM HUBUNGAN : *ECO-CRITERIAS, ECO-LOGICS* DAN *EKISTICS*

### a. *Programming*: suatu analisa dalam tahap perancangan arsitektur

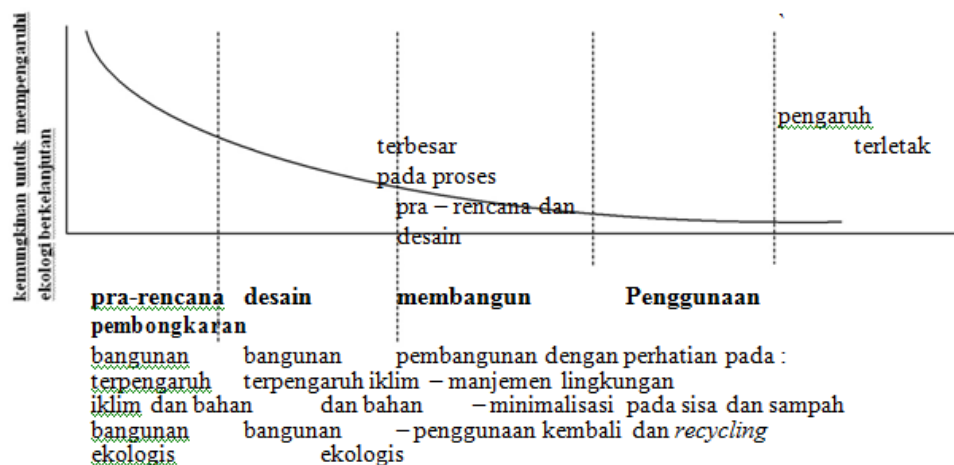
*Programming* merupakan tahap awal dalam perancangan arsitektur. Pena dalam Cherry (1999) menyebutkan bahwa *programming* merupakan suatu proses analisis, sedangkan desain merupakan suatu proses sintesis. Selanjutnya Cherry (1999) mengemukakan bahwa *programming* pada perancangan arsitektur merupakan tahap penelitian lokasi *site*, dimensi, *layout interior*, sistem struktur, sistem mekanikal, biaya operasional, gaya arsitektur, sampai pada preseden yang ada, serta berbagai



informasi lainnya serta sistem hubungan yang terjadi dalam konteks tersebut untuk kemudian diuraikan berdasarkan bagiannya. Pada proses selanjutnya, sintesis akan menyatukan kembali bagian – bagian yang ada secara keseluruhan yang pada akhirnya akan menghasilkan desain. Lebih lanjut Cherry (1999) juga menguraikan setidaknya ada empat jenis tujuan *programming*, antara lain: yang berhubungan dengan bentuk/*form goals* (menekankan *image*, kualitas, isi, impresi estetika, dan simbolis); fungsi/*functional goals*; fungsi ekonomi/*economy goals* (menekankan pada isu – isu finansial baik jangka pendek sampai jangka panjang); dan waktu/*time goals* (menekankan pada jadwal dan kemungkinan adanya perubahan sepanjang waktu). *Architectural programming* secara keseluruhan merupakan pendefinisian masalah yang ada (melalui analisis) untuk diselesaikan dengan desain (dalam proses sintesis). Proses analisis dan sintesis bukan merupakan proses yang berkontradiksi secara langsung namun lebih merupakan suatu proses yang saling mempengaruhi dan terdapat *feedback* antara keduanya.

Selanjutnya Ettinger (1960) menguraikan tahapan *programming* dalam perancangan arsitektur atas: penguraian atas prinsip-prinsip dan program - program dasar (meliputi tujuan, kapasitas, besarnya investasi, lokasi, kehidupan ekonomi, target jadwal penyelesaian bangunan, kemungkinan untuk adanya perluasan, dan sebagainya), beserta persyaratannya lainnya, yang terdiri dari *functional requirements* dan *supplementary requirements* serta *quality factors* yang meliputi *technical aspects* dan *sociological aspects (physiological-psychological aspects)*, penyusunan pengorganisasian dan proses pengoperasionalan kegiatan, serta sirkulasi, penyusunan diagram *contact* dan frekuensi, pengelompokan fungsi – fungsi ke dalam elemen – elemen *spatial*, pengelompokan elemen – elemen ke dalam unit – unit sampai kepada bagian yang lebih besar, dan akhirnya sampai pada penyusunan *layout* ruangan dalam suatu bangunan. Gambar 7 akan memperlihatkan tahapan yang terjadi pada proses *programming* secara umum.

Dalam hubungannya dengan pembangunan yang memegang prinsip – prinsip ekologis, Frick (2007) mengemukakan bahwa penerapan pembangunan berkelanjutan harus dilakukan seawal mungkin. Ia berpendapat bahwa semakin awal pembangunan berkelanjutan dipertimbangkan maka akan semakin besar dampak positifnya terhadap lingkungan. Besarnya penggunaan energi yang terpakai dalam hal ini tentunya tidak sama dengan harga energi (*energy cost*) yang harus dibayar pada setiap proses perancangan arsitekturnya.



**Gambar 4.** Hubungan antara tahapan pembangunan dengan kemungkinan untuk memperoleh dampak positif dari pembangunan berkelanjutan

Sumber : Dasar – dasar Arsitektur Ekologis, Konsep Pembangunan Berkelanjutan dan Ramah Lingkungan, 2007

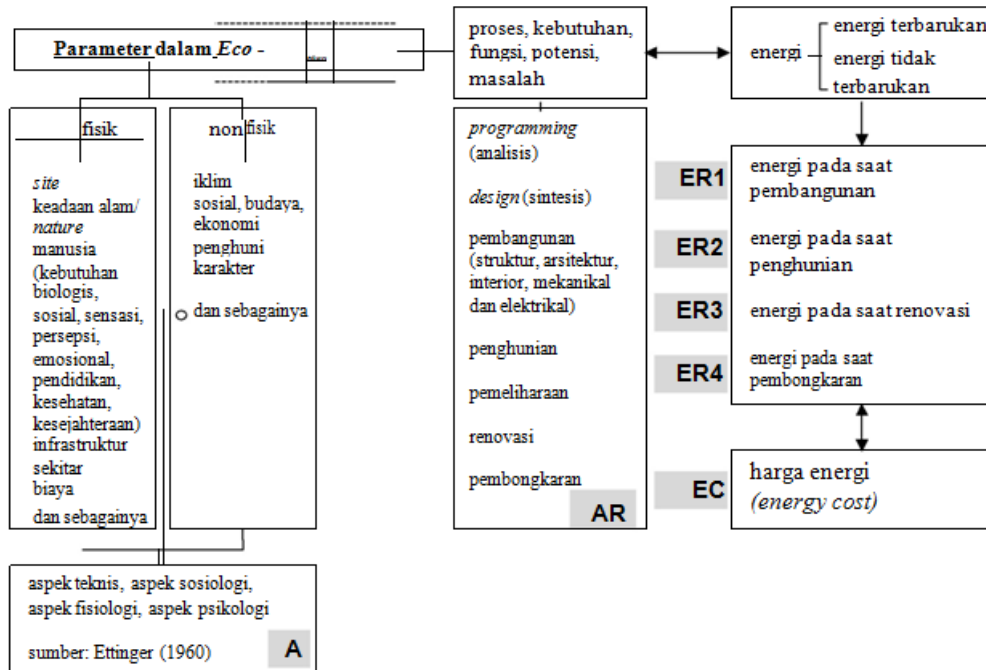




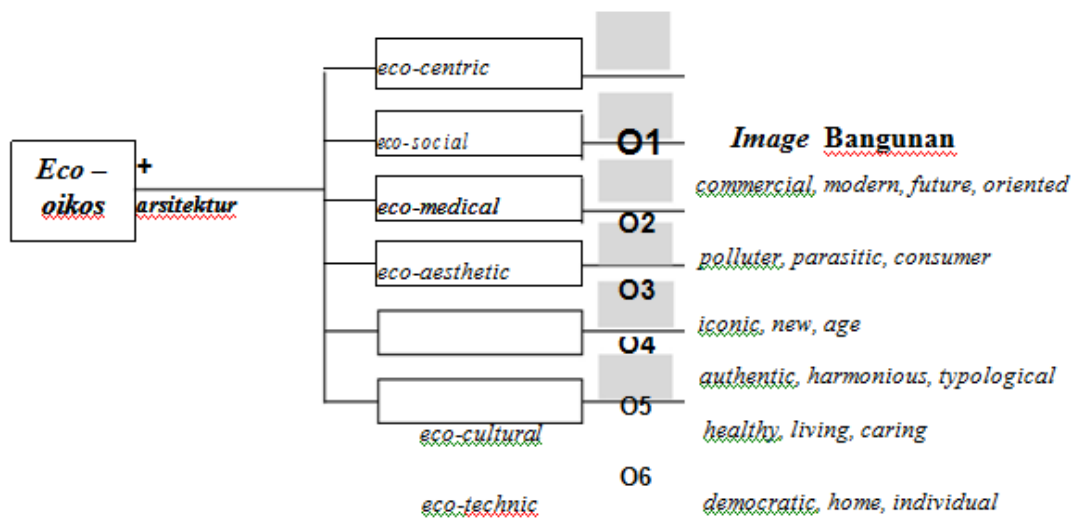
Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada tahap *programming*, terjadi proses analisis dan penentuan terhadap segala hal yang berhubungan dengan pengumpulan dan penguraian segala aspek dan sistem hubungan terpilih yang akan berhubungan dengan bangunan baik langsung maupun tidak langsung, termasuk dalam penentuan sistem penggunaan energi seperti apa yang akan terpakai pada bangunan. Keputusan yang salah pada tahap ini akan berpengaruh dan berdampak negatif sepanjang umur bangunan tersebut. Kesalahan yang terjadi akan berpengaruh terhadap pemborosan jumlah energi dan *energy cost* secara keseluruhan.

#### **b. *Eco-Programming: Penguraian dan Hubungan Ekistics, Eco-Logics dan Eco-Criterias***

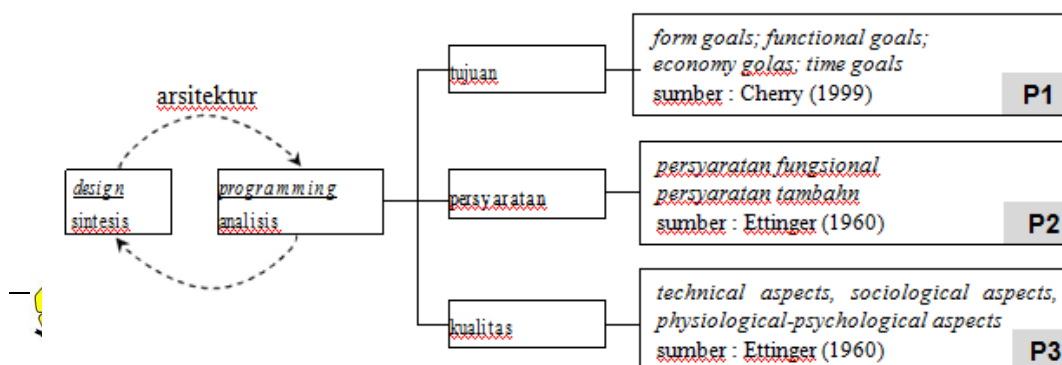
Berdasarkan landasan teori sebelumnya, maka istilah *eco-programming* dalam hal ini berdasarkan pada prinsip – prinsip *eco-architecture* sebagai bagian dari konsep pembangunan yang berkelanjutan. Oleh karena itu *eco-programming* tidak hanya berfokus pada bangunan (*shells*), namun melihat keseluruhan *shells* sebagai bagian dari permukiman manusia yang saling berhubungan dengan elemen lainnya dalam *unit ekistics*. Penekanan hubungan antara *shells* dengan *man, society*, dan *networks* disesuaikan dengan fungsi, kebutuhan, potensi sampai masalah yang mungkin ada pada *site* dari *shells* tersebut. Setiap elemen *ekstics* yang ada dan berbagai kemungkinan hubungan yang terjadi, harus memiliki keselarasan dengan *nature* sebagai wadahnya yang terutama, dengan menggunakan ketersediaan sumber daya alam dan energi sebagai parameter utama. Karena *shells* membutuhkan sumber daya alam dan energi, baik untuk pembangunannya, penghuniannya, pemeliharannya sampai pada pembongkarannya, maka *instrument* yang dapat dipergunakan sebagai alat untuk menggunakan sumber daya alam dan energi, serta harga energi (*energy cost*) harus sesuai dengan isu yang ada untuk *shells* tersebut, sehingga masing – masing *logics* menjadi konsep *instrument* yang sesuai. Setiap konsep *instrument* (yang dalam hal ini hadir dalam konsep *eco-logics*), memiliki pendekatan dan penekanan yang berbeda pada masing – masing elemennya, namun tetap berdasarkan pada parameter suatu *eco-architecture*. Pada akhirnya *eco-programming* menjadi suatu ide dasar penganalisaan dalam perancangan arsitektur bagi suatu sistem hubungan antara *shells* dengan elemen – elemen *ekstics* lainnya melalui pendekatan/*instrument* yang berbeda (*eco-logics*) dengan tetap berdasarkan pada prinsip – prinsip keseimbangan ekologis (*eco-criterias*). Berdasarkan pada agan – bagan berikut adalah alur pemikiran dari *eco-programming* sebagai bagian dari tahapan pra-rencana suatu karya arsitektur yang berpegang pada prinsip – prinsip ekologis.



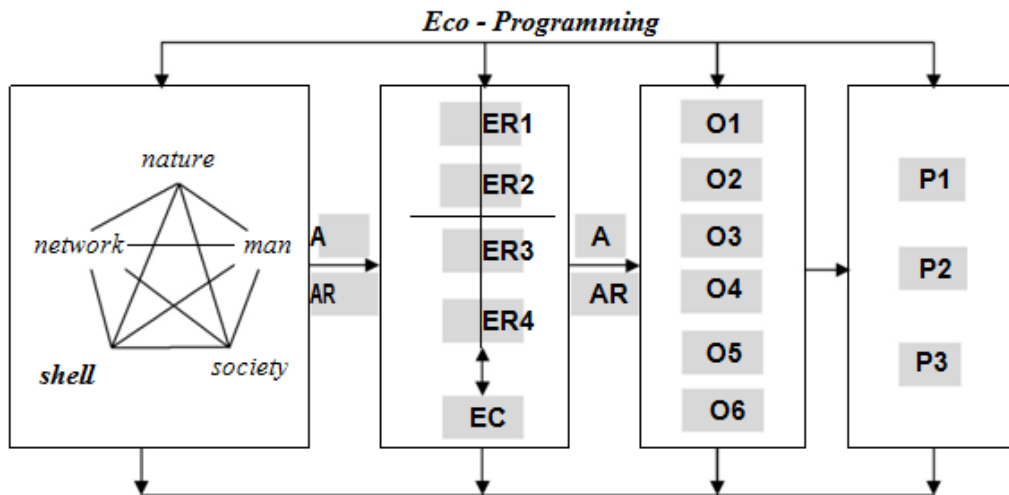
**Gambar 5.** Bagan Hubungan Berbagai Parameter Dalam Eco-Architecture.  
Sumber : Olahan kajian pustaka oleh penulis



**Gambar 6.** Logics dalam Eco-Architecture  
Sumber : Guy dan Farmer (2001)



**Gambar 7.** Tahapan yang Terjadi Pada Proses Programming Secara Umum



Gambar 8. Bagan Sistem Hubungan *Eco-Programming* Sumber : Olahan kajian pustaka oleh penulis

Bagan sistem hubungan *eco-programming* bukanlah merupakan sebuah konsep ide analisa yang linear namun juga memerlukan adanya *feedback* dan bersifat holistik.

## 6. KESIMPULAN

Kemungkinan untuk mewujudkan bangunan yang berpegang pada prinsip – prinsip keseimbangan ekologis (*eco-architecture*) akan semakin efektif, baik dari segi kuantitas dan kualitas energi serta harga energi terpakai, jika dimulai pada tahapan pra-rencana arsitektur. Melalui *eco-programming*, berbagai parameter yang berhubungan dengan prinsip – prinsip keseimbangan lingkungan akan menjadi satu kesatuan sistem analisa yang utuh. Dalam hal ini, *eco-programming* dapat menjadi suatu konsep ide sebagai alat penganalisaan berbagai elemen yang berhubungan dengan aspek – aspek penyusunan program suatu bangunan, dengan berdasarkan pada prinsip – prinsip ekologis yang menyeluruh. Sebagai hasil akhirnya akan terdapat beberapa kemungkinan sistem hubungan yang berbeda dalam penyusunan program dalam perancangan arsitektur, sesuai dengan penekanan fungsi, potensi dan masalah yang ada.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

- Bauer, Michael, Mösle, Peter & Schwarz, Michael (2010). Green Building, Guidebook for Sustainable Architecture. Springer : Berlin.
- Cherry, FAIA, Edith (1999). Programming for Design, From Theory to Practice. John Willey & Sons: New York.
- Doxiadis, Constantin A (1970). Ekstics, The Science of Human Settlements. Science, v.170, no.3956, October 1970, p.393-404:21
- Frick, Heinz & Suskiyatno, F.X. Bambang (2007). Dasar – dasar Arsitektur Ekologis. Kanisius: Yogyakarta.

- Guy, Simon & Farmer, Graham, Farmer (2001). Reinterpreting Sustainable Architecture: The Place of Technology. *Journal of Architectural Education*, pp. 140 – 148. ACSA, Inc.
- McDonough, William & Braungart, Michael (2002). *Cradle to Cradle*. North Point Press: New York.
- Munier, Nolberto (2005). *Introduction to Sustainability, Road to A Better Future*. Springer: Dordrecht.
- Nasir, Ir. Rana Yusuf (2010), *Presentasi Greenship Process and Overview*. Balai Kartini, Jakarta.
- UNEP, United Nations Environment Programme (2004). *Vital Waste Graphic*. UNEP: Nairobi.
- UNEP, United Nations Environment Programme (2009). *Vital Geo Graphics*. UNEP: Nairobi.
- UNEP, United Nations Environment Programme (2008). *CCCC, Kick The Habit, A UN Guide to Climate Neutrality*. Progress Press Ltd: Malta.
- Van Ettinger, J (1960). *Towards A Habitable World*. Elsevier Publishing Company: Amsterdam.

## PENERAPAN KONSEP SADAR ENERGI DALAM PERANCANGAN ARSITEKTUR YANG BERKELANJUTAN

Sukawi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof Sudarto SH Tembalang Semarang 50131 Telp 024 70585369 -08122817739  
Email: [zukawi@gmail.com](mailto:zukawi@gmail.com) & [zukawi@yahoo.com](mailto:zukawi@yahoo.com)

### ABSTRAK

Krisis sumber energi tak terbarui mendorong arsitek untuk semakin peduli akan energi dengan cara beralih ke sumber energi terbarui dalam merancang bangunan yang sadar akan pemakaian energi. Masyarakat Indonesia tergolong konsumen yang paling boros dalam penggunaan energi listrik, jika dibandingkan dengan negara lain. Hasil survey yang dilakukan oleh IAFBI (Ikatan Ahli Fisika Bangunan Indonesia) pada tahun 2000 menyebutkan bahwa bangunan gedung perkantoran dan bangunan komersial di kota besar adalah yang paling banyak dalam penggunaan energi listrik. Sejumlah 90% energi listriknya adalah untuk mesin AC (mesin pendingin ruang dan penerangan).

Kondisi lingkungan tropis Indonesia yang kaya akan intensitas radiasi matahari apabila tidak ditangkal dengan benar dapat mengakibatkan laju peningkatan suhu udara, baik di dalam maupun di luar ruangan. Pada bidang yang terbayangi, maka panas yang masuk ke dalam ruang hanya konduksi akibat perbedaan suhu luar dan suhu dalam saja. Akan tetapi pada bidang yang terkena sinar matahari (tidak terkena bayangan), maka panas yang masuk ke dalam ruangan juga akibat radiasi balik dari panasnya dinding yang terkena sinar matahari. Panas yang masuk pada dinding yang tersinari ini bisa mencapai 2 sampai 3 kali nya dibanding konduksi. Terlebih apabila ada sinar matahari yang langsung masuk ke dalam ruangan, panas radiasi matahari yang langsung masuk ke dalam ruangan ini bisa mencapai 15 kali dibanding panas akibat konduksi. Hal tersebut memberikan pemahaman bahwa bidang-bidang yang terkena sinar matahari akan menyumbang laju peningkatan suhu ruangan sangat signifikan.

Perwujudan dari desain arsitektur yang sadar energi dan berwawasan lingkungan merupakan bagian dari arsitektur berkelanjutan (sustainable architecture). Disini arsitek mempunyai peran yang amat sangat penting dalam penghematan energi. Disain hemat energi diartikan sebagai perancangan bangunan untuk meminimalkan penggunaan energi tanpa membatasi fungsi bangunan maupun kenyamanan atau produktivitas penghuninya. Untuk mencapai tujuan itu, karya desain arsitektur yang sadar akan hemat energi harus mulai dirintis dari sekarang.

Kata Kunci : Arsitektur, Sadar Energi, Berkelanjutan

### 1. PENDAHULUAN

Energi mempunyai peranan penting dalam pencapaian tujuan sosial, ekonomi, dan lingkungan dalam rangka pembangunan berkelanjutan, serta merupakan pendukung bagi kegiatan perekonomian secara nasional. Penggunaan energi di Indonesia meningkat pesat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi,

pertambahan penduduk dan tingkat kehidupan masyarakat. Masyarakat modern berkehidupan dengan berbasis kepada teknologi modern, sementara itu teknologi modern mengkonsumsi energi dalam jumlah yang besar.

Penghematan energi melalui rancangan bangunan mengarah pada penghematan listrik baik dari segi pendinginan udara, penerangan buatan maupun peralatan listrik rumah tangga. Dengan strategi perancangan tertentu, bangunan dapat didesain dengan memodifikasi iklim luar yang tidak nyaman menjadi iklim ruang yang nyaman tanpa banyak mengkonsumsi energi. Penerapan konsep hemat energi pada bangunan akan mendukung kebutuhan energi perkapita secara nasional. (Smith, 2005).

Sebagai gambaran, bahwa laju pertumbuhan pemakaian energi di Indonesia dalam kurun waktu 1985-2000 mencapai rata-rata 7% per tahun, sedangkan pemakaian energi dunia rata-rata 1,2% per tahun dan negara APEC 2,6% per tahun (Priatman, 2003). Tahun 2007 laju pertumbuhan pemakaian energi di Indonesia mencapai 10% pertahun, dan dapat dikategorikan boros. Bahkan masyarakat Indonesia tergolong konsumen yang paling boros dalam penggunaan energi listrik, jika dibandingkan dengan negara lain. (Samsiyah, 2008)

Bangunan bangunan yang direncanakan memanfaatkan matahari dan iklim sebagai sumber energi primer haruslah dirancang untuk mengakomodasi perubahan perubahan sebagai konsekwensi siklus iklim secara harian, musiman maupun tahunan dan mengalami versi cuaca yang berbeda sesuai dengan keberadaannya pada suatu garis lintang geografis tertentu di bumi ini. Setiap bangunan berada disuatu daerah klimatik yang berbeda setiap menit setiap hari. Disini peran arsitek adalah belajar untuk mengoptimasi hubungan bangunan dengan iklim spesifiknya dalam tahapan tahapan perancangan. Karena setiap bangunan berinteraksi dengan lingkungan suryanya masing-masing permasalahan yang timbul adalah bagaimana pengolahan hubungan ini menguntungkan bagi manusia. (Frick, 2006)

Bangunan sadar energi mencari hubungan simbiotik dengan lingkungannya dan menengahi kebutuhan penghuni bangunan dengan kondisi iklimnya. Ia mengandalkan pada sumber daya dan pola matahari untuk penerangan, pemanasan maupun pendinginan untuk waktu waktu tertentu, pada sirkulasi angin untuk kenyamanan dan beralih pada sistim kenyamanan buatan hanya apabila terjadi kondisi cuaca yang ekstrim pada saat saat yang tertentu saja. Pada waktu disain pasif memerlukan suatu sistim aktif sebagai penunjang, bangunan sadar energi mengambil keuntungan teknolog teknologi baru yang memungkinkannya mengandalkan sumberdaya energi yang dapat diperbaharui (matahari dan angin). (Satwiko, 2005)

## 2. RUMAH TINGGAL DAN KEBUTUHAN ENERGI

Indonesia adalah sebagai negara yang seluruh wilayahnya dikawasan equator, merupakan keuntungan namun juga menjadi suatu kerugian yang sangat besar. Sebagai keuntungan, karena sebenarnya iklim tropis membuat kekayaan alam semakin berlimpah, namun menjadi kerugian karena iklim tropis menjadikan tingginya irradiance matahari, yakni rata-rata 200-250 W/m<sup>2</sup> selama setahun atau 850-1100 W/m<sup>2</sup> selama masa penyinaran. Hal ini menyebabkan suhu permukaan akan naik lebih tinggi dari daerah lain di dunia. Irradiance yang sangat besar ini bisa dimanfaatkan menjadi sebuah sumber energi yang luar biasa atau juga bisa menjadi kendala yang sangat besar sebab dengan tingginya suhu permukaan



di kawasan Indonesia, akan dibutuhkan energi yang besar pula untuk menyejukan rumah. (Daryono, 2008)

Pada kenyataannya kondisi iklim tropis di Indonesia sering dianggap sebagai masalah. Tidak tercapainya kenyamanan penghawaan dalam rumah tinggal, membuat berputus asa dalam mencari penyebabnya. Dan umumnya langsung dicarikan solusi atau dikatakan sebagai jalan pintas, dengan penggunaan alat pengkondisian udara atau air conditioner (AC). Prinsip kerja AC memang menurunkan suhu udara untuk penyegaran ruang. Prinsip kerja ini yang diakui dapat menjamin kenyamanan ruang. Namun apabila diperhatikan dengan seksama sebenarnya penggunaan AC adalah pemborosan energi yang berasal dari sumber daya yang tidak terbarukan (*non-renewable resources*). Dan proses kerja AC akan menghasilkan zat emisi karbon CFC (klorofluorokarbon), yang akan membentuk efek rumah kaca dan merusak lapisan ozon. (Frick, 2006)

Seluruh permukaan bangunan harus terlindungi dari sinar matahari secara langsung. Dinding dapat dibayangi oleh pepohonan. Atap perlu diberi isolator panas atau penangkal panas. Langit-langit umum dipergunakan untuk mencegah panas dari atap merambat langsung ke bawahnya (Satwiko, 2005).

Desain sadar energi (*energy conscious design*) merupakan salah satu paradigma arsitektur yang menekankan pada konservasi lingkungan global alami khususnya pelestarian energi yang bersumber dari bahan bakar tidak terbarukan (*non renewable energy*) dan yang mendorong pemanfaatan energi terbarukan (*renewable energy*). Dalam desain sadar energi mutlak diperlukan pemahaman kondisi dan potensi iklim setempat untuk mempertimbangkan keputusan-keputusan desain yang akan berdampak pada konsumsi energi baik pada tahap pembangunan maupun pada tahap operasional bangunan.

Pada skala lingkungan mikro, fenomena radiasi matahari ini mempengaruhi laju peningkatan suhu lingkungan. Kondisi demikian mempengaruhi aktivitas manusia di luar ruangan, untuk mengatasi fenomena ini ada tiga hal yang bisa dikendalikan yaitu durasi penyinaran matahari, intensitas matahari, dan sudut jatuh matahari (Satwiko, 2003).

### 3. KONSEP HEMAT ENERGI ATAU SADAR ENERGI

Sebaran penggunaan energi dalam rumah tinggal lebih banyak pada aspek fungsi penghawaan atau penyegaran udara dan aspek fungsi pencahayaan, sehingga kedua hal ini penting untuk menjadi fokus dalam pembahasan konsep penghematan energi ini. Pembahasan tentang penghematan energi ditekankan pada langkah ekologis, yaitu dengan menciptakan kesinambungan antara rumah tinggal dengan lingkungannya atau adanya interaksi dengan alam. Di samping dua hal tersebut terdapat aspek penting lainnya untuk rumah tinggal, adalah pemanfaatan air sebagai sumber daya penunjang kualitas hidup, dengan sistem *reduce, reuse, recycle*.

Sistim Surya Pasif (*passive solar system*) merupakan suatu teknik pemanfaatan energi surya secara langsung dalam bangunan tanpa atau seminimal mungkin menggunakan peralatan mekanis, melalui perancangan elemen elemen arsitektur (lantai, dinding, atap, langit langit, aksesoris bangunan) untuk tujuan kenyamanan manusia (mengatur sirkulasi udara alamiah, pengaturan temperatur dan kelembaban, kontrol radiasi matahari, penggunaan insulasi termal). (Vale, 1991).

#### **Pertukaran udara alami**

Naiknya suhu dalam rumah menyebabkan panas dan hal ini sangat terkait dengan kondisi iklim mikro skala rumah dan kawasan sekitarnya. Untuk menurunkan suhu sekaligus memberikan kenyamanan penghawaan diperlukan aliran udara yang cukup. Prinsip aliran udara adalah adanya perbedaan suhu dan tekanan antara dua atau lebih space, baik space antar ruang maupun antara ruang dalam dan ruang luar. Oleh sebab itu perlu diciptakan bidang-bidang bangunan yang dapat membuat perbedaan suhu dan tekanan udara. Beberapa aplikasi konsep penyegaran udara adalah :

- Ventilasi Atap

Angin akan mengalir dari suhu rendah menuju suhu yang lebih tinggi. Ruang bawah atap merupakan bagian yang menerima radiasi terbesar, sehingga memiliki suhu yang panas. Sebaiknya ruang bawah atap dilengkapi lubang ventilasi, sehingga akan menarik udara dari dalam ruang untuk dialirkan ke luar bangunan.

- Plafon tinggi

Melalui lubang ventilasi yang terletak di bagian atap, maka tekanan udara panas di dalam ruang akan tertarik dan terbuang ke luar melalui atap. Untuk mendapatkan efek cerobong (stack effect), maka menara angin dibuat dengan bentuk penutup menghadap arah datang angin, dan lebih baik lagi adanya void. Efek cerobong akan optimal bila rumah tinggal/bangunan memiliki plafon tinggi atau minimal dua lantai. Semakin tinggi plafon, maka semakin baik ventilasinya (aliran angin). Kita bisa belajar dari karya Eko Prawoto yang diterapkan dalam rekonstruksi pasca bencana Gempa di Yogyakarta. Desainnya mempunyai bentuk atap yang tinggi yang berguna untuk ventilasi atap



Gambar 1. – Rumah Rekonstruksi Pasca Gempa di Ngibikan Bantul yang modular dengan plafon yang tinggi dan memiliki ventilasi atap  
sumber : *Survey lapangan, 2011.*

### Teras dan teritisan

Teras berfungsi sebagai ruang peralihan antara ruang luar dan ruang dalam. Pada daerah beriklim panas, seperti di Indonesia, kehadiran teras dapat menciptakan iklim mikro yang memberikan kenyamanan di dalam bangunan dan sekitarnya. Hal ini disebabkan tekanan udara yang ada di halaman menjadi mengembang karena suhu yang panas, sementara itu teras merupakan daerah hisapan angin yang bertekanan lebih tinggi dan bersuhu lebih dingin. Perbedaan suhu dan tekanan menyebabkan udara mengalir, dari suhu dingin ke suhu yang lebih panas, atau dari tekanan tinggi ke tekanan yang lebih rendah. Udara di dalam ruang akan tertarik ke luar dan segera berganti. Seperti juga teras, fungsi teritisan akan mendinginkan suhu udara lebih dulu, sebelum masuk ke dalam ruang. Semakin lebar teritisan, maka suhu ruangan akan semakin dingin.



**Gambar 2.** – Rumah Ngibikan dengan teras yang dapat juga berfungsi mematahkan sinar matahari untuk pembayangan fasade  
sumber : *Survey Lapangan, 2011*

### Vegetasi Lingkungan

Vegetasi berfungsi sebagai climate regulator atau pengatur iklim (suhu, kelembaban dan laju angin), baik untuk lingkup tapak rumah tinggal maupun untuk skala kawasan. Penyediaan vegetasi yang sesungguhnya (terbukanya tapak untuk vegetasi) berarti juga penyediaan ruang terbuka hijau (RTH), yang berarti juga sebagai pengendali tata air. Ketersediaan ruang terbuka dan vegetasi akan menyuplai oksigen dan akan mengalirkannya ke dalam rumah, ditambah dengan adanya air (alternatif berbentuk kolam) yang akan menurunkan suhu udara yang panas. Oksigen dan suhu dingin mengalir ke dalam rumah dan akan memberikan kenyamanan. Vegetasi di atap rumah (greenroof) dapat menahan radiasi matahari, sehingga mengkondisikan ruang di bawahnya bersuhu lebih dingin.

Unsur hijau yang diidentikkan dengan vegetasi ditunjukkan dengan menambahkan elemen-elemen penghijauan tidak hanya pada lansekap saja tetapi juga dalam bangunan, seperti pemberian *roof garden*, pemberian vegetasi rambat pada dinding bangunan dan lain sebagainya.



**Gambar 3.** – Tatanan massa bangunan Dusun Ngibikan yang didominasi oleh vegetasi sebelum dan sesudah rekonstruksi  
sumber : *Survey Lapangan, 2011*

### Pencahayaan alami

Tujuan dari pencahayaan adalah disamping mendapatkan kuantitas cahaya yang cukup sehingga tugas visual mudah dilakukan, juga untuk mendapatkan lingkungan visual yang menyenangkan atau mempunyai kualitas cahaya yang baik. Dalam pencahayaan alami, yang sangat mempengaruhi kualitas pencahayaan adalah terjadinya penyilauan.

Pencahayaan alami siang hari dapat dikatakan baik apabila : pada siang hari antara jam 08.00 sampai dengan jam 16.00 waktu setempat, terdapat cukup banyak cahaya yang masuk ke dalam ruangan. Distribusi cahaya di dalam ruangan cukup merata dan atau tidak menimbulkan kontras yang mengganggu. Penyilauan adalah kondisi penglihatan dimana terdapat ketidaknyamanan atau pengurangan dalam kemampuan melihat suatu obyek, karena luminansi obyek yang terlalu besar, distribusi luminansi yang tidak merata atau terjadinya kontras yang berlebihan.

Ada dua jenis penyilauan : 1) penyilauan yang menyebabkan ketidakmampuan melihat suatu obyek (disability glare), dan 2) penyilauan yang menyebabkan ketidaknyamanan melihat suatu obyek tanpa perlu menimbulkan ketidakmampuan melihat (discomfort glare). Prinsip pencahayaan alami adalah memanfaatkan cahaya matahari semaksimal mungkin dan mengurangi panas matahari semaksimal mungkin. Pemanfaatan cahaya alami jelas akan menghemat listrik.



**Gambar 4.** – Bentuk masa bangunan memanjang kebelakang yang bermanfaat untuk pencahayaan pada sisi memanjang

*Sumber : Dokumen Eko Prawoto, 2006.*

### Orientasi Bangunan

Orientasi bangunan bertujuan untuk mendapatkan kantong cahaya matahari (sun pocket), yaitu kondisi di mana cahaya matahari berada pada intensitas radiasi paling rendah, sesuai siklus terbit dan tenggelamnya, dan matahari memiliki sudut jatuh cahaya yang kecil. Dengan demikian area yang tercahayai akan lebih besar dan cahaya matahari tidak panas. Orientasi bangunan terbaik adalah memiliki sudut kemiringan  $20^{\circ}$  terhadap sumbu barat-timur dengan bidang permukaan fasade terluas pada sumbu utara-selatan.

Apabila kondisi ideal orientasi bangunan tidak memungkinkan, dapat dilakukan dengan memperluas bukaan untuk masuknya cahaya atau mengurangi pembatasan ruang, agar cahaya dapat memasuki ruang-ruang dalam. Bila diperlukan pembatas, maka gunakan material transparan.

### Pemanfaatan material lokal

Selubung bangunan yang memperoleh radiasi matahari terbesar adalah atap dan kemudian dinding. Agar penghematan energi dapat dilakukan, maka harus dihindari radiasi matahari yang optimal pada siang hari, karena akan meningkatkan suhu ruangan. Pemanfaatan material alami dari vegetasi dapat didisain menyatu dengan konstruksi selubung bangunan. Belajar dari dusun Ngibikan yang mencoba memanfaatkan potensi lokal dengan memanfaatkan kayu dari batang kelapa, bambu dan batu kali dari sekitar dusun.



**Gambar 5.** – Bangunan rumah Ngibikan yang memanfaatkan material yang ada di lokasi seperti pemanfaatan kayu kelapa dan batu alam serta bambu  
sumber : *DokumenEko Prawoto, 2006.*

#### 4. KESIMPULAN

Efisiensi energi merupakan prioritas utama dalam disain, karena kesalahan disain yang berakibat boros energi akan berdampak terhadap biaya operasional sepanjang bangunan tersebut beroperasi. Hal yang menarik dari karya arsitektur yang hemat energi bukan hanya mampu memecahkan setiap masalah yang menjadi kendala dan memanfaatkan potensi iklim tropis yang ada tetapi juga memanfaatkan potensi iklim yang ada.

Diperlukannya lebih banyak promosi bagi arsitektur berkelanjutan di daerah tropis adalah sebuah keharusan, mengingat kondisi bumi semakin menurun dengan adanya penurunan kualitas lingkungan yang memberi dampak pada pemanasan global. Semakin dikenal dan didasari prinsip desain berkelanjutan secara luas, semakin banyak pula bangunan yang tanggap lingkungan dan meminimalkan dampak lingkungan akibat pembangunan.

Sadar energi atau penghematan energi pada dasarnya adalah bukan mengurangi konsumsi energi, melainkan lebih efisien dalam mengkonsumsi energi. Output yang dihasilkan seharusnya sama, antara melakukan penghematan dan tidak. Efisiensi penggunaan energi dapat dimulai dari rumah tinggal sendiri, terutama dalam mengkonsumsi listrik, karena jumlah terbesar energi dalam rumah tinggal adalah pemakaian listrik. Pemborosan energi di rumah tinggal terutama untuk fungsi penghawaan dan pencahayaan.

Konsep sadar energi yang ditawarkan untuk penghawaan alami adalah : memperhatikan ventilasi, insulasi atap, pembuatan menara angin, pembuatan teras dan tritisan, pemanfaatan vegetasi dan unsur air. Sedangkan untuk pencahayaan alami adalah dengan memperhatikan arah orientasi bangunan, pertimbangan dalam memilih material selubung bangunan, membuat modifikasi struktur untuk mekanisme pemantulan, pembayangan dan penyaringan cahaya dan radiasi matahari.



## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Daryanto, (2008), *Peran Selubung Bangunan Tropis Dalam Mewujudkan Kota Hemat Energi*, Prosiding Simnas Peran Arsitektur Dalam Mewujudkan Kota Tropis, UNDIP Semarang
- Frick, Heinz (2006), *Arsitektur Ekologis*, Penerbit Kanisius Yogyakarta
- Priatman, Jimmy,(2003), *Energy Conscious Design, Konsep dan Strategi Perancangan Bangunan di Indonesia*, Jurnal Teknik Arsitektur Dimensi, Vol.31, No.1, Juli 2003, hal. 43-50
- Satwiko Prasasto (2005); *Arsitektur Sadar Energi*, Penerbit Andi, Yogyakarta
- Satwiko, Prasasto, (2003), *Fisika Bangunan I*, Yogyakarta, Penerbit Andi Yogyakarta
- Syamsiyah Nor R (2008), *Konsep sadar Energy sebagai penerapan Sustainable Desain dalam Arsitektur*, Proseding RAPI UMS Solo.
- Sukawi (2010), *Kaitan Desain Selubung Bangunan terhadap Pemakaian Energi dalam Bangunan*, Proseding Seminar energi UNWAHAS Semarang
- Smith, Peter F. (2005) *Architecture in a Climate of Change*, McGraw Hill Book Company, New York.
- Vale, Brenda and Robert Vale, (1991), *Green Architectur, Design for a Sustainable Future*, Thames and Hudson, London.



## EFISIENSI ENERGI PADA ‘SMART BUILDING’ UNTUK ARSITEKTUR MASA DEPAN

Meivirina Hanum<sup>1\*</sup>, dan Chairul Murod<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya,  
Jl. Raya Inderalaya Km.32, Inderalaya

\*Korespondensi Pembicara. Phone: +62 711 440012, Fax: +62 711 360352  
Mobile : +62 812 73 43280, Email: hanumimauro@yahoo.com.

### ABSTRACT

Isu pemanfaatan sumber daya alam maupun energi buatan (*artificial energy*) secara bijak, memberikan andil besar terhadap perkembangan dan proses desain bangunan dan tampilan bangunan yang ramah lingkungan, baik dari sisi material/bahan bangunan, pemanfaatan tata udara, cahaya, sumber air bersih, air kotor, kotoran, pemanfaatan lingkungan, sampai pelaksanaan konstruksi dan keterlibatan Industrialisasi konstruksi.

Tantangan bagi arsitek kini adalah dengan kemajuan industrialisasi material di bidang Jasa Konstruksi, berinovasi dalam penggunaan utilitas bangunan menuju *Green Architecture*.

*Smart Building* atau desain bangunan yang ‘*smart*’ dan futuristik menjadi pilihan untuk menjawab tantangan ini. Konsep desain ini adalah pemanfaatan energi alam, energi buatan, maupun energi terbarukan untuk utilitas bangunan tinggi dan kompleks. Efisiensi energi pada sistem pencahayaan dan penghawaan tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan material berteknologi terkini, yang mengacu pada sistem sensor dan digitasi.

**Kata Kunci:** efisiensi energi, *green architecture*, *smart building*.

### 1. PENDAHULUAN

Kerusakan lingkungan akibat bencana alam maupun ulah manusia akibat eksploitasi sumber daya alam secara besar besaran, tanpa diikuti regenerasi yang berkesinambungan, menjadikan kerusakan lingkungan terjadi hampir di seluruh tanah air tercinta ini. Ditambah lagi pembukaan lahan dan pengurukan rawa untuk pembangunan perumahan, industri, dan fasilitas lainnya, serta evoria pembangunan sarana dan prasarana di perkotaan maupun di wilayah pinggiran yang saling berlomba Pembangunannya. Hal tersebut tentu akan menambah parahnya kerusakan lingkungan, yang pada akhirnya mulcul berbagai permasalahan yang serius pada lingkungan.

Dalam hal ini peranan seorang Arsitek menjadi penting, agar dalam proses perancangannya, harus dan terus menerus secara konsisten memperhatikan serta mengoptimalkan kondisi lingkungan secara bijak dan memperhatikan faktor faktor sosial, budaya dan kultur disisi lainnya. Dengan mengupayakan bangunan yang hemat energi diharapkan para arsitek dapat berperan dan memberi perhatian yang lebih besar dalam penghematan bahan bakar yang selama ini masih banyak digunakan untuk menghasilkan listrik PLN, karena penggunaan yang paling besar di didalam bangunan

adalah penggunaan Listrik. Banyak sumber daya alam terbarukan (*Renewable resources*) hilang begitu saja tanpa dimanfaatkan. Banyak bangunan yang sangat boros energi terutama dalam penggunaan sistim pengkondisian udara dan sistim pencahayaan. Sistim penghawaan dan pencahayaan buatan ditengarai dan dianggap sebagai sumber pemborosan energi terbesar dalam bangunan, yaitu sekitar 60 % dari energi yang digunakan dalam bangunan. Pemborosan energi dari sisi penghawaan dan pencahayaan akan dapat dikurangi apabila bangunan didesain secara tepat. Sementara pemanfaatan potensi alami secara optimal, merupakan solusi bagi penghematan energi, karena energi yang disediakan oleh matahari merupakan energi yang dapat diperbaharui. Oleh karena itu tepat kiranya apa yang ditawarkan kepada para arsitek untuk menciptakan bangunan yang hemat energi yang betul-betul bisa memanfaatkan sistim alami dalam menyediakan kenyamanan termal dan visualnya.

Indonesia yang berada tepat di lintasan Khatulistiwa, memiliki karakteristik iklim Tropis Lembab, yang ditandai dengan kondisi temperatur udara antara 22 – 32 oC dan kelembaban udara dan curah hujan yang tinggi yaitu di atas 90 %. Cahaya matahari melintas sepanjang hari dengan disertai intensitas radiasi panas yang sangat tinggi, sementara kondisi kecepatan udara cenderung lemah sampai sedang.

Kondisi seperti ini mengindikasikan udara sangat panas, kering akibat tingginya kelembaban udara di daerah tropis lembab. Kenyamanan termal sulit diperoleh. Sementara dari sisi pencahayaan alami, potensi sinar matahari yang melimpah sepanjang hari tidak termanfaatkan secara tepat.

Akibatnya untuk memperoleh kenyamanan termal dan visual diselesaikan dengan menggunakan penghawaan buatan, seperti AC, misalnya yang tentunya akan menambah biaya pengeluaran yang cukup tinggi, karena kondisi ini berimplikasi terhadap konsumsi listrik yang besar.

#### **‘ Smart Building ’**

Adalah suatu usaha perancangan Arsitektur yang mengacu pada ‘*Eco Architecture*’, hal ini merujuk pada Konferensi Eco Architecture I th 2006, yang mengusung topik HARMONISATION BETWEEN ARCHITECTURE AND NATURE, yang dikoordinir oleh Wessex Institute of Technology, UK dan berkolaborasi dengan International Journal of Ecodynamics, antara lain merumuskan apa yang dimaksud dengan ‘*Eco Architecture*’;

*Eco-Architecture is in harmony with nature, including its immediate environs. Decisions have to be taken on ecological grounds concerning locations, siting and orientation, as well as the well-informed choice of materials.*

*Eco-Architecture makes every effort to minimise the use of energy at each stage of the building’s life cycle, including that embodied in the extraction and transportation of materials, their fabrication, their assembly into the building and ultimately the ease and value of their recycling when the building’s life is over. The design may also take into consideration the use of energy in building maintenance and changes in its use, not to mention its lighting, heating and cooling, particularly where the energy consumed involves the emission of greenhouse gases.*

Sementara ‘*Smart Building*’ sendiri adalah suatu usaha untuk mewujudkan bangunan hemat energy. Dengan menitik beratkan bagaimana energi digunakan untuk melangsungkan kegiatan-kegiatan dalam bangunan meliputi HVAC ( Heating, Ventilation, Air Condition), yang pada prinsipnya bagaimana konsumsi energi dalam bangunan tersebut dapat dikurangi.

Sementara penggunaan energi yang paling besar dikonsumsi untuk kegiatan dalam bangunan, adalah penghawaan / pendinginan buatan dan pencahayaan sekitar (60 %), maka dari itu diupayakan untuk menekan dan meminimalkan proses pemanasan yang masuk ke dalam bangunan (*heat gain process*) baik secara internal dan eksternal dan memaksimalkan proses pengeluaran panas dari bangunan (*heat loss process*). Selanjutnya adalah mengatur proses masuknya cahaya alami yang sekaligus dapat meminimalkan panas yang masuk ke dalam bangunan.

Proses memasukan dan mengeluarkan panas dalam bangunan harus diupayakan seimbang, karena jika proses pemanasannya lebih besar dibanding proses pelepasan panasnya, maka dengan sendirinya bangunan akan mengalami peningkatan temperatur udara (*overheating*). Kondisi ini tentu akan memaksa penghawaan alami bekerja lebih berat, yang ujungnya pemborosan pada pemakaian energi.

### **Pendekatan Arsitektural**

Pada saat proses perancangan, ada 2 aspek yang harus diperhatikan, pertama yang berkaitan dengan lingkungan, dimulai dari analisa tapak, berkaitan dengan analisa tapak ini erat kaitannya terhadap bangunan hemat energi, mulai analisa arah matahari, orientasi bangunan, yang dapat berpengaruh terhadap proses pemasukan panas bangunan terutama dari sisi pemanasan eksternal yang dapat direduksi melalui strategi arah, hadap bangunan yaitu dengan menempatkan dinding-dinding yang lebar, jendela, juga ventilasi pada sisi-sisi yang tidak berhadapan secara langsung ke sinar matahari, penempatan tanaman-tanaman yang rindang untuk memberikan efek peneduhan pada lingkungan bangunan (terutama pada sisi Timur dan Barat), sehingga proses pemasukan panas dan pelepasan panas dalam bangunan serta proses pemasukkan cahaya alami dan sekaligus proses pengurangan panasnya dapat dicapai keseimbangan. perbandingan, antara daerah yang ditutupi bangunan dengan daerah hijau (*Building Coverage*). Analisa lingkungan juga harus memperhitungkan perbandingan antara total luas lantai terhadap luasan tapak (*Floor Area Ratio*) dan ketinggian bangunan, hal ini akan berpengaruh pada daerah yang tertutupi pada bangunan disekitarnya. Bahkan bangunan hijau mensyaratkan layout desain bangunan (10 persen), konsumsi dan pengelolaan air bersih (10 persen), pemenuhan energi listrik (30 persen), bahan bangunan (15 persen), kualitas udara dalam (20 persen), dan terobosan inovasi (teknologi, operasional) sebesar 15 persen.

Kedua adalah analisa terhadap bangunannya sendiri (*building Design*), juga menjadi strategi lain yang secara arsitektural dapat diaplikasikan untuk menurunkan pengaruh panas eksternal tersebut, seperti: pemilihan material bangunan yang dapat meredam dan menyimpan panas yang masuk ke dalam bangunan, warna bangunan yang tidak menyerap panas (warna putih atau yang terang), tekstur permukaan yang dapat merefleksikan panas, pengaruh ini juga dapat ditinjau dari Bentuk bangunan, meliputi design bukaan nya, daerah yang harus tertutup, ornamentasi bangunan yang memiliki aspek arsitektural tetapi cukup efektif mendeduksi panas matahari pada bangunan, yaitu dengan pemasangan Sun Shading.

### **Pendekatan Teknis.**

Pendekatan secara teknis, lebih difokuskan pada kemajuan teknologi di bidang utilitas bangunan. Titik beratnya pada penggunaan teknologi yang memanfaatkan waktu edar matahari sepanjang hari, kelebihan panas di daerah tropis ini menjadi potensi yang tinggi untuk mengolahnya menjadi energi. Aplikasinya penggunaan teknologi panel surya (*Photovoltaic Panel*), yaitu sebuah panel, yang ditempatkan di bidang atap (*Building Integrated Photovoltaics*),



By [Robbie Harris](http://www.sierraclubgreenhome.com/home-energy-audit-center/) <http://www.sierraclubgreenhome.com/home-energy-audit-center/>

yang dapat menjadi bagian dari design bangunan itu sendiri. Salah satu bangunan yang landasan konseptualnya adalah juga penghematan energi, adalah Eco Mall di Singapore yang merupakan Mall pertama yang di rancang dengan konsep Eco Architecture, seperti pada contoh dibawah ini:



### **Green building experts shop for ideas at Singapore's first eco-mall**

Instead of window shopping for the latest fashions, the visitors perused a broad range of eco-friendly features, from passive design features that naturally maximise lighting, air flow and shading, to high-tech solutions that increase energy efficiency and save water.

Energi panas yang tersimpan oleh panel Surya ini diubah menjadi energi listrik yang selanjutnya dapat digunakan untuk menyalakan alat-alat elektrikal, pencahayaan buatan dan penghawaan buatan terutama pada penggunaan malam hari. Pada siang hari sistim penghawaan dan pencahayaan lebih difokuskan pada pendekatan alami (*natural cooling and lighting*).

Permasalahannya adalah pengadaan panel surya ini juga tidak murah. Namun untuk jangka panjang Panel Surya ini sangat efektif untuk penghematan energi. Sedangkan pencayaan bisa dikombinasikan antara pencahayaan alami dengan pemasangan kaca yang juga dapat mereduksi panas, pencahayaan buatan, menggunakan lampu-lampu hemat energy dapat dipertimbangan untuk pengurangan energi.

Lampu hemat energi adalah penggunaan lampu-lampu yang mempunyai tingkat efikasi tinggi, artinya mempunyai tingkat Illuminasi cahaya tinggi (Lux)/ watt. Oleh karena itu penggunaan lampu jenis SL dengan wattage rendah (8 – 11 watt) tetapi

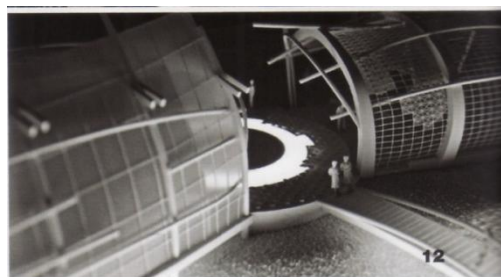


mempunyai tingkat illuminasi 560 – 770 Lux sangat disarankan. Tingkat illuminasi sebesar itu sangat mencukupi untuk kegiatan sehari-hari yang berkisar 150 – 400 lux. Keuntungan dari pemakaian lampu hemat energi adalah tidak menimbulkan efek panas pada ruang. Penerangan buatan juga dapat di hasilkan dari lamapu LED, yang memiliki terang cahaya cukup kuat, dengan pemakaian daya yang rendah.

Disisi lain pertimbangan teknologi juga dimanfaatkan pada sistim penghawaan buata, ( *Air Condition* ), penghawaan buatan ini menjadi sangat vital manakala yang dibicarakan adalah bangunan – bangunan tinggi, ataupun bangunan bentang lebar, yang tidak akan mampu menggunakan penghawaan alami. Permasalahannya adalah kontradiktif dengan masalah pencahayaan. Secara teknologi hal ini di dalam bangunan tinggi dipakai cell tenaga surya

## 2. PEMBAHASAN

Dalam bagian pembahasan ini, akan dihadirkan beberapa projek di beberapa negara yang telah melakukan proses perancangannya dengan konsep Eco Architecture dan juga mengacu pada Smart Building.



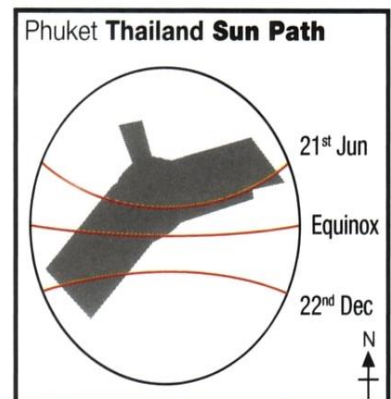
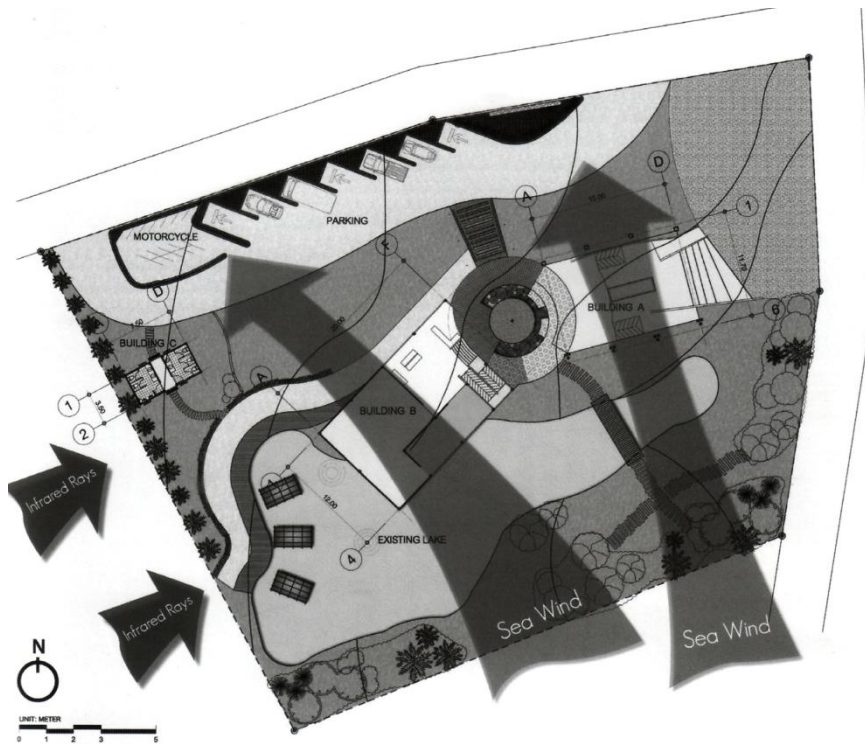
### PROJECT DATA

**Project Name**  
Orang Laut Cultural Center  
**Location**  
Phuket, Thailand  
**Status**  
Construction  
**Expected Completion**  
Second half of 2011  
**Site Area**  
2.5 rai (4,000 m<sup>2</sup>)  
**Gross Floor Area**  
Approximately 350 m<sup>2</sup>

**Building Height**  
6.6 m  
**Client/Owner**  
Department of Public Works and Planning Phuket  
**Architecture Firm**  
Able Architects Co., Ltd.  
**Principal Architect**  
Phuket government agencies  
**Main Contractor**  
Phuket government agencies

**Mechanical & Electrical Engineer**  
Phuket government agencies  
**Civil & Structural Engineer**  
Phuket government agencies  
**Images/Photos**  
Phuket government agencies

Analisa Rancangan Tapak, untuk mendapatkan sistim pencahayaan & penghawaan yang optimal, yang dikombinasikan dengan sistim tata udara dan tata cahaya yang direncanakan seefisien mungkin, sehingga konsep Smart Building dan Eco Architecture nya dapat di capai



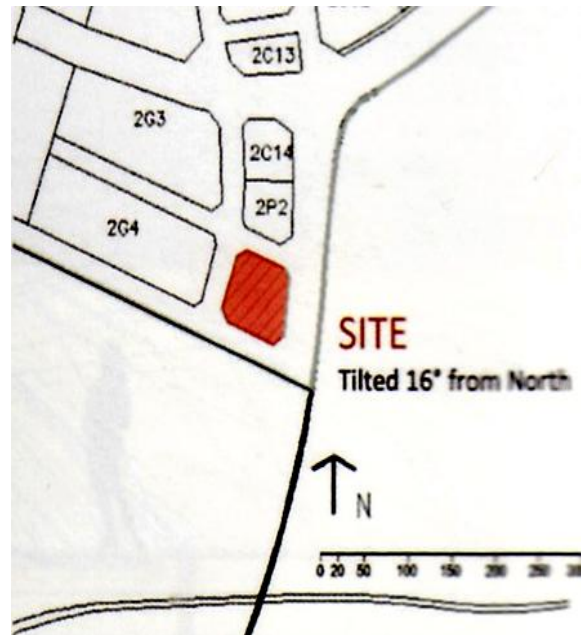
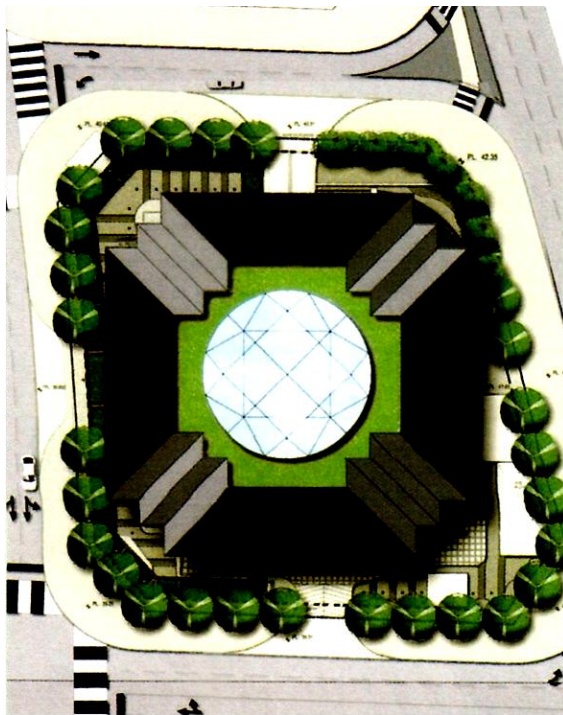
- 10** Aerial view **11** Sections
- 12** Model **13** Perspective view
- 14** Site plan

( sumber FuturArc )

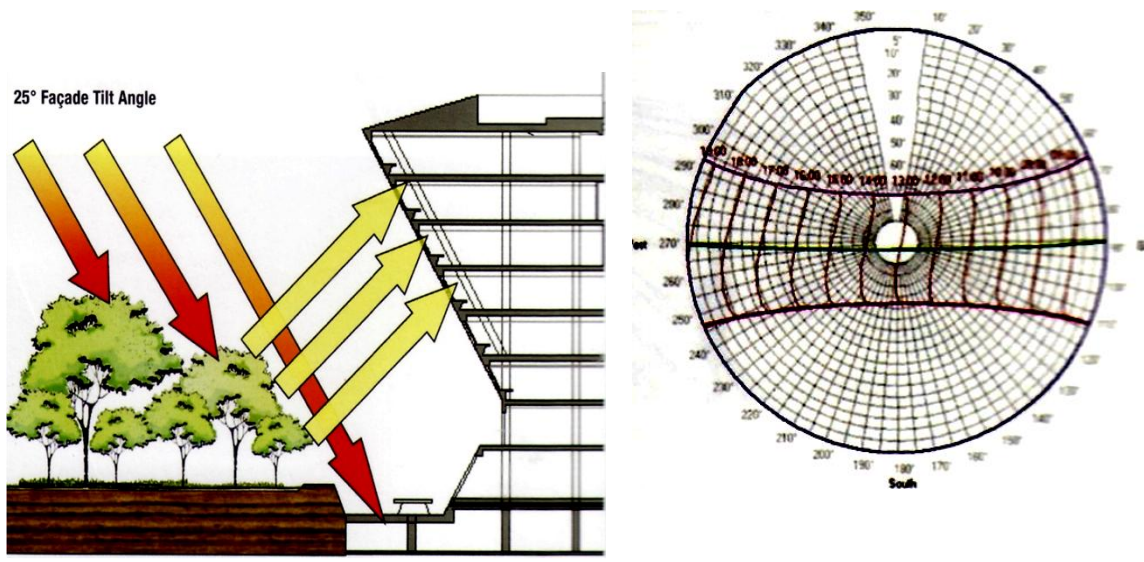
Foto diatas hasil akhir dari Rancangan bangunan, dan posisi bangunan terhadap pergerakan matahari yang berada pada negara tersebut

Pembahasan kedua adalah bangunan Headquarters Of Energy Commission di Putrajaya Malaysia, yang juga memanfaatkan cell surya untuk mengatasi efisiensi energi dalam bangunan, dibawah ini rancangan tapak terhadap kawasan yang ada ( kiri )



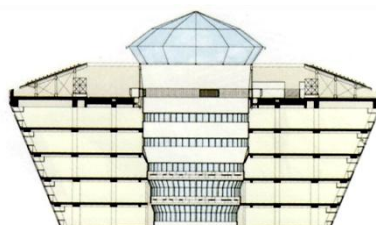


Analisa pengaruh energi terhadap design bangunan, untuk mencapai optimalisasi penggunaan energi dalam bangunan, akan tetapi masih dapat mempertahankan sisi design bangunan serta aspek kenyamanan dan fungsinya dapat terpenuhi



Sumber Futurarc

Pemanfaatan cell surya, selain untuk tampilan design arsitekturnya, juga memiliki fungsi yang sangat besar dalam menyumbangkan energi yang digunakan, sehingga menghasilkan keterpaduan yang sempurna untuk menciptakan *Smart Building* dan *Eco Architecture*

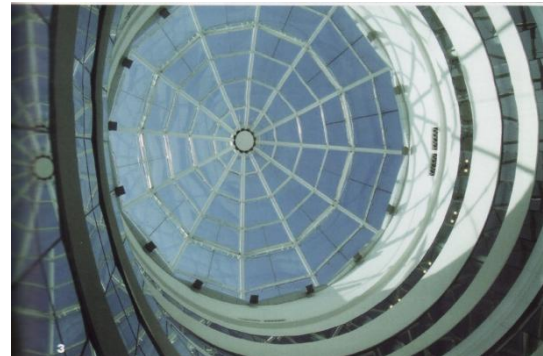
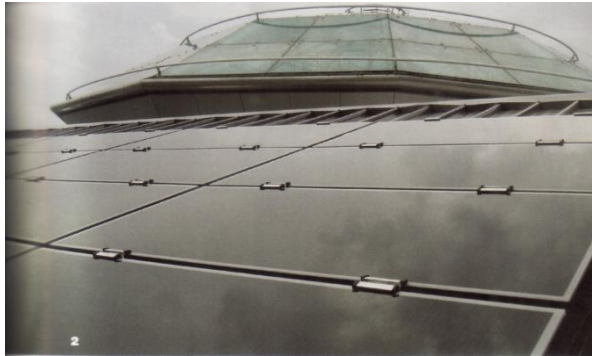


### PERFORMANCE SUMMARY

The building, which will be in operation in June 2010, is targeting the highest environmental building rating under Green Mark, namely a Platinum certification. The main environmental performance comprises:

- 57 percent electricity savings (CO<sub>2</sub> emission savings correspond to taking 324 cars off the road\*)
- 71.4 kWp solar PV plant (CO<sub>2</sub> emission savings correspond to taking 30 cars off the road\*)
- Water efficient fittings, rainwater harvesting and grey water recycling (water saved corresponds to consumption of 12 households)
- Conducive working environment (50 percent daylighting, good air quality and low ventilation noise levels thanks to radiant cooling)

Additional savings come from the 35 percent savings on the district cooling consumption for the building.



### 3. REFERENCES

- Futurarc, Volume 18 3 Q . (2010).Architecture Design Sustainability Asia Pacific, Green Issue 2010.PT BCI Indonesia. Manggala Wanabakti Building, 8 th Floor, wing A. Jl. Jend Gatot Subroto Jakarta 10270. Indonesia.
- MCHARG Ian L and Lewis Numford (2001). Design With Nature `National Book Network Inc 4720, Boston Way Lanham, Maryland 20706.
- Erdman, J.W. (2009).New Urban Giant, The ultimate Skyscrapers. White Star Publishers. Via Candido Sassone 22/24 13100 Vercelli, Italy. [www.whitestar.it](http://www.whitestar.it).
- Walling,DE and Gregory KJ. (1979). Man and Environmental Processes Studies In Physical Geography. Dawson Westview Press: Australia.**
- Wines James. (2008).Green Architecture.Taschen Gmbh: Printed in China ISBN 978-8365-0321-1.

## PERBAIKAN VENTILASI ALAMI PADA PEMUKIMAN PADAT PENDUDUK BENTUK DARI EKO-ARSITEKTUR

**Esther Prawira\***

Mahasiswa S1, Jurusan Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas  
Tarumanagara, Jl. Letjen. S. Parman no.1 Jakarta Barat 11440

\*Koresponensi Pembicara. Phone: +62 898 9253239

Email: [estherprawira@gmail.com](mailto:estherprawira@gmail.com)

### ABSTRAK

Arsitektur ekologis adalah arsitektur yang berwawasan lingkungan dan memanfaatkan potensi alam dengan maksimal. Arsitektur ekologis merupakan arsitektur ramah lingkungan yang hemat energi dan memperhatikan hubungan antara manusia dengan bangunan dan lingkungannya. Salah satu dari usaha untuk mewujudkan arsitektur ekologis adalah dengan pemanfaatan ventilasi alami secara maksimal dibandingkan ventilasi buatan yang menggunakan energi dan merusak lingkungan dalam jangka waktu yang lama. Ventilasi alami merupakan hal penting dan harus dimiliki oleh semua bangunan. Ventilasi alami mempengaruhi kesehatan penghuni bangunan dan kesinambungan antara bangunan dengan lingkungannya.

Pada pemukiman padat penduduk ventilasi alami sering kali diabaikan karena lingkungannya yang sudah sangat padat dan tidak memungkinkan adanya bukaan. Hal ini banyak kita temui di kota Jakarta dan mempengaruhi tingkat kesehatan masyarakatnya. Untuk memperbaiki ventilasi alami pada pemukiman penduduk padat di kota Jakarta diperlukan penzoningan dan prancangan yang bangunan yang baik dan matang. Dengan perbaikan sistem ventilasi alami tersebut maka tingkat kesehatan masyarakat pun akan meningkat dan hubungannya dengan lingkungan luar menjadi lebih sinambung.

**Kata kunci:** Eko-Arsitektur, Pemukiman Padat, Ventilasi Alami.

### 1. PENDAHULUAN

Ventilasi alami merupakan kebutuhan penting dalam suatu bangunan, namun karena perkembangan jaman hal ini sering dianggap tidak penting karena dapat ditanggulangi dengan ventilasi buatan. Namun seringkali ventilasi buatan tidak menjadi solusi, melainkan menambah masalah baru yaitu salah satunya mengenai energi dan selain itu ventilasi buatan juga umumnya sangat mahal.

Pada lingkungan pemukiman padat penduduk ventilasi udara alami yang baik dan sehat sangat sulit dilakukan karena sempitnya lahan dan ketidak teraturan pola penyebaran bangunan. Bangunan yang saling berhimpitan satu sama lain menjadikan minimnya ruang terbuka yang berperan penting dalam ventilasi alami. Sistem ventilasi yang buruk berpengaruh buruk terhadap kesehatan penghuni bangunan. Minimnya pertukaran udara dapat menyebabkan ruangan menjadi sangat lembab dan pengap, hal ini tentunya mempengaruhi kualitas udara didalam ruangan. Oleh karena



itu diperlukan perbaikan pada sistem ventilasi alami yang digunakan pada pemukiman padat penduduk seperti pada *row houses*.

## 2. ISI UTAMA MAKALAH

### 2.1 KAJIAN PUSTAKA

❖ **Definisi Ventilasi:** Ventilasi adalah pergerakan dari udara antara sebuah bangunan dengan bangunan lain dan lingkungan luar. Ventilasi dibagi menjadi ventilasi alami dan buatan, ventilasi alami adalah ventilasi yang terjadi tanpa menggunakan alat seperti kipas atau AC (*Air Conditioning*).

❖ **Pentingnya Ventilasi Alami Dalam Bangunan:**

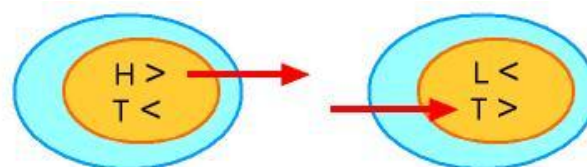
- Untuk suplai udara segar: jumlah nominal udara segar yang diperlukan untuk bernafas ( $2 \text{ liter S}^{-1}$ ) dengan tingkat ventilasi yang jauh lebih tinggi diperlukan untuk mengontrol bau (hingga  $16 - 32 \text{ liter S}^{-1}$  merupakan tingkat udara segar yang diperlukan untuk mengurangi bau merokok).
- Untuk menjaga *Indoor Air Quality*: semakin rendah kadar *Indoor Pollutant* semakin baik *Indoor Air Quality*. Bila kadar *Indoor Pollutant* dalam ruangan tinggi maka akan mengganggu penghuninya. Gangguan ini dapat umumnya berupa gangguan kesehatan seperti gangguan pernafasan, pusing, iritasi mata, dll. Gangguan-gangguan ini disebut sebagai *Sick Building Syndrom(SBS)*.
- *Direct Comfort Ventilation*: berkaitan dengan faktor kenyamanan termal. Kenyamanan termal berkaitan dengan perilaku manusia dalam suatu lingkungan (gambar 1) dan mekanisme pelepasan panas (gambar 2). Pelepasan panas dipengaruhi oleh 4 parameter lingkungan yaitu:

1. Suhu radiasi rata-rata
2. Suhu udara
3. Kelembaban relative
4. Pergerakan udara

❖ **Teori Pergerakan Angin dan Karakteristik Angin**

Angin merupakan udara yang bergerak. Udara bergerak karena adanya gaya yang disebabkan oleh tekanan (*Pressure Gradient*) dan perbedaan suhu. Pada ventilasi buatan hal tekanan dihasilkan dari kipas. *Pressure gradient* dapat dilakukan dengan 2 hal, yaitu:

1. Dengan menggunakan perbedaan tekanan pada sekeliling luar bangunan yang disebabkan oleh angin.
2. Dengan menggunakan perbedaan tekanan yang disebabkan keragaman tekanan yang ada pada rumah tersebut. Udara panas memiliki tekanan yang lebih rendah dari udara dingin. Udara bergerak dari dingin ke panas atau dari tempat yang bertekanan tinggi ke tempat yang bertekanan rendah.



Keterangan:

H > adalah Daerah Tekanan Tinggi, T < adalah Temperatur Rendah  
L > adalah Daerah Tekanan Rendah, T > adalah Temperatur Tinggi

Teori dasar gerakan angin

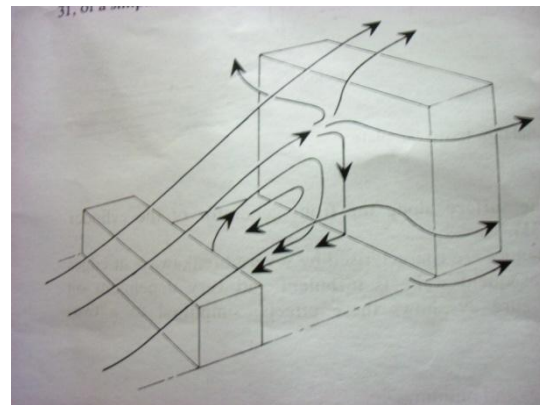
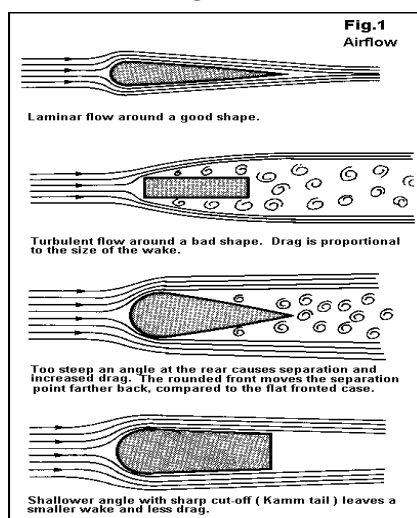
Karakteristik angin terhadap bangunan:

1. Jika angin menerpa bangunan, maka akan terbentuk daerah yang bertekanan tinggi pada sisi hulu angin.
2. Aliran udara tidak pernah mencari jalan terpendek.

### ❖ Prinsip Aerodinamika pada Bangunan

Aerodinamika mengutamakan Keselarasan bentuk untuk mengoptimalkan aliran udara/angin. Aliran udara diatur oleh prinsip-prinsip dinamika fluida yang berhubungan dengan gerak cairan dan gas di dalam dan sekitar permukaan padat. Viskositas, densitas, kompresibilitas, dan suhu udara menentukan bagaimana udara akan mengalir di sekitar bangunan. Seperti pada *New Assembly of Wales* yang dibangun oleh Richard Rogers (gambar 7).

### ❖ *Passive Conditioning*



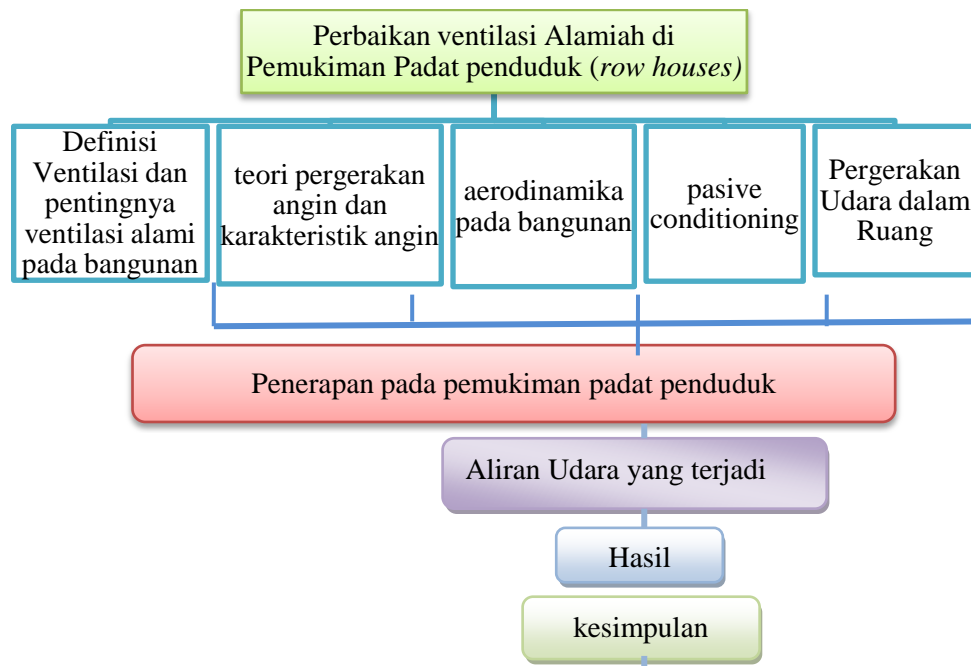
- *Wind breaks*, membelah atau memecah angin. Dengan menggunakan pohon.
- *Dust*, untuk mengurangi intensitas debu harus dipastikan bahwa terdapat tanaman-tanaman atau vegetasi disekeliling bangunan.
- *Natural air conditioning*, merupakan usaha yang dilakukan agar sebelum masuk ke bangunan angin melewati vegetasi, atau air sehingga suhu udara tersebut dapat lebih sejuk.
- *Coolth ponds*, dibuatnya kolam atau danau disekitar bangunan dapat mendinginkan udara panas.
- *Sun traps*, agar sinar matahari yang masuk ke ruangan tidak terlalu berlebihan sehingga suhu ruangan dapat lebih sejuk.
- *Basement cooler*, sebelum menyejukan ruangan angin dialirkan ke basement untuk penurunan suhu, kemudian dialirkan ke dalam ruangan.
- *Wind catchers*, dibuat menara penangkap angin, umumnya angin yang berada di tempat yang tinggi memiliki tekanan yang lebih tinggi, sehingga angin lebih sejuk.

### ❖ Pergerakan Angin dalam Ruang

Pergerakan angin dalam ruang yang dimaksud merupakan pergerakan angin yang terjadi secara alamiah karena terdapat bukaan – bukaan. Pola – pola pergerakan udara dalam ruang dapat dilihat pada (gambar 5).

## 2.2 METODE PEMBAHASAN

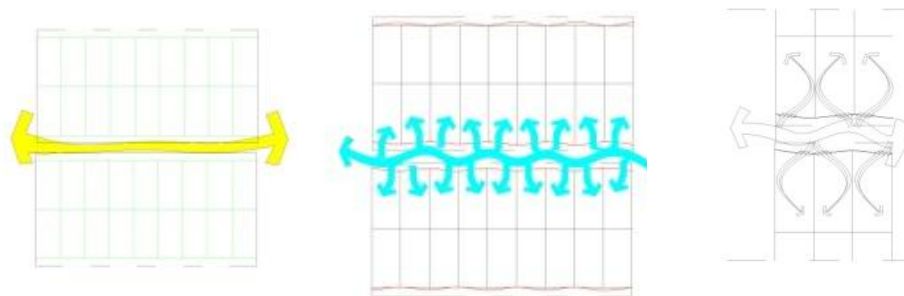
Metodologi pembahasan yang digunakan dalam makalah ini untuk memperbaiki ventilasi alamiah di pemukiman padat penduduk (*row houses*).



### 2.3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan diperbaikinya sistem ventilasi alami dalam pemukiman padat penduduk maka kesehatan dan produktivitas masyarakatnya dapat meningkat (skema 1). Bukan hanya hal itu, dengan dilakukan perbaikan sistem ventilasi alami juga dapat menghemat penggunaan energi yang cukup besar yang biasa digunakan untuk ventilasi buatan.

Perbaikan ventilasi alami pada pemukiman padat dilakukan dengan menerapkan prinsip desain yang aerodinamis dan dengan memaksimalkan *passive conditioning* pada bangunan. kedua hal ini merupakan hal paling dasar yang dapat dilakukan dalam memperbaiki ventilasi alami pada kondisi lingkungan pemukiman padat penduduk.

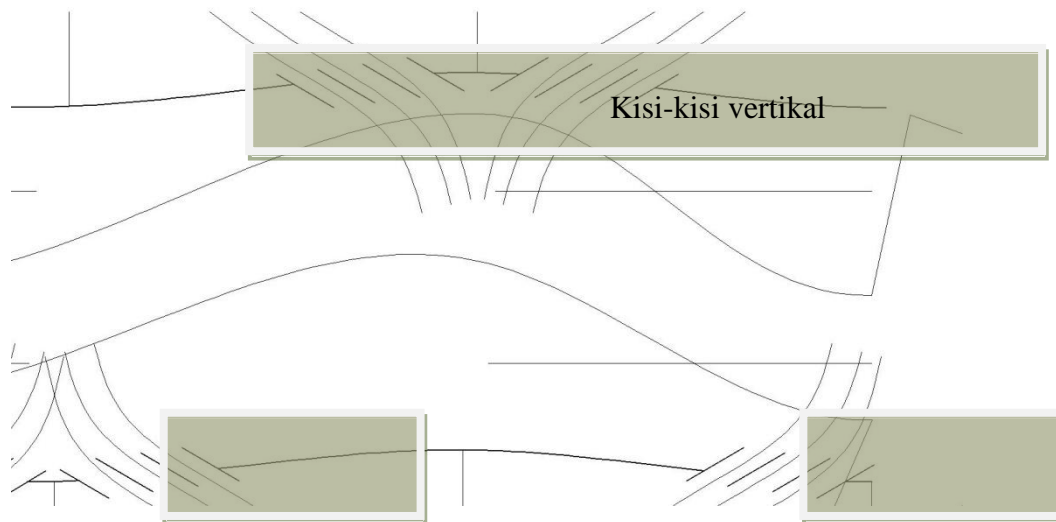


(1) Lorong angin di jalan. (2) aliran angin sesudah dibuat (3) detail fasade gelombang

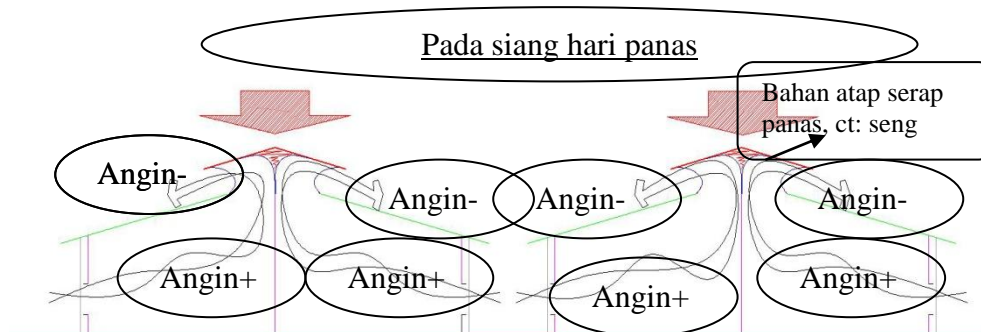
Perbaikan ventilasi alami pada lingkungan padat penduduk:



- Fasade dibuat bergelombang. Aliran angin menjadi masuk ke dalam bangunan menjadi optimal karena terdapat permainan fasade tersebut. Hal ini terkait dengan prinsip aerodinamis.
- Menggunakan kisi-kisi yang disusun secara vertikal untuk mengarahkan angin ke dalam bangunan.

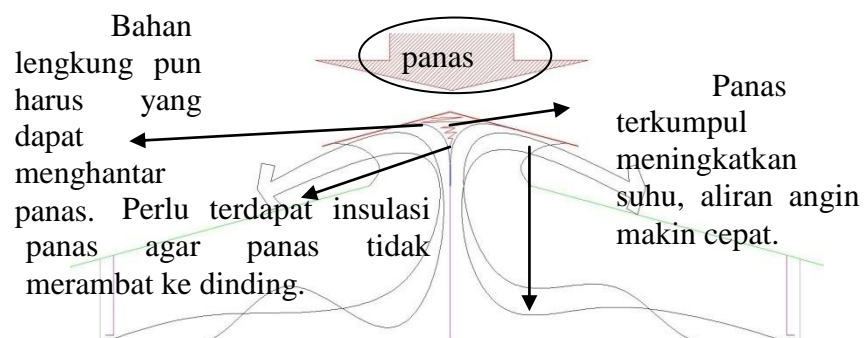


- Sistem passive cooling, dengan wind tower. Udara dibuang melalui wind tower yang berada dipuncak atap dengan menggunakan sifat angin yaitu bahwa angin bergerak dari suhu rendah ke suhu tinggi.
- Puncak atap wind tower harus menggunakan bahan yang menyerap panas,



sehingga aliran angin bergerak lebih cepat.

- Bentuk wind tower harus dibuat cekung untuk membantu mempercepat



aliran angin yang terjadi.

### 3. PERHITUNGAN TINGGI BUKAAN

Perhitungan untuk tinggi bukaan merupakan hal penting agar dapat menciptakan ventilasi alami yang baik. Untuk pemukiman padat perhitungan yang digunakan adalah:

*Single Sided Ventilation*

$$W_{max} = c \cdot 2,5 \cdot H \dots\dots\dots(1)$$

$$8 = c \cdot 2,5 \cdot 4$$

$$c = 10/8$$

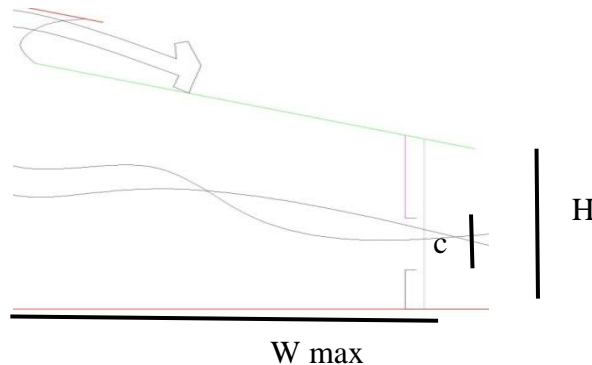
$$c = 1,25 \text{ meter}$$

Keterangan:

$W_{max}$  = floor Area

C = tinggi maksimal bukaan

H = tinggi ruangan



### 4. KESIMPULAN

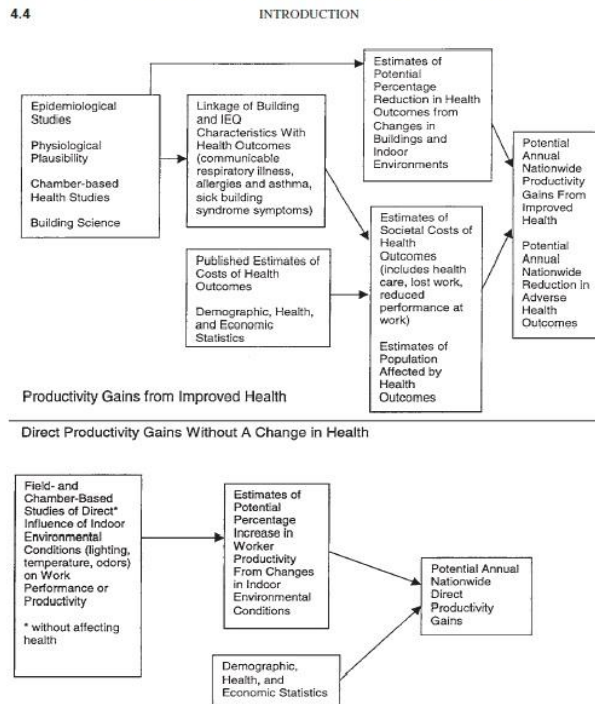
Dari pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa perbaikan ventilasi alami dapat diterapkan pada pemukiman padat penduduk berupa row houses yaitu dengan optimalisasi *passive conditioning* dan prinsip aerodinamika pada bangunan, seperti dengan membuat wind tower dan fasade yang bergelombang. Hal-hal yang lain yang juga perlu diperhatikan adalah mengenai pemilihan bahan dan perhitungan bukaan agar ventilasi alami bisa berlangsung maksimal.

Dengan perbaikan ventilasi alami ini maka masyarakat dapat hidup lebih sehat dan sejahtera dengan lingkungannya, hal ini merupakan wujud nyata dari ekarsitektur.

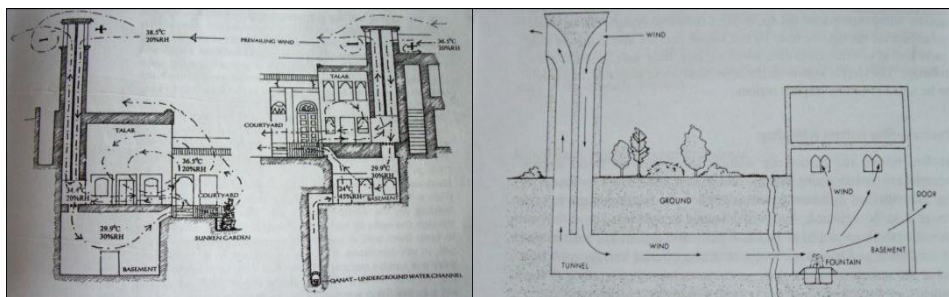
### 5. GAMBAR DAN TABEL

Skema 1: Flowchart yang memperhitungkan bahwa kesehatan dan produktivitas maksimal didapatkan dari meningkatkan *Indoor Environment Quality*.

ESTIMATES OF POTENTIAL NATIONWIDE PRODUCTIVITY AND HEALTH BENEFITS FROM BETTER INDOOR ENVIRONMENTS: AN UPDATE



**Gambar 1** (kiri): Perilaku manusia di cuaca yang panas dalam suatu ruang.  
**Gambar 2** (kanan): Mekanisme pelepasan panas pada manusia.



**Gambar 3**(kiri):Potongan melintang bangunan dengan *wind catchers* dan *basement cooling*(passive conditioning).

**Gambar 4**(kanan): *Natural cooling of buildings in Iran. From: Passive Cooling systems in Iranian Architecture.*

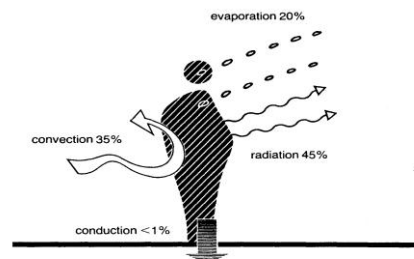
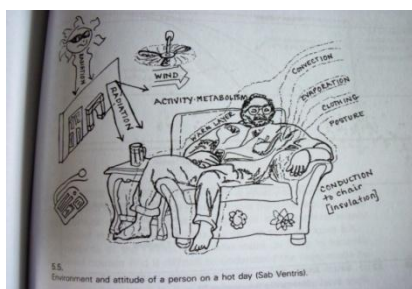
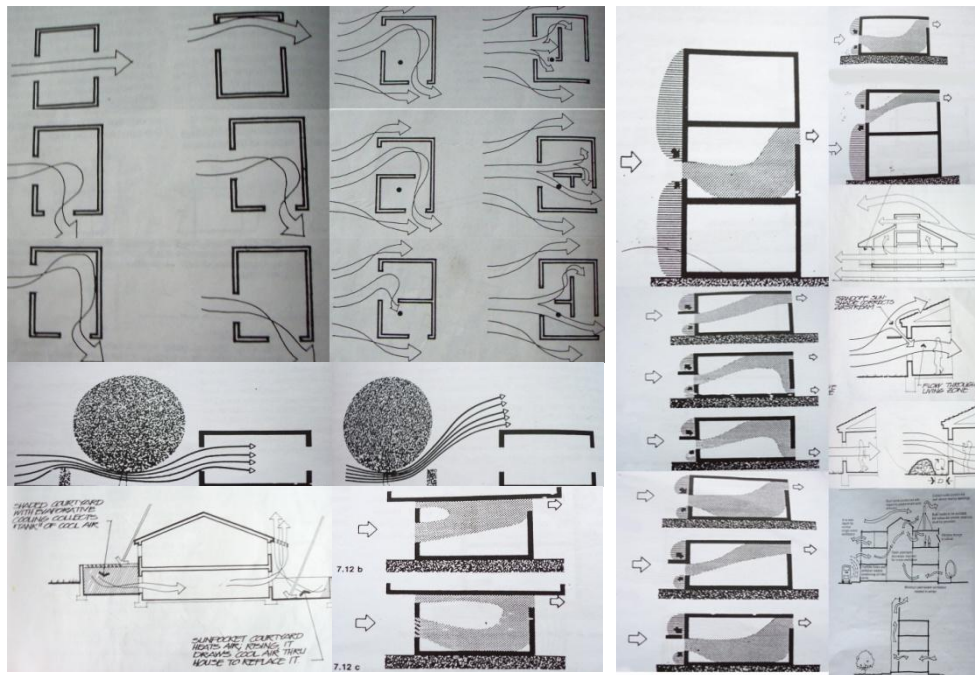
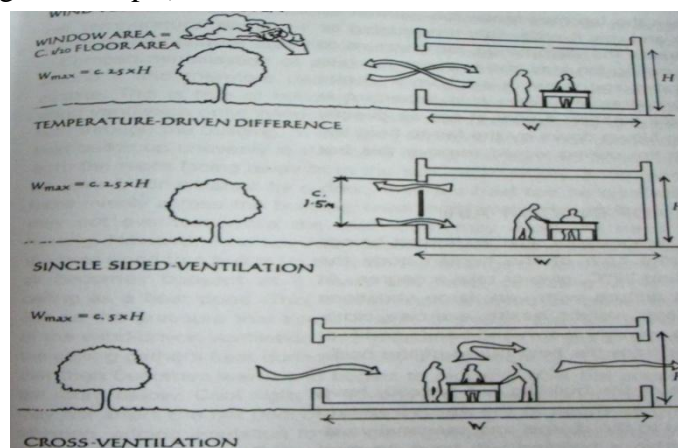


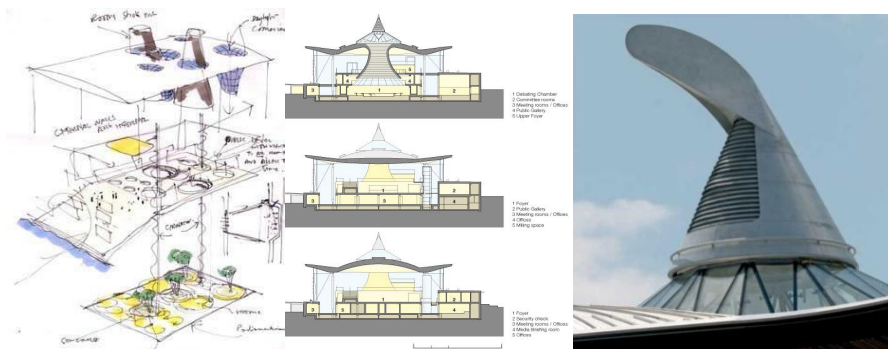
fig 2/18 Mechanisms of heat loss from the body



**Gambar 5:** Pola-pola pergerakan udara yang tercipta dalam ruangan (dari buku *climatic design & bangunan Tropis*)



**Gambar 6:** Cara untuk memperhitungkan besar bukaan jendela (dari *climatic building design*).



**Gambar 7:** *New Assembly of Wales, Richard Rogers architec.* Bangunan dengan prinsip aerodinamis dalam perancangannya.

## 6. REFERENSI

- (1978). *Aerodynamics*. Allyn&Bacon: London.
- “Aerodinamisasi Pada Lingkungan Binaan”.  
<http://www.kamusilmiah.com/tag/aerodinamisasi>. (diakses tanggal 21 Oktober 2011).
- “Aerodynamics”. <http://www.enotes.com/earth-science/aerodynamics>. (diakses tanggal 21 Oktober 2011)
- Baker, NV. (1987). *Passive and Low Energy Building Design for Tropical Island Climates*. University of Cambridge: London.
- Lippsmeier, Georg. (1994). *Bangunan Tropis*. Erlangga: Jakarta.
- Pluschke, P. (2001). *Indoor Air Pollution the Handbook of Environmental Chemistry*. Springer: Austria.
- Roaf, Sue, dkk. (2003). *Ecohouse 2 a Design Guide*. Architectural Press: United Kingdom.
- Saturko, Prasasto. (2009). *Fisika Bangunan*. Andi: Yogyakarta.
- Spengler, John D, dkk. (2004). *Indoor Air Quality Handbook*. Digital Engineering Library @ McGraw-Hill.
- Watson, Donald dan kenneth labs. (1992). *Climatic Building Design- Energy Efficient Building Principles and Practice*. McGraw Hill Book Company: New York.



## KEEFEKTIFAN STYROFOAM SEBAGAI MATERIAL KULIT BANGUNAN MENGINSULASI PANAS

**Cindy Tania Andersen**

Mahasiswa Program Sarjana Universitas Tarumanagara, Jl. Jend. S. Parman No. 1,  
Grogol – Jakarta Barat 11440  
Phone: +62 818 0737 9725  
Email: cindy\_dyta09@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Dewasa ini, dikarenakan pemanasan global, konsep bangunan *green building* menjadi *issue* yang sering diusung dalam bidang arsitektural. Salah satu cara menerapkan konsep *green* dalam bangunan adalah dengan menggunakan kembali (*reuse*) material bekas/sampah sebagai material bangunan. Dengan begitu akan mengurangi energi untuk memproduksi material bangunan juga akan mengurangi materi tidak terpakai.

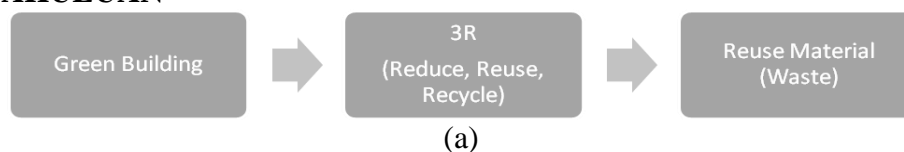
Selain penyebab pemanasan global, sampah juga menjadi salah satu masalah di perkotaan, dimana penduduknya dengan *lifestyle* sedemikian rupa memiliki tingkat konsumtif yang tinggi sehingga sampah yang dihasilkan juga tidak sedikit.

Sampah/material juga terdiri atas bermacam jenis salah satunya adalah sampah anorganik yang sulit terurai, antara lain *styrofoam*. Untuk menguraikannya diperlukan waktu yang cukup lama (>1 juta tahun). Dengan waktu yang begitu lama untuk terurai, ditambah lagi sampah baru maka kumpulan sampah itu akan tidak terkontrol. Untuk itu harus ada solusi bagaimana cara mengurangi sampah tersebut, salah satunya dengan digunakan kembali, yakni sebagai material bangunan.

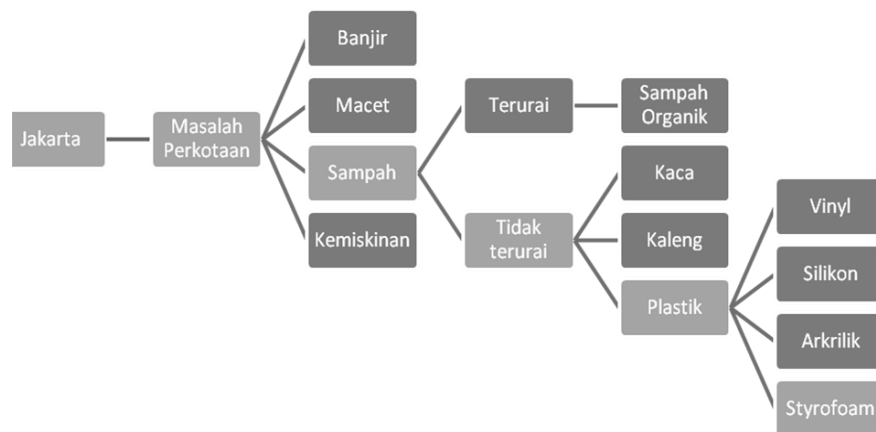
Melalui studi ini akan diuraikan bagaimana *styrofoam* dapat digunakan sebagai material kulit bangunan dan apa saja yang kelebihan jika menggunakan material tersebut. Salah satunya *styrofoam* merupakan insulator termal yang cukup baik sehingga jika diaplikasikan pada bangunan khususnya sebagai material kulit bangunan akan membuat suhu ruangan dalam bangunan tidak terlalu tinggi akibat radiasi panas matahari dan secara otomatis akan mengurangi pemakaian energi untuk pendingin ruangan.

**Keywords:** Energi, insulator, *styrofoam*, termal.

### 1. PENDAHULUAN







(b)

**Gambar 1.** Ide Makalah

*Issue* pemanasan global sedang marak dibicarakan sehingga sebagai seorang arsitek harus mendirikan bangunan dengan konsep *green*. Hal ini bisa dicapai dengan banyak cara, salah satunya dengan menggunakan kembali (*reuse*) material yang sudah tidak digunakan (sampah).

Kota-kota besar di dunia, salah satunya Jakarta banyak mengalami masalah perkotaan seperti banjir, kemacetan, kemiskinan, sampah, dan berbagai masalah lainnya. Dalam paper ini permasalahan akan difokuskan pada sampah terutama sampah *styrofoam*. Sampah itu sendiri merupakan salah satu masalah yang cukup memprihatinkan bagi perkotaan yang mayoritas penduduknya bersifat konsumtif.

Dari salah satu sumber ([www.mediaindonesia.com](http://www.mediaindonesia.com)) menyebutkan bahwa produksi sampah di Jakarta mencapai 6.000 ton/hari. Bagaimana jika sampah tersebut hanya tertimbun begitu saja tanpa ditanggulangi? Lama kelamaan kota Jakarta akan dipenuhi sampah, padahal timbunan sampah yang hanya sedikit akan menimbulkan bau juga menyumbat saluran air kota yang akhirnya menyebabkan banjir.

Karena itu sebagai arsitek yang peduli terhadap lingkungan harus memikirkan solusi untuk mengatasi masalah tersebut.

## 2. PERMASALAHAN

Dalam makalah ini permasalahan yang diangkat adalah seberapa efektifkah material *styrofoam* dapat menginsulasi panas, sehingga panas matahari yang mengenai bangunan dapat dihambat dengan baik. Dengan insulasi ini maka akan membuat ruang bagian dalam bangunan menjadi tidak terlalu panas dan akan mengurangi pemakaian pendingin ruangan. Dan apa sajakah kelebihan dan kekurangan material *styrofoam* sebagai bagian dari bangunan.

## 3. TUJUAN DAN MANFAAT

Penulisan makalah ini bertujuan untuk :

- Membuktikan material *styrofoam* dapat digunakan sebagai material bangunan
- Mengetahui seberapa besar kalor yang dapat dihambat *styrofoam*
- Mengetahui sejauh mana *styrofoam* sebagai insulator panas dapat menghemat energi

## 4. METODE PENULISAN

Adapun metode penulisan makalah ini antara lain :

- Mempelajari dan memahami material *styrofoam* itu sendiri serta kenyamanan termal (kajian pustaka)
- Analisa teoritis dari kajian pustaka
- Melakukan studi kasus melalui proyek yang sudah ada
- Melakukan percobaan yang bertujuan melakukan pembuktian
- Menarik kesimpulan sementara sebagai hasil analisis yang selanjutnya diinterpretasikan menjadi kesimpulan kajian

## 5. PEMBAHASAN

*Green building* mengacu kepada bangunan yang menggunakan struktur serta proses yang bertanggung jawab terhadap lingkungan dan sumber daya efisien dalam siklus hidup bangunan, dari penentuan tapak, desain, konstruksi, pengoperasian bangunan, perawatan, sampai pada saat dibongkar.

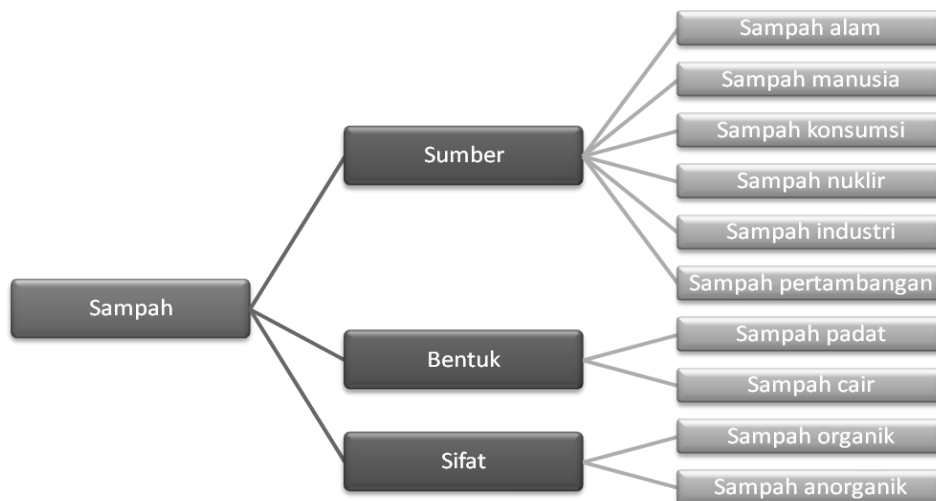
Untuk mencapai konsep *green building* dapat dilakukan :

- Penggunaan energi, air, listrik, dan sumber daya lainnya secara efisien
- Mengurangi sampah/limbah dan polusi

Mengurangi sampah/limbah bisa dari produksi sampah bangunan sendiri maupun mengurangi sampah lingkungan yaitu dengan cara menggunakan kembali (*reuse*) atau mendaur ulang (*recycle*) bahan-bahan yang sudah tidak dipergunakan lagi.

Penggunaan material bekas secara otomatis akan mengurangi energi yang dikonsumsi dalam proses produksi pembuatan material. Dengan kata lain, material bekas yang digunakan seakan-akan dibuat tanpa menggunakan energi, karena energi yang digunakan untuk pembuatan material sudah dihitung saat material tersebut pertama digunakan. Selain itu penggunaan material bekas juga akan mengurangi sampah yang tidak dapat terurai dalam waktu singkat.

Sampah merupakan material sisa yang tidak diinginkan lagi setelah berakhirnya suatu proses.



Gambar 2. Skema Klasifikasi Sampah

- Sampah organik – dapat diurai (*degradable*)

Sampah yang mudah busuk, seperti sisa makanan, dedunan kering, dan sebagainya. Sampah ini dapat diolah lagi menjadi pupuk kompos.

- Sampah anorganik – tidak terurai (*undegradable*)  
Sampah yang tidak mudah membusuk, seperti plastik, styrofoam, kertas, botol, kaleng, kayu, dan sebagainya. Beberapa jenis sampah anorganik dapat dijual kembali untuk didaur ulang.

Berikut beberapa daftar sampah dan lama waktu yang diperlukan untuk terurai

:

**Tabel 1.** Jenis Sampah dan Waktu Penguraiannya

Jenis Sampah	Waktu Terurai
Kulit pisang	3-4 minggu
Kertas	1 bulan
Karton	2 bulan
kapas	5 bulan
Woll	1 tahun
Rokok	2-5 tahun
Sepatu kulit	40-50 tahun
Kaleng baja	50 tahun
Karet	50-80 tahun
Aluminium	200-500 tahun
Popok sekali pakai	550 tahun
Kantong plastik	2-10 tahun
Tabung plastik	1 juta tahun
Styrofoam	>1 juta tahun

Konsep *green* ini terkait dengan biaya, utilitas, daya tahan, dan kenyamanan. Kenyamanan dalam bangunan itu sendiri terdiri dari 3 macam yakni kenyamanan termal, kenyamanan visual, dan kenyamanan audial. Dalam makalah ini hanya akan dibahas mengenai kenyamanan termal.

Kenyamanan termal adalah suatu kondisi termal yang dirasakan oleh manusia bukan oleh benda, binatang, dan arsitektur, tetapi dikondisikan oleh lingkungan dan benda-benda di sekitar arsitekturnya. Aspek kenyamanan termal untuk perencanaan lingkungan binaan mencakup eksterior bangunan, interior bangunan, serta selubung bangunan.

Arsitek dalam merancang suatu proyek harus memperhatikan kenyamanan ruang (secara termal) juga efektivitas penggunaan energi terutama energi pendingin ruangan. Untuk membuktikan hal tersebut dan melihat sejauh mana material styrofoam dapat menginsulasi panas maka studi ini dibuat.

Untuk mencapai kenyamanan termal dapat menggunakan beberapa cara antara lain dengan membuat ventilasi, menggunakan material bangunan yg tidak terlalu menyerap panas, memberikan insulasi termal, memberikan pembayangan. Metode tersebut dapat diterapkan ketika merancang bangunan baru, tetapi bagaimana dengan bangunan yang sudah jadi? Untuk bangunan yang sudah jadi kita dapat menerapkan metode dengan memberikan insulasi termal atau memberikan pendingin ruangan tetapi dengan memberikan pendingin ruangan akan memerlukan energi tambahan.

Insulasi termal tidak perlu merenovasi ulang seperti menambahkan ventilasi atau mengganti material bangunan.

Insulasi termal merupakan metode atau proses yang digunakan untuk mengurangi perpindahan panas. Bahan yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas itu disebut insulator. Aliran panas dapat dikurangi dengan menangani satu atau lebih dari tiga mekanisme perpindahan kalor (konduksi, konveksi, radiasi) dan tergantung pada sifat fisik bahan yang digunakan untuk melakukan insulasi. Sebagian gas, termasuk udara merupakan insulator yang baik. Begitu juga dengan *styrofoam* yang memiliki banyak rongga.

Dengan insulasi termal yang baik sebuah bangunan akan :

- Lebih efisien dalam penggunaan energi
- Menyediakan temperatur yang cenderung seragam di dalam ruangan
- Tidak seperti alat pemanas atau pendingin, insulasi cenderung permanen dan hampir tidak membutuhkan perawatan
- Beberapa jenis insulator termal juga menyerap kebisingan dan getaran

*Styrofoam* atau yang dikenal dengan *Expandable Polystyrene* (EPS) adalah suatu material yang terbuat ekspansi *polystyrene beads* (butir polistiren) yang dibuat dengan cara dicetak (*moulding*). *Styrofoam* dikenal juga dengan istilah *styropor*.

Istilah *expandable polystyrene* sering kali disamakan dengan *extruded polystyrene*. Kedua material ini sebenarnya berbeda. *Expandable polystyrene* terbuat dari *polystyrene beads* (butir) sedangkan *extruded polystyrene* terbuat dari *polystyrene foam* (busa). Dari pembuatannya juga berbeda, *expandable polystyrene* dibuat dengan proses molding, sedangkan *extruded polystyrene* dibuat dengan proses ekstrusi.

*Expandable polystyrene* diciptakan oleh *BASF* (sebuah pabrik kimia) pada tahun 1951 dan sekarang EPS diproduksi dari bahan mentah dengan biaya seefektif mungkin sebagai produk pembungkus (*packaging*) yang efisien.

*Styrofoam* dibedakan berdasarkan bentuknya antara lain *box* berrongga, *box* dengan pola, lembaran, balok, butiran.

Untuk mengolah bahan *styrofoam* dibutuhkan beberapa alat/bahan antara lain :

- *Cutter*  
Alat pemotong dan pembentuk *styrofoam* yang paling sederhana.
- Pemotong *styrofoam*  
Ada alat pemotong khusus *styrofoam*. Alat ini berupa sebuah mesin, terbagi menjadi 2 macam yakni pemotong sederhana berupa kawat yang dialiri panas jika dihubungkan pada daya (bisa baterai maupun listrik) dan pemotong dengan teknologi yang lebih canggih yakni pemotong dengan kontrol komputer.
- Lem  
Tidak semua jenis lem dapat digunakan bersamaan dengan *styrofoam*. Jika tidak sesuai maka *styrofoam* yang akan direkatkan dapat meleleh karena *styrofoam* tidak tahan pada beberapa zat kimia. Lem yang dapat digunakan untuk *styrofoam* antara lain adalah lem putih.
- Cat  
Untuk cat, *styrofoam* juga tidak dapat menggunakan sembarang jenis cat. *Styrofoam* hanya dapat menggunakan cat berbahan dasar air.
- Lapisan *fireproofing*  
*Styrofoam* sendiri akan meleleh jika terkena api, untuk itu diperlukan lapisan *fireproofing*.

Karakteristik *styrofoam* antara lain :



- Tahan benturan
- Menginsulasi panas
- Ringan
- Tahan air
- Kedap suara
- Sulit terurai
- Mudah dipotong
- Ekonomis
- Berwarna putih pada umumnya
- Larut dalam cairan kimia tertentu

Pada umumnya *styrofoam* (EPS) digunakan sebagai bahan kerajinan tangan, pelapis kemasan barang elektronik, bantalan helm, kemasan makan dan minuman (peralatan makan), kemasan (*box*) penyimpanan ikan, buah, dan sayuran. Setelah digunakan untuk keperluan tersebut biasa *styrofoam* dibuang begitu saja, padahal masih bisa digunakan dan *styrofoam* membutuhkan waktu lebih dari 1 juta tahun supaya bisa terurai sempurna. Untuk itu perlu sebuah solusi supaya sampah *styrofoam* tersebut tidak menumpuk dan lama kelamaan menimbulkan masalah tersendiri. Salah satu solusinya yaitu dengan digunakan kembali.

*Styrofoam* dapat digunakan kembali sebagai material bangunan. Pengaplikasiannya bisa menjadi berbagai elemen, misalnya lapisan pelapis dinding kedap suara, *fascade* bangunan, interior bangunan, dan berbagai elemen lainnya.

Sifatnya yang mudah dibentuk sangat membantu dalam proses pembangunan. Sifatnya yang ringan juga memudahkan pengangkutan material ke site pembangunan. Juga harganya yang ekonomis membuatnya mudah didapat.

Dengan karakteristiknya sebagai insulasi termal, *styrofoam* dapat digunakan sebagai kulit bangunan dimana ia akan menghambat hantaran panas matahari dari luar ke dalam ruangan. *Styrofoam* sebagai kulit bangunan yang menghambat panas dapat berupa dinding luar, penutup atap, atau hanya sekedar lapisan pada dinding luar bangunan, tentunya dengan dimensi masing-masing yang sesuai.

Sebagai studi kasus sebuah proyek di *Aso Farm Land Village, Kyushu, Jepang*, yang bernama *Styrofoam Dome House* merupakan unit-unit hunian *resort* moduler dengan diameter 7 m, tahan api, gempa, dan badai. Dinding luar unit-unit bangunan ini bermaterialkan *styrofoam* setebal 7 inch (175 mm). Didirikan dengan sistem moduler membuat pendirian/pemasangan lebih cepat. Dengan material *styrofoam* tersebut, unit hunian ini memiliki insulasi termal yang cukup baik hingga dapat menghemat energi sampai 90%, tidak membutuhkan pemanas di musim dingin atau pendingin ruang di musim panas secara berlebihan. Selain itu dengan material *styrofoam* juga memiliki kelebihan lain yaitu tidak berkarat, tidak busuk, tidak menarik rayap, juga tahan gempa karena keringannya sehingga beban bangunan itu sendiri lebih kecil. Dari studi kasus ini terbukti bahwa *styrofoam* cocok digunakan sebagai material pada bangunan. Ada beberapa kelebihan dari *styrofoam* yang berguna.



**Gambar 3.** Styrofoam Dome House

Kemampuan styrofoam dalam menginsulasi panas dapat diuji coba dengan cara menyinari *styrofoam* berukuran 30x30 cm dengan lampu sorot atau menghadapkannya pada sumber panas sebagai pengganti panas matahari dengan jarak tertentu. Dan sisi yang berlawanan diukur suhunya. Suhu ini dibandingkan dengan mengukur suhu udara dekat sumber panas dengan jarak yang sama tanpa *styrofoam*. Dengan begitu akan didapatkan seberapa efektif *styrofoam* menghambat laju panas. Percobaan ini dilakukan beberapa kali dengan menggunakan *styrofoam* yang tebalnya berbeda-beda.

## 6. KESIMPULAN

*Styrofoam* sebagai material bangunan dapat dijadikan sebagai kulit bangunan yang dapat menginsulasi panas matahari sehingga suhu di dalam ruangan tidak terlalu tinggi dan otomatis akan mengurangi pemakaian energi untuk pendingin ruangan. Dengan integrasi dengan bahan lain seperti lapisan *fire proofing* tentunya akan menjadi lebih baik.

Selain itu *styrofoam* juga memiliki beberapa kelebihan lain untuk dijadikan material bangunan yaitu ringan, ekonomis, tahan rayap, kedap suara, tahan air, dan mudah dibentuk.

## 7. REFERENCES

- Dietz, Albert G. H. 1969. *Plastics for Architects and Builders*. Kingsport Press, Inc : Massachusetts.
- Federation, British Plastics. 1961. *Progress in Plastics*. Illiffe & Sons, Ltd. : California.
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Styrofoam>
- <http://fimo-dreams.hobbysite.info/styropor.html>
- <http://green.kompasiana.com/limbah/2010/05/15/sampah-menjadi-masalah-perkotaan/>
- <http://oranggenah92.blogspot.com/2011/02/berapa-lama-sampah-teruraimembusuk.html>
- <http://pinktentacle.com/2008/08/styrofoam-dome-homes/>
- [http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/15895/1/sti-jul2005-\(26\).pdf](http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/15895/1/sti-jul2005-(26).pdf)
- <http://truegreenenergygroup.com/>
- <http://www.dharmabaktipakindo.com/>
- <http://www.eps-machine.org>
- <http://www.impactlab.net/2008/08/10/japans-styrofoam-dome-homes/>
- [http://www.mediaindonesia.com/webtorial/klh/?ar\\_id=NzAwMg==](http://www.mediaindonesia.com/webtorial/klh/?ar_id=NzAwMg==)





- Karyono, Tri Harso. 2010. *Green Architecture : Pemahaman Arsitektur Hijau di Indonesia*. Rajawali Pers : Jakarta.
- Rathmann, Kurt. *Sustainable Architectural Module : Recycling and Reuse of Building Materials*. National Pollution Prevention Center for Higher Education : Idaho.
- Reddy, B. Sudhakara. 2009. *Energy Efficiency and Climate Change*. Sage Publications : Singapore.
- Vorobyev, V. A. 1965. *Building Materials*. Higher School Publishing House : Moscow.



## PANDANGAN HOLISTIK TENTANG BANGUNAN HEMAT ENERGI

**Franky Liauw**

Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara, Kampus 1. Jl. LetJen.  
S. Parman No. 1 Grogol, Jakarta Barat. Indonesia.

Phone & Fax: +62 021 5638352

Email: d.dan5656@yahoo.com

### ABSTRAK

Krisis energi terjadi karena kandungan minyak bumi akan habis dalam waktu tidak terlalu lama lagi. Energi alternatif belum dapat sepenuhnya menggantikan karena masih mahal. Penghematan penggunaan energi harus dijalankan. Budaya hemat sebenarnya tidak harus menunggu krisis terjadi.

Bangunan adalah pengkonsumsi energi terbesar, wajar jika menjadi prioritas penghematan. Penghematan energi yang terkait dengan bangunan harus memperhatikan semua aspek yang terkait.

Setiap bangunan mengalami beberapa tahapan yang berbeda tingkat kerumitan dan permasalahannya. Dimulai dari munculnya kebutuhan, disertai ide mengenai bentuk dan besaran bangunan yang diinginkan. Pemilik dana terbatas tanpa diberitahukan pun akan berusaha berhemat. Pemilik dana besar mungkin tidak peduli akan penghematan, namun siapapun tentu akan memilih hal yang lebih menguntungkan dirinya.

Pada tahap perancangan di samping harus menguasai cara menghasilkan rancangan bangunan yang hemat energi, perancang sendiri harus berbudaya hemat. Perancang juga perlu memberi pemahaman kepada pemilik mengenai pentingnya hemat energi, serta manfaatnya bagi dirinya sendiri.

Pada tahap pembangunan, kontraktor harus menentukan cara-cara yang meminimalkan buangan, juga tidak mencemari lingkungan yang akan menuntut biaya besar untuk pembersihannya. Penghematan bahan dan pencegahan bongkar pasang yang tidak perlu akan meningkatkan keuntungan bagi kontraktor, serta menghemat energi dan sumber daya lainnya.

Pada masa pengoperasian dan penggunaan, juga perawatan dan perbaikan, pengguna perlu memiliki budaya dan kebiasaan hemat energi dalam hidupnya sehari-hari, agar bangunan yang sudah dirancang hemat energi tidak sia-sia, serta memperlakukan bangunan mengikuti kaidah hemat energi.

Bangunan mungkin harus dihancurkan bila dianggap sudah tidak layak digunakan lagi. Bila perancang sudah menyiapkan, dan pembongkaran dilakukan dengan cara-cara yang sudah direncanakan, akan banyak elemen bangunan yang dapat digunakan kembali. Energi dan biaya pembongkaran pun akan dapat ditekan seminimal mungkin.

Semua pihak pada setiap tahap harus merasa sebagai bagian dari tim, dan menganggap pihak lain juga sebagai bagian dari tim yang akan mencapai ide penghematan energi, serta menyediakan dan menyiapkan langkah penghematan energi bagi pihak yang terlibat pada tahap berikutnya.

**Kata Kunci:** hemat energi, koordinasi, pihak, tahapan bangunan.

## 1. KETERBATASAN BUMI

Besar bola bumi terbatas, tidak tumbuh membesar. Semua kandungan di dalamnya juga terbatas, termasuk minyak bumi atau unsur lainnya, yang digunakan untuk menghasilkan energi. Pada tahun 1956, Dr. M. King Hubbert, ahli geologi dari University of Chicago, sudah menyatakan bahwa produksi minyak bumi akan segera mencapai puncaknya dan setelah itu akan terus menurun (Merz). Sayangnya, kelihatannya pernyataan Hubbert tidak ditanggapi dengan serius, sehingga kita semua sampai pada keadaan krisis seperti sekarang ini.

Cukup lama manusia menikmati penggunaan minyak bumi yang murah dan berlimpah dengan sikap yang boros. Perkembangan teknologi kemudian membuat manusia mengetahui bahwa kandungan minyak di dalam perut bumi ternyata terbatas, tapi sudah telanjur dikuras sehingga tidak lagi mampu memenuhi kebutuhan dan keinginan manusia untuk menggunakan minyak seperti yang selama ini dijalankan.

Sebenarnya banyak energi alternatif yang dapat dihasilkan dari berbagai sumber, misalnya tenaga matahari, angin, nuklir, panas bumi, gelombang laut, hidrogen, tumbuhan, dan sebagainya, namun saat ini semua alternatif tersebut masih jauh lebih mahal sehingga minyak bumi masih menjadi pilihan utama.

Krisis energi bukan hanya tentang akan habisnya sumber minyak bumi, tapi juga polusi yang dihasilkan dari pembakaran minyak bumi dalam proses produksi dan penggunaannya, yang menimbulkan masalah lebih besar, yaitu pemanasan global. Penghematan energi menjadi langkah yang harus kita lakukan bersama. Keterbatasan kemampuan daya dukung bumi harus diantisipasi agar tidak menjadi bumerang bagi kita semua.

## 2. ENERGI DAN BANGUNAN

Jumlah manusia bertambah terus, dengan demikian bangunan pun akan bertambah. Kebutuhan manusia akan bangunan tidak hanya untuk tinggal semata, kita semua butuh bangunan untuk bersekolah, bekerja, berekreasi, beribadah, dan lainnya, sehingga pertambahan manusia mendorong pertambahan bangunan yang lebih besar lagi. Maka penggunaan energi bertambah sangat besar pula.

Cadangan minyak bumi hampir habis, sementara kebutuhan akan energi meningkat terus sejalan dengan meningkatnya jumlah manusia dan bangunan. Ini kondisi yang memperparah masalah energi. Terus meningkatnya harga minyak bumi adalah bukti sederhana yang sangat jelas memperlihatkan semakin langkanya minyak bumi, sementara permintaan terus meningkat, sehingga berjalan hukum ekonomi yang logis.

Langkah sederhana yang paling logis adalah memperkecil pertumbuhan bangunan dan manusia, atau lebih baik lagi adalah jumlah manusia tidak bertambah lagi, bahkan bila mungkin yang paling baik adalah berkurang, agar keadaan bumi dapat diseimbangkan kembali.

Krisis bumi akibat semakin langkanya minyak bumi pada akhirnya akan menyerang kehidupan manusia sendiri (Merz). Manusia sudah telanjur tergantung pada energi minyak bumi untuk menggerakkan hampir semua kegiatannya. Sudah banyak contoh di berbagai kota ketika listrik mati, bukan hanya kegiatan terhenti lumpuh, tapi kerusakan sering timbul. Hal ini tentu saja mengancam kehidupan masyarakat.

Banyaknya fakta tak terbantahkan mengenai krisis bumi seharusnya sudah cukup menjadi alasan bagi semua manusia untuk turut serta mengambil langkah, minimal menghemat penggunaan energi. Bangunan adalah bidang yang paling banyak menyerap dan menggunakan energi dibanding aspek lain dalam kehidupan manusia.

Penghematan energi pada bangunan akan menyumbang banyak untuk mengatasi krisis energi.

### 3. TAHAPAN PADA BANGUNAN

Bangunan sering disamakan dengan makhluk hidup. Dimulai dari tahap ide untuk memenuhi suatu kebutuhan atau keinginan akan tempat untuk berkegiatan, yang kadang disertai perhitungan matang tentang kelayakan proyek tersebut. Ide tersebut kemudian dituangkan ke dalam perancangan yang menghasilkan gambar dan maket, yang menggambarkan bentuk bangunan sebagai perwujudan ide. Berdasarkan gambar rancangan, kemudian dilaksanakan proses pembangunan. Setelah jadi, bangunan dihuni, digunakan, dirawat, dan diperbaiki bila perlu. Setelah habis masa pakainya, atau setelah bangunan tersebut tidak lagi dapat memenuhi fungsinya, bangunan tersebut dibongkar.

Pada setiap tahapan bangunan, terlibat pihak-pihak yang berbeda, yang sangat mungkin tidak saling berhubungan atau terkait. Mungkin juga tidak ada komunikasi antara pihak pada tahap ide dengan pihak yang melakukan pembongkaran bangunan. Terkait dengan isu hemat energi yang perlu dijalankan, bangunan sebagai obyek bersama, perlu dijadikan sebagai pengikat bagi semua pihak pada semua tahapan untuk mau saling “berkoordinasi dan bekerja sama” untuk mewujudkan bangunan yang hemat energi.

Hemat energi harus menjadi ide sentral mulai dari tahap ide hingga tahap pembongkaran bangunan. Semua pihak pada setiap tahapan harus menjadi satu tim dengan tujuan yang sama, walaupun secara fisik mereka mungkin tidak pernah bertemu atau berkoordinasi. Jangan sampai terjadi hemat energi pada satu tahap tapi pemborosan energi pada tahap berikutnya.

Keberhasilan suatu bangunan dari sisi penghematan energi harus menjadi sasaran dari setiap tahapan, agar pada keseluruhan tahap bangunan secara utuh terjadi penghematan energi. Hemat energi menjadi sasaran bersama semua pihak pada semua tahap. Setiap pihak pada setiap tahap perlu melakukan langkah penghematan energi sambil menyiapkan kemungkinan penghematan energi pada tahap berikutnya yang dilakukan oleh pihak lainnya. Setiap tahapan bangunan perlu dilihat sebagai bagian dari rangkaian estafet, yang keberhasilannya membutuhkan kekompakan tim. Penyerahan tongkat harus berjalan mulus agar pihak berikutnya dapat melanjutkan langkah penghematan energi dengan maksimal.

### 4. TAHAP IDE

Bangunan sangat beragam. Ada bangunan yang sangat sederhana, ada pula bangunan yang mewah seperti istana. Namun hemat energi dapat diterapkan pada semuanya. Saat ini hemat energi sudah menjadi kepentingan kita semua, karena dapat berdampak pada semua aspek kehidupan manusia. Di samping itu, hemat energi juga akan menguntungkan bagi pemilik bangunan dan penghuni, karena hemat energi dapat dilakukan tanpa harus mengurangi kenyamanan. Pemilik bangunan tentu tidak ingin mengeluarkan biaya yang tidak perlu, biaya yang tidak memberikan nilai tambah.

Semua pihak yang terlibat dalam tahap ide sebaiknya menggunakan tolok ukur yang sama, yaitu bagaimana memenuhi kebutuhan dan keinginan pemilik dan pengguna bangunan secara maksimal, dengan biaya minimal, salah satunya melalui cara penghematan energi. Efisiensi menjadi kata kunci dalam merumuskan ide tentang perwujudan kebutuhan akan suatu bangunan.

Jenis dan karakter kebutuhan pemilik bangunan perlu dijabarkan dengan jelas, agar perumusan ide menjadi tepat, tidak kurang yang berakibat tidak terpenuhinya kebutuhan, atau tidak lebih yang dapat berakibat pada pemborosan yang akan merugikan pemilik bangunan. Tahap paling awal ini sangat penting dalam menentukan arah penghematan energi pada tahap-tahap selanjutnya.

## 5. PERENCANAAN DAN PERANCANGAN

Perencanaan dan perancangan merupakan tahap yang sangat mempengaruhi tahap-tahap selanjutnya. Apa yang diputuskan pada tahap ini akan menentukan bagaimana tahap selanjutnya harus dijalankan. Misalnya bila pada tahap perancangan ditentukan suatu bentuk yang rumit, maka pada tahap pelaksanaan besar kemungkinan akan menghadapi kesulitan dalam mewujudkannya, begitu pula pada tahap perawatan bangunan.

Selain sistem perancangan yang berkelanjutan secara prinsip, perancangan juga perlu memperhatikan detail-detail perancangan. Penentuan ukuran ruangan yang tidak sesuai dengan modul bahan dapat mengakibatkan banyaknya limbah buangan potongan material yang tidak terpakai. Perancangan yang terlalu mengutamakan bentuk yang eksperimental dapat mengakibatkan pelaksanaan pembangunan yang sangat sulit, bahkan tidak mungkin dilaksanakan.

Bentuk ruang yang kurang memperhatikan cara-cara yang umum dipakai dalam perawatan dapat menimbulkan banyak masalah dan membuang energi. Pada masa penghancuran bangunan, sangat mungkin timbul banyak kesulitan bila pada tahap perancangan tidak dipikirkan. Misalnya sulit dibongkar, atau banyak bahan sisa bongkaran yang tidak dapat dipakai lagi.

Penentuan bahan bangunan yang sesuai dengan iklim setempat dapat menyumbang banyak dalam penghematan biaya perawatan, misalnya bahan yang tahan terhadap kelembaban tinggi yang menjadi ciri daerah tropis. Pengaturan orientasi dan bentuk bangunan yang sesuai dengan posisi matahari, dalam arti memanfaatkan terang sambil menghindari panas, akan memberikan kenyamanan sambil menghemat energi untuk mesin pendingin ruangan.

Perancang harus memikirkan kemudahan penggunaan bagi pemakai, sehingga tidak terjadi salah cara penggunaan yang dapat berakibat pada penghamburan energi. Perancang juga harus memikirkan pihak yang melakukan perawatan dan perbaikan, yang selain membutuhkan kemudahan, juga tidak mengganggu operasional ruangan dan bangunan. Perancang juga dapat membuat keputusan perancangan yang akan membantu kemudahan dan kecepatan pembongkaran, tanpa banyak merusak komponen bangunan, sehingga dapat dipergunakan kembali.

Proses perancangan juga perlu dibuat efisien. Pemilik bangunan sebaiknya tidak bolak balik minta hasil rancangan yang sudah jadi diubah atau dikoreksi. Sejak awal sebaiknya perancang sudah merumuskan kebutuhan pemilik secara jelas, dan menjadi kesepakatan yang tidak berubah lagi. Sering terjadinya perubahan pada tahap perancangan sebagai akibat dari ketidakjelasan rumusan kebutuhan akan berakibat pada pemborosan waktu dan biaya, bagi perancang maupun calon pemilik bangunan.

## 6. PEMBANGUNAN

Tahap ini melanjutkan hasil tahap perancangan yang berupa gambar menjadi wujud bangunan nyata. Bila hasil tahap perancangan sudah jelas, maka tahap

pembangunan akan mudah dijalankan, bila tidak, maka perlu penafsiran yang mungkin akan menyulitkan pelaksana pada tahap ini.

Pada tahap pembangunan, banyak material bangunan didatangkan dari luar lahan, atau sebaliknya, mungkin juga dari atau ke tempat yang sangat jauh. Semakin jauh transportasi tentu saja akan lebih banyak menghabiskan energi, juga akan menghasilkan polusi lebih banyak. Ceceran tanah di sepanjang jalan sering diakibatkan oleh cara pengangkutan yang kurang memperhitungkan dampak terhadap lingkungan. Ceceran tanah dapat merusak jalan, pembersihannya membutuhkan biaya, debunya mencemari dan menimbulkan penyakit. Semua ini membutuhkan biaya lingkungan yang biasanya ditanggung oleh masyarakat terkena dampak, yang seharusnya menjadi tanggung jawab pemilik jasa angkutan atau pemilik proyek. Ceceran bahan sepanjang perjalanan sebenarnya juga merupakan kerugian bagi pemilik proyek, karena sekian persen bahan yang sudah dibayar terbuang percuma.

Saat pemasangan komponen di dalam lahan, mungkin banyak bahan buangan yang tersia-siakan, bila dilakukan dengan cara yang salah atau tidak efisien. Kesesuaian keahlian dan keterampilan tukang dengan jenis pekerjaan yang ditangani dapat menghindari banyaknya kesalahan pengerjaan yang dapat berujung pada pembongkaran dan pengerjaan ulang.

Pemotongan bahan akibat modul perancangan yang tidak tepat akan menghasilkan lebih banyak bahan buangan tidak terpakai. Selain keahlian, ketepatan alat yang digunakan juga sangat menentukan dalam memperkecil tingkat kegagalan pemotongan bahan, yang berarti penghematan bahan serta waktu pengerjaan.

Penyimpanan yang tidak rapi mungkin akan membuat bahan bangunan terbuang sia-sia, bahkan mengotori lingkungan. Paparan terhadap cuaca yang dapat merusak bahan sebelum terpasang juga perlu dihindari, karena akan menurunkan mutu bahan tersebut.

Pada tahap pembangunan, banyak terlibat berbagai pihak atau subkontraktor. Penjadwalan urutan pekerjaan serta pengontrolan dan pengendalian semua pihak ini akan menentukan kelancaran pengerjaan berbagai bagian bangunan yang saling terkait. Perlu dihindari terjadinya penundaan suatu pengerjaan karena ketergantungan pada pengerjaan lain yang belum selesai, atau waktu yang terbuang sia-sia karena subkontraktor berikutnya belum siap, atau karena penjadwalan urutan yang kurang ketat.

## 7. PENGGUNAAN BANGUNAN

Pihak pengguna harus memahami apa yang menjadi konsep perancang, agar penggunaan bangunan sesuai dengan apa yang direncanakan pada tahap perancangan. Salah cara penggunaan akan berakibat tidak tercapainya sasaran perancangan, dalam hal ini adalah hemat energi. Ketidaktepatan pemakaian bangunan dapat pula mengurangi kenyamanan, misalnya jendela yang dimaksudkan untuk dibuka agar udara segar masuk selalu dalam keadaan tertutup, sehingga udara dalam ruangan menjadi panas dan selalu harus digunakan AC.

Penggunaan lampu hemat energi sebagai bagian dari konsep perancang akan percuma bila pengguna tidak mau menggunakan dengan cara yang benar, misalnya pengguna menyalakan terus lampu tersebut walaupun dalam ruangan sudah tidak ada penghuninya. Hemat energi juga tidak akan terjadi bila pengguna selalu menyalakan lampu pada siang hari, sementara perancang sebenarnya sudah memperhitungkan cahaya alami yang mencukupi masuk melalui jendela. Prinsipnya, semua bagian



bangunan yang sudah dirancang dengan kaidah hemat energi, harus digunakan cara yang tepat agar sasaran tersebut tercapai.

Untuk memahami konsep perancang, pemilik bangunan mungkin perlu diberikan semacam buku petunjuk tentang bagaimana menggunakan bangunan dengan cara yang benar dan hemat energi. Pemilik dan pengguna bangunan perlu menyadari bahwa sikap dan kebiasaan hemat energi akan mengurangi rekening listrik yang harus dibayar olehnya.

## **8. PERAWATAN DAN PERBAIKAN**

Bangunan perlu dirawat, dan diperbaiki bila ada bagian yang rusak, agar dapat terus berfungsi dengan maksimal. Bagian-bagian bangunan sangat beragam dan menggunakan bahan serta peralatan dan perabotan yang berbeda, yang masing-masing menuntut cara dan bahan perawatan yang berbeda. Salah menggunakan cara atau bahan pembersih dapat merusak bahan bangunan.

Pihak yang melakukan perawatan dan perbaikan harus tahu, diberitahu, atau mempelajari cara yang benar dalam merawat bangunan, serta menggunakan bahan perawatan yang tepat.

Setiap bahan bangunan memiliki usia pakai dan perawatan yang berbeda. Penggunaan bahan yang berbeda usia pakainya di dalam satu ruangan dapat berakibat mengganggu operasional ruangan tersebut, karena akan lebih sering harus dirawat atau diperbaiki. Proses dan jadwal perawatan perlu diatur agar tidak berbenturan dengan jadwal operasional ruangan atau bangunan. Bila terpaksa, sebaiknya dibuatkan pentahapan kerja perawatan atau perbaikan, agar operasional tidak terlalu terganggu. Bila diperlukan, bagian yang dibongkar diisolasi agar debu dan bising serta getaran tidak mengganggu bagian lainnya.

Proses perawatan sering menggunakan bahan pembersih kimia. Pilihan bahan pembersih perlu diperhatikan agar tidak mencemari lingkungan, begitu juga buangan bahan bangunan seperti pengupasan dinding untuk dicat ulang, atau bahan lainnya.

Penggunaan cairan pembersih yang tidak tepat dapat merusak bahan lantai keramik, misalnya. Untuk ini pengguna bangunan juga perlu mengetahui, atau perancang perlu memberitahu, atau memberikan panduan tentang cara-cara perawatan seluruh bagian bangunan.

Tindakan pencegahan berupa perawatan secara berkala dan teratur akan mencegah bagian-bagian bangunan cepat rusak. Bangunan akan berumur lebih panjang sehingga lebih berdaya guna. Hal ini lebih menghemat sumber daya dibanding membiarkan bagian bangunan menjadi rusak sehingga harus dibongkar dan diganti dengan material baru.

## **9. PENGHANCURAN**

Setelah habis masa pakainya, bangunan harus dihancurkan, agar dapat digantikan dengan fungsi lain yang lebih berguna. Tingkat kerumitan penghancuran bangunan sejalan dengan tingkat kesederhanaan atau kerumitan bangunan, juga dari ukuran bangunan dan rendah atau tingginya bangunan. Bahan bangunan yang digunakan juga sangat menentukan tingkat kesulitan penghancuran suatu bangunan.

Isu hemat energi banyak mendorong pemikiran tentang penggunaan kembali bahan dari bangunan yang dibongkar. Idenya, bangunan tidak lagi dihancurkan, tapi dipreteli agar sebanyak mungkin bahan dan bagian bangunan dapat digunakan kembali.

Dibandingkan dengan penghancuran suatu bangunan dengan bahan peledak, tentu saja pembongkaran bangunan dengan cara dipreteli butuh waktu lebih banyak. Ini

berarti biaya pembongkaran mungkin juga cukup besar, terutama karena pembongkaran tidak boleh merusak bagian bangunan yang akan digunakan kembali.

Dari sisi penghematan, sumber daya maupun dari sisi ekonomi, perlu dibandingkan antara biaya yang dikeluarkan untuk menghancurkan bangunan dengan menggunakan bahan peledak, dengan cara mempreteli. Perbandingan ini perlu mencakup semua aspek yang dapat diukur, misalnya kecepatan pembongkaran, biaya bahan dan alat, serta tukang, pengangkutan, bahkan biaya lingkungan yang timbul akibat proses pembongkaran terhadap lingkungan dan masyarakat sekitar bangunan.

Proses pembongkaran biasanya banyak menimbulkan polusi debu, bising, becek, getaran, yang sering mengganggu lingkungan sekitar. Walaupun tidak dituntut, sewajarnya pemilik dan pihak yang melaksanakan pembongkaran meminimalkan dampak negatifnya.

## 10. PENUTUP

Penghematan energi pada bangunan tidak hanya perlu dilakukan pada saat bangunan sudah jadi dan berada pada tahap penggunaan, tapi juga harus dilakukan pada setiap tahapan suatu bangunan, baik di awal maupun di tahap akhir pembongkaran.

Tahap-tahap awal pada tahapan bangunan mempengaruhi tahap selanjutnya. Apa yang diputuskan pada tahap perancangan akan mempengaruhi tahap pembangunan dan tahap penggunaan dan perawatan. Pada tahap perancangan, arsitek membutuhkan pengetahuan atau masukan dari pelaku tahap selanjutnya. Arsitek perlu mengetahui mengenai bagaimana rancangannya tersebut akan dibangun dan digunakan. Untuk ini keterlibatan pihak yang melaksanakan pembangunan dan penggunaan pada tahap perancangan akan sangat membantu perancangan yang sejalan dengan tahap pembangunan dan penggunaan. Salah menentukan langkah pada suatu tahap di awal akan menyebabkan masalah dan pemborosan pada tahap-tahap selanjutnya.

Walaupun kelihatannya setiap tahapan berdiri sendiri-sendiri secara terpisah, sebenarnya semua tahapan ini merupakan rangkaian yang saling terhubung. Pemborosan energi pada suatu tahap akan mempengaruhi tahap berikutnya. Tujuan penghematan energi pada suatu bangunan tidak lagi menjadi utuh dan sulit mencapainya secara maksimal.

Untuk mencapai penghematan energi pada semua tahapan bangunan, pihak-pihak yang terlibat di masing-masing tahap, perlu menganggap dirinya sebagai bagian dari tim dengan tujuan yang sama. Masing-masing pihak harus bersikap hemat, serta menyiapkan kondisi yang memungkinkan bagi pihak pada tahap selanjutnya untuk melakukan langkah-langkah penghematan pula.

## 11. REFERENCES

- Baker, N.V. (1987). *Passive and Low Energy Building Design for Tropical Island Climates*. The Commonwealth Secretariat: London.
- Cleland, David I., and Lewis R. Ireland, (2002). *Project Management. Strategic Design and Implementation*, 4th ed. McGraw-Hill: New York.
- Ehrenfeld, J. R. (2008). *Sustainability by Design: A Subversive Strategy for Transforming Our Consumer Culture*. Yale University Press: London.
- Eicker, Ursula. (2009). *Low Energy Cooling for Sustainable Buildings*. John Wiley & Sons Ltd: Chichester.
- Gallo, C., M. Sala, and A.A.M. Sayigh, eds. (1998). *Architecture: Comfort and Energy*. Elsevier: Amsterdam.

- Gevorkian, Peter. (2006). *Sustainable Energy Systems in Architectural Design. A Blueprint for Green Building*. McGraw Hill: New York.
- Goodman, D. J. & Mirelle Cohen. (2004). *Consumer Culture. A Reference Handbook*. ABC-Clio: California.
- Halliday, Sandy. (2008). *Sustainable Construction*. Elsevier: Amsterdam.
- Howlett, Robert J., Lakhmi C. Jain and Shaun H. Lee, eds. (2011). *Sustainability in Energy and Buildings*. Springer: Springer.
- International Energy Agency. (2011). *Technology Roadmap. Energy-efficient Buildings: Heating and Cooling Equipment*. OECD/IEA: Paris.
- Jayamaha, Lal. (2007). *Energy Efficient Building Systems. Green Strategies for Operation and Maintenance*. McGraw Hill: New York.
- Knaack, U., and Tillman Klein, eds. (2009). *The Future Envelope 2*. IOS Press BV: Amsterdam.
- Kornberger, M. (2010). *Brand Society. How Brands Transform Management and Lifestyle*. Cambridge University Press: Cambridge.
- Lange, H. & Lars Meier, ed. (2009). *The New Middle Classes. Globalizing Lifestyles, Consumerism and Environmental Concern*. Springer: New York.
- Leonard, L., and John Barr, ed. (2009). *The Transition to Sustainable Living and Practice*. Emerald Group Publishing Limited: Bingley.
- Luckett, Kelly. (2009). *Green Roof Construction and Maintenance*. McGraw Hill: New York.
- Maczulak, A. (2010). *Sustainability. Building Eco-Friendly Communities*. Facts On File, Inc: New York.
- Mann, M. (2007). *It's Easy Being Green*. Summersdale Publishers Ltd: Chichester.
- Merz, K. M., Sr. (2008). *Living within Limits. A Scientific Search for Truth*. Algora Publishing: New York.
- Michael, M. (1999). *Reconnecting Culture, Technology and Nature, From Society to Heterogeneity*. Routledge: London.
- Morton, Timothy. (2010). *The Ecological Thought*. Harvard University Press: Cambridge.
- Moskow, Keith. (2008). *Sustainable Facilities. Green Design, Construction, and Operations*. McGraw-Hill: New York.
- Reddy, B. Sudhakara, Gaudenz B. Assenza, Dora Assenza, and Franziska Hasselmann. (2009). *Energy Efficiency and Climate Change, Conserving Power for a Sustainable Future*. Sage: Los Angeles.
- Smith, Geoffrey B. And Claes G. Granqvist. (2011). *Green Nanotechnology. Solutions for Sustainability and Energy in the Built Environment*. CRC Press: New York.
- Smith, Peter F. (2004). *Eco Refurbishment. A Guide to Saving and Producing Energy in the Home*. Elsevier: Amsterdam.
- Smith, Peter F. (2006). *Sustainability at the Cutting Edge. The Outlook for Renewable Energy and Buildings*. Architectural Press: Oxford.
- Thompson, William and Kim Sorvig. (2008). *Sustainable Landscape Construction. A Guide to Green Building Outdoor*, 2nd ed. Island Press: Washington.
- Wagner, S. A. (1997). *Understanding Green Consumer Behaviour*. Routledge: London.
- Westland, Jason. (2006). *The Project Management Life Cycle*. Kogan Page: London.
- Woolley, Tom, Sam Kimmins, Paul Harrison and Rob Harrison. (2001). *Green Building Handbook*. FN Spon: London.



Yudelson, J. (2008). Marketing Green Building Services. Strategies for Success.  
Elsevier: Amsterdam.



## PEMANFAATAN WARNA UNTUK FASADE DINAMIS

**Lydia\***

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara,  
Jl. S.Parman No. 1, Jakarta

\*Korespondensi Pembicara. Phone: +6217 0139193  
Email: liddie\_30@hotmail.com

### ABSTRAK

Fasade merupakan elemen bangunan yang memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan kesan yang diberikan suatu bangunan. Kesan yang diberikan sangatlah beragam, baik kesan mengenai usia bangunan, gaya arsitektur yang dipakai, ukuran, dsb.

Fasade bangunan pada zaman sekarang telah mengalami perkembangan yang sangat pesat. Baik soal material yang digunakan, fungsi dari fasade itu sendiri pun mulai bergeser dan sangat beragam.

Tuntutan yang harus dipenuhi oleh fasade pun berkembang. Tidak hanya soal tuntutan fungsional namun juga dari segi estetis suatu bangunan. Seiring dengan berkembangnya tuntutan tersebut, mulai digunakan berbagai macam teknologi pada fasade bangunan. Fasade dinamis adalah salah satu jawaban dari tuntutan tersebut. Fasade dinamis ini seringkali diidentikkan dengan harga yang mahal dan juga teknologi yang canggih, dan konsumsi energi yang cukup besar sehingga seringkali fasade yang dinamis ini cenderung dinilai terbatas hanya untuk kalangan tertentu saja. Warna adalah salah satu elemen yang dapat divariasikan untuk dapat menciptakan suatu fasade yang dinamis. Dengan warna, kita dapat menciptakan persepsi-persepsi psikologis yang dapat menampilkan sifat dinamis pada fasade. Selain warna, masih terdapat juga pola dan pengaruh ilusi optik yang dapat dimanfaatkan untuk dapat menciptakan fasade yang dinamis. Pemanfaatan sifat-sifat sederhana ini, dapat menjadi alternatif untuk menciptakan fasade dinamis dengan harga terjangkau, menggunakan material yang sederhana, dan tanpa energi untuk mengoperasikannya.

**KataKunci:** *Material, Fasade, Dinamis, Warna, Hemat Energi*

### 1. FASADE

Kata fasade berasal dari bahasa Latin *facies*, yang berarti muka / wajah dari suatu bangunan. Pada awalnya, fasade identik dengan sisi yang disajikan untuk publik, sisi di mana terdapat pintu masuk ke suatu bangunan atau sisi yang berhadapan dengan muka jalan.

Definisi ini mulai ditinggalkan pada saat zaman pergerakan modern. Arsitektur pada zaman modernisme memungkinkan suatu bangunan yang berdiri sendiri dan membutuhkan pengolahan spesial pada tiap sisi bangunannya. Jadi, definisi fasade adalah sekeliling bangunannya, bukan lagi hanya bagian depannya saja.

Selain itu juga mulai timbul pemikiran mengenai hubungan antara konfigurasi ruang dalam (internal) dengan tampak bangunan secara keseluruhan dari luar (eksternal).

Desain bangunan kontemporer lebih mengarah pada kualitas permukaan dari segi kualitas konseptual dan tekstural juga efek yang ingin ditampilkan. Pada zaman sekarang, perlakuan pada fasade sangatlah beragam, bergantung pada pendekatan yang dilakukan. Selain itu, material yang digunakan pun juga sudah sangat berkembang. Misalnya teknologi material sudah mulai mengangkat isu tentang keberlanjutan energi, misalnya dengan material kaca yang disusun berlapis untuk menciptakan kenyamanan termal ruang yang berada di dalamnya.

Fasade bangunan memegang peran yang cukup penting pada suatu bangunan. Fungsinya antara lain:

- Melindungi bangunan tersebut dari panas dan hujan
- Sebagai batas antara ruang dalam dan ruang luar (kulit bangunan)
- Menciptakan kesan suatu bangunan
- Sebagai struktur
- Sebagai unsur estetis

## 2. PERKEMBANGAN FASADE SEKARANG

Seiring dengan arsitektur yang terus berkembang dari jaman ke jaman, fasade sebagai salah satu elemen dari bangunan pun turut berkembang. Berbagai macam pemikiran mulai diterapkan sehingga membawa dampak-dampak positif bagi perkembangan fasade. Salah satunya, antara lain adalah perlakuan pada fasade yang pada zaman sekarang sangatlah beragam, mulai dari warna-warna yang digunakan, material, hingga teknologi yang digunakan.

Berbagai macam warna digunakan untuk mengungkapkan ekspresi yang ingin diungkapkan suatu bangunan. Warna pun menjadi salah satu unsur penting yang menjadikan fasade sangatlah beragam. Dengan warna yang beragam, kesan yang ditimbulkan pun sangatlah beragam.

Material dan teknologi yang digunakan pun semakin canggih. Material yang digunakan tak hanya sekadar cat sebagai pelapis dinding bata, namun juga berkembang hingga penggunaan kaca dengan berbagai teknologi yang terintegrasi di dalamnya, seperti kaca yang dapat menahan radiasi panas matahari, kedap suara (dengan ruang vakum di antara 2 lapisan kaca), dll. Teknologi yang digunakan pun semakin beragam. Teknologi dapat dimanfaatkan untuk menimbulkan kesan tertentu pada suatu bangunan atau dapat pula dimanfaatkan untuk penghematan energi pada bangunan tersebut.

Dengan perkembangan-perkembangan tersebut, fasade pun berhadapan dengan tuntutan yang semakin tinggi pula. Pada zaman dulu, fasade hanyalah sekadar kulit bangunan, untuk melindungi ruang dalam bangunan dari panas maupun hujan. Namun sekarang, fasade tidak hanya dituntut untuk dapat berfungsi secara fungsional saja, melainkan juga untuk dapat memenuhi kebutuhan akan aspek estetis, pembentuk citra dari suatu bangunan, dan juga menjadi suatu variasi yang dapat membawa dampak bagi lingkungannya.

Berbagai macam warna, material, teknologi dan unsur-unsur lainnya pun dimanfaatkan untuk dapat menciptakan fasade yang dapat menjawab tuntutan-tuntutan dari perkembangan yang ada. Salah satu tuntutan yang dialami, misalnya fasade tidak lagi menjadi sesuatu yang bersifat statis, namun dapat pula bersifat dinamis. Fasade yang dinamis ini dapat diwujudkan dengan menggunakan teknologi



(mekanik) maupun dengan memanfaatkan teknologi sederhana, seperti warna maupun ilusi optik.

### 3. WARNA

Warna dapat didefinisikan secara obyektif atau fisik sebagai sifat cahaya yang dipancarkan, atau secara subyektif / psikologis sebagai bagian dari pengalaman indera penglihatan. Secara obyektif atau fisik, warna dapat diberikan oleh panjang gelombang. Dilihat dari panjang gelombang, cahaya yang tampak oleh mata merupakan salah satu bentuk pancaran energi yang merupakan bagian yang sempit dari gelombang elektromagnetik.

Manusia dapat melihat cahaya tampak mulai dari cahaya dengan panjang gelombang 380 nanometer (dikenali sebagai warna violet) hingga 780 nanometer (dikenali sebagai warna merah). Hal ini membuktikan bahwa cahaya adalah warna, karena apabila kita meneruskan cahaya putih pada sebuah prisma, maka cahaya tersebut akan dilanjutkan menjadi beberapa cahaya tampak dengan panjang gelombang yang berbeda-beda. Antara lain violet (380 - 436 nm), biru (436 - 495 nm), hijau (495 - 566nm), kuning (566 - 589 nm), dan merah (627 - 780 nm).

Proses terlihatnya warna, dikarenakan adanya cahaya yang menimpa suatu benda, dan benda tersebut memantulkan cahaya ke mata (retina) hingga terlihatlah warna. Mata manusia dapat mengenali hingga 1000 macam warna yang berbeda.

Penglihatan didefinisikan sebagai perasaan (sense) yang menggunakan perantara mata, dan melibatkan posisi, kualitas, dan pergerakan dari objek yang dilihat. Penglihatan yang umumnya ditangkap mata adalah pola (*patterns*) energi cahaya yang diserap oleh sel peka terhadap cahaya yang terdapat di mata. Hal ini menghasilkan sinyal *electrochemical*, disalurkan ke otak, untuk kemudian diterjemahkan sebagai sensasi dan persepsi tentang bentuk, warna, dan pergerakan.

Warna dapat menimbulkan beberapa macam persepsi yang berbeda, antara lain:

- **Persepsi mengenai volume.** Warna terang akan memberikan kesan luas dan terbuka, sedangkan warna yang gelap memberi kesan tertutup dan dapat memberi kesan ruang yang lebih sempit.
- **Persepsi mengenai berat dan ukuran.** Warna terang memberi sifat lebih ringan, sedangkan warna yang lebih gelap memberi kesan lebih berat.
- **Persepsi mengenai temperatur.** Warna merah, Orange, hingga kuning memberi kesan hangat. Sedangkan warna hijau hingga biru memberi kesan yang lebih dingin.
- **Persepsi mengenai bunyi.** Warna-warna yang terang seolah memantulkan bunyi, sementara warna-warna yang gelap bersifat meredam bunyi.

### 5. WARNA DAN REAKSI PSIKOLOGIS

*Seldom, surely, is the psychological part of an appearance in nature so great as it is in the case of color. No one can encounter it and stay neutral. We are immediately, instinctively, and emotionally moved. We sympathy or antipathy, pleasure or disapproval within us as soon as we perceive colors. (Beer 1992, hal.11).*

Beer mengungkapkan reaksi yang pertama terjadi pada diri manusia ketika melihat warna adalah reaksi psikologis. Oleh karena itu, pembicaraan tentang warna tak pernah lepas dari ilmu psikologi.

Psikologi adalah ilmu yang berkaitan dengan pikiran, proses mental dan emosional, secara khusus mengarah pada perilaku, pemikiran, perasaan yang terdapat

di balik perilaku tersebut, dan juga segala sesuatu yang berkaitan dengan pengalaman seseorang.

Pengalaman seseorang dapat berasal dari proses yang bersifat sadar (*conscious*), setengah sadar (*sub conscious*), dan tidak sadar (*unconscious*).

- Pengalaman dari proses yang sadar adalah ketika kita dengan secara sadar mengetahui apa yang kita pikirkan dan kita rasakan.
- Pengalaman dari proses setengah sadar berasal dari suatu proses mental yang terjadi tanpa persepsi sadar atau hanya dengan persepsi yang bersifat sekilas saja.
- Pengalaman yang berasal dari proses tidak sadar merupakan gabungan dari seluruh pemikiran, memori, dorongan, keinginan, dan perasaan yang tidak kita sadari, namun mempengaruhi emosi dan perilaku kita.

Warna juga merupakan bagian dari pengalaman sadar, setengah sadar, dan tidak sadar yang sangat berkaitan dengan perilaku manusia, Reaksi manusia terhadap sebuah warna, kombinasi warna, dan lingkungannya selalu berawal dari reaksi psikologis yang nantinya dapat menimbulkan reaksi fisik.

Warna dapat menjadi stimuli bagi psikologis kita, yakni berupa sensasi atau perasaan yang dapat membangkitkan pemikiran dan reaksi kognitif dari manusia. Warna tidak hanya mempengaruhi emosi, kesan subjektif maupun objektif terhadap apa yang kita lihat, namun juga dapat mempengaruhi estimasi kita mengenai volume, berat, suhu, dan waktu terhadap hal tersebut.

Warna yang digunakan pada suatu bangunan sangatlah berpengaruh terhadap kesan bangunan tersebut. Dapat member kesan bangunan tersebut lebih berat, lebih ringan, terkesan hangat, menyambut, ceria, statis, dinamis, dll. Kombinasi warna yang beragam tentunya akan sangat berpengaruh untuk menciptakan kesan pada bangunan tersebut.

#### 4. POLA



(a)



(b)



(c)

**Gambar 1.** (a)pola vertical (b) pola horizontal (c) pola mozaik

Selain warna, pola dan tekstur juga merupakan suatu hal yang penting dalam arsitektur. Misalnya pola, tiap macam pola dapat memberi kesan yang berbeda pada ruang.

Contoh: pola yang berupa garis-garis vertikal pada dinding sebuah bangunan. Pada saat melihat pola ini mata bergerak mengikuti alur vertikal dari pola tersebut, sehingga memberi kesan ruang yang lebih tinggi daripada yang sebenarnya. Demikian

pula dengan pola horizontal yang dapat menimbulkan kesan ruang yang lebih lebar daripada yang sebenarnya.

Contoh yang lain, pola *chequerboard* (papan catur / mozaik) yang dapat memberi kesan ruang yang lebih besar. Karena pada saat melihat pola ini, mata akan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk bergerak mengikuti alur potongan-potongan kecil pola ini.

## 5. ILUSI OPTIK

Ilusi optik memberikan pandangan berbeda yang cukup menarik tentang bagaimana kita merasakan dan menginterpretasikan warna. Beberapa macam ilusi optik telah membuktikan pada kita, tentang bagaimana warna-warna bekerja dalam komposisi artistik.

Warna dapat memiliki efek yang berbeda apabila diletakkan bersebelahan. Misalnya Leonardo Da Vinci (1452 – 1519) telah mengidentifikasi warna putih, hitam, merah, hijau, biru, dan kuning sebagai warna – warna primer, menyatakan bahwa warna saling menguatkan satu sama lain. Yang dimaksud di sini adalah warna-warna komplementer. Warna-warna komplementer ini menghasilkan warna yang netral apabila dicampur.



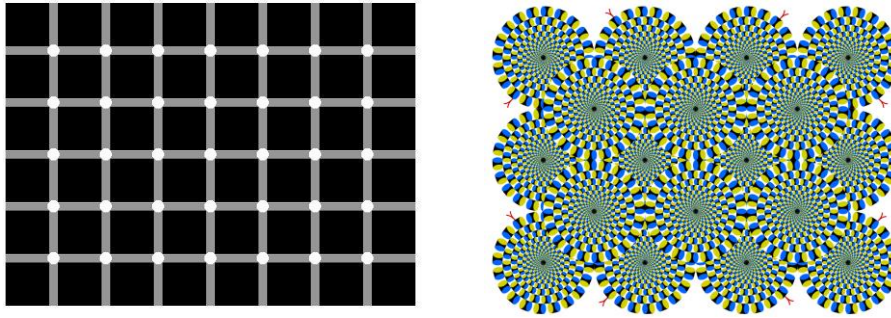
**Gambar2.** Salah satu contoh ilusi optik.

Gambar di samping merupakan salah satu contoh dari ilusi optik. Warna biru yang di sebelah kiri terlihat lebih terang daripada warna biru yang di sebelah kanan. Padahal sebenarnya merupakan warna yang sama. Hal ini disebabkan warna hitam yang melingkupi warna biru di sebelah kanan bersifat menguatkan warna biru tersebut, sehingga terlihat lebih gelap. Demikian sebaliknya pada warna biru yang di sebelah kiri.

Michael Chevreul (1786 – 1889), seorang ahli kimia Perancis, memberi contoh lain dari ilusi optik. Yaitu ketika anda melihat suatu bidang dengan warna yang sangat kuat, lalu mengalihkan pandangan pada suatu bidang yang lain, anda akan melihat suatu blok dengan warna yang berbeda. Efek ini dikenal dengan *successive contrast*.

Ilusi optik dibagi menjadi 2 yaitu :

- **Ilusifisiologis.** Ilusi yang terjadi pada *afterimages* atau kesan gambar yang terjadi setelah melihat cahaya yang sangat terang atau melihat pola gambar tertentu dalam waktu lama. Ini diduga merupakan efek yang terjadi pada mata atau otak setelah mendapat rangsangan tertentu secara berlebihan.
- **Ilusi kognitif.** Ilusi yang diasumsikan terjadi karena anggapan pikiran terhadap sesuatu di luar. Pada umumnya ilusi kognitif dibagi menjadi ilusi ambigu, ilusi distorsi, ilusi paradoks dan ilusi fiksional.



- **Ilusi ambigu.** Gambar atau benda yang mendatangkan ‘switch’ persepsi antara interpretasi alternatif. (terdapat dua interpretasi tergantung cara kita melihat)
- **Ilusi distorsi.** Ditandai dengan distorsi ukuran, panjang, bentuk atau lengkungan.
- **Paradox ilusi.** Dihasilkan oleh objek yang paradoks atau tidak mungkin.

**Gambar 3.** Contoh pola yang dapat menciptakan ilusi optik.

## 6. TEKNOLOGI KONTEMPORER & TEKNOLOGI SEDERHANA



**Gambar 4.** Fasade dinamis dengan teknologi mekanik (a) fasade dinamis dengan menggunakan ilusi optik.

Pada gambar (a), dapat kita lihat fasade dengan menggunakan teknologi mekanik. Fasade ini menggunakan energi listrik untuk dapat menggerakkan lempengan-lempengan penutup fasadenya. Bidang-bidang masiv ini dapat dibuka tutup untuk memperlihatkan dan melindungi bidang transparan di dalamnya. Fungsinya adalah mengendalikan jumlah cahaya yang masuk ke dalam ruangan. Apabila ruangan di dalamnya butuh cahaya alami, maka lempengan ini dapat dilipat, begitu pula sebaliknya.

Gambar (b), merupakan fasade Girls Grammar School Creative Learning Centre. Fasade ini menggunakan suatu pola yang melibatkan ilusi optik. Sehingga dapat terlihat bergerak pada saat kita berjalan di sekitarnya. Tipe ini hanya memanfaatkan celah-celah ataupun pola untuk dapat menghasilkan fasade yang menarik dan dinamis

ini. Skin ini terbuat dari susunan profil besi yang dapat pula berfungsi untuk mengurangi cahaya matahari yang masuk ke dalam ruangan.

Melalui kedua contoh di atas, dapat kita lihat bahwa terdapat berbagai cara untuk dapat mewujudkan suatu hal yang bersifat sama, yaitu sebuah fasade yang dinamis. Yakni dengan pemanfaatan teknologi kontemporer, yang cenderung dinilai mahal (dari segi ekonomi), maupun dengan memanfaatkan teknologi sederhana seperti penyusunan pola, warna untuk dapat menciptakan efek dinamis dari suatu fasade.

**Tabel 1.** Tabel perbandingan Fasade (a) dan Fasade (b)

<b>Kriteria</b>	<b>Fasade (A)</b>	<b>Fasade (B)</b>
Teknologi yang digunakan	Teknologi Kontemporer	Teknologi Sederhana
Energi yang digunakan		
Persiapan/pemasangan	Perlu	Perlu
Pengoperasian	Perlu energi listrik	Tidak perlu
Perawatan	Maintenance	Perawatan sederhana
Segi Ekonomi	Harganya cukup mahal	Harganya dapat disesuaikan dengan budget yg dimiliki
Segi Sosial	Karena mahal, hanya dapat dijangkau oleh bangunan dan kalangan tertentu	Dapat digunakan hampir semua kalangan, sesuai dengan budget yang ada
Segi Estetika	Kesan kontemporer dan dinamis pada bangunan	Kesan dinamis dan variatif pada bangunan

## 7. KESIMPULAN

Warna merupakan unsur penting pada fasade bangunan. Oleh karena itu, warna dapat digunakan untuk menciptakan berbagai variasi pada fasade bangunan. Warna-warna yang dikombinasikan sedemikian rupa dapat menciptakan efek-efek tertentu pada suatu bidang fasade bangunan. Warna-warna tersebut dapat disusun dengan pola-pola tertentu, tumpang tindih, berdampingan, dan saling mempengaruhi satu sama lain.

Dengan kayanya kombinasi warna yang dapat diciptakan, diharapkan dapat menjadi salah satu alternatif untuk dapat menciptakan fasade menarik dan dinamis yang dapat menjawab tuntutan dan perkembangan jaman yang dihadapi oleh fasade itu sendiri. Dilihat dari segi ekonomi, penggunaan warna ini akan cenderung lebih murah apabila dibandingkan dengan fasade dinamis dengan menggunakan teknologi canggih yang tentunya harganya mahal. Dari segi sosial, fasade dinamis dapat diciptakan dimana-mana, dengan pemanfaatan warna yang harganya lebih terjangkau.

Selain itu, juga tentunya akan lebih hemat apabila dilihat dari energi untuk pengoperasiannya, karena tidak memerlukan energi pengoperasian, bila dibandingkan dengan fasade dinamis yang menggunakan teknologi yang bersifat mekanik dengan tenaga listrik sebagai penggerak. Penghematan energi ini tentunya menjadi nilai tambah bagi pemanfaatan sifat warna untuk fasade yang dinamis ini. Karena dapat tetap mendukung gerakan untuk menghemat energi yang seperti kita ketahui sekarang sedang mengalami ancaman, sekaligus juga dapat memenuhi perkembangan zaman yang dihadapi.

## 6. REFERENSI



- Auch Schwelk, Hegger. (2006). Construction Materials Manual. Birkhauser : Munich.
- Fraser, Tom. Designer's Color Manual. (2004). Chronicle Books : San Fransisco.
- Fraser, Tom. Colour for Architecture. (1976). Macmillan Publishing Co. Inc.: New York.
- Goldstein, E. Bruce. (2001). Blackwell Handbook of Sensation and Perception. Blackwell Publishing : USA.
- Kuehni, Rolf G. (2003). Color Space and its Division. John Willey & Sons, Inc. : New York.
- Mahnke, Frank H. (1996). Color, Environment, and Human Response. John Willey & Sons, Inc. : New York.
- Meyer, William T. (1983) . Energy Economics and Building Design. Mc Graw Hill : USA
- Porter, Tom. (1982). Color Outside. The Architectural Press : London.
- Roth, David. (2004). Understanding Colour at Home. B&Q plc : London.
- Schwartz, Steven H. (2010). Visual Perception. Mc Graw Hill : USA.



## PENGGUNAAN TEKNOLOGI BAHAN INOVATIF PADA PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN

**Sylvie Wirawati**

Staf Pengajar Jurusan Perencanaan Wilayah Kota- Real Estate  
Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara, Jl.Letjen S.Parman no.1,Grogol,Jakarta-  
Barat

Email : [Sylvie.wirawati@gmail.com](mailto:Sylvie.wirawati@gmail.com) mobile : 08161456188  
phone : 021-5672548 ext 305; 021-5638335 fax: 5663277

### ABSTRAK

Pembangunan Berkelanjutan/Sustainable Development menjadi wacana pada event-event Seminar *Go Green*, isu pemanasan Global dan solusi-solusi untuk mengatasinya bermunculan mulai dari Rancangan Bangunan Ramah Lingkungan, Bangunan Hemat Energi, kemudian muncul beberapa penilaian terhadap kawasan maupun bangunan yang dinilai/*rating* memenuhi *Green Environment* dan *Green Building* oleh GBCI(*Green Building Council Indonesia*); LEED yang dirumuskan oleh para pakar /pengandil Lingkungan.

Berbicara tentang Pembangunan Berkelanjutan berarti mencakup Material ramah lingkungan dan metode Konstruksi yang hemat bahan dan hemat energi, menggabungkan material ( alam dan buatan ); metode konstruksi dan teknologi inovasi menciptakan desain bangunan yang ramah lingkungan / *green building*. Suatu bangunan tercipta dari elemen-elemen yang membentuk menjadi komponen bangunan dan melalui suatu sistem struktur/konstruksi, karena itu penguasaan material dan teknologi yang terintegrasi menjadi dasar kekuatan seorang Arsitek untuk mendesain Green Building.

Pada Paper ini pembahasan dikhususkan pada penggunaan material pembentuk bangunan seperti bahan pondasi dan balok ( semen ), dinding ( hebel dan partisi ), atap ( *roof tile* ) dan juga utilitas (listrik,*aircondition*) yang dikaitkan dengan penggunaan teknologi hemat energi dan inovatif, juga pendekatan pada logika Eko-teknik dan Eko-medis untuk melestarikan energi pemenuhan kebutuhan yang merupakan dua dari enam logika dalam pendekatan Pembangunan Berkelanjutan ( Simon Guy dan Graham Farmer ) : Eko-sentris;Eko-kebudayaan; Eko-sosial; Eko-estetik; Eko-medis dan Eko-teknik.

**Kata kunci** : *energy efficiency, green building, inovatif teknologi, Sustainable Development.*

### 1. PENDAHULUAN

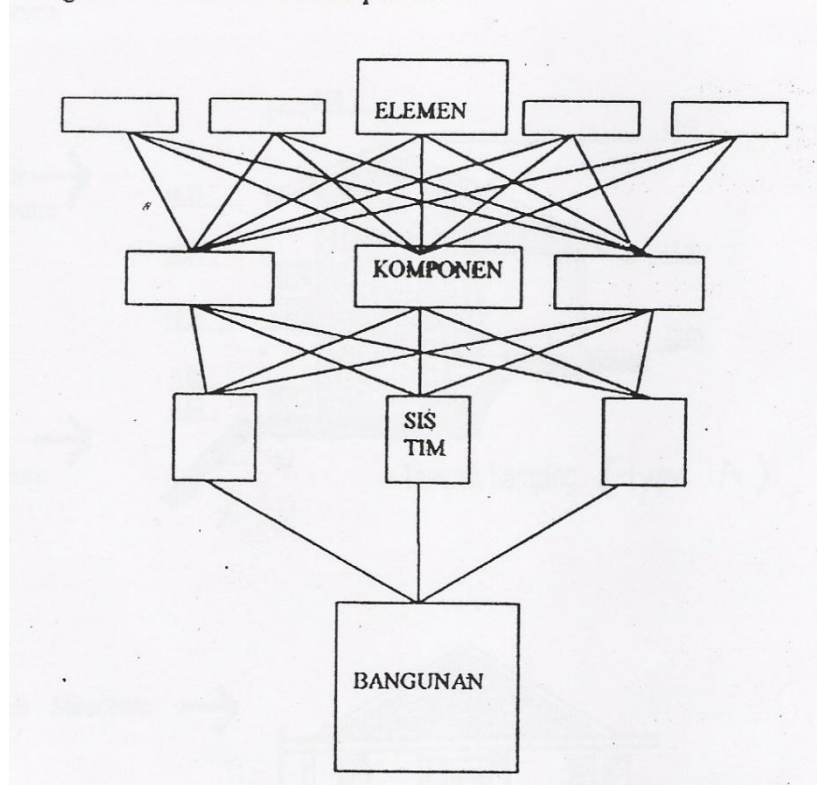
Pembangunan berkelanjutan/*sustainable development* sudah banyak yang memberikan arti atau komentar, semua menuju ke satu harapan yaitu : Pembangunan untuk memenuhi kebutuhan generasi masa kini tanpa mengorbankan generasi masa depan untuk memenuhi kebutuhannya dimasa mendatang ( *The Bruntland Report*

1987 ).Ada banyak gagasan yang berkembang untuk mewujudkan bangunan dengan konsep rancangan cerdas, mulai dari bangunan ramah lingkungan, bangunan hemat energi, gagasan tersebut bukanlah merupakan hal baru, kesadaran akan inovasi teknologi yang ramah lingkungan sudah disadari oleh pelaku pembangunan. Memanfaatkan potensi alam dan iklim melalui inovatif teknologi merupakan kata kunci *sustainable development*.

*Sustainable development* mencerminkan *green development* yaitu *green environment* dan *green building*, merupakan dua serangkai yang menjadi satu kesatuan tak terpisahkan, totalitas dari penanganan aspek lingkungan kawasan yang terdiri dari tataguna lahan, penghijauan kawasan, sistim pengelolaan air kawasan, persampahan menjadi satu kesatuan dengan *green building* yang berdiri diatas *green environment* kawasan. Penggunaan bahan bangun utama pada bangunan seperti semen yang digunakan pada pondasi dan balok; penggunaan partisi dan bahan hebel pada dinding; penggunaan bahan atap bangunan seperti *roof tile*; utilitas bangunan seperti penggunaan air, listrik dan juga aircondition, dengan menggunakan teknologi seperti panel surya atau pembakaran yang berasal dari vegetable petroleum sebagai sumber energi listrik.

Suatu keterpaduan dari perencanaan atau desain, penggunaan bahan ( alam atau buatan ), sistim bangunan, sistim utilitas dan metode konstruksi yang inovatif mewujudkan terjadinya *green building*, seperti skematik gambar dibawah ini :

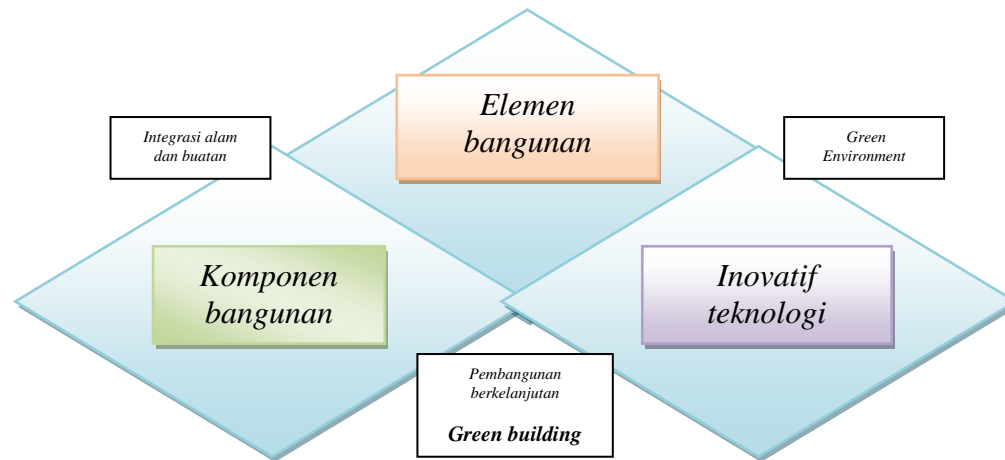
Diagram keterkaitan antar komponen :



**Gambar 1.** Diagram keterkaitan antar elemen bangunan, komponen bangunan dan sistim konstruksi yang inovatif menjadi *green building*.

Elemen yang dimaksud seperti fasade, lantai, dinding, cladding; sedangkan komponen yang dimaksud berupa bahan bangunan, mesin, peralatan dan utilitas;

sistim yang dimaksud adalah metode konstruksi inovatif dan hasilnya adalah *green building*.



**Gambar 2.** Korelasi antara Elemen bangunan, komponen bangunan dan Inovatif teknologi.

Melalui teknologi kita dapat menghemat atau melestarikan energi dan memenuhi kebutuhan pembangunan yang berkelanjutan, enam logika dalam pendekatan yaitu eko-teknik; eko-sentris; eko-kebudayaan; eko-social; eko-medis dan eko - estetik (Guy dan Farmer), dalam paper ini kita bahas dua pendekatan yang paling erat hubungannya dengan teknologi dan kesehatan material yaitu eko-teknik dan eko-medis.

Eko – teknik mengandung pemahaman bahwa apa saja yang menyangkut masalah lingkungan hidup dapat diatasi oleh teknologi. Energi dapat diperoleh dari daur ulang panas matahari, emisi karbon dan polusi dapat diatasi dengan teknologi tinggi, sejauh penyelesaiannya bertanggung jawab terhadap kelestarian lingkungan dan memerhatikan konstruksi yang berkelanjutan (*continuous and green construction*). Eko-medis mengandung pemahaman kesehatan lingkungan secara menyeluruh, dimana penggunaan material konstruksi semakin alami semakin ramah lingkungan akan baik untuk kesehatan masyarakat, karena itu pemanfaatan bahan bangunan alami dan unsur-unsur kesehatan dari alam seperti orientasi matahari, aliran udara segar sangat dianjurkan, dengan teknologi yang inovatif dapat memanfaatkan unsur-unsur alami untuk menghasilkan energi yang dibutuhkan oleh penghuni bangunan, itulah yang dipahami bahwa dalam lingkungan dan bangunan yang sehat terdapat lingkungan berkelanjutan.

## 2. INTEGRASI BAHAN DAN METODE TEKNOLOGI

Bahan semen sebagai komponen utama pembangunan dimana pabrik semen ternyata merupakan penyumbang gas CO<sub>2</sub> yang cukup besar, sekitar 930 juta ton/tahun, menempati urutan kedua setelah pembangkit tenaga listrik atau dengan kata lain berkontribusi sekitar 7% dari total emisi gas CO<sub>2</sub> yang berkisar 13.470 juta ton/tahun (berdasarkan data dari Inter-Governmental Panel on climate Change/IPCC), dengan inovatif antara bahan dan teknologi dapat membuat beton yang ramah lingkungan, yaitu dengan mengurangi kadar semen yang otomatis mengurangi gas CO<sub>2</sub>, permasalahannya adalah pengurangan porsi semen harus

digantikan dengan material cementitious sebagai aditif yang berkualitas dengan kadar yang sesuai, sehingga tetap diperoleh beton berkinerja tinggi, aditif tersebut adalah abu terbang, silica fume yang diolah pada silo semen dengan teknologi beton modern dapat memperoleh penghematan energy 21,1% ( IPCC ).

Bahan Hebel dan b-panel sebagai komponen utama dinding bangunan. Hebel yaitu bahan bangunan sebagai komponen bangunan berupa blok dinding yang mempunyai keunggulan dari segi kekuatan dan efisiensi waktu pada pelaksanaan pemasangan dinding, dengan material kapur, semen, pasir silica dan air melalui teknologi penggilingan dan pemintalan dan pencampuran di cetak dan dipotong sesuai dengan ukuran yang efisien pada dimensi dinding, sehingga mengurangi *waste factor* pemakaian bahan, sehingga dapat dikategorikan bahan hemat sampah konstruksi; b-panel adalah panel beton pracetak-prategang, merupakan system bahan bangunan hemat energy dan ramah lingkungan yang inovatif, karena terpadu dari panel komposit beton reinforced – expanded polystyrene ( EPS ) yang memiliki karakteristik insulasi thermal dan akustik serta ketahanan terhadap gempa, disebut komponen bangunan ramah lingkungan karena 100% *recyclable* dapat didaur-ulang, jangka pemakaian lama ( selama umur bangunan ), tidak beracun, tidak membusuk ( [www.b-panel.com](http://www.b-panel.com) ).

Atap genteng dan atap beton sebagai komponen penutup atap bangunan, penutup atap bahan tanah liat genteng dengan teknologi pembakaran yang modern ( tunnel ) dapat menciptakan genteng keramik yang beraneka warna dan kuat menahan terik panas matahari dan juga terhadap curah hujan, sebaiknya menggunakan warna terang agar sinar matahari dapat dipantulkan dan tidak menyerap kedalam ruangan.



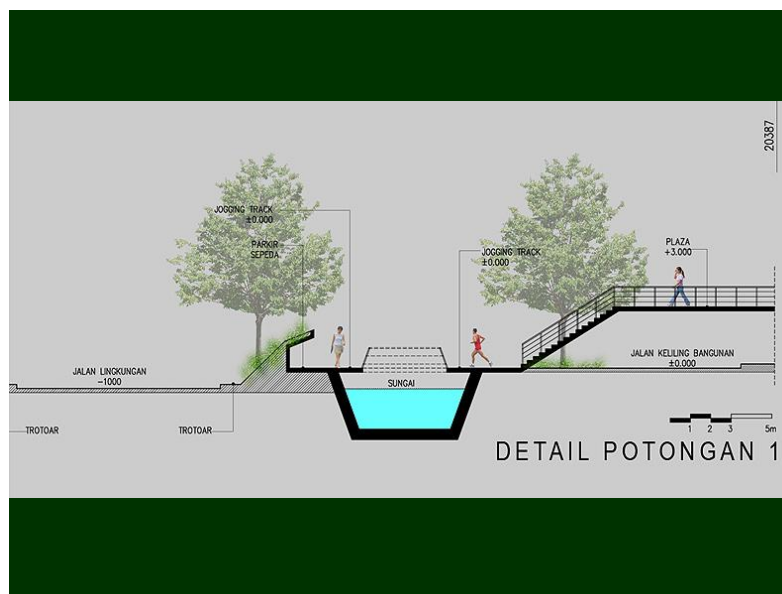
**Gambar 3.** Penggunaan bahan genteng warna terang.

Atap beton dapat direduksi panasnya dengan roof garden yaitu membuat penghijauan atap dengan *Prefabricated Extensive Green Roof Tray System* ( PEG ), yaitu bahan ramah lingkungan dan dibuat pra-fabrikasi, sistem modul, implementasi praktis dan reduksi panas, terbukti dapat mengurangi panas pada permukaan atap bangunan sebesar delapan ( 8 ) derajat celcius menjadi lebih sejuk ( paten system milik *United Premas Limited* ). Penghijauan atap juga memberikan nilai estetika, memperbaiki kualitas udara karena menyerap CO<sub>2</sub> dan mengeluarkan O<sub>2</sub>, menyejukan udara karena mengurangi suhu permukaan atap melalui bayangan dan evapotranspiration saat tanaman bernafas, karena pepohonan dapat memberikan

kontribusi oksigen, demikian pula rerumputan dapat membantu menghilangkan partikel udara panas.



**Gambar 4.** Pemanfaatan *roof garden* dengan pohon dan landscape.



**Gambar 5.** Pemanfaatan *road garden* dengan pohon dan landscape.

Utilitas bangunan adalah suatu kelengkapan fasilitas bangunan yang digunakan untuk menunjang tercapainya unsur-unsur kenyamanan, kesehatan, keselamatan, kemudahan komunikasi, dan mobilitas dalam bangunan. Perancangan bangunan harus menyertakan fasilitas utilitas yang dikoordinasikan dengan perancangan yang lain, seperti perancangan arsitektur, perancangan struktur, perancangan interior dan lain-lain.

Penerangan bangunan harus mempelajari masalah pencahayaan sehingga bangunan dapat berfungsi seperti yang diharapkan. Selain itu, perancang bangunan harus juga memperhatikan manfaat penerangan atau pencahayaan alam selama masih dapat



dimanfaatkan. Pemanfaatan cahaya matahari selain memberikan panas (radiasi) juga memberikan cahaya yang bermanfaat sekali bagi semua kehidupan di darat dan air, maka cahaya matahari sangat diperlukan khususnya dalam pencahayaan bangunan, tujuan pemanfaatan cahaya matahari sebagai penerang alami dalam bangunan adalah sebagai berikut:

- a. Menghemat energi dan biaya operasional bangunan;
- b. Menciptakan ruang yang sehat mengingat sinar matahari mengandung *ultraviolet* yang memberikan efek psikologis bagi manusia dan memperjelas kesan ruang;
- c. Mempergunakan cahaya alami sejauh mungkin ke dalam bangunan, baik sebagai sumber penerangan langsung maupun tidak langsung.

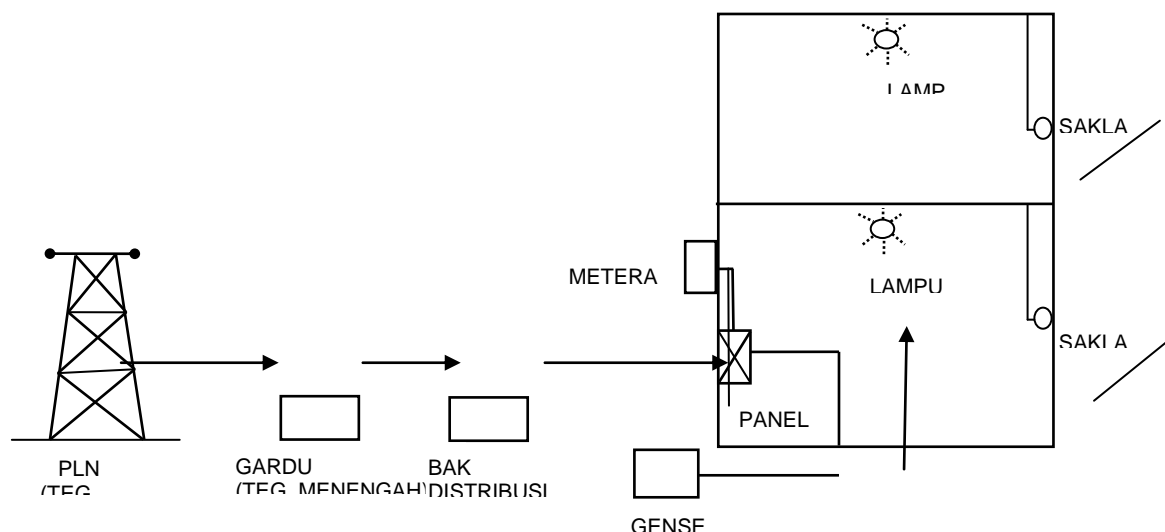
Pemanfaatan cahaya matahari ke dalam ruang dapat dilakukan dengan berbagai cara, dilihat dari arah jauhnya sinar matahari dan komponen / bidang-bidang yang membantu memasukan dan memantulkan cahaya matahari. Surut jauhnya sinar matahari ini berbeda - beda pada setiap daerah. Pada umumnya, cahaya matahari yang jauh ke permukaan tanah / bangunan dapat dinyatakan sebagai berikut:

- a. Cahaya matahari langsung jatuh pada bidang kerja.
- b. Refleksi pantulan cahaya matahari dari benda yang berada di luar rumah dan masuk melalui jendela.
- c. Refleksi / pantulan cahaya matahari dari halaman ,yang untuk kedua kalinya di pantulkan kembali oleh langit-langit dan dinding kearah bidang kerja.
- d. Cahaya yang jatuh dilantai dan dipantulkan lagi oleh langit-langit besarnya refleksi cahaya matahari ini sangat dipengaruhi oleh bahan pemantulan dan warna.

Cahaya buatan dikelola atau diperoleh dari perusahaan pemerintah melalui suatu pembangkit tenaga. Perusahaan tersebut adalah perusahaan Listrik Negara (PLN) yang menyelenggarakan dan menyiapkan sesuatu tenaga pembangkit listrik dengan dengan sistem :

- Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)
- Pembangkit Listrik tenaga Air (PLTA), dan
- Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Diluar negeri terdapat pembangkit tenaga listrik lain, yaitu Pembangkit Listrik tenaga angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir. Perancangan utilitas untuk pencahayaan / penerangan harus dikoordinasikan antara perancang arsitektur, elektrik, dan bagian-bagian lain sehingga dapat memenuhi persyaratan pencahayaan pada ruangan / bangunan yang dimaksud.





**Gambar 6.** Skematik aliran listrik konvensional

Listrik juga merupakan komponen yang dapat diperoleh dari unsur alami dan melalui inovatif teknologi diperoleh energi untuk kebutuhan utilitas bangunan, dengan sistem pemasangan pipa tembaga untuk menangkap panasnya sinar matahari yang dibuat secara khusus sehingga bisa menyerap panas matahari secara maksimum, panas yang diperoleh tersebut dapat digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik, sistem pendinginan udara, jaringan saluran air panas, dengan demikian dapat menghemat suplai air PAM dan listrik PLN, sistem ini tidak menggunakan ruang yang dibutuhkan seperti solar panel. Sedangkan untuk efisiensi penggunaan listrik dapat menggunakan lampu hemat energi untuk mengurangi jumlah pemakaian watt penerangan. Contoh perhitungan menggunakan lampu hemat energi sebagai berikut.:

### **PENERANGAN**

$$N = \frac{A \times E}{n \times k \times d \times w} \quad \text{R U M U S} \quad \text{Atau} \quad N = \frac{A \times E}{\text{Lampu} \times Cu \times LLF} \quad (1)$$

#### Keterangan :

LLF atau d *Light Loss Factor* (0,7 - 0,8)

Cu atau n *Coefisien Of Utilization* (50% - 65%)

A Luas area yang diterangi oleh *indoor lighting*

K 75 Lumen / Watt, 80 Lumen / Watt

Misal : lampu TL 40 Watt = 40 Watt x 80 Lumen / Watt = 3200 Lumen

N : Jumlah lampu yang dibutuhkan

#### Lantai Basement

E = 100 Lux

Jumlah Watt / m<sup>2</sup> = 40 Watt / m<sup>2</sup>

Luas lantai = 1078 m<sup>2</sup>

Effektif (80%) (A) = 80% x 1078 m<sup>2</sup> = 862,4 m<sup>2</sup>

LLF = 0,8

Cu = 60%

Untuk lampu TL 40 Watt, besar Lumen = 40 x 75 = 3000 Lumen

Menggunakan 2 buah lampu TL 40 Watt = 2 x 3000 = 6000 Lumen

Jumlah Lampu yang dibutuhkan (N):

$$N = \frac{A \times E}{\text{Lampu} \times Cu \times LLF} \quad N = 30 \text{ Titik Lampu} \\ 1 \text{ Titik ada 2 lampu} \quad (2)$$

$$N = \frac{862,4 \times 100}{6000 \times 0,6 \times 0,8}$$

$$N = \frac{86240}{2880}$$

Pemakaian Watt untuk lampu TL 40 Watt termasuk *ballast* 50 Watt , jadi jumlah beban dari lampu = 30 x 2 x 50 = 3000 Watt. Bila menggunakan daya lampu efisiensi maka jumlah watt yang dibutuhkan = 35% x 3000 watt = 1050 watt

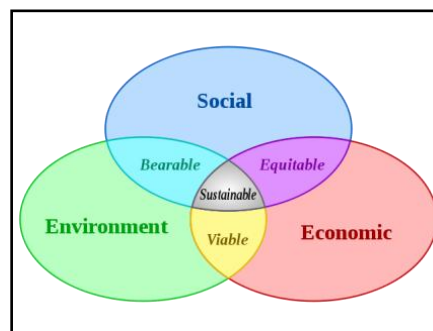
### 3. KESIMPULAN

*Sustainable Development* yang berkaitan langsung dengan *sustainable building* adalah seni dan ilmu dalam merancang dan mengeksplorasi bangunan, kawasan dan lingkungan yang berbasis pada berkelanjutan alam, dilakukan oleh manusia dengan menggunakan teknologi canggih mampu memberikan kontribusi positif terhadap lingkungan secara aktif dan terus menerus.

Pembangunan berkelanjutan adalah bentuk gabungan dari berbagai disiplin ilmu yang bertanggung jawab pada kesejahteraan masyarakat secara keseluruhan, berkaitan erat dengan lingkungan ( *Environmental sustainable* ), ekonomi ( *economic sustainable* ) dan social ( *social sustainable* ). Melakukan prinsip-prinsip *Sustainable design* dan *continuously construction* dengan memperhatikan *low-impact materials, energy efficiency, quality and durability, design for reuse and recycling, biomimicry, service substitution* dan *renewability*.

(*Tropical Sustainable Architecture and Environment Dimension* page 121 -125).

Keterpaduan dalam menggunakan sumber daya alam dan buatan dengan menitikberatkan pada perlindungan konstruksi berkelanjutan dan pencegahan dampak negatif terhadap lingkungan merupakan tanggung jawab pelaku-pelaku dunia industri pembangunan, juga sebagai manusia yang bertanggung jawab pada penggunaan sumber daya alam. Pembangunan berkelanjutan juga tidak cukup hanya sustain, tapi juga harus improving ( *Roseland- Sustainable communities* ).



Gambar 7. Wikipedia, Triple Bottom Line.

### 4. DAFTAR PUSTAKA/REFERENCES

- Budihardjo, Eko. (1997). Tata ruang dan lingkungan menuju pembangunan kota yang Berkelanjutan. Jakarta: penerbit Jembatan.
- Baker, N.V. (1987). Passive and Low Energy Building Design for Tropical Inland Climates, London : The Commonwealth Secretariat.
- Intergovernmental Panel on climate change 4<sup>th</sup>, Assessment Report (2007) Findings. Greenship
- Konsep arsitektur berkelanjutan (2010). <http://rizkilesus.wordpress.com>
- Mann, M. (2007), It's Easy Being Green, Chichester : Summersdale Publishers Ltd.
- Mewujudkan tata ruang wilayah dan infrastruktur yang berkelanjutan/sustainable. Misi
- Rencana Pembangunan Jangka Menengah butir D6, 7, 8 dan 10. APBN.
- Sistem bangunan dengan bahan Hebel, (2002). from <http://www.hebel> Indonesia.
- Simak S. Guy & farmer. (2001) Reinterpreting Sustainable Architecture : The Place of



Technology dalam Journal of Architectural Education.volume 54 no 3,hal 140 - 150.

Triple Bottom Line, Wikipedia, the free encyclopedia.



## ANALISA PENYEDIAAN RUANG TERBUKA HIJAU PERKOTAAN, STUDI KASUS KOTA MARTAPURA

**Tutur Lusetyowati**

Program Studi Teknik Arsitektur

Universitas Sriwijaya

[tutur\\_lus@yahoo.co.id](mailto:tutur_lus@yahoo.co.id)

### ABSTRAK

Penyediaan ruang terbuka hijau di kawasan perkotaan menjadi isu yang penting dewasa ini, karena makin banyaknya pencemaran yang terjadi di kawasan perkotaan akibat aktivitas yang meningkat. Tujuan penyediaan ruang terbuka hijau (RTH) di perkotaan yang diharapkan nantinya dapat terwujud ruang kota yang nyaman, produktif dan berkelanjutan, maka sudah saatnya kita memberikan perhatian yang cukup terhadap keberadaan ruang terbuka hijau.

Penyediaan ruang terbuka ini merupakan penjabaran dari Undang-undnag tentang Penataan Ruang, dimana setiap kawasan perkotaan harus menyediakan ruang terbuka hijau sebesar 30% dari keseluruhan wilayahnya. Dan kota Martapura sebagai ibukota kabupaten juga harus menyediakan ruang terbuka hijau tersebut.

Perencanaan penyediaan ruang terbuka hijau akan dihitung berdasarkan beberapa kondisi sesuai dengan persyaratan teknis penyediaan ruang terbuka hijau. Analisa penyediaan ruang terbuka hijau untuk Kota Martapura ini akan meliputi penyediaan RTH publik dan RTH privat.

**Kata kunci :** Kenyamanan , ruang kota , ruang terbuka hijau .

### 1. PENDAHULUAN

Ruang terbuka bisa diartikan sebagai ruang diluar bangunan. Ruang terbuka ini antara lain meliputi taman, lapangan olah raga, jalan, pedestrian dll. Ruang terbuka ini merupakan elemen penting yang harus dipertimbangkan dalam perancangan kota karena biasanya ruang terbuka ini merupakan ruang publik.

Kuantitas dan kualitas ruang terbuka publik terutama Ruang Terbuka Hijau (RTH) saat ini mengalami penurunan yang sangat signifikan dan mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan hidup perkotaan yang berdampak keberbagai sendi kehidupan perkotaan antara lain sering terjadinya banjir, peningkatan pencemaran udara, dan menurunnya produktivitas masyarakat akibat terbatasnya ruang yang tersedia untuk interaksi social

Di dalam Undang-Undang No. 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang, perencanaan tata ruang wilayah kota harus memuat rencana penyediaan dan pemanfaatan ruang terbuka hijau yang luas minimalnya sebesar 30% dari luas wilayah kota. Proporsi RTH pada wilayah perkotaan adalah sebesar minimal 30% yang terdiri dari 20% ruang terbuka hijau publik dan 10% terdiri dari ruang terbuka hijau privat. Proporsi 30% merupakan ukuran minimal untuk menjamin keseimbangan ekosistem kota, baik keseimbangan sistem hidrologi dan keseimbangan iklim, maupun

sistem ekologis lain yang dapat meningkatkan ketersediaan udara bersih yang diperlukan masyarakat, serta sekaligus dapat meningkatkan nilai estetika kota.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Shirvani (1985) yang termasuk ruang terbuka adalah landscape, jalan, sidewalk, taman, tempat parkir dan area rekreasi. Ruang sisa di kota yang merupakan 'lubang besar' tidak bisa dikategorikan sebagai ruang terbuka kota. Jadi dengan kata lain ruang terbuka kota adalah ruang di antara bangunan yang memang direncanakan untuk suatu fungsi tertentu.

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 05/PRT/M/2008 tentang Pedoman Penataan ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan, ruang terbuka, adalah ruang-ruang dalam kota atau wilayah yang lebih luas baik dalam bentuk area/kawasan maupun dalam bentuk area memanjang/jalur dimana dalam penggunaannya lebih bersifat terbuka yang pada dasarnya tanpa bangunan. Ruang terbuka terdiri atas ruang terbuka hijau dan ruang terbuka non hijau.

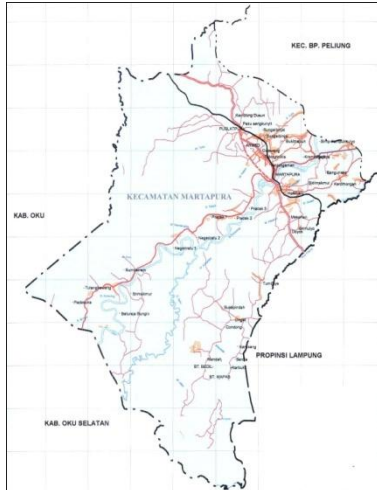
Secara umum ruang terbuka publik di perkotaan terdiri dari ruang terbuka hijau dan ruang terbuka non-hijau, ruang terbuka hijau (RTH) perkotaan adalah bagian dari ruang-ruang terbuka suatu wilayah perkotaan yang diisi oleh tumbuhan, tanaman dan vegetasi guna mendukung fungsi ekologis, sosial budaya dan arsitektural yang dapat memberi manfaat ekonomi dan kesejahteraan bagi masyarakatnya, seperti antara lain :

- 1) Fungsi ekologis, RTH dapat meningkatkan kualitas air tanah, mencegah banjir, mengurangi polusi udara dan pengatur iklim mikro.
- 2) Fungsi sosial budaya, keberadaan RTH dapat memberikan fungsi sebagai ruang interaksi sosial, sarana rekreasi dan sebagai tetenger (*landmark*) kota.
- 3) Fungsi arsitektural, RTH dapat meningkatkan nilai keindahan dan kenyamanan kota melalui keberadaan taman-taman kota dan jalur hijau jalan kota.
- 4) Fungsi ekonomi, RTH sebagai pengembangan sarana wisata hijau perkotaan yang dapat mendatangkan wisatawan.

## 3. GAMBARAN UMUM KOTA MARTAPURA

Kota Martapura merupakan ibukota Kecamatan Martapura yang sekaligus juga berperan sebagai ibukota Kabupaten OKU Timur. Kecamatan Martapura terdiri dari 21 desa dengan luas wilayah sebesar 445,12 Km<sup>2</sup>.

Desa-desanya yang masuk dalam Kecamatan Martapura terdiri dari 3 kelurahan yaitu Kelurahan Dusun Martapura, Kelurahan Pakusengkunyit dan Kelurahan Pasar Martapura, serta 6 desa yaitu Desa Perjaya, Desa Kromongan, Desa Tanjungkemala, Desa Kota Baru Barat dan Desa Sukomulyo.



Peta Administrasi  
Kecamatan Martapura

Jumlah penduduk di Kecamatan Martapura pada tahun 2009 adalah sebesar 44.430 jiwa. Dengan luas wilayah sebesar 15.789 Ha maka kepadatan penduduk di Kecamatan Martapura rata-rata adalah 2,81 jiwa/ha.

Tabel 1. Jumlah dan Kepadatan Penduduk dirinci per Desa di Kecamatan Martapura

No	Desa/Kelurahan	Jumlah Penduduk (jiwa)	Luas (Ha)	Kepadatan Penduduk (jiwa/Ha)
1	Bukit Sari	1781	587	3.03
2	Veteran Jaya	2876	2664	1.08
3	Sungai Tuha	1366	450	3.04
4	Terukis Rahayu	4263	670	6.36
5	Paku Sengkunyit	4370	650	6.72
6	Perjaya Barat	1651	418	3.95
7	Martapura	3745	600	6.24
8	Perjaya	5181	1600	3.24
9	Keromongan	2821	1950	1.45
10	Sukomulyo	1401	600	2.34
11	Kotabaru Selatan	1501	1750	0.86
12	Kotabaru	3038	400	7.60
13	Kotabaru Barat	3389	1400	2.42
14	Cahaya Kemala	4013	1600	2.51
15	Pasar Martapura	3034	450	6.74
		44,430	15789	2.81

#### 4. KONDISI RUANG TERBUKA HIJAU DI KOTA MARTAPURA

##### 1) Taman Kota

Taman skala kota ada di beberapa tempat di Kota Martapura, antara lain di jalan Merdeka, di persimpangan jalan di kawasan ARMED. Sebagian besar taman ini masih belum berfungsi optimal, karena masih belum memadai kelengkapannya.





Taman kota di Jalan Martapura

## 2) Hutan Kota

Hutan kota di Kota Martapura sudah dialokasikan di kawasan perkantoran baru yaitu di Kelurahan Kota Baru. Pada hutan kota ini sudah ditanami aneka tanaman keras. Hutan kota yang ada di Martapura berbentuk tanaman bergerombol atau menumpuk: hutan kota dengan komunitas vegetasi terkonsentrasi pada satu areal, dengan jumlah vegetasi minimal 100 pohon dengan jarak tanam rapat tidak beraturan.

## 3) Pulau Jalan

Beberapa titik persimpangan jalan di Kota Martapura dibuat pulau jalan yang sekaligus juga dijadikan area ruang terbuka hijau. Pada beberapa pulau jalan yang letaknya strategis dibuat tugu penanda (signage) antara lain tugu Adipura, tugu di Jalan Merdeka dan tugu ke arah Kota Baru.

## 4) Ruang Terbuka Hijau Tepian Jalan

Ruang terbuka tepian masih belum optimal dimanfaatkan ruang terbuka hijau. Bari di beberapa ruas jalan saja yang sudah ditata sebagai ruang terbuka hijau. Padahal sebenarnya dengan penataan sepanjang tepian jalan maupun di median jalan akan bisa memperluas pemerataan lokasi ruang terbuka hijau di seluruh kawasan perkotaan.

## 5) Taman Skala Lingkungan

Taman skala lingkungan masih terbatasi jumlahnya. Dan kalau pun ada ruang terbuka di lingkungan permukiman, sebagian besar belum ditata sebagai ruang terbuka hijau. Padahal seharusnya taman skala lingkungan ini tersebar merata di seluruh kawasan perkotaan.

## 6) Lapangan Olah Raga

Ruang terbuka hijau lainnya yang ada di Kota Martapura adalah lapangan olah raga, antara lain berupa lapangan sepak bola, lapangan voli, lapangan basket dan lainnya.

# 5. IDENTIFIKASI PERMASALAHAN RUANG TERBUKA HIJAU (RTH) DI KOTA MARTAPURA KABUPATEN OKU TIMUR

Tinjauan terhadap permasalahan yang berkaitan dengan ruang terbuka publik di Kota Martapura akan dilihat secara umum dan berdasarkan tipologi ruang yang ada. Permasalahan umum ruang terbuka publik di Kota Martapura adalah :

- Permasalahan penataan ruang terbuka hijau belum terintegrasi dalam perancangan kota.

- Pengendalian penggunaan lahan untuk ruang terbuka hijau masih belum ketat sehingga banyak ruang terbuka hijau yang berubah fungsi.
- Pembangunan ruang terbuka hijau belum terintegrasi dengan pembangunan bangunan gedung, ruang terbuka masih banyak yang berupa ruang sisa yang tidak bisa dimanfaatkan oleh umum.
- Banyak ruang terbuka hijau yang belum dimanfaatkan secara maksimal untuk kepentingan umum.

### **1) Pada Bangunan/Perumahan (lahan pekarangan)**

- Belum adanya peraturan yang mengharuskan pemilik bangunan menggunakan lahan pekarangan sebagai bagian dari RTH privat.
- Pelrunya penyuluhan untuk penanaman pohon pada lahan pekarangan yang termasuk dalam area non coverage dalam lahan pekarangan.

### **2) RTH (taman) Pada Lingkungan Permukiman**

- Jumlah taman yang ada masih terlalu sedikit dibandingkan dengan jumlah penduduk di kawasan permukiman.
- Masih sedikitnya jumlah *community open space* di lingkungan permukiman (lingkungan neighborhood) padahal penduduk sangat memerlukan ruang terbuka jenis ini.
- Ruang terbuka jenis ini (yang sudah ada) kurang perawatan sehingga banyak yang tidak berfungsi lagi.
- Masih kurangnya ruang terbuka yang khusus diperuntukkan sebagai tempat bermain.
- Banyaknya tempat bermain yang tidak terawat sehingga tidak bisa digunakan secara maksimal dan tidak aman dan nyaman bagi anak untuk bermain.

### **3) Kota/Perkotaan**

- Jumlah taman yang ada masih terlalu sedikit dibandingkan dengan jumlah penduduk dan penyebarannya masih belum merata di seluruh kawasan kota.
- Masih kurangnya taman dan ruang terbuka hijau di kawasan pusat kota.
- Banyak taman yang kurang bisa dinikmati oleh penduduk kota.
- Kurangnya perawatan untuk taman-taman yang sudah ada.
- Hutan kota yang ada belum difungsikan untuk ruang terbuka publik atau untuk wisata kota yang natural.
- Hutan kota terlalu tertutup untuk bisa dinikmati oleh penduduk kota

### **4) RTH di sepanjang jalan (tepi jalan, pulau jalan, median jalan)**

- Dalam perencanaan jalan belum dipertimbangkan adanya ruang untuk RTH yang ditujukan untuk meningkatkan kenyamanan pengguna dan lebih mementingkan faktor teknis.
- Pada titik-titik persimpangan jalan banyak yang belum direncanakan secara khusus sebagai node kota sehingga titik-titik tersebut tidak bisa memberi nilai tambah bagi kualitas visual kota.

### **5) RTH Ruang Pejalan Kaki**

- Masih sedikitnya jalur pejalan kaki untuk keseluruhan kota,

- Banyak jalur pejalan kaki di kiri kanan jalan terlalu sempit (sekitar 1 m) dan tidak ada fasilitas yang memadai seperti shelter, pepohonan.
- Banyak jalur pejalan kaki di tepi jalan letaknya terlalu mepet dengan jalan (tidak ada pembatas dengan jalan) sehingga kurang aman.

## 6. ANALISA KEBUTUHAN RUANG TERBUKA HIJAU KOTA MARTAPURA

Analisa kebutuhan ruang terbuka hijau didasarkan pada perkembangan jumlah penduduk Kota Martapura dan disesuaikan dengan Rencana Tata Ruang Kota Martapura yang sudah ada.

Tabel 2. Prediksi Jumlah Penduduk Martapura sampai tahun 2016

No	Kelurahan/Desa	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	Pakusengkunyit	3031	3107	3185	3271	3359	3450	3543	3638
2	Pasar Martapura	8054	8255	8461	8690	8925	9165	9413	9667
3	Dusun Martapura	5594	5734	5877	6036	6198	6366	6538	6714
4	Perjaya	1435	1471	1508	1548	1590	1633	1677	1723
5	Keromongan	1691	1734	1777	1825	1874	1925	1977	2030
6	Tanjung Kemala	3112	3189	3269	3357	3448	3541	3637	3735
7	Kota Baru	8903	9126	9354	9606	9866	10132	10406	10687
8	Kota Baru Barat	2175	2229	2285	2346	2410	2475	2541	2610
9	Sukomulyo	1750	1794	1838	1888	1939	1991	2045	2100
	TOTAL	73216	75046	76922	78999	81132	83323	85572	87883

Sumber : RUTRK Kecamatan Martapura 2006

### 1) Kebutuhan RTH berdasarkan Kebutuhan Oksigen

Standar kebutuhan oksigen kota untuk setiap orang membutuhkan rata-rata 1,25 kg oksigen, dan pada 1 hektar ruang terbuka hijau 240 kg oksigen. Daya tampung penduduk Kota Martapura sampai tahun 2016 diperkirakan 42.404 jiwa, maka jumlah oksigen yang dibutuhkan setara dengan ruang terbuka hijau seluas 220,85 Ha.

### 2) Kebutuhan RTH berdasarkan Building Coverage Ratio (BCR)

Perkiraan kebutuhan lahan ruang terbuka hijau berdasarkan BCR (Building Coverage Ratio) rata-rata dan GCR (Green Coverage Ratio) di kota Martapura adalah sebesar 60 : 40 perbandingan antara daerah terbangun dan ruang terbuka hijau.

Tabel 3. Perkiraan Kebutuhan Lahan Bagi Ruang terbuka Hijau di Martapura berdasarkan BCR

No	Peruntukan	Luas (ha)	BCR		CGR		Kebutuhan RTH (ha)	
			Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks
1	Perumahan	291,52	40	60	40	60	116,60	174,91
2	Pendidikan	14,58	40	60	40	60	5,832	8,748
3	Perkantoran	251,21	40	60	40	60	100,484	150,726
4	Peribadatan	3,45	40	60	40	60	1,38	2,07
5	Perdagangan	3,66	75	90	75	90	2,745	3,294
6	Kesehatan	9,90	40	60	40	60	3,96	5,94

Sumber : RUTRK Kecamatan Martapura 2006

### 4) Penyediaan RTH Berdasarkan Luas Wilayah Kota Martapura

Penyediaan RTH berdasarkan luas wilayah di perkotaan adalah terdiri dari RTH Publik dan RTH privat. Proporsi RTH pada wilayah perkotaan adalah sebesar

minimal 30% yang terdiri dari 20% ruang terbuka hijau publik dan 10% terdiri dari ruang terbuka hijau privat.

Berdasarkan RUTRK Kota Martapura kawasan hijau pada akhir tahun rencana (2016) yang terdiri dari lahan taman kota, penghijauan sepanjang jalur jalan, areal konservasi, kuburan dan taman kota menjadi seluas 222,703 Ha.

### 5) Penyediaan RTH Berdasarkan Jumlah Penduduk

Untuk menentukan luas RTH berdasarkan jumlah penduduk, dilakukan dengan mengalikan antara jumlah penduduk yang dilayani dengan standar luas RTH per kapita sesuai peraturan yang berlaku. Berdasarkan peraturan yang berlaku kebutuhan RTH per kapita penduduk adalah 20 m<sup>2</sup>. Maka kebutuhan RTH Kota Martapura adalah sebagai berikut.

Tabel 4. Kebutuhan RTH berdasarkan Jumlah Penduduk Kota Martapura

No	Kelurahan/Desa	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	Pakusengkunyit	6,3700	6,5420	6,7180	6,9000	7,0860	7,2760
2	Pasar Martapura	16,9220	17,3800	17,8500	18,3300	18,8260	19,3340
3	Dusun Martapura	11,7540	12,0720	12,3960	12,7320	13,0760	13,4280
4	Perjaya	3,0160	3,0960	3,1800	3,2660	3,3540	3,4460
5	Keromongan	3,5540	3,6500	3,7480	3,8500	3,9540	4,0600
6	Tanjung Kemala	6,5380	6,7140	6,8960	7,0820	7,2740	7,4700
7	Kota Baru	18,7080	19,2120	19,7320	20,2640	20,8120	21,3740
8	Kota Baru Barat	4,5700	4,6920	4,8200	4,9500	5,0820	5,2200
9	Sukomulyo	3,6760	3,7760	3,8780	3,9820	4,0900	4,2000
	TOTAL	153,8440	157,9980	162,2640	166,6460	171,1440	175,7660

Sumber : Hasil analisa, Catatan : luasan dalam Ha

### 6) Penyediaan RTH Pada Bangunan/Perumahan

#### a. RTH Pekarangan

Pekarangan adalah lahan di luar bangunan, yang berfungsi untuk berbagai aktivitas. Luas pekarangan disesuaikan dengan ketentuan koefisien dasar bangunan (KDB) di kawasan perkotaan. Untuk menentukan RTH pada bangunan/perumahan akan didasarkan pada prediksi kebutuhan perumahan sesuai dalam RUTRK Martapura.

Tabel 5. Rencana Kebutuhan Jumlah Unit dan Lahan Perumahan di Kota Martapura

No	Tahun	Jumlah Rumah (unit)	Kebutuhan Lahan (Ha)
1	2011	9.379	254,43
2	2016	10.601	291,52

Sumber : Rencana Umum Kecamatan Martapura 2006-2016

Berdasarkan kebutuhan perumahan tersebut maka akan diklasifikasikan dalam tiga kategori yaitu rumah tipe besar, rumah tipe sedang dan rumah tipe kecil dengan perbandingan 1:3:6, untuk itu kebutuhan perumahan sesuai klasifikasi bisa dilihat sebagai berikut.

Tabel 6. Rencana Kebutuhan Jumlah Unit berdasarkan di Kota Martapura

No	Tahun	Jumlah Rumah (unit)	Rumah tipe besar (unit)	Rumah tipe sedang (unit)	Rumah tipe kecil (unit)
----	-------	---------------------	-------------------------	--------------------------	-------------------------

1	2011	9.379	938	2.814	5.627
2	2016	10.601	1.060	3.180	6.361

Sumber : Rencana Umum Kecamatan Martapura 2006-2016

Berdasarkan kalsifikasi tipe rumah tersebut maka kriteria RTH akan ditentukan kategori pekarangan sebagai berikut :

1) Pekarangan Rumah Besar

- kategori yang termasuk rumah besar adalah rumah dengan luas lahan di atas 500 m<sup>2</sup>;
- ruang terbuka hijau minimum yang diharuskan adalah luas lahan (m<sup>2</sup>) dikurangi luas dasar bangunan (m<sup>2</sup>) sesuai peraturan daerah setempat;
- jumlah pohon pelindung yang harus disediakan minimal 3 (tiga) pohon pelindung ditambah dengan perdu dan semak serta penutup tanah dan atau rumput.

2) Pekarangan Rumah Sedang

- kategori yang termasuk rumah sedang adalah rumah dengan luas lahan antara 200 m<sup>2</sup> sampai dengan 500 m<sup>2</sup>;
- ruang terbuka hijau minimum yang diharuskan adalah luas lahan (m<sup>2</sup>) dikurangi luas dasar bangunan (m<sup>2</sup>) sesuai peraturan daerah setempat;
- jumlah pohon pelindung yang harus disediakan minimal 2 (dua) pohon pelindung ditambah dengan tanaman semak dan perdu, serta penutup tanah dan atau rumput.

3) Pekarangan Rumah Kecil

- kategori yang termasuk rumah kecil adalah rumah dengan luas lahan dibawah 200 m<sup>2</sup>;
- ruang terbuka hijau minimum yang diharuskan adalah luas lahan (m<sup>2</sup>) dikurangi luas dasar bangunan (m<sup>2</sup>) sesuai peraturan daerah setempat;
- jumlah pohon pelindung yang harus disediakan minimal 1 (satu) pohon pelindung ditambah tanaman semak dan perdu, serta penutup tanah dan atau rumput.

**b. RTH Halaman Perkantoran, Pertokoan, dan Tempat Usaha**

RTH umumnya berupa jalur trotoar dan area parkir terbuka.

- 1) Untuk dengan tingkat KDB 70%-90% perlu menambahkan tanaman dalam pot;
- 2) Perkantoran, pertokoan dan tempat usaha dengan KDB diatas 70%, memiliki minimal 2 (dua) pohon kecil atau sedang yang ditanam pada lahan atau pada pot berdiameter diatas 60 cm;
- 3) Persyaratan penanaman pohon pada perkantoran, pertokoan dan tempat usaha dengan KDB dibawah 70%, berlaku seperti persyaratan pada RTH pekarangan rumah, dan ditanam pada area diluar KDB yang telah ditentukan.

**7) Penyediaan RTH Pada Lingkungan Permukiman**

**a. RTH Taman Rukun Tetangga**

Taman Rukun Tetangga (RT) adalah taman yang ditujukan untuk melayani penduduk dalam lingkup 1 (satu) RT, khususnya untuk melayani kegiatan sosial di lingkungan RT tersebut. Berdasarkan standar perumahan maka diperkirakan satu RT terdiri dari sekitar 250 penduduk, maka perkiraan kebutuhan taman Rukun Tetangga

adalah sebagai berikut.

Tabel 7. Perkiraan Kebutuhan RTH Taman Rukun Tetangga Kota Martapura

No	Kelurahan/Desa	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	Pakusengkunyit	13	13	13	14	14	15
2	Pasar Martapura	34	35	36	37	38	39
3	Dusun Martapura	24	24	25	25	26	27
4	Perjaya	6	6	6	7	7	7
5	Keromongan	7	7	7	8	8	8
6	Tanjung Kemala	13	13	14	14	15	15
7	Kota Baru	37	38	39	41	42	43
8	Kota Baru Barat	9	9	10	10	10	10
9	Sukomulyo	7	8	8	8	8	8
	TOTAL	308	316	325	333	342	352

Sumber : Hasil analisa

Luas taman ini adalah minimal 1 m<sup>2</sup> per penduduk RT, dengan luas minimal 250 m<sup>2</sup>. Lokasi taman berada pada radius kurang dari 300 m dari rumah-rumah penduduk yang dilayani. Luas area yang ditanami tanaman (ruang hijau) minimal seluas 70% - 80% dari luas taman. Pada taman ini selain ditanami dengan berbagai tanaman, juga terdapat minimal 3 (tiga) pohon pelindung dari jenis pohon kecil atau sedang.

#### b. Penyediaan RTH Taman Rukun Warga

RTH Taman Rukun Warga (RW) dapat disediakan dalam bentuk taman yang ditujukan untuk melayani penduduk satu RW, khususnya kegiatan remaja, kegiatan olahraga masyarakat, serta kegiatan masyarakat lainnya di lingkungan RW tersebut. Berdasarkan standar perumahan maka diperkirakan satu RW terdiri dari sekitar 1000 penduduk, maka perkiraan kebutuhan taman Rukun Warga adalah sebagai berikut.

Tabel 8. Perkiraan Kebutuhan RTH Taman Rukun Warga Kota Martapura

No	Kelurahan/Desa	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	Pakusengkunyit	3	3	3	3	4	4
2	Pasar Martapura	8	9	9	9	9	10
3	Dusun Martapura	6	6	6	6	7	7
4	Perjaya	2	2	2	2	2	2
5	Keromongan	2	2	2	2	2	2
6	Tanjung Kemala	3	3	3	4	4	4
7	Kota Baru	9	10	10	10	10	11
8	Kota Baru Barat	2	2	2	2	3	3
9	Sukomulyo	2	2	2	2	2	2
	TOTAL	77	79	81	83	86	88

Luas taman ini minimal 0,5 m<sup>2</sup> per penduduk RW, dengan luas minimal 1.250 m<sup>2</sup>. Lokasi taman berada pada radius kurang dari 1000 m dari rumah-rumah penduduk yang dilayaninya. Luas area yang ditanami tanaman (ruang hijau) minimal seluas 70% - 80% dari luas taman, sisanya dapat berupa pelataran yang diperkeras sebagai tempat melakukan berbagai aktivitas. Pada taman ini selain ditanami dengan berbagai tanaman sesuai keperluan, juga terdapat minimal 10 (sepuluh) pohon pelindung dari jenis pohon kecil atau sedang.

#### c. Penyediaan RTH Kelurahan

RTH kelurahan dapat disediakan dalam bentuk taman yang ditujukan untuk



melayani penduduk satu kelurahan. Luas taman ini minimal 0,30 m<sup>2</sup> per penduduk kelurahan, dengan luas minimal taman 9.000 m<sup>2</sup>. Lokasi taman berada pada wilayah kelurahan yang bersangkutan. Untuk Kota Martapura RTH Kelurahan ini setiap kelurahan disediakan satu RTH, jadi keseluruhan terdapat 9 (sembilan) RTH Kelurahan.

Luas area yang ditanami tanaman (ruang hijau) minimal seluas 80% - 90% dari luas taman, sisanya dapat berupa pelataran yang diperkeras sebagai tempat melakukan berbagai aktivitas. Pada taman ini selain ditanami dengan berbagai tanaman sesuai keperluan, juga terdapat minimal 25 (duapuluhlima) pohon pelindung dari jenis pohon kecil atau sedang untuk jenis taman aktif dan minimal 50 (limapuluh) pohon pelindung dari jenis pohon kecil atau sedang untuk jenis taman pasif.

#### **d. Penyediaan RTH Kecamatan**

RTH kecamatan dapat disediakan dalam bentuk taman yang ditujukan untuk melayani penduduk satu kecamatan. Luas taman ini minimal 0,2 m<sup>2</sup> per penduduk kecamatan, dengan luas taman minimal 24.000 m<sup>2</sup>. Lokasi taman berada pada wilayah kecamatan yang bersangkutan. Untuk Kota martapura RTH Kecamatan akan disediakan satu RTH.

Luas area yang ditanami tanaman (ruang hijau) minimal seluas 80% - 90% dari luas taman, sisanya dapat berupa pelataran yang diperkeras sebagai tempat melakukan berbagai aktivitas. Pada taman ini selain ditanami dengan berbagai tanaman sesuai keperluan, juga terdapat minimal 50 (limapuluh) pohon pelindung dari jenis pohon kecil atau sedang untuk taman aktif dan minimal 100 (seratus) pohon tahunan dari jenis pohon kecil atau sedang untuk jenis taman pasif.

### **8) Penyediaan RTH Skala Kota**

#### **a. Penyediaan RTH Taman Kota**

RTH Taman kota adalah taman yang ditujukan untuk melayani penduduk satu kota atau bagian wilayah kota. Taman ini dapat berbentuk sebagai RTH (lapangan hijau), yang dilengkapi dengan fasilitas rekreasi dan olah raga, dan kompleks olah raga. Semua fasilitas tersebut terbuka untuk umum. Jenis vegetasi yang dipilih berupa pohon tahunan, perdu, dan semak ditanam secara berkelompok atau menyebar berfungsi sebagai pohon pencipta iklim mikro atau sebagai pembatas antar kegiatan.

#### **b. Penyediaan RTH Hutan Kota**

Tujuan penyelenggaraan hutan kota adalah sebagai peyangga lingkungan kota yang berfungsi untuk:

- a. Memperbaiki dan menjaga iklim mikro dan nilai estetika;
- b. Meresapkan air;
- c. Menciptakan keseimbangan dan keserasian lingkungan fisik kota; dan
- d. Mendukung pelestarian dan perlindungan keanekaragaman hayati Indonesia.

Di Kota Martapura sudah ada hutan kota yang lokasinya di kawasan perkantoran di Kota Baru. Hutan kota ini berbentuk bergerombol atau menumpuk yang merupakan hutan kota dengan komunitas vegetasi terkonsentrasi pada satu areal, dengan jumlah vegetasi minimal 100 pohon dengan jarak tanam rapat tidak beraturan.

#### **c. Sabuk Hijau**

Sabuk hijau merupakan RTH yang berfungsi sebagai daerah penyangga dan untuk

membatasi perkembangan suatu penggunaan lahan (batas kota, pemisah kawasan, dan lain-lain) atau membatasi aktivitas satu dengan aktivitas lainnya agar tidak saling mengganggu, serta pengamanan dari faktor lingkungan sekitarnya.

Sabuk hijau pembatas kota di Kota Martapura sebenarnya secara alami sudah ada, tetapi karena kepemilikannya masih bersifat privat, maka perlu pengaturan terhadap sabuk hijau pembatas kota ini. Sabuk hijau dapat berbentuk RTH yang memanjang mengikuti batas-batas area atau penggunaan lahan tertentu, dipenuhi pepohonan, sehingga berperan sebagai pembatas atau pemisah.

### 9). Penyediaan RTH Jalur Hijau Jalan

Untuk jalur hijau jalan, RTH dapat disediakan dengan penempatan tanaman antara 20–30% dari ruang milik jalan (rumija) sesuai dengan klas jalan. Untuk menentukan pemilihan jenis tanaman, perlu memperhatikan 2 (dua) hal, yaitu fungsi tanaman dan persyaratan penempatannya. Disarankan agar dipilih jenis tanaman khas daerah setempat, yang disukai oleh burung-burung, serta tingkat evapotranspirasi rendah.

#### a. Pulau Jalan dan Median Jalan

Taman pulau jalan adalah RTH yang terbentuk oleh geometris jalan seperti pada persimpangan tiga atau bundaran jalan. Sedangkan median berupa jalur pemisah yang membagi jalan menjadi dua lajur atau lebih. Median atau pulau jalan dapat berupa taman atau non taman.

#### b. Pada Persimpangan Jalan

Pada beberapa titik persimpangan di Martapura dibentuk sebagai taman yang juga merupakan tempat tugu penanda (signage). Pulau-pulau jalan yang diberi signage ini merupakan pulau jalan yang letaknya strategis di dalam kota.

Beberapa hal penting yang perlu dipertimbangkan dalam penyelesaian lansekap jalan pada persimpangan, antara lain:

- 1) Daerah bebas pandang di mulut persimpangan. Pada mulut persimpangan diperlukan daerah terbuka agar tidak menghalangi pandangan pemakai jalan. Untuk daerah bebas pandang ini ada ketentuan mengenai letak tanaman yang disesuaikan dengan kecepatan kendaraan dan bentuk persimpangannya.
- 2) Pemilihan jenis tanaman pada persimpangan dan penataan lansekap pada persimpangan akan merupakan ciri dari persimpangan itu atau lokasi setempat. Penempatan dan pemilihan tanaman dan ornamen hiasan harus disesuaikan dengan ketentuan geometrik persimpangan jalan.

#### c. RTH Ruang Pejalan Kaki

Ruang pejalan kaki adalah ruang yang disediakan bagi pejalan kaki pada kiri-kanan jalan atau di dalam taman. Ruang pejalan kaki yang dilengkapi dengan RTH harus memenuhi hal-hal sebagai berikut:

- (1) Kenyamanan, adalah cara mengukur kualitas fungsional yang ditawarkan oleh sistem pedestrian yaitu:
  - Orientasi, berupa tanda visual (landmark, marka jalan) pada lansekap untuk membantu dalam menemukan jalan pada konteks lingkungan yang lebih besar;
  - Kemudahan berpindah dari satu arah ke arah lainnya yang dipengaruhi oleh kepadatan pedestrian, kehadiran penghambat fisik, kondisi permukaan jalan dan kondisi iklim. Jalur pejalan kaki harus aksesibel untuk semua orang termasuk penyandang cacat.

(2) Karakter fisik, meliputi:

- Kriteria dimensional, disesuaikan dengan kondisi sosial dan budaya setempat, kebiasaan dan gaya hidup, kepadatan penduduk, warisan dan nilai yang dianut terhadap lingkungan;
- Kriteria pergerakan, jarak rata-rata orang berjalan di setiap tempat umumnya berbeda dipengaruhi oleh tujuan perjalanan, kondisi cuaca, kebiasaan dan budaya. Pada umumnya orang tidak mau berjalan lebih dari 400 m.

### 9) Penyediaan RTH Fungsi Tertentu

Penyediaan RTH fungsi tertentu di Kota Martapura adalah meliputi jalur hijau pada sempadan rel kereta api, jaringan listrik tegangan tinggi, sempadan sungai dan pemakaman.

#### a. Jalur Hijau (RTH) Sempadan Rel Kereta Api

Penyediaan RTH pada garis sempadan jalan rel kereta api merupakan RTH yang memiliki fungsi utama untuk membatasi interaksi antara kegiatan masyarakat dengan jalan rel kereta api. Berkaitan dengan hal tersebut perlu dengan tegas menentukan lebar garis sempadan jalan kereta api di kawasan perkotaan.

#### b. Jalur Hijau (RTH) pada Jaringan Listrik Tegangan Tinggi

Ketentuan lebar sempadan jaringan tenaga listrik yang dapat digunakan sebagai RTH adalah sebagai berikut:

- a) Garis sempadan jaringan tenaga listrik adalah 64 m yang ditetapkan dari titik tengah jaringan tenaga listrik;
- b) Ketentuan jarak bebas minimum antara penghantar SUTT dan SUTET dengan tanah dan benda lain ditetapkan sebagai berikut:

#### c. RTH Sempadan Sungai

RTH sempadan sungai adalah jalur hijau yang terletak di bagian kiri dan kanan sungai yang memiliki fungsi utama untuk melindungi sungai tersebut dari berbagai gangguan yang dapat merusak kondisi sungai dan kelestariannya. Sesuai peraturan yang ada, sungai di perkotaan terdiri dari sungai bertanggung dan sungai tidak bertanggung.

#### d. RTH Pemakaman

Penyediaan ruang terbuka hijau pada areal pemakaman disamping memiliki fungsi utama sebagai tempat penguburan jenazah juga memiliki fungsi ekologis yaitu sebagai daerah resapan air, tempat pertumbuhan berbagai jenis vegetasi, pencipta iklim mikro serta tempat hidup burung serta fungsi sosial masyarakat disekitar seperti beristirahat dan sebagai sumber pendapatan. Pemilihan vegetasi di pemakaman disamping sebagai peneduh juga untuk meningkatkan peran ekologis pemakaman termasuk habitat burung serta keindahan.

## 7. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa penyediaan ruang terbuka hijau, maka ruang terbuka hijau di Kota Martapura terdiri dari ruang terbuka hijau public dan ruang terbuka hijau privat. Ruang terbuka hijau privat terdiri dari RTH di pekarangan rumah maupun halaman perkantoran. Sedang ruang terbuka hijau public terdiri dari RTH di lingkungan permukiman, RTH skala kota, RTH di sepanjang jalur jalan, RTH sabuk hijau dan RTH dengan fungsi khusus.

Berdasarkan analisa penyediaan RTH tersebut, maka penyediaan RTH harus memenuhi kriteria yang diamanatkan dalam UU nomor 6 tahun 2007 tentang Penataan ruang, dimana luasan RTH minimal adalah 30 % dari luas wilayah kawasan perkotaan, yang terdiri dari RTH public 20 % dan RTH privat 10%. Dari hasil perhitungan tersebut maka luasan RTH di Kota Martapura sudah memenuhi syarat luasan 30 % dari luas wilayah kota.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Carr, S, et all, 1992, *Public Space*, Cambridge University.
2. Cooper, Clare, et all, 1998, *People Places*, Van Nostrand Reinhold, New York.
3. Gehl, Jan, 1987, *Life Between Building, Using Public Space*, Van Nostrand Reinhold, New York.
4. Roseland, Mark, 1998, *Toward Sustainable Communities*, New Society Publishers.
5. Shirvani, Hamid, 1985, *Urban Design Process*, Van Nostrand Reinhold, New York
6. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor : 05/PRT/M/2008 Tentang Pedoman Penyediaan Dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau Di Kawasan Perkotaan.

## Estimasi Potensi Pengurangan Kemacetan Lalu Lintas Jalan Raya Pada Jam Puncak Berbasis Kebutuhan Riil Mobilitas Orang dan Barang

Ibnu Hisyam

Staf Pengajar Jurusan Teknik Industri ITS – Surabaya

E-Mail : [ibnuhisyam@gmail.com](mailto:ibnuhisyam@gmail.com)

### Abstrak

*Sistem perjalanan dan parkir terpadu ( park and ride integrated system-PARIS) merupakan konsep baru dalam sistem pelayanan transportasi yang responsive terhadap permintaan. Konsep ini merupakan sistem transportasi multimoda yang memadukan antara kendaraan pribadi dan kendaraan umum. Ketepatan daerah operasional diupayakan pada konsep ini dengan menempatkan transportasi umum pada daerah pusat kegiatan(DPK) yang ramai dan transportasi pribadi ditempatkan pada bagian lain dari kota yang relative lebih sepi. Tempat parkir kendaraan pribadi dan halte atau terminal angkutan umum menjadi titik temu antara dua moda tersebut. Untuk mendukung konsep itu makalah ini ditujukan untuk mengestimasi potensi pengurangan kemacetan lalu lintas jalan raya jam puncak pada DPK berbasis kebutuhan riil mobilitas orang dan barang dengan penggunaan transportasi umum dengan pangsa pelayanan yang diharapkan. Basis perhitungan aliran lalu lintas bukan pada kendaraan, akan tetapi pada jumlah orang dan berat atau volume barang yang melintas pada jalan raya di DPK yang merupakan kebutuhan riil mobilitas masyarakat. Pengambilan data menggunakan teknik sampling secara acak dalam interval waktu jam puncak dan pada titik-titik pengambilan sample yang representative di seluruh jalan raya DPK. Jam puncak ditetapkan pada hari puncak ( Senin dan Jum'at). Dari data yang dikumpulkan distribusi dan parameternya diketahui sehingga potensi pengurangan kemacetannya dapat diketahui dengan tingkat pelayanan sistem transportasi yang diharapkan dan tingkat kepercayaan tertentu. Untuk menghitung jumlah kendaraan yang diperlukan untuk mengangkut orang dan barang pada jam puncak di daerah DPK digunakan simulasi eksperimen statistik dengan pendekatan sistem antrian untuk kedatangan permintaan riil mobilitas. Pengurangan kemacetan lalu lintas jalan raya DPK diukur dari selisih kecepatan ruang rata-rata(km/jam) pada situasi terbaik yang mungkin dari sistem pelayanan PARIS dikurangi kecepatan ruang rata-rata(km/jam) untuk kondisi yang ada. Untuk memastikan berapa besar pangsa penggunaan transportasi umum terlebih dahulu dikembangkan model pilihan moda pada daerah studi yang menjadi bagian dari model simulasi tersebut.*

Kata kunci : *sistem perjalanan dan parkir terpadu; transportasi multimoda ; Simulasi Monte Carlo; sistem antrian ; kecepatan ruang rata-rata(km/jam).*

### 1. PENDAHULUAN

Sistem perjalanan dan parkir terpadu ( park and ride integrated system-PARIS) merupakan konsep baru dalam sistem pelayanan transportasi yang responsive terhadap permintaan. Konsep ini merupakan sistem transportasi multimoda yang memadukan antara kendaraan pribadi dan kendaraan umum. Ketepatan daerah

operasional diupayakan pada konsep ini dengan menempatkan transportasi umum pada daerah pusat kegiatan(DPK) yang ramai dan transportasi pribadi ditempatkan pada bagian lain dari kota yang relative lebih sepi. Tempat parkir kendaraan pribadi dan terminal atau halte angkutan umum menjadi titik temu antara dua moda tersebut.

Konvergensi proses perubahan perilaku pelaku perjalanan berulang (komuter) dapat diharapkan lebih pasti ke penggunaan angkutan umum dalam sistem transportasi park and ride. Sebagai pilihan terbaik pengurangan kemacetan lalu lintas jalan raya perkotaan, dari waktu ke waktu kemanfaatan angkutan umum akan semakin dapat dirasakan oleh komuter. Tanggapan nyata yang diharapkan dari perubahan ini adalah peningkatan pangsa penggunaan angkutan umum bagi komuter.

Berkaitan dengan angkutan umum untuk mengurangi kemacetan lalu lintas pada jam puncak, dua jenis kemacetan ditemui sekaligus. Kemacetan tergantung beban (*dependent load*) dan kemacetan bebas beban (*independent load*) ada di persoalan ini. Kemacetan aliran lalu lintas pada jam puncak karena kepadatan kendaraan di jalan raya dialami oleh kendaraan angkutan umum meskipun beban kosong. Terjebaknya kendaraan umum beban kosong pada kemacetan ini memperpanjang waktu tunggu penggunaanya. Kemacetan lain ditemui pada saat pelaku perjalanan tidak mendapatkan tempat duduk di angkutan umum. Hal ini juga menambah waktu tunggu perjalanan penggunaan angkutan umum. Kemacetan lalu lintas pada angkutan umum beban penuh akan memperpanjang waktu perjalanan di kendaraan. Lamanya waktu tunggu dan waktu di kendaraan umum ini dalam jangka panjang akan mengurangi pangsa dan meningkatkan potensi terjadinya kemacetan bebas beban atau tergantung beban lebih parah.

Dalam sistem transportasi parkir dan jalan, makalah ini ditujukan untuk membahas suatu cara mengestimasi potensi pengurangan kemacetan lalu lintas jalan raya pada jam puncak berbasis kebutuhan riil mobilitas orang dan barang. Kebutuhan perpindahan dari masyarakat tidak dapat diwakili secara langsung dari mobilitas kendaraan pada jam puncak. Pada jam puncak ini kebutuhan mobilitas sebenarnya adalah terjadinya perpindahan barang dan orang dari tempat asal ke tujuan dalam batasan waktu. Pekerja perlu berpindah dari rumah ke tempat kerja pada jam tertentu, berangkat jam 7 sampai jam 8 pagi -misalnya. Demikian juga pemilik barang dan pelaku perjalanan yang lain. Potensi pengurangan kemacetan pada jam puncak dapat diestimasi dari bertambahnya kecepatan ruang rata-rata kendaraan karena berkurang kepadatannya di jalan raya dengan penerapan sistem transportasi alternative tanpa mengurangi volume perpindahan riilnya.

Setelah pendahuluan ini akan dilanjutkan uraian mengenai pernyataan masalah untuk mempertegas persoalan yang akan dipecahkan kemudian kerangka teori yang akan digunakan untuk dasar pengembangan metodologi. Pada metodologi akan dijelaskan tentang cara mengestimasi potensi pengurangan kemacetan lalu lintas jalan raya pada jam puncak berdasarkan kebutuhan riil mobilitas orang dan barang dari masyarakat. Cara ini mencakup data-data yang dibutuhkan dan proses mendapatkannya dan metoda pemecahan masalah yang akan digunakan. Untuk memperjelas metoda yang dikembangkan setelah metodologi akan diberikan contoh numerik penerapan metoda estimasi yang dihasilkan. Di akhir pembahasan akan diberikan bberapa kesimpulan.

## 2. PERNYATAAN MASALAH

Potensi pengurangan kemacetan lalu lintas jalan raya pada jam puncak dapat diketahui dari dua variable. Pertama, tingkat kemacetan lalu lintas jalan raya jam puncak minimal yang mungkin dicapai dengan sistem transportasi usulan. Kedua,



modus tingkat kemacetan lalu lintas jalan raya pada jam puncak dari sistem pelayanan transportasi yang ada. Besarnya potensi itu dapat dihitung dari selisih variable pertama dan variabel kedua. Untuk kepentingan ini, permasalahan yang dihadapi adalah :

1. Bagaimana deskripsi sistem transportasi jalan raya yang ada?
2. Bagaimana distribusi tingkat kemacetan jalan raya pada jam puncak dari sistem transportasi yang ada?
3. Bagaimana deskripsi sistem transportasi usulan yang dikembangkan berdasarkan pemenuhan kebutuhan riil mobilitas orang dan barang dengan kemungkinan kemacetan jalan raya terendah?
4. Bagaimana memperkirakan distribusi kemacetan lalu lintas jalan raya pada jam puncak dalam sistem transportasi usulan?
5. Berapa nilai perkiraan potensi pengurangan kemacetan lalu lintas jalan raya pada jam puncak dengan sistem pelayanan transportasi usulan?

### 3. KERANGKA TEORI

Kerangka teori yang diperlukan untuk menyelesaikan persoalan diatas meliputi pemilihan moda komuter, kemacetan jalan raya, dan kapasitas jalan raya untuk mengetahui pengaruh pengurangan kepadatan lalu lintas terhadap kecepatan ruangan dari kendaraan yang melintas.

#### 3.1 Pemilihan Moda Komuter: Antara Tansportasi Umum dan Kendaraan Pribadi.

Di negara maju yang dimaksud dengan kendaraan pribadi pada umumnya adalah mobil pribadi. Untuk kondisi Indonesia, yang dimaksud kendaraan pribadi ini dapat sepeda motor, mobil, atau sepeda tanpa motor. Pada tulisan ini kendaraan pribadi dibatasi mobil penumpang dan sepeda motor.

Perspektif efisiensi transportasi yang digunakan disini adalah perspektif ekonomi (Levinson, 2004) dengan mobilitas, produktivitas, dan aksesibilitas sebagai suatu yang given. Pemilihan moda dalam perspektif ekonomi ini didasarkan pada surplus konsumen yang dapat diketahui dengan fungsi utilitas. Fungsi utilitas ini merepresentasikan urutan preferensi konsumen. Utilitas dari suatu moda transportasi dalam batasan konsumsi : kendaraan pribadi, bus, kereta api, dan sebagainya (Wilson, 2006). Fungsi utilitas pilihan bus ( misalnya) diperlihatkan pada persamaan (1)

$$U_{bus} = \beta_0 + \beta_1 WT_{bus} + \beta_2 TT_{bus} + \beta_3 C_{bus} \quad (1)$$

Keterangan :

- $WT_{bus}$  : waktu di luar kendaraan (menit)
- $TT_{bus}$  : waktu perjalanan di kendaraan (menit)
- $C_{bus}$  : total biaya trip (dollar)

Parameter  $\beta$  mencerminkan selera, dan bervariasi menurut pendidikan, gender, maksud perjalanan, dan sebagainya. Menurut Manheim (1979),  $\beta_1$  untuk variabel  $WT_{bus}$  dibagi jarak perjalanan dan  $\beta_3$  untuk  $C_{bus}$  dibagi dengan pendapatan rumah tangga konsumen bersangkutan per tahun. Dengan memisalkan jarak perjalanan adalah  $d$  dan pendapatan per tahun  $y$ , persamaan (1) menjadi persamaan (2). Persamaan (3) untuk fungsi utilitas penggunaan kendaraan pribadi. Dengan kedua

fungsi utilitas ini kemungkinan komuter dari kelompok penghasilan  $y$  memilih transportasi umum diperlihatkan pada persamaan (4).

$$U_{bus} = \beta_0 + \beta_1 WT_{bus} / d + \beta_2 TT_{bus} + \beta_3 C_{bus} / y \quad (2)$$

$$U_{pri} = \beta_0 + \beta_1 WT_{pri} / d + \beta_2 TT_{pri} + \beta_3 C_{pri} / y \quad (3)$$

$$p_{bus} = \frac{e^{U_{bus}}}{e^{U_{bus}} + e^{U_{pri}}} = \frac{1}{1 + e^{U_{pri} - U_{bus}}} \quad (4)$$

Pilihan alternatif dapat kontinyu atau diskrit. Pilihan kontinyu dapat menghasilkan solusi kombinasi antara alternatif. Pilihan diskrit bersifat *mutually exclusive*. Analisis pilihan diskrit mengikuti metoda untuk pemilihan antara alternatif secara diskrit. Komponen-komponen keputusannya meliputi pengambil keputusan dan karakteristik sosial ekonominya, alternatif dan atributnya. Pilihan moda komuter, misalnya, pengambil keputusan : pekerja /pelajar; karakteristik : income, umur; alternatif : kendaraan pribadi dan transportasi umum (bus); dan atribut : biaya perjalanan dan waktu di kendaraan.

Pilihan konsumen akan tergantung pada alternatif yang memaksimumkan utilitas pada batas incomenya. Jika  $U$  ( transportasi umum )  $>$   $U$  ( kendaraan pribadi )  $\rightarrow$  pilih transportasi umum. Akan tetapi jika  $U$ (kendaraan pribadi)  $>$   $U$  ( transportasi umum )  $\rightarrow$  pilih kendaraan pribadi.

Pengembangan fungsi utilitas digunakan pendekatan atribut.  $U$ (Transportasi umum) =  $U$ ( waktu jalan kaki, waktu di kendaraan, waktu menunggu, tarif per km-penumpang, dan sebagainya).  $U$ (kendaraan pribadi) =  $U$  ( waktu perjalanan, biaya parkir, dan sebagainya). Dengan anggapan linier,  $U$ (transportasi umum) =  $\beta_1 x$  (waktu jalan kaki) +  $\beta_2 x$  (waktu di kendaraan) + ..... Parameter yang memperlihatkan selera dilibatkan rasio tarif terhadap income ( seperti persamaan (2)). Untuk mengakomodasi variabel-variabel yang belum diketahui ditambahkan parameter  $\beta_0$ .

Untuk dapat menetapkan secara kuantitatif seberapa besar perbaikan atribut pelayanan untuk peningkatan pangsa pelayanan yang diinginkan diperlukan model hubungan antara besarnya pangsa pasar dan atribut-atribut pelayanan transportasi umum. Model ini dapat dikembangkan dari persamaan (2) sampai dengan (4) dengan terlebih dahulu mengkalibrasi dengan data yang dikumpulkan untuk mendapatkan nilai-nilai parameter yang diperlukan.

Yang mungkin dilakukan untuk mendapatkan data ini adalah wawancara dengan atau pengisian quesioner oleh komuter. Data yang perlu didapatkan adalah : personal yang diwawancarai seperti umur, tempat tinggal, dan *income* per tahun ; atribut pelayanan moda yang dipilih seperti : waktu berjalan untuk akses, waktu tunggu transfer, waktu di kendaraan, waktu ber jalan ke tempat tujuan, jarak asal-tujuan, dan ongkos untuk sekali jalan. Dengan jumlah data yang memadai perhitungan parameter model dapat dilakukan. Dengan adanya parameter tersebut model yang dicari sudah didapatkan.

Model yang dihasilkan merupakan model probabilistik statik. Hal ini kurang mencerminkan dunia nyata. Besarnya pangsa pelayanan yang terungkap dari model tidak simultan dengan nilai atribut pelayanan yang diterima konsumen. Probabilitas pilihan modanya tertinggal satu perioda keputusan. Untuk menjadi simultan kondisi

statik diubah menjadi dinamik (Hisyam,2009). Dengan perubahan ini membawa konsekuensi pada perubahan persamaan (4 ) menjadi persamaan (5).

$$p_{bus(t)} = p_{bus(t-1)} + \Delta p_{bus(t-1)} \times t$$

$$p_{bus(t)} = p_{bus(t-1)} \times \{ 1 + F \times t \} \quad (5)$$

keterangan :

F : kecepatan perubahan pangsa pelayanan transportasi umum t-1 yang dinyatakan dalam proporsi setiap t.

$$p_{bus(t-1)} : \frac{1}{1 + e^{U_{pri(t-1)} - U_{bus(t-1)}}}$$

Nilai satu satuan t untuk kenaikan dan penurunan nilai  $p_{bus(t)}$  berbeda. Nilai  $p_{bus(t)}$  naik karena pengguna transportasi pribadi berpindah ke transportasi umum. Periode ini akan lebih pendek dibandingkan perpindahan pengguna transportasi umum ke transportasi pribadi. Hambatan perpindahan konsumen komuter transportasi pribadi ke transportasi umum lebih banyak pada preferensinya terhadap kualitas pelayanan transportasi umum relatif terhadap atribut transportasi pribadi.

### 3.2 KEMACETAN LALU LINTAS

Menggunakan teori antrian, bila tingkat kedatangan dan pelayanan terdistribusi secara random, ada suatu kemungkinan tertentu yang suatu unit kedatangan akan menunggu sebelum mendapatkan pelayanan, dalam hal ini melintas pada suatu ruas jalan. Sebagai suatu hasil standar teori antrian, ekspektasi atau rata-rata delay  $t_D$  untuk satu jalur adalah :

$$t_D = \frac{1}{\mu} \frac{1}{(\mu/\lambda) - 1} = \frac{1}{\mu} \frac{\lambda/\mu}{1 - (\lambda/\mu)} \quad (6)$$

Dengan rata-rata waktu pelayanan tanpa kemacetan adalah  $t_p = 1/\mu$  , waktu proses total rata-rata adalah :

$$t_r = t_p + t_D = \frac{1}{\mu} \left( 1 + \frac{\lambda/\mu}{1 - (\lambda/\mu)} \right) \quad (7)$$

dan

$$\frac{tr}{tp} = 1 + \frac{tD}{tp} = 1 + \frac{\lambda/\mu}{1 - (\lambda/\mu)} = 1 + \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (8)$$

Dengan  $\rho = \lambda/\mu$  ,  $\mu$  kecepatan pelayanan (jumlah kendaraan melintas per satuan waktu) , dan  $\lambda$  kecepatan kedatangan (jumlah kedatangan kendaraan per satuan waktu) (Manheim,1979).

Model yang lebih umum dari (8) adalah persamaan (9). Nilai parameter J dapat diturunkan secara teoritis atau empiris. Untuk kasus distribusi waktu kedatangan Poisson dan waktu pelayanan terdistribusi Erlang , nilai J sama dengan persamaan (10) sehingga waktu waktu tunggu menjadi persamaan (11).

$$\frac{tr}{tp} = 1 + J \frac{\rho}{1-\rho} \quad (9)$$

$$J = \frac{k+1}{2k}, \quad (10)$$

Sehingga

$$t_D = t_p J \frac{\rho}{1-\rho} = t_p \frac{k+1}{2k} \frac{\rho}{1-\rho} \quad (11)$$

### 3.3 Kapasitas Jalan Raya

Untuk kepentingan pergerakannya sendiri, paling penting diperhatikan adalah kapasitas dari jalan. Salah satu definisi kapasitas jalan adalah aliran kendaraan/orang yang menghasilkan kecepatan perjalanan minimum yang dapat diterima dan juga sebagai volume lalu lintas maksimum untuk kondisi aliran bebas yang nyaman (Salter 1990, h.89). tingkat pelayanan untuk jalan ini diklasifikasikan menurut berbagai kondisi arus lalu lintasnya. Range variasi kondisi itu, level tertinggi, dimana aliran yang pengemudi dapat berkendara pada kecepatan yang diinginkan dengan kebebasan bermanufer. Tingkat pelayanan terendah, dalam kondisi berhenti-jalan selama macet.

Hubungan tipikal antara arus lalu lintas, kecepatan (ruang), dan kerapatan dapat diperlihatkan seperti persamaan (12).

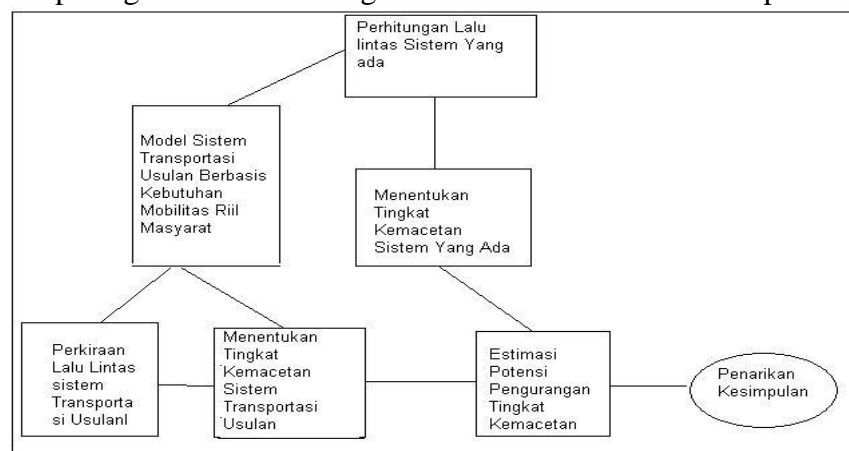
$$V_s = \bar{V}_f - \left( \frac{\bar{V}_f}{D_j} \right) D \quad (12)$$

Keterangan :  $V_s$  : kecepatan rata-rata ruang,

$\bar{V}_f$  : kecepatan untuk bebas manufer, dan  $D$  : kerapatan lalu lintas pada saat macet

## 4.METODOLOGI

Metodologi ini disusun untuk menjawab persoalan yang dinyatakan sebelumnya mengikuti prinsip dan rumusan dalam kerangka teori. Peta aliran dari metodologi ini diperlihatkan pada gambar 2. Perhitungan aliran lalu lintas dilakukan pada ruas jalan



**Gambar 2** : Peta aliran langkah-langkah estimasi pengurangan kemacetan jalan raya berdasarkan kebutuhan riil mobilitas masyarakat.

yang merupakan tempat terjadinya botol leher aliran lalu lintas jalan raya. Cordon area studi ditentukan pada kedudukan pergerakan yang stabil pada ruas jalan tersebut. Pemilihan tempat seperti ini dimaksudkan untuk menghilangkan pengaruh percepatan dan perlambatan sehingga data yang diperoleh dapat mencerminkan situasi sebenarnya ruas jalan tersebut.

Data yang dicatat untuk perhitungan lalu lintas (*traffic counting*) meliputi 1.jumlah kendaraan menurut jenis yang masuk pada titik pengamatan setiap interval waktu pengamatan, 2. waktu mencapai titik awal ruas jalan pengamatan, 3.waktu meninggalkan titik akhir pengamatan( kendaraan yang sama), 4. jumlah orang memasuki ruas jalan pengamatan dalam setiap interval waktu pengamatan, 5.jumlah kendaraan umum yang memasuki ruas jalan pengamatan menurut jenis, 6.jumlah kendaraan pribadi memasuki ruas jalan pengamatan, 7.jumlah kendaraan barang memasuki ruas jalan pengamatan, dan 8. tingkat pengisian setiap kendaraan pengangkut orang. Jumlah orang yang dibutuhkan dalam pengamatan ini minimal 6 orang ( 1 untuk mendapatkan data 1, 1 untuk data 2 dan 3, 1 untuk data 4, 1 untuk pencatatan data 5, 1 untuk pencatatan data 5 dan 7, dan 1 untuk mendapatkan data 8. Waktu pencatatan pada jam puncak ( pagi jam 6<sup>30</sup> – 8<sup>30</sup> dan sore jam 16<sup>30</sup>-18<sup>30</sup>) .Interval waktu pengamatan ditentukan secara acak dengan tetap mempertimbangkan kelayakan operasionalnya. Panjang ruas jalan pengamatan ditentukan 100 m.

Ukuran tingkat kemacetan digunakan kecepatan ruang dari kendaraan yang melintas pada ruas jalan pengamatan pada situasi steady state. Untuk menghitung besar kecepatan ruang dari kendaraan digunakan persamaan (12) setelah dilakukan pengolahan data yang berhasil dikumpulkan. Karena yang digunakan adalah nilai modus dari kecepatan, pengukuran ini diarahkan untuk mendapatkan distribusi nilai yang ditemukan dalam pengamatan.

Model sistem transportasi yang baru diperlihatkan oleh dominansi penggunaan transportasi umum pada daerah pusat kegiatan. Pilihan penggunaan transportasi umum pada sistem park and ride dihadapkan kepada pengguna kendaraan pribadi pada lokasi parkir mendekati DPK. Berapa besar kemungkinan dominansi tersebut dapat dicapai tergantung dari keberanian menjamin ketiadaan kemacetan fasilitas transportasi umum. Pada model sistem transportasi ini akan disimulasikan untuk situasi tidak ada kemacetan fasilitas. Setiap kedatangan permintaan jasa angkutan umum dikondisikan selalu ada kursi kosong. Dengan demikian headway ditempat pemberangkatan akan bersifat dinamis menyesuaikan dengan standar pelayanan. Besarnya pangsa penggunaan transportasi umum diturunkan dari kualitas pelayanan yang diberikan. Berdasarkan kebutuhan riil mobilitas, kedatangan permintaan didefinisikan dengan kedatangan orang atau barang memasuki daerah pelayanan. Jumlah kendaraan yang beroperasi dalam jaringan tergantung dari kebutuhan riil mobilitas tersebut.

Seperti halnya pengukuran untuk sistem yang ada, sistem transportasi usulan juga dicari nilai distribusi kecepatan selama waktu pengamatan. Sistem baru didapatkan dari situasi pelayanan baru. Pengurangan kemacetan lalu lintas yang dapat dicapai diperkirakan dengan menggunakan model simulasi komputer.

Karena yang diestimasi adalah besarnya potensi pengurangan tingkat kemacetan, nilai variable kecepatan yang diukur dipilih yang menghasilkan selisih terbesar dari kemacetan terparah yang ditemui pada sistem yang lama dan tingkat kemacetan terendah pada sistem yang baru.

## 5. APLIKASI NUMERIK

Aplikasi numeric untuk pemilihan moda logit biner dinamik dapat dilihat di Hisyam,2008. Tabel 1 memperlihatkan hasil perhitungan arus lalu lintas di suatu ruas jalan yang menjadi botol leher aliran lalu lintas pada jam puncak ( pagi hari). Tabel 2 merupakan hasil simulasi sistem baru yang mengutamakan penggunaan transportasi umum bus. Pada sistem baru yang tidak mengurangi kapasitas jaringan dapat

**Tabel 1 : Hasil Perhitungan Lalu Lintas**

Jam	Bus	Mbus	Izusu	Bemo	Mniaga	Mktr	SPDM	MBRG	JSMP
630-635	1	1	1	2	5	14	30	2	44
635-640		2			10	12	25		41
640-645	1	1	1	1	20	12	35		62.5
645-650		1	1		5	13	40		40
650-655	2	1			5	11	34		38.1
655-700		2	1	1	3	10	36		35.4
700-705	1	2			6	5	32		32.8
705-710		1	1		7	2	30		28
710-715	1	1		1	12	4	25		37
715-720			2		12	8	20	3	41.5
720-725	2	1		1	15	8	19		45.1
725-730		2	1		2	11	30	1	33
730-735	1	2		1	8	12	23		40.2
735-740	1	1	2		5	13	29		39.1
740-745	1	1	1	1	8	12	34		44.1
745-750		1			10	12	40		45
750-755	1		1	1	12	12	38		49.7
755-800	1				12	14	24	2	46.6
800-805	2	1	1	1	15	11	40		58
805-810	2	2			8	10	25	3	44.5
810-815		1	1	1	13	12	34	4	55.6
815-820	1				14	13	35		50
820-825	1	1	2	1	15	13	20		51.5
825-830	1	1	1	1	20	13	24		59.1

Sumber : Survey Penulis,2011.

mengurangi kepadatan lalu lintas jalan raya. Rata-rata kedatangan kendaraan dalam satuan mobil penumpang 44.24 smp per 5 menit untuk sistem lama menjadi tinggal 24.94 smp dalam 5 menit untuk sistem baru. Kecepatan rata-rata jam puncak pada waktu pengamatan 16 km/jam. Untuk sistem yang lama kerapatan lalu lintasnya dapat diperkirakan dengan membagi Q dengan  $V_s$ . Untuk waktu 1 jam.  $Q = 44,24 \times 12 = 530,9$  smp/jam. Adanya kecepatan rata-rata 16 km/jam berarti kerapatan lalu lintasnya adalah 33.18 smp/km. Pada tingkat pelayanan jaringan yang ada, kecepatan bebasnya 74 km/jam. Dengan data-data ini kecepatan sistem yang baru dapat diperkirakan menggunakan persamaan (12). Hasil perhitungannya adalah sebesar 35.67 km/jam.

**Tabel 2: Perkiraan arus lalu lintas menurut kebutuhan riil pergerakan**

Jam	T					
	J.orang	Mpribadi(jiwa)	umum(jiwa)	Mpribadi	Bus	JSMP
630-635	181	54.3	127	21.72	3	27.72
635-640	132	39.6	92	15.84	2	19.84
640-645	222	66.6	156	26.64	3	32.64
645-650	133	39.9	94	15.96	2	19.96
650-655	198	59.4	39	23.76	1	25.76
655-700	143	42.9	101	17.16	2	21.16
700-705	161	48.3	123	19.32	2	23.32



705-710	102	30.6	72	12.24	2	16.24
710-715	155	46.5	109	18.6	2	22.6
715-720	106	31.8	75	12.72	1	14.72
720-725	208	62.4	146	24.96	3	30.96
725-730	125	37.5	88	15	2	19
730-735	176	52.8	124	21.12	2	25.12
735-740	174	52.2	123	20.88	3	26.88
740-745	184	55.2	129	22.08	2	26.08
745-750	134	40.2	94	16.08	2	20.08
750-755	182	54.6	128	21.84	3	27.84
755-800	145	43.5	102	17.4	2	21.4
800-805	257	77.1	178	30.84	3	36.84
805-810	212	63.6	149	25.44	3	31.44
810-815	154	46.2	108	18.48	3	24.48
815-820	166	49.8	117	19.92	2	23.92
820-825	198	59.4	139	23.76	3	29.76
825-830	207	62.1	145	24.84	3	30.84

Sumber: Pengolahan,2011.

## 6. KESIMPULAN

Dari uraian di depan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Dari struktur model pilihan moda transportasi logit biner, pilihan pelaku perjalanan tidak bersifat mutlak. Moda transportasi yang memberikan kepuasan lebih besar dalam memenuhi kebutuhan mobilitasnya berpeluang lebih besar dipilih sebagai moda transport.
- Adanya sistem pelayanan baru transportasi Park and Ride memberi peluang lebih luas kepada transportasi umum berperan besar dalam transportasi kota pada daerah pusat-pusat kegiatan yang ramai dengan nilai ruang yang sangat tinggi.
- Perhitungan arus lalu lintas ditambah dengan pengukuran kecepatan ruang kendaraan yang melintas dapat digunakan untuk mengestimasi potensi pengurangan kemacetan lalu lintas jalan raya pada jam puncak.
- Masalah transportasi saling memiliki keterkaitan yang kuat sehingga masalah yang menjadi induk dari persoalan dapat dipecahkan terlebih dahulu, masalah cabang-cabangnya menjadi lebih mudah dipecahkan atau bahkan selesai dengan sendirinya. Kemacetan fasilitas, misalnya. Karena jumlah kendaraan yang memberi pelayanan tidak mencukupi kebutuhan mobilitas sehingga waktu tunggu menjadi lebih panjang. Waktu tunggu yang panjang mendorong pelaku perjalanan menggunakan kendaraan pribadi yang membawa akibat meningkatnya kerapatan kendaraan di jalan raya.
- Perubahan sistem transportasi jalan raya perkotaan dengan mengutamakan transportasi umum yang tetap memperhitungkan kebutuhan riil mobilitas masyarakatnya memiliki potensi besar dalam pengurangan kemacetan lalu lintas. Dari contoh perhitungan potensi itu bias mencapai 100%.

## 7. REFERENSI

Anonymous, Managing Urban Traffic Congestion, summary documents, **European Conference of Ministers of Transport**, OECD,2004

Hisyam,Ibnu, Penentuan Kebijakan Pelayanan Transportasi Umum Pengumpan Bus Jalur Coridor Untuk Komuter Perkotaan, **Proceeding Seminar Nasional Teknologi Simulasi IV**, Lab.Simulasi dan Komputasi UGM, Yogyakarta, 2008.

Levinson, David, 2003. Perspective on efficiency in transportation, **International Journal of Transport Management** 1(2003) 145-155.

Lozano,A. et. Al, An algorithm for the recognition of levels of congestion in road traffic problems, **Mathematics and Computers in Simulation** 79 (2009) 1926-1934.

Manheim, M.L, 1979. **Fundamentals of Transportation System Analysis Volume 1 : Basic Concepts**, The MIT Press, Massachusetts

Shen, Wei and Zhang, HM, Pareto-improving ramp metering strategies for reducing congestion in the morning commute, **Transportation Research Part A** 44(2010)676-696, Elsevier Ltd.

Wilson, NHM, 2006 Modeling/Equilibrium/Demand, **Material Courses of Introduction to Transportation Systems** ,MIT, falls,2006.

. Velechovsky, Kampf, Velechovsky, Milan, Transportation System Alternatives, **Number III, Volume VI, July 2011.**

## PEMODELAN STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT BETON BERTULANG RANGKA TERBUKA SIMETRIS DI DAERAH RAWAN GEMPA DENGAN METODA ANALISIS *PUSHOVER*

Siti Aisyah N.<sup>1\*</sup> dan Yoga Megantara<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Balai Diklat Wilayah VII Kementerian Pekerjaan Umum,  
Jl. K.S. Tubun No.12, Lapangan Hatta, Palembang

<sup>2</sup>Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum  
Jl. Panyaungan, Cileunyi Wetan, Bandung 40393

\*Koresponensi Pembicara. Phone: +62 711 359410, Fax: +62 711 377251  
Email: nurjannah\_sa@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Negara Indonesia terletak di antara beberapa lempeng tektonik dunia, yaitu lempeng Australia yang bergerak ke arah utara, lempeng Pasifik yang bergerak ke arah barat laut, dan lempeng Eurasia, sehingga sering mengalami gempa bumi. Dalam peraturan tentang kegempaan SNI 03-1726-2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung, disebutkan salah satu metoda untuk menganalisis kinerja struktur suatu bangunan dalam kondisi pasca elastik akibat beban gempa adalah analisis *pushover* atau yang umum disebut metoda statis nonlinier. Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk memperlihatkan bahwa struktur yang telah memenuhi syarat kekuatan sesuai dengan peraturan desain gedung bertingkat masih memerlukan analisis lebih jauh untuk mengukur kinerja model struktur bangunan gedung di bawah beban gempa dalam kondisi pasca elastik. Metoda penelitian yang digunakan untuk menganalisis model struktur bangunan gedung adalah analisis *pushover* berdasarkan SNI 03-1726-2002, Federal Emergency Management Agency (FEMA) 273, FEMA 356, dan Applied Technology Council (ATC)-40. Kinerja model struktur bangunan gedung yang terletak di Wilayah Gempa 4 Tanah Sedang di Indonesia dianalisis untuk mendapatkan tingkat kinerja struktur tersebut terhadap berbagai macam beban, termasuk beban gempa. Hasil analisis *pushover* memperlihatkan bahwa model struktur mempunyai tingkat kinerja *Immediate Occupancy* (IO) menurut ATC-40 atau pada tingkat *Collapse Prevention* (CP) menurut FEMA 273. Analisis selanjutnya dengan beban Gempa Wilayah 6 Tanah Sedang yang mempunyai *Peak Ground Acceleration* (PGA) lebih tinggi daripada Wilayah Gempa 4 Tanah Sedang memperlihatkan bahwa model struktur masuk dalam tingkat *Damage Control* menurut FEMA 273 atau *Collapse Prevention* menurut ATC-40 serta mempunyai lokasi titik kinerja (*performance point*) lebih tinggi. Lokasi titik kinerja ini menunjukkan bahwa struktur di Wilayah Gempa 6 lebih rentan terhadap beban gempa rencana. Hal ini perlu diwaspadai karena berdasarkan peta gempa terbaru yang terdapat di dalam RSNI 03-1726-201x Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, nilai PGA di semua wilayah Indonesia lebih tinggi daripada nilai PGA pada peta gempa yang terdapat di dalam SNI 03-1726-2002.

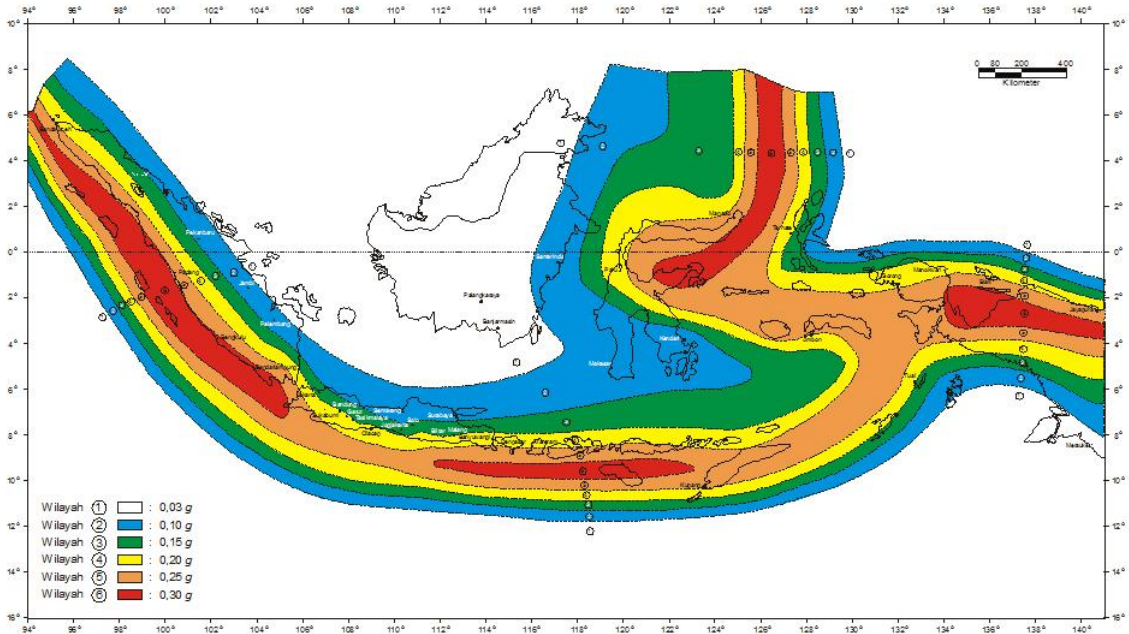
**Kata Kunci:** analisis *pushover*, *Peak Ground Acceleration*, spektra kapasitas, spektra kebutuhan, titik kinerja, wilayah gempa.

## 1. PENDAHULUAN

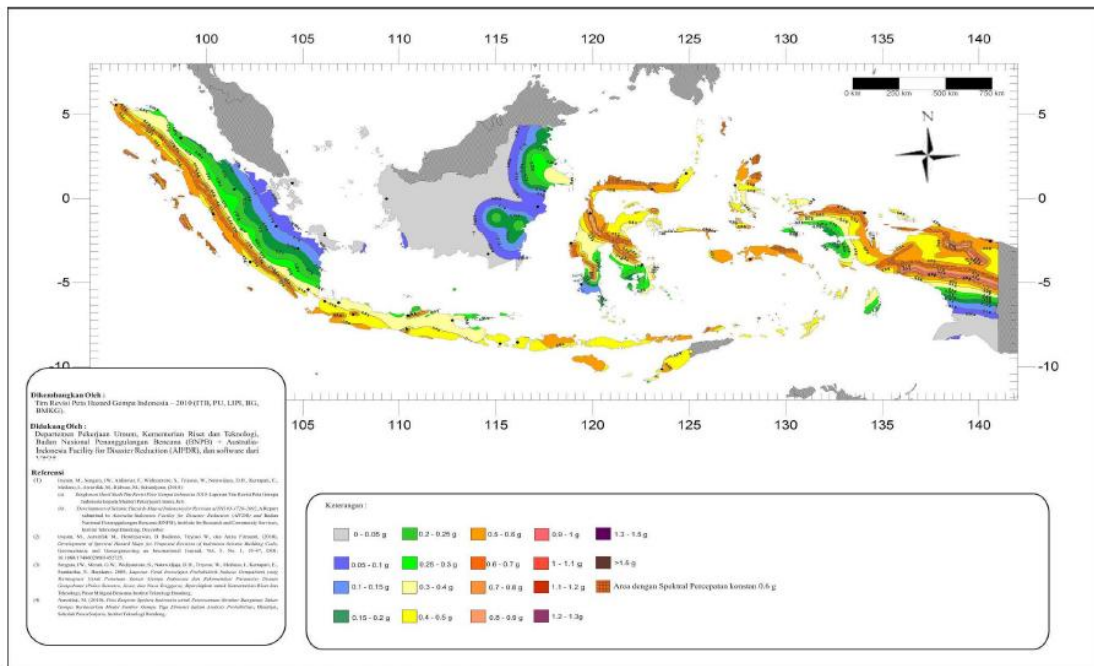
Negara Indonesia terletak di antara beberapa lempeng tektonik dunia, yaitu lempeng Australia yang bergerak ke arah utara, lempeng Pasifik yang bergerak ke arah barat laut, dan lempeng Eurasia, sehingga sering mengalami gempa bumi. Hal tersebut menyebabkan kondisi bangunan dalam keadaan rawan terhadap bahaya gempa. Maka, perencanaan struktur bangunan harus memenuhi kaidah ketahanan struktur. Bangunan gedung di Indonesia pada umumnya terdiri dari rangka beton bertulang konvensional. Fungsi bangunan-bangunan tersebut adalah sebagai rumah tinggal satu ataupun dua lantai, kantor, apartemen, rumah susun, rumah toko, ataupun fungsi lain. Perencanaan struktur gedung tersebut pada umumnya menggunakan metoda linier dinamik (spektra respon) dengan nilai kemampuan nominal struktur harus sama atau lebih besar dari nilai total beban terfaktor (metode perencanaan batas). Perencanaan dengan metode tersebut tidak memperlihatkan kondisi struktur bangunan pasca elastik di mana bangunan bisa mencapai batas kekuatannya dalam mekanisme keruntuhan, terutama akibat beban gempa. Dalam peraturan tentang kegempaan SNI 03-1726-2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung, disebutkan salah satu metoda untuk menganalisis kinerja struktur suatu bangunan dalam kondisi pasca elastik akibat beban gempa adalah analisis *pushover* atau yang umum disebut metoda statis nonlinier.

Pembagian wilayah Indonesia berdasarkan kekuatan gempa rencana (nominal) dalam SNI 03-1726-2002 diperlihatkan pada Gambar 1. Pada peta gempa Indonesia versi tahun 2010 yang terdapat dalam RSNI 03-1726-201x, nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) di semua wilayah Indonesia mengalami peningkatan seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 2. Hal ini menyebabkan beban gempa rencana yang harus ditahan oleh struktur bangunan menjadi lebih besar. Sebagai perbandingan, nilai PGA Wilayah 4 pada peta gempa versi tahun 2002 adalah 0,20 g, sedangkan nilai PGA sebagian Wilayah 4 pada peta gempa versi tahun 2010 adalah 0,40-0,50 g. Nilai ini bahkan lebih besar daripada PGA pada Wilayah 6 peta gempa versi 2002 sebesar 0,30 g. Maka, perencanaan struktur bangunan baru ataupun pemeriksaan bangunan yang telah berdiri harus memperhatikan faktor peningkatan kekuatan gempa nominal dalam menilai kinerja struktur tersebut.

Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk memperlihatkan bahwa struktur yang telah memenuhi syarat kekuatan menggunakan metode perencanaan batas sesuai dengan peraturan desain gedung bertingkat masih memerlukan analisis lebih jauh untuk mengukur kinerja model struktur bangunan gedung di bawah beban gempa dalam kondisi pasca elastik, serta untuk memperlihatkan perlunya kehati-hatian dalam perencanaan atau pemeriksaan struktur gedung akibat adanya bahaya gempa di Indonesia.



**Gambar 1.** Wilayah Gempa Indonesia dengan Percepatan Puncak Batuan Dasar Menggunakan Periode Ulang 500 Tahun (Sumber: SNI 03-1726-2002)

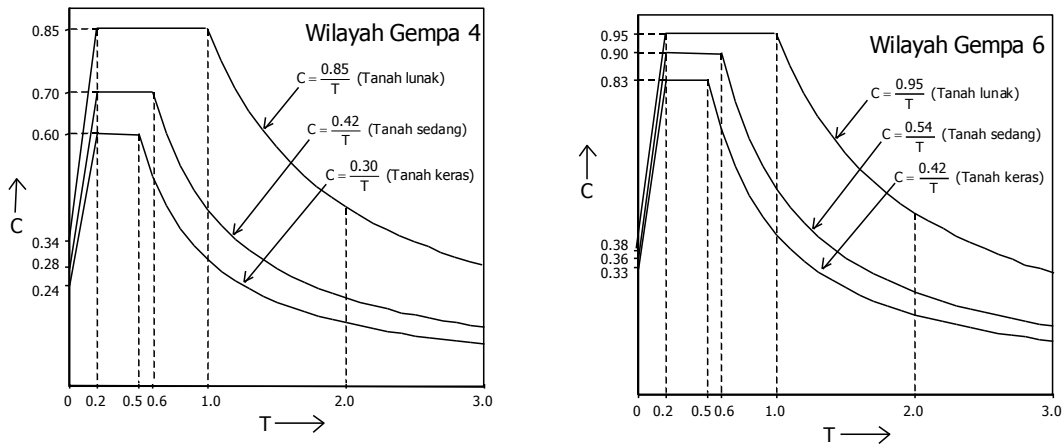


**Gambar 2.** Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Rata-rata Geometrik (MCEG), Kelas Situs SB (Sumber: RSNI 03-1726-201x)

## 2. BAHAN DAN ALAT

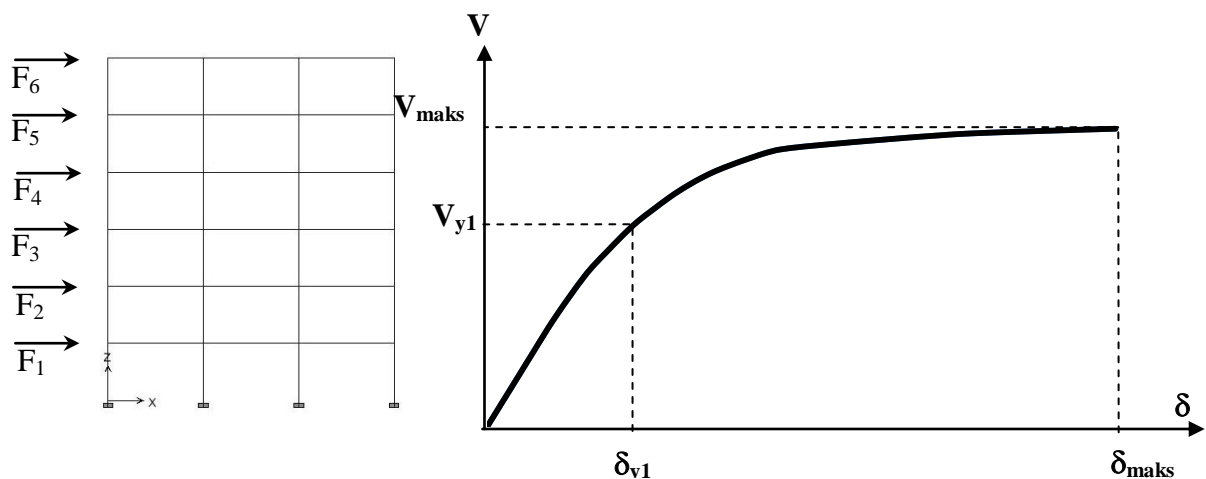
Beban gempa yang digunakan dalam pemodelan adalah berdasarkan pada peta gempa dalam SNI 03-1726-2002. Bentuk spektra respon Wilayah Gempa 4 dan Wilayah Gempa 6 sebagai input model struktur adalah seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 3.





**Gambar 3.** Spektra Respon Gempa Nominal pada Wilayah Gempa 4 dan Wilayah Gempa 6 (Sumber: SNI-1726-2002)

Analisis *pushover* adalah suatu cara untuk menganalisis struktur dengan beban statik monotonik yang diaplikasikan sepanjang ketinggian struktur dan ditingkatkan sampai simpangan pada puncak atas struktur mencapai simpangan target. Dalam proses *pushover*, satu sendi plastis akan mencapai kondisi leleh pertama yang kemudian diikuti dengan kondisi leleh pada sendi-sendi plastis lainnya. Hal ini terus berlanjut sampai akhirnya, simpangan pada puncak struktur mencapai simpangan target atau struktur memasuki kondisi tidak stabil. Proses *pushover* bisa dilakukan dengan prosedur *load-controlled* atau *displacement-controlled* (Oguz, 2005). Prosedur *load-controlled* digunakan jika beban yang diaplikasikan telah diketahui nilainya. Misalnya, beban gravitasi bisa diaplikasikan dalam *pushover load-controlled*. Prosedur *displacement-controlled* biasanya digunakan jika beban yang bisa ditahan oleh suatu struktur belum diketahui dengan pasti. Sehingga, beban tersebut ditingkatkan sampai struktur mencapai suatu nilai simpangan target. Spektra kapasitas struktur dalam analisis *pushover* adalah seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 4.



**Gambar 4.** Struktur Bangunan Gedung yang Mendapat Beban Gempa dan Spektra Kapasitas (Sumber: SNI – 1726 – 2002)

dengan





- $\square_{maks}$  : simpangan maksimum struktur pada saat terjadinya sendi plastis terakhir sebelum runtuh
- $\square_{y1}$  : simpangan maksimum struktur pada saat terjadinya sendi plastis pertama
- $V_{y1}$  : gaya geser saat leleh pertama
- $V_{maks}$  : gaya geser maksimum

Penelitian dilakukan dengan menggunakan suatu model struktur bangunan gedung dengan konfigurasi dimensi yang simetris setinggi enam lantai menggunakan struktur rangka beton bertulang. Model tersebut mendapat beban gravitasi (beban hidup dan beban mati) serta beban gempa di Wilayah Gempa 4 Tanah sedang dan Wilayah Gempa 6 Tanah Sedang berdasarkan SNI 03-1726-2002. Penilaian kinerja struktur mengacu pada SNI 03-1726-2002, ATC-40, dan FEMA 273.

Dalam tulisan ini, kinerja struktur diperoleh dengan analisis nonlinier *pushover*. Tingkat kinerja struktur yang diatur dalam ATC-40 adalah seperti yang dijelaskan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Uraian tentang Tingkat Kinerja Bangunan Gedung berdasarkan FEMA 273 diperlihatkan pada Tabel 3. Spektra kapasitas menurut ATC-40 dan FEMA 273 adalah berturut-turut seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

**Tabel 1**

Batas Deformasi Bangunan Gedung (Sumber: ATC-40, 1996)

<b>Tingkat Kinerja</b>				
<i>Interstory Drift Limit</i> (Batas Simpangan Antar Lantai)	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
<i>Maximum Total Drift</i> (Simpangan Total Maks.)	0.01	0.01-0.02	0.02	0.33 $V_i/P_i$
<i>Maximum Inelastic Drift</i> (Simpangan Nonelastik Maks.)	0.005	0.005-0.015	<i>No Limit</i>	<i>No Limit</i>

**Tabel 2**

Tingkat Kinerja Struktural (Sumber: ATC-40, 1996)

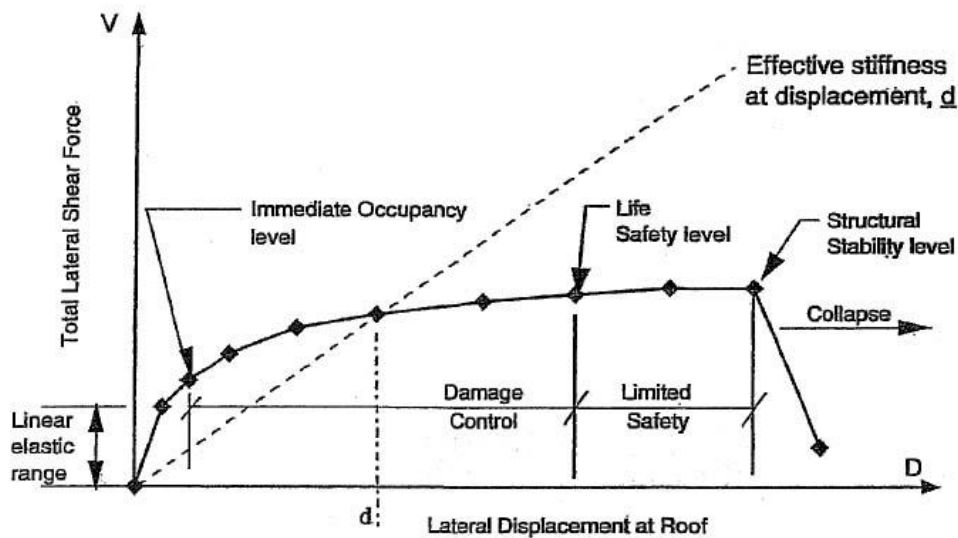
No.	Tingkat Kinerja	Uraian
1	SP-1	<i>Immediate Occupancy</i> (Penggunaan Sedang)
2	SP-2	<i>Damage Control</i> (Kontrol Kerusakan)
3	SP-3	<i>Life Safety</i> (Aman untuk Dihuni)
4	SP-4	<i>Limited Safety</i> (Keamanan Terbatas)
5	SP-5	<i>Structural Stability</i> (Stabilitas Struktural)
6	SP-6	<i>Not Considered</i> (Tidak Diperhitungkan)

**Tabel 3**

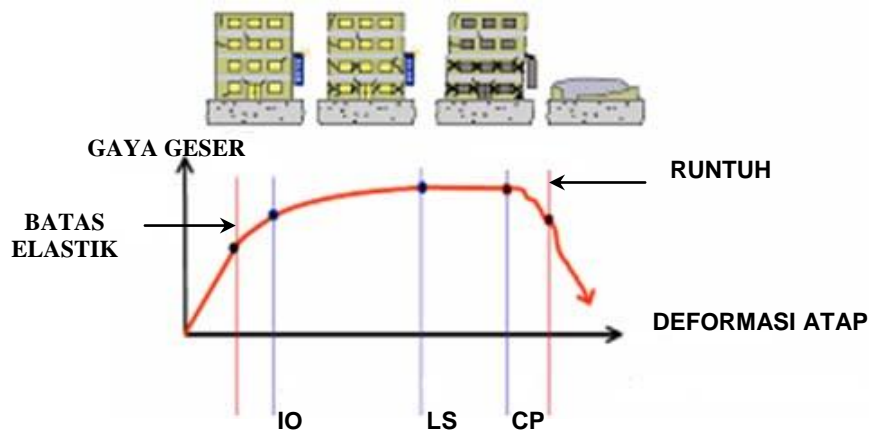
Tingkat Kinerja Bangunan Gedung (Sumber: FEMA 273, 1997)

No.	Tingkat Kinerja	Uraian
1	<i>Operational Level</i> (Tingkat Operasional)	Peralatan utilitas masih berfungsi; terdapat sedikit kerusakan
2	<i>Immediate Occupancy Level</i> (Tingkat Penggunaan Sedang)	Bangunan menerima “tanda hijau” (aman untuk digunakan) dari hasil pemeriksaan; perlu

	sedikit perbaikan
3 <i>Life Safety Level</i> (Tingkat Aman untuk Dihuni)	Struktur tetap stabil dan mempunyai kapasitas pelayanan cukup; kerusakan bagian nonstruktural masih terkontrol.
4 <i>Collapse Prevention Level</i> (Tingkat Pencegahan Keruntuhan)	Bangunan tetap berdiri, hampir runtuh; kerusakan atau kehilangan lain masih diperkenankan.



Gambar 5. Spektra Kapasitas (Sumber: ATC-40, 1996)



Gambar 6. Spektra Kapasitas (Sumber: FEMA 273, 1997)

Nilai perpindahan maksimum dan gaya geser yang terjadi sebelum runtuh disebut sebagai titik kinerja (*performance point*). Penentuan titik kinerja dapat diperoleh dengan metoda yang dipaparkan dalam ATC-40, FEMA 356, FEMA 440, dan SNI 03-1726-2002.

Dalam pemodelan, nilai faktor reduksi gempa adalah 8,5 dan nilai daktilitas asumsi awal adalah 5,3 dengan mengacu pada Tabel 2 SNI 03-1726-2002. Analisis struktur menghasilkan dimensi dan detil tulangan balok, kolom dan pelat yang

mempunyai kekakuan struktur tertentu, sehingga nilai waktu getar alami pertama adalah kurang dari satu detik. Detil tulangan yang merupakan keluaran program digunakan sebagai input model penampang dengan program *Reponse-2000* untuk memperoleh grafik momen-kelengkungan. Grafik tersebut dianalisis untuk memperoleh nilai *property hinge* penampang balok dengan berbagai detil tulangan tertentu. Nilai *property hinge* kolom adalah sesuai dengan nilai *default* program. Beban gravitasi menjadi input *load-controlled pushover* dan beban lateral gempa monotonik ditingkatkan sampai simpangan atap struktur mencapai nilai tertentu (*displacement-controlled*). Dalam tahap pertama analisis *pushover*, model mendapat beban gempa pada Wilayah Gempa 4 Tanah Sedang. Dalam tahap analisis *pushover* selanjutnya, beban ditingkatkan dengan cara memberikan beban gempa berdasarkan Wilayah Gempa 6 Tanah Sedang. Hasil analisis *pushover* dibandingkan untuk memperoleh informasi perbedaan kinerja dari kedua model struktur tersebut.

Data model struktur bangunan adalah seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4 dan Tabel 5. Bentuk model struktur adalah seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 7. Jarak antar kolom pada arah sumbu X adalah sama dengan jarak antar kolom pada arah sumbu Y, yaitu 6 meter.

**Tabel 4**

Data Model Struktur

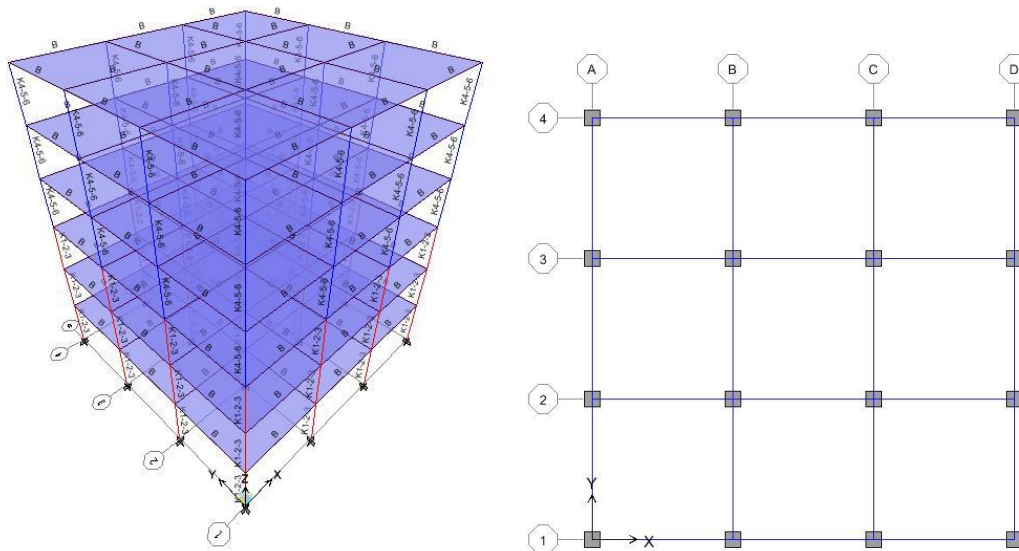
No.	Subjek	Data
1	Fungsi Bangunan Gedung	Kantor
2	Faktor Keutamaan	1
3	Jarak Antar Kolom pada Arah Sumbu-X	6 meter
4	Jarak Antar Kolom pada Arah Sumbu-Y	6 meter
5	Tinggi Tingkat	3,6 meter
6	Jumlah Tingkat	6
7	Kuat Tekan Beton ( $f_c'$ )	35 MPa
8	Kuat Leleh Baja Tulangan Longitudinal ( $f_y$ )	400 MPa
9	Kuat Leleh Baja Tulangan Sengkang ( $f_y$ )	240 MPa
10	Dimensi Kolom pada Lt. 1-3	650 x 650
11	Detil Tulangan Kolom pada Lt. 1-3	12 D22
12	Dimensi Kolom pada Lt. 4-6	550 x 550
13	Detil Tulangan Kolom pada Lt. 4-6	8 D22
14	Dimensi Balok Semua Lantai	250 x 500
15	Tebal Pelat (Membran) Lt. 1-6	120 mm
16	Detil Tulangan Pelat Lt. 1-6	□10-200; dua arah

**Tabel 5**

Detil Tulangan Balok pada Setiap Lantai

Lantai	Balok Pinggir			Balok Tengah		
	Tulangan Tumpuan	Tulangan Lapangan	Tulangan Tumpuan	Tulangan Tumpuan	Tulangan Lapangan	Tulangan Tumpuan

1	3D19	2D19	3D19	3D19	2D19	3D19
	2D19	2D19	2D19	2D19	2D19	2D19
2	3D19	2D19	3D19	4D19	2D19	4D19
	2D19	2D19	2D19	2D19	3D19	2D19
3	3D19	2D19	3D19	4D19	2D19	4D19
	2D19	2D19	2D19	2D19	3D19	2D19
4	3D19	2D19	3D19	3D19	2D19	3D19
	2D19	2D19	2D19	2D19	3D19	2D19
5	2D19	2D19	2D19	3D19	2D19	3D19
	2D19	2D19	2D19	2D19	2D19	2D19
6	2D19	2D19	2D19	3D19	2D19	3D19
	2D19	2D19	2D19	2D19	2D19	2D19



**Gambar 7.** Tampak Tiga Dimensi dan Denah Model Struktur Enam Lantai

Desain dimensi dan detail tulangan balok, kolom dan pelat berdasarkan SNI 03-2847-2002 dengan nilai-nilai faktor yang digunakan dalam proses desain beton bertulang dalam program telah disesuaikan, yaitu (BSN, 2002):

- (tarik lentur) = 0,8
- (tekan terkekang) = 0,7
- (tekan spiral) = 0,75
- (geser) = 0,6

Model struktur mendapat kombinasi beban gravitasi (beban hidup dan beban mati), beban gempa statik, serta kombinasi beban gravitasi dan beban gempa dinamik spektra respon pada arah Sumbu X dan Sumbu Y. Analisis beban gempa statik ekuivalen menggunakan beban gempa statik. Berdasarkan spektra respon pada Gambar 3, untuk Wilayah Gempa 4 Tanah Sedang, nilai Faktor Respon Gempa ( $C_a$ ) adalah 0,28 dan nilai Faktor Respon Gempa Vertikal ( $C_v$ ) adalah 0,42. Untuk Wilayah

Gempa 6 Tanah Sedang, nilai Faktor Respon Gempa ( $C_a$ ) adalah 0,36 dan nilai Faktor Respon Gempa Vertikal ( $C_v$ ) adalah 0,54. Nilai perioda adalah sesuai dengan perioda pertama model struktur. Parameter redaman 5% dan jenis perilaku struktur adalah A (bangunan baru).

Analisis ragam spektrum respon menggunakan spektrum respon Gempa Rencana sebagai beban gempa untuk menentukan respon dinamik struktur gedung tiga dimensi yang berperilaku elastik penuh terhadap pengaruh suatu gempa. Respon dinamik total struktur gedung tersebut didapat sebagai superposisi dari respon dinamik maksimum masing-masing ragamnya (BSN, 2002). Model struktur gedung beraturan, sehingga penjumlahan respon ragam bisa dilakukan dengan metoda Kombinasi Kuadratik Lengkap (*Complete Quadratic Combination*) ataupun Akar Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares*). Dalam pemodelan ini, metoda CQC digunakan untuk perhitungan *Modal Combination* dan metoda SRSS digunakan untuk perhitungan *Directional Combination*. Redaman struktur yang diperhitungkan adalah 5% dari redaman kritis. Nilai spektrum respon dengan redaman 5% untuk setiap tingkat bahaya gempa mewakili respon maksimum struktur yang berhubungan dengan percepatan spektra ( $S_a$ ) selama gempa terjadi sebagai fungsi periode vibrasi ( $T$ ) (BSN, 2002). Nilai parameter gempa yang digunakan dalam analisis ragam spektrum respon adalah sama dengan analisis gempa statik ekuivalen. Jumlah ragam adalah 12 untuk menjamin nilai partisipasi massa yang menghasilkan respon total mencapai minimal 90%. Nilai respon total minimum ditetapkan dalam SNI -1726-2002 Pasal A.7.2.1. Nilai gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh gempa rencana ( $V_t$ ) sepanjang tinggi struktur gedung hasil analisis ragam spektrum respon dalam arah sumbu X dan sumbu Y harus dikalikan dengan Faktor Skala sesuai persamaan (1).

$$\text{Faktor Skala} = 0,8 V_1/V_t \geq 1,0 \quad (1)$$

dengan:

$V_1$  : gaya geser dasar nominal sebagai respon dinamik ragam yang pertama

$V_t$  : gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respon

Kombinasi beban yang digunakan adalah seperti yang diperlihatkan pada Tabel 6.

**Tabel 6**

Kombinasi Pembebanan

No.	Beban Mati	Beban Hidup	Beban Gempa Arah Sumbu X	Beban Gempa Arah Sumbu Y
1	1,4			
2	1,2	1,6		
3	1,2	0,5	1	0,3
4	1,2	0,5	0,3	1
5	1,2	0,5	-1	-0,3
6	1,2	0,5	-0,3	-1
7	0,9		1	0,3
8	0,9		0,3	1
9	0,9		-1	-0,3
10	0,9		-0,3	-1

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan pemodelan struktur menggunakan SNI 03-2847-2002, diperoleh dimensi properti struktur balok, kolom dan pelat serta tulangan yang diperlukan. Dimensi struktur model sedemikian rupa sehingga perioda alami struktur ke-1 ( $T_1$ ) adalah kurang dari satu detik. Dari pemodelan Ragam Vibrasi Bebas, diperoleh  $T_1$  adalah 0,9836 detik. Nilai tersebut digunakan sebagai input beban gempa statik. Hasil analisis statik ekuivalen menghasilkan nilai gaya geser dasar nominal sebagai respon ragam yang pertama ( $V_1$ ). Sedangkan, hasil analisis dinamik Spektra Respon menghasilkan nilai gaya geser nominal yang merupakan hasil analisis spektra respon ( $V_t$ ).

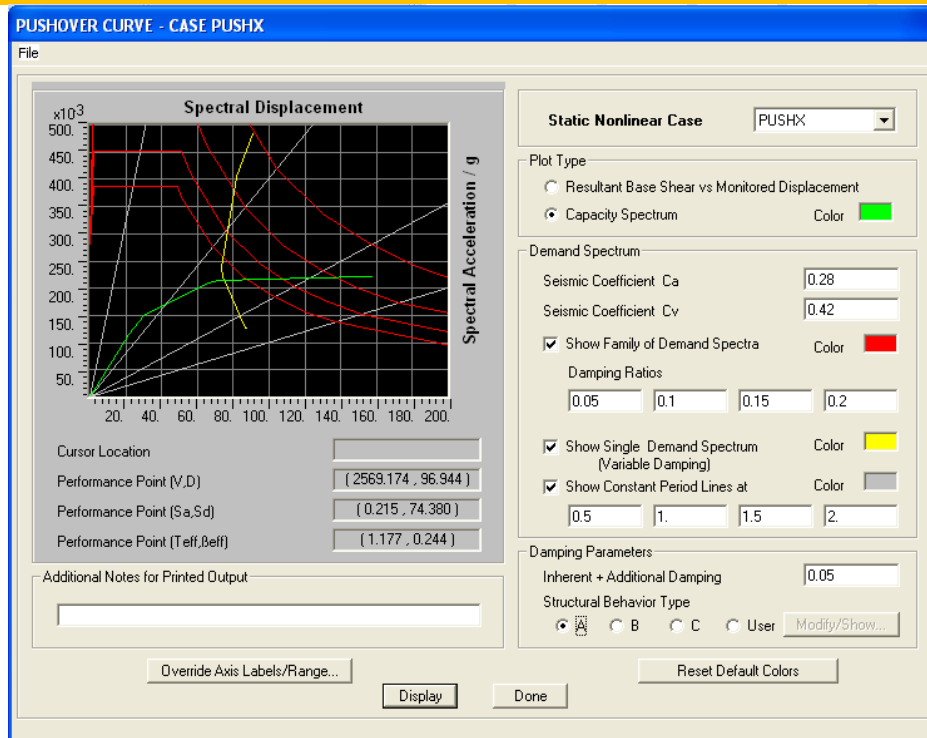
Dari hasil analisis *pushover* menggunakan *performance based design*, titik kinerja model struktur pada Wilayah Gempa 4 Tanah Sedang dan Wilayah Gempa 6 Tanah Sedang adalah seperti yang tertera pada Tabel 7. Karena struktur semua model simetris pada arah sumbu X dan sumbu Y, maka hasil analisis adalah sama pada kedua arah tersebut. Lokasi titik kinerja terhadap spektra kapasitas dan spektra kebutuhan hasil analisis *pushover* adalah seperti yang tertera pada Gambar 8 dan Gambar 9, yaitu pada perpotongan Spektra Kapasitas yang berwarna hijau dengan Spektra Kebutuhan Tunggal dengan redaman 5% yang berwarna kuning. Spektra-spektra Kebutuhan berwarna merah. Gambar 10 memperlihatkan perbandingan lokasi titik kinerja pada Wilayah Gempa 4 dan Wilayah Gempa 6 Tanah Sedang.

**Tabel 7**

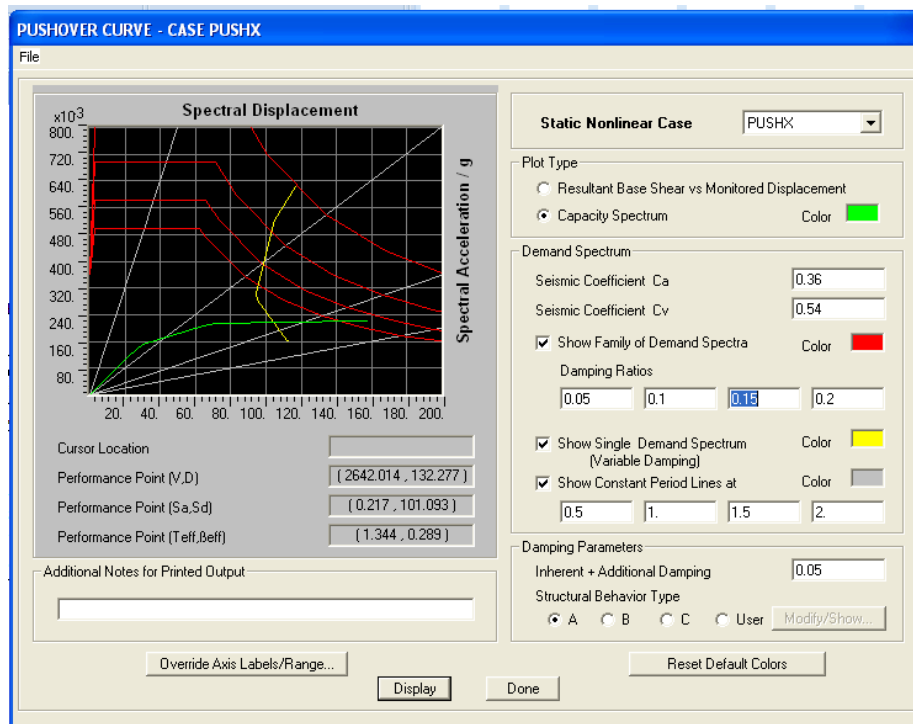
Titik Kinerja Model Struktur

Wilayah Gempa, Tanah Sedang	V (kN)	D (mm)	$T_{eff}$	$\square_{eff}$
Wil. 4	2569,174	96,944	1,177	0,244
Wil.6	2642,014	132,277	1,344	0,289

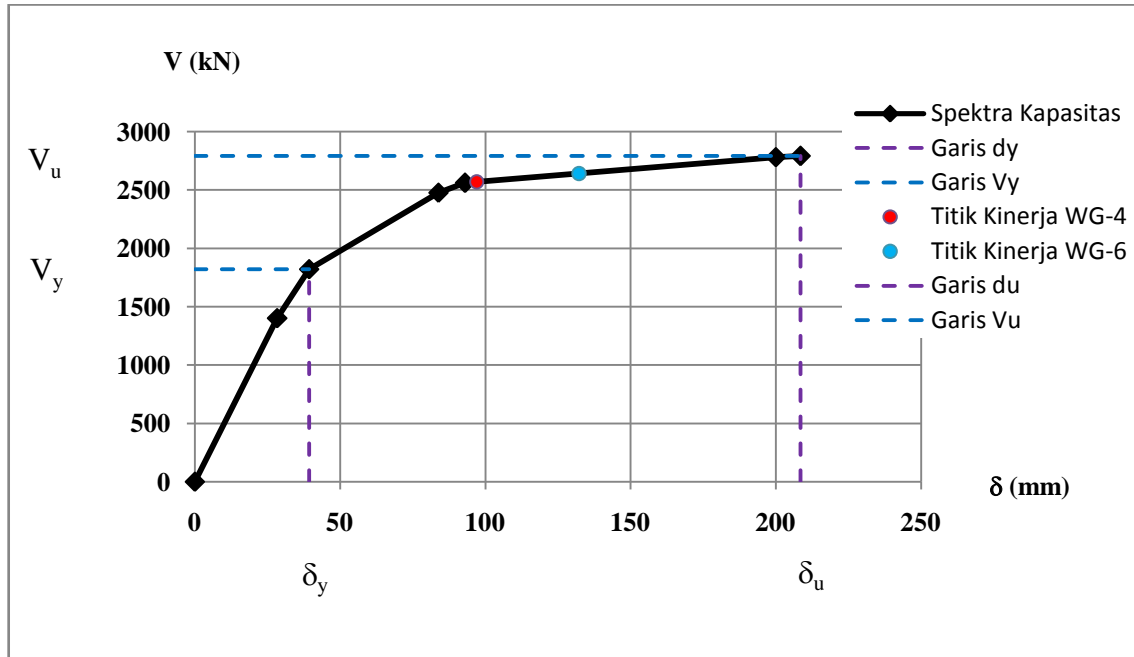




**Gambar 8.** Titik Kinerja pada Wilayah Gempa 4, Tanah Sedang,  $R = 8,5$ , Spektra Kapasitas, Spektra Kebutuhan Tunggal dengan Redaman 5%, dan Grup Spektra Kebutuhan



**Gambar 9.** Titik Kinerja pada Wilayah Gempa 6, Tanah Sedang,  $R = 8,5$ , Spektra Kapasitas, Spektra Kebutuhan Tunggal dengan Redaman 5%, dan Grup Spektra Kebutuhan



**Gambar 10.** Perbandingan Lokasi Titik Kinerja Wilayah Gempa 4 dan Wilayah Gempa 6 Tanah Sedang pada Spektra Kapasitas

Dari Tabel 7 dan Gambar 10, terlihat bahwa lokasi titik kinerja (D,V) pada kasus Wilayah Gempa 4 lebih rendah daripada lokasi titik kinerja pada kasus Wilayah Gempa 6. Hal ini disebabkan karena model pada Wilayah Gempa 6 menahan beban gempa rencana yang lebih tinggi.

Tingkat kinerja model struktur diperoleh dengan membandingkan nilai *drift ratio* saat tercapai target perpindahan dengan kategori tingkat kinerja bangunan gedung pada Tabel 1. Persamaan (2) digunakan untuk memperoleh *drift ratio*.

$$Drift\ Ratio = D/H \quad (2)$$

dengan:

- D : perpindahan atap saat titik kinerja terjadi
- H : tinggi total struktur gedung

Tinggi total struktur gedung (H) enam lantai adalah 21,60 meter. Maka, *drift ratio* model pada Wilayah Gempa 4 dan Wilayah Gempa 6 Tanah Sedang berturut-turut adalah  $96,94\text{ mm}/21600\text{ mm} = 0,0045$  dan  $132,277\text{ mm}/21600\text{ mm} = 0,0061$ .

Berdasarkan batas tingkat kinerja pada Tabel 1, maka tingkat kinerja struktur model di Wilayah Gempa 4 dan 6 Tanah Sedang berturut-turut termasuk dalam *Immediate Occupancy (IO)* dan *Damage Control* menurut ATC-40.

Nilai redaman efektif ( $\square_{\text{eff}}$ ) struktur pada kedua macam Wilayah Gempa tersebut lebih kecil dari batas redaman efektif untuk gedung baru sebesar 40%. Maka, model struktur memenuhi syarat kinerja ATC-40 pada Wilayah Gempa 4 dan 6 Tanah Sedang. Analisis *pushover* yang memperlihatkan kondisi sendi platis tertera pada Tabel 8.

**Tabel 8**  
Hasil Analisis *Pushover*

<i>Step</i>	Perpindahan D (mm)	Gaya Geser Dasar V (kN)	A-B	B-IO	IO- LS	LS- CP	CP- C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0.00	0.00	478	2	0	0	0	0	0	0	480
1	28.37	1400.68	422	58	0	0	0	0	0	0	480
2	39.38	1822.15	362	40	56	22	0	0	0	0	480
3	83.86	2477.11	356	28	40	56	0	0	0	0	480
4	92.99	2561.02	322	14	36	12	96	0	0	0	480
5	199.99	2781.60	320	14	36	8	100	2	0	0	480
6	208.53	2791.41	480	0	0	0	0	0	0	0	480

dengan:

- A : *Origin Point* (Titik Awal)
- B : *Yield Point* (Titik Leleh)
- IO : *Intermediate Occupancy* (Penggunaan Sedang)
- LS : *Life Safety* (Aman untuk Dihuni)
- CP : *Collapse Prevention* (Pencegahan Keruntuhan)
- C : *Ultimate Point* (Titik Batas)
- D : *Residual Point* (Titik Sisa)
- E : *Failure Point* (Titik Keruntuhan)

Titik leleh terjadi pada *step* ke-2 dan titik keruntuhan pada *step* 6 telah diperlihatkan pada Gambar 10. Nilai daktilitas yang diperoleh dengan persamaan (3) sebagai berikut:

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (3)$$

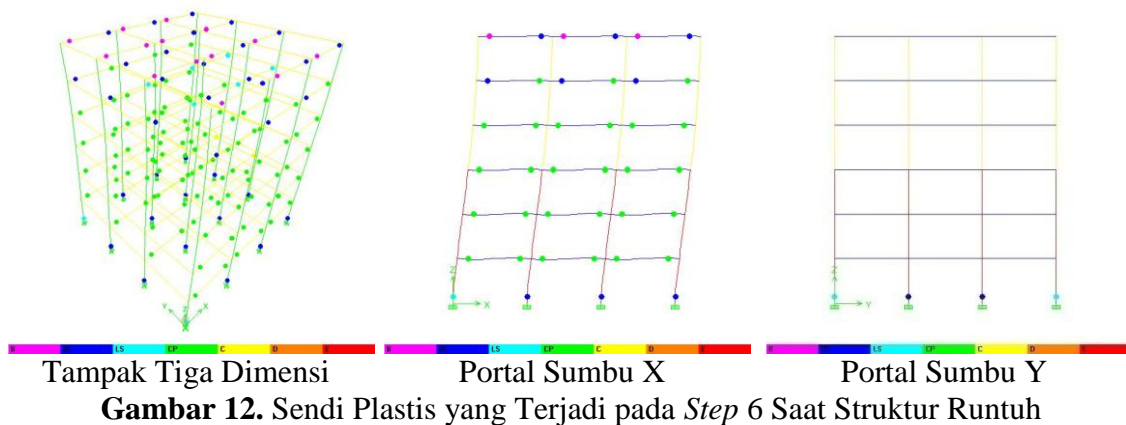
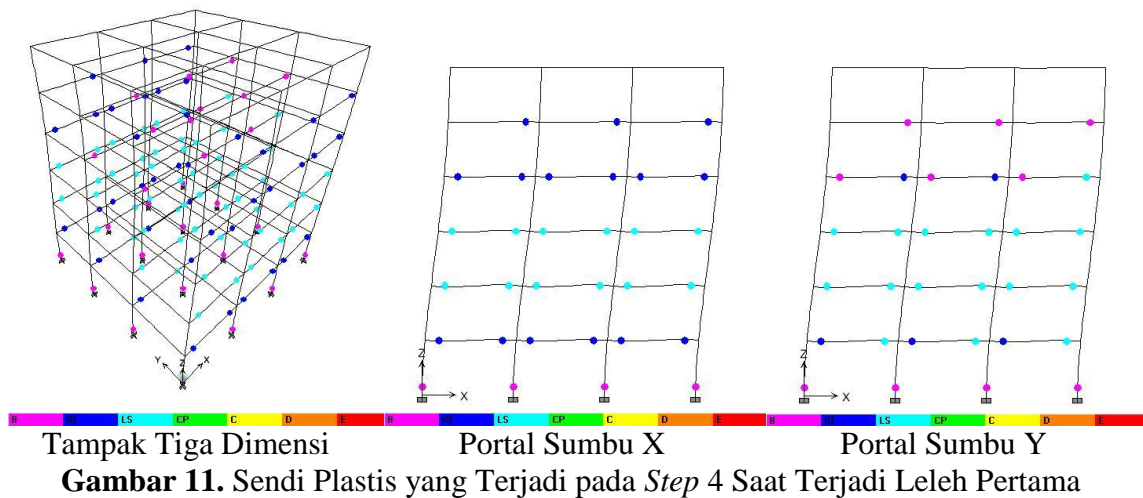
dengan:

- $\mu$  : daktilitas
- $\Delta_u$  : simpangan saat runtuh
- $\Delta_y$  : simpangan saat leleh pertama

Dari Tabel 8, diperoleh nilai daktilitas adalah  $208,53 \text{ mm} / 39,38 \text{ mm} = 5,295756692 = 5,30$ . Nilai ini sesuai dengan nilai daktilitas asumsi awal sebesar 5,30.

Nilai gaya geser dasar yang terjadi saat terjadi target perpindahan dihitung dengan interpolasi berdasarkan data pada Tabel 8. Maka, saat terjadi perpindahan sebesar 96,94 mm, gaya geser dasar yang dialami oleh model struktur di Wilayah Gempa 4 adalah 2569,17 kN. Untuk model di Wilayah Gempa 6, saat terjadi target perpindahan sebesar 132,28 mm, gaya geser dasar yang terjadi adalah 2642,02 kN.

Pada kondisi tersebut, minimal telah terdapat 36 sendi plastis di tingkat *Immediate Occupancy*, 12 sendi plastis di tingkat *Life Safety* dan 96 sendi plastis di tingkat *Collapse Prevention* menurut FEMA 273 yang terjadi pada *step* 4. Artinya, model struktur telah memasuki kondisi inelastis. Lokasi sendi plastis pada *step* 4 diperlihatkan pada Gambar 11. Lokasi sendi plastis saat terjadi keruntuhan struktur diperlihatkan pada Gambar 12.



#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil pemodelan, diperoleh kesimpulan bahwa perencanaan struktur gedung baru ataupun pemeriksaan struktur gedung yang telah berdiri memerlukan kehati-hatian. Walaupun struktur gedung telah memenuhi kriteria perencanaan metoda linier dinamik, perilaku struktur pasca elastik baru dapat diketahui dengan analisis nonlinier (analisis *pushover*) untuk memperoleh titik kinerja struktur. Menurut ATC-40, model struktur di atas Wilayah Gempa 4 Tanah Sedang dalam kondisi inelastik mampu menahan beban gempa sampai pada tingkat *Immediate Occupancy* (IO) dan di atas Wilayah Gempa 6 Tanah Sedang model tersebut mampu menahan beban sampai pada tingkat *Damage Control*. Sedangkan, menurut FEMA 273 tingkat kinerja yang sama dicapai oleh model struktur pada Wilayah Gempa 4 dan Wilayah Gempa 6 Tanah Sedang, yaitu pada tingkat *Collapse Prevention* (CP). Pada tingkat IO, hanya terdapat sedikit kerusakan struktural yang bisa diperbaiki. Pada tingkat *Damage Control*, kondisi struktur masih cukup aman untuk dihuni karena hanya terdapat sedikit kerusakan struktural. Pada tingkat CP, struktur bangunan masih berdiri dan sedikit tambahan kerusakan masih diperbolehkan, tetapi bangunan hampir runtuh.

Titik kinerja struktur pada Wilayah Gempa 6 lebih tinggi daripada titik kinerja struktur pada wilayah Gempa 4 karena beban gempa yang lebih tinggi. Struktur lebih rentan terhadap bahaya gempa pada Wilayah 6 yang mempunyai nilai PGA 1,5 kali PGA pada Wilayah Gempa 4. Hal ini perlu diwaspadai karena tingkat kekuatan

gempa berdasarkan pada peta gempa terbaru versi tahun 2010 jauh lebih besar daripada peta gempa versi tahun 2002.

Suatu struktur bangunan yang tidak memenuhi syarat teknis memerlukan penambahan kekakuan dan kekuatan struktur sehingga tingkat kinerja struktur mencapai tingkat minimum, yaitu Collapse Prevention menurut FEMA 273 atau *Life Safety* menurut ATC-40. Dengan meninjau tingkat kinerja suatu model struktur yang berada pada Tanah Sedang Wilayah Gempa 4 dan Wilayah Gempa 6, terlihat bahwa FEMA 273 lebih konservatif daripada ATC-40. Menurut ATC-40, tingkat kinerja model struktur di Wilayah Gempa 4 Tanah Sedang masih pada tingkat IO di mana hanya terdapat sedikit kerusakan struktural dan sistem struktur penahan beban lateral dan vertikal dengan kekuatan dan kekakuan tertentu masih dalam kondisi hampir sama dengan kondisi sebelum gempa. Model struktur di Wilayah Gempa 6 Tanah Sedang masuk dalam tingkat *Damage Control* menurut ATC-40 masih dalam batas yang aman untuk dihuni. Menurut FEMA 273, kinerja model struktur di kedua Wilayah Gempa tersebut hampir mencapai batas kekuatan karena telah memasuki tingkat kinerja CP dan hampir memasuki kondisi keruntuhan.

## 5. SARAN

Proses desain struktur bangunan baru ataupun pemeriksaan struktur bangunan yang telah berdiri harus memperhatikan kondisi pasca elastik untuk memperoleh tingkat kinerja struktur sesungguhnya, terutama dalam menahan beban gempa.

## 6. REFERENSI

- Applied Technology Council (1995). Structural Response Modification Factors (ATC 19). Redwood, USA.
- Applied Technology Council (1996). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (ATC40), Redwood, USA.
- Badan Standardisasi Nasional (2002). SNI 03-1726-2002 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional (2002). SNI 03-1726-201x Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Nongedung, Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional (2002). SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, Jakarta, Indonesia.
- Dewobroto, W (2005). Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP 2000. Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil: Ketahanan Konstruksi & Teknik Struktur Berdasarkan Profesionalisme, Unika Soegijapranata, Semarang, Indonesia.
- El-Tawil, S. and Kuenzli, C. M. (2002). Pushover of Hybrid Coupled Walls II: Analysis and Behavior. *Journal of Structural Engineering* Vol. 128, No. 10, Reston, United States of America.
- Federal Emergency Management Agency (1997). NEHRP GUIDELINES FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS (FEMA 273), Washington, USA.
- Federal Emergency Management Agency (2000). PRESTANDARD AND COMMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS (FEMA 356), Washington, USA.
- Oguz, S. (2005). Evaluation of Pushover Analysis Procedures for Frame Structures. Master, Tesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.



Suprpto, K. and Sudarto, (May 2009). Evaluation of Performance of Asymmetrical Dual System Structures Using Pushover and Time History Analysis. Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, Indonesia.





## **PERKEMBANGAN SISTEM STRUKTUR BETON PRACETAK SEBAGAI ALTERNATIF PADA TEKNOLOGI KONSTRUKSI INDONESIA YANG Mendukung Efisiensi Energi Serta RAMAH LINGKUNGAN**

**Siti Aisyah Nurjannah<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Balai Diklat Wilayah VII Kementerian Pekerjaan Umum, Jl. K.S. Tubun No. 12,  
Lapangan Hatta, Palembang

\*Korespondensi Pembicara. Phone: +62 711 359410, Fax: +62 711 377251  
Email: nurjannah\_sa@yahoo.co.id

### **ABSTRAK**

Pada saat ini, telah terdapat berbagai macam sistem struktur beton pracetak yang telah dikembangkan oleh berbagai perusahaan swasta, instansi pemerintah, maupun Badan Usaha Milik Negara yang mendukung sektor konstruksi di Indonesia. Sistem struktur tersebut telah diuji di laboratorium dan telah diaplikasikan pada sektor konstruksi berupa bangunan gedung maupun jembatan. Sistem struktur beton pracetak mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan sistem struktur beton konvensional, di antaranya adalah efisiensi waktu pengerjaan, efisiensi energi, serta ramah lingkungan. Tujuan dari penulisan karya tulis ilmiah ini adalah untuk memberikan sumbangan informasi tentang perkembangan teknologi sistem struktur beton pracetak di Indonesia pada sektor konstruksi. Berbagai data dan informasi serta perijinan untuk menggunakan data tersebut dikumpulkan untuk mendukung penulisan. Perkembangan sistem pracetak didukung dengan adanya laboratorium untuk menguji bahan bangunan dan sistem struktur beton pracetak untuk mengukur tingkat kinerja dalam menahan beban sesuai peraturan-peraturan yang terkait. Dari pemaparan tentang sistem struktur tersebut, dapat diambil kesimpulan bahwa sistem struktur beton pracetak merupakan salah satu alternatif teknologi dalam perkembangan konstruksi di Indonesia yang mendukung efisiensi waktu, efisiensi energi, dan mendukung pelestarian lingkungan.

**Kata Kunci:** beton pracetak.

### **1. PENDAHULUAN**

Saat ini, telah terdapat berbagai macam sistem struktur beton pracetak yang telah dikembangkan oleh berbagai perusahaan swasta, instansi pemerintah, maupun Badan Usaha Milik Negara yang mendukung sektor konstruksi di Indonesia. Jenis sistem struktur yang paling banyak dikembangkan saat ini adalah sistem join balok-kolom beton pracetak, sistem panel dinding geser beton pracetak, serta sistem struktur panel beton pracetak sebagai pelat jembatan. Perkembangan sistem struktur join dan panel beton pracetak terutama untuk mendukung program pemerintah, yaitu pembangunan rumah susun sederhana yang terjangkau harganya untuk masyarakat golongan menengah ke bawah. Dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional

tahun 2004-2009, target yang ditetapkan adalah 60.000 rumah susun sewa (rusunawa) dan 25.000 rumah susun milik (rusunami). Sejak tahun 2003 sampai dengan tahun 2006, rumah susun 4-6 lantai telah terbangun 50 blok/tahun. Dengan adanya program percepatan pembangunan rusuna sejak tahun 2006, maka jumlah rusunawa berupa bangunan bertingkat sedang (4-6 lantai) adalah sekitar 150 blok/tahun dan rusunami berupa bangunan bertingkat tinggi (10-20 lantai) sebanyak 300 blok/tahun sampai dengan tahun 2011. Jumlah yang sangat besar tersebut menyebabkan perlunya pembangunan yang efisien dengan tetap memperhatikan persyaratan teknis perencanaan, pelaksanaan, dan pengawasan (Sidjabat, 2007)

Sistem struktur beton pracetak juga digunakan untuk pembangunan gedung asrama, rumah toko, ataupun gedung perkantoran. Pemilihan sistem beton pracetak adalah karena sistem ini mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan sistem struktur beton yang dicor di tempat, yaitu:

- a. Pelaksanaan pekerjaan di lapangan dapat dilakukan dengan lebih cepat lebih dan lebih mudah sehingga mengurangi masa konstruksi
- b. Pelaksanaan lebih cepat sehingga dapat mengurangi biaya konstruksi.
- c. Pengontrolan mutu pekerjaan lebih baik karena pengerjaan komponen *frame* dilakukan sebelum pemasangan (instalasi) sebagai struktur bangunan, sehingga kualitas konstruksi lebih terjamin.
- d. Mengurangi bahan cetakan dari bahan kayu mendukung pelestarian lingkungan.
- e. Mengurangi penggunaan perancah
- f. Mengurangi jumlah tenaga kerja di lapangan
- g. Kondisi lapangan lebih bersih

Tujuan dari penulisan karya tulis ilmiah ini adalah untuk memberikan sumbangan informasi tentang perkembangan teknologi beton pracetak di Indonesia pada sektor konstruksi yang mendukung efisiensi energi serta ramah lingkungan.

## 2. BAHAN DAN ALAT

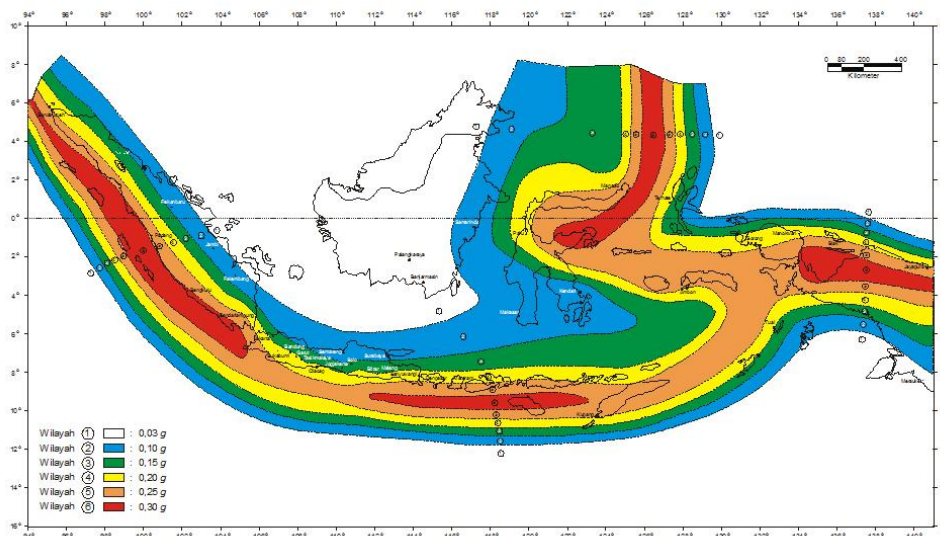
Penyusunan tulisan dilakukan dengan mengumpulkan berbagai data dan informasi perkembangan sistem pracetak di Indonesia, berupa data sistem yang telah ada di Indonesia, foto pengujian di laboratorium, dan foto bangunan yang terdiri dari sistem beton pracetak, serta referensi tentang perkembangan teknologi beton pracetak di Indonesia.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

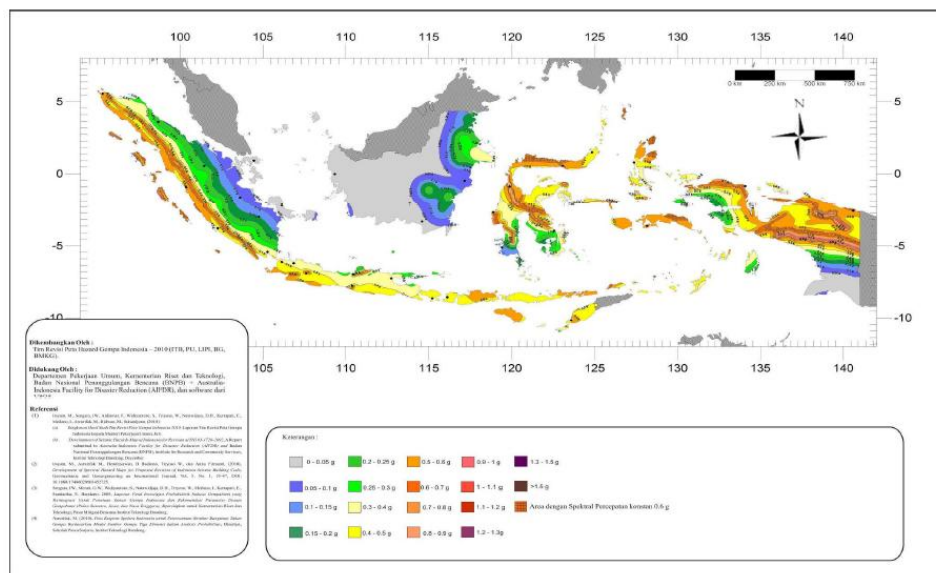
Dalam mendesain suatu sistem struktur beton pracetak, terdapat syarat kekuatan yang harus dipenuhi berdasarkan peraturan yang terkait. Beberapa peraturan yang berlaku di Indonesia yang terkait dengan struktur bangunan, di antaranya adalah Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2847-2002 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1726-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, dan American Concrete Institute (ACI) 374.1-05 *Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary*. Sistem struktur beton pracetak harus didesain agar mampu menahan Beban Hidup, Beban Mati, Beban Angin, dan Beban Gempa.

Beban Hidup adalah semua beban yang terjadi akibat pemakaian dan penghunian suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah dan/atau beban akibat air hujan pada atap (BSN, 2002). Beban

Hidup berkisar antara  $100 \text{ kg/m}^2$  s.d.  $500 \text{ kg/m}^2$  atau lebih, tergantung fungsi bangunan. Beban mati adalah berat semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala beban tambahan, finishing, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut (BSN, 2002). Beban Gempa adalah beban yang diakibatkan oleh gempa yang besarnya terhadap suatu struktur tergantung pada intensitas gempa dan jarak tempat struktur berada. Intensitas gempa tergantung pada Wilayah Gempa seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Saat ini, revisi SNI tentang kegempaan untuk menggantikan SNI 03-1726-2002 sedang dalam tahap penyempurnaan dan diharapkan akan selesai pada tahun 2011. Peta gempa terbaru adalah seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.



**Gambar 1.** Wilayah Gempa Indonesia dengan Percepatan Puncak Batuan Dasar Menggunakan Periode Ulang 500 Tahun (Sumber: SNI 03-1726-2002)



**Gambar 2.** Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Rata-rata Geometrik (MCEG), Kelas Situs SB (Sumber: RSNI 03-1726-201x)

Berbagai sistem struktur beton pracetak yang telah dikembangkan oleh berbagai perusahaan maupun instansi pemerintah di Indonesia untuk bangunan gedung berupa sistem join balok-kolom dan dinding geser berturut-turut diperlihatkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Selain itu, terdapat pula sistem struktur panel beton pracetak yang digunakan sebagai pelat jembatan yang harus mampu menahan beban kendaraan.

**Tabel 1.** Beberapa Sistem Struktur Beton Pracetak Join Balok-Kolom yang Telah Dikembangkan di Indonesia (Sumber: Puslitbang Permukiman, 2011)

No.	Nama Sistem	Produsen	Tahun
1	MPS SYSTEM	PT. MEITAMA ABADI	2011
2	CIRCON SYSTEM	PT. ANUGERAH PUTRA NOBAS	2011
3	CLIPCON SYSTEM	PT. SINERGY PRACON NUSANTARA	2011
4	JOINT APBN SYSTEM	Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Balitbang, Kementerian Pekerjaan Umum	2010
5	Kencana System	PT. Kencana Precast	2010
6	TRINITY SYSTEM	PT. PRIMA USAHA TRINITY	2010
7	RB-CON SYSTEM	PT. PRIMA JAYA PERSADA	2010
8	BKP SYSTEM	PT. BANGUN KHARISMA PRIMA	2010
9	W-PLUS SYSTEM	PT. CIPTA JAYA FADHILAH	2010
10	MANARA SYSTEM	PT. MANARA INDAH	2010
11	SAKORI SYSTEM	Saudara Dedi P. Putra	2008
12	Highrise Building System	P.T. Dantosan Precon Perkasa	2008
13	SISTEM PRECAST "Rigid Joint Precast (RJP)"	P. T. Hiper Concrete Precast Structure Industry	2010
14	ERDEA SYSTEM	P.T. ERDEA	2009
15	DDC ( DOUBLE DOWEL CONNECTION) SYSTEM	PT. HARIS JAYA UTAMA	2009
16	JHS SYSTEM COLUMN BEAM SLAB G3	P. T. JHS PRECAST CONCRETE INDONESIA	2009
17	ORICON (OVAL RING CONNECTION) SYSTEM	PT. VALTEK KARSATAMA	2009
18	TRICON 3 - JUPITER SYSTEM	P.T. TRIBINA PRIMA LESTARI	2009
19	VIRTU SYSTEM	PT. TOTAL BOANERGES INDONESIA	2009
20	BI-PLATE SYSTEM	PT. WIDYA SATHIA	2009
21	KOTAPARI SYSTEM	PT. BUANA CONSTRUCTION	2008
22	JHS SYSTEM COLUMN BEAM SLAB G3 SYSTEM	P.T. JHS Precast Concrete Indonesia	2008
23	Interior Less Moment Connection – High Rise System (LMC-HRS)	P.T. RIYAH PERMATA ANUGRAH DAN P.T. BINANUSA PRACETAK DAN REKAYASA	2008

24	TRICON L10 SYSTEM	P.T. TRIBINA PRIMA LESTARI	2007
25	WASKITA PRECAST SYSTEM	07 P. T. Waskita Karya dan Prijasambada, MM.	2007
26	JAVA PERKASA PRECAST SYSTEM	07 P. T. Java Perkasa dan Prijasambada, MM.	2007
27	SYSTEM sambungan Balok & Kolom HK PRECAST	P. T. Utama Karya	2007
28	PLATCON PRECAST SYSTEM	07 P. T. Rang Pratama dan Ir. Sutadji Yuwasdiki, Dipl. E. Eng.	2007
29	TBR-J SYSTEM	P. T. Tata Bumi Raya dan Junaedi ME	2008
30	DPI SYSTEM	P. T. DANIA PRATAMA INTERNASIONAL	2009
31	CCP (COUPLE COMB PLATE) SYSTEM	PT. Victory Sena Utama	2008
32	KW SYSTEM	P.T. KUMALA WANDIRA	2008
33	Well Conn System	P.T. BORNEO SAKTI	2008
34	PPI SYSTEM	P T. Pacific Prestres Indonesia	2007
35	Sistem Struktur Beton Pracetak WITON-SC	P. T. Wijaya Karya Beton	2007
36	C-PLUS SYSTEM	Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Balitbang, Kementerian Pekerjaan Umum	2006

**Tabel 2.** Beberapa Sistem Struktur Beton Pracetak Dinding Geser yang Telah Dikembangkan di Indonesia (Sumber: Puslitbang Permukiman, 2011)

No.	Nama Sistem	Produsen	Tahun
1	Precast Coupled Wall System	P.T. Catur Cipta Graha	2011
2	n-Panel System	Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Balitbang, Kementerian Pekerjaan Umum	2009
3	PRECON SYSTEM	P.T. Dantosan Precon Perkasa	2008
4	Sistem Wall and Slab	P.T. Griyaton	2006

Untuk mengetahui kinerja suatu sistem struktur, bahan bangunan dan sistem struktur tersebut diuji di laboratorium. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan dan Laboratorium Struktur dan Konstruksi Bangunan di instansi Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman (Puslitbang Permukiman), Kementerian Pekerjaan Umum, Bandung. Metoda pengujian dilakukan berdasarkan pada *National Earthquake Hazard Reduction Program* (NEHRP) 1997 yang terdapat dalam SNI 03-1726-2002 dan ACI 374.1-05.

Gambar 3 dan Gambar 4 memperlihatkan pengujian bahan bangunan. Uji tarik dilakukan terhadap beberapa sampel uji baja tulangan, sedangkan uji tekan dilakukan terhadap beberapa sampel silinder beton.





**Gambar 3.** Uji Tarik Baja Tulangan  
(Sumber: Puslitbang Permukiman, 2010)



**Gambar 4.** Uji Tekan Silinder Beton,  
(Sumber: Puslitbang Permukiman, 2010)

Gambar 5 s.d. Gambar 8 memperlihatkan foto pengujian pada beberapa macam sistem struktur beton pracetak join balok-kolom dan dinding geser yang diberi beban aksial konstan sebagai pengganti Beban Hidup dan Beban Mati pada bangunan gedung serta beban siklik statik monotonik sebagai simulasi beban gempa.



**Gambar 5.** Pengujian Beban Aksial Konstan dan Siklik Statik Monotonik pada Sistem Struktur Beton Pracetak Join Balok-Kolom (Sumber: Puslitbang Permukiman, 2010)



**Gambar 6.** Kondisi Benda Uji Join Balok Kolom di Akhir Pengujian  
(Sumber: Puslitbang Permukiman, 2010)



**Gambar 7.** Pengujian Sistem Struktur Dinding Beton Pracetak Tampak Depan  
(Sumber: Puslitbang Permukiman, 2010)



**Gambar 8.** Pengujian Sistem Struktur Dinding Beton Pracetak Tampak Samping (Sumber: Puslitbang Permukiman, 2010)

Dalam proses konstruksi yang menggunakan beton pracetak, pembuatan komponen beton berupa balok, kolom, dan pelat beton pracetak dilakukan di suatu tempat yang berada di dekat lokasi pembangunan gedung. Setelah cukup umur, komponen tersebut dipasang, kemudian sambungan antar komponen di-grout dengan



beton mutu tinggi. Beberapa bangunan gedung yang terdiri dari beton pracetak diperlihatkan pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 18.



**Gambar 9.** Proses Pemasangan n-Panel System (Sumber: Puslitbang Permukiman, 2010)



**Gambar 10.** Struktur n-Panel System Masih Didukung oleh Perancah (Sumber: Puslitbang Permukiman, 2010)



**Gambar 11.** Gedung Asrama Balai Irigasi di Solo Menggunakan Dinding n-Panel System (Sumber: Puslitbang Permukiman, 2010)



**Gambar 12.** Gedung Asrama Balai Irigasi di Solo Menggunakan Dinding n-Panel System (Sumber: Puslitbang Permukiman, 2010)

**Gambar 13.** Gedung Rumah Susun Sewa di Cigugur, Cimahi, Jawa Barat Menggunakan Sistem Kolom C-Plus (Sumber: Puslitbang Permukiman, 2007)



**Gambar 14.** Bangunan Asrama Universitas Diponegoro Menggunakan Sistem Join Balok Kolom L-10 dari PT Tribina Prima Lestari (Sumber: Lestari, P.T., 2007)



**Gambar 15.** Rumah Susun Sewa Sepuluh Lantai di Pasar Jum'at, Jakarta Menggunakan Panel Pracetak. (Sumber: Nurjannah, 2009)

**Gambar 16.** Rumah Susun Milik di Batam Menggunakan Join Balok Kolom Pracetak (Sumber: Nurjaman, 2009)



**Gambar 17.** Rumah Susun Milik di Palembang Sejak 1981. (Sumber: Nurjaman, 2009)



**Gambar 18.** Pembangunan Apartemen di Jakarta Menggunakan Panel Dinding Pracetak (Sumber: Nurjannah, 2009)

Salah satu alasan pemilihan sistem beton pracetak dibandingkan beton konvensional adalah harga pembuatan struktur beton pracetak yang lebih murah daripada beton konvensional. Sebagai contoh, harga sistem struktur kolom C-Plus per meter persegi adalah Rp 800.000,00 pada tahun 2006. Jika struktur kolom C-Plus dibuat tanpa fondasi, harganya adalah Rp 650.000,00 pada tahun 2006 (Yuwasdiki, 2006).

#### 4. KESIMPULAN

Dari pembahasan yang telah dipaparkan, dapat diambil kesimpulan bahwa sistem struktur beton pracetak merupakan salah satu alternatif teknologi dalam perkembangan konstruksi di Indonesia yang bisa dilakukan dengan lebih terkontrol, lebih ekonomis, serta mendukung efisiensi waktu, efisiensi energi, dan mendukung pelestarian lingkungan. Sistem tersebut cocok digunakan pada bangunan modular, seperti rumah susun, asrama, rumah toko, ataupun kantor. Perkembangan teknologi

tersebut masih sangat terbuka dengan membuat berbagai variasi sistem struktur dan penyempurnaan dari sistem struktur yang telah ada.

## 5. SARAN

Saran untuk sistem struktur beton pracetak adalah sebagai berikut:

- 1) Perkembangan konstruksi beton pracetak bisa lebih dikembangkan sebagai alternatif pengganti sistem beton bertulang konvensional dengan mengaplikasikannya ke berbagai macam bangunan sesuai fungsinya.
- 2) Peningkatan kinerja struktur dengan inovasi perkuatan struktur baik dari segi konfigurasi baja tulangan, dimensi penampang sistem, maupun mutu bahan bangunan. Selain itu, pengontrolan kualitas pembangunan harus terjaga agar sistem struktur bisa bekerja sesuai dengan desain dan mampu menahan beban yang ada.

## 6. REFERENSI

- American Concrete Institute Committee, ACI 374.1-05 (2005), *Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich, USA.
- Badan Standardisasi Nasional (2002). SNI 03-1726-2002 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional (201x). RSNI 1726-2002 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Nongedung, Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional (2002). SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, Jakarta, Indonesia.
- Lestari, P.T. Tribina Prima (2007). Sistem Tricon. Workshop “*Value Engineering Rumah Susun Sederhana Bertingkat Sedang dan Bertingkat Tinggi dengan Sistem Pracetak dan Prategang Sebagai Salah Satu Wujud Profesionalisme dan Antisipasi Bencana Gempa*”, Jakarta, Indonesia.
- Nurjaman, H. N. (2009). Aplikasi Perencanaan Model Pracetak Panel yang Berfungsi Sebagai Dinding Geser. Diskusi Teknis Metoda Pengukuran Produktivitas Kajian Konstruksi n-Panel System, Bandung, Indonesia.
- Nurjannah, S.A. (2009). Dokumentasi pribadi.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman (2007 s.d 2010). Dokumentasi foto.
- Puslitbang Permukiman (2010). Laporan Akhir Kegiatan Penelitian dan Pengembangan Rumah Susun dan Bangunan Umum, Bandung, Indonesia.
- Sidjabat, H.R. (2007). Kesimpulan. Workshop *Value Engineering Rumah Susun Sederhana Bertingkat Sedang dan Bertingkat Tinggi dengan Sistem Pracetak dan Prategang Sebagai Salah Satu Wujud Profesionalisme dan Antisipasi Bencana Gempa*, Jakarta, Indonesia.
- Yuwasdiki, Sutadji (2006). Modul Sistem Pracetak C-Plus. Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum, Bandung, Indonesia.

## BIODEGRADASI FRAKSI ASFALTEN OLEH BAKTERI YANG DIISOLASI DARI TANAH TERKONTAMINASI MINYAK BUMI DI PROPINSI SUMATERA SELATAN

Munawar<sup>1,2</sup>, Pingkan Aditiawati<sup>3</sup>, dan Dea Indriani Astuti<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Doktor, Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa 10, Bandung

<sup>2</sup> Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya Km.32, Inderalaya

<sup>3</sup> Program Studi Mikrobiologi, Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa 10, Bandung

<sup>1</sup>Koresponensi Pembicara. Phone: +62 711 581790, Fax: +62 711 580306  
Email: mu\_na\_war@yahoo.com

### ABSTRACT

Biodegradation of Asphaltic Fraction by Bacteria Isolated From Oil-Contaminated Soil in The South Sumatra. Asphaltic Fraction is one of the components of petroleum hydrocarbons are the most difficult to degrade. Four strains of bacteria have been isolated from oil-contaminated soil in the area of South Sumatra, each of which is *Pseudomonas* sp-2, *Pseudomonas* sp-3, *Pseudomonas* sp-6, and *Mycobacterium* sp-1. Furthermore, the tested the ability of degrades asphaltic fraction in Mineral Medium supplemented asphaltic fraction and incubated for six days. Testing the ability of degrades performed as single cultures and as a consortium in a mixed culture consisting of four bacteria. The results of degradation as a single culture was *Pseudomonas* sp-2 and *Pseudomonas* sp-6 showed asphaltic concentration decreased, but the resulting fractions of saturated and aromatic fractions, whereas *Mycobacterium* sp-1 and *Pseudomonas* sp-3 respectively showed asphaltic concentration does not decline, and all bacteria as a single culture showed that CO<sub>2</sub> concentration has not changed. The test of a consortium showed that a decline in asphaltic concentrations of 9.36% and increased concentrations of CO<sub>2</sub> up to 191.25 ppm, CO<sub>2</sub> formation showed that in the form of a consortium capable of degrading the fraction asphaltic perfectly.

**Keywords:** asphaltic, saturated, aromatic, *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, CO<sub>2</sub>.

### 1. PENDAHULUAN

Asfaltik merupakan salah satu komponen yang menyusun hidrokarbon petroleum. Fraksi ini banyak terdapat pada minyak mentah jenis “heavy crude oil” dan juga minyak yang lama tumpah di lingkungan (Alboudwarej, *dkk.*, 2006). Lebih lanjut Taki, *dkk.*, (2003) menjelaskan bahwa fraksi asfaltik merupakan fraksi yang paling sulit didegradasi dibandingkan fraksi lainnya seperti fraksi jenuh, aromatik, dan resin. Menurut Auflem (2002) bahwa fraksi asfaltik merupakan fraksi yang sangat kompleks yang salah satu penyusunnya adalah fraksi alifatik (jenuh) dan aromatik.

Untuk mendegradasi fraksi asfaltik secara sempurna sangat kecil kemungkinannya hanya dilakukan oleh satu strain bakteri saja, tetapi diperlukan beberapa strain bakteri.



Beberapa bakteri seperti *Pseudomonas* sp hanya mampu mendegradasi fraksi asfaltik menjadi fraksi jenuh dan atau aromatik, yang masih perlu degradasi lebih lanjut (Takur, 2007). Bakteri lain seperti *Mycobacterium fortuinum*, *M. rotisbonense*, *Brevibacterium* sp, *Corynebacterium* sp, *Rhodococcus* sp mampu mendegradasi fraksi jenuh secara sempurna menghasilkan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O (Pineda-Flores, dkk., 2001). Bakteri lain seperti *Arthrobacter* sp, *Nocardia* sp, dan *Pseudomonas* sp mampu mendegradasi fraksi aromatik secara sempurna menghasilkan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O (Alquaty, dkk., 2005).

Beberapa bakteri telah berhasil diisolasi dari tanah terkontaminasi minyak bumi di Sumatra Selatan. Bakteri tersebut antara lain *Mycobacterium* sp-1, *Pseudomonas* sp-3, *Pseudomonas* sp-2, *Pseudomonas* sp-6. Masing-masing strain bakteri tersebut telah diseleksi bersifat petrofilik, tetapi belum diketahui kemampuannya dalam mendegradasi fraksi yang lebih spesifik seperti asfaltik yang merupakan komponen minyak bumi paling sulit didegradasi. Untuk mengetahui kemampuan biodegradasi keempat bakteri tersebut, dilakukan pengujian dalam bentuk kultur tunggal dan kultur campur, sehingga diharapkan diperoleh kinerja degradasi terbaik.

## 2. BAHAN DAN ALAT

### Bahan dan alat

Bahan utama yang digunakan adalah strain bakteri *Mycobacterium* sp-1, *Pseudomonas* sp-3, *Pseudomonas* sp-2, *Pseudomonas* sp-6, Mineral medium, indikator Phenol Phtalein (PP), dan pelarut n-pentana dan toluena untuk mengekstraksi fraksi hidrokarbon, sedangkan peralatan yang digunakan adalah Erlenmeyer dan botol respirometrik untuk melakukan percobaan biodegradasi, dan peralatan lain yang umum digunakan di laboratorium Mikrobiologi.

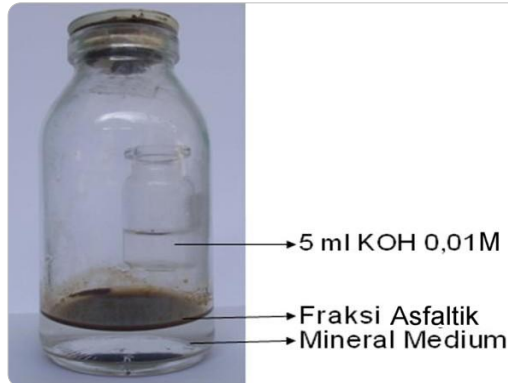
### Percobaan Biodegradasi Fraksi Asfaltik oleh Bakteri

Pengujian dilakukan terhadap empat strain bakteri sebagai kultur tunggal yaitu (1) *Mycobacterium* sp-1, (2) *Pseudomonas* sp-3, (3) *Pseudomonas* sp-2, (4) *Pseudomonas* sp-6 dan sebagai konsorsium merupakan kultur campur meliputi (5) *Pseudomonas* sp-2 + *Pseudomonas* sp-6 + *Mycobacterium* sp-1, (6) *Pseudomonas* sp-2 + *Pseudomonas* sp-6 + *Pseudomonas* sp-3, (7) *Pseudomonas* sp-2 + *Pseudomonas* sp-6 + *Mycobacterium* sp-1 + *Pseudomonas* sp-3, (8) Kontrol (tanpa bakteri). Semua kultur diinokulasikan ke dalam botol 100 ml yang berisi 12,5 ml *Mineral Medium* (MM) dengan komposisi menurut Atlas (2010) gram per liter: K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 0,45; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1; MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O 0,02; NaCl 0,01; CaCl<sub>2</sub> 0,01; FeCl<sub>3</sub> 0,002 dan 0,25 gram fraksi asfaltik sebagai satu-satunya sumber karbon dan energi. Botol kultur dilengkapi dengan botol kecil yang berada didalamnya yang berisi larutan KOH 0,01 M sebagai penangkap CO<sub>2</sub> sebagaimana terdapat pada Gambar 1. Kultur diinkubasi pada *orbital shaker* dengan putaran 100 rpm pada suhu kamar (26 – 31 °C) selama satu minggu. Selanjutnya dilakukan penghitungan populasi bakteri menggunakan bilik hitung, dan analisis fraksi jenuh, aromatik dan asfaltik menggunakan metode *SARA Analysis*, serta analisis CO<sub>2</sub> menggunakan metode titrasi asidik-alkalimetri setiap 24 jam.

### Penghitungan Populasi Bakteri

Populasi bakteri dihitung menggunakan bilik hitung dalam satuan sel per ml. Sampel diambil sebanyak 1 ml dari botol kultur setelah dihomogenkan, dimasukkan

ke dalam bilik hitung bawah mikroskop. menggunakan bilik sebanyak 5 bilik bakteri dalam satuan dengan persamaan Populasi bakteri



dan diamati di Penghitungan hitung diambil besar. Populasi sel per ml dicari berikut:

$$(\text{sel/ml}) = A \times \frac{1000}{0,02}$$

(1)  
dimana: A = jumlah sel bakteri pada lima bilik besar  
1000 = konversi ml menjadi mm<sup>3</sup>  
0,02 = volume lima bilik besar dalam satuan mm<sup>3</sup>

### Analisis Fraksi Hidrokarbon

Dilakukan pemisahan medium dengan fraksi asfaltik yang tersisa menggunakan corong pemisah. Sisa minyak yang masih terdapat pada dinding botol kultur dibilas dengan n-pentan, digabungkan dengan fraksi asfaltik yang telah dipisahkan. Selanjutnya ditambahkan n-pentan hingga 20 ml kedalam botol baru yang berisi fraksi asfaltik. Botol dikocok selama dua menit sehingga homogen, selanjutnya disaring menggunakan kertas saring yang sudah diketahui beratnya, fraksi yang tertahan di atas kertas saring sebagai fraksi asfaltik. Selanjutnya sisa filtrat dikolom menggunakan *silica gel* (60-100 mesh), untuk ekstraksi fraksi jenuh, sisa filtrat ditambah n-pentan hingga volume 20 ml dikolom dengan kecepatan 5 ml/menit selama 4 menit, ekstraksi fraksi aromatik ditambahkan 20 ml toluen pada kolom dan dialirkan dengan kecepatan 5 ml/menit selama 4 menit. Selanjutnya masing-masing fraksi diuapkan pelarutnya dengan menyimpan pada lemari asam hingga beratnya konstan. Penentuan konsentrasi semua fraksi dilakukan secara gravimetri. (Auflem (2002); Vazquez dan Mansoori (2000)).

### Analisis Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)

Analisis CO<sub>2</sub> dilakukan terhadap 5 ml larutan KOH 0,01 M dalam botol respirometrik. Dipindahkan 5 ml KOH 0,01 M ke dalam erlenmeyer 100 ml, ditambahkan indikator phenol phtalein (pp) sebanyak 1,5 tetes, dikocok. Dititrasi dengan HCl 0,01 M. sampai warna merah hilang, dan dihitung volume HCl yang digunakan dalam satuan liter. Perhitungan konsentrasi CO<sub>2</sub> dilakukan sesuai dengan persamaan 2, sebagai berikut:

$$\text{Konsentrasi CO}_2 \text{ (ppm)} = V \times 0,01 \times 44,0098 \times 1000 \times 200$$

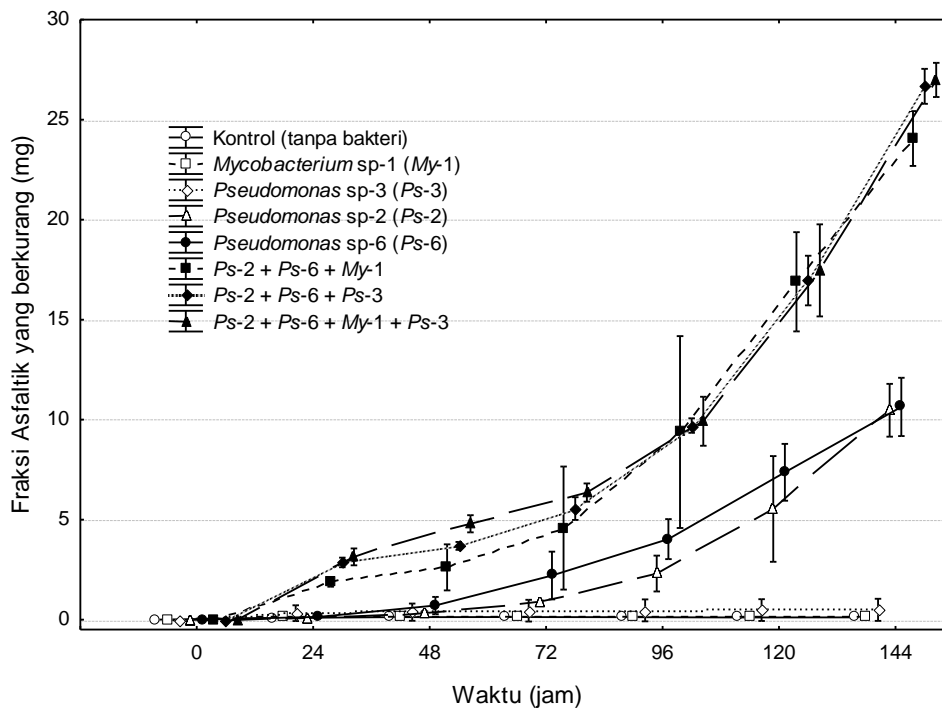
dimana: V= volume titran (HCl) dalam Liter  
0,01 = Molaritas HCl  
44,0098 = Berat molekul CO<sub>2</sub>  
1000 = faktor konversi dari g ke mg  
200 = faktor konversi dari 5 ml ke satu liter



**Gambar 1.** Unit percobaan untuk menguji kemampuan bakteri dalam mendegradasi fraksi asfaltik.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

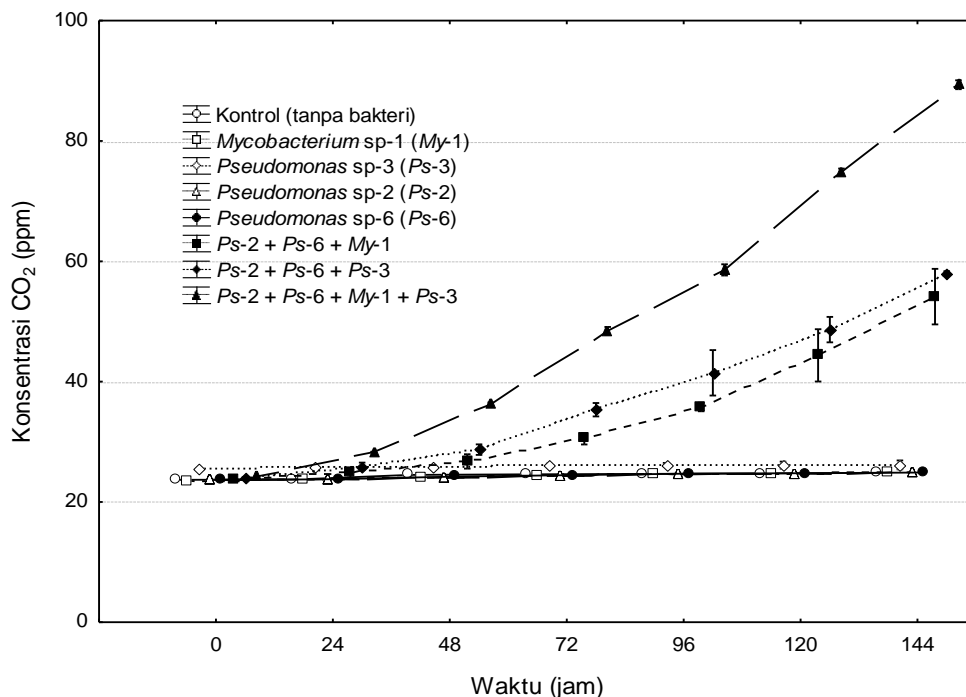
Strain bakteri *Mycobacterium* sp-1 dan *Pseudomonas* sp-3 dalam bentuk kultur tunggal tidak mampu mendegradasi fraksi asfaltik, karena kedua strain tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi asfaltik yang berkurang (Gambar 2.) dan CO<sub>2</sub> (Gambar 3.) yang dihasilkan tidak berbeda dengan kontrol.



**Gambar 2.** Konsentrasi asfaltik yang berkurang pada proses biodegradasi asfaltik oleh berbagai perlakuan kultur bakteri selama satu minggu

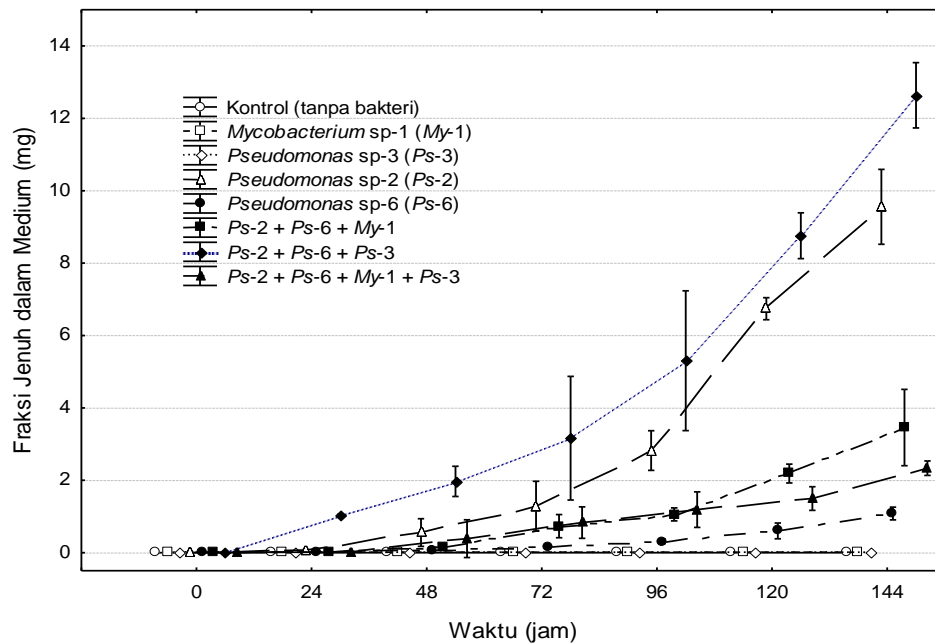
Sedangkan kultur tunggal strain *Pseudomonas* sp-2 mampu mendegradasi asfaltik menjadi fraksi jenuh dan *Pseudomonas* sp-6 mampu mendegradasi asfaltik menjadi fraksi aromatik. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2., pada kultur tunggal *Pseudomonas* sp-2 terjadi pengurangan fraksi asfaltik dan dihasilkan fraksi jenuh (Gambar 4) yang cukup tinggi serta pada kultur tunggal *Pseudomonas* sp-6 terjadi pengurangan fraksi asfaltik (Gambar 2.) dan dihasilkan fraksi aromatik (Gambar 5) yang cukup tinggi. Tetapi pada kedua strain bakteri tersebut konsentrasi CO<sub>2</sub> (Gambar 3.) yang dihasilkan masih tidak berbeda dengan kontrol (tanpa bakteri).

Fenomena ini menunjukkan bahwa kedua strain bakteri tersebut dalam mendegradasi asfaltik berlangsung tidak sempurna. Hal ini didukung oleh pendapat Uribe-Alvarez *dkk.*, (2011) bahwa biodegradasi sempurna atau proses mineralisasi senyawa petroleum hidrokarbon ditandai dengan dihasilkannya CO<sub>2</sub>.



**Gambar 3.** Konsentrasi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada proses biodegradasi asfaltik oleh berbagai perlakuan kultur bakteri selama satu minggu

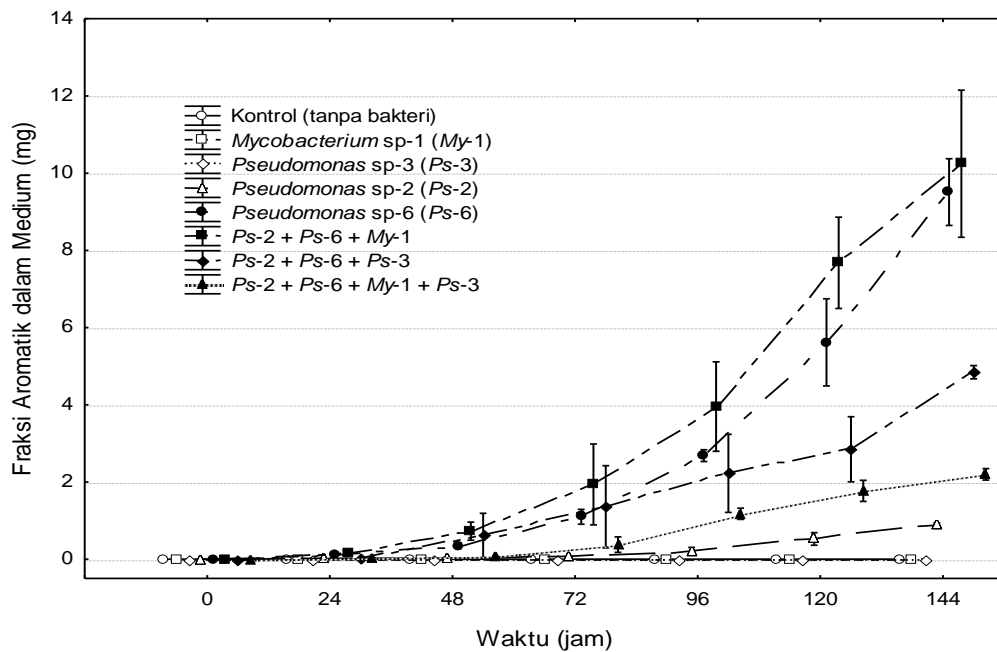
Proses biodegradasi asfaltik oleh semua kultur campur lebih baik dibandingkan dengan kultur tunggal, hal ini ditunjukkan pada semua kultur campur menunjukkan konsentrasi CO<sub>2</sub> (Gambar 3.) yang lebih tinggi baik dibandingkan dengan kontrol ataupun dengan semua kultur tunggal. Pada kultur campur (*Pseudomonas* sp-2 + *Pseudomonas* sp-6 + *Mycobacterium* sp-1) menunjukkan konsentrasi fraksi jenuh (Gambar 4.) yang terdapat dalam medium lebih sedikit dibandingkan konsentrasi fraksi aromatik (Gambar 5.) yang terdapat dalam medium. Hal ini terjadi kemungkinan fraksi jenuh hasil degradasi strain *Pseudomonas* sp-2 didegradasi lebih lanjut oleh *Mycobacterium* sp-1, sehingga konsentrasi fraksi jenuh yang tersisa dalam medium lebih sedikit dibandingkan dengan fraksi aromatik. Sedangkan pada kultur campur (*Pseudomonas* sp-2 + *Pseudomonas* sp-6 + *Pseudomonas* sp-3) menunjukkan kondisi yang sebaliknya, yaitu konsentrasi fraksi aromatik lebih sedikit dibanding dengan fraksi jenuh. Hal ini dimungkinkan karena fraksi aromatik hasil degradasi dari fraksi asfaltik oleh strain *Pseudomonas* sp-6 didegradasi lebih lanjut oleh strain *Pseudomonas* sp-3. Fenomena ini didukung oleh Auflem (2002) yang menyatakan bahwa fraksi asfaltik terdiri atas fraksi alifatik (jenuh) dan aromatik. Takur (2007) menjelaskan bahwa *Pseudomonas* sp mampu mendegradasi asfaltik menghasilkan aromatik.



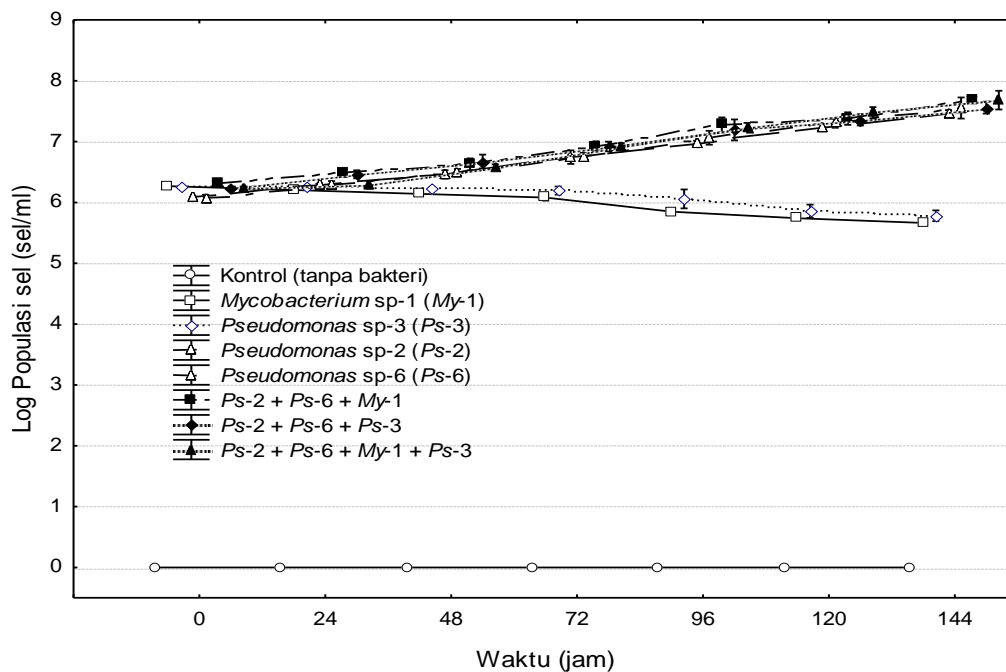
**Gambar 4.** Konsentrasi fraksi jenuh yang dihasilkan pada proses biodegradasi asfaltik oleh berbagai perlakuan kultur bakteri selama satu minggu

Pada kultur campur yang terdiri atas empat strain bakteri (*Pseudomonas* sp-2 + *Pseudomonas* sp-6 + *Mycobacterium* sp-1 + *Pseudomonas* sp-3) menunjukkan konsentrasi CO<sub>2</sub> (Gambar 3.), fraksi asfaltik yang didegradasi (Gambar 2.) yang paling tinggi dibanding dengan semua kultur tunggal dan kultur campur yang lain, dan konsentrasi fraksi jenuh (Gambar 4.) serta konsentrasi fraksi aromatik (Gambar 5.) dalam medium paling sedikit. Hal ini dapat dijelaskan bahwa fraksi jenuh hasil degradasi asfaltik oleh strain *Pseudomonas* sp-2 didegradasi lebih lanjut oleh strain *Mycobacterium* sp-1, dan fraksi aromatik hasil degradasi asfaltik oleh strain *Pseudomonas* sp-6 didegradasi lebih lanjut oleh strain *Pseudomonas* sp-3, sehingga fraksi jenuh dan fraksi aromatik dalam medium jumlahnya menjadi sedikit.

Populasi sel (Gambar 6.) kultur tunggal *Mycobacterium* sp-1 dan *Pseudomonas* sp-3 menunjukkan penurunan selama inkubasi satu minggu, hal ini dapat dijelaskan bahwa kedua strain tersebut tidak mampu mendegradasi fraksi asfaltik secara langsung. Tetapi kultur tunggal strain *Pseudomonas* sp-2 dan *Pseudomonas* sp-6 menunjukkan populasi sel yang meningkat selama inkubasi satu minggu, hal ini didukung oleh berkurangnya fraksi asfaltik dalam medium, yang menunjukkan terjadi degradasi fraksi asfaltik walaupun tidak sempurna, karena konsentrasi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan masih setara dengan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada kontrol. Secara umum populasi sel pada kultur campur menunjukkan kenaikan selama proses biodegradasi, dan menunjukkan jumlah yang lebih tinggi dibandingkan dengan kultur tunggal.



**Gambar 5.** Konsentrasi fraksi aromatik yang dihasilkan pada proses biodegradasi asfaltik oleh berbagai perlakuan kultur bakteri selama satu minggu



**Gambar 6.** Populasi sel selama proses biodegradasi asfaltik oleh berbagai perlakuan kultur bakteri selama satu minggu

Berdasarkan kemampuan biodegradasi kultur tunggal dan kultur campur, maka peran masing-masing strain dapat dijelaskan strain *Pseudomonas* sp-2 mendegradasi fraksi asfaltik menjadi fraksi jenuh yang akan didegradasi lebih lanjut oleh strain *Mycobacterium* sp-1, sedangkan strain *Pseudomonas* sp-6 mendegradasi asfaltik menghasilkan fraksi aromatik yang akan didegradasi lebih lanjut oleh strain *Pseudomonas* sp-3, sehingga pada kultur campur yang terdiri atas (*Pseudomonas* sp-2

+ *Pseudomonas* sp-6 + *Mycobacterium* sp-1 + *Pseudomonas* sp-3) menunjukkan fraksi asphaltik yang didegradasi dan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan paling tinggi.

#### 4. KESIMPULAN

Isolat bakteri dari tanah terkontaminasi minyak bumi asal Sumatra Selatan dalam bentuk kultur tunggal tidak mampu mendegradasi fraksi asfal dengan sempurna, tetapi dalam bentuk konsorsium yang merupakan kultur campur yang terdiri atas empat bakteri (*Pseudomonas* sp-2, *Pseudomonas* sp-6, *Mycobacterium* sp-1 dan *Pseudomonas* sp-3) mampu mendegradasi fraksi asphaltik dengan sempurna, yang ditunjukkan terjadi peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub>.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Djoko T. Iskandar yang telah banyak memberikan masukan selama penelitian sehingga artikel ini dapat ditulis.

#### 5. REFERENCES

- Alboudwarej, H., J. Felix, S. Taylor, R. Badry, C. Bremner, B. Brough, C. Skeates, A. Baker, D. Palmer, K. Pattison, M. Beshry, P. Krawchuk, G. Brown, R. Calvo, J.A.C. Triana, R. Hathcock, K. Koerner, T. Hughes, D. Kundu, J.L. de-Cardenas, dan C. West. (2006). Highlighting Heavy Oil. *Oilfield Review Summer*. 34-53.
- Alquaty, C., M. Papacchini, C. Riccard, S. Spicaglia, G. Bestiti. (2005). Diversity of naphthalene-degrading bacteria from a petroleum contaminated soil. *Annals of Microbiology*. 55(4): 237-242
- Atlas, R.M. (2010). *Handbook of Microbiological Media*. 4<sup>th</sup> Ed. CRC Press Taylor & Francis Group: New York.
- Auflem, I.H. (2002). Influence of Asphaltene Aggregation and Pressure on Crude Oil Emulsion Stability. Ph.D. Thesis. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology. Norwegian.
- Pineda-Flores, G., G. Boll-Argüello, C. Lira-Galeana, dan A. M. Mesta-Howard. (2004). A Microbial Consortium Isolated from a Crude Oil Sample that uses Asphaltenes as a Carbon and Energy Source. *Biodegradation* 15: 145–151
- Takur, I.S. (2007). *Environmental Microbiology*. School of Environmental Science. Jawaharal Nehru University. New Delhi.
- Uribe-Alvarez, C., Ayala, Perezgasga, L., Naranjo, L., Urbina, H., & Vazquez-Duhalt, R (2011). First evidence of mineralization of petroleum asphaltene by a strain of *Neosartorya fischeri*. *Microbial Biotechnology*, 4(5): 663–672.
- Vazquez, D. & Mansoori, G.A. (2000). Identification and Measurement of Petroleum Precipitates. *J. Petrol. Sci. & Engineering*. 26: 49-56.

## STUDI ANALISIS PENURUNAN KADAR Pb PADA CRYSTALLIZER DI UNIT METALURGI PT. TIMAH (Persero) Tbk MENTOK BANGKA BARAT PROVINSI BANGKA BELITUNG

A. Taufik Arief dan Irko

Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Kampus Unsri Inderalaya-Raya Prabumulih Km 32  
Inderalaya – Ogan Ilir email: taufik\_arief09@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Proses peleburan (*smelting*) bijih timah di Unit Metalurgi PT. Timah (Persero) Tbk menghasilkan timah kasar (*crude tin*) pada suhu 1100-1500 °C dengan kadar Sn 99,0 % - 99,99 %. Produk timah kasar memiliki unsur pengotor utama yang bervariasi meliputi Fe, Pb, Ni, As, Cu, dan Sb. Proses peleburan terdiri dari peleburan tahap I yang akan menghasilkan slag I dan peleburan tahap II yang akan menghasilkan slag II dan terak. Setelah proses peleburan, tahapan selanjutnya adalah proses pemurnian timah (*refining*). Salah satu unsur pengotornya adalah unsur Pb. Kadar Pb yang terkandung dalam timah hasil peleburan ini sangat tinggi lebih besar dari 400 ppm, bahkan mencapai 10.000 ppm, sehingga perlu dilakukan proses pemurnian untuk memenuhi standar permintaan konsumen. Cara yang digunakan untuk memurnikan timah dari unsur pengotor Pb adalah dengan menggunakan *Crystallizer*. Studi analisis penurunan kadar Pb pada *Crystallizer* di lakukan dengan pengamatan dan pengambilan sampel secara langsung pada *Crystallizer 2* dan *Crystallizer 7*, dan pengambilan sampel di tiap zona pada *Crystallizer 2*. Dari analisis yang dilakukan, diketahui *Crystallizer 7* lebih optimal dalam menurunkan kadar Pb, dengan kadar penurunan sebesar 99,29 % dibandingkan *Crystallizer 2* dengan kadar penurunan sebesar 96,74 %. Dengan melihat perbandingan kadar produk kristal dari masing-masing *Crystallizer*, sehingga diketahui pengaturan *Crystallizer* yang lebih optimal dalam menurunkan kadar Pb.

**Kata kunci :** Bijih timah, Kadar Pb, Peleburan, Pemurnian, *Crystallizer*.

### 1. PENDAHULUAN

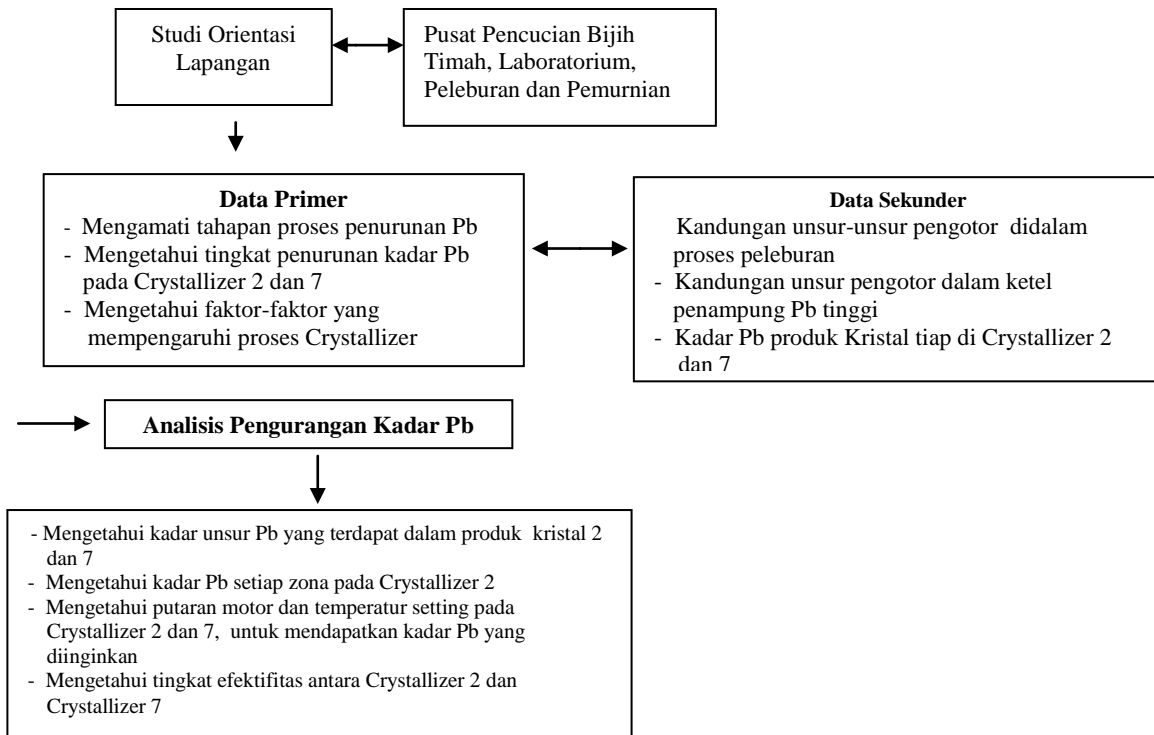
Produk akhir PT. Timah (Persero) Tbk, umumnya berupa timah batangan (ingot) yang memiliki kadar 99,85% Sn yang terdaftar di London Metal Exchange (LME), selain itu perusahaan menghasilkan produk lain seperti Banka Tin (kadar Sn 99,92%), Mentok Tin (kadar Sn 99,85%), Banka *Low Lead* (Banka LL 100 ppm, Banka LL 50 ppm, Banka LL 40 ppm, Banka LL 80 ppm, Banka LL 200 ppm), Banka *Four Nine* (kadar Sn 99,99%), semuanya dengan berbagai ukuran dan bentuk sesuai dengan permintaan konsumen. Proses peleburan (*smelting*) bijih timah di Unit Metalurgi, PT. Timah (Persero) Tbk, dilakukan dengan menggunakan Tanur Pantul (*reverberatory furnace*). Proses ini merupakan proses *pyro metallurgy*, yang dalam proses ekstraksinya menggunakan energi panas yang tinggi (bisa sampai 2000°C). Hasil peleburan bijih timah dengan suhu 1100°C – 1500°C akan menghasilkan timah cair (*crude tin*) dengan kadar Sn antara 99,0%-99,99%. Sedangkan unsur pengotornya berupa besi (Fe), timbal (Pb), antimom (Sb), arsen (As), tembaga (Cu) dan nikel (Ni) yang merupakan unsur pengotor utama dalam timah kasar. Proses peleburan terdiri



dari peleburan tahap I yang akan menghasilkan slag 1 dan peleburan tahap II yang akan menghasilkan slag II dan terak. Setelah proses peleburan tahapan selanjutnya adalah proses pemurnian timah. Dalam proses pemurnian bijih timah, masih terkandung unsur Pb yang cukup tinggi. Untuk itu perlu dilakukan penurunan kadar Pb dengan menggunakan alat yang bernama. Dalam pemurnian timah pada Crystallizer dilakukan karena kadar Pb yang terkandung dalam timah hasil peleburan ini masih sangat tinggi, lebih besar dari 400 ppm bahkan mencapai 10.000 ppm. Usaha penurunan kadar Pb tersebut dilakukan dengan menggunakan alat *Crystallizer* dimana dilakukan penyemprotan air sehingga pada temperatur *eutectic* dengan perbandingan PbSn sekitar 40%-60%, maka PbSn pada kondisi cair, sedangkan Sn dalam bentuk solid. Sn dalam bentuk solid akan naik ke atas (Zona 1) dan larutan PbSn turun ke bawah (Zona 5). Jadi semakin ke bawah (menuju Zona 5) maka kandungan Pb semakin tinggi dan kadar Sn pun akan semakin rendah tetapi semakin ke atas (menuju Zona 1) kadar Pb akan semakin rendah dan kadar Sn akan semakin Tinggi. Di PT. Timah (Persero) Tbk, alat Crystallizer itu sendiri memiliki pengaturan yang berbeda antara masing-masing Crystallizer. Untuk itu dalam kajian ini perlu dicari pengaturan Crystallizer yang paling optimal antara lain seperti pengaturan temperatur, putaran *blade* dan penyemprotan air oleh operator dalam menurunkan kadar Pb agar dapat dihasilkan produk yang memenuhi syarat permintaan pasar. Tingkat penurunan unsur Pb pada proses pemurnian timah dengan metoda *eutectic* refining menggunakan alat Crystallizer, faktor-faktor penyebab yang mempengaruhi proses pemurnian dan tingkat efektifitas masing-masing Crystallizer Dalam penelitian ini dibatasi oleh studi tingkat penurunan kadar Pb pada Crystallizer 2 dan Crystallizer 7. Dengan mengetahui tingkat penurunan unsur Pb dengan pengaturan (*setting*) alat Crystallizer masing-masing zona dapat diketahui secara efektif sehingga dapat memenuhi standar kualitas maksimum unsur Pb pada produk yang dihasilkan.

## 2. METODE STUDI

1. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan pengamatan langsung dilapangan di Unit Peleburan Mentok PT.Timah (persero) yang berupa pengambilan data primer berupa kadar unsur Pb pada produk Crystallizer 2 dan Crystallizer 7, analisa penurunan kadar Pb pada masing-masing zona pada Crystallizer 2, data-data sekunder dan studi literatur yang berkaitan dengan permasalahan serta mendukung proses penelitian.
2. Pengamatan dan pengambilan data primer yang dilakukan pada Crystallizer 2 dan 7 yang dilakukan antara tanggal 1 – 30 November 2010 untuk mengetahui tingkat penurunan kadar Pb, tahapan proses penelitian selanjutnya adalah analisa data hasil pengamatan. Sedangkan tahapan akhir dari proses penelitian ini adalah analisa secara keseluruhan dan penyimpulan hasil analisa serta rekomendasi tentang hasil penelitian yang kemudian dituangkan dalam bab kesimpulan dan saran.

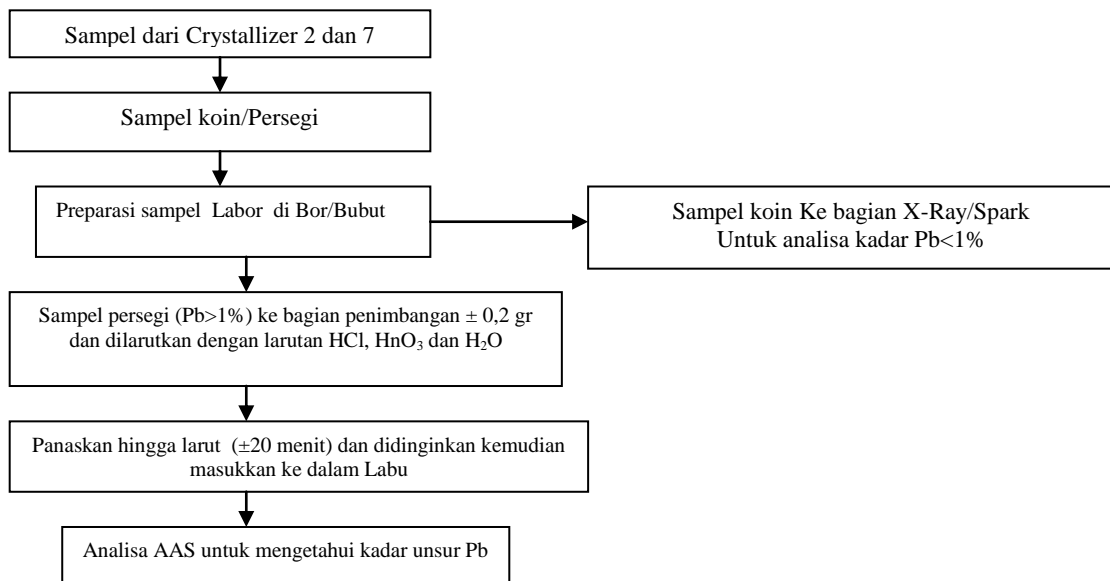


Gambar 1. Diagram alir metodologi penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1. Pengambilan Sampel dan Pengamatan

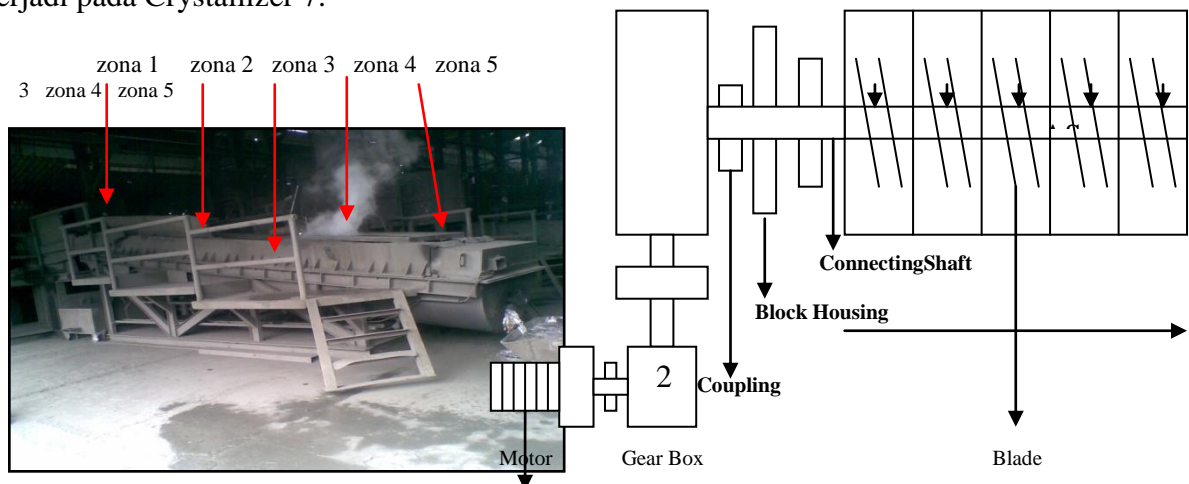
Sampel yang diambil berasal dari produk Crystallizer 2 dan produk Crystallizer 7. Sampel dibawa ke laboratorium, kemudian di analisa untuk mengetahui tingkat penurunan kadar Pb dalam proses pemurnian dengan menggunakan Crystallizer 2 dan 7, analisa kadar Pb di setiap zona pada crystallizer 2 serta faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi proses penurunan kadar Pb. Pengambilan sampel kadar unsur Pb pada Crystallizer 2 dan 7 diambil secara langsung dilapangan mulai tanggal 3 November – 25 November 2010 untuk mengetahui tingkat penurunan kadar Pb dan pada tanggal 26 November, 30 November dan 1 Desember 2010 untuk mengetahui kadar unsur Pb di tiap zona pada Crystallizer 2. Alat crystallizer ini memiliki 5 zona dengan temperatur yang berbeda-beda. Dengan adanya perbedaan temperatur, maka kristal Sn akan terpisah dari liquid Pb-Sn. Komponen utama dari alat ini adalah Chamber, Blade dan Dapur Pemanas . Blade berguna untuk mengangkat paduan Pb-Sn dari Melting Pot ke permukaan, sehingga terjadi penurunan temperatur. Pada saat itu, Sn akan lebih cepat membeku dibandingkan dengan Pb, maka terbentuk kristal Sn yang akan terdorong ke zona 1 dengan temperatur yang paling tinggi, sedangkan paduan Pb-Sn dalam bentuk liquid akan mengalir .



**Gambar 2.** Diagram Analisa Laboratorium

## 2. Pengoperasian dan Pengaturan Pada Crystallizer 2 Dan Crystallizer 7

Pengaturan putaran blade pada Crystallizer 2 sebesar 500 RPM, sedangkan pada Crystallizer 7 sebesar 250 RPM. Hal ini sangat berpengaruh karena putaran blade yang terlalu cepat menyebabkan unsur Pb dari zona 3 yang berbentuk kristal belum sempat mencair namun telah lebih dahulu jatuh ke bak penampungan dan terdapat dalam produk kristal. Namun perbedaan tingkat penurunan kadar Pb tidak terlalu signifikan, dikarenakan temperatur zona 1 dan zona 2 pada Crystallizer 2 lebih tinggi dibandingkan Crystallizer 7 sehingga menyebabkan unsur Pb yang tersisa dari zona 3 lebih dulu mencair sebelum jatuh ke bak penampungan. Begitu juga sebaliknya yang terjadi pada Crystallizer 7.



**Gambar 3.** Kondisi Pemisahan Pb Di Crystallizer

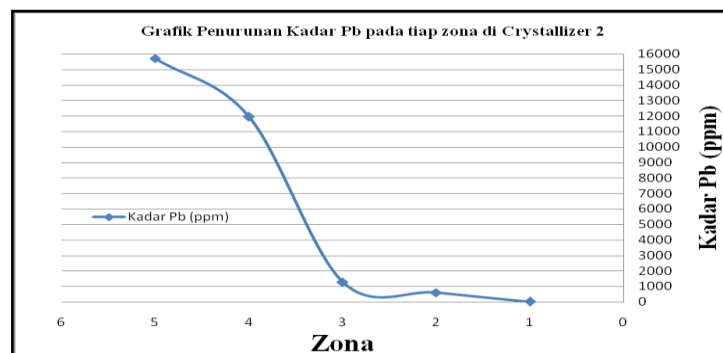
Pada Tanggal 8 November 2010 terjadi tingkat perbedaan penurunan kadar Pb yang signifikan antara crystallizer 2 dan crystallizer 7, Dimana penurunan kadar Pb yang dihasilkan oleh crystallizer 2 hanya sebesar 91,12% sedangkan crystallizer 7 dapat menurunkan kadar Pb sebesar 99,87 %. Perbedaan yang signifikan ini terjadi

karena adanya perbedaan pengaturan temperatur dan putaran blade pada kedua crystallizer, Putaran blade yang terlalu cepat pada crystallizer 2 yaitu 450 RPM menyebabkan unsur Pb dari zona 3 belum sempat mencair saat memasuki zona 2 dan zona 1 sehingga telah terlebih dahulu jatuh ke bak penampungan, berbeda dengan crystallizer 7 dengan putaran blade yang lebih lambat yaitu 275 RPM, sehingga unsur Pb kembali mencair saat memasuki zona 2 dan zona 3 dan mengalir ke bawah ( Zona 4 dan Zona 5). Faktor kadar Feed juga berpengaruh disini, dimana kadar feed pada tanggal 8 November 2010 sebesar 2394 ppm, sehingga semakin besar kadar Pb yang harus diturunkan pengaturan crystallizer harus benar-benar di perhatikan.

### 3. Hasil Pengamatan Penurunan Kadar Pb

**Tabel 1. Kadar Pb di tiap zona pada Crystallizer (Tanggal 26 November 2010)**

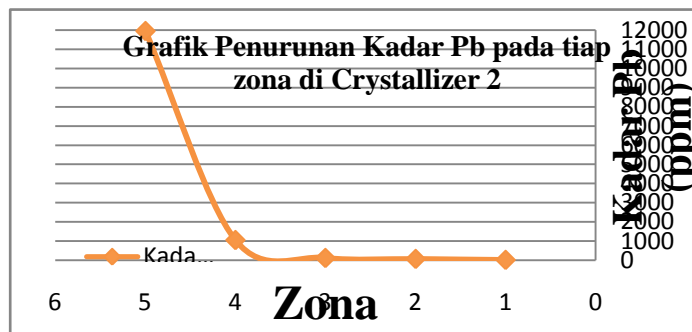
Feed	Kadar Pb awal (ppm)	RPM	Zona	Temperatur Setting (°C)	Kadar Pb (ppm)
KETEL XII	2090	500	5	300	15720
			4	350	11952
			3	350	1276
			2	475	600
			1	550	20



**Gambar 4. Grafik kadar Pb tiap zona Crystallizer 2**

**Tabel 2. Kadar Pb Di zona pada Crystallizer (Tanggal 30 November 2010)**

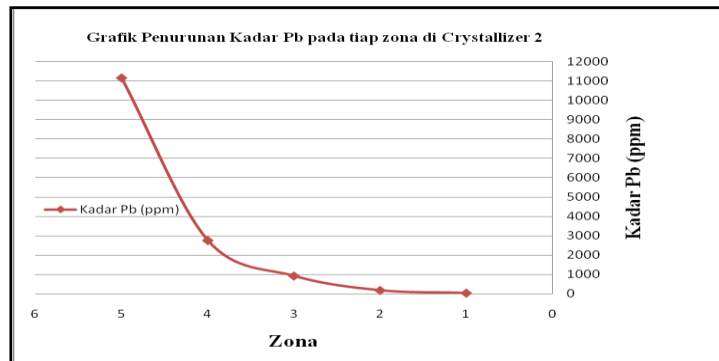
Feed	Kadar Pb awal (ppm)	RPM	Zona	Temperatur Setting (°c)	Kadar Pb (ppm)
KETEL XII	1325	500	5	300	11950
			4	350	1050
			3	350	124
			2	475	65
			1	550	21



Gambar 5. Grafik kadar Pb tiap zona Crystallizer 2 (Tanggal 30 November 2010)

Tabel 3. Kadar Pb di tiap zona pada Crystallizer (Tanggal 01 Desember 2010)

Feed	Kadar Pb awal (ppm)	RPM	Zona	Temperatur Setting (°c)	Kadar Pb (ppm)
KETEL XII	990	500	5	300	11160
			4	350	2754
			3	350	915
			2	475	170
			1	550	32



Gambar 6. Penurunan Kadar Pb tiap zona Crystallizer 2 Tanggal 01 Desember 2010

Pada **Tabel 1**, dapat kita lihat kadar Pb pada masing-masing zona pada Crystallizer 2. Pada tanggal 26 November 2010, kadar Pb pada zona 5 = 15720 ppm, zona 4 = 11952, zona 3 = 1276, zona 2 = 600, zona 1 = 20 ppm, dengan kadar Pb pada feed sebesar 2090 ppm. Pada **Tabel 2**, pengambilan sampel pada tanggal 30 November 2010, kadar Pb pada zona 5 = 11950 ppm, zona 4 = 1050 ppm, zona 3 = 124 ppm, zona 2 = 65 ppm, zona 2 = 21 ppm, dengan kadar Pb pada feed sebesar 1325 ppm. Dan pada tanggal 1 Desember 2010 (**Tabel 3**), kadar Pb pada zona 5 = 11160 ppm, zona 4 = 2754 ppm, zona 3 = 915 ppm zona 2 = 170 ppm, zona 1 = 32 ppm, dengan kadar Pb pada feed sebesar 990 ppm.

Dari data diatas, dapat kita lihat pada zona 5 selalu terjadi kenaikan kadar unsur Pb, hal ini disebabkan karena zona 5 merupakan tempat penampungan PbSn, dimana

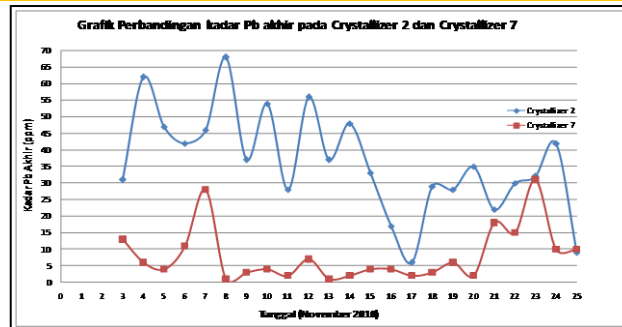
larutan yang mempunyai kadar unsur Pb tinggi yang memiliki titik lebur rendah akan mencair dan mengalir ke bawah (zona 5). Pada zona 4 pun terjadi kenaikan kadar unsur Pb, kecuali pada sampel yang diambil pada tanggal 30 November 2010, kenaikan unsur Pb yang terjadi pada zona 4 ini dikarenakan zona ini merupakan zona tempat di tuangkannya feed ke *chamber*, dan zona ini berada tepat diatas zona 5 yang merupakan tempat penampungan PbSn yang mempunyai kadar unsur Pb tinggi memiliki, sehingga unsur Pb yang mencair akan melewati zona ini sebelum mengalir menuju ke zona 5, dan menyebabkan kadar unsur Pb pada zona ini cukup tinggi. Adapun faktor non teknis lainnya yang mempengaruhi kenaikan kadar unsur Pb pada zona 4 ini ialah faktor penyemprotan air yang mengenai zona 5, sehingga larutan yang mengandung Pb tinggi ikut mengkristal akibat penurunan temperatur oleh penyemprotan air dan naik ke zona 4 mengikuti aliran putaran *blade*.

#### 4. Analisis Penurunan Kadar Pb pada Crystallizer 2 dan Crystallizer 7

Berdasarkan data hasil pengamatan, kadar penurunan unsur Pb rata-rata pada Crystallizer 2 sebesar 96,74 %, sedangkan kadar penurunan unsur Pb rata-rata pada crystallizer 7 sebesar 99,29 %. Dari dua kinerja Crystallizer yaitu Crystallizer 2 dan Crystallizer 7, dapat kita lihat bahwa Crystallizer 7 memiliki tingkat penurunan kadar Pb yang lebih efisien dibandingkan dengan Crystallizer 2. Hal ini dapat terjadi karena settingan dari kedua Crystallizer tersebut berbeda. Crystallizer 2 memiliki settingan sebagai berikut : - Temperatur : Zona 1 = 550 °C, Zona 2 = 475 °C, Zona 3 = 350 °C, Zona 4 = 350 °C, Zona 5 = 300 °C, Holding Pot = 350 °C. - Putaran Blade : 500 rpm. Sedangkan Crystallizer 7 memiliki settingan sebagai berikut : - Temperatur : Zona 1 = 500 °C, Zona 2= 425 °C, Zona 3 = 350 °C, Zona 4 = 350°C, Zona 5 = 350 °C, Holding Pot = 400 °C.dengan Putaran Blade : 250 rpm. Perbandingan kadar Pb akhir pada Crystallizer 2 dan Crystallizer 7 dapat dilihat Gambar 3.

*Pengaturan (Setting)* tersebut mempengaruhi dari produk kristal yang dihasilkan, hal ini karena temperatur merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat penurunan kadar Pb pada crystallizer, Semakin rendah temperatur maka akan semakin banyak produk kristal yang dihasilkan, namun kandungan Pb yang terdapat dalam produk kristal akan semakin tinggi, begitu pula sebaliknya, semakin tinggi temperatur, maka akan semakin sedikit produk kristal yang dihasilkan, namun kandungan Pb yang terdapat dalam produk kristal rendah. Untuk putaran blade, pengaruh dari faktor putaran blade terhadap penurunan kadar Pb adalah, semakin cepat putaran blade, maka semakin banyak butiran kristal yang didapat, tetapi semakin meningkatkan kadar Pb yang terdapat dalam butiran tersebut. Sedangkan bila semakin lambat putaran blade, maka akan semakin sedikit butiran kristal yang diperoleh tetapi semakin rendah kadar Pb yang terdapat dalam butiran.





**Gambar 3. Grafik perbandingan kadar Pb akhir pada Crystallizer 2 dan Crystallizer 7**

Faktor yang mempengaruhi penurunan kadar Pb dengan menggunakan Crystallizer yaitu faktor penyemprotan air yang dilakukan oleh operator Crystallizer, faktor ini sangat penting dalam proses penurunan kadar Pb, keahlian operator sangat diperlukan dalam melakukan penyemprotan, karena dapat berpengaruh terhadap produk Crystallizer yang dihasilkan. Pengaruh penyemprotan air terhadap penurunan kadar Pb yaitu, Jika terlalu lama dilakukan penyemprotan dapat menyebabkan Pb akan ikut mengkristal dan naik bersama produk kristal menuju zona 1, sehingga akan diperoleh butiran kristal dengan kadar Pb tinggi. Tetapi jika waktu penyemprotan sebentar, maka butiran kristal yang kaya akan unsur Sn akan mencair sehingga turun ke zona 5 (PbSn). Pada Crystallizer 2 dapat kita lihat putaran blade 500 rpm, berbeda dengan Crystallizer 7 yang memiliki settingan putaran *blade* 250 rpm, yang berarti Crystallizer 2 menghasilkan produk kristal yang lebih banyak dibandingkan dengan Crystallizer 7, namun kandungan unsur Pb yang terdapat dalam produk kristal Crystallizer 2 lebih banyak jika dibandingkan dengan produk kristal dari Crystallizer 7. Pengaturan (*setting*) temperatur pada Crystallizer 2 yang mana pada Zona 5 sebesar 300 °C, hal ini berpengaruh mana kala saat terjadi penyemprotan oleh operator, yang mengenai zona 5 sehingga unsur Pb yang mencair kembali mengalami penurunan suhu dan mulai membentuk kristal, dan karena pengaruh putaran blade, akan naik keatas (zona 1) dan ikut tercampur bersama dengan produk kristal. Sedangkan pada Crystallizer 7, temperatur pada Zona 5 sebesar 350°C, yang berarti memiliki temperatur lebih tinggi dari Crystallizer 2, sehingga saat penyemprotan mengenai zona 5 pun, unsur Pb yang mencair akan sulit untuk terbentuk menjadi kristal.

Pada zona 3, zona 2 dan zona 1 terjadi penurunan kadar unsur Pb. Penurunan unsur Pb terjadi karena zona 1 dan zona 2 merupakan zona yang memiliki temperatur paling tinggi, sehingga unsur Pb yang tersisa dari Zona 3 akan langsung mencair dan mengalir kebawah (zona 5) saat kristal berada pada zona 1 dan zona 2. Adanya unsur Pb yang melewati zona ini yang tidak sempat mencair dan terdapat dalam produk kristal dikarenakan faktor putaran blade dan penyemprotan, putaran blade yang terlalu cepat menyebabkan unsur Pb yang berbentuk kristal belum sempat mencair namun telah lebih dahulu jatuh ke bak penampungan dan terdapat dalam produk kristal, ditambah faktor penyemprotan air yang terlalu lama yang menyebabkan temperatur menurun dan menyebabkan terjadinya pengkristalan unsur Pb.

#### 4. KESIMPULAN

Dari analisa data hasil pengamatan pada Crystallizer 2 dan Crystallizer 7 yang telah dilakukan untuk menurunkan kadar unsur Pb, dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Tingkat penurunan % kadar Pb yang terjadi pada Crystallizer 2 adalah 96,74 %, sedangkan tingkat penurunan % kadar Pb yang terjadi pada Crystallizer 7 adalah 99,29%.
2. Alat Crystallizer 7 memiliki tingkat penurunan kadar Pb yang lebih optimal bila dibandingkan dengan alat Crystallizer 2.
3. Kadar Pb pada tiap Zona berbeda-beda, Zona 5 memiliki tingkat kadar Pb yang paling tinggi, karena merupakan tempat penampungan larutan PbSn dengan kadar Pb tinggi. Zona 4 merupakan zona dimana dicurahkan feed dari Holding Pot kedalam chamber, sehingga kadar Pb yang terdapat di zona 4 masih tinggi. Pada zona 3, zona 2, dan zona 1 terjadi penurunan kadar Pb.
4. Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi Crystallizer adalah feed, putaran blade, temperatur, dan penyemprotan air oleh operator Crystallizer.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

1. Barata, Dedi, (2006), "Prosedur Operasi Standar Crystallizer" Departemen Metalurgi PT. Koba Tin, Koba, Bangka Tengah, Indonesia.
2. Barata, Dedi, (2006), "Prosedur Operasi Standar Peleburan" Departemen Metalurgi PT. Koba Tin, Koba, Bangka Tengah, Indonesia.
3. Drini, Bedri, (2006) "Aluminium Scrap Refining With Fractional Layer Crystallization", Drini Consulting & Engineering, Technische Universiteit Delft, Kosovo.
4. Fathi Habashi, (1997) "Handbook Ekstraktif Metallurgy" Volume I; The Metal Industry (Ferrous Metal), Wiley Canada.
5. Heyer H, Robert, (1939), "Engineering Physical Metallurgy", Plimpton Press, Norwood, Massachusetts, USA.
6. N. Sevryukov, B. Kuzmin, Y. Ihelishchev, (1969), "General Metallurgy", Peace Publishers, Moscow
7. NN. Murach, N Sevryukov, SI Pol'kin dan Yu.A. Bykov, (1967), "Metallurgy Of Tin" Volume 2, National Lending Library For Science and Technology, Boston, Yorkshire, England
8. Philips Analytical, (1999), "Spectro A.I (Arc Spark Spektrometer)", Netherland Slickers, Karl, (1993), "Automatic Atomic Emission Spectroscopy", 2<sup>nd</sup> edition, Bruhlsche University, Druckerey, Germany.

## PENGOLAHAN AIR LIMBAH PEWARNA SINTETIS DENGAN MENGGUNAKAN REAGEN FENTON

Tuty E. Agustina<sup>1\*</sup>, Enggal Nurisman<sup>1</sup>, Prasetyowati<sup>1</sup>, Nina Haryani<sup>1</sup>, Lia Cundari<sup>1</sup>, Alien Novisa<sup>2</sup> dan Oki Khristina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya Km.32, Inderalaya

<sup>2</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya Km. 32, Inderalaya

\*Korespondensi Pembicara. Phone: +62 711 580303, Fax: +62 711 580303  
Email: tutycurtin@yahoo.com

### ABSTRAK

Saat ini, pencemaran lingkungan akibat limbah industri sudah cukup memprihatinkan. Salah satu limbah yang sangat mengganggu kelestarian lingkungan adalah air limbah yang mengandung pewarna sintetis yang dihasilkan oleh industri tekstil skala besar maupun Industri Kecil dan Menengah (IKM). Air limbah pewarna sintetis yang bersumber dari pabrik tekstil maupun tenun dapat mengakibatkan perubahan warna dan derajat keasaman badan penerima air. Limbah tersebut didominasi oleh pencemaran karena penggunaan zat warna sintetis dalam proses produksinya. Limbah ini dikategorikan sebagai limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun).

Salah satu alternatif kemungkinan penanganan air limbah pewarna sintetis tekstil adalah dengan menggunakan metode Proses Oksidasi Lanjutan. Dalam studi ini akan diaplikasikan reagen Fenton, suatu senyawa Hydrogen peroksida dengan katalis besi, yang merupakan salah satu dari metode Proses Oksidasi Lanjutan (*Advanced Oxidation Processes*). Air limbah pewarna sintetis yang dijadikan model polutan adalah zat warna Procion Blue MR (*Reactive Blue 4*) dan Procion Red MR (*Reactive Red 2*) yang sering digunakan sebagai bahan pewarna dalam pembuatan kain jumputan. Reagen Fenton dibuat dengan menggunakan konsentrasi Hydrogen peroksida 80 mM dan konsentrasi Ferro Sulfat 4 mM. Konsentrasi Procion Blue MR dan Procion Red MR yang digunakan antara 150 mg/L – 250 mg/L. Kecepatan pengaduk divariasikan 100-250 rpm. Dalam semua eksperimen pH larutan diatur 3.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan putaran pengaduk 200 rpm dan konsentrasi zat warna sintetis masing-masing 150 mg/L, didapatkan penurunan zat warna Procion Blue MR sebesar 89% dan Procion Red MR sebesar 98%, dalam waktu 30 menit.

**Keywords:** Proses Oksidasi Lanjutan, pengolahan air limbah, pewarna sintetis, Reagen Fenton.

### 1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri tekstil khususnya IKM di Sumatera Selatan saat ini mengalami kemajuan yang cukup berarti sehingga banyak menimbulkan dampak positif terhadap perekonomian masyarakat. Akan tetapi disamping dampak positif, kegiatan di bidang sandang ini juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Saat ini penggunaan pewarna sintetis dalam industri tekstil sudah tidak dapat dihindari lagi, mengingat harganya yang murah, warnanya lebih tahan lama, dan pilihan warna

yang lebih beragam jika dibandingkan dengan pewarna alami. Namun, pewarna sintesis memiliki sifat yang sulit terurai di alam. Apalagi umumnya IKM maupun *home industry* banyak terdapat di daerah yang dekat dengan Sungai Musi. Sehingga apabila limbah tersebut dibuang ke badan air, maka akan mengakibatkan terjadinya perubahan kualitas air.

Penurunan kualitas air, diantaranya ditunjukkan dengan meningkatnya kekeruhan air yang disebabkan adanya polusi zat warna, akan menghalangi masuknya cahaya matahari ke dasar perairan dan mengganggu keseimbangan proses fotosintesis, ditambah lagi adanya efek mutagenik dan karsinogen dari zat warna tersebut, membuatnya menjadi masalah yang serius. Selain itu air limbah pabrik tekstil di Indonesia rata-rata mengandung 750 mg/l padatan tersuspensi, 500 mg/l BOD, dan 750-1500 mg/l COD (<http://one.indoskripsi.com>). Nilai ini jauh melebihi standar baku mutu lingkungan. Oleh karena itu air limbah ini harus diolah dengan baik sebelum dibuang ke badan lingkungan.

Masalah yang dihadapi masyarakat yang tinggal didaerah sekitar kegiatan IKM di Palembang seperti tenun, batik cap, songket, dan jumputan adalah tingkat pencemaran air tanah dan sungai yang sudah sangat memprihatinkan. Pencemaran ini disebabkan oleh air limbah hasil buangan industri yang tidak terkelola dengan baik. Masyarakat yang tinggal di sekitar IKM umumnya menggunakan air sungai dan air tanah sebagai sumber air untuk mencuci, mandi, memasak, bahkan air minum. Tentu saja hal ini sangat membahayakan karena kondisi air, tanah, dan sungai yang tercemar sangat membahayakan kesehatan masyarakat karena mengandung unsur-unsur kimia korosif, polutan organik dan tingkat keasaman yang cukup tinggi. Salah satu contoh hasil analisa air limbah kegiatan tekstil yang ada di Palembang dapat di lihat pada Tabel 1. Adapun standar yang dipergunakan berdasarkan Peraturan Gubernur Sumatera Selatan Nomor 18 tahun 2005 tentang Baku Mutu Limbah cair untuk Industri Tekstil.

**Tabel 1**

Hasil analisa air limbah pabrik batik cap khas Palembang (mg/L)

Parameter	Standar	Sampel Limbah Cair Pencelupan Batik Cap
pH	6- 9	6
COD	150	4.230,366
Amoniak total	8	5,47
Fenol total	0,5	0,008
TSS	50	535
Sulfida	0,3	0,040
Chrom total	1	0,1385
Besi (Fe)	-	2,0587
Tembaga (Cu)	-	0,2696
Seng (Zn)	-	54,7175
Cadmium (Cd)	-	0,0063
Timbal (Pb)	-	0,2349

(Sumber : Tuty dan Herni, 2009)

Dari Tabel 1 dapat dilihat kadar COD dan TSS yang jauh melebihi baku mutu limbah cair industri tekstil. Untuk itu perlu disiapkan teknologi pengolahan limbah agar dampak pencemaran dapat dicegah dan dikendalikan. Beberapa teknologi pengolahan air limbah dengan biaya relatif murah telah diteliti untuk mengatasi permasalahan air limbah pewarna sintesis seperti adsorpsi dengan menggunakan

karbon aktif dari tempurung kelapa (Tuty, 2011), ataupun kombinasi filtrasi dan adsorpsi (Tuty dan Herni, 2009). Beberapa metode lainnya dapat digunakan untuk mengolah air limbah, seperti koagulasi dengan bahan kimia, ozonasi, lumpur aktif, bioreaktor, semikonduktor fotokatalisis, maupun teknik peresapan alami. Namun, seringkali teknologi tersebut membutuhkan biaya operasional yang sangat mahal, baik dari segi pembelian bahan-bahan kimia, instalasi, dan penyediaan lahan, maupun dari segi waktu proses yang relatif lama, contohnya ketika menggunakan bioreaktor. Tentu saja hal ini kurang efisien diterapkan pada IKM karena biaya hasil produksi tidak sebanding dengan biaya pengolahan limbahnya. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan digunakan reagen Fenton sebagai salah satu dari Proses Oksidasi Lanjutan (Advanced Oxidation Process/AOPs) yang diharapkan dapat menghancurkan polutan organik, menghilangkan warna, dan COD (Simon, 2004).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari penggunaan reagen Fenton dalam pengolahan air limbah pewarna sintetis. Percobaan dilakukan pada berbagai konsentrasi zat pewarna sintetis. Pada setiap eksperimen diukur perubahan warna yang dicapai. Setelah didapatkan kondisi yang optimum, metode ini akan diterapkan untuk mengolah air limbah kain jumputan.

## 2. BAHAN DAN ALAT

Penelitian ini bertujuan untuk mengolah air limbah yang mengandung pewarna sintetis yang dihasilkan dari industri tekstil dengan proses oksidasi lanjutan yaitu menggunakan reagen Fenton. Reagen Fenton adalah Hydrogen peroksida yang diberi katalis logam. Yang dijadikan model polutan adalah zat warna sintetis Procion Blue MR dan Procion Red MR yang sering digunakan sebagai bahan pewarna dalam pembuatan kain jumputan.

Limbah pewarna dintetis dibuat dengan melarutkan bahan pewarna dengan berat tertentu ke dalam aquadest, dan diatur sampai pH 3 dengan menambahkan NaOH atau H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Reagen Fenton dibuat dengan konsentrasi Hidrogen peroksida 80 mM dan konsentrasi katalis FeSO<sub>4</sub> 7 H<sub>2</sub>O 4 mM. Konsentrasi zat pewarna sintetis divariasikan 150-250 mg/L. Kecepatan pengaduk divariasikan 100-250 rpm. Pengolahan limbah sintetis dilakukan untuk setiap jenis zat pewarna selama 30 menit. Sampel diambil selama selang waktu tertentu selanjutnya dianalisa degradasi warna untuk setiap run.

Alat yang digunakan adalah Jar Test yang dilengkapi dengan kontrol waktu dan kecepatan pengadukan yang terdapat di Laboratorium Kesetimbangan Teknik Kimia, jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Absorbansi diukur dengan menggunakan Spektrofotometer.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

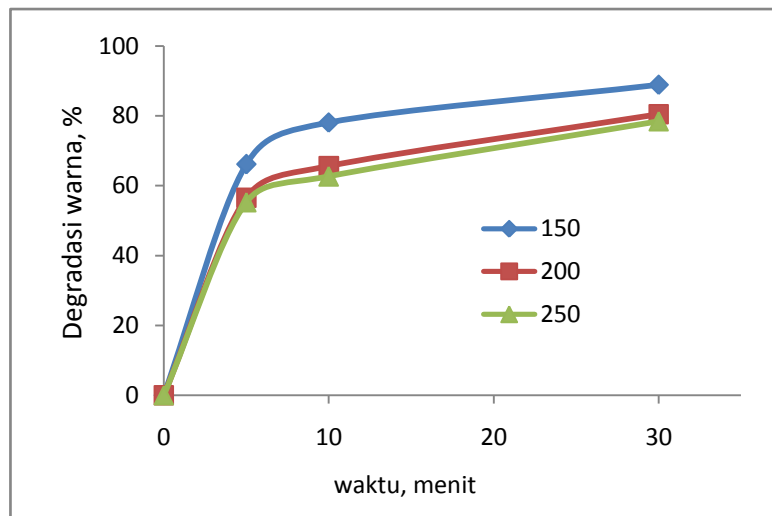
Sampel diambil secara periodik untuk dianalisa penurunan warnanya. Persentasi degradasi warna dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$\% \text{ Degradasi warna} = [1 - (A_t/A_o)] \times 100\% \quad (1)$$

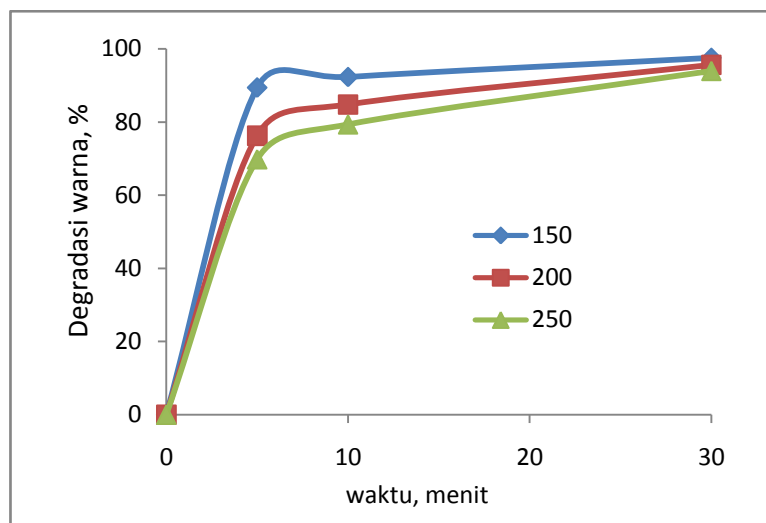
dimana A<sub>o</sub> adalah absorbansi warna awal dan A<sub>t</sub> adalah absorbansi warna pada waktu tertentu.

Pada penelitian ini percobaan dilaksanakan dengan menggunakan pH yang paling tepat untuk reaksi dengan reagen Fenton yaitu pH 3 (Gulkaya et al., 2006). Sedangkan perbandingan antara katalis Fe dan Hidrogen peroksida yang digunakan

adalah 1:20 berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kusic et al. (2006) terhadap air limbah yang mengandung zat pewarna.



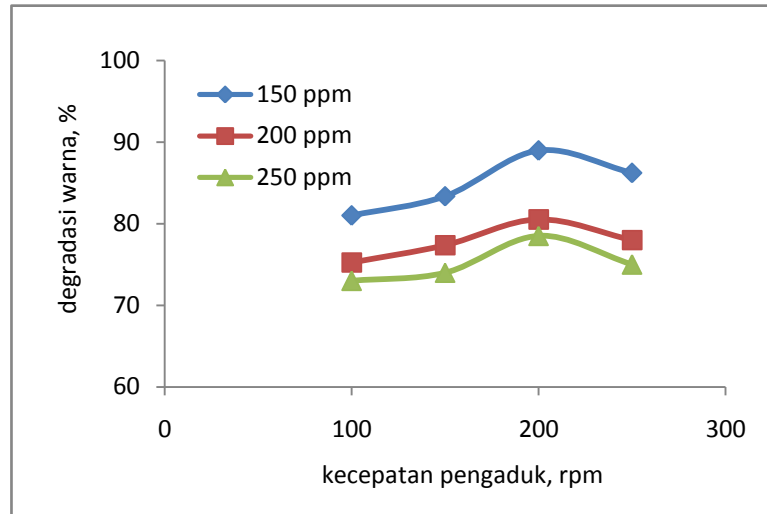
**Gambar 1.** Degradasi warna pada Procion Blue MR. Kondisi operasi : suhu 25 C, waktu reaksi 30 menit, kecepatan pengaduk 200 rpm.



**Gambar 2.** Degradasi warna pada Procion Red MR. Kondisi operasi : suhu 25 C, waktu reaksi 30 menit, kecepatan pengaduk 200 rpm.

Pada Gambar 1 dan 2 dapat dilihat bahwa semakin bertambah waktu reaksi maka akan semakin besar persen degradasi warna yang dicapai. Semakin kecil konsentrasi zat warna yang dipakai, akan semakin besar persen degradasi warnanya, seperti ditunjukkan dalam kedua gambar.

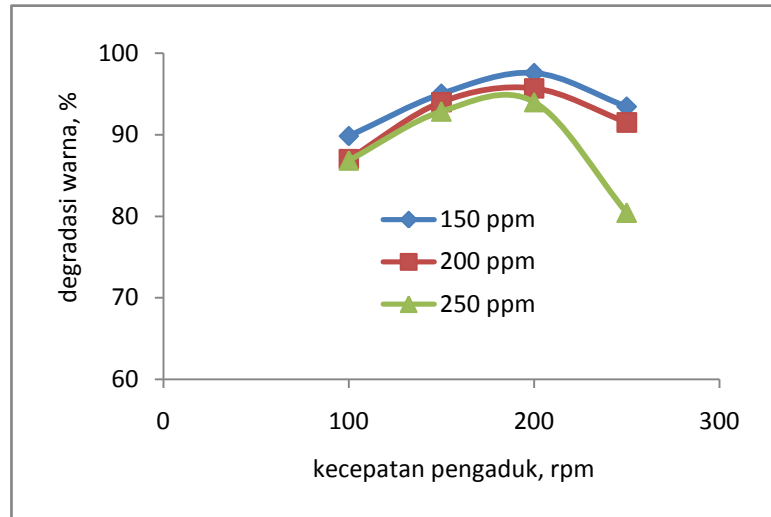




**Gambar 3.** Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap persen degradasi warna Procion Blue MR. Kondisi operasi : suhu 20 C, konsentrasi 150 ppm, waktu reaksi 30 menit.

Pada percobaan ini kecepatan pengaduk divariasikan dari 100-250 rpm. Dari hasil analisa didapat bahwa degradasi warna tertinggi dicapai dengan menggunakan kecepatan pengaduk 200 rpm, yaitu sebesar 89% untuk pewarna sintesis Procion Blue MR dan sebesar 98% untuk pewarna sintesis Procion Red MR, dimana konsentrasi zat pewarna yang digunakan adalah 150 ppm. Untuk kecepatan pengaduk yang sama (200 rpm), pada penggunaan konsentrasi Procion Blue MR 200 dan 250 ppm diperoleh degradasi warna berturut-turut sebesar 81 dan 79%. Sedangkan pada penggunaan konsentrasi Procion Red MR 200 dan 250 ppm diperoleh degradasi warna berturut-turut sebesar 96 dan 94%. Dengan demikian pada putaran pengaduk yang sama, penggunaan konsentrasi zat pewarna sintesis yang semakin kecil akan mengakibatkan persen degradasi warna yang semakin besar. Atau dengan kata lain semakin besar konsentrasi zat warna yang digunakan, semakin kecil persen degradasi warna yang dicapai. Hal ini disebabkan dengan naiknya konsentrasi zat warna, maka jumlah molekul zat pewarna semakin banyak sedangkan jumlah reagen pereaksi tetap, sehingga kemampuan mendegradasikan warna akan turun. Hal serupa telah dilaporkan oleh Marco & Jose (2006), dalam penelitian mereka terhadap decolorasi azo dye Reactive Black 5 dengan menggunakan reagen Fenton.

Akan tetapi ketika kecepatan pengaduk dinaikkan dari 200 menjadi 250 rpm, persen degradasi warna akan menurun, seperti diperlihatkan dalam Gambar 3 dan 4 di bawah ini. Pada kecepatan pengadukan 250 rpm dan konsentrasi zat pewarna 150 ppm, persen degradasi warna Procion Blue MR turun dari 89% menjadi 86%. Demikian pula pada kecepatan pengadukan 250 rpm dan konsentrasi zat pewarna 150 ppm persen degradasi warna Procion Red MR turun dari 98% menjadi 93%. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan putaran pengaduk optimum adalah 200 rpm. Dimana ketika kecepatan putaran pengaduk dinaikkan menjadi lebih cepat maka tidak terjadi perpindahan massa yang maksimal sehingga reaksi yang terjadi tidak sebaik ketika digunakan kecepatan pengaduk 200 rpm.



**Gambar 4.** Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap persen degradasi warna Procion Red MR. Kondisi operasi : suhu 20 C, konsentrasi 150 ppm, waktu reaksi 30 menit.

Selanjutnya reagen Fenton dengan konsentrasi yang sama diujikan pada air limbah yang dihasilkan dari proses pembuatan kain jumputan. Kecepatan pengaduk yang dipakai adalah 200 rpm. Setelah 30 menit hasil yang dicapai dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

**Tabel 2**

Hasil analisa air limbah kain jumputan sebelum dan setelah diolah dengan reagen Fenton selama 30 menit

	Sebelum	Setelah
COD	622	385
pH	5	7
Absorbansi warna	1,293	1,609

Dari tabel dapat dilihat bahwa nilai COD turun dari 622 menjadi 385 mg/L. Persen degradasi warna yang dicapai sebesar 10%. Sedangkan pH yang dihasilkan setelah proses adalah pH normal yaitu 7. Untuk nilai COD, penurunan sebesar 38% cukup besar mengingat waktu kontak yang cukup singkat. Apabila diteruskan untuk jangka waktu proses yang lebih lama, diharapkan persen penurunan COD akan semakin besar. Adapun degradasi warna yang dicapai relatif kecil, hal ini disebabkan panjang gelombang maksimal yang dipakai untuk mengukur absorbansi adalah panjang gelombang Procion Red MR, mengingat warna air limbah didominasi oleh warna merah. Seharusnya panjang gelombang maksimal yang dipakai adalah panjang gelombang air limbah yang bersangkutan, sehingga hasil absorbansi lebih mewakili nilai yang sebenarnya.

#### 4. KESIMPULAN

Dari penelitian dapat disimpulkan bahwa reagen Fenton dapat diterapkan untuk mengolah air limbah pewarna sintetis. Semakin kecil konsentrasi zat warna maka persen degradasi warna akan semakin besar. Kondisi operasi optimal didapat pada kecepatan pengaduk 200 rpm. Dengan menggunakan putaran pengaduk 200 rpm dan

konsentrasi zat warna sintetis masing-masing 150 mg/L, didapatkan penurunan zat warna Procion Blue MR sebesar 89% dan Procion Red MR sebesar 98%, dalam waktu 30 menit. Metode ini dapat diterapkan pada air limbah kain jumputan, dimana dicapai penurunan COD sebesar 38% dan persen degradasi warna 10% dalam waktu 30 menit.

## 5. REFERENSI

- Gulkaya I, Surucu Gulerman A, Dilek Filiz B. (2006). Importance of  $H_2O_2/Fe^{2+}$  ratio in Fenton's treatment of a carpet dyeing wastewater. *J. Hazard. Mater.* 136: 763-769.
- <http://one.indoskripsi.com>, diunduh pada tanggal 13 Juni 2009
- Kusic, H., A.L. Bozic, N. Koprivanac. (2007). Fenton type processes for minimization of organic content in coloured wastewaters: Part I: Processes optimization. *Dyes and Pigments*, 74: 380-387.
- Marco, S.L & Jose A.P. (2006). Decolorization of the azo reactive black 5 by Fenton and photo-Fenton oxidation, *Dyes and Pigments*, 71: 236-244.
- Tuty, E.A., (2011). Pengolahan Air Limbah Pewarna Sintetis dengan Metode Adsorpsi Menggunakan Carbon Aktif, *Jurnal Rekayasa Sriwijaya*, No. 1 Vol. 20, Maret 2011, hal. 36-42
- Tuty, E.A. & Herni, B. (2009). Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 2009, Bandung 19-20 Oktober 2009
- Simon, P. (2004). *Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment*, IWA Publishing: UK.

## PENINGKATAN KUALITAS AIR DOMESTIK DI KAMPUS UNIVERSITAS SRIWIJAYA INDRALAYA MENGGUNAKAN FILTER KERAMIK BERBAHAN TANAH LIAT ALAM DAN ABU TERBANG BATUBARA

Subriyer Nasir<sup>1\*</sup>, Rizka Wulandari Putri<sup>2</sup>, Jelita Intan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya,  
Jl. Raya Palembang-Prabumulih, Indralaya Km 32 Ogan Ilir

\*Korespondensi Pembicara. Phone: +62 711 580303, Fax: +62 711 580303  
Email: subriyer@unsri.ac.id

<sup>2</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya,  
Jl. Raya Palembang-Prabumulih, Indralaya Km.32, Indralaya Ogan Ilir

### ABSTRACT

The research is aimed to study the effect of ceramic filter in treatment of domestic water at campus of Sriwijaya University. Small-scale experiment rig was developed to treat the domestic water using filtration method with ceramic filter. The rig also equipped with the pretreatment system using silica, zeolite and carbon active. Ceramic filters are made from natural clay, fly-ash and iron powder at ratio of 77.5%: 20%: 2.5% respectively. The results showed an increase in water quality that meets the requirements of drinking water standard. The metal ions were decreased significantly. For instance, iron and zinc contents reduced to 99% and pH tend to be neutral which is about 6.9.

*Keywords : ceramics filter, drinking water, , fly-ash, iron powder, natural clay.*

### 1. PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya alam yang diperlukan oleh semua makhluk hidup. Salah satu masalah utama yang dihadapi oleh sumber daya air adalah kualitas air untuk keperluan domestik yang terus menurun. Air dapat tercemar oleh logam-logam berat yang bersifat racun atau karena kandungan ion logam yang tinggi. Salah satu cara untuk meminimalkan kandungan logam-logam berat seperti besi, seng dan mangan pada air baku adalah dengan menggunakan teknologi membran. Sistem filtrasi menggunakan membran pada dasarnya telah lama dikenal dalam pengolahan air, baik untuk kebutuhan air minum atau air untuk keperluan industry bahkan untuk pengolahan air limbah.

Tujuan penelitian ini adalah 1) mempelajari proses pengolahan air domestik dengan menggunakan proses filtrasi dengan filter keramik, 2) mengetahui pengaruh variabel operasi (laju alir dan waktu) pada kinerja filter keramik yang digunakan dan 3) meningkatkan kualitas air di kampus Universitas Sriwijaya Indralaya.

Air yang digunakan di kampus Unsri selama ini ternyata tidak dapat digunakan secara optimal terutama sebagai air minum karena kualitasnya yang tidak begitu baik. Dalam pemanfaatannya air di kampus Unsri hanya digunakan untuk bilas, mencuci atau untuk keperluan wudhu. Air domestik di kampus Unsri Indralaya ternyata belum

masuk kategori aman untuk langsung diminum, karena dalam proses distribusinya melalui sistem pemipaan yang ada saat ini tidak dapat dihindari terjadinya pencemaran yang menyebabkan kualitas air menurun. Proses perebusan air untuk menjadi air minum hanya membunuh kuman dan bakteri, namun tidak membuang kandungan logam yang terkandung di dalam air. Karena itu diperlukan pengolahan lanjutan misalnya dengan menggunakan membran. Manfaat yang didapat pada penelitian ini adalah mengetahui pengolahan air domestik dengan menggunakan filter keramik serta mendapatkan suatu teknologi yang murah dan sederhana dalam pengolahan air domestik.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Membran dapat didefinisikan sebagai suatu media yang berpori dengan ketebalan tertentu serta mempunyai sifat semi-permiabel yang hanya dapat melewatkan partikel dengan ukuran molekuler tertentu atau spesi dalam suatu larutan, spesi dengan ukuran yang lebih besar dari pori akan tertahan sedangkan yang ukuran lebih kecil akan melewati membran. Membran berfungsi memisahkan material berdasarkan ukuran dan bentuk molekul, menahan komponen dari umpan yang mempunyai ukuran lebih besar dari pori-pori membran dan melewatkan komponen yang mempunyai ukuran yang lebih kecil. Filtrasi dengan menggunakan membran selain berfungsi sebagai sarana pemisahan juga berfungsi sebagai sarana pemekatan dan pemurnian dari suatu larutan yang dilewatkan pada membran tersebut. Teknologi membran memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan proses lain, antara lain pemisahan dilakukan secara terus – menerus, konsumsi energi umumnya relatif lebih rendah, proses membran dapat mudah digabungkan dengan proses pemisahan lainnya (*hybrid processing*), dan material membran bervariasi sehingga mudah diadaptasikan pemakaiannya. Berdasarkan ukuran partikel yang dipisahkan, membran dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu sebagai berikut :1) Mikrofiltrasi, 2) Ultrafiltrasi 3) Nanofiltrasi dan 4) Reverse Osmosis.

Pada prinsipnya proses pemisahan dengan menggunakan membran adalah proses pemisahan antara pelarut dengan zat terlarut. Pelarut dipisahkan dengan zat terlarut yang akan tertahan pada membran atau yang disebut dengan konsentrat, sedangkan pelarut akan lolos melalui membran yang dinamakan permeate. Kecepatan aliran komponen yang akan dipisahkan bergantung kepada jenis gaya pendorong (*driving force*) dan karakteristik membran. Jenis gaya pendorong yang ada pada proses pemisahan dengan menggunakan membran yaitu karena adanya perbedaan tekanan, perbedaan konsentrasi, atau perbedaan temperatur.

### Kinerja Membran

Kinerja atau efisiensi perpindahan massa di dalam membran ditentukan oleh dua parameter yaitu :

- a. *Permeabilitas*. Permeabilitas sering disebut juga sebagai kecepatan permeate atau fluks adalah ukuran kecepatan suatu spesi melewati membran persatuan luas dan waktu dengan gradien tekanan sebagai gaya pendorong. Pada proses filtrasi, nilai fluks yang umum dipakai adalah fluks volume yang dinyatakan sebagai volume larutan umpan yang dapat melewati membran per satuan waktu per satuan luas membran. Faktor yang mempengaruhi permeabilitas adalah jumlah dan ukuran pori, interaksi antara membran dan larutan umpan, viskositas larutan serta tekanan dari luar.

b. *Selektifitas*. Selektifitas dinyatakan sebagai koefisien rejeksi adalah ukuran kemampuan membran menahan suatu spesi. Faktor yang mempengaruhi selektifitas adalah besarnya ukuran partikel yang akan melewatinya, interaksi antara membran, larutan umpan dan ukuran pori.

Beberapa faktor yang mempengaruhi pada penggunaan membran diantaranya adalah ukuran molekul, bentuk dan bahan membran, karakteristik umpan, dan parameter operasi seperti transmembrane pressure, temperatur dan konsentrasi umpan.

### Membran keramik

Membran keramik terbentuk dari kombinasi logam (aluminium, titanium, zirkonium) dengan non logam dalam bentuk oksida, nitrida atau karbida. Contohnya adalah membran alumina atau zirkonia. Adanya oksida logam pada membran keramik menghasilkan muatan listrik sehingga *performance* permukaan material keramik lebih kuat. Secara fisik, membran keramik dapat berbentuk tube atau disk dan bersifat porous. Tabel 1 menampilkan beberapa jenis, diameter pori serta bentuk membran yang telah komersial.

Tabel 1. Membran Keramik komersial

Material Membran	Support	Diameter Pori (nm)	Geometri	Fabrikan
Ni, Au		>500	Tube	Mott, Pall
Ag,Pt				Osmonics
Ag/Pd		0	Tube	
ZrO <sub>2</sub>	C	4	Tube	SFEC
ZrO <sub>2</sub>	C	4-14	Tube	UC
ZrO <sub>2</sub>	metal	dynamic	Tube	Carre
ZrO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10	Tube	TDK
SiC	SiC	150-8000	Tube	Ceram Filter
SiO <sub>2</sub> (glass)		4-120	tube kapiler	Asahi, Fuji, Schott
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4-5000	monolith/tube	Alcoa/SCT
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	200-1000	Tube	Norton/Millipore
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	200-5000	Tube	NGK
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	200	Tube	Hoogovens
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25-200	Disk	Anotec/Alcan

Sumber : *Nobbles and Stern (2003)*

### Tanah Liat (Lempung)

Tanah liat memiliki sifat paling stabil dan paling tahan tererosi. Agar tanah liat dapat digunakan untuk membentuk benda keramik maka harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

#### 1. Sifat plastis

Sifat plastis berfungsi sebagai pengikat dalam proses pembentukan sehingga benda yang dibentuk tidak akan mengalami keretakan, pecah atau berubah bentuk.

#### 2. Memiliki kemampuan bentuk

Tanah liat juga harus mempunyai kemampuan bentuk yaitu kualitas penopang bentuk selama proses pembentukan berlangsung yang berfungsi sebagai penyangga.



3. Susut kering dan susut bakar  
Tanah liat yang terlalu plastis biasanya memiliki persentase penyusutan lebih dari 15 %, sehingga apabila tanah liat tersebut dibentuk akan memiliki resiko retak atau pecah yang tinggi.
4. Suhu kematangan (vitrifikasi)  
Suhu bakar keramik berkaitan langsung dengan suhu kematangan, yaitu keadaan benda keramik yang telah mencapai kematangan secara tepat tanpa mengalami perubahan bentuk.
5. Porositas  
Fluks membran keramik secara langsung berhubungan dengan porositas, dimana membran keramik yang bagus adalah membran dengan porositas tinggi, tetapi tidak menurunkan kekuatan mekanik membran tersebut.

### **Abu Terbang Batubara (*Fly Ash*)**

Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Secara kimia abu batubara merupakan mineral alumino silikat yang banyak mengandung unsur-unsur Ca, K, dan Na di samping juga mengandung sejumlah kecil unsur C dan N. Sifat kimia dari abu terbang batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya.

### **Kandungan Logam dalam Air**

Indikator yang digunakan untuk mendeteksi pencemaran air adalah cemaran logam berat didalamnya. Di antara semua unsur logam berat, Hg menduduki urutan pertama dalam hal sifat racunnya, kemudian diikuti oleh logam berat antara lain Cd, Ag, Ni, Pb, As, Cr, Sn, Fe dan Zn. Kelebihan seng (Zn) dalam tubuh sebanyak 2 gram atau lebih dapat menyebabkan muntah, diare, kelelahan yang sangat, anemia, gangguan reproduksi serta gangguan ginjal. Dalam tanah besi (Fe) terdapat sebagai  $Fe_2O_3$  atau sebagai  $FeS_2$  yang sifatnya sukar larut. Adakalanya terdapat sebagai  $FeCO_3$  yang sukar larut. Kandungan besi dalam air yang diperbolehkan < 0,3 ppm apabila melebihi 0,3 ppm, mengakibatkan warna air menjadi kemerah-merahan, memberi rasa tidak enak pada minuman dan pembentukan endapan pada pipa logam. Kelebihan zat besi (Fe) pada tubuh manusia bisa menyebabkan keracunan, dimana terjadi muntah, diare dan kerusakan usus serta gangguan pada ginjal. Semakin tinggi TDS maka dalam jangka panjang akan memberikan dampak negatif pada tubuh manusia karena tidak sanggup diuraikan dan akan mengendap sebagai sumber berbagai penyakit *degenerative*.

### **Air Domestik di Kampus UNSRI Indralaya**

Unit Pengolahan Air (*water treatment*) Kampus UNSRI Indralaya memiliki kapasitas 20 liter per detik, dengan memanfaatkan Sungai Klekar sebagai sumber air baku. Pemilihan Sungai Kelekar sebagai sumber air baku dikarenakan oleh kuantitas air sungai yang memadai untuk memenuhi kebutuhan Kampus UNSRI dan jarak pendistribusian yang tidak terlalu jauh dari kampus.

Air domestik di kampus UNSRI diambil melalui pipa pengambilan (*intake*) yang terletak di daerah perbatasan antara desa Muara Penimbung Indralaya dengan desa Tanjung Seteko. Air baku ditampung di dalam bak air baku dengan volume  $150\text{ m}^3$ , dimana pada bak tersebut diinjeksikan tawas untuk menjernihkan air baku. Kemudian air dari bak air baku masuk ke bak flokulasi, dengan tujuan untuk pembentukan dan pemisahan flok-flok dengan pengadukan cepat. Setelah flok terpisah, lalu air masuk

ke bak sedimentasi dimana terjadi pengendapan flok-flok yang terikut. Kemudian difiltrasi di bak filter dengan filter pasir kuarsa dan ijuk. Sebelum masuk ke bak penampung, air yang sudah diolah diinjeksikan kaporit untuk mengontrol pH dan setelah itu akan disimpan di 10 (sepuluh) bak penampung sebelum dialirkan ke tiap-tiap fakultas.

### **Study mengenai pengolahan air dan limbah cair dengan metode filtrasi membran**

Berbagai study yang telah dilakukan untuk pengolahan air menggunakan proses filtrasi menggunakan membran dapat dijumpai pada beberapa literatur. Membran atau filter keramik yang akan dirancang dalam penelitian ini adalah jenis Mikrofiltrasi/Ultrafiltrasi yang dibuat dari tanah liat dan abu batu bara (fly-ash) dengan pertimbangan bahwa material ini banyak terdapat di Indonesia sehingga kemungkinan aplikasi komersialnya akan lebih luas. Sebagaimana diketahui membran keramik tidak saja dapat digunakan untuk pemisahan padat-cair, cair-cair namun dapat digunakan pada pervorasi gas-gas. Kebanyakan penelitian dilakukan untuk mengolah air limbah atau limbah cair yang berasal dari industri.

Allabasi. R et al (2007) dalam studi menggunakan membran keramik yang terbuat dari campuran  $Al_2O_3$ , SiC dan  $TiO_2$  menemukan bahwa membran keramik dapat menurunkan polutan dalam air seperti polycyclic aromatic hydrocarbon (sampai 99%), monocyclic aromatic hydrocarbon (93%), trihalogen methanes (81%), pesticides (43%) and methyl-*tert*-butyl ether (sampai 46%).

Studi yang dilakukan oleh Sui, X dan Xiaorong Huang (2003) menggunakan membran keramik tubular dengan ukuran pori rata rata 0.15  $\mu m$  sampai 0.3  $\mu m$  dapat menghilangkan bakteri pathogenetic seperti *E. coli*, Salmonelle, microzyme, staphylotoxin, *Pseudomonas aeruginosa* sampai 100%. Membran keramik yang didisain mereka mempunyai panjang 225 mm, diamter luar 55 mm dan ketebalan 7 mm dapat menghasilkan sampai 50 m<sup>3</sup> air minum.

Studi yang dilakukan beberapa peneliti sebelumnya memperlihatkan bahwa limbah sekunder dari industri mempunyai prospek yang cukup baik sebagai sumber air di masa depan. Limbah sekunder sekunder yang telah diolah terbukti dapat digunakan sebagai *non-potable water* seperti untuk umpan sistem cooling tower. (Wijesinghe, et al. 1996). Eksperimen pengolahan limbah cair dari industri tekstil yang dilakukan oleh Sojka-Ledakowicz et al (Sojka-Ledakowicz, et al. 1998) menggunakan dua jenis membran (RO dan NF) menunjukkan bahwa RO mampu mereduksi chemical oxygen demand (COD) sampai 99.7%.

Penelitian yang pernah dilakukan dengan menggunakan membran keramik (Nasir, S et-al 2010) memperlihatkan bahwa membran keramik yang dibuat dengan perbandingan tertentu dari tanah liat dan abu batu bara ternyata cukup efektif dalam menurunkan TDS, logam berat dan juga Amonia dari limbah cair industri pupuk urea. Salah satu kelemahan yang dijumpai adalah sifat membran yang rapuh dan mudah patah (brittle). Hal yang sama dengan membran keramik yang dibuat dari campuran tanah liat, zeolit, silika dan mangan dalam pengolahan air rawa sebagai sumber air bersih. Untuk memperbaiki kekuatan mekanis filter yang dirancang ditambahkan serbuk besi dalam perbandingan tertentu (Nasir, S et al 2010)

### **3. METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan di dua tempat. Persiapan bahan baku filter keramik berupa serbuk besi dan *fly ash* di Laboratorium Keseimbangan Kimia Jurusan Teknik Kimia

Universitas Sriwijaya. Pengolahan air domestik di Laboratorium Teknik Pemisahan Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

### ALAT DAN BAHAN

Alat yang digunakan antara lain :

1. Filter keramik 2. Selang plastik 3. Pressure gauge 4. Pipa PVC, 5. Pompa air 6. Flowmeter 7. pHmeter 8. TDS meter, 9. Oven 10. Erlenmeyer, 11. Kertas saring, 12. Neraca elektrik dan 13. Gelas ukur. Sedangkan bahan yang digunakan adalah tanah liat, abu terbang batubara, serbuk besi dan air domestik dari kampus UNSRI sebagai sampel.

### PROSEDUR PENELITIAN

#### 1. Pembuatan Filter Keramik

Pencampuran tanah liat, abu batubara dan serbuk besi,  
77,5% : 20% : 2,5%

Air 30%

↓  
Dicetak bentuk silinder

↓  
Pengeringan

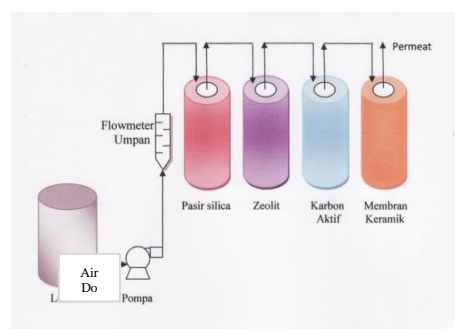
↓  
Sintering pada  
Suhu 900 – 1000oC

↓  
Filter keramik

**Gambar 1. Diagram Alir Proses Pembuatan Filter Keramik**

Filter keramik dibuat dari tanah liat dan abu terbang batubara yang diperkuat dengan serbuk besi dengan ukuran partikel 500 µm. Dimensi filter adalah diameter dalam = 4 cm, diameter luar = 5 cm dan panjang = 25 cm.

#### 2. Rangkaian Alat Penelitian



**Gambar 2. Skema Rangkaian Alat Penelitian**

Air domestik kampus UNSRI Indralaya ditampung pada tangki berkapasitas 250 liter, untuk proses pengaliran digunakan pompa sentrifugal. Air domestik dialirkan dari tangki penampungan melalui pipa PVC dengan bantuan pompa berturut-turut melewati housing yang berisi pasir silika, zeolit, dan karbon aktif sebelum menuju filter keramik. Kondisi operasi untuk masing-masing filter divariasikan antara laju alir inlet 10 liter/menit dan 12.5 liter/menit dengan waktu operasi berturut-turut selama 15, 30, 45 dan 60 menit.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Analisa sampel awal

Sampel air awal yang diteliti adalah air domestik di kampus UNSRI Indralaya yang berasal dari Sungai Kelekar, Desa Muara Penimbung Indralaya yang diolah pada unit water treatment UNSRI dengan analisa sampel awal seperti tertera pada Tabel 1.

Tabel 2. Kandungan Sampel Air Awal

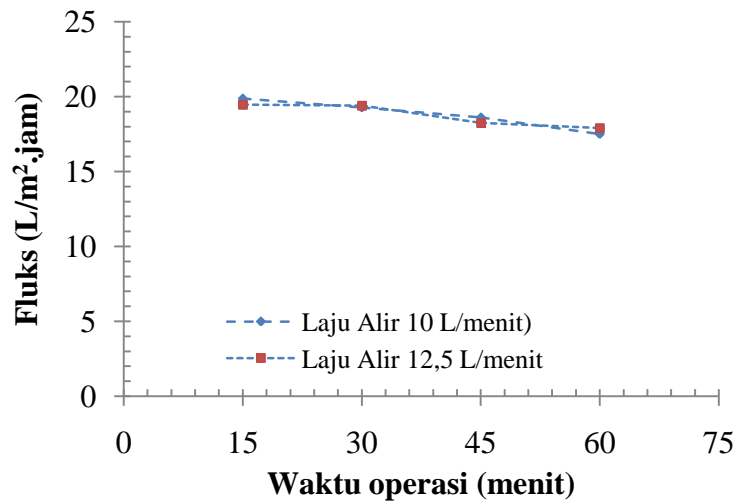
No	Parameter	Satuan	Nilai
1.	TDS	mg/L	133
2.	pH	mg/L	6,55
3.	Arsen	mg/L	<0,001
4.	Besi	mg/L	<b>6,149</b>
5.	Fluorida	mg/L	0.011
6.	Kadmium	mg/L	<0,002
7.	Klorida	mg/L	3,450
8.	Mangan	mg/L	<0,030
9.	Seng	mg/L	<b>12,325</b>
10.	Aluminium	mg/L	<b>0,021</b>
11.	Tembaga	mg/L	0,033
12.	Amonia	mg/L	0,060
13.	Kromium	mg/L	<0,050
14.	Nitrit (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	<1,000
13.	Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,002
14.	Sianida	mg/L	< 0,07
15.	Sulfat	mg/L	7,232
16.	Kesadahan	mg/L	16

Dari Tabel 2 terlihat bahwa kadar ion Besi, Seng, dan Aluminium melebihi batas maksimum yang diperbolehkan.

##### 4.2 Hubungan Antara Fluks Terhadap Waktu Operasi

Gambar 3 menampilkan hubungan antara fluks dengan waktu operasi. Dari Gambar 3 terlihat bahwa untuk filter dengan laju alir 10 L/menit, fluks permeat yang dihasilkan setelah waktu operasi 15 menit adalah sebesar 19,9 L/m<sup>2</sup> jam, dan secara perlahan menurun menjadi 19,3 L/m<sup>2</sup> jam pada waktu operasi 30 menit. Fluks permeat akan semakin menurun pada waktu operasi 45 dan 60 menit, sedangkan pada 15 sampai 30 menit pertama fluks relatif stabil. Tidak ada perbedaan yang signifikan bila laju alir ditingkatkan dari 10 L/menit menjadi 12,5 L/menit. Namun demikian

seperti yang telah diduga bahwa penurunan fluks akan terus terjadi dengan meningkatnya waktu operasi.



**Gambar 3. Hubungan fluks terhadap waktu**

Untuk itu diperlukan pembersihan filter secara berkala (frequent filter cleaning) untuk mencegah penurunan nilai fluks karena adanya solute yang tertahan oleh filter yang apabila dibiarkan akan terakumulasi pada permukaan filter dan mengakibatkan terjadinya *fouling*. Fouling dapat terjadi karena adanya ion-ion anorganik (*anorganic fouling*) berupa besi dan seng yang berasal dari air sampel.

#### 4.3 Persentase rejeksi Total Dissolved Solid (TDS) dan Peningkatan pH

Tabel 3 menampilkan persentase rejeksi TDS dan peningkatan pH sebagai fungsi dari waktu operasi.

Laju Alir (L/menit)	Waktu Operasi (menit)	A		B		C		D	
		TDS (ppm)	pH	TDS (ppm)	pH	TDS (ppm)	pH	TDS (ppm)	pH
10	15	35	6,54	32	6,54	52	6,37	25	6,96
	30	33	6,55	33	6,52	50	6,56	23	6,93
	45	34	6,54	31	6,56	51	6,57	22	6,92
	60	37	6,54	32	6,55	54	6,57	25	6,91
Persentase Rejeksi (%)		73,87		75,93		61,09		82,14	
12,5	15	30	6,55	27	6,54	44	6,56	20	6,91
	30	31	6,54	25	6,53	42	6,53	21	6,93
	45	31	6,55	26	6,51	44	6,57	23	6,93
	60	32	6,53	28	6,56	45	6,59	22	6,90
Persentase Rejeksi (%)		76,69		80,07		67,10		83,83	

Keterangan: A = outlet filter silika, B = out filter zeolit, C = outlet filter karbon aktif, D = outlet filter keramik

Dari tabel terlihat bahwa persentase rejeksi TDS sangat fluktuatif pada laju alir 10 liter/menit maupun laju alir 12,5 liter/menit. Terjadi penurunan TDS dari tiap outlet titik A, B, C dan D. Seperti pada laju alir 10 liter/menit pada waktu operasi 15 menit, persentase rejeksi TDS dari titik A yaitu setelah melewati filter pasir silika, dimana persentase rejeksi TDS nya 73,87% menjadi 75,93% pada titik B yaitu setelah melewati filter zeolit. Namun TDS kembali meningkat sedikit pada outlet housing karbon aktif, sehingga persentase rejeksi TDS nya menurun menjadi 61,09%. Hal ini disebabkan karena karbon aktif yang bersifat porous. Kadar TDS kembali turun pada titik D yaitu setelah melewati filter keramik dengan persentase rejeksi TDS sebesar 82,14%. Begitu pula pada laju alir 12,5 L/menit, fluktuasi penurunan jumlah TDS tidak jauh berbeda. Hasil analisa terhadap pH permeal memperlihatkan bahwa kualitas permeal lebih baik yaitu mendekati pH netral (7).

#### 4.4. Penurunan Kadar ion Logam

Tabel 4 memperlihatkan persentase rejeksi untuk ion ion logam yang ada dalam air sampel. Ion ion logam mengalami penurunan yang sangat signifikan bila dibandingkan dengan sampel awal. Khususnya pada kandungan ion seng (Zn) yang mengalami penurunan yang tinggi, dimana kandungan seng pada sampel awal yaitu 12,352 mg/L yang melebihi kadar maksimum yang diperbolehkan terkandung di dalam air yaitu 3,0 mg/L menjadi berturut turut 0,039 mg/L, 0,073, 0,028 dan 0,020 mg/L. Sama halnya dengan kandungan besi (Fe) yang juga mengalami penurunan yang signifikan dari sampel awal sebesar 6,149 mg/L yang melebihi kadar maksimum yang diperbolehkan terkandung di dalam air yaitu 0,3 mg/L menjadi berturut turut 0,006 mg/L, 0,005, 0,006 dan 0,01 mg/L.

Tabel 4. Persentase Rejeksi Kandungan Ion Logam Fe dan Zn

Laju alir (L/m <sup>2</sup> .jam)	Waktu Operasi (menit)	Fe (mg/L)	Persentase rejeksi ion Fe (%)	Zn (mg/L)	Persentase rejeksi ion Zn (%)
10	15	0,006	99,90	0,039	99,68
	45	0,005	99,92	0,073	99,41
12,5	15	0,006	99,90	0,028	99,77
	45	0,010	99,84	0,020	99,84

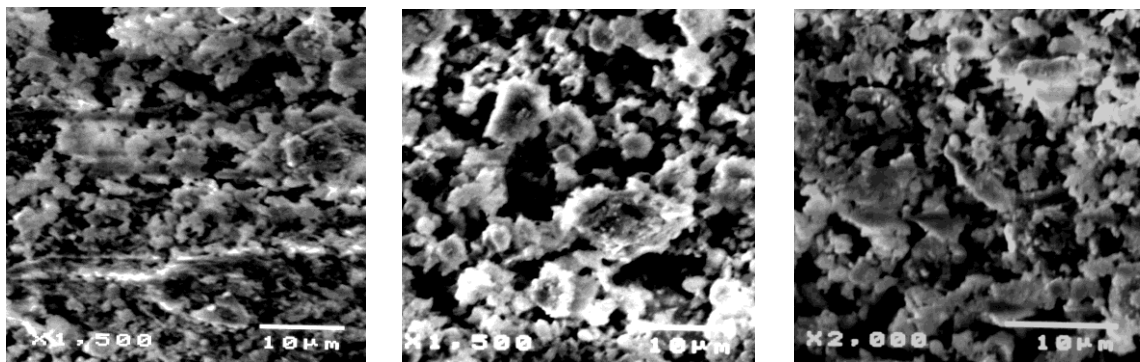
Filter keramik dengan komposisi tanah liat, *fly ash* dan serbuk besi 77,5% : 20% : 2,5% ukuran 500  $\mu\text{m}$  mampu menurunkan konsentrasi parameter yang melebihi kadar maksimum yang diperbolehkan dari air domestik awal. Hal ini terlihat dari turunnya kandungan ion logam besi (Fe), seng (Zn), TDS dan juga menetralkan pH. Penurunan kandungan ion logam besi (Fe), seng (Zn), TDS, dan pH dikarenakan adanya proses filtrasi yang terjadi pada filter keramik. Proses filtrasi yang dimaksud adalah partikel partikel dengan diameter yang lebih besar dari ukuran pori filter akan tertahan pada permukaan filter. Selain proses filtrasi terjadi juga proses adsorpsi yang disebabkan karena adanya tumbukan partikel-partikel dengan *fly-ash*. Semakin banyak pori-pori yang ada pada filter keramik maka semakin luas permukaan, sehingga semakin efektif untuk digunakan menyerap zat pencemar, karena adsorpsi merupakan fenomena fisik yang menyangkut permukaan suatu material maka



adsorben yang baik harus berupa struktur berpori yang memiliki permukaan cukup luas.

Nilai TDS yang dihasilkan juga mengalami penurunan yang sangat signifikan baik pada laju alir 10 liter/menit maupun 12,5 liter/menit. Permeat dari filter keramik yang dihasilkan pada laju alir 10 liter/menit maupun 12,5 liter/menit mengalami persentase rejeksi TDS rata-rata sebesar 82,14% dan 83,83%, sedangkan persentase rejeksi TDS pada housing yang berisi pasir silika, zeolite, dan karbon aktif berkisar antara 61,09 - 80,08 %.

#### 4.5. Analisa Scanning Electron Microscope (SEM)



(a)

(b)

(c)

Gambar 4. Citra SEM untuk filter dengan komposisi tanah liat:abu terbang: serbuk besi 77,5% : 20% : 2,5% dengan ukuran partikel abu terbang serta serbuk besi 500 µm. (a) bagian inlet filter, (b) bagian tengah filter dan (c) bagian outlet filter.

Gambar 4 memperlihatkan hasil analisis citra dengan SEM untuk berbagai potongan filter pada perbesaran 1500 dan 2000 kali. Dari gambar-gambar tersebut dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan struktur pori yang random pada berbagai perbesaran. Filter dengan komposisi tanah liat: abu terbang : serbuk besi = 77,5% : 20% : 2,5% dengan ukuran partikel abu terbang dan serbuk besi masing masing 500 µm menampilkan struktur pori yang relatif porous sehingga proses filtrasi akan relatif mudah. Sebagai konsekuensinya maka permeat akan lebih banyak dihasilkan. Image juga memperlihatkan bahwa baik bagian inlet, tengah maupun outlet membran tidak memperlihatkan perbedaan signifikan terhadap struktur porinya.

#### 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa filter keramik dapat digunakan untuk mengolah air domestik menjadi air yang memenuhi persyaratan kualitas air minum. Hal ini dikarenakan hasil yang diperoleh dari penelitian menunjukkan persentase rejeksi kandungan ion logam berat Besi (Fe), Seng (Zn), pH dan TDS yang cukup tinggi dan sesuai dengan standar air minum.

#### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Kinerja filter keramik yang dibuat dari campuran tanah liat, abu terbang batu bara dan serbuk besi cukup efektif dalam menghasilkan permeat dengan kualitas yang baik. Hal ini tercermin dalam penurunan kandungan ion logam berat besi (Fe) dalam air domestik mencapai 99,89% serta kandungan ion logam seng (Zn)

mencapai 99,67% diikuti penurunan TDS sekitar 99% dari TDS air domestik sebelum diolah.

- 2) Volume permeat, laju alir dan waktu operasi mempengaruhi dalam penentuan nilai pH, TDS, kandungan logam besi (Fe), logam Seng (Zn) dan fluks.
- 3) Filter keramik dapat digunakan sebagai solusi alternatif dalam pengolahan air menjadi air yang memenuhi persyaratan air minum.

#### SARAN

- 1) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mencari kondisi operasi optimum pengolahan air menggunakan filter keramik, antara lain tekanan dan *life time* (umur pakai) membran.
- 2) Perlu dilakukan analisa uji porositas untuk melihat struktur filter keramik dan uji kuat tekan untuk mengetahui kekuatan filter keramik.
- 3) Perlu ditambahkan unit sterilisasi dengan sinar ultraviolet untuk tahap selanjutnya agar air yang dihasilkan dapat langsung siap minum.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- Allabashi, R, Michael Arkas, Gerold Hörmann, Dimitris Tsiourvasm (2007), “ Removal of some organic pollutants in water employing ceramic membranes impregnated with cross-linked silylated dendritic and cyclodextrin polymers” *Water Research*, Vol 41 issue 2
- Ambarrini,S dan Reni, A. (2010), ”Kinerja Filter Keramik Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Pupuk Urea”, Laporan Penelitian. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.
- Bhave, R.R. (1991), “Inorganic Membrane: Synthesis. Characteristic and Applications”, Van-Nostrand-Reinhold. France.
- Dickenson, Christopher. (1992), “Filters and Filtration Handbook”, Elsevier Science Publishers LTD. United States of America.
- Nasir, S, Desi Anggraini dan Afriani (2010), “Pembuatan Filter Mikrofiltrasi dari Clay dan Fly-ash dan Aplikasinya pada Pengolahan Limbah Cair”, Prosiding Seminar Teknik Kimia Universitas Parahyangan, Bandung, 22 April 2010
- Nasir, S., Atikah (2010), “*Kinerja Filter Keramik dalam Pengolahan Limbah Cair Pupuk Urea*”, Temu Ilmiah Nasional Dosen Teknik IX, Universitas Tarumanegara, Jakarta, 16 Desember 2010
- Nasir, S., Hatta Dahlan, David Bahrin (2010), “Perancangan Sistem Pengolahan Limbah Cair dengan Metoda Filtrasi Menggunakan Membran Keramik Berbahan Tanah Liat dan Abu Terbang Batu bara”, Penelitian Hibah Strategis Nasional, 2010
- Nasir, S (2010), “Aplikasi Membran Jenis Spiral-Wound dalam Pengolahan Limbah Cair Sekunder”, *Jurnal Purifikasi*, Terakreditasi B, Vol 11 No 2, 2010
- Nasir, S., Hatta Dahlan, David Bahrin, Atikah (2011), “Pengolahan Limbah Cair Pupuk Urea Menggunakan Filter Keramik”, *Jurnal Purifikasi*, Terakreditasi B, Vol 12, Juli 2011
- Noble, R. D and S. A. Stern. (1995), “Membrane Separations Technology, Principles and Applications”, Elsevier Science B. V.

## **PENGOLAHAN LIMBAH KERTAS MENJADI PULP SEBAGAI BAHAN PENGEMAS PRODUK AGROINDUSTRI**

**DR.IR.M.Hatta Dahlan,M.Eng**  
Staf pengajar pada jurusan Teknik Kimia Unsri

### **ABSTRAK**

Daur ulang limbah kertas adalah proses untuk memanfaatkan limbah kertas menjadi sesuatu produk yang berguna, mengurangi penggunaan bahan baku yang baru, mengurangi penggunaan energi, mengurangi polusi, kerusakan lahan, dan emisi gas rumah kaca jika dibandingkan dengan proses pembuatan barang baru. Pada umumnya kertas dibuat dengan pulp sebagai awal dan kemudian diikuti dengan proses pencetakan. Dimana ada proses pelunakan bahan agar terbentuk bubur kertas. Proses pemutihan dan kemudian penambahan serat. Pembuatan pulp menjadi bahan kemasan produk agroindustri merupakan langkah finishing dalam penelitian ini bertujuan mendapatkan nilai tambah dari bahan kemasan yang bernilai ekonomis.

### **1. PENDAHULUAN**

Pada umumnya sampah kertas banyak dibuang begitu saja dan tidak dimanfaatkan. Penumpukan sampah kertas tentu saja memberikan dampak buruk bagi lingkungan, baik dari segi keindahan maupun kesehatan. Metode daur ulang kertas dapat digunakan sebagai solusi pemanfaatan kertas bekas agar dapat mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan.

Sampah kertas pada saat sekarang ini sebagian besar masih dipandang sebagai limbah lingkungan yang tidak berguna dan banyak menumpuk. Hal seperti ini berpotensi buruk bagi lingkungan sekitar seperti kebersihan yang tidak terjaga diakibatkan sampah kertas yang dibuang dengan asal. Dan juga pemanasan global yang bisa terus meningkat diakibatkan sampah kertas yang di bakar. Sudut pandang terhadap sampah kertas yang seperti itu harus diubah. Sampah kertas dapat dimanfaatkan kembali sebagai kertas yang layak pakai sebagai kertas tulis ataupun kertas untuk kerajinan tangan.

### **PERMASALAHAN**

Limbah kertas yang sering menumpuk ditempat sampah menjadi masalah lingkungan apabila tidak diolah dengan baik, melalui pembakaran tidak menyelesaikan masalah karena dengan pembakaran meningkatkan pemanasan global di atmosfer. Bagaimana cara mereposisi pemakaian kantong pupuk kompos yang sering digunakan oleh petani dalam membeli pupuk dari stack holder.

### **BATASAN MASALAH**

Pengolahan limbah kertas dapat dilakukan secara fisik, kimia dan biologi. Dalam penelitian diambil pendekatan fisik dan kimia. Jenis kertas yang digunakan sebagai bahan baku adalah kertas Koran dan kertas kardus. Pengemasan produk agroindustri berupa kantong pupuk yang dapat dijual secara bebas di toko bahan pertanian.

## TUJUAN

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :Mengetahui cara mendaur ulang kertas bekas menjadi pulp.Mengetahui pengaruh waktu perendaman terhadap kualitas daur ulang kertas bekas menjadi pulp.Mengetahui sejauh mana pulp dapat dijadikan bahan pengemas produk agroindustri.

## MANFAAT

Manfaat dari penelitian ini adalah :Memanfaatkan kertas bekas sebagai bahan baku pembuatan pulp.Mengurangi dampak buruk limbah kertas terhadap lingkungan.Memberikan informasi mengenai cara mendaur ulang kertas bekas menjadi pulp.Membuat pulp menjadi produk agroindustri berupa kantong pupuk kompos.

## METODELOGI PENELITIAN

Proses daur ulang kertas bekasDaur ulang kertas adalah proses untuk menjadikan kertas bekas menjadi kertas dengan tujuan memanfaatkan menjadi sesuatu yang berguna, mengurangi penggunaan bahan baku yang baru, mengurangi penggunaan energi, mengurangi polusi, kerusakan lahan, dan emisi gas rumah kaca jika dibandingkan dengan proses pembuatan barang baru. Pada umumnya kertas dibuat dengan pembuatan pulp sebagai awal dan kemudian diikuti dengan proses pencetakan. Dimana ada proses pelunakan bahan agar terbentuk bubur kertas. Proses pemutihan dan kemudian penambahan serat.Pulp merupakan bahan baku pembuatan kertas dan senyawa-senyawa kimia turunan selulosa. Pulp dapat dibuat dari berbagai jenis kayu, bambu, dan rumput-rumputan. Pulp adalah hasil pemisahan selulosa dari bahan baku berserat (kayu maupun non kayu) melalui berbagai proses pembuatan baik secara mekanis, semikimia, maupun kimia.

## 2. PROSEDUR PEMBUATAN

Disiapkan kertas bekas yang akan di daur ulang.kertas bekas direndam dalam air, kertas bekas yang digunakan sebagai bahan baku disobek kecil-kecil.kertas bekas yang telah dipotong direndam di dalam ember berisi air dan dicampurkan dengan bahan pemutih sebanyak 10 ml selama 20 jam. Kemudian hasil rendaman tersebut ditiriskan.kertas bekas yang telah direndam lalu direbus dengan suhu 100°C selama 1 jam. Setelah itu hasil rebusan didinginkan.Lem PVAC ditambahkan ke dalam kertas bekas kemudian campuran tersebut dihancurkan dengan menggunakan blender sehingga membentuk bubur kertas/pulpPulp dituangkan ke dalam bingkai cetak yang dilapisi bingkai kosong sebagai penahan agar pulp tidak merembes keluar bingkai cetak.Cetakan kosong diangkat, lalu cetakan ber-screen yang dilekati bubur kertas dihadapkan ke papan tripleks sebagai bidang pencetak kemudian cetakan tersebut ditempelkan pada papan tripleks. Kandungan air dalam pulp diserap dengan menggunakan spons sambil ditekan. Kemudian cetakan diangkat dan kertas dikeringkan dengan cara dianginkan ditempat yang teduh (tidak terkena matahari langsung). Setelah kurang lebih 14 jam dan kertas masih sedikit lembab, kertas yang berada di papan tripleks dilepaskan.Kertas disetrika. Alat dan Bahan Proses Penyablonan , Alat dan bahan pada proses penyablonan terdiri dari alat pencetak sablon, bahan sablon dan proses penyablonan. Untuk mencetak dasar sablon menggunakan computer untuk merancang desain ,motif yang akan digambar/dibuat sesuai dengan motif yang diinginkan.Bahan Penyablonan antara lain

- Alat-alat sablon:

- Screen;
- Tinta khusus sablon;
- Autosol 3000;
- 1 botol (250 ml);
- Pengencer M4 (500 ml);
- Taaggle sesuai kebutuhan.

Alat-alat Pembantu antara lain :

- Sabun colek 1 bungkus sedang;
- Kain katun; Hair dryer;
- Kartu nama bekas;
- Air ledeng;
- Minyak sayur 50 ml;
- Spray air;
- Koran kertas bekas;
- Penjepit screen;
- Meja kaca 1 set;
- Kalender bekas;
- Solatif; Cutter;
- Thinner;
- Cangkir dan pengaduk.

Cara kerja :

Screen dibersihkan, pakai air dan sabun cair, dikeringkan pakai hair dryer. Buat pola (sesuai dengan keinginan). Encerkan larutan autosol sebagai media pembuat pola. 2 sendok teh autosol + 1 sendok teh pengencer. Diratakan, diatur permukaan screen dengan kartu nama bekas. Keringkan dengan hair dryer. Pola disiapkan, dicelupkan dulu dalam minyak sayur, kemudian pola ditaruh diatas permukaan screen, pengerjaan pola ditempat gelap. Screen dan pola dijemur di sinar matahari, selama 1 menit. Pola dicuci bersih sehingga terbentuk pola pada screen. Untuk memaksimalkan bentuk digunakan spray drier. Pola dirapikan sehingga mendapat pola yang siap digunakan. Tinta sablon diencerkan, lalu taruh diatas screen, lalu siap dicetak ke bahan yang akan dibuat.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan penelitian mengenai limbah kertas menjadi pulp sebagai bahan pengemas produk agroindustri dengan beberapa variasi bahan kertas yaitu kertas Koran dan kertas kardus, untuk kertas kardus hasil yang diperoleh adalah serat kertas kardus lebih besar dibandingkan dengan kertas Koran. Limbah kertas Koran teksturnya lebih halus dan agak lembut dibandingkan dengan limbah dari kertas kardus, hal ini memudahkan dalam penanganan daur ulang kertas menjadi pulp. Pulp sebagai bahan pembuat kertas terdiri dari serat selulosa dan lignin

Selulosa merupakan polimer dengan rumus kimia  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Dalam hal ini  $n$  adalah jumlah pengulangan unit gula atau derajat polimerisasi yang harganya bervariasi berdasarkan sumber selulosa dan perlakuan yang diterimanya. Kebanyakan serat untuk pembuat pulp mempunyai harga derajat polimerisasi 600 – 1500. Selulosa terdapat pada sebagian besar dalam dinding sel dan bagian-bagian berkayu dari tumbuh-tumbuhan. Selulosa mempunyai peran yang menentukan karakter serat dan memungkinkan penggunaannya dalam pembuatan kertas. Dalam



pembuatan pulp diharapkan serat-serat mempunyai kadar selulosa yang tinggi. Sifat-sifat bahan yang mengandung selulosa berhubungan dengan derajat polimerisasi molekul selulosa. Berkurangnya berat molekul di bawah tingkat tertentu akan menyebabkan berkurangnya ketangguhan. Serat selulosa menunjukkan sejumlah sifat yang memenuhi kebutuhan pembuatan kertas. Kesetimbangan terbaik sifat-sifat pembuatan kertas terjadi ketika kebanyakan lignin tersisih dari serat. Ketangguhan serat terutama ditentukan oleh bahan mentah dan proses yang digunakan dalam pembuatan pulp. Lignin merupakan makromolekul ketiga yang terdapat dalam biomassa, berfungsi sebagai pengikat antar serat. Lignin dapat dihilangkan dari bahan dinding sel yang tak larut dengan klor dioksida.

Struktur molekul lignin sangat berbeda bila dibandingkan dengan polisakarida, karena terdiri dari sistem aromatik yang tersusun atas unit-unit fenil propane. Sifat-sifat lignin yaitu tidak larut dalam air dan asam mineral kuat, larut dalam pelarut organik, dan larutan alkali encer. Lignin yang terikat dalam produk pulp menurunkan kekuatan kertas dan menyebabkan kertas menguning. Pulp akan mempunyai sifat fisik atau kekuatan yang baik apabila mengandung sedikit lignin. Hal ini karena lignin bersifat menolak air dan kaku sehingga menyulitkan dalam proses penggilingan. Kadar lignin untuk bahan baku kayu 20-35 %, sedangkan untuk bahan non-kayu lebih kecil lagi.

Tabel Perbedaan Antara Lignin, dan Selulosa

Selulosa	Lignin
<ul style="list-style-type: none"><li>- Tidak larut dalam pelarut organik dan air</li><li>- Tidak larut dalam alkali</li><li>- Larut dalam asam pekat</li><li>- Terhidrolisis relatif lebih cepat pada temperatur tinggi</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Tidak larut dalam air dan asam mineral kuat</li><li>- Larut dalam pelarut organik dan larutan alkali encer</li></ul>

Adapun faktor yang berpengaruh dalam pembuatan pulp sebagai berikut : Konsentrasi Pelarut Semakin tinggi konsentrasi larutan  $\text{NaClO}$ , akan semakin banyak selulosa yang larut. Larutan  $\text{NaClO}$  berfungsi dalam pemisahan dan penguraian serat selulosa dan non selulosa. Perbandingan Cairan Pemasak terhadap Bahan Baku Perbandingan cairan pemasak terhadap bahan baku haruslah memadai agar lignin terpecah semuanya dalam proses degradasi dan dapat larut sempurna dalam cairan pemasak. Perbandingan yang terlalu kecil dapat menyebabkan terjadinya redeposisi lignin sehingga dapat meningkatkan bilangan kappa (kualitas pulp menurun). Perbandingan yang dianjurkan lebih dari 8 : 1. Temperatur pemasakan berhubungan dengan laju reaksi. Temperatur yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya pemecahan makromolekul yang semakin banyak, sehingga produk yang larut dalam alkali pun akan semakin banyak; Lama pemasakan yang optimum pada proses delignifikasi adalah sekitar 60-120 menit dengan kandungan lignin tetap setelah rentang waktu tersebut. Semakin lama waktu pemasakan, maka kandungan lignin di dalam pulp tinggi, karena lignin yang tadi telah terpisah dari raw pulp dengan berkurangnya konsentrasi  $\text{NaOH}$  akan kembali menyatu dengan raw pulp dan sulit untuk memisahkannya lagi. Waktu perendaman yang divariasikan dalam pembentukan kertas berhubungan dengan pelunakan kertas bekas yang akan dibentuk menjadi pulp. Serat mempengaruhi terhadap ketahanan dari kertas yang akan dibuat. Pengemasan merupakan suatu cara atau perlakuan pengamanan terhadap makanan atau bahan pangan, agar makanan atau bahan pangan baik yang belum



diolah maupun yang telah mengalami pengolahan, dapat sampai ke tangan konsumen dengan “selamat”, secara kuantitas maupun kualitas. Interaksi bahan pangan atau makanan dengan lingkungan dapat menimbulkan dampak yang merugikan bagi bahan pangan tersebut, antara lain : Interaksi massa : Kontaminasi mikrobial (jamur, bakteri, dll); Kontaminasi serangga; Penambahan air atau menguapnya air; Benturan / gesekan. Interaksi cahaya : Oksidasi terhadap lemak, protein, vitamin, dll. Interaksi panas : Terjadi gosong, perubahan warna; Rusaknya nutrisi, case hardening dll. Fungsi Pengemasan adalah Mengatur interaksi antara bahan pangan dengan lingkungan sekitar, sehingga menguntungkan bagi bahan pangan, dan menguntungkan bagi manusia yang mengkonsumsi bahan pangan. Tujuan Pengemasan adalah Membuat umur simpan bahan pangan menjadi panjang. Menyelamatkan produksi bahan pangan yang berlimpah. Mencegah rusaknya nutrisi/gizi bahan pangan. Menjaga dan menjamin tingkat kesehatan bahan pangan. Memudahkan distribusi/ pengangkutan bahan pangan. Mendukung perkembangan makanan siap saji. Menambah estetika dan nilai jual bahan pangan. Pengemasan bahan pangan harus memenuhi beberapa kondisi atau aspek untuk dapat mencapai tujuan pengemasan itu, yaitu : Bahan pengemasnya harus memenuhi persyaratan tertentu. Metode atau teknik Pengemasan bahan pangan harus tepat. Pola distribusi dan penyimpanan produk hasil pengemasan harus baik.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pengolahan limbah kertas menjadi pulp sebagai bahan kemasan produk agroindustri telah dilakukan dan telah mendapatkan hasilnya sebagai berikut : Pulp yang terbentuk waktu pengeringan dalam beberapa hari, sangat tergantung dari ketebalan bahan pulpnya. Makin tebal pulp yang dibentuk makin lama waktu pengeringannya. Pulp dari bahan limbah kertas Koran lebih halus dan agak lembut diperoleh dan lebih mudah disablon dibandingkan dengan limbah kertas kardus. Pulp dari bahan limbah kardus warnanya agak coklat kegelapan dan mudah menyerap air. Warna asli kardus member tekstur tersendiri dalam memproduksi bahan kemasan agroindustri yang mengandalkan keindahan dan kelembutan untuk sedap dipandang mata. Saran-saran adalah sebagai berikut : Untuk penelitian lanjutan dari riset ini, dilanjutkan dengan member aroma terapi pada bahan limbah kertas sehingga produk bahan kemasan ini memberikan nuansa wewangian bagi konsumen yang sangat menyukai aroma terapi.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Austin, George T. 1984. "Shreve's Process Industries", Mc.Grawhill, Inc Washington
- Bjormann, J. Cristophere, 1996, *Pulping and paper Making*, 2 nd edition, academic Press-Inc. California
- Buckle K.A., 1997, "Ilmu Pangan" Penenrbit Balai Pustaka Jakarta
- Fessenden. 1994. "Kimia Organik Jilid II". Erlangga. Jakarta
- Anonim. 2009. "Lignin". Diakses pada 20 Juni 2009 dari <http://en.wikipedia.org>.
- Anonim. 2009. "Cellulose". Diakses pada 20 Juni 2009 dari <http://en.wikipedia.org>.
- Anonim. 2009. "Cellulose". Diakses pada 20 Juni 2009 dari <http://en.wikipedia.org>.
- Anonim. 2008. *Pulp and Paper*. Diakses pada tanggal 10 Oktober 2008 dari : [en.wikipedia.org/pulping and paper](http://en.wikipedia.org/pulping_and_paper)
- Anonim. 2008. *SNI Indeks Putih*. Diakses pada tanggal 10 Oktober 2008 dari : [www.bbpk.org](http://www.bbpk.org).

## PENGARUH JENIS SAMPAH, KOMPOSISI MASUKAN DAN WAKTU TINGGAL TERHADAP KOMPOSISI BIOGAS DARI SAMPAH ORGANIK PASAR DI KOTA PALEMBANG

David Bahrin<sup>1\*</sup>, Destilia Anggraini<sup>2</sup>, Mutiara Bunga Pertiwi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

<sup>2</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya  
Jl. Raya Palembang – Prabumulih KM 32 Inderalaya, Ogan Ilir Sumatera Selatan  
30662

Telp. 0711-580303.

\*Koresponensi Pembicara. Phone: +62 813 73577612. E-mail:

[davidbahrin@unsri.ac.id](mailto:davidbahrin@unsri.ac.id) / [david\\_lht@yahoo.com](mailto:david_lht@yahoo.com)

### ABSTRACT

Sampah organik dari hasil kegiatan pasar merupakan salah satu dari alternatif bahan baku untuk pembuatan pupuk organik (kompos) dan biogas. Beberapa manfaat dari biogas diantaranya adalah mengurangi volume sampah yang tidak dimanfaatkan, mengurangi pencemaran lingkungan dan bahan bakar alternatif. Jumlah dan kualitas biogas yang dihasilkan berbeda-beda tergantung dengan jenis dan jumlah bahan baku yang digunakan, komposisi masukan dan waktu fermentasi. Variabel yang menjadi objek dalam penelitian ini adalah jenis sampah organik sisa kegiatan pasar yaitu sampah sayuran dan usus ayam, perbandingan kadar sampah organik dengan kotoran sapi yang telah diencerkan (30 : 70, 50 : 50, 70 : 30) dan waktu fermentasi yaitu 5 hari, 9 hari, 12 hari, 15 hari, 18 hari, dan 21 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampah organik usus sapi menghasilkan biogas dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan sampah sayuran. Biogas yang dihasilkan mengandung gas metana (CH<sub>4</sub>) dengan komposisi terbesar pada perbandingan komposisi masukan usus ayam dan kotoran sapi 70 : 30 sebesar 54,03 (% volume biogas) dengan waktu fermentasi selama 21 hari.

**Kata kunci :** biogas, fermentasi, organik, pasar, sampah.

### I. PENDAHULUAN

Pada saat ini kota Palembang sedang dihadapkan pada masalah penanganan sampah domestik yang semakin lama semakin menumpuk. Berdasarkan data dari Dinas Kebersihan dan Tata Kota Palembang, sampah organik merupakan jenis sampah yang mendominasi sampah rumah tangga di kota Palembang (Masterplan Persampahan kota Palembang, 2008). Persentase sampah organik yang berasal dari sampah rumah tangga di tambah dengan daun-daun dan kayu sekitar 49,4 % berat basah. Sedangkan jumlah sampah organik yang berasal dari beberapa pasar di kota Palembang pada tahun 2008 dari hasil olah data dalam masterplan persampahan kota Palembang adalah sebesar 785 ton/hari atau 2317 m<sup>3</sup>/hari.

Sampah yang dihasilkan dari kegiatan pasar di Palembang umumnya berasal dari bagian tubuh hewan atau tumbuhan yang tidak dimanfaatkan. Selama ini pengolahan

sampah dilakukan hanya dengan cara ditimbun di suatu tempat. Bila ini dibiarkan, maka dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan terutama munculnya bau yang tidak sedap. Upaya untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan cara memanfaatkan sampah organik tersebut sebagai bahan baku pembuatan biogas ([Hermawan. B., dkk, 2007](#)). Gas bio dihasilkan dari penguraian sampah organik secara anaerobik yang dilakukan oleh mikroorganisme.

## II. FUNDAMENTAL

### 2.1. Pengolahan Sampah

Sampah adalah bahan buangan padat atau semi padat yang dihasilkan dari aktifitas manusia atau hewan yang dibuang karena tidak diinginkan atau tidak digunakan lagi. Sampah adalah limbah yang bersifat padat terdiri dari sampah organik, sampah anorganik dan sampah B3 yang dianggap tidak berguna lagi dan harus dikelola agar tidak membahayakan lingkungan.

Sampah-sampah yang berada di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sering mengalami kebakaran dan menumpuk karena hanya ditimbun. Dengan teknologi pemanfaatan sampah menjadi bahan baku pembuatan biogas, sampah-sampah akan dikumpulkan dan ditambah dengan pemasangan pipa agar gas metana dapat keluar. Pengolahan sampah berwawasan lingkungan ini akan memberikan segala kemudahan sehingga membantu perekonomian di sekitar tempat pembuangan akhir (TPA) sampah di Kota Palembang.

### 2.2. Sampah Hasil Kegiatan Pasar di kota Palembang

Titik awal dari suatu perancangan sistem pengelolaan sampah kota terpadu adalah pengetahuan mengenai sumber sampah. Komposisi dan karakteristik sampah berhubungan langsung dengan sumber sampah. Sumber sampah kota Palembang didominasi oleh sampah pasar dan sampah rumah tangga. Berdasarkan sifatnya sampah kota dapat dibagi menjadi dua yaitu :

- 1) Sampah organik adalah sampah yang mudah terdegradasi sehingga mudah terurai.  
Contohnya : sampah sayuran, daun-daunan, bagian tubuh hewan, sisa makanan, kertas, kayu dan lain-lain.
- 2) Sampah anorganik adalah sampah yang sulit terdegradasi sehingga sulit terurai.  
Contohnya : plastik, kaca, logam, kaleng dan lain-lain.

Berdasarkan data dari Dinas Kebersihan dan Tata Kota Palembang, sampah organik merupakan jenis sampah yang mendominasi sampah rumah tangga di kota Palembang (Masterplan Persampahan kota Palembang, 2008). Persentase sampah organik yang berasal dari sampah rumah tangga di tambah dengan daun-daun dan kayu sekitar 49,4 % berat basah. Sedangkan jumlah sampah organik yang berasal dari beberapa pasar di kota Palembang pada tahun 2008 dari hasil olah data dalam masterplan persampahan kota Palembang adalah sebesar 785 ton/hari atau 2317 m<sup>3</sup>/hari. Jumlah timbunan sampah yang dihasilkan dari pasar Cinde Palembang adalah sebesar 5,34 m<sup>3</sup>/hari (peringkat ke-4 pasar penghasil sampah terbesar di kota Palembang). Pasar Jakabaring adalah penyumbang sampah dengan volume terbesar yaitu sekitar 15,53 m<sup>3</sup>/hari disusul oleh pasar Plaju dan pasar Soak Batu masing-masing sebesar 9,08 m<sup>3</sup>/hari dan 6,07 m<sup>3</sup>/hari. Hampir 50% dari total sampah yang dihasilkan dari kegiatan pasar di kota Palembang tergolong sebagai sampah organik.

Jika sampah tersebut menumpuk maka akan menimbulkan pencemaran lingkungan dan menimbulkan bau yang tidak sedap. Selama ini penanganan sampah

kota Palembang hanya dilakukan dengan cara diangkut dengan mobil Dinas Kebersihan dan Tata Kota Palembang kemudian, dikumpulkan dan ditimbun di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) tanpa diolah lebih lanjut. Padahal apabila sampah tersebut diolah dengan baik akan memberikan manfaat bagi kita misalnya sebagai bahan baku pembuatan biogas dan pupuk organik.

## 2.3. Variabel Penelitian

### 2.3.1. Jenis Sampah

Sampah organik sayur-sayuran dan usus ayam seperti layaknya kotoran ternak adalah substrat terbaik untuk menghasilkan biogas (Hammad *et al*, 1999 di muat dalam [Hermawan](#). B, dkk. 2007). Proses pembentukan biogas melalui pencernaan anaerobik merupakan proses bertahap, dengan tiga tahap utama, yakni hidrolisis, asidogenesis, dan metanogenesis. Tahap pertama adalah hidrolisis, dimana pada tahap ini bahan-bahan organik seperti karbohidrat, lipid, dan protein didegradasi oleh mikroorganisme hidrolitik menjadi senyawa terlarut seperti asam karboksilat, asam keto, asam hidroksi, keton, alkohol, gula sederhana, asam-asam amino, H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>. Pada tahap selanjutnya yaitu tahap asidogenesis senyawa terlarut tersebut diubah menjadi asam-asam lemak rantai pendek, yang umumnya asam asetat dan asam format oleh mikroorganisme asidogenik. Tahap terakhir adalah metanogenesis, dimana pada tahap ini asam-asam lemak rantai pendek diubah menjadi H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, dan asetat. Asetat akan mengalami dekarboksilasi dan reduksi CO<sub>2</sub>, kemudian bersama-sama dengan H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> menghasilkan produk akhir, yaitu metana (CH<sub>4</sub>) dan karbondioksida (CO<sub>2</sub>). Keuntungan pembuatan biogas dari sampah kota yaitu tidak perlu penambahan nutrisi, karena jumlah N dan P pada sampah kota yang dalam penelitian ini berupa sampah sayur sangat besar (Oemar.G.R, dkk, 2007).

### 2.3.2. Komposisi Masukan

Komposisi masukan terdiri dari sampah organik pasar berupa sampah sayuran dan usus ayam masing-masing dicampur dengan kotoran sapi yang diencerkan dengan perbandingan kadar sampah organik dengan kotoran sapi yang telah diencerkan (30 : 70, 50 : 50, 70 : 30).

### 2.3.3. Waktu Tinggal Fermentasi

Waktu tinggal fermentasi adalah waktu yang dibutuhkan dalam proses fermentasi sampah organik pasar untuk menghasilkan gas metana (CH<sub>4</sub>). waktu fermentasi yaitu 5 hari, 9 hari, 12 hari, 15 hari, 18 hari, dan 21 hari. Pada tahap awal proses fermentasi bakteri berkembangbiak untuk hidup dan menguraikan sampah organik. Tahap selanjutnya, bakteri mendapatkan makanan yang cukup dari kotoran sapi (*starter*), yaitu bahan atau substrat yang di dalamnya sudah dapat dipastikan mengandung bakteri metana sesuai yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menghasilkan gas metana (CH<sub>4</sub>).

## 2.4. Hasil Penelitian Yang Telah Dilakukan Sebelumnya

Pada penelitian sebelumnya memiliki judul pemanfaatan limbah untuk dijadikan biogas sebagai energi alternatif yang dapat diperbaharui yang dipublikasikan oleh Thahir R dan Mustafa tahun 2007. Variabel yang dilakukan pada penelitian sebelumnya adalah COD dan *Mixed Liquid Volatil Suspended Solid* (MLVSS). Dalam penelitian tersebut dimensi fermentor adalah tinggi 78.4 cm, diameter 40 cm dan volume 98,5 liter kotoran sapi 8 kg basis basah dengan kadar air 97,65% kemudian

disaring sedangkan limbah sayur 4 kg basis kering dihancurkan dengan menggunakan blinder. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa konsentrasi organik didasarkan pada pengukuran COD, dan MLVSS dapat digunakan untuk menentukan fase perkembangan bakteri dan komposisi biogas dari limbah sayur dengan proses *anaerobik digester* adalah metana ( $\text{CH}_4$ ) 57,698%. Menurut Thahir, R dan Mustafa (2007), hubungan MLVSS terhadap waktu fermentasi dapat menggambarkan kurva keaktifan mikroba selama proses fermentasi berlangsung yang ditandai dengan produksi biogas yang tinggi. Pembentukan biogas dari sampah organik meningkat pada hari ke 9 sampai dengan ke 20 dan pada hari ke 21 dan seterusnya terus menurun.

## 2.5. Biogas

Biogas yang dihasilkan dari sampah organik merupakan gas yang mudah terbakar (*flammable*) dan didominasi senyawa methana ( $\text{CH}_4$ ) dan senyawa  $\text{CO}_2$ . Gas ini dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri anaerob yang tahan pada wilayah atau area yang kedap udara. Semua jenis bahan organik yang mengandung senyawa karbohidrat, protein, lemak bisa diproses untuk menghasilkan biogas. Namun, keheterogenan sampah organik dapat mengakibatkan bakteri anaerobik tidak dapat hidup sehingga perlu pengolahan lebih lanjut agar sampah tersebut benar-benar dapat digunakan sebagai bahan baku untuk memproduksi biogas. Sampah dari bahan organik yang homogen, baik padat maupun cair sangat cocok sebagai umpan pada sistem peralatan produksi biogas secara sederhana. Kandungan metana dalam biogas yang diproduksi oleh reaktor/digester berbeda-beda tergantung jenis feed, komposisi masukan, dan lama waktu fermentasi serta kapasitas reaktor. Zhang *et al.* (1997) di muat dalam [Hermawan](#). B, dkk. (2007) menunjukkan bahwa biogas yang dihasilkan mengandung gas metana sebesar 50-80 (% Volume) dan gas karbondioksida 20-50 (% Volume). Sedangkan Hansen (2001) dimuat dalam [Hermawan](#). B, dkk. 2007, dalam reaktor biogasnya mengandung sekitar 60-70 (% Volume) gas metana, 30-40 (% Volume) gas karbon dioksida serta gas-gas lain, meliputi ammonia, hidrogen sulfida, merkaptan (tio-alkohol) dan gas lainnya. Secara umum komposisi biogas dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini :

Tabel 2.1. Komposisi Biogas

Komponen	Persentase (% Volume)
Metana ( $\text{CH}_4$ )	55-75
Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ )	25-45
Nitrogen ( $\text{N}_2$ )	0-0.3
Hidrogen ( $\text{H}_2$ )	1-5
Hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ )	0-3
Oksigen ( $\text{O}_2$ )	0,1-0,5

Sumber : [Hermawan](#). B, dkk. 2007

Untuk menghasilkan biogas, dibutuhkan pembangkit biogas yang disebut biodigester. Proses penguraian material organik terjadi secara anaerob (tanpa oksigen). Biogas terbentuk pada hari ke 4 – 5 sesudah biodigester terisi penuh, dan mencapai puncak pada hari ke 20 – 25. Biogas yang dihasilkan oleh biodigester



sebagian besar terdiri dari 54–70 (% Volume) metana ( $\text{CH}_4$ ), 27–45 (% Volume) karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), dan gas lainnya dalam jumlah kecil (Rahmanta, 2010).

## 2.6. Prinsip Teknologi Biogas

Pada prinsipnya, teknologi biogas adalah teknologi yang memanfaatkan proses fermentasi (pembusukan) dari sampah organik secara anaerobik (bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara) oleh bakteri metan sehingga dihasilkan gas metana. Gas metana adalah gas yang mengandung satu atom karbon (C) dan empat atom hidrogen (H) yang memiliki sifat mudah terbakar.

Gas metana yang dihasilkan kemudian dapat dibakar sehingga menghasilkan energi panas. Meskipun demikian, hanya bahan organik homogen berbentuk padat maupun cair seperti kotoran dan air kencing hewan ternak seperti sapi yang cocok untuk sistem biogas sederhana. Di samping itu, di daerah yang banyak terdapat industri pemrosesan makanan seperti tahu, tempe, ikan pindang, brem dan lainnya, saluran limbahnya dapat disatukan ke dalam sistem biogas sehingga limbah industri tersebut tidak mencemari lingkungan di sekitarnya. Hal ini memungkinkan karena limbah industri tersebut berasal dari bahan organik yang homogen (Coniwanti. P., dkk., 2009).

Tahap penguraian bahan organik :

### 1. Hidrolisis

Pada tahap ini, molekul organik yang kompleks akan diuraikan menjadi bentuk yang lebih sederhana seperti karbohidrat (simple sugar), asam amino dan asam lemak.

### 2. Asidogenesis

Pada tahap ini terjadi proses penguraian yang menghasilkan amonia, karbon dioksida, dan hidrogen sulfida.

### 3. Asetagenesis

Pada tahap ini dilakukan proses penguraian produk asidogenesis ; yang akan menghasilkan hidrogen, karbon dioksida, dan asetat.

### 4. Metanogenesis

Pada tahap ini adalah tahapan terakhir dan sekaligus yang paling menentukan; yaitu dilakukan penguraian dan sintesis produk tahap sebelumnya untuk menghasilkan gas metana ( $\text{CH}_4$ ). Hasil lain dari proses ini berupa karbon dioksida, air, dan sejumlah kecil senyawa gas lainnya.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Unit Operasi Teknik Kimia untuk menghasilkan sampel gas. Kemudian analisa sampel gas yang diperoleh dilakukan di Dinas Laboratorium Pusat PT. Pupuk Sriwidjaja pada unit Laboratorium Gas, Kalibrasi, dan pengujian. Penelitian dimulai sejak bulan 01 Desember 2010 sampai dengan 07 Januari 2011.

### 3.2. Metode yang dilakukan

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Fermentasi Anaerob.

### 3.3. Variabel yang Diteliti





Variabel-variabel yang menjadi objek dalam penelitian ini adalah :

1. Jenis sampah organik sisa kegiatan Pasar Cinde Palembang, yaitu sampah sayuran dan usus ayam.
2. Perbandingan antara kadar sampah organik (sampah sayuran dan usus ayam) dengan kotoran sapi yang dicampur air dengan perbandingan 30 : 70, 50 : 50 dan 70 : 30.
3. Waktu fermentasi, yaitu 5 hari, 9 hari, 12 hari, 15 hari, 18 hari, dan 21 hari.
4. Komposisi biogas yang dihasilkan.

Hal yang diperhatikan dalam penelitian ini adalah berapa besar komposisi senyawa metana dan senyawa lainnya dalam biogas yang dihasilkan pada dua jenis sampah organik pada berbagai variasi perbandingan kadar sampah organik dan berbagai variasi waktu fermentasi.

Senyawa-senyawa yang akan diamati adalah Gas Metana ( $\text{CH}_4$ ).

### 3.4. Bahan-bahan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### a. Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan yaitu sampah organik terdiri dari limbah sayuran dan limbah usus ayam.

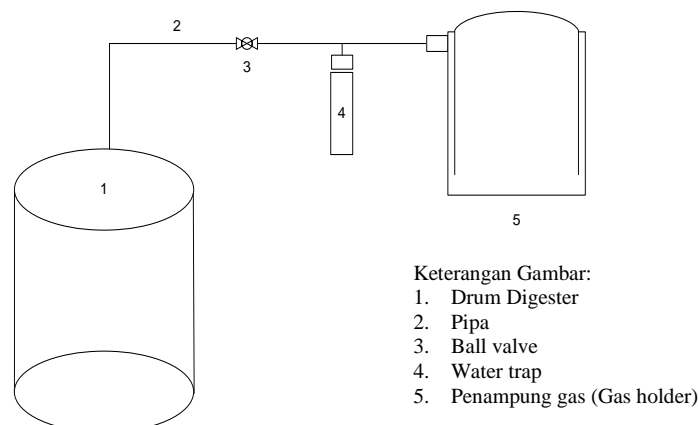
#### b. Bahan Pendukung

Bahan pendukung merupakan bahan tambahan yang dipakai dalam proses pembuatan biogas yang terdiri dari :

1. Air
2. Starter (Kotoran sapi yang diendapkan selama 1 minggu)

### 3.5. Alat-alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah digester, pengaduk, plastik penampung gas, ember, pipa (pvc), timbangan, botol minuman bekas, kawat, karet ban, tali plastik, keran, cutter, pisau, lem pipa (pvc), lakban coklat (perekat), fitting pipa (pvc), peralatan analisa gas chromatografi dan orsat. Gambar skema alat pembuatan biogas yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1. berikut ini;



Gambar 3.1. Skema alat pembuatan biogas yang digunakan dalam penelitian.

### 3.6. Prosedur Penelitian

#### 3.6.1. Membuat Starter

1. Mencampurkan 12 kg kotoran sapi dan 12 kg air ke dalam sebuah digester, kemudian diaduk hingga merata.
2. Memasukkan campuran bahan-bahan tadi ke dalam drum tertutup yang bervolume 19 liter. Biarkanlah digester tersebut dalam kondisi tertutup rapat.
3. Menyimpan digester yang telah berisi campuran bahan-bahan tadi pada tempat yang aman dan terlindung selama 7 (tujuh) hari.
4. Selama penyimpanan, melakukan pengguncangan pada digester tersebut sebanyak 3 (tiga) atau 4 (empat) kali dalam satu minggu

### 3.6.2. Menyiapkan Bahan Baku

1. Mengumpulkan bahan-bahan organik yang dalam penelitian ini digunakan limbah organik dari sisa kegiatan pasar, limbah ternak, atau limbah-limbah organik lainnya.
2. Bila bahan-bahan organik yang akan digunakan telah kering, menghancurkan terlebih dahulu dengan cara mencacahnya hingga halus.
3. Bila bahan-bahan organik yang akan digunakan masih basah (masih segar), dilakukan pencacahan untuk memudahkan pembusukan, kemudian menyimpan di tempat terbuka selama sekitar 10 hari agar mengalami pembusukan.

### 3.6.3. Menempatkan Bahan Baku dalam Unit Peralatan

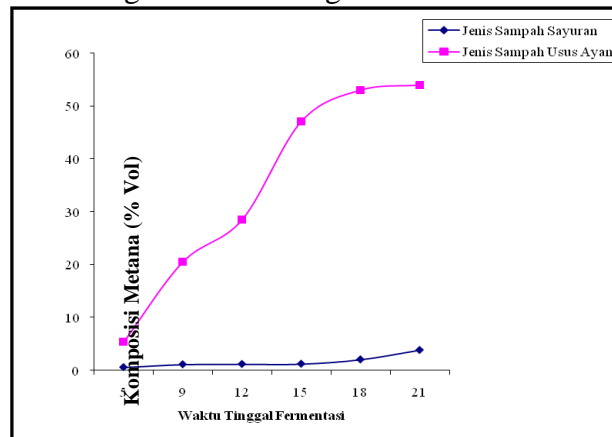
1. Memasukkan bahan organik yang telah disiapkan di atas bersama-sama dengan air ke dalam digester yang bervolume 19 liter, kemudian aduk hingga merata.
2. Memasukkan starter (kotoran sapi) yang telah disiapkan ke dalam digester 19 liter yang telah diisi air dan bahan organik, kemudian aduklah hingga merata.
3. Bila sudah yakin bahwa air, stater dan bahan organik telah tercampur rata, menutup digester dengan penutup yang telah dipasang pipa, keran dan botol air (sebagai *water trap*) yang dilengkapi dengan logam perekat.
4. Memasang plastik pada bagian ujung pipa yang diikat dengan karet ban untuk menghindari kebocoran gas.
5. Dibiarkan keran dalam keadaan terbuka.
6. Diberikanlah digester-digester tadi selama 5 hari, 9 hari, 12 hari, 15 hari, 18 hari dan 21 hari. Selama waktu ini proses fermentasi akan berlangsung dan gas yang dihasilkan akan terjebak di dalam digester bervolume 19 liter. Gas ini akan mengalir memenuhi plastik penampung.
7. Sambil menunggu proses fermentasi berlangsung, periksalah apakah ada kebocoran gas dari digester bervolume 19 liter. Bila terjadi kebocoran segera di tambal dengan cat atau aspal. Untuk mengetahui adanya kebocoran dapat dilakukan dengan cara membasahi dinding digester bervolume 19 liter dengan air sabun. Kebocoran akan terlihat dengan adanya buih pada daerah yang bocor tersebut.
8. Setelah diketahui digester bervolume 19 liter berisi gas, periksalah gas tersebut untuk meyakinkan bahwa gas yang terbentuk merupakan gas yang dapat digunakan untuk bahan bakar. Pemeriksaan dapat dilakukan dengan membuka kran dan menyalakan api di atas pipa penyalur gas.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Pengaruh Jenis Sampah Terhadap Komposisi Gas Metana (CH<sub>4</sub>)

Gas Metana (CH<sub>4</sub>) adalah senyawa yang mudah terbakar. Pada pembuatan biogas senyawa metana (CH<sub>4</sub>) merupakan komponen penting yang menunjukkan kualitas

biogas yang dihasilkan. Semakin banyak kandungan gas metana ( $\text{CH}_4$ ) yang dihasilkan maka semakin bagus kualitas biogas tersebut.

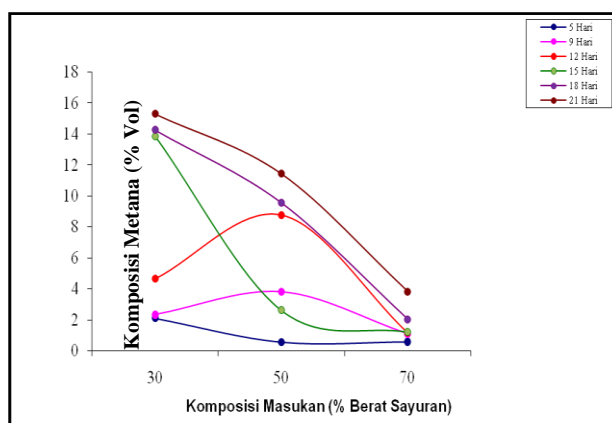


Gambar 4.1. Grafik Hubungan antara Jenis Sampah Terhadap Komposisi Metana. (Suhu Kamar dan Tekanan Atmosfer Inderalaya, Jumlah Masukan 16 Kg, Komposisi Masukan 70 : 30, Sampah Sayuran terdiri dari Campuran Sawi dan Kubis, Proses Batch)

Data hasil riset, grafik hubungan antara jenis sampah pada berbagai waktu fermentasi terhadap komposisi metana dapat dilihat pada Gambar 4.1. Gambar di atas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan jumlah yang signifikan pada komposisi gas metana yang dihasilkan antara sampah organik dari jenis sayuran dan usus ayam. Sampah organik dari jenis usus ayam menghasilkan komposisi gas metana lebih besar daripada sampah organik jenis sayuran. Sampah organik jenis sayuran menghasilkan komposisi gas metana lebih sedikit karena sampah sayuran banyak mengandung serat dan selulosa yang berikatan kuat sehingga sulit diuraikan oleh bakteri (Subowo, 1992).

#### 4.2. Pengaruh Komposisi Masukan Terhadap Komposisi Metana ( $\text{CH}_4$ )

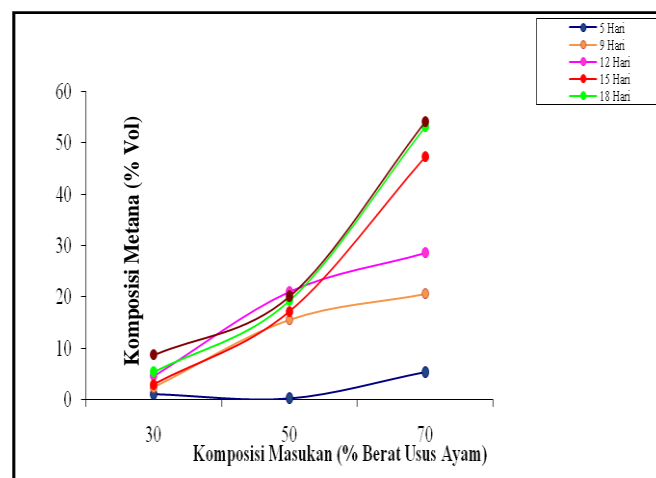
Data hasil riset, grafik hubungan antara komposisi masukan terhadap komposisi gas metana dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Grafik Hubungan antara Komposisi Masukan Campuran Sampah Sayuran dan Kotoran Sapi Terhadap Komposisi Gas Metana. (Suhu Kamar dan Tekanan Atmosfer Inderalaya, Jumlah Masukan 16 Kg, Sampah Sayuran terdiri dari Campuran Sawi dan Kubis, Proses Batch)

Gambar di atas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan jumlah yang signifikan pada komposisi gas metana yang dihasilkan dari sampah organik jenis sayuran dengan berbagai komposisi. Sampah sayuran dengan komposisi masukan 30 %, yaitu 30 % sampah sayuran dan 70 % kotoran sapi menghasilkan komposisi gas metana lebih besar daripada sampah sayuran dengan komposisi masukan 50 % dan 70 %. Sampah sayuran dengan komposisi masukan 30 % menghasilkan komposisi gas metana lebih besar karena pada komposisi ini jumlah kotoran sapi lebih besar, yaitu 70 %. Kotoran sapi banyak mengandung bahan selulosa yang telah dicerna di perut sapi sehingga lebih mudah diuraikan oleh bakteri pembentuk gas metana yang berperan penting dalam proses metanogenesis untuk menghasilkan gas metana (CH<sub>4</sub>).

Data hasil riset grafik hubungan antara komposisi masukan sampah sayuran pada berbagai waktu fermentasi terhadap komposisi metana dapat dilihat pada Gambar 4.3. di bawah ini.

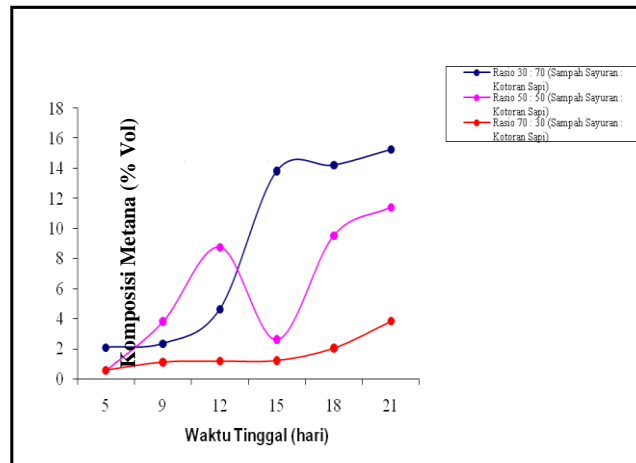


Gambar 4.3. Grafik Hubungan antara Komposisi Masukan (Sampah Usus Ayam dan Kotoran Sapi) Terhadap Komposisi Metana. (Suhu Kamar dan Tekanan Atmosfer Inderalaya, Jumlah Masukan 16 Kg, Sampah berupa Usus Ayam, Proses Batch)

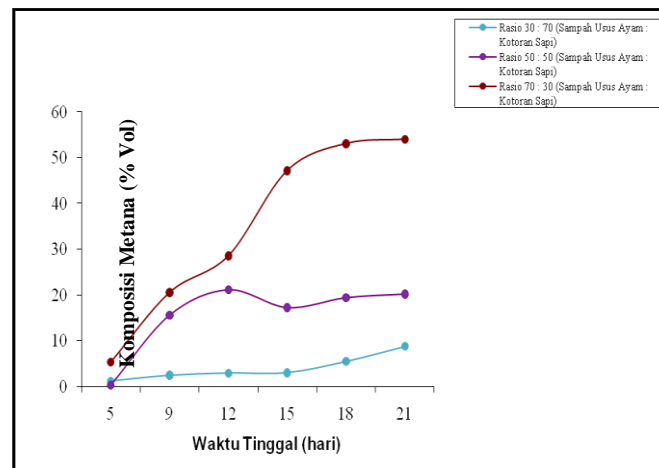
Gambar di atas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan jumlah yang signifikan pada komposisi gas metana yang dihasilkan dari sampah organik jenis usus ayam dengan berbagai komposisi. Sampah usus ayam dengan komposisi masukan 70 %, yaitu 70 % sampah usus ayam dan 30 % kotoran sapi menghasilkan komposisi gas metana lebih besar daripada sampah usus ayam dengan komposisi masukan 50 % dan 70 %. Sampah usus ayam dengan komposisi masukan 70 % menghasilkan komposisi gas metana lebih besar karena pada komposisi ini jumlah usus ayam lebih besar yaitu 70 %. Usus ayam mengandung kotoran ayam yang banyak mengandung bakteri pembentuk gas metana yang berperan penting dalam proses metanogenesis untuk menghasilkan gas metana (CH<sub>4</sub>), (Karyadi, 2005).

#### 4.3. Pengaruh Waktu Tinggal Fermentasi Terhadap Komposisi Metana (CH<sub>4</sub>)

Data hasil riset, grafik hubungan waktu tinggal fermentasi terhadap komposisi gas metana dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Grafik Hubungan antara Waktu Tinggal Fermentasi Terhadap Komposisi Gas Metana. (Suhu Kamar dan Tekanan Atmosfer Inderalaya, Jumlah Masukan 16 Kg, Sampah Sayuran terdiri dari Campuran Sawi dan Kubis, Proses Batch)



Gambar 4.5. Grafik Hubungan antara Waktu Tinggal Fermentasi Terhadap Komposisi Metana. (Suhu Kamar dan Tekanan Atmosfer Inderalaya, Jumlah Masukan 16 Kg, Sampah berupa Usus Ayam, Proses Batch)

Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan jumlah komposisi gas metana yang dihasilkan sampah organik dari jenis sayuran dan usus ayam dengan berbagai variasi waktu tinggal fermentasi. Pada hari ke-21 pertumbuhan bakteri mengalami penambahan jumlah atau total massa sel yang melebihi inokulum asalnya sebagai hasil pertambahan ukuran dan pertambahan jumlah sel sehingga terjadi peningkatan jumlah populasi bakteri (Sofa, 2008 dalam Sanjaya. A., 2011). Ketika jumlah populasi bakteri meningkat, aktivitas bakteri menghasilkan gas metana juga meningkat sehingga menghasilkan gas metana dengan komposisi yang lebih besar. Ketika jumlah populasi bakteri meningkat, aktivitas bakteri menghasilkan gas metana juga meningkat sehingga menghasilkan gas metana dengan komposisi yang lebih besar. Dalam fase pertumbuhannya, setiap makhluk hidup membutuhkan nutrisi yang mencukupi serta kondisi lingkungan yang mendukung demi proses pertumbuhan tersebut, termasuk juga bakteri (Budiyanto, Agus Krisno, 2010). Selama waktu fermentasi 21 hari bakteri di dalam kotoran sapi mendapatkan nutrisi dari usus ayam sehingga berkembangbiak lebih baik untuk menghasilkan gas metana (CH<sub>4</sub>).

## V. KESIMPULAN

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis sampah organik pasar dari sampah usus ayam menghasilkan gas metana ( $\text{CH}_4$ ) yang lebih banyak dibandingkan dengan sampah sayuran.
2. Pembuatan biogas dengan bahan baku sampah organik dan kotoran sapi dengan perbandingan komposisi masukan usus ayam dan kotoran sapi 70 : 30 dihasilkan komposisi gas metana ( $\text{CH}_4$ ) sebesar 54,03% volume biogas.
3. Lamanya waktu fermentasi yang dibutuhkan untuk menghasilkan komposisi gas metana ( $\text{CH}_4$ ) terbesar terjadi pada fermentasi selama 21 hari.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1977. *Digester Gas Bio*, Kerjasama Pusat Teknologi Pembangunan ITB dengan Program Badan Urusan Tenaga Kerja Sukarela Indonesia (BUTSI) Departemen Tenaga Kerja, Transmigrasi dan Koperasi. Bandung : Pusat Informasi Dokumentasi PTP-ITB.
- Budiyanto. A., K. 2009. Nutrisi Mikroba, Esensi Dasar untuk Kehidupan Mikroba. diakses pada 30 Oktober 2010 dari <http://zaifbio.wordpress.com/category/mikrobiologi>.
- Conniwanti. P, Anthon Herlanto dan Inneke Anggraini. 2009. Pembuatan Biogas dari Ampas Tahu. *Jurnal Teknik Kimia Universitas Sriwijaya*. Inderalaya : Universitas Sriwijaya.
- Dewan Redaksi Bharata. 1995. *Biogas, Cara Membuat dan Manfaatnya*, Kerjasama Penerbit Bharata dengan Food and Agriculture Organization of The United Nations. Jakarta : Bharata.
- [Hermawan](#). B., Lailatul Qodriyah, dan Candrarini Puspita. 2007. Sampah Organik sebagai Bahan Baku Biogas untuk Mengatasi Krisis Energi Dalam Negeri. Karya Tulis Ilmiah Mahasiswa. Universitas Lampung. Bandar Lampung. diakses pada tanggal 30 September 2010 dari <http://chemistryaddict.wordpress.com>
- Laporan Masterplan Persampahan Kota Palembang Tahun 2008. Dinas Pasar dan Kebersihan Kota Palembang.
- Oemar G. R, dkk. 2007. Pengaruh Komposisi Feed terhadap Produksi Biogas dari Sampah Kota, Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia 2007. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November.
- Rahmanta. 2010. Cara Mudah Membuat Digester Biogas. diakses pada 30 September 2010 dari <http://www.kamase.org>.
- Rahman, Burhan. 1984. Petunjuk Teknis Pembuatan Alat Pembangkit Gas Bio. Jakarta : Direktorat Bina Produksi Peternakan, Direktorat Jenderal Peternakan.
- Sanjaya. A. 2011. Metabolisme Bakteri. diakses pada 20 Oktober 2010 dari <http://ardiunikal.blogspot.com>.
- Setiawan, Ade Iwan. 2007. Memanfaatkan Kotoran Ternak, Solusi Masalah Lingkungan dan Pemanfaatan Energi Alternatif. Jakarta : Penebar Swadaya.
- Thahir. R, Mustafa. 2007. Pemanfaatan Limbah Sayur Untuk dijadikan Biogas sebagai Energi Alternatif yang Dapat Diperbaharui, Laporan Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia 2007. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November.



## PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI KECAP MENGGUNAKAN MEMBRAN KERAMIK

M.Hatta Dahlan<sup>(1)</sup>, Andyanjati R<sup>(2)</sup>, Martin FO Sihotang<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Dosen Jurusan Teknik Kimia FT.Unsri

<sup>(2)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia FT.Unsri

<sup>1</sup>Koresponensi Pembicara. Email: [halogenated@hotmail.com](mailto:halogenated@hotmail.com)

### ABSTRAK

Penggunaan sistim pemisahan cair-cair dengan teknologi membran makin meningkat akhir dasawarsa ini, Sistim pemisahan ini telah menggeser peranan proses distilasi sebagai salah satu alat pemisahan/pemurnian air yang masih eksis digunakan, walaupun cara ini dianggap pemborosan dalam konsumsi daya listrik dan besarnya area yang digunakan, para peneliti telah menemukan solusinya dengan menggunakan membran bisa mengatasi kendala yang ada. Salah satunya adalah Pengolahan Limbah cair dari industri kecap menggunakan membran keramik. Membran keramik adalah media filtrasi untuk memisahkan limbah kecap dalam suatu system pemisah cair-cair. Pada penelitian ini telah dilakukan analisa pengaruh hubungan konsentrasi limbah, tekanan operasi dan lamanya waktu operasi pada saat pengolahan limbah cair industri kecap dengan menggunakan membran keramik. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa semakin lama waktu operasi dan penambahan tekanan maka nilai COD cenderung menurun hingga % penurunan COD berkisar 94,0 – 100 % sedangkan nilai TSS akan semakin menurun hingga 59,0 – 97,0 % serta pH mengalami peningkatan mendekati pH netral. Hal ini menunjukkan bahwa setelah dilakukan pengolahan limbah dengan menggunakan membran keramik limbah yang dihasilkan dapat memenuhi syarat baku mutu limbah cair industri.

**Kata kunci :** membran keramik, limbah cair, COD, TSS, pH, baku mutu limbah

### I. PENDAHULUAN

Berbagai sistem pengolahan limbah cair yang dikenal secara konvensional, primer dan tersier diterapkan untuk menurunkan tingkat konsentrasi limbah dibawah baku mutu lingkungan yang sudah ditetapkan. Proses-proses ini ada kalanya belum memberikan nilai efluen yang memenuhi baku mutu kualitas limbah cair industri. Karena itu limbah cair industri seringkali masih perlu diolah lebih lanjut sampai pada tingkat dan baku mutu yang harus dipenuhi. Pengolahan lanjut secara konvensional ini dapat digolongkan dalam pengolahan fisis kimia dan pengolahan biologis. Pengolahan kimia fisis meliputi rekarbonisasi dan adsorpsi, pertukaran ion, koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi sedangkan pengolahan biologis dilakukan dengan bantuan mikroorganisme untuk mendegradasi kandungan organik limbah cair. Tetapi sistem pengolahan lanjut ini memiliki kelemahan diantaranya kurang optimalnya kemampuan untuk mendaur ulang atau memanfaatkan kembali baik air maupun material lain yang berharga yang ada dalam limbah cair tersebut, warna efluen limbah yang tidak jauh berbeda dengan warna umpan, penggunaan bahan kimia, dan

ketidakmampuan untuk dimanfaatkan kembali. Untuk mengatasi masalah pada sistem konvensional, pada saat ini mulai dikembangkan kombinasi pengolahan lanjut baik proses fisis kimia maupun biologis dengan proses berbasis membran sehingga meningkatkan efisiensi penyisihan limbah dan pengoptimalan pengambilan kembali material yang ada dalam limbah.

Beberapa keunggulan pemisahan dengan membran yang membuat proses ini menarik untuk diaplikasikan pada pengendalian pencemaran industri diantaranya kebutuhan energi rendah, tidak mempengaruhi sifat bentuk dan kimia dari kontaminan, tidak memerlukan penambahan bahan kimia seperti ekstraktor dan adsorber. Keunggulan lainnya adalah potensi daur ulang secara langsung. Kontaminan dapat dikurangi kadar airnya atau dipisahkan tanpa perubahan fisik atau kimia sehingga dapat dikembalikan langsung ke dalam proses.

### **Perumusan Masalah**

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh waktu dan tekanan terhadap volume permeat yang dihasilkan untuk setiap konsentrasi limbah cair kecap?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi limbah, tekanan dan waktu terhadap COD, TSS dan pH pada proses pengolahan limbah cair industri kecap dengan menggunakan membran keramik?
3. Apakah hasil dari pengolahan limbah cair industri kecap menggunakan membran keramik memenuhi standar baku mutu limbah cair industri kecap?

### **Tujuan dari penelitian ini adalah :**

1. Mengetahui pengaruh waktu dan tekanan terhadap volume permeat yang dihasilkan untuk setiap konsentrasi limbah cair kecap.
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi limbah, tekanan dan waktu terhadap COD, TSS dan pH pada proses pengolahan limbah cair industri kecap dengan menggunakan membran keramik
3. Mempelajari kemungkinan pengolahan limbah cair industri kecap dengan menggunakan membran keramik sebagai media filter.
4. Mengetahui seberapa besar kemampuan membran sebagai media filtrasi.

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan solusi yang ekonomis bagi pengolahan limbah cair industri kecap yang baku mutu limbah cair industri kecap.
2. Mengharapkan membran keramik dapat digunakan secara luas bukan hanya untuk pengolahan limbah kecap saja tetapi juga limbah-limbah industri lain.

## **II. Limbah Cair Kecap**

Limbah industri kecap umumnya terdiri dari limbah cair, emisi udara dan limbah padat. Limbah cair polutan utamanya berupa bahan organik, sedangkan limbah padat berupa bahan - bahan organik seperti ampas kedelai / bungkil. Bahan-bahan ini mudah terdegradasi secara biologis dan jika tidak ditangani dengan baik akan mengakibatkan pencemaran lingkungan. Masalah-masalah yang mungkin timbul dalam operasi industri kecap antara lain:

1. Dampak lingkungan dari industri kecap yang membuang air limbah secara langsung atau dengan kata lain tidak ditangani secara memadai sehingga menurunkan kandungan oksigen terlarut perairan umum;

2. Bau busuk yang menyengat akibat biodegradasi limbah cair maupun Padat.
3. Kerusakan tanah akibat dari :
  - Penguraian sisa-sisa bahan buangan oleh mikroorganisme;
  - Penumpukan bahan-bahan padat (yang dapat menimbulkan leachate);
  - Perubahan pH.

Sumber-sumber pencemaran dari industri kecap secara rinci dapat diuraikan sebagai berikut :

**Tabel Baku Mutu Limbah Cair Industri Kecap**

No.	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
1	TSS	mg/L	150
2	COD	mg/L	100
3	pH	-	6,0 – 9,0
4	Kuantitas Air Limbah Maksimum	0,8 L perdetik per Ha Lahan Kawasan Terpakai	

(Sumber : Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup, 2010)

Proses pemisahan dengan membran dapat terjadi karena adanya daya dorong yang mengakibatkan adanya perpindahan massa melalui membran. Berdasarkan fungsinya membran dapat diklasifikasikan dalam lima bagian, yaitu

- Membran mikrofiltrasi

Membran mikrofiltrasi berfungsi untuk menyaring makromolekul lebih dari 500.000 g/mol atau partikel dengan ukuran 0,1-10  $\mu$  m. Tekanan yang digunakan 0,5-2 atm.

- Membran ultrafiltrasi

Membran ultrafiltrasi berfungsi untuk menyaring makromolekul lebih dari 5.000 g/mol atau partikel dengan ukuran 0,001-0,1  $\mu$  m. Tekanan yang digunakan 1,0 – 3,0 atm.

- Membran osmosa balik

Membran osmosa balik berfungsi untuk menyaring garam-garam organik lebih dari 50 g/mol atau partikel dengan ukuran 0,0001 – 0,001  $\mu$  m. Tekanan yang digunakan 8,0 – 120 atm.

- Membran dialisa

Membran dialisa berfungsi untuk memisahkan larutan koloid yang mengandung elektrolit dengan BM kecil. Zat terlarut pada larutan dengan konsentrasi tinggi akan menembus membran menuju larutan dengan konsentrasi rendah. Jadi gaya pendorongnya adalah konsentras.

- Membran elektrodialisa

Membran elektrodialisa berfungsi untuk memisahkan larutan dengan membran melalui pemberian muatan listrik. Jadi gaya pendorongnya adalah gaya gerak listrik

### III. Pembuatan Membran Keramik

Membran keramik dibuat dari oksida logam seperti  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $TiO_2$  dan material lainnya yang bisa didapat secara komersial seperti cordierite, mullite, silikon karbida, silikon nitrida, silika dan lain-lain. Pada membran keramik susunan, bentuk

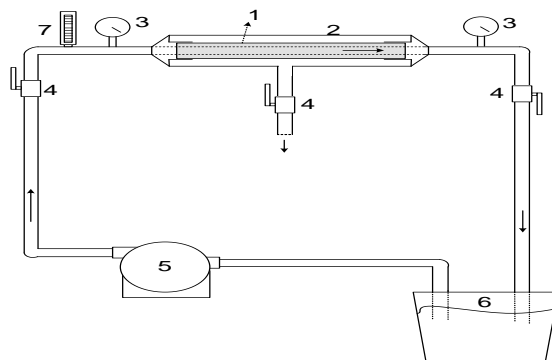
dan ukuran pori menjadi kunci karakterisasi membran, karena bentuk dan ukuran partikel bahan mentah sangat menentukan susunan, ukuran dan bentuk dari pori membran. Membran keramik dibuat melalui beberapa proses yaitu pemilihan bahan mentah, pengadonan, pembentukan (pencetakan), pengeringan, dan pembakaran (sintering). Setiap tahap pemrosesan sangat mempengaruhi porositas membran keramik.

Sebelum dicetak bahan-bahan mentah membran dibentuk dalam adonan yang berupa suspensi. Suspensi dibentuk dari beberapa komposisi bahan sesuai dengan bentuk cetakan atau proses yang ingin digunakan seperti bila yang diinginkan adalah proses cetak slipcasting, maka komposisi bahan keramik dan aditif (binder dan plastisizer) sangat mempengaruhi hasil yang diperoleh, yang secara tidak langsung juga akan mempengaruhi porositas dan distribusi ukuran pori membran.

Membran keramik yang tersusun dari partikel-partikel dibuat dari suspensi bahan mentah keramik, kemudian dilakukan proses pencetakan yang umum digunakan untuk membran keramik adalah : Tekanan isostatik dingin. Tekanan diberikan pada suspensi kering bahan-bahan keramik.

Ekstrusi. Ekstrusi dilakukan pada suspensi bahan keramik yang telah ditambah kan aditif –aditif tertentu. Contoh proses ini adalah slip casting. Proses sol-gel.

Sifat bahan keramik hasil proses sol-gel :Kemurniannya tinggi,Suhu sintering yang relatif rendah, Plastisitas dari gel memungkinkan produk dibuat dalam serbuk, serat, lapisan tipis ,dan bentuk padat.



Keterangan Gambar :

1. Membran Keramik
2. Housing membran
3. Pressure gauge
4. Kerangan
5. Pompa
6. Wadah limbah cair
7. Flowmeter

**Gambar** Rangkaian peralatan pengolahan limbah cair pabrik kecap

#### IV. HASIL PENGAMATAN DAN PEMBAHASAN

Pembahasan meliputi hasil kegiatan yang dilakukan dalam penelitian yaitu pengolahan limbah untuk menurunkan nilai COD, TSS dan pH .Dari hasil penelitian, diperoleh hasil yang menunjukkan adanya peningkatan kualitas air yang berasal dari limbah cair industri kecap yang diolah dengan menggunakan membran keramik. Hal

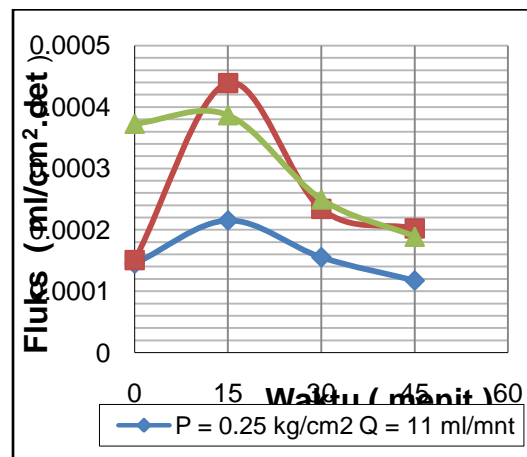
ini dapat dilihat dari penurunan kadar COD , TSS, dan semakin netralnya pH yang didapatkan (dapat dilihat dari tabel hasil pengamatan).

Data-data yang ada dianalisa dengan metode statistik dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

### Hubungan antara Fluks membran terhadap waktu operasi

Dari hasil perhitungan fluks diperoleh untuk waktu operasi yang berbeda didapatkan jumlah fluks yang semakin turun dengan bertambahnya waktu operasi. Hal ini dapat dilihat dari grafik 1 dibawah ini :

Dari gambar terlihat bahwa semakin lama waktu operasi maka fluks membran akan semakin menurun. Untuk  $P = 0,25 \text{ kgf/cm}^2$  dan  $Q = 11 \text{ ml/mnt}$  dengan menggunakan aquadest sebagai kondisi awal, fluks membran adalah  $0,000144839 \text{ ml/cm}^2.\text{det}$ . Sedangkan untuk waktu operasi masing-masing 15 menit, 30 menit, dan 45 menit didapatkan harga fluks sebesar  $0,00021509 \text{ ml/cm}^2.\text{det}$  ;  $0,000155246 \text{ ml/cm}^2.\text{det}$  dan  $0,000117374 \text{ ml/cm}^2.\text{det}$ .

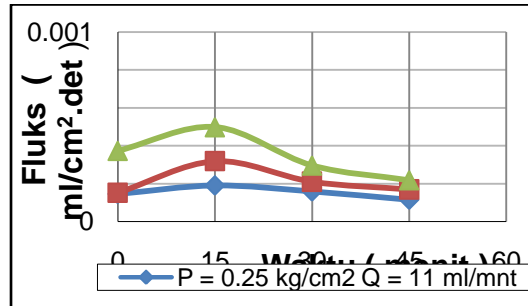


Grafik 1..Hubungan antara fluks membran dengan waktu operasi untuk konsentrasi limbah 1000 ppm

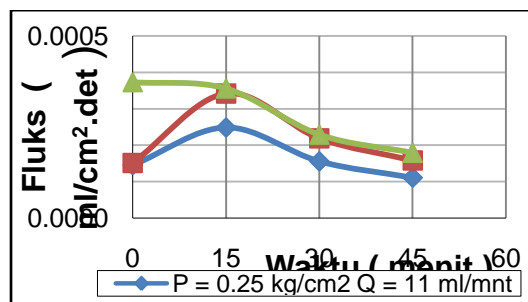
Untuk  $P = 0,50 \text{ kgf/cm}^2$  dan  $Q = 8 \text{ ml/mnt}$  dengan menggunakan aquadest sebagai kondisi awal, fluks membran adalah  $0,000150910 \text{ ml/cm}^2.\text{det}$ . Sedangkan untuk waktu operasi masing-masing 15 menit, 30 menit, dan 45 menit didapatkan harga fluks sebesar  $0,000438852 \text{ ml/cm}^2.\text{det}$  ;  $0,000234170 \text{ ml/cm}^2.\text{det}$  dan  $0,000202369 \text{ ml/cm}^2.\text{det}$ .

Untuk  $P = 0,75 \text{ kgf/cm}^2$  dan  $Q = 7,4 \text{ ml/mnt}$  dengan menggunakan aquadest sebagai kondisi awal, fluks membran adalah  $0,000372938 \text{ ml/cm}^2.\text{det}$ . Sedangkan untuk waktu operasi masing-masing 15 menit, 30 menit, dan 45 menit didapatkan harga fluks sebesar  $0,000386814 \text{ ml/cm}^2.\text{det}$  ;  $0,000249781 \text{ ml/cm}^2.\text{det}$  dan  $0,000189071 \text{ ml/cm}^2.\text{det}$ .

Untuk konsentrasi limbah 2000 ppm dan 3000 ppm dapat dilihat pada grafik 2 dan grafik 3.



Grafik 2. Hubungan antara fluks membran dengan waktu operasi untuk konsentrasi limbah 2000 ppm

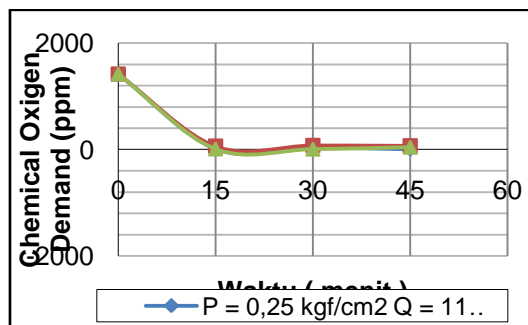


Grafik 3, Hubungan antara Fluks membran dengan waktu operasi untuk konsentrasi limbah 3000 ppm

### Hubungan Antara COD Terhadap Waktu operasi

Dari hasil pengamatan didapatkan bahwa terjadi penurunan COD. Sebagian besar COD terjadi penurunan dengan bertambahnya waktu operasi. Hal ini dapat terlihat dari grafik 4.4 berikut ini.

Dari Grafik 4. terlihat bahwa pada  $P = 0,25 \text{ kgf/cm}^2$  dan  $Q = 11 \text{ ml/mnt}$  dengan sampel limbah harga COD sebesar 1417 mg/l, sedangkan untuk waktu operasi 15 menit, 30 menit, dan 45 menit didapatkan harga COD sebesar 11 mg/l, 38 mg/l, dan 4 mg/l.

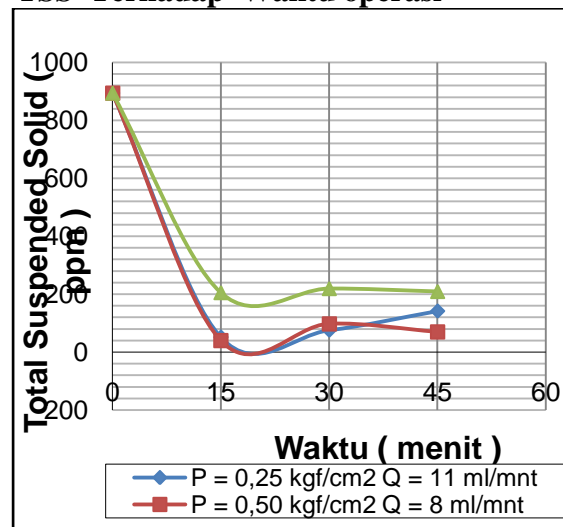


Grafik 4. Hubungan COD terhadap waktu operasi untuk konsentrasi limbah 1000 ppm

Untuk  $P = 0,50 \text{ kgf/cm}^2$  dan  $Q = 11 \text{ ml/mnt}$  dengan sampel limbah harga COD sebesar 1417 mg/l, sedangkan untuk waktu operasi 15 menit, 30 menit, dan 45 menit didapatkan harga COD sebesar 59 mg/l, 75 mg/l, dan 68 mg/l.



### Hubungan Antara TSS Terhadap Waktu operasi



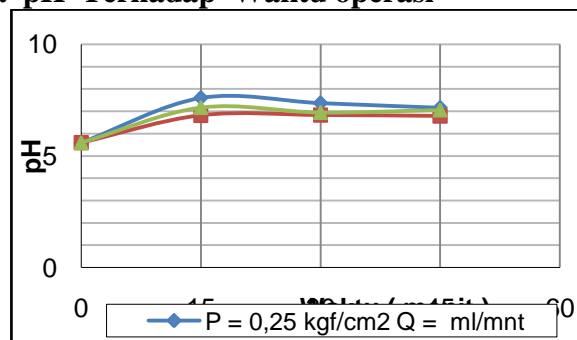
Grafik 5. Hubungan TSS terhadap waktu operasi untuk konsentrasi limbah 1000 ppm

Dari gambar terlihat bahwa untuk  $P = 0,25 \text{ kgf/cm}^2$  dan  $Q = 11 \text{ ml/mnt}$ , TSS awal sebesar 895 ppm setelah proses pengolahan berjalan selama 15 menit, 30 menit, 45 menit sebesar 52 ppm, 76 ppm, 142 ppm.

Dari gambar terlihat bahwa untuk  $P = 0,50 \text{ kgf/cm}^2$  dan  $Q = 11 \text{ ml/mnt}$ , TSS awal sebesar 895 ppm setelah proses pengolahan berjalan selama 15 menit, 30 menit, 45 menit sebesar 40 ppm, 98 ppm, 70 ppm

Dari gambar terlihat bahwa untuk  $P = 0,75 \text{ kgf/cm}^2$  dan  $Q = 11 \text{ ml/mnt}$ , TSS awal sebesar 895 ppm setelah proses pengolahan berjalan selama 15 menit, 30 menit, 45 menit sebesar 206 ppm, 220 ppm, 210 ppm

### Hubungan Antara pH Terhadap Waktu operasi



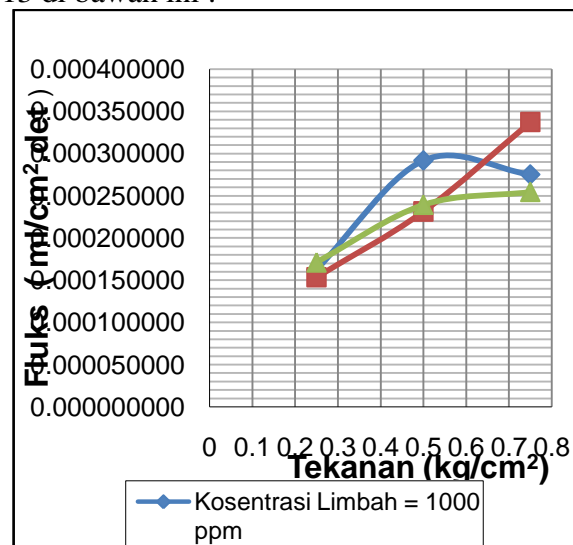
Grafik6. Hubungan pH terhadap waktu operasi untuk konsentrasi limbah 1000 ppm

Dari gambar terlihat bahwa semakin lama waktu operasi terjadi kenaikan pH menjadi netral. Untuk  $P = 0,25 \text{ kgf/cm}^2$  dan  $Q = 11 \text{ ml/mnt}$ , pada saat awal operasi pH awal sebesar 5,6 kondisi asam. Setelah proses pengolahan berjalan selama 15 menit, 30 menit, 45 menit terjadi perubahan pH menjadi 7,6 ; 7,37 dan 7,16.

Dari gambar terlihat bahwa semakin lama waktu operasi terjadi kenaikan pH. Untuk  $P = 0,50 \text{ kgf/cm}^2$  dan  $Q = 8 \text{ ml/mnt}$ , pada saat awal operasi pH awal sebesar 5,6. Setelah proses pengolahan berjalan selama 15 menit, 30 menit, 45 menit terjadi perubahan pH menjadi 6,82 ; 6,83 dan 6,79.

### Hubungan antara Fluks Membran terhadap Tekanan

Dari hasil penelitian yang kami lakukan, dapat terlihat bahwa semakin tinggi tekanan yang digunakan maka Fluks membran akan semakin besar. Hal ini dapat dilihat dari grafik 4.13 di bawah ini :



Grafik 7. Hubungan antara Fluk membran terhadap tekanan

### Pembahasan

Penurunan nilai TSS, COD dan pH dikarenakan adanya proses filtrasi yang terjadi pada filter keramik. Proses filtrasi yang dimaksud adalah partikel partikel dengan diameter yang lebih besar dari ukuran pori membran akan tertahan pada permukaan membran. Semakin banyak pori-pori yang ada pada filter keramik maka semakin luas permukaan, sehingga semakin efektif untuk digunakan menyerap zat pencemar, karena adsorpsi merupakan fenomena fisik yang menyangkut permukaan suatu material maka adsorban yang baik harus berupa struktur berpori yang memiliki permukaan cukup luas.

Dari grafik 1.,2, dan .3 terlihat hubungan fluks membran terhadap waktu operasi, nilai fluks akan semakin menurun. Penurunan nilai fluks ini disebabkan karena zat terlarut yang tertahan oleh membran lama kelamaan akan terakumulasi atau menumpuk pada permukaan membran dan mengakibatkan terbentuknya gel atau lapisan fouling pada permukaan membran, sehingga terjadinya pemampatan dan meningkatnya resistan (hambatan) pada permukaan membran.

Nilai COD dari analisa laboratorium yang dihasilkan mengalami penurunan yang cukup signifikan. Pada konsentrasi 2000 ppm, tekanan 0,25 kg/cm<sup>2</sup> saat waktu 15 menit didapatkan nilai COD yang terendah yaitu 0 mg/L. Sedangkan pada konsentrasi 2000 ppm, tekanan 0,75 kg/cm<sup>2</sup> saat waktu 30 menit didapatkan nilai COD yang tertinggi yaitu 85 mg/L. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa persen penurunan COD yang dihasilkan berkisar 94,0 – 100 %. Penurunan ini dapat dilihat dari grafik 4.4, grafik 4.5 dan grafik 4.6 hubungan antara COD terhadap waktu operasi .

Dari grafik hubungan antara pH dan waktu operasi dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi kenaikan nilai pH berkisar antara 1,17 – 2,15 mendekati pH netral yaitu 6,8 – 7,8. Hasil analisa COD dan pH diatas memenuhi syarat baku mutu limbah cair untuk industri yang ditetapkan oleh Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 03 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Kawasan Industri, yang menjelaskan bahwa kandungan kadar maksimum untuk COD yang diizinkan 100 mg/L dan kadar maksimum derajat keasaman (pH) yang diizinkan 6,0 – 9,0.

Pada pengujian TSS terjadi penurunan dari sampel awal namun penurunan TSS sangat bervariasi. Nilai TSS permeat berkisar antara 10 – 238 mg/L. Persentase penurunan TSS cukup tinggi hingga mencapai 97,83 % namun masih ada nilai TSS yang tidak memenuhi syarat baku mutu limbah cair Industri ditetapkan oleh Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 03 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Kawasan Industri, yang menjelaskan bahwa kandungan kadar maksimum TSS yang diizinkan 150 mg/L.

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kondisi operasi membran yang terbaik yaitu berada pada konsentrasi 2000 ppm, tekanan 0,25 kg/cm<sup>2</sup> dengan laju alir 11 ml/menit dan waktu operasi 15 menit. Hal ini dikarenakan nilai COD, pH dan TSS cukup baik dibandingkan dengan parameter yang lain.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian yang dapat disimpulkan bahwa :

Semakin lama waktu operasi dan naiknya tekanan pada pengolahan limbah cair industri kecap maka semakin banyak volume permeat yang dihasilkan.

Semakin lama waktu operasi dan penambahan tekanan maka nilai COD cenderung menurun dan bervariasi, sedangkan nilai TSS dan pH mengalami peningkatan.

Kenaikan waktu operasi dan tekanan menghasilkan nilai COD, TSS dan pH yang memenuhi Standar Baku Mutu Limbah Industri. Namun masih ada nilai TSS yang belum memenuhi Standar Baku Mutu Limbah Industri..Kondisi operasi membran yang terbaik yaitu berada pada konsentrasi 2000 ppm, tekanan 0,25 kg/cm<sup>2</sup> dengan laju alir 11 ml/menit dan waktu operasi 15 menit.

Membrane keramik dapat digunakan sebagai media filtrasi dalam pengolahan limbah cair industri kecap sekaligus menjadi solusi alternative dalam penanggulangan pencemaran di perairan.

## SARAN

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mencari kondisi operasi optimum pengolahan limbah menggunakan membran, antara lain temperatur dan life time (umur pakai) membran.

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan membran jenis lain yang sesuai dengan jenis limbah yang akan diolah.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- Klinkowski, 1990, *"Membrane Separation ; Eyclopedia of science and Tecchnology"*, vol 10, Mc. Graw Hill
- Mulder. M, 1986, *"Basic Principle of Ultrafiltration Membrane Technology"*, Klower, Academic Publisher, Amsterdam
- Rautenbach. R, 1990, *"Membrane Processes"*, New York
- Turner. M, 1989, *"Effective Industrial Membrane Processes : Benefit and Opportunities"*, New York
- Fane, A. G, 1986, *"An Introduction to Membrane Process by Assoc"*, Proceeding of the fourth ASEAN Workshop on Membrane Technology.

## MODEL MATEMATIKA UNTUK OPTIMASI NILAI KALORI BATUBARA *BLENDING* DI PT. BATUBARA BUKIT KENDI TANJUNG ENIM – SUMATERA SELATAN

Ubaidillah Anwar\*) , A.Taufik Arief \*\*)

\*)\*\*) Dosen Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik

Kampus Unsri Inderalaya-Jl. Raya Prabumulih Km 32 Inderalaya – Ogan Ilir

### ABSTRAK

Dalam proses blending batubara ini seringkali didapatkan hasilnya tidak sesuai dengan target yang diharapkan, sehingga nilai jualnya akan menjadi lebih rendah. Akibatnya pihak perusahaan akan mengalami penurunan pendapatannya. Faktor-faktor penyebab terjadinya ketidaktercapaian target nilai kalori yang sesuai dengan target ini adalah dikarenakan pengaruh ukuran (size), kandungan air (moisture), kadar abu (ash), fixed carbon, volatile matter dan sulphur. Di samping itu juga dapat disebabkan oleh komposisi berat batubara yang akan dilakukan blending yang tidak sesuai, sehingga nilai kalori yang didapatkan dibawah target yang akan diharapkan. Hasil-hasil analisa model matematika yang telah dilakukan didapatkan bentuk persamaan yang sesuai untuk lapangan PT. Batubara Bukit Kendi (persero) yaitu :

$$GCV = - 80,8015 \left[ (Mo + A) + (Max S)^{0,0001} \right] + 7896,9661$$

Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya kenaikan setiap 1% adb moisture atau 1% adb ash akan menurunkan nilai kalori sebesar 80,8742 kcal/kg, sedangkan untuk pengaruh mass dan size hanya menurunkan nilai kalori maksimal sebesar 80,8760 kcal/kg. Selanjutnya bentuk umum persamaan model matematika guna menentukan komposisi fraksi berat batubara yang akan di blending adalah sebagai berikut ini :

$$\frac{Ma_A}{Ma_B} = \frac{GCV_C x (Mo + A)_B - (Mo + A)_C x GCV_B}{(Mo + A)_C x GCV_A - GCV_C x (Mo + A)_A}$$

**Kata kunci :** *ratio berat batubara blending untuk target nilai kalori*

### ABSTRACT

In the coal blending process is often obtained results are in accordance with their intended target, so the resale value will be lower. As a result the company will tend to decrease its earnings. The factors causing the occurrence of low target caloric value corresponding to this target is due to the influence of size (size), water content (moisture), ash content (ash), fixed carbon, volatile matter and sulfur. In addition it can also be caused by the weight of the composition of coal that will be conducted blending is not appropriate, so that the calorific value is obtained under the target to be expected.

The results of analysis of mathematical models which have been obtained form the appropriate equation for the field of PT. Coal Bukit Kendi (Persero), namely:

$$GCV = - 80,8015 \left[ (Mo + A) + (Max S)^{0,0001} \right] + 7896,9661$$

The results showed that the increase of every 1% or 1% moisture and ash will reduce the calorific value of 80.8742 kcal / kg, while for the influence of mass and size is only lowered the maximum calorific value of 80.8760 kcal / kg. Furthermore, the general form equation mathematical model to determine the composition of heavy fraction of coal that will be the blending is as follows.

$$\frac{Ma_A}{Ma_B} = \frac{GCV_C x (Mo + A)_B - (Mo + A)_C x GCV_B}{(Mo + A)_C x GCV_A - GCV_C x (Mo + A)_A}$$

**Keywords:** coal blending ratio of weight to the target calorie value

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

*Blending* adalah pencampuran batubara yang berbeda nilai kalorinya, dimana hasil akhir dari proses pencampuran tersebut diharapkan akan didapatkan nilai kalori yang sesuai dengan target (permintaan pasar). Tujuan dari proses *blending* ini adalah untuk mengoptimalkan agar pemanfaatan nilai cadangan batubara yang mempunyai nilai kalori rendah, sehingga akan mempunyai nilai ekonomis yang tinggi.

Dalam proses *blending* batubara ini seringkali didapatkan hasilnya tidak sesuai dengan target yang diharapkan, sehingga nilai jualnya akan menjadi lebih rendah. Akibatnya pihak perusahaan akan mengalami penurunan pendapatannya.

Faktor-faktor penyebab terjadinya ketidaktercapaian target nilai kalori yang sesuai dengan target ini adalah dikarenakan pengaruh ukuran (*size*), kandungan air (*moisture*), kadar abu (*ash*), *fixed carbon*, *volatile matter* dan *sulphur*. Di samping itu juga dapat disebabkan oleh komposisi berat batubara yang akan dilakukan *blending* yang tidak sesuai, sehingga nilai kalori yang didapatkan dibawah target yang akan diharapkan.

Analisa model matematika ini adalah suatu cara pendekatan untuk mempelajari faktor-faktor yang mempengaruhi nilai kalori, sehingga akan didapatkan sampai sejauh mana pengaruhnya terhadap penurunan nilai kalori tersebut. Untuk membuat suatu model matematika adalah secara uji coba (*trial and error*), dimana bentuk persamaan yang didapatkan harus dilakukan uji statistik yang meliputi koefisien korelasi ( $R$ ), koefisien determinasi ( $R^2$ ), faktor penyimpangan model (*standard deviation*) dan tingkat konvergensi.

Metoda regresi linier adalah suatu cara untuk menentukan nilai-nilai dari konstanta variabel bebasnya. Hasil dari metoda regresi linier ini akan mempunyai nilai koefisien korelasi yang tinggi, apabila hasil titik-titik plot variabel terikat dengan variabel bebas adalah terhimpun dan menunjukkan garis lurus.

### 1.2. Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan dari penelitian ini untuk :

1. Menentukan model matematika yang sesuai untuk nilai kalori (GCV) terhadap pengaruh *moisture* (Mo), *ash* (A), *size* (S) dan *mass* (Ma).
2. Menentukan nilai maksimum jumlah total % adb dari *moisture* dan *ash* agar didapatkan nilai kalori yang sesuai dengan target.
3. Menentukan besarnya penurunan nilai kalori untuk pengaruh *size* dan *mass*.
4. Membuat suatu rumusan matematika didalam menentukan komposisi berat batubara yang akan di*blending* agar tercapai nilai kalori yang sesuai target.

## 2. METODE REGRESI LINIER

Salah satu cara untuk menentukan bentuk suatu model matematika dari suatu hubungan antara variable bebas (X) dengan variable terikat (Y) adalah melalui metoda regresi linier, dimana bentuk umum persamaannya :

$$Y = aX + b \quad (1)$$

Y = Variabel terikat

X = Variabel bebas

a dan b = konstanta

Analisa model matematika pada penelitian ini sebagai variabel yang terikat adalah nilai kalori (GCV). Sedangkan variabel bebas adalah *moisture* (Mo), *ash* (A), *mass* (Ma) dan *size* (S).

Untuk menentukan nilai-nilai konstanta a dan b dengan menggunakan metode *least square* yaitu :

$$\Sigma Y = a\Sigma X + bn \quad (2)$$

$$\Sigma XY = a\Sigma X^2 + b\Sigma X$$

Berdasarkan kedua bentuk persamaan diatas, maka nilai a dan b dapat ditentukan.

$$a = \frac{(\Sigma Y)(\Sigma X) - n\Sigma XY}{(\Sigma X)^2 - n\Sigma X^2} \quad (3)$$
$$b = \frac{(\Sigma Y)(\Sigma X^2) - (\Sigma XY)(\Sigma X)}{n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}$$

n = jumlah data

Hasil suatu penelitian bentuk model matematika secara uji coba (*trial and error*) akan valid dan dapat diterapkan, apabila telah memenuhi syarat uji statistik. Uji statistik ini meliputi koefisien korelasi (R), koefisien determinasi (F), standar deviasi (SD) dan tingkat konvergensi (C).

## 3. HASIL PENELITIAN

### 3.1. Bentuk Model Matematika

Berdasarkan hasil-hasil penelitian dari data yang ada melalui proses regresi linier didapatkan bentuk-bentuk model matematika untuk pengaruh *size* (S), *moisture* (Mo), *ash* (A) dan *mass* (Ma) terhadap nilai kalori (GCV) yaitu :

#### Model Matematika ke-I:

$$GCV = - 80,8015 \left[ (Mo + A) + (Ma \times S)^{0,0001} \right] + 7896,9661 \quad (4)$$

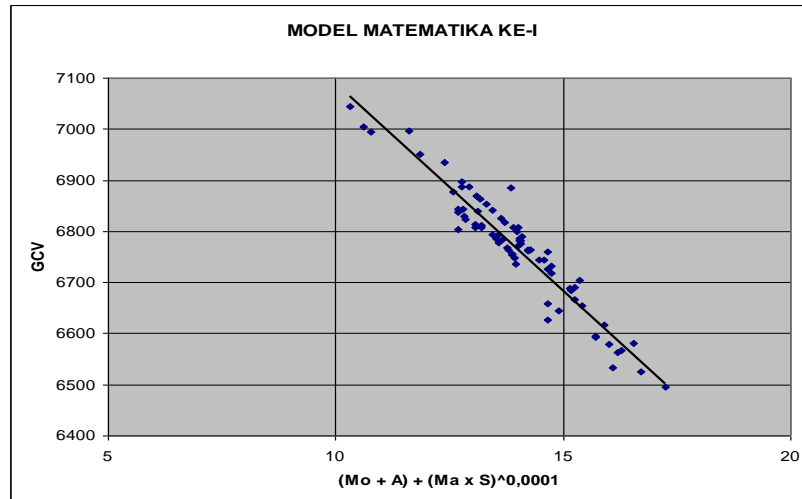
#### Model Matematika ke-II:

$$GCV = - 80,8480 \left[ (Mo + A)(Ma \times S)^{0,0001} \right] + 7817,2568 \quad (5)$$

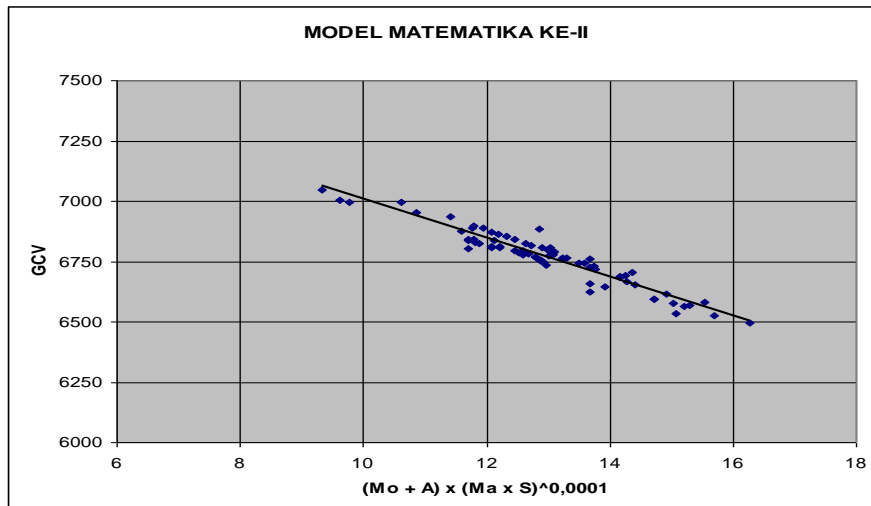
#### Model Matematika ke-III:

$$GCV = - 11,6301 \left[ (Mo \times A) + (Ma \times S)^{0,0001} \right] + 7265,8761 \quad (6)$$

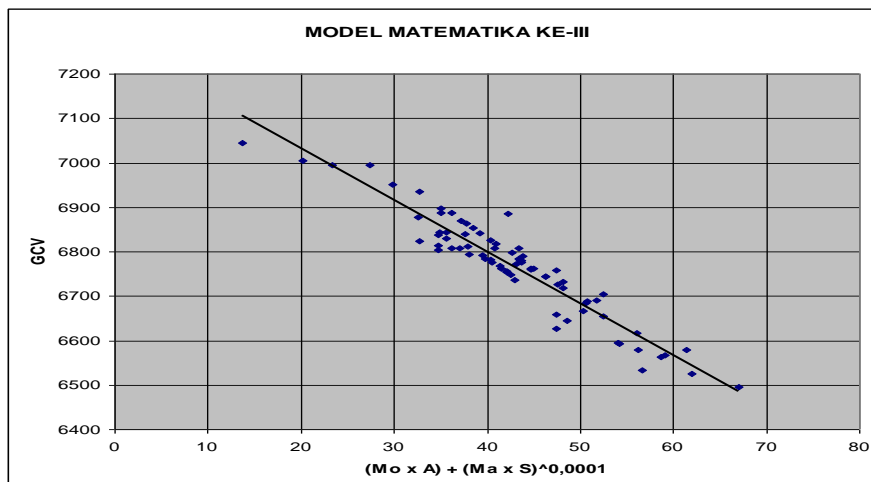




Gambar 1. Model Matematika bentuk I; Pengaruh *Size (S)*, *Mo (moisture)*, *Ash (A)* dan *Mass (Ma)* Terhadap Nilai Kalori



Gambar 2. Model Matematika bentuk II; Pengaruh *Size (S)*, *Mo (moisture)*, *Ash (A)* dan *Mass (Ma)* Terhadap Nilai Kalori



Gambar 3. Model Matematika bentuk III; Pengaruh *Size (S)*, *Mo (moisture)*, *Ash (A)* dan *Mass (Ma)* Terhadap Nilai Kalori

Ketiga model matematika diatas memenuhi persyaratan dari hasil uji statistik yang meliputi koefisien korelasi (R), konstanta determinasi ( $R^2$ ), standar deviasi atau simpangan baku regresi (SD) dan tingkat konvergensi (C).

Tabel 1. Hasil Uji Statistik

	R	$R^2$	SD (%)	C (%)
I	0,96	0,92	0,40	99,6
II	0,96	0,92	0,40	99,6
III	0,96	0,91	0,46	99,6

Berdasarkan hasil uji statistik yang tertera pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa :

- Ketiga model matematika menunjukkan bahwa nilai kalori (GCV) mempunyai korelasi yang sangat kuat dan tidak langsung terhadap *moisture (Mo)*, *ash (A)*, *mass (Ma)* dan *size (S)*. Hal ini ditunjukkan oleh nilai R diatas 0,90 dan negatif.
- Ketiga model matematika mempunyai nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) rata-rata 0,91 yang berarti bahwa 91 % nilai GCV dipengaruhi oleh faktor-faktor *Mo*, *A*, *Ma* dan *S*. Sedangkan 9 % lainnya dari nilai GCV dipengaruhi misalnya : *fixed carbon* dan *total sulphur*.
- Ketiga model matematika mempunyai nilai standar deviasi (SD) berkisar 0,40 % , yang berarti bahwa tingkat penyimpangan nilai GCV dari model hanya mempunyai selisih sebesar 0,40 % dari nilai GCV yang sebenarnya. Hal ini didukung juga dengan nilai tingkat konvergensi (C) diatas 99,5745 %.

### 3.2. Penurunan Nilai Kalori

Dari ketiga bentuk model matematika diatas dapat diketahui bahwa besarnya faktor pengaruh *mass (Ma)* dan *size (S)* dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan :

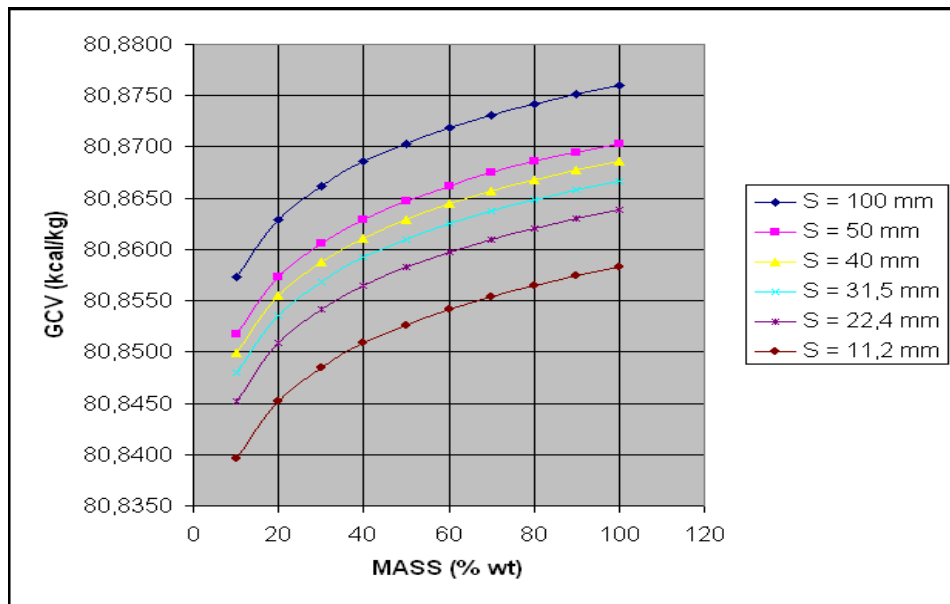
$$F = (Ma \times S)^{0,0001} \quad (7)$$

Pengaruh *mass* dan *size* terhadap penurunan nilai kalori (GCV) secara maksimum apabila nilai-nilai *Ma* = 100 %wt dan *S* = 100 mm, sehingga akan didapatkan :

$$F = (100 \times 100)^{0,0001} = 1,0009 \quad (8)$$

Selanjutnya untuk mengetahui besarnya penurunan nilai GCV akibat pengaruh *mass* dan *size* adalah dari persamaan model matematika ke-I, yaitu dengan cara memasukkan nilai F yang didapatkan 80,9 kcal/kg.

Besarnya penurunan nilai kalori diatas berlaku untuk setiap ukuran *mass* dan *size*. Hal ini diperlihatkan pada gambar berikut yang menunjukkan besarnya penurunan nilai kalori untuk pengaruh *mass* dan *size* relatif konstan.



Gambar 4. Pengaruh *Mass (Ma)* dan *Size (S)* terhadap Penurunan Nilai Kalori (GSV)

### 3.3. Ratio Komposisi Berat

Dalam proses pencampuran batubara dengan nilai kalori kualitas tinggi dan rendah, dimana hasil akhir dari proses *blending* diharapkan diperoleh nilai kalori sesuai dengan target yang akan dicapai. Hal ini dapat dilakukan dengan cara menentukan ratio komposisi berat batubara yang akan diblending.

Untuk menentukan komposisi berat ini adalah melalui programming linier, dimana bentuk persamaannya adalah :

$$\frac{Ma_A}{Ma_B} = \frac{GCV_C \times (Mo + A)_B - (Mo + A)_C \times GCV_B}{(Mo + A)_C \times GCV_A - GCV_C \times (Mo + A)_A} \quad (9)$$

## 4. KESIMPULAN

1. Bentuk model matematika pengaruh *moisture*, *ash*, *mass* dan *size* terhadap nilai kalori untuk batubara blending PT. Bukit Kendi yang sesuai yaitu :

$$GCV = - 80,8015 \left[ (Mo + A) + (Ma \times S)^{0,0001} \right] + 7896,9661 \quad (10)$$

2. Pengaruh penurunan nilai kalori akibat pengaruh *mass* dan *size* untuk setiap dilakukan *blending* adalah konstan sebesar 80 kcal/kg.
3. Untuk menentukan ratio komposisi berat agar nilai kalori yang optimal dan sesuai dengan target tercapai, yaitu dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$\frac{Ma_A}{Ma_B} = \frac{GCV_C \times (Mo + A)_B - (Mo + A)_C \times GCV_B}{(Mo + A)_C \times GCV_A - GCV_C \times (Mo + A)_A} \quad (11)$$

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- John C. Davis, (1973), "Statistics and Data Analysis in Geology".  
Mulyono, Sri, (1991), "Operations Research", Jakarta.  
Zador, A. T, "Technology and Economy of Blending and Mixing", Soros Associates Consulting Engineers, New York, USA.

TMK-2

## TEKNOLOGI PEMANFAATAN BATUBARA UNTUK MENGHASILKAN BATUBARA CAIR, PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK, GAS METANA DAN BRIKET BATUBARA

Sodikin Mandala Putra  
Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Sriwijaya

Kampus Unsri Inderalaya Jl. Raya Palembang – Prabumulih Km. 32  
Inderalaya OI  
SUMSEL, 30662 Telp. 0711-580137, Fax. 0711-580137

### ABSTRACT

*Utilization of coal as a source of national energy should be made considering the rapid current national energy consumption that can not be met by domestic production of petroleum. Utilization is expected not only in the form of raw materials but the coal has increased value added. Increased added value or quality of coal is also in line with the Masterplan Economic Development Acceleration and Expansion of Indonesia 2011-2025 which has 3 (three) missions are a major focus of one of them is in adding value and expanding the value chain of production processes and distribution of asset management and access ( potential) Resources, geografs region, and human resources, through the creation of economic activities that are integrated and synergistic in and inter-regional centers of economic growth.*

*Coal utilization technology tends to produce one product only to power plants, liquefied coal, city gas (methane), or briquettes. But with the technology to be developed is expected to use coal of various qualities can be used for various purposes. Such as to produce charcoal to briquettes, hot steam for power generation, liquid smoke to synthetic fuels, and methane gas for city gas.*

*The technology will be developed is a theoretical idea to review the various references from pyrolysis, power plants, as well as liquefaction coal. Coal utilization technology consists of three systems is a combination of three processes namely the utilization of coal combustion process directly, evaporation (steam) and pyrolysis. Coal combustion systems used for high calorie content such as bituminous to anthracite, the system is used as fuel for steam and pyrolysis systems. Pyrolysis system used for low-grade coal such as bituminous coal and lignite will produce charcoal to briquettes, methane gas for city gas, and liquid smoke and tar to synthetic fuel. While the steam system is used to generate steam that is used to turn turbines and generate electrical currents.*

*Keywords: Utilization of coal, Pyrolysis, Power Plant.*

### 1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan batubara sebagai sumber energi nasional harus segera dilakukan mengingat pesatnya konsumsi energi nasional saat ini yang tidak dapat dipenuhi oleh produksi minyak bumi dalam negeri. Pemanfaatan ini diharapkan tidak hanya dalam bentuk bahan mentah tetapi batubara yang telah dinaikan nilai tambahnya (*added value*). Batubara sebagai sumber energi primer memiliki kelebihan dibandingkan

dengan sumber energi lainya seperti minyak bumi kelebihan ini terletak pada bentuk dari penggunaan batubara yang dapat digunakan dalam hal apa saja seperti listrik, bahan bakar motor, dan gas kota. Selain dari pada itu cadangan yang tersedia masih melimpah dan akan mampu bertahan sampai 100 tahun kedepan. Serta keterdapatannya dipasar global dengan harga yang lebih murah dibandingkan dengan minyak bumi.

Perkembangan teknologi penggunaan batubara serta kondisi cadangan dari minyak bumi saat ini memungkinkan batubara kembali mengambil alih sumber energi dunia seperti yang telah dilakukan saat revolusi industri di Inggris pada abad ke-19 dengan ditemukannya mesin uap, sehingga batubara digunakan secara besar-besaran namun dengan ditemukannya minyak bumi dengan harga yang murah serta nilai kalori yang tinggi membuat dunia beralih ke minyak. Namun kali ini keadaan berbalik ketersediaan minyak bumi serta penurunan produksi minyak dunia sudah mulai dirasakan dengan berfluktuatifnya harga minyak dunia yang cenderung naik dan diperkirakan produksi maksimal minyak terjadi pada tahun 2043 dan setelah itu produksi minyak dunia mulai mengalami penurunan. Indonesia sendiri pun telah mulai merasakan penurunan produksi minyak bumi dimana pada tahun 2008 keluar dari organisasi eksportir minyak OPEC (*Organization Of Petroleum Exporting Countries*) dan cenderung mengimpor minyak untuk menutupi kebutuhan dalam negeri. Kelangkaan minyak bumi tidak dapat dihindari hal ini dikarenakan konsumsi dan eksploitasi secara besar-besaran dan tidak ada sumber energi lain yang mampu menstabilkan ketergantungan akan minyak bumi. Andaikan saja dunia mempunyai pilihan sumber energi untuk bahan bakar motor maka laju kelangkaan minyak bumi yang ditakuti saat ini dapat di hentikan sehingga keamanan energi dunia dapat terpenuhi. Pilihan tersebut terdapat pada batubara, sumber energi ini diharapkan mampu menghentikan laju kelangkaan minyak bumi dengan mengambil andil sebagai sumber energi untuk listrik, bahan bakar motor, serta gas perkotaan.

Batubara berpotensi menggantikan minyak bumi sebagai sumber energi utama dunia hal ini dikarenakan cadangan batubara yang melimpah dan mudah didapatkan dipasar dunia serta keterdapatannya yang hampir tersebar merata diseluruh dunia. Telah diperkirakan bahwa ada lebih dari 984 milyar ton cadangan batu bara di seluruh dunia. Hal ini berarti ada cadangan batu bara yang cukup untuk menghidupi kita selama lebih dari 190 tahun. Batu bara berada di seluruh dunia, batu bara dapat ditemukan di setiap daratan di lebih dari 70 negara, dengan cadangan terbanyak di AS, Rusia, China dan India. (WCI, 2005) cadangan ini diperkirakan akan terus bertambah karena banyaknya ditemukan cadangan-cadangan baru didaerah yang belum dieksplorasi. Indonesia sendiri juga memiliki potensi yang besar terhadap batubara tercatat pada tahun 2008 cadangan batubara Indonesia mencapai 65,4 milyar ton (DESDM, 2008 dalam Hasjim, 2010). Cadangan ini diperkirakan akan terus melonjak naik dan tercatat saat ini cadangan batubara Indonesia mencapai kurang lebih 104,8 milyar ton (Sumber Daya Geologi, 2007 dalam Datin, 2010). Keadaan ini akan mampu menghidupkan listrik Indonesia 100 tahun yang akan datang.

Pemanfaatan batubara sebagai energi utama nasional sudah digalakan oleh pemerintah dengan mengeluarkan Peraturan Presiden No. 5 Mengenai Bauran Energi Nasional tercatat bahwa pada tahun 2025 penggunaan batubara sebesar 33%, penggunaan ini diutamakan untuk listrik sedangkan untuk gas kota dan transportasi masih mengutamakan gas dan minyak bumi. Penggunaan batubara saat ini tidak hanya digunakan untuk listrik namun dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti gas kota, briket untuk rumah tangga dan industri menengah serta bahan bakar

minyak sintetik yang dapat digunakan untuk sumber energi bagi motor. Pemanfaatan batubara dengan meningkatkan kadar atau nilai pada batubara untuk berbagai keperluan sangat perlu dilakukan karena mengingat kondisi cadangan batubara Indonesia berdasarkan kualitasnya 24% termasuk batubara peringkat rendah, 60% peringkat sedang, dan 15% peringkat tinggi serta hanya 1% yang termasuk peringkat sangat tinggi (Hasjim, 2010). Untuk peringkat rendah sampai sedang akan menimbulkan masalah jika dibakar secara langsung untuk pembangkit tenaga listrik maka kualitas rendah sampai sedang baik untuk ditingkatkan kualitasnya menjadi batubara cair, gas kota, dan kokas. Sedangkan untuk batubara peringkat tinggi sampai sangat tinggi sangat baik untuk pembakaran secara langsung untuk pembangkit listrik serta industri baja dan semen.

Peningkatan nilai tambah atau kualitas batubara sesuai pula dengan Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI) yang memiliki 3 (tiga) misi yang menjadi fokus utamanya, yaitu:

1. Peningkatan nilai tambah dan perluasan rantai nilai proses produksi serta distribusi dari pengelolaan aset dan akses (potensi) SDA, geografis wilayah, dan SDM, melalui penciptaan kegiatan ekonomi yang terintegrasi dan sinergis di dalam maupun antar-kawasan pusat-pusat pertumbuhan ekonomi.
2. Mendorong terwujudnya peningkatan efisiensi produksi dan pemasaran serta integrasi pasar domestik dalam rangka penguatan daya saing dan daya tahan perekonomian nasional.
3. Mendorong penguatan sistem inovasi nasional di sisi produksi, proses, maupun pemasaran untuk penguatan daya saing global yang berkelanjutan, menuju innovaton-driven ekonomi.

Peningkatan nilai tambah atau kualitas batubara yang ingin dikembangkan pada makalah ini merupakan pemanfaatan batubara kualitas rendah sampai sangat tinggi untuk menghasilkan batubara cair, gas kota (metana), pembangkit listrik, serta briket. Teknologi pemanfaatan batubara saat ini cenderung menghasilkan satu produk saja seperti hanya untuk pembangkit listrik, batubara cair, gas kota, atau briket. Namun dengan teknologi yang akan dikembangkan ini diharapkan pemanfaatan batubara dari berbagai kualitas dapat digunakan untuk berbagai keperluan.

## 2. TEKNOLOGI PEMANFAATAN BATUBARA

### 2.1 Pencairan Batubara

Salah satu kekurangan batubara bentuknya yang berupa padatan serta memiliki massa yang besar dengan densitas yang kecil serta kalori yang kecil pula berbeda dengan minyak bumi yang memiliki nilai kalori yang besar. Untuk menaikkan nilai kalori dari batubara tersebut maka batubara tersebut harus ditingkatkan nilai kalornya dan salah satunya yaitu dengan dicairkan sehingga dapat digunakan seperti minyak.

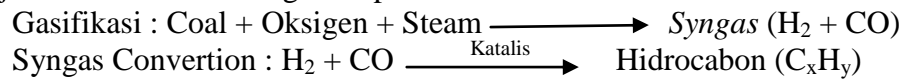
Teknologi pencairan batubara saat ini terdiri atas tiga teknologi pencairan yaitu teknologi gasifikasi (*indirect liquefaction coal*), pirolisis, dan *hidroliquefaction* (*direct coal liquefaction*). Pirolisis dan hidroliquefaksi membutuhkan pemurnian untuk dapat menghasilkan bahan bakar cair, sedangkan gasifikasi membutuhkan sintesis untuk menghasilkan bahan bakar cair. Untuk batubara peringkat rendah sampai sedang lebih baik menggunakan teknologi *hidroliquefaction* dan pirolisis sedangkan untuk batubara tingkat tinggi bisa menggunakan gasifikasi. Saat ini teknologi yang sering digunakan untuk pencairan batubara yaitu gasifikasi (*indirect liquefaction coal*) yang digunakan oleh SASOL (*South Africa Synthetic Oil Liquefaction*) Afrika Selatan dan



Hidroliquefaksi yang digunakan oleh NEDO (*The New Energy Development Organization*) Jepang. Berikut ini penjelasan dari beberapa teknologi pencairan batubara yang telah berkembang saat ini:

### 1. Gasifikasi (*Indirect coal liquefaction*)

Proses pencairan batubara dengan menggunakan metode gasifikasi disebut juga dengan pencairan secara tak langsung dimana batubara yang ingin dicairkan terlebih dahulu dijadikan dalam bentuk gas. Seperti reaksi dibawah ini



Melalui pemanasan kering batuabara, semua komponen yang mudah menguap (zat terbang) dapat dikeluarkan, yang tetap tinggal disebut kokas. Dari gasifikasi diharapkan terjadi konversi sempurna zat-zat dalam batubara yang berupa padatan menjadi senyawa-senyawa dalam bentuk gas. Pada proses gasifikasi ini udara dan uap air secara bergantian dilewatkan pada kokas yang membara. Selama proses pertama berlangsung terbentuk gas generator (Campuran gas CO dan NO<sub>2</sub>). Panas yang dilepaskan menyebabkan kokas memijar. Setelah itu pemasukan udara dihentikan, dan sebagai gantinya uap air dialirkan melalui kokas tersebut. kokas memijar kemudian mereduksi uap air menjadi hydrogen dan kokas sendiri teroksidasi menjadi karbon monoksida. Dari produk utama CO dan H<sub>2</sub> (gas sintesa), diteruskan pembuatan bahan bakar cair dengan bantuan katalis. (Hidayat, 1995)

### 2. Pirolisis

Pirolisis adalah proses dekomposisi kimia dengan menggunakan pemanasan tanpa adanya oksigen. Proses ini atau disebut juga proses karbonasi atau yaitu proses untuk memperoleh karbon atau arang, disebut juga *High Temperature Carbonization* pada suhu 450<sup>0</sup> C-500<sup>0</sup> C. Dalam proses pirolisis dihasilkan gas-gas, seperti CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, dan hidrokarbon ringan. Jenis gas yang dihasilkan bermacam-macam tergantung dari bahan baku. Salah satu contoh pada pirolisis dengan bahan baku batubara menghasilkan gas seperti CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan SO<sub>x</sub>. Yang dalam jumlah besar, gas-gas tersebut dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia baik secara langsung maupun tidak langsung.

Paris *et al.* (2005) mengatakan bahwa pirolisis merupakan proses pengarangan dengan cara pembakaran tidak sempurna bahan-bahan yang mengandung karbon pada suhu tinggi. Kebanyakan proses pirolisis menggunakan reaktor tertutup yang terbuat dari baja, sehingga bahan tidak terjadi kontak langsung dengan oksigen. Umumnya proses pirolisis berlangsung pada suhu di atas 300°C dalam waktu 4-7 jam. Namun keadaan ini sangat bergantung pada bahan baku dan cara pembuatannya (Oemirbas, 2005).

Pencairan batubara dengan proses pirolisis baik untuk batubara dengan nilai kalori rendah sampai sedang karena pada batubara kelas ini akan kita dapatkan gas metana yang lebih banyak dibandingkan kelas tinggi selain itu arang yang dihasilkan dapat dibentuk menjadi kokas untuk pembriketan yang berguna untuk kebutuhan rumah tangga serta industri kecil sampai menengah.

Pada proses pirolisis akan didapatkan residu padat berupa tar yang berkadar karbon tinggi serta minyak dan gas berkadar hidrogen tinggi yang akan digunakan untuk mengkonversi menjadi bahan bakar cair. (hidayat, 1995)

### 3. Hidroliquefaksi (*Direct coal liquefaction*)

Proses hidroliquefaksi disebut juga sebagai proses hidrogenasi katalitik atau proses pencairan batubara dengan hidrogenasi batubara dalam larutan donor hidrogen dengan

bantuan katalistis oksida besi pada tekanan antara 35-275 atmosfer dan temperature sekitar 375-450<sup>0</sup> C. tekanan dan temperatur tinggi digunakan untuk memecahkan batubara menjadi fragmen-fragmen reaktif yang disebut radikal bebas (hidayat, 1995). Agar menghasilkan konversi cair yang cukup tinggi diperlukan stabilisasi terhadap radikal bebas, sekaligus mencegah terjadinya polimerisasi menjadi produk tak larut dan tak reaktif.

Menurut berkowist, N. transformasi batubara menjadi minyak sintetis merupakan proses hidrogenasi yang melalui tahap-tahap sebagai berikut:

Batubara  $\longrightarrow$  presasfalten  $\longrightarrow$  asfalten  $\longrightarrow$  minyak

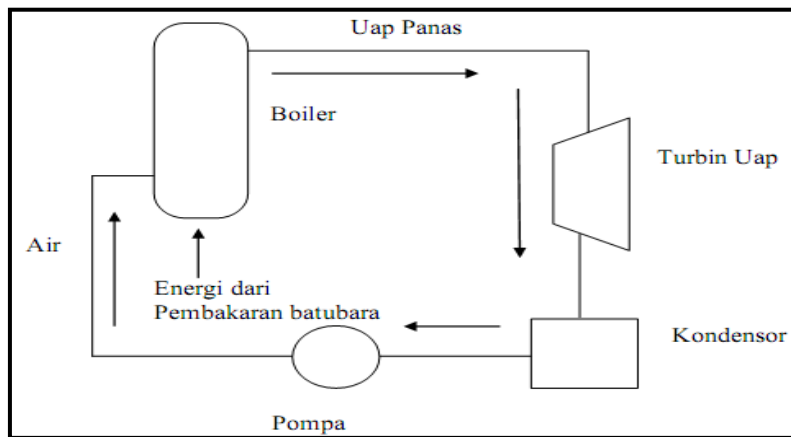
Dari ketiga sistem proses pencairan batubara diatas maka dengan mempertimbangkan kondisi batubara indonesia serta beragamnya hasil yang didapatkan maka teknologi yang tepat digunakan untuk pencairan yaitu pirolisis. Teknologi pirolisis dapat menghasilkan asap cair (minyak berat), briket (kokas), serta gas metana yang berguna untuk gas kota. Selain itu proses pirolisis sangat sederhana dan tidak membutuhkan dana yang besar serta dapat di kombinasikan dengan sistem pembangkit tenaga listrik dimana batubara kelas tinggi menjadi sumber energi untuk memanaskan rekator pirolisis dan boiler yang digunakan untuk memanaskan uap air.

## 2.2 Pembangkit Tenaga Listrik

Batubara saat ini telah digunakan secara besar-besaran untuk pembangkit tenaga listrik, Saat ini batu bara memberikan pasokan sebesar 39% bagi listrik dunia. Di banyak negara, peran batu bara jauh lebih tinggi. Ketersediaan pasokan batu baradengan biaya rendah baik di negara maju maupun di negara berkembang sangat vital untuk mendapatkan tingkat pemasangan listrik yang tinggi. Contohnya di Cina, 700 juta orang telah memiliki sistem listrik selama lebih dri 15 tahun yang lalu. Kini 99% dari negara tersebut telah memiliki sambungan listrik, dimana sekitar 77% dari listrik tersebut dihasilkan oleh pusat pembangkit listrik tenaga uap.(WCI, 2005).

Indonesia sendiri Tercatat dari seluruh konsumsi batubara dalam negeri pada tahun 2005 sebesar 35,341 juta ton, 25,132 juta ton atau sekitar 71,11% di antaranya digunakan oleh PLTU. Hingga saat ini, PLTU berbahan bakar batubara, baik milik Perusahaan Listrik Negara maupun yang dikelola swasta, ada 9 PLTU, dengan total kapasitas saat ini sebesar 7.550 MW dan mengkonsumsi batubara sekitar 25,1 juta ton per tahun.(Nugraha, 2009).

Batubara digunakan sebagai bahan bakar dalam pembangkit tenaga listrik uap, dimana energi panas yang dikeluarkan oleh batubara mampu memanaskan air yang terdapat di dalam boiler yang menghasilkan *steam* atau uap panas, Jika air dididihkan sampai menjadi *steam*, volumenya akan meningkat sampai 1600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak. Energi yang terdapat pada uap panas ini digunakan untuk memutar turbin dan generator akan berputar dengan sendirinya sehingga menghasilkan arus listrik. Secara garis besar pembangkit tenaga listrik uap terdiri atas komponen: boiler, reactor pembakaran, kondensor, dan turbin uap. Keempat komponen tersebut saling terhubung dan membentuk suatu siklus, seperti gambar dibawah ini:



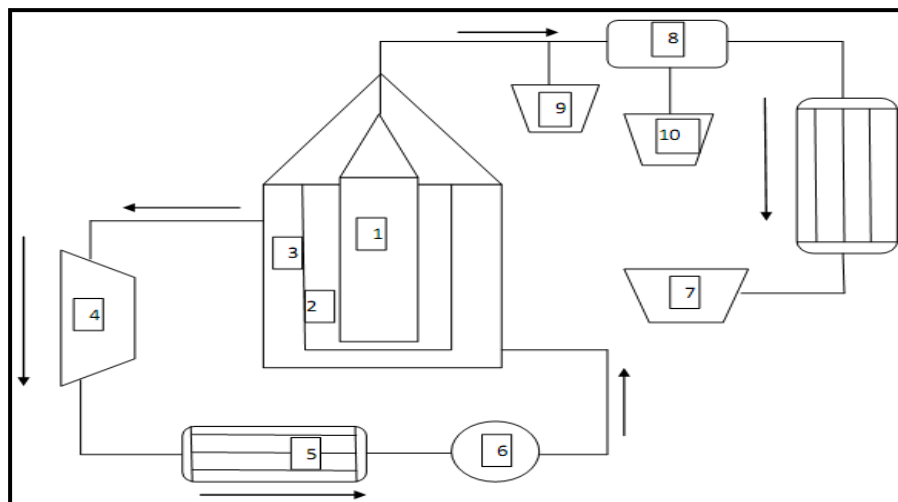
**Gambar 1** Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batubara

### 3. RANCANGAN TEKNOLOGI PEMANFAATAN BATUBARA UNTUK PENCAIRAN, LISTRIK, GAS METANA DAN BRIKET

Rancangan teknologi yang ingin dikembangkan ini memadukan proses pencairan batubara dengan pembangkit tenaga listrik uap, dua teknologi dijadikan satu sistem yang dapat menghasilkan berbagai produk seperti bahan bakar cair, gas kota (metana), briket (kokas), listrik. Selain dari pada itu pengembangan teknologi pemanfaatan batubara ini dapat meningkatkan nilai tambah batubara kelas rendah sampai menengah.

Batubara yang akan digunakan pada teknologi ini bisa dari bermacam-macam kelas dari yang berkalori rendah sampai tinggi. Umumnya batubara Indonesia berkelas rendah memiliki kalori 5100 kal/gr, berkelas menengah dengan kalori 6100 kal/gr, serta kelas tinggi dengan nilai kalori 7100 kal/gr.

Batubara dengan nilai kalori rendah sampai menengah dapat digunakan untuk pencairan yang akan menghasilkan kokas, gas metana, serta bahan bakar cair. Sedangkan batubara kelas tinggi digunakan sebagai bahan bakar yang akan digunakan untuk memanaskan reaktor pirolisis serta boiler untuk menghasilkan uap panas. Seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini:



**Gambar 2**, Rancangan Teknologi Pemanfaatan Batubara

Komponen-komponen utama:

- |                         |                          |                  |
|-------------------------|--------------------------|------------------|
| 1. Reaktor pirolisis    | 5. Kondensor             | 9. Penampung Tar |
| 2. Reaktor pembakaran   | 6. Pompa                 | 10. Gas Metana   |
| 3. Boiler (Air)         | 7. Penampungan asap cair |                  |
| 4. Turbin dan Generator | 8. Gas separator         |                  |

#### 4. MEKANISME KERJA DAN SIKLUS KERJA

Siklus kerja dari rangkaian teknologi pemanfaatan batubara tersebut terbagi menjadi 3 sistem kerja yang saling berhubungan, antara lain:

##### 4.1 Sistem pembakaran

Sistem pembakaran berhubungan dengan sistem pirolisis dan uap panas, sistem pembakaran dijadikan sebagai sumber energi yang memberi panas pada sistem pirolisis dan uap panas. Sistem pembakaran dibuat dalam keadaan yang berhubungan dengan udara sehingga pembakaran dapat terjadi secara terus menerus dan pada sistem ini bisa memberikan energi panas secara terus menerus pada sistem pirolisis dan uap panas.

Bahan yang digunakan pada sistem pembakaran haruslah logam yang memiliki nilai konduktifitas yang tinggi atau mampu menghantarkan panas dengan baik serta mampu ditempa setipis mungkin seperti aluminium yang sering digunakan sebagai panci untuk memasak. Bahan yang akan dibakar pada sistem pembakaran adalah batubara dengan nilai kalori diatas 7100 kal/gr atau kelas bituminous sampai antrasit. Pembakaran bahan bakar di ruang pembakaran akan menghasilkan energi panas, energi panas ini akan digunakan untuk memanaskan reaktor pirolisis serta reaktor uap air yang akan menghasilkan uap panas untuk memutar turbin.

Hanya saja dalam proses pembakaran perlu dikontrol suhu yang terdapat pada ruang pembakaran karena pada sistem pirolisis dibutuhkan suhu antara 450-600<sup>0</sup>C untuk dapat menghasilkan arang, tar, asap cair dan gas metana. Sedangkan pada sistem uap membutuhkan suhu lebih dari 100<sup>0</sup>C untuk dapat menghasilkan uap panas. Pengaturan suhu pada ruang pembakaran dapat dilakukan dengan mengatur besar kecilnya katup udara pada ruang pembakaran, sehingga untuk menghasilkan suhu yang relative besar cukup dengan membesarkan katup udara begitu pun sebaliknya.

Selain dari pada suhu faktor lain yang perlu dipertimbangkan pada ruang pembakaran yaitu waktu pembakaran, umumnya pirolisis batubara untuk dapat menghasilkan tar, asap cair, gas metana, dan arang berlangsung pada waktu 3-7 jam dengan suhu berkisar antara 450-600<sup>0</sup>C, selain dari pada itu perlu dipertimbangkan jumlah air yang terdapat pada boiler dimana pada suhu tersebut dengan waktu 3-7 jam dapat berubah menjadi steam atau uap panas.

##### 4.2 Sistem pirolisis

Pada sistem pirolisis digunakan reaktor yang tertutup rapat atau tidak bersentuhan dengan udara luar agar tidak ada oksigen yang masuk dalam reaktor sehingga pirolisis dapat berjalan dengan baik dan bisa menghasilkan gas dan asap yang akan dicairkan oleh kondensor dan akan menjadi bahan bakar cair berupa alkohol dan lain-lain. selain itu pirolisis juga digunakan untuk menghasilkan gas metana dari pembakaran batubara kelas rendah sampai menengah. reaktor yang digunakan sama dengan ruang pembakaran yaitu yang mampu menghantarkan panas yang baik

sehingga efisiensi panas yang diberi oleh bahan bakar pada ruang pembakaran mencapai maksimal.

Bahan yang akan dibakar pada reaktor pirolisis ini merupakan batubara dari kelas lignit sampai dengan sub-bitumius yang bernilai kalori rendah dari 5100-6100 kal/gr. Umumnya batubara kelas ini memiliki kandungan gas metana serta zat pengotor yang tinggi maka dengan pirolisis zat pengotor dapat dipisahkan dari batubara tersebut serta gas metana yang berguna untuk gas kota dan polusi dari pembakaran batubara tersebut dapat dicegah. Panas yang dihasilkan dari ruang pembakaran akan memanaskan batubara yang terdapat pada reaktor pirolisis dan pada suhu 450-600<sup>0</sup>C yang ada di reaktor akan berubah menjadi gas dan padatan-padatan arang serta asap cair.

Umumnya pirolisis batubara pada suhu 450-600<sup>0</sup>C menghasilkan beberapa produk yaitu arang, gas metana, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub> serta residu padat berupa tar. Arang dapat digunakan untuk pembriketan batubara serta bernilai kalori tinggi, gas metana yang dihasilkan dapat digunakan untuk gas kota, serta komponen gas asap akan dicairkan oleh kondensor dan akan menghasilkan asap cair sementara residu padat yang terbawa bersama gas akan mengendap pada tempat penampungan tar. Tar dan asap cair keduanya dapat dijadikan bahan bakar cair dengan bantuan katalis.

#### 4.3 Sistem uap panas

Pada sistem ini berhubungan dengan menguapkan air yang berada pada reaktor uap, banyaknya air tergantung pada besarnya energi yang diberikan oleh ruang pembakaran. Panas yang berasal dari ruang pembakaran akan mencapai suhu lebih dari 100<sup>0</sup>C dimana pada suhu ini air akan menguap, dan uap ini dalam bentuk uap panas yang memiliki tekanan yang tinggi sehingga mampu memberikan gaya dorong terhadap suatu benda. Gaya dorong ini akan diberikan ke turbin uap yang terpasangkan kegenerator yang akan menghasilkan arus listrik yang dapat dimanfaatkan untuk listrik.

### 5. PENUTUP

Pemamfaatan batubara dari berbagai kelas dapat dilakukan dalam satu teknologi yang dapat menghasilkan berbagai keuntungan atau produk seperti pembriketan, gas metana, asap cair untuk bahan bakar sintetis, dan uap panas untuk pembangkit tenaga listrik. Teknologi yang dimaksud adalah teknologi yang menggabungkan konsep pirolisis dan pembakaran bahan bakar secara langsung, bahan bakar yang digunakan dapat berupa batubara dengan nilai kalori tinggi serta sedikit zat pengotor dan kadar air seperti bituminous sampai antrasit sedangkan batubara yang akan di pirolisis yaitu batubara kelas rendah sampai menengah keuntungan menggunakan pirolisis yaitu meningkatkan nilai dari batubara kelas rendah tersebut serta menghindari pencemaran lingkungan akibat pembakaran yang akan menghasilkan gas berbahaya.

Teknologi ini didasarkan pada tiga sistem kerja yang berhubungan satu sama lain, sistem pembakaran sebagai sumber energi yang memberikan panas pada system pirolisis dan sistem uap. Sistem pirolisis akan menghasilkan produk berupa gas metana, asap cair, dan arang. Sedangkan system uap akan menghasilkan uap panas untuk menghasilkan gaya dorong pada turbin untuk memutar generator.

Manfaat penggunaan teknologi ini dapat mengurangi polusi udara akibat pembakaran secara langsung batubara kelas rendah, meningkatkan nilai batubara kelas rendah serta dapat menghasilkan banyak produk seperti briket, gas metana, asap



cair, dan uap panas. Semoga teknologi ini dapat selalu dikembangkan dan direalisasikan oleh para akademisi.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Datin Fatia Umar, (2010) *Pengaruh Proses Upgrading Terhadap Kualitas Batubara Bunyu, Kalimantan Timur*, Seminar Rekayasa Kimia dan Proses 2010, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang,.
- Hidayat, (1995), *Pengaruh Peringkat dan Kondisi Operasi Pada Proses Pencairan Batubara*, Tesis Pascasarjana Ilmu Kimia, Universitas Indonesia, Jakarta,.
- Is Fatimah, dan Jaka Nugraha, (2005), *Identifikasi Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Jati Menggunakan Principal Component Analysis*, Jurnal Ilmu Dasar, Vol. 6, No.1, hlm 41-47.
- I Gede Agung Yudana, (2001), *Minyak Batubara Sebagai Alternatif*, Jurnal Energi No.12 mei- juli 2001.
- Kartini Megasari, dkk., (2008), *Penakaran Daur Hidup Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Batubara Kapasitas 50 MWATT*, Seminar Nasional IV, SDM Teknologi Nuklir, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN, Yogyakarta,.
- Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian, (2011), *Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia*, Jakarta,.
- Machmud Hasjim, (2010), *dilemma of multi energy resources In south sumatra province*, International Conference on Coalbed Methane (CBM), Palembang, 8 desember 2010.
- Media Data Riset, *Tantangan dan Peluang Industri Batubara di Indonesia*, Maret, 2009.
- Muksin, Saleh. (2004), *Pengaruh tekanan awal hidrogen dan waktu reaksi Terhadap co-processing batubara banko tengah dengan short residue*, Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses 2004, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang,.
- M. Syamsiro dan Harwin Saptoadi, (2007), *Pembakaran Briket Biomassa Cangkang Kakao: Pengaruh Temperatur Udara Preheat*, Seminar Nasional Teknologi 2007, Jurusan Teknik Merin, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra, Yogyakarta, 24 November 2007.
- Muhamad Jauhary, *Potensi Pengolahan Industri Batubara Cair*, Economic Review, No.208, Juni, 2007.
- Muhammad Said, A., dan Taufik Arief, *Analisa Kebutuhan Batubara dan Gas Bumi Sumatera Selatan Dalam Menunjang Pengelolaan Sumber Daya Energi yang Berwawasan Lingkungan Sebagai Salah Satu Sumber Pendapatan Asli Daerah (PAD) Sumsel*, Jurnal Pembangunan Manusia, Edisi 5, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang.
- Nurhayati, dan Diniayati, D., (2010), *Pengaruh Derajat Pengeringan Batubara Lignit Terhadap Unjuk Kerja Gasifikasi Allothermal*, Seminar Rekayasa Kimia dan Proses 2010, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang,.
- Pusat Litbang Teknologi Mineral dan Batubara, *Batubara Indonesia*, 2006.
- Pusat Litbang Teknologi Mineral dan Batubara, *Statistik Batubara Indonesia*, 2006.
- Ronny Samuel Siantury, (2008), *Studi Pembangkit Listrik Tenaga Uap dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Aplikasi PT. Musim Mas Kim II Medan*, Skripsi Sarjana Elektro, Universitas Sumatera Utara, Medan,.





World Coal Institute, *Sumber Daya Batubara, Tinjauan Lengkap Mengenai Batubara*, Mei, 2005.



## PEMODELAN CFD PROSES PENCAIRAN BATUBARA: DISTRIBUSI SUHU *SLURRY* BATUBARA DALAM *AUTOCLAVE*

Lia Cundari<sup>1\*</sup>, Novia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya  
Km.32, Inderalaya

\*Korespondensi Pembicara. Phone: +62 711 580139, Fax: +62 711 580139  
Email: icun\_hyang02@yahoo.com

### ABSTRAK

Kebutuhan bahan bakar minyak (BBM) semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan teknologi, transportasi, dan industri. Di sisi lain cadangan minyak bumi yang tersedia semakin menipis, dan diperkirakan akan habis jika digunakan terus-menerus. Untuk itu diperlukan suatu energi alternatif sebagai pengganti minyak bumi, yaitu melalui teknologi pencairan batubara.

Proses pencairan batubara (BCL) merupakan proses untuk mengkonversi batubara muda (lignit) menjadi liquid secara langsung. Reaksi ini terjadi di dalam *autoclave* berpengaduk dengan volume 1 liter, dan dengan kondisi operasi tinggi (tekanan 8 – 12 Mpa dan suhu 430 – 450°C). *Slurry* batubara, pelarut, katalis limonit, dan hidrogen dimasukkan ke dalam reaktor, lalu dilakukan tes kebocoran. Setelah tes kebocoran selesai, dilakukan *pre-heating* hingga mencapai kondisi operasi proses. Reaksi pencairan berlangsung selama 60 menit.

Reaksi pencairan batubara melibatkan reaksi perengkahan dan hidrogenasi yang sangat kompleks. Oleh karena itu, diperlukan suatu model matematis untuk menyederhanakannya. Pada penelitian ini, pemodelan matematis proses pencairan batubara dalam *autoclave* dilakukan dengan menggunakan software Fluent 6.3 (paket CFD (*Computational Fluid Dynamisc*)). Simulasi dilakukan untuk mengetahui distribusi suhu dalam reaktor selama proses pencairan. Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa temperatur di sepanjang reaktor tidaklah isothermal, dengan rentang temperatur 723°K - 800°K.

**Kata kunci:** CFD, Fluent, Pencairan Batubara, *Slurry* Batubara.

### 1. PENDAHULUAN

Pemenuhan kebutuhan energi dan perkembangan teknologi industri sangat bergantung pada minyak dan gas bumi, sehingga penggunaan energi di dalam berbagai sektor kehidupan semakin meningkat. Hal ini menyebabkan cadangan minyak bumi semakin menurun jika digunakan terus-menerus.

Untuk itu diperlukan sumber energi alternatif sebagai pengganti minyak bumi, salah satunya batubara, karena potensinya yang besar dan belum dimanfaatkan secara komersil. Menurut Amandemen I-SNI 13-50414-1998, sumberdaya batubara Indonesia sekarang ini adalah sebanyak 61.274 juta ton, dimana 70 persen merupakan

batubara muda (lignit). Batubara dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair melalui teknologi pencairan batubara (*Brown Coal Liquefaction* / BCL).

Beberapa peneliti telah mempelajari proses pencairan batubara secara eksperimental, antara lain Robert W. Rieve (1971), Koji Chiba et al. (Agustus, 1985), Noriyuki et al. (2000), Okuyama et al. (2000), Hideo Narita dan Yosuke Maekawa (2000), Lambok H. Silalahi dan Yusnitati (2000), dan Yuli Artanto (2000), tetapi masih sedikit yang memodelkan proses pencairan batubara, khususnya yang membahas tentang reaksi yang terlibat di dalamnya.

Proses pencairan batubara melibatkan pencampuran multifasa dan reaksi (perengkahan dan hidrogenasi) yang sangat kompleks, karena itulah digunakan suatu pemodelan matematis untuk menyederhanakannya. Model matematis yang akan digunakan tidak dapat dipisahkan dari peran persamaan-persamaan konservasi massa, momentum, energi dan persamaan-persamaan lain seperti persamaan untuk turbulensi, reaksi kimia dan sebagainya. Persamaan tersebut berbentuk persamaan differensial parsial yang tidak bisa diselesaikan secara analitis, untuk itulah digunakan FLUENT 6.3 yang merupakan paket *Computational fluid dynamics* (CFD) yang menyediakan penyelesaian numeris dengan metode *finite volume*.

CFD merupakan suatu alat teknis yang dapat digunakan untuk memprediksi aliran satu fasa atau multifasa dalam berbagai peralatan di industri. CFD juga digunakan untuk simulasi proses, sehingga dapat diketahui kondisi operasi optimum, desain, *scale-up*, serta pengaruh perubahan dari berbagai parameter dalam proses. Dengan CFD, tidak hanya waktu dan biaya *scale-up* yang dapat dikurangi, tetapi performa peralatan juga dapat terlihat.

Pada penelitian ini, pemodelan matematis proses pencairan batubara langsung dilakukan dengan menggunakan software FLUENT 6.3 untuk melihat distribusi temperatur *slurry* batubara di dalam reaktor *autoclave* uji pencairan batubara (BCL).

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bagi Indonesia, teknik konversi likuifaksi batubara secara langsung dinilai lebih menguntungkan untuk saat ini. Selain prosesnya yang lebih sederhana, likuifaksi relatif lebih murah dan lebih bersih dibanding teknik gasifikasi. Teknik ini juga cocok untuk batubara peringkat rendah (lignit), yang banyak terdapat di Indonesia. Secara umum tahap-tahap pada proses *Direct Liquefaction* sebagai berikut: melarutkan batubara dalam suatu solven (ekstraksi), mereaksikan dengan hidrogen (hidrogenasi), memisahkan *mineral matter*, mengambil produk dan *recycle solvent*.

Secara kimiawi proses pencairan akan mengubah bentuk hidrokarbon batubara dari kompleks menjadi rantai panjang seperti pada minyak. Atau dengan kata lain, batubara terkonversi menjadi liquid melalui pemutusan ikatan C-C dan C-heteroatom secara termolitik atau hidrolitik (*thermolytic and hydrolytic cleavage*), sehingga melepaskan molekul-molekul CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, dan H<sub>2</sub>O. Untuk itu rantai atau cincin aromatik hidrokarbonnya harus dipotong dengan cara dekomposisi panas pada temperatur tinggi (*thermal decomposition*). Setelah dipotong, masing-masing potongan pada rantai hidrokarbon tadi akan menjadi bebas dan sangat aktif (*free-radical*). Supaya radikal bebas itu tidak bergabung dengan radikal bebas lainnya (terjadi reaksi repolimerisasi) membentuk material dengan berat molekul tinggi dan *insoluble*, perlu adanya pengikat atau stabilisator, biasanya berupa gas hidrogen. Hidrogen bisa didapat melalui tiga cara yaitu: transfer hidrogen dari pelarut, reaksi dengan *fresh* hidrogen, *rearrangement* terhadap hidrogen yang ada di dalam batubara,

dan menggunakan katalis yang dapat menjembatani reaksi antara gas hidrogen dan *slurry* (batubara dan pelarut).

Peranan katalis dalam pencairan batubara adalah untuk memasukkan atom H yang berasal dari disosiasi katalitik molekul H<sub>2</sub> ke dalam batubara atau campuran batubara-pelarut sehingga menaikkan ketersediaan hidrogen aktif. Hidrogen tersebut akan berfungsi untuk menghidrogenasi senyawa aromatis, mempromosikan reaksi pemutusan ikatan dan menstabilkan radikal bebas serta mencegah reaksi repolimerisasi produk-produk terlarut (Mochida et.al.1998). Katalis yang digunakan dalam BCL adalah limonit (FeOOH).

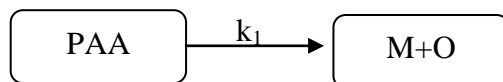
Persamaan-persamaan yang diperlukan untuk memodelkan pencairan batubara antara lain:

1. **Konservasi massa** fasa i (i = fluida, solid):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_i \varepsilon_i) + \nabla \cdot (\rho_i \varepsilon_i \mathbf{U}_i) = r_i \quad (1)$$

$$\text{dimana: } \varepsilon_f + \varepsilon_s = 1 \quad (2)$$

r<sub>i</sub> merupakan laju reaksi penguraian dan pembentukan senyawa i. Reaksi pencairan batubara melibatkan reaksi perengkahan dan hidrogenasi katalitik yang sangat kompleks. Untuk itu, dalam penelitian ini digunakan model kinetika yang dikembangkan Li dkk (2008), dimana reaksi pencairan batubara dipengaruhi oleh pembentukan *Preasphaltene* dan *Asphaltene* (PAA), selanjutnya PAA akan terkonversi menjadi minyak dan gas (M+O):



Dengan mengasumsi reaksi yang terjadi merupakan reaksi irreversible berorde satu, maka persamaan kinetika reaksi yang dipakai adalah:

$$r_i = \frac{dA}{dt} = -K_1 A \phi \quad (3)$$

2. **Konservasi energi** fasa i:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_i \varepsilon_i H_i) + \nabla \cdot (\varepsilon_i \rho_i \mathbf{U}_i H_i) = -\varepsilon_i \frac{\partial P_i}{\partial t} + \boldsymbol{\tau}_i : \nabla \mathbf{U}_i - \nabla \cdot \mathbf{q}_i + S_i \quad (4)$$

$$\text{dimana: } H_i = \sum_i \varepsilon_i \int_{T_{ref}}^T C_{p_i} dT \quad (5)$$

3. **Konservasi momentum** fasa i (k≠i)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_i \varepsilon_i \mathbf{U}_i) + \nabla \cdot (\rho_i \varepsilon_i \mathbf{U}_i \mathbf{U}_i) = -\varepsilon_i \nabla P - \nabla P_s + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}_i + \rho_i \varepsilon_i \mathbf{g} - \beta(\mathbf{U}_i - \mathbf{U}_k) \quad (6)$$

4. **Koefisien Pertukaran Fluida-Solid**

Untuk campuran multifasa Eulerian-eulerian, pertukaran momentum antar fasa didasarkan pada nilai koefisien pertukaran fluida-solid ( $\beta$ ). Untuk Syamlal-O'Brian Model (Fluent, 2006):

$$\beta = \frac{3}{4} C_D \frac{\rho_f}{d_s} \frac{1}{v_{r,s}^2} |\mathbf{U}_s - \mathbf{U}_f| \quad (7)$$

Drag coefficient untuk Syamlal-O'Brian model, C<sub>D</sub> (Fluent, 2006):

$$C_D = \left( 0.63 + \frac{4.8}{\sqrt{\text{Re}_s / v_{r,s}}} \right)^2 \quad (8)$$

$$\text{dimana: } Re_s = \frac{\rho_f d_s |\mathbf{U}_s - \mathbf{U}_f|}{\mu_f} \quad (9)$$

$$v_{r,s} = 0.5 \left( A - 0.06 Re_s + \sqrt{(0.06 Re_s)^2 + 0.12 Re_s (2B - A) + A^2} \right) \quad (10)$$

Dimana  $v_{r,s}$  korelasi kecepatan terminal untuk fasa solid:

$$A = \varepsilon_g^{4.14} \quad (11)$$

$$B = 0.8 \varepsilon_g^{1.28} \text{ untuk } \varepsilon_g \leq 0.85 \text{ dan } B = \varepsilon_g^{2.65} \text{ untuk } \varepsilon_g > 0.85 \quad (12)$$

## 5. Tekanan Solid

Tekanan solid ( $P_s$ ) mengandung terminologi kinetik dan gerakan partikel (*particle collisions*) dihitung dari persamaan keadaan yang sama dengan persamaan keadaan van der Waals fasa gas (Chapman and Cowling, 1970):

$$P_s = (1 + 2(1 + e_s) \varepsilon_s g_o) \varepsilon_s \rho_s \Theta_s \quad (13)$$

$$P_s = \rho_s \varepsilon_s \Theta + 2 g_o \rho_s \varepsilon_s^2 \Theta (1 + e) \quad (14)$$

$\Theta_s$  adalah temperatur granular yang berhubungan dengan energi turbulen kinetik gerakan partikel.  $e_s$  adalah koefisien restitusi partikel dan  $g_o$  adalah fungsi distribusi radial (Sinclair and Jackson, 1989):

$$g_o = \left[ 1 - \left( \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{s,\max}} \right)^{\frac{1}{3}} \right]^{-1} \quad (15)$$

Nilai maksimum solid packing,  $\varepsilon_{s,\max}$  untuk simulasi ini adalah 0,6.

## 6. Solids Shear Stress

*Solid phase bulk viscosity:*

$$\mu_b = \frac{4}{3} \varepsilon_s \rho_s d_s g_o (1 + e_s) \left( \frac{\Theta_s}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

*Solids phase shear viscosity:*

$$\mu_s = \frac{2\mu_{s,dil}}{(1+e)g_o} \left[ 1 + \frac{4}{5}(1+e_s)g_o\varepsilon_s \right]^2 + \frac{4}{5} \varepsilon_s \rho_s d_s g_o (1+e_s) \left( \frac{\Theta_s}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

*Solid phase dilute viscosity:*

$$\mu_{s,dil} = \frac{5}{16} \rho_s \varepsilon_s l_s \sqrt{2\pi\Theta_s} \quad (18)$$

$$\text{dimana } l_s = \frac{\sqrt{2} d_s}{12 \varepsilon_s} \quad (19)$$

### 7. Temperatur Granular

$$\frac{3}{2} \frac{\partial}{\partial t} (\rho_s \varepsilon_s \Theta_s) + \nabla \cdot (\rho_s \varepsilon_s U_s \Theta_s) = T_s : \nabla U_s + \nabla \cdot (k_s \nabla \Theta_s) - \gamma_s \quad (20)$$

Diffusion coefficient for granular energy,  $k_s$ :

$$k_s = \frac{2k_{s,dil}}{(1+e_s)g_o} \left( 1 + \frac{6}{5} (1+e_s)g_o \varepsilon_s \right)^2 + 2\varepsilon_s^2 \rho_s d_s g_o (1+e_s) \left( \frac{\Theta_s}{\pi} \right)^{1/2} \quad (21)$$

dimana:

$$k_{s,dil} = \frac{75}{64} \rho_s \varepsilon_s l_s \sqrt{2\pi\Theta_s} \quad (22)$$

Collisional energy dissipation,  $\gamma_s$ :

$$\gamma_s = 3(1-e_s^2) \varepsilon_s^2 \rho_s g_o \Theta_s \left[ \frac{4}{d_s} \left( \frac{\Theta_s}{\pi} \right)^{1/2} - \nabla U_s \right] \quad (23)$$

### 8. $k$ - $\epsilon$ Turbulence Models

Umumnya, reaktor pencairan batubara di bawah kondisi turbulen. Oleh karena itu, perlu menggunakan pemodelan turbulensi yang cocok untuk menggambarkan pengaruh fluktuasi turbulen kecepatan dan variable lain.  $k$ - $\epsilon$  model digunakan untuk menggambarkan gerakan turbulen dalam kedua fasa. Pada  $k$ - $\epsilon$  model, viskositas turbulen didefinisikan sebagai sebagai:

$$\mu_{t,i}^{(t)} = \rho_i \varepsilon_i C_\mu \frac{k_i^2}{\epsilon_i} \quad (24)$$

Energi kinetik turbulensi,  $k$ , dan laju dissipasi  $\epsilon$ , bisa dihitung dari persamaan perpindahan berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_i \varepsilon_i k_i) + \nabla \cdot (\rho_i \varepsilon_i k_i U_i) = \nabla \cdot \left( \varepsilon_i \frac{\mu_t}{\sigma_k} \nabla k_i \right) + (\varepsilon_i G_k - \varepsilon_i \rho_i \epsilon_i) \quad (25)$$

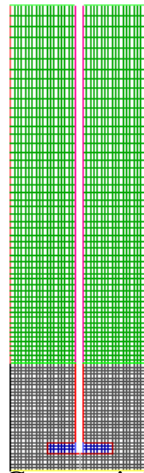
$$\frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon_i \rho_i \epsilon_i) + \nabla \cdot (\rho_i \varepsilon_i \epsilon_i U_i) = \nabla \cdot \left( \varepsilon_i \frac{\mu_t}{\sigma_k} \nabla \epsilon_i \right) + \frac{\epsilon_i}{k} (C_{1\epsilon} \varepsilon_i G_k - C_{2\epsilon} \varepsilon_i \rho_i \epsilon_i) \quad (26)$$

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan Baku berupa lignit dari Muba yang telah dikeringkan, lalu digerus sampai lolos 200 mesh ( $75 \mu m$ ); katalis limonit ( $\alpha$ -FeOOH) kering berukuran 1 mikro meter. Lalu batubara dicampur dengan sebagian pelarut menjadi *slurry* batubara. Katalis, sisa pelarut, dan *slurry* batubara dimasukkan ke dalam *autoclave* uji pencairan bervolume 1 L, ditutup dan di-*purge* dengan gas nitrogen. Lalu, gas hidrogen dimasukkan untuk uji kebocoran. Setelah tahap uji kebocoran barulah dilakukan pemanasan hingga mencapai kondisi operasi proses pencairan, yaitu suhu  $723^\circ C$  dengan tekanan awal gas hidrogen 8Mpa. Reaksi berlangsung selama 60 menit. Setelah selesai, produk gas disampling untuk selanjutnya dianalisa, dan produk cairnya diambil untuk kemudian didistilasi.



Gambar 1 menunjukkan geometri reaktor pencairan batubara yang dibuat menggunakan GAMBIT (pre-processor dalam FLUENT 6.3).



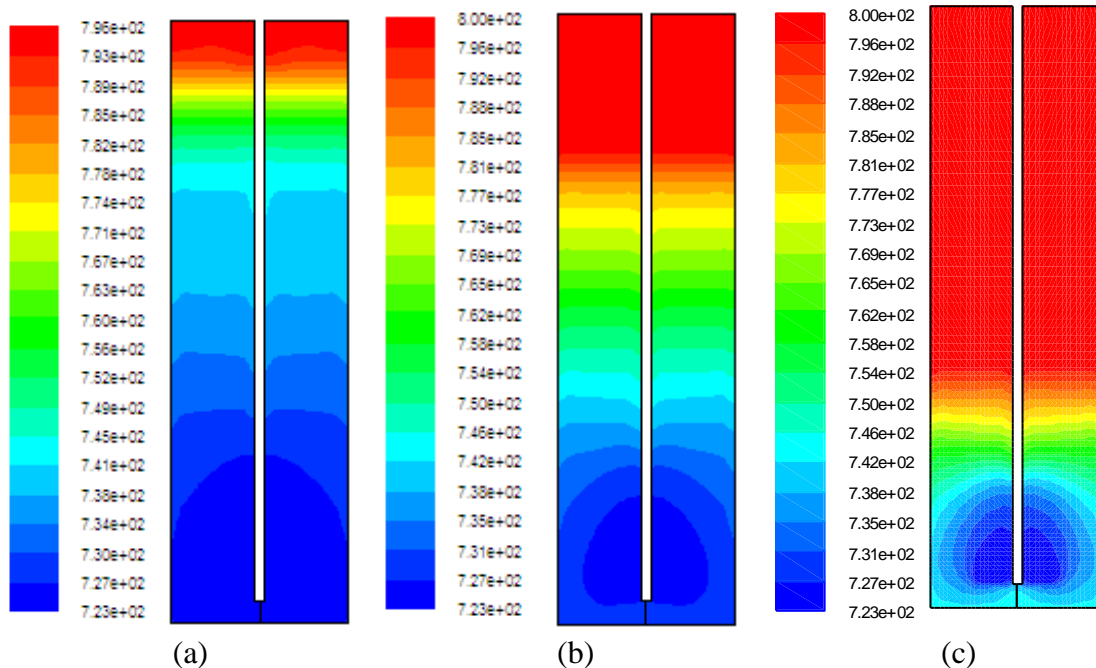
Gambar 1. Geometri Autoclave

Asumsi-asumsi yang digunakan:

- Batubara dimasukkan ke *autoclave* dalam bentuk *slurry*.
- Iterasi dilakukan ketika suhu telah mencapai keadaan isothermal yaitu 723°C.
- Reaksi *irreversible* dan berorde satu.

Model kinetika reaksi berdasarkan model Li dkk (2008).

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

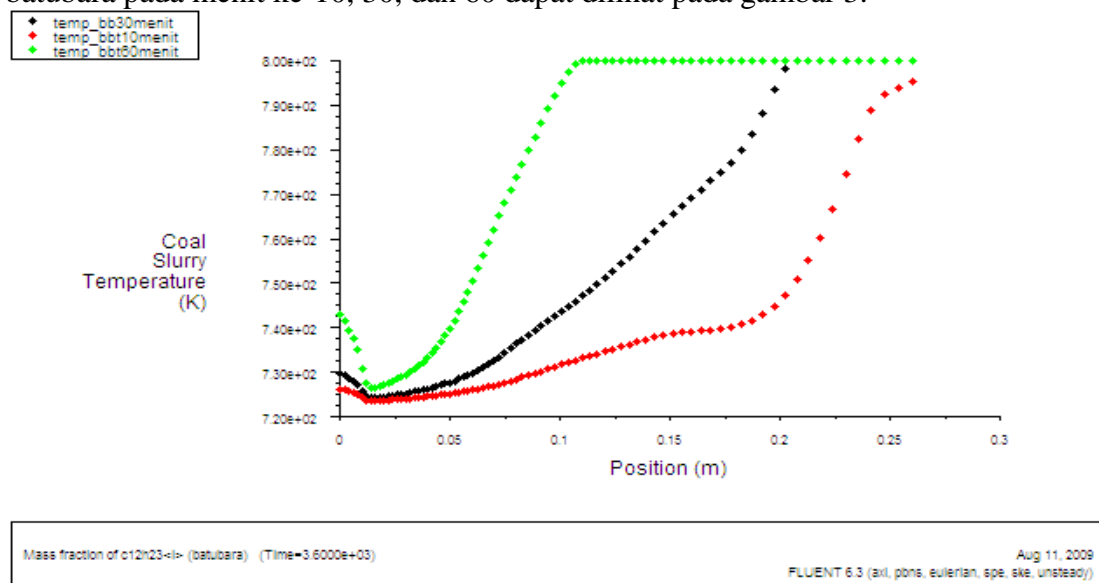


Gambar 2. Profil Temperatur *Slurry* Batubara pada waktu (menit): (a) 10; (b) 30; (c) 60

Gambar (a) menunjukkan profil *slurry* batubara pada waktu 10 menit, dimana *range* temperatur di sepanjang reaktor yaitu 722,99°K sampai 796,16°K. Temperatur di sekitar pengaduk hampir homogen yaitu 723°K, hal ini dikarenakan pengadukan sempurna dalam reaktor dan menandakan sudah mulai terjadi reaksi. Temperatur tertinggi terdapat pada ketinggian 22-26 cm, kenaikan temperatur pada bagian atas reaktor ini dikarenakan sudah mulai terbentuk gas-gas ringan hasil reaksi pencairan batubara, antara lain gas CO, CO<sub>2</sub>, dan C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>.

Pada waktu reaksi 30 dan 60 menit, temperatur di sepanjang reaktor sudah mencapai *range* yang konstan yaitu 722,9°K sampai 800°K. Temperatur 723°K (450°C) di bagian bawah reaktor sama dengan temperatur proses pencairan batubara, hal ini terjadi karena adanya pengaruh pengadukan. Pengadukan menyebabkan ketinggian *slurry* batubara dalam *autoclave* naik dari keadaan awal 6 cm dari dasar *autoclave* menjadi 11 cm. Hal ini disebabkan karena tipe impeller yang digunakan adalah tipe *flat*, sehingga pengadukan hanya terjadi disekitar impeller (pengadukan terjadi pada arah axial saja). Karena pengaruh pengadukan ini maka campuran multifasa di bagian bawah *autoclave* lebih homogen, sehingga dapat meningkatkan persen *yield* dan konversi *coal liquid* yang dihasilkan.

Yang membedakan profil temperatur pada waktu 30 menit dan 60 menit hanyalah posisi temperatur tertinggi dan terendah-nya berdasarkan ketinggian reaktor. Perbedaan ini dikarenakan proses pencairan batubara melibatkan reaksi hidrogenasi dan reaksi perengkahan yang sangat kompleks. Reaksi hidrogenasi merupakan reaksi yang sangat eksotermis, sedangkan reaksi perengkahan merupakan reaksi endotermik, dimana jumlah panas yang dilepaskan selama hidrogenasi lebih besar daripada jumlah panas yang dibutuhkan untuk reaksi perengkahan. Perbedaan jumlah panas ini menyebabkan kenaikan temperatur reaktor dan juga mempercepat laju reaksi. Selain itu, jumlah gas-gas yang terbentuk juga semakin banyak sehingga mempengaruhi temperatur bagian atas reaktor. Hal inilah yang menyebabkan temperatur bagian atas reaktor mencapai 800°K. Untuk lebih jelas perbandingan antara profil temperatur *slurry* batubara pada menit ke-10, 30, dan 60 dapat dilihat pada gambar 3.



**Gambar 3.** Perbandingan Profil Temperatur *Slurry* Batubara dalam *autoclave* pada waktu: (a) 10 menit; (b) 30 menit; (c) 60 menit

Dari gambar di atas dapat dilihat profil temperatur *slurry* batubara pada menit ke-10 dan 30 cenderung naik di sepanjang reaktor yang mengindikasikan bahwa reaksi telah terjadi dan sudah mulai terbentuk gas-gas ringan hasil reaksi, sedangkan pada menit ke 60 menit, temperatur cenderung konstan di ketinggian 11 cm, hal ini dikarenakan reaksi telah selesai dan gas yang terbentuk juga semakin bertambah. Melalui hasil simulasi ini dapat dibuktikan bahwa temperatur *slurry* batubara dalam reaksi pencairan batubara tidaklah isothermal ( $723^{\circ}\text{K}$  sesuai kondisi operasi proses), melainkan bervariasi antara  $723^{\circ}\text{K}$  sampai  $800^{\circ}\text{K}$ .

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa software FLUENT 6.3 (paket CFD) dapat menggambarkan profil temperatur *slurry* batubara di sepanjang *autoclave* pencairan batubara. Suhu reaktor tidaklah isothermal, tetapi bervariasi antara  $723^{\circ}\text{K}$  sampai  $800^{\circ}\text{K}$ .

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_. 2006. *ANSYS FLUENT 6.3 Documentation*. Fluent.Inc.
- \_\_\_\_\_. 2008. *Laporan Akhir RUSNAS Pengembangan Energi Baru dan Terbarukan Tahun Anggaran 2008*. Lembaga Pengelola RUSNAS PEPT. Universitas Sriwijaya.
- Artanto Y., Yusnitati. 5 Januari 2008. [Pengujian Katalis Limonit Soroako dalam Proses Konversi Batubara Banko Selatan menjadi Minyak Sintetis](#). Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia 2000, Vo 2, No. 1 hal. 26-32. Pukul 2:26 WIB.
- Chiba et al. Januari 1986. *Mechanism of the Donor Solvent Liquefaction of Coal*. Vol 19. Yamagata University.
- Fogler, HS. 1999. *Elements of Chemical Reaction Engineering*. 3<sup>rd</sup> edition. Prentice-Hall International, Inc. New Jersey.
- Kamall R. Oktober 1999. *Coal Liquefaction*. Department of Trade and Industry. London.
- Li et al. 2007. *Kinetics of Coal Liquefaction during Heating-up and Isothermal Stages*. Elsevier Ltd.
- Liu SX., Peng M. Mei 2005. *Verification of Mass Transfer Simulation with CFD using Highly Accurate Solution*. Rutgers University. New Brunswick.
- Malhotra R. 16 Maret 2005. *Direct Coal liquefaction: Lessons Learned*. Presented at GCEP Advanced Coal Workshop, Provo. Utah University.
- Miller CL. 19 Januari 2007. *Coal Conversion – Pathway to Alternate Fuels*. Congressional Briefing Washington, DC.
- Murti et al. 2000. *Catalytic Upgrading of South Banko Coal Liquid Distillate over NiMo Sulfides Catalysts*. Coal Tech 2000. Jakarta. Hal. 10-17.
- Nenny. 2006. *Pengaruh Kondisi Operasi (% Katalis, Temperatur dan Waktu) terhadap Konversi Pencairan Batubara Banko Tengah*. Jurnal Teknologi Energi PPS Teknik Kimia UNSRI.
- Novia N., et al. 2008. *Preliminary Study on CFD Simulation of Multiphase Flow Mixing in Brown Coal Liquefaction Reactor*. Sriwijaya International Seminar on Energy Science and Technology (Sisest) 2008. Palembang.
- Novia, N., Cundari L., Murti, SD., S., Faizal M., *Modeling Proses Pencairan Batubara Menggunakan Software FLUENT 6.3 CFD Code, Prosiding Seminar Nasional*

- Teknik Kimia Indonesia (SNTKI- 2009) di Bandung-Indonesia pada tanggal 19-20 Oktober 2009, ISBN: 978-979-98300-1-2. p. ETU01-1*
- Novia, N., Cundari L., Murti, SD., S., Faizal M., CFD Simulation of BCL Process. : Effect of Temperature on the Yield Distribution of Product, *Proceeding of International Symposium on Sustainable Energy and Environmental Protection (ISSEEP) 2009 in Yogyakarta-Indonesia on 23-26 November 2009, ISBN: 978-602-95934-0-2, Paper EEE: Novia\_1*
- Novia., N., Murti, SD., S., Faizal., M.; Pemodelan Matematis Sistem Pencampuran Multifasa dalam Reaktor Pencairan Batubara, *Prosiding pada Seminar Nasional Second Added Value of Energy Resources (AVoER-2009), Palembang – Indonesia pada tanggal 29-30 Juli 2009, ISBN: 979-587-340-7, p. 153-160.*
- Novia., N., Murti, SD., S., Faizal., M.; CFD Modeling of Brown Coal Liquefaction Reactor, *Proceeding of Chemeca 2009 Conference in Perth-Australia on 29 September. ISBN: 978-0858259225, Paper No.250B.*
- Okuyama et al. 2000. *Investigation of Indonesian Limonite Ore for a Direct Coal Liquefaction Catalyst.* Coal Tech 2000. Jakarta. Hal. 1-9.
- Ranade VV. 2002. *Computational Flow Modeling for Chemical reactor Engineering.* Academic Press. San diego, California.
- Silalahi LH., Yusnitati. 2000. *Investigation of Limonite Catalyst for Coal Liquefaction of Banko Coal.* Coal Tech 2000. Jakarta. Hal. 47-53.
- Versteeg H.K., Malalasekera W. 1995. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics The Finite Volume Method.* Longman Group Ltd. Inggris.
- Xu W.C., Yamashita H., Tomita A. 1990. *Catalytic Hydrocracking Reaction of Nascent Coal Volatiles in a Two-Stage Reactor.* Chemical research institute of non-aqueousnsolutions, Tohoku University. Jepang.

## KARAKTERISASI PARAMETER MASUKAN UNTUK ANALISIS KESTABILAN LERENG TUNGGAL (STUDI KASUS DI PT. TAMBANG BATUBARA BUKIT ASAM TBK. TANJUNG ENIM, SUMATERA SELATAN)

*Masagus Ahmad Azizi<sup>1)</sup>, Rr Harminuke Eko Handayani<sup>2)</sup>,*

*<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Pertambangan FTKE Universitas Trisakti & Mahasiswa  
Program Doktor Program Studi Rekayasa Pertambangan ITB*

*<sup>2)</sup>Jurusan Teknik Pertambangan FT universitas Sriwijaya*

\*Koresponensi Pembicara. Phone: +62 81380537611, +628127800007

Email: [masagus70@yahoo.com](mailto:masagus70@yahoo.com) dan [harminuke@yahoo.co.id](mailto:harminuke@yahoo.co.id)

### ABSTRAK

Kestabilan lereng penambangan ditentukan oleh parameter geoteknik antara lain : sifat fisik & mekanik batuan, tinggi muka air tanah, getaran peledakan/gempa bumi, ground pressure alat-alat berat, struktur massa batuan, dan sebagainya.

Akibat adanya ketidakpastian nilai parameter geoteknik yang digunakan dalam disain lereng tersebut menyebabkan lereng menjadi tidak stabil, sehingga diperlukan verifikasi terhadap parameter-parameter tersebut.

Probabilistik adalah suatu cara untuk menentukan nilai faktor keamanan suatu sistem rekayasa dengan memperlakukan nilai masukan sebagai variabel acak, dengan demikian nilai faktor keamanan sebagai rasio antara gaya penahan dan gaya penggerak merupakan juga variabel acak. Pada proses ini nilai parameter masukan dan faktor keamanan akan dikarakterisasi distribusi nilai masing-masing. Di samping itu juga pendekatan ini dapat melihat faktor yang paling mempengaruhi kestabilan lereng melalui analisis sensitivitas perubahan nilai setiap parameter masukan terhadap nilai faktor keamanan.

Tulisan ini menggambarkan proses karakterisasi parameter geoteknik untuk analisis kestabilan lereng tunggal lapisan interburden B2C (Batupasir) lokasi Curug Pangkul (TAL Selatan) PTBA Tanjung Enim menggunakan metode sampling Monte Carlo dan Metode Pencocokan Chi-Square. Adapun parameter yang akan dikarakterisasi adalah kohesi, sudut gesek dalam, dan densitas basah.

Hasil penelitian menunjukkan distribusi fungsi kohesi dan sudut gesek dalam adalah seragam, distribusi fungsi densitas adalah beta, serta distribusi fungsi factor keamanan adalah seragam. Hingga ketinggian lereng 40 meter dan sudut kemiringan lereng 600, lereng masih stabil (probabilitas kelongsoran lereng nol).

**Kata Kunci :** *Batubara , Geoteknik , Lereng penambangan , Probabilitas kelongsoran.*

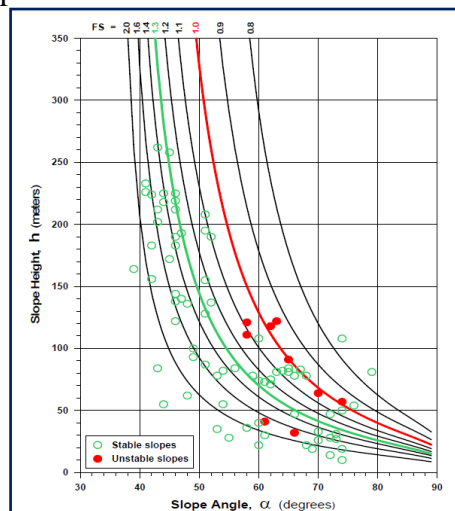
### A. PENDAHULUAN

Probabilistik adalah suatu cara untuk menentukan nilai faktor keamanan suatu sistem rekayasa dengan memperlakukan nilai masukan sebagai variabel acak, dengan demikian nilai faktor keamanan sebagai rasio antara gaya penahan dan gaya penggerak merupakan juga variabel acak. Pada proses ini nilai parameter masukan

dan faktor keamanan akan dikarakterisasi distribusi nilai masing-masing. Di samping itu juga pendekatan ini dapat melihat faktor yang paling mempengaruhi kestabilan lereng melalui analisis sensitivitas perubahan nilai setiap parameter masukan terhadap nilai faktor keamanan.

Penentuan sudut kemiringan lereng yang dapat diterima (*acceptable angle of slope*) adalah suatu parameter paling penting dalam perencanaan tambang terbuka. Namun ketidakpastian yang terkait dengan geometri lereng, sifat fisik dan mekanik batuan, kondisi pembebanan dan reliabilitas model mengakibatkan proses pemilihan sudut kemiringan lereng yang sesuai menjadi lebih sulit.

Biasanya analisis kestabilan lereng tambang terbuka didasarkan nilai faktor keamanan (FK) saja, yakni rasio gaya penahan nominal dan gaya penggerak nominal. Secara teoritis metode kesetimbangan batas menyatakan batas kritis lereng aman bila  $FK = 1$ , di mana lereng akan longsor bila  $FK < 1$  dan lereng akan aman bila  $FK > 1$ . Namun kelemahan pendekatan FK tersebut untuk disain lereng adalah hanya bersifat kasuistis dan tidak dapat diberlakukan untuk kondisi lereng yang lain. Berdasarkan gambar 1, kriteria nilai kemampooterimaan faktor keamanan untuk disain lereng yang ditetapkan 1.3. Kriteria ini berdasarkan hasil analisis balik dari beberapa lereng yang diteliti oleh Hoek & Bray 1974. Namun dari grafik tersebut terlihat bahwa masih ada lereng batuan yang longsor di atas kriteria faktor keamanan yang dapat diterima, sehingga criteria ini tidak dapat diberlakukan secara umum dan bersifat kasuistis.



Gambar 1. Kasus Kestabilan Lereng Batuan (Hoek & Bray, 1974; Steffen et al., 2008)

Suatu alternatif selain pendekatan FK untuk disain lereng adalah metode probabilistik yang didasarkan pada perhitungan probabilitas kelongsoran (PK) lereng. Pada metode ini, nilai faktor keamanan digambarkan sebagai variabel acak yang mempunyai fungsi distribusi dengan parameter yang diperlakukan seperti nilai rata-rata dan standar deviasi. Dengan mengkombinasikan distribusi ini dalam model deterministik yang digunakan dalam menghitung nilai FK, maka PK lereng dapat diestimasi.

Hal menarik dari metode probabilistik adalah representasi yang eksplisit dari ketidakpastian dalam kajian stabilitas lereng. Nilai faktor keamanan disain lereng dapat dioptimasi dengan nilai probabilitas kelongsoran sehingga dapat memberikan tingkat keyakinan terhadap disain tersebut.



Tulisan ini menggambarkan secara rinci analisis probabilistik kestabilan lereng tunggal menggunakan metode kesetimbangan batas pada lapisan Interburden B2C (batupasir) lokasi Curug Pangkul (TAL Selatan) PTBA Tanjung Enim.

## B. DASAR TEORI

### B.1. Metode Kesetimbangan Batas

Kemantapan suatu lereng tergantung pada gaya-gaya penggerak dan gaya penahan yang ada pada lereng tersebut. Gaya-gaya penggerak berupa gaya berat, gaya tiris atau muatan, sedangkan gaya-gaya penahan berupa gaya gesekan atau geseran, kohesi dan kuat geser. Apabila gaya penggerak lebih besar dibandingkan dengan gaya penahan maka akan menyebabkan terjadinya kelongsoran. Tetapi bila gaya penahan ini lebih besar dari gaya penggerak, maka lereng tersebut tidak akan mengalami kelongsoran atau lereng dalam keadaan stabil.

Kestabilan lereng biasa dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (FK) yang didefinisikan sebagai berikut:

$$FK = \frac{\text{GayaPenahan}}{\text{GayaPenggerak}}$$

Di mana:

- FK > 1.0** : lereng dianggap stabil
- FK = 1.0** : lereng dalam keadaan seimbang dan siap untuk bergerak apabila ada sedikit gangguan
- FK < 1.0** : lereng dianggap tidak stabil

Metode kesetimbangan batas merupakan metode yang sangat populer, relatif sederhana, mudah digunakan serta telah terbukti keandalannya dalam praktek rekayasa geoteknik selama bertahun-tahun.

Dalam perhitungan analisis kestabilan lereng dengan metode ini hanya digunakan kondisi kesetimbangan statik saja serta mengabaikan adanya hubungan regangan-tegangan yang ada dalam lereng. Asumsi lainnya yaitu geometri dari bentuk bidang runtuh harus diketahui atau ditentukan terlebih dahulu.

Kondisi kestabilan lereng dalam metode kesetimbangan batas dinyatakan dalam indeks Faktor Keamanan (FK). FK dihitung menggunakan kesetimbangan gaya atau kesetimbangan momen, atau menggunakan kedua kondisi kesetimbangan tersebut tergantung dari metode perhitungan yang dipakai.

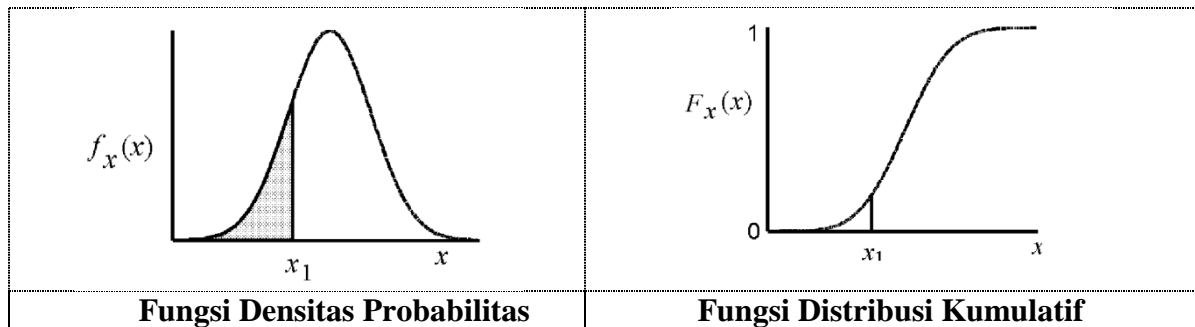
### B.2. Analisis Probabilitas

#### B.2.1. Fungsi Distribusi Probabilitas

Fungsi distribusi probabilitas menggambarkan penyebaran suatu variabel acak yang digunakan untuk memperkirakan nilai probabilitas kemunculan suatu parameter. Fungsi distribusi probabilitas memiliki sifat-sifat penyebaran yang khas dan unik yang menjadikan fungsi yang satu akan berbeda dengan fungsi yang lainnya. Tetapi hal ini tidak menutup kemungkinan bahwa suatu fungsi distribusi merupakan turunan dari fungsi yang lainnya. Sebagai contoh, fungsi distribusi eksponensial merupakan bentuk khusus dari fungsi distribusi gamma yang memiliki parameter bentuk ( $a$ ) bernilai 1.

Gambar 2 menggambarkan fungsi distribusi probabilitas dideskripsikan menjadi fungsi densitas probabilitas (PDF, *Probability Density Function*) dan fungsi distribusi kumulatif (CDF, *Cumulative Distribution Function*). Fungsi densitas probabilitas mendeskripsikan daerah kemungkinan relatif dimana suatu bilangan acak dapat diasumsikan sebagai suatu nilai unik dibandingkan nilai lainnya. Untuk kurva

distribusi faktor keamanan, maka luas kurva yang diarsir merupakan probabilitas kelongsoran lereng.



**Gambar 2. Fungsi Distribusi Probabilitas**

### B.2.2. Simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo adalah suatu nama kode algoritma yang ditemukan oleh John von Neumann (1946) atas perintah Stanislaw Ulam (Pathak et.al, 2006).

Tahapan yang dilakukan dalam metode ini sebagai berikut :

1. Definisikan domain (daerah asal) dari masukan data yang memungkinkan
2. Munculkan masukan secara acak dari domain yang sudah ditentukan menggunakan distribusi probabilitas tertentu
3. Lakukan perhitungan secara deterministic menggunakan data masukan
4. Gabungkan hasil dari setiap perhitungan individual kepada hasil akhir.

Algoritma ini digunakan sebagai landasan simulasi bilangan acak untuk menentukan fungsi distribusi probabilitas yang sesuai.

Beberapa keuntungan metode Monte Carlo yakni sederhana, lebih fleksibel dalam menggabungkan suatu varietas distribusi probabilitas yang cukup besar tanpa banyak penafsiran, dan kemampuan untuk memodelkan korelasi di antara *variable* dengan mudah (Hammah and Yacoub, 2009). Umumnya analisis stabilitas lereng dengan metode kesetimbangan batas menggunakan simulasi Monte Carlo untuk menghitung probabilitas kelongsoran.

Hasil analisis statistik dari masing-masing nilai parameter masukan (nilai minimum, maksimum, rata-rata, standar deviasi) dicocokkan ke dalam 7 fungsi asumsi yang akan dipilih (Pada program SLIDE ada 7 fungsi : normal, seragam, triangular, beta, eksponensial, lognormal, gamma). Menggunakan metode Monte Carlo maka akan memperbanyak data secara acak mengikuti fungsi yang ditentukan. Untuk menentukan fungsi yang cocok, maka dapat ditentukan dari hasil proses pencocokan.

#### 1. Pencocokan (Fitting) Fungsi Probabilitas

Ada beberapa metode dalam melakukan proses pencocokan terhadap fungsi distribusi parameter masukan, antara lain : *Chi-Squared* (C-S), *Kolmogorov-Smirnov* (K-S), dan *Anderson-Darling* (A-D). Masing-masing metode ini akan menghasilkan nilai parameter statistik. Nilai parameter yang paling kecil mencerminkan fungsi distribusi terbaik.

Pada penelitian ini hanya menggunakan metode *Chi-Squared*. Metode ini merupakan metode pencocokan terbaik, yang dapat digunakan baik untuk sampel data

kontinyu maupun diskret. Untuk menghitung nilai parameter *chi-squared*, maka langkah pertama memecah nilai sumbu x menjadi beberapa *bin*.

Formulasi untuk menghitung nilai parameter *chi-squared* yakni :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(N_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2)$$

Di mana :

K = Jumlah *bin*

$N_i$  = Jumlah sampel observasi dalam bin ke- i

$E_i$  = Jumlah sampel ekspektasi dalam bin ke-i

### C. LOKASI PENELITIAN

Lokasi Tambang PT. Bukit Asam (Persero) Tbk., kurang lebih berjarak 190 km di sebelah baratdaya ibukota propinsi Sumatera Selatan/Palembang dan dapat ditempuh melalui jalur darat sekitar 4 – 5 jam.

Tambang batubara Air Laya dengan luas wilayah Kontrak Penambangan (KP) 7.700 Ha., terletak di wilayah Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim Propinsi Sumatera Selatan. Lokasi tambang ini merupakan area penambangan dengan dimensi bukaan terbesar dan produksi terbesar pula yang dimiliki PTBA saat ini. Selain Tambang Air Laya, juga terdapat Tambang Banko, Muara Tiga Besar dan Bukit Kendi



Gambar 3. Lokasi Penelitian

### D. LITHOLOGI DAERAH PENELITIAN

Selain Formasi Muaraenim, pada area penelitian yang sangat mencolok adalah adanya intrusi batuan beku (andesit) yang berbentuk dike, sill dan tubuh batholite. Menurut Pudjobroto, A. (2000), wilayah tambang Air Laya setidaknya memiliki tiga tubuh intrusi yang utama, yaitu Bukit asam *dike*, Suban *sill* dan Air Laya *parasitic cone*. Bukit Asam *dike* merupakan tubuh intrusi terbesar dan dimungkinkan sebagai sumber magma dari seluruh intrusi yang terdapat pada area ini. Di lapangan terlihat bahwa kekuatan intrusi ini menyebabkan terjadinya breksiasi pada daerah sekitar intrusi dan adanya hubungan menjari yang kacau antara batuan sedimen dan batuan beku di dekat area intrusi.

Pada area Curug Pangkul, terlihat intrusi berasosiasi dengan menurunnya ketebalan batubara dan inter/overburden-nya. Pada bagian selatan intrusi, interval antara seam A1 dan B2 hanya 8 meter, seharusnya dalam kondisi normal ketebalannya mencapai 40 m. Pada bagian timur dan utara Bukit Asam terbentuk zona breksiasi pada

batulempung dengan lebar kira-kira 30-50 m. Batuan sedimen lain juga menunjukkan efek bakar (*backing effect*) terutama terlihat pada bagian utara intrusi Bukit Asam, dikenal dengan nama batulempung hitam dengan fragmen-fragmen batupasir dalam batulempung tersebut.

### E. SIFAT FISIK BATUAN

Dari hasil uji sifat fisik batuan hasil pemboran pada area Curug pangkul, maka lapisan batuan area ini dapat dikelompokkan sebagai berikut:

#### a. Lapisan/Stratigrafi Overburden A1

Lapisan/stratigrafi overburden Overburden A1 terdapat pada titik seri bor LBG 38, LBG 39 dengan parameter seperti pada tabel berikut ini:

**Tabel 1 Statistik Deskriptik Karakteristik Fisik Lapisan Overburden A<sub>1</sub>**

Parameter Statistik	Kadar Air	Berat	Bobot Isi		Batas	Koefisien Kelulusan Air	
	W <sub>n</sub> %	G <sub>s</sub>	$\gamma_w$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_d$ kN/m	WP %	WL %	k m/s
Data	9	11	11	11	7	7	4
Minimum	12.99	2.66	16.95	12.67	21.00	43.00	0.0000
Maximum	20.23	2.80	22.13	19.46	33.00	75.00	0.0000
Average	16.19	2.73	20.54	17.57	24.71	55.14	0.0000
Std. Deviasi	2.52	0.06	1.42	1.90	4.39	11.13	0.0000

#### b. Lapisan/Stratigrafi Interburden A1-A2

Lapisan/stratigrafi Interburden A1-A2 terdapat pada titik seri bor LBG 38, LBG 39 dengan parameter seperti pada tabel berikut ini:

**Tabel 2. Statistik Deskriptik Karakteristik Fisik Lapisan Interburden A1-A2**

Parameter Statistik	Kadar Air	Berat Jenis	Bobot Isi		Batas Plasti	Batas Cair	Koefisien k m/s
	W <sub>n</sub> %	G <sub>s</sub>	$\gamma_w$ kN/m	$\gamma_d$ kN/m <sup>3</sup>	WP %	WL %	
Data Amount	3	3	3	3	1	1	1
Minimum	8.30	2.63	19.88	17.02	25.00	42.00	0.0000142
Maximum	16.84	2.80	22.37	20.66	25.00	42.00	0.0000142
Average	12.37	2.69	21.08	18.81	25.00	42.00	0.0000142
Std. Deviasi	4.28	0.10	1.25	1.82	-	-	-

#### c. Lapisan/Stratigrafi Interburden A2-B1

Lapisan/stratigrafi Interburden A2-B1 terdapat pada titik seri bor LBG dengan parameter seperti pada tabel berikut ini:

**Tabel 3 Statistik Deskriptik Karakteristik Fisik Lapisan Interburden A2-B1**

Parameter Statistik	Kadar Air	Berat Jenis	Bobot Isi		Batas Plasti	Batas Cair	Koefisien k m/s
	W <sub>n</sub> %	G <sub>s</sub>	$\gamma_w$ kN/m	$\gamma_d$ kN/m <sup>3</sup>	WP %	WL %	

Data Amount	7	7	6	6	4	4	4
Minimum	7.79	2.63	18.88	16.08	19.00	40.00	0.0000111
Maximum	17.66	2.75	21.88	19.68	25.00	67.00	0.0000140
Average	13.20	2.69	20.74	18.20	22.00	48.25	0.0000124
Std. Deviasi	3.60	0.05	1.03	1.30	2.58	12.58	0.0000013

#### d. Lapisan/Stratigrafi Interburden B1-B2

Lapisan/stratigrafi Interburden B1-B2 terdapat pada titik seri bor LBG 39 dan ALB. 73 dengan parameter seperti pada tabel berikut ini:

**Tabel 4** Statistik Deskriptik Karakteristik Fisik Lapisan Interburden B1-B2

Parameter Statistik	Kadar Air Wn %	Berat Jenis Gs	Bobot Isi		Batas Plastis WP %	Batas Cair WL %	Koefisien k m/s
			$\gamma_w$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_d$ kN/m <sup>3</sup>			
Data Amount	2	2	2	2	-	-	2
Minimum	10.74	2.72	21.90	19.52	-	-	0.0000117
Maximum	12.19	2.72	22.70	20.49	-	-	0.0000127
Average	11.47	2.72	22.30	20.01	-	-	0.0000122
Std. Deviasi	-	-	-	-	-	-	-

#### e. Lapisan/Stratigrafi Interburden B2-C

Lapisan/stratigrafi Interburden B2-C terdapat pada titik seri bor LBG 38 dan LBG. 40 dengan parameter seperti pada tabel berikut ini:

**Tabel 5.** Statistik Deskriptik Karakteristik Fisik Lapisan Interburden B2-C

Parameter Statistik	Kadar Air Wn %	Berat Jenis Gs	Bobot Isi		Batas Plastis WP %	Batas Cair WL %	Koefisien k m/s
			$\gamma_w$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_d$ kN/m <sup>3</sup>			
Data Amount	7	7	7	7	-	-	1
Minimum	7.32	2.73	21.86	19.38	-	-	0.0000112
Maximum	12.79	2.81	23.52	21.92	-	-	0.0000112
Average	9.34	2.78	22.87	20.95	-	-	0.0000112
Std. Deviasi	2.06	0.03	0.71	1.01	-	-	-

## F. SIFAT MEKANIK BATUAN

Dari hasil evaluasi pengujian sifat mekanik batuan di lokasi penelitian dikelompokkan berdasarkan stratigrafi/Lapisan batuan dengan hasil sebagai berikut:

#### a. Lapisan/Stratigrafi Overburden A1

Lapisan/stratigrafi overburden Overburden A1 terdapat pada titik seri bor LBG37, LBG. 38 dan LBG. 39 dengan parameter seperti pada tabel berikut ini:

**Tabel 6 Statistik Deskriptik Karakteristik Fisik Lapisan Interburden B2-C**

Parameter Statistik	DIRECT SHEAR				TRIAxIAL			
	C <sub>p</sub>	φ <sub>p</sub>	C <sub>r</sub>	φ <sub>r</sub>	C <sub>p</sub>	φ <sub>p</sub>	C <sub>r</sub>	φ <sub>r</sub>
	kPa	deg	kPa	deg	kPa	deg	kPa	deg
DataAmount	7	7	7	7	3	3	3	3
Minimum	17.54	26.07	14.77	21.89	14.06	18.10	11.00	14.55
Maximum	69.14	28.02	67.61	26.75	51.17	26.01	39.99	20.83
Average	49.85	27.36	40.68	23.45	32.17	22.50	24.83	18.32
Std. Deviasi	19.99	0.74	18.74	1.59	18.57	4.03	14.54	3.32

**b. Lapisan/Stratigrafi Batubara**

Lapisan/stratigrafi batubara yang diuji hanya batubara Lapisan B1 yang terdapat pada titik seri bor LBG 39 dengan parameter seperti sebagai berikut ini: W<sub>n</sub>:16.55%, γ<sub>w</sub> : 12.06 , φ<sub>i</sub>: 10.35 kN/m<sup>3</sup>, UCS (σ<sub>c</sub>): 1177.75 kPa, C<sub>r</sub> : 115.28 kPa, φ<sub>r</sub> : 28.86 deg.

**c. Lapisan/Stratigrafi Interburden A1-A2**

Lapisan/stratigrafi Interburden A1-A2 terdapat pada titik seri bor LBG 38, LBG 39 dengan parameter seperti pada tabel berikut ini:

**Tabel 7 Statistik Deskriptik Karakteristik Teknis/Mekanis Overburden A1 – A2**

Parameter Statistik	DIRECT SHEAR				ROCK SHEAR BOX			
	C <sub>p</sub>	φ <sub>p</sub>	C <sub>r</sub>	φ <sub>r</sub>	C <sub>p</sub>	φ <sub>p</sub>	C <sub>r</sub>	φ <sub>r</sub>
	kPa	deg	kPa	deg	kPa	deg	kPa	deg
DataAmount	2	2	2	2	-	-	1	1
Minimum	92.36	21.06	79.97	18.46	-	-	159.87	22.64
Maximum	140.64	30.14	121.44	26.84	-	-	159.87	22.64
Average	116.50	25.60	100.71	22.65	-	-	159.87	22.64
Std. Deviasi	-	-	-	-	-	-	-	-

**d. Lapisan/Stratigrafi Interburden A2-B1**

Lapisan/stratigrafi Interburden A2-B1 terdapat pada titik seri bor LBG .... dengan parameter seperti pada tabel berikut ini:

**Tabel 8 Statistik Deskriptik Karakteristik Teknis/Mekanis Overburden A2 – B1**

Parameter Statistik	DIRECT SHEAR				RSB		UCS
	C <sub>p</sub> (kPa)	φ <sub>p</sub> (Deg)	C <sub>r</sub> (kPa)	φ <sub>r</sub> (Deg)	C <sub>r</sub> (kPa)	φ <sub>r</sub> (Deg)	σ <sub>c</sub> (kPa)
DataAmount	3	3	3	3	2	2	2
Minimum	23.36	15.37	19.24	11.97	158.97	27.51	327.49
Maximum	65.91	27.94	51.91	23.98	208.08	29.19	3884.66
Average	42.96	23.31	33.98	19.59	183.53	28.35	2106.08
Std. Deviasi	-	-	-	-	-	-	-



**e. Lapisan/Stratigrafi Interburden B1-B2**

Lapisan/stratigrafi Interburden B1-B2 terdapat pada titik seri bor LBG 39 dengan parameter seperti pada tabel berikut ini: Hasil pengujian lapisan interburden B1-B2 dari 4 titik bor hanya 1 pengujian “Direct Shear” dengan nilai  $C_p$ : 221.25 kPa,  $\phi_p$ : 30.37 deg;  $C_r$ : 173.01 kPa,  $\phi_r$ : 24.12 deg dan 1 pengujian “Rock Shear Box” dengan  $C_r$ : 205.86 kPa,  $\phi_r$ : 30.46 deg

**f. Lapisan/Stratigrafi Interburden B2-C**

Lapisan/stratigrafi Interburden B2-C terdapat pada titik seri bor LBG 38 dan LBG 40 dengan parameter seperti pada tabel berikut ini:

**Tabel 9 Statistik Deskriptik Karakteristik Teknis/Mekanis Interburden B2-C**

Parameter Statistik	ROCK SHEAR BOX		UCS
	$C_r$ (kPa)	$\phi_r$ (Deg)	$\sigma_c$ (kPa)
DataAmount	7	7	4
Minimum	158.97	27.51	2474.86
Maximum	324.99	30.47	5723.90
Average	215.64	29.10	3677.74
Std. Deviasi	52.86	1.20	1469.12

**G. PENGOLAHAN DATA**

Proses ini merupakan pengolahan data terhadap parameter masukan yakni densitas basah (*insitu density*), kohesi dan sudut gesek dalam residual. Dalam proses ini dibantu dengan menggunakan perangkat lunak @RISK yang menggunakan variasi simulasi (1, 2 dan 5) dan iterasi (100, 1000 dan 10.000). Metode pencocokan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Chi-Squared*.

**E.1. Parameter Batuan Lapisan OB-A1 (batupasir)**

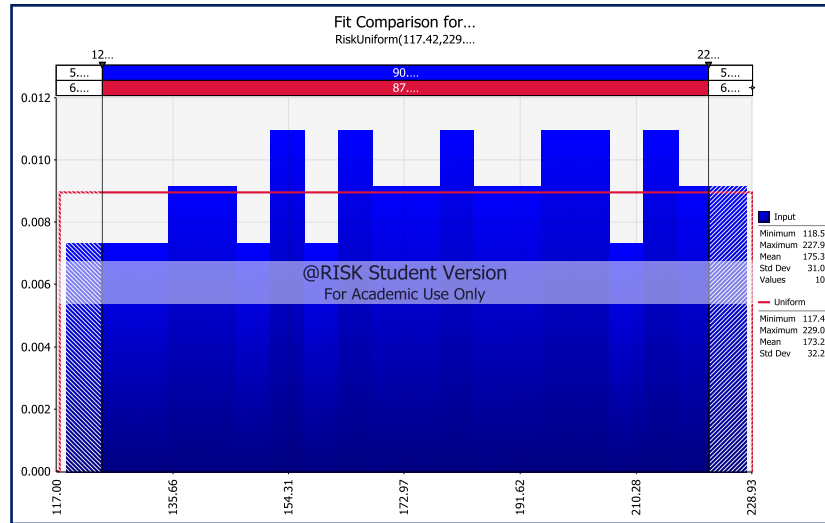
□ **Kohesi “Residual”**

Hasil proses karakterisasi terhadap parameter kohesi “residual” lapisan Interburden B2C (batupasir) lokasi Curug Pangkul menunjukkan fungsi yang paling memenuhi adalah Beta dan Seragam.

**Tabel 10. Hasil Karakterisasi Distribusi Kohesi “Residual”**

Jumlah Simulasi	Jumlah Iterasi	Nilai Parameter Fungsi						
		Normal	Seragam	Triangular	Beta	Eskpon	LogNor	Gamma
1	100	5.160	1.200	8.680	2.870	41.460	N/A	N/A
	1000	204.834	8.214	98.984	1.892	605.788	N/A	N/A
	10000	2294.538	80.531	1391.989	10.646	6275.338	N/A	N/A
2	100	5.160	1.640	8.460	2.870	44.100	N/A	N/A
	1000	206.748	8.620	99.332	1.370	606.716	N/A	N/A
	10000	2293.546	80.502	1397.583	10.528	6275.634	N/A	N/A
5	100	4.940	0.980	7.580	1.990	41.460	N/A	N/A

	1000	202.572	8.736	99.042	1.544	607.238	N/A	N/A
	10000	2293.309	80.354	1396.799	10.661	6271.801	N/A	N/A

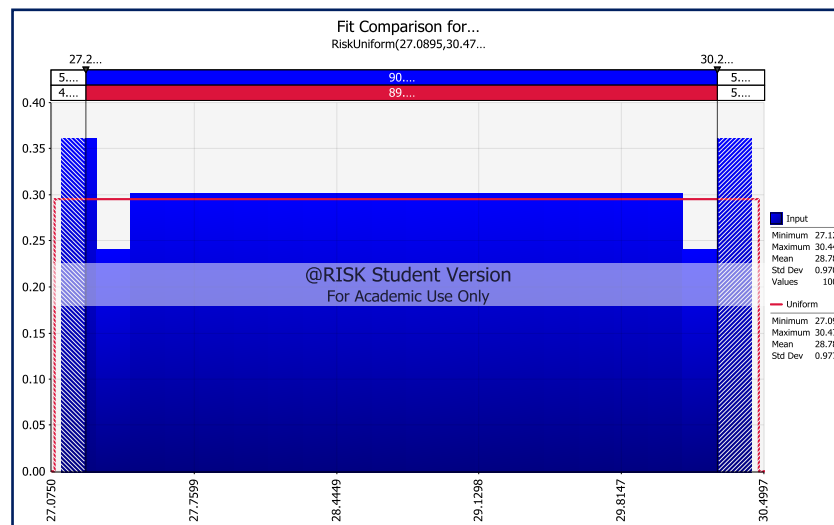


Gambar 4. Fungsi Distribusi Koheresi “Residual”

- **Sudut Gesek Dalam “Residual”**  
Hasil proses karakterisasi terhadap parameter sudut gesek dalam “residual” lapisan OB-A1 lokasi Curug Pangkul menunjukkan fungsi yang paling cocok adalah Beta dan Seragam.

Tabel 11. Hasil Karakterisasi Distribusi Sudut Gesek Dalam “Residual”

Jumlah Simulasi	Jumlah Iterasi	Nilai Parameter Fungsi						
		Normal	Seragam	Triangular	Beta	Eskpon	LogNor	Gamma
1	100	6.480	0.320	11.100	1.770	37.940	N/A	N/A
	1000	240.040	0.384	122.474	0.383	552.718	N/A	N/A
	10000	3102.218	1.559	1896.077	0.449	5902.659	N/A	N/A
2	100	5.820	0.320	10.880	1.770	36.620	N/A	N/A
	1000	239.286	0.442	123.460	0.615	554.168	N/A	N/A
	10000	3102.040	1.500	1896.003	0.464	5903.976	N/A	N/A
5	100	5.820	0.540	11.670	1.990	37.060	N/A	N/A
	1000	240.214	0.326	122.706	0.557	552.486	N/A	N/A
	10000	3101.596	1.544	1895.796	0.478	5904.420	N/A	N/A



Gambar 5. Fungsi Distribusi Sudut Gesek Dalam “Residual”

□ **Densitas Basah**

Hasil proses karakterisasi terhadap parameter densitas basah lapisan OB-A1 lokasi Curug Pangkul menunjukkan fungsi yang paling cocok adalah beta. Hal ini dibuktikan dari hasil variasi 3 jenis simulasi, 3 jenis jumlah iterasi yang digunakan dalam proses karakterisasi, nilai parameter statistic yang paling kecil adalah fungsi beta (Tabel 12). Untuk fungsi lognormal dan gamma tidak dapat menghitung nilai parameter statistic sehingga hasil perhitungannya tidak ada.

Tabel 12. Hasil Karakterisasi Distribusi Densitas Basah

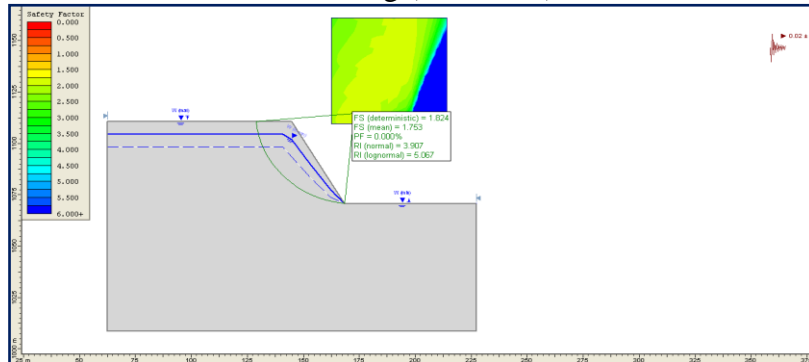
Jumlah Simulasi	Jumlah Iterasi	Nilai Parameter Fungsi						
		Normal	Seragam	Triangular	Beta	Eskpon	LogNor	Gamma
1	100	2.520	33.100	3.840	0.980	129.020	N/A	N/A
	1000	72.652	324.604	30.022	8.388	1408.160	N/A	N/A
	10000	718.870	3298.703	310.834	95.110	14540.576	N/A	N/A
2	100	2.080	29.360	3.840	0.760	125.940	N/A	N/A
	1000	72.652	324.546	30.196	8.272	1415.236	N/A	N/A
	10000	716.206	3305.851	311.308	95.642	14562.435	N/A	N/A
5	100	2.080	27.600	2.740	1.420	123.520	N/A	N/A
	1000	73.174	316.078	28.862	8.446	1383.742	N/A	N/A
	10000	718.930	3295.047	309.562	95.894	14530.008	N/A	N/A

**H. ANALISIS**

**F.1. Analisis Kestabilan Lereng Tunggal**

Hasil karakterisasi terhadap paramater batuan yang mencakup: nilai minimum, maksimum, standar deviasi dan jenis fungsi distribusi dimasukkan dalam analisis kestabilan lereng tunggal. Dalam penelitian ini menggunakan metode keseimbangan batas dengan bantuan software *SLIDE*. Untuk parameter masukan lain seperti geometri lereng, tinggi muka air tanah dan seismic loading digunakan nilai asumsi yang digunakan dalam disain lereng PTBA.

Hasil analisis kestabilan lereng menggunakan pendekatan probabilistik ini menghasilkan nilai faktor keamanan deterministik dan rata-rata, probabilitas kelongsoran, dan indeks reliabilitas lereng (Gambar 6).



Gambar 6. Contoh Keluaran Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Pendekatan Probabilistik

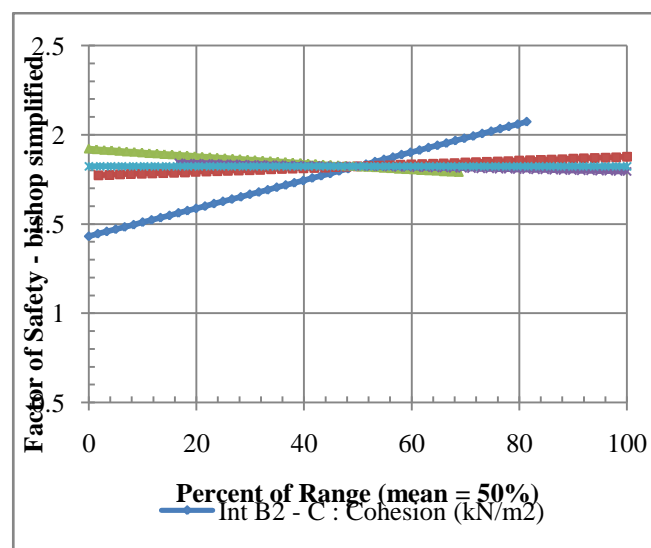
### F.2. Analisis Sensitivitas

Analisis ini digunakan untuk melihat parameter masukan yang memiliki pengaruh paling dominan terhadap perubahan nilai faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran. Hal ini berguna dalam proses penanganan lereng untuk perencanaan lereng jangka pendek dan jangka panjang.

Mengingat dalam penelitian ini lereng yang dianalisis adalah lereng tunggal yang bersifat sementara, karena dalam waktu yang tidak lama akan digali/dikupas, maka analisis ini difungsikan untuk penanganan lereng jangka pendek.

Gambar 7 menunjukkan pengaruh parameter yang paling sensitif terhadap faktor keamanan lereng tunggal adalah kohesi, sementara parameter lainnya tidak berpengaruh cukup signifikan.

Hal penting dalam proses penanganan terhadap lereng tunggal ini adalah melakukan optimasi terhadap geometri lereng yang aman.



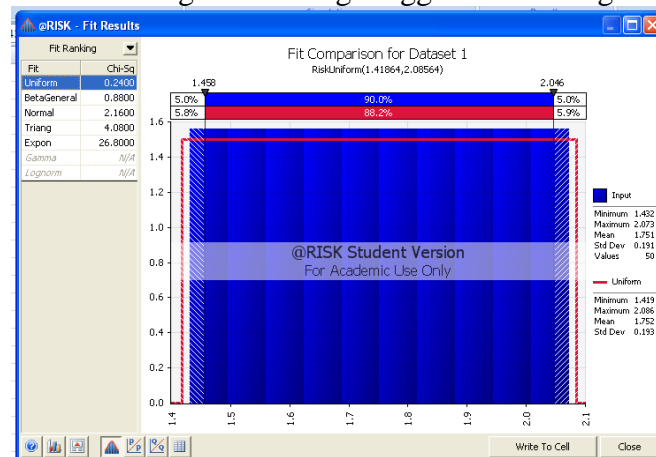
Gambar 7. Analisis Sensitivitas Parameter Masukan Terhadap Faktor Keamanan

### F.3. Proses Pencocokan Jenis Fungsi Distribusi Faktor Keamanan

Proses *fitting* jenis distribusi dilakukan dengan menganalisis nilai FK hasil pendekatan probabilistik. Ada beberapa tahap proses *fitting* ini meliputi:

- ❑ Input nilai rata-rata, standar deviasi, minimum, dan maksimum dari nilai faktor keamanan.
- ❑ Menggunakan metode Monte Carlo nilai-nilai tersebut di-generate berdasarkan fungsi yang akan dianalisis, dalam hal ini ada 7 fungsi distribusi normal, lognormal, beta, seragam, triangular, eksponensial dan gamma. Proses ini dilakukan dengan 1000 iterasi dengan 5 simulasi.
- ❑ Penentuan parameter statistik dari masing-masing fungsi menggunakan metode *chi-squared*, yang mana fungsi yang memiliki nilai parameter statistik paling kecil merupakan fungsi yang paling mendekati distribusi fungsi faktor keamanan.

Untuk mempermudah proses pencocokan ini dilakukan dengan menggunakan *software* @RISK. Hasil proses pencocokan menunjukkan bahwa jenis fungsi distribusi faktor keamanan adalah Seragam. Fungsi ini selanjutnya digunakan untuk menentukan probabilitas kelongsoran lereng tunggal dari masing-masing skenario.



Gambar 8. Fungsi Distribusi Faktor Keamanan

### F.4. Probabilitas Kelongsoran (PK)

Probabilitas kelongsoran lereng ditentukan dengan cara menghitung luas ( $FK < 1$ ) di bawah fungsi yang sudah ditentukan sebelumnya dari hasil proses *fitting*.

Hasil perhitungan probabilitas kelongsoran lereng tunggal material lapisan B2C menunjukkan hingga tinggi lereng 40 meter dengan sudut kemiringan  $60^\circ$ , lereng masih tetap stabil atau dengan kata lain probabilitasnya nol.

## I. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari hasil penelitian ini sebagai berikut :

- ❑ Karakterisasi terhadap distribusi fungsi kohesi dan sudut gesek dalam adalah seragam, dan distribusi fungsi densitas adalah beta.
- ❑ Karakterisasi terhadap nilai faktor keamanan hasil analisis kestabilan lereng menunjukkan fungsi terbaik adalah seragam.
- ❑ Hasil perhitungan probabilitas kelongsoran lereng tunggal material lapisan B2C (batupasir) menunjukkan hingga tinggi lereng 40 meter dengan sudut

kemiringan  $60^0$ , lereng masih tetap stabil atau dengan kata lain probabilitas kelongsorannya nol.

- Hasil analisis ini perlu dikomparasi dengan metode lainnya sehingga dapat meningkatkan suatu hasil disain yang dapat diaplikasikan secara operasional.

#### J. PUSTAKA

- @RISK software, Palisade
- Hoek E., Faktor of Safety and Probability of Failure, Chapter 8 - Rock Engineering.
- Pathak S., Poudel R.K., Kansakar B.R., 2006, Application of Probabilistik Approach in Rock Slope Stability Analysis — An Experience from Nepal, pp. 797–802, Universal Academy Press, Inc. - Tokyo, Japan.
- Pine, R.J. and W.J. Roberds. 2005. A risk-based approach for the design of rock slopes subject to multiple failure modes – illustrated by a case study in Hong Kong. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 42 (2005), Elsevier Ltd., pp. 261 – 275.
- SLIDE Software, Rockscience.



## PEMANFAATAN ABU TERBANG DALAM JUMLAH BESAR PADA PEMBUATAN BETON

(The Use of High Volume Fly Ash in The Concrete Production)

I Made Alit Karyawan Salain<sup>1\*</sup>, Ida Bagus Dharma Giri<sup>1</sup> dan Mayun Adi Alice Saraswati<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bukit Jimbaran Bali

<sup>2</sup>Alumni Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bukit Jimbaran Bali

\*Korespondensi Pembicara. Phone: 08123656541

Email: imaksalain@yahoo.com

### ABSTRACT

Study on the use of high volume fly ash as a partial replacement of ordinary Portland cement in the concrete production has been realized by using cubical specimens of 150 mm x 150 mm x 150 mm. The specimens were made by using a mixture of, in weight ratio, cementitious material : sand : crushed stone = 1 : 2 : 3 and water cementitious material ratio (w/cm) 0.35. The cementitious material was made by blending ordinary Portland cement and fly ash. The quantity of fly ash in the blend was 50%, 55% and 60% of the total weight of the blend. The distributions of grains of sand and crushed stone were designed by using SNI T-15-1990-03: the zone 2 for the gradation of fine aggregate and the maximum diameter of 20 mm for the gradation of coarse aggregate. At the mixing time of the concrete, it was added superplasticizer of 1.5% by weight of the cementitious material. To see the possibility utilization of high volume fly ash in the concrete production, compressive strength test was realized at age 3, 7, 28 and 90 days by using three specimens for each of the age test. As a control, it is also made the specimens using 100% of ordinary Portland cement. The results of this study show that the concrete made with high volume fly ash can develop, with the age of hydration, an interesting compressive strength compared with concrete made by using 100% of ordinary Portland cement. The use of 50%, 55% and 60% of fly ash in the concrete, as a partial replacement of ordinary Portland cement, can produce compressive strength at 90 days of hydration respectively 37,52 MPa, 32,07 MPa and 30,52 MPa. These compressive strength is equal respectively to 105%, 90% and 85% of the compressive strength of concrete made by using 100% ordinary Portland cement. This fact indicates that the fly ash, as industrial waste, can be used in large quantities in the concrete industry, so that it can reduce environmental problems both in the management of industrial waste and in the concrete production.

**Keywords:** fly ash, concrete, compressive strength, environment.

### 1. PENDAHULUAN

Semen Portland merupakan komponen utama dalam teknologi beton yang berfungsi sebagai perekat hidrolik untuk mengikat dan menyatukan agregat menjadi masa padat. Di dunia ini, tidak ada bahan buatan manusia yang digunakan melebihi dari beton. Data menunjukkan bahwa dewasa ini konsumsi beton dunia telah mencapai sekitar 22 milyar ton per tahun [Mehta and Meryman, 2009], ekuivalen dengan 3,2 ton untuk tiap manusia di bumi, dengan jumlah konsumsi semen sekitar 3 milyar ton [Mehta, 2009]. Jumlah ini cenderung akan terus meningkat mengikuti perkembangan jumlah penduduk serta ilmu pengetahuan dan teknologi. Berbagai jenis semen Portland, melalui pengaturan rancangan bahan dasar, telah dikembangkan sesuai dengan jenis bangunan dan persyaratan lingkungan dimana beton akan digunakan. Namun demikian produksi semen telah mengeksploitasi sumber daya alam secara besar-besaran dan berdampak terhadap lingkungan. Hal ini terkait dengan kegiatan penambangan batu kapur maupun lempung, sebagai bahan baku utama semen, serta polusi udara yang ditimbulkan dari proses fabrikasinya. Data menunjukkan bahwa industri semen telah menyumbangkan kurang lebih 7% [Mehta and Meryman, 2009; Vanderley, 2003] dari total emisi gas CO<sub>2</sub> ke atmosfer. Dalam proses pengadaan material pembuat beton, semen Portland menempati posisi tertinggi dalam mengkonsumsi energi. Sekitar 90% energi yang dibutuhkan untuk pengadaan material beton dikonsumsi oleh semen dan sisanya oleh material yang lain. Semakin tinggi kualitas beton yang dibuat semakin tinggi energi yang diperlukan untuk pengadaan bahannya dan semakin banyak jumlah semen Portland yang dibutuhkan sehingga semakin banyak gas CO<sub>2</sub> yang dilepas ke atmosfer. Semua ini praktis akan membebani sumber daya alam yang ada serta atmosfer lingkungan akibat efek rumah kaca.

Salah satu jenis semen yang dikembangkan sebagai upaya untuk mereduksi biaya produksi serta mengatasi permasalahan lingkungan adalah semen Portland pozolan. Semen jenis ini diproduksi dengan menggiling klinker semen Portland dan pozolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen Portland dengan bubuk pozolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur [SNI 15-0302-2004]. Semen Portland pozolan mempunyai karakter seperti panas hidrasi lebih rendah serta workabilitas, kekuatan dan daya tahan terhadap sulfat lebih baik [Lea, 1970; Mehta, 1986] dibandingkan dengan semen Portland tipe I yang umumnya dipakai untuk bangunan-bangunan yang tidak memerlukan persyaratan khusus, seperti panas dan atau waktu hidrasi serta kondisi lingkungan agresif [SNI 15-2049-2004].

Pozolan adalah bahan mineral, terutama mengandung silika dan alumina, yang bila dihaluskan setara dengan butiran semen dan dicampur dengan air pada temperatur normal akan bereaksi dengan kapur untuk membentuk senyawa kalsium silikat hidrat C-S-H dan kalsium aluminat hidrat C-A-H, sejenis dengan senyawa yang dihasilkan pada proses hidrasi semen [Lea, 1970]. Diketahui bahwa, reaksi mineral utama semen Portland, trikalsium silikat C<sub>3</sub>S dan dikalsium silikat C<sub>2</sub>S, dengan air akan menghasilkan C-S-H dan kapur bebas Ca(OH)<sub>2</sub>. Kapur bebas ini tidak banyak memberikan kontribusi terhadap kekuatan dan bahkan cenderung merugikan dari sisi keawetan, bila dalam perjalanan waktu kapur tersebut bereaksi dengan unsur yang bersifat agresif seperti sulfat [Lea, 1970; Mehta, 1986; Neville and Brooks, 1998]. Dengan mengkombinasikan klinker semen Portland dan pozolan, kapur bebas yang dihasilkan dari reaksi hidrasi semen Portland akan bereaksi dengan silika dan alumina dari pozolan, disebut reaksi pozolanik, membentuk senyawa perekat tambahan berupa C-S-H dan C-A-H.

Pozolan yang digunakan pada pembuatan semen Portland pozolan dapat bersumber dari alam seperti batu apung maupun berasal dari limbah industri seperti abu terbang yang merupakan sisa pembakaran batu bara pada pusat pembangkit listrik. Dalam SNI 15-0302-2004 disebutkan bahwa kadar pozolan dalam semen Portland pozolan berkisar antara 6% sampai dengan 40% dari massa semen Portland pozolan. Namun tidak ditegaskan lebih lanjut kenapa kadar pozolan dalam semen Portland pozolan dibatasi maksimum 40%. Padahal penelitian-penelitian yang dilaksanakan di negara maju terkait dengan pemanfaatan abu terbang dalam jumlah besar sebagai pengganti semen Portland, berkisar 50-65% dari massa semen, untuk aplikasi beton telah mulai dilaksanakan dan dilaporkan memberikan hasil yang menjanjikan [Sivasundaram et al., 1990; Bouzoubaâ et al., 1998; Collepari, et al., 2000; Langley, 2000; Mehta and Manmohan, 2006; Malhotra and Mehta, 2008].

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kuat tekan beton yang dibuat dengan menggunakan abu terbang sebanyak 50-60% sebagai pengganti semen Portland. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan pemakaian abu terbang dalam jumlah besar dalam teknologi beton sebagai upaya untuk menekan kegiatan eksploitasi alam dalam fabrikasi semen sekaligus memanfaatkan residu industri sehingga permasalahan lingkungan yang diakibatkan oleh limbah abu terbang dapat dikurangi.

## 2. BAHAN DAN ALAT

Pada penelitian ini digunakan bahan-bahan pembuat beton yang terdiri dari air, semen Portland tipe I (SPI), agregat halus dan agregat kasar. Sebagai pengganti sebagian SPI digunakan pozolan berupa abu terbang (ATB) yang merupakan residu dari pembakaran batu bara dari pusat pembangkit listrik. Air untuk mencampur beton diambil dari saluran PDAM pada di Laboratorium Teknologi Bahan, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana. Untuk agregat halus dipilih pasir alami sedangkan agregat kasar berupa batu pecah, dengan diameter maksimum butirannya adalah 20 mm. Beberapa properti kimia dari SPI dan ATB diberikan pada Tabel 1, sedangkan properti fisik dari agregat halus dan kasar dicantumkan pada Tabel 2. Pada Gambar 1 dan Gambar 2 berturut-turut ditunjukkan gradasi rancangan dari agregat halus dan kasar yang digunakan dalam penelitian. Gradasi butiran agregat halus dirancang memenuhi kategori zona 2 sedangkan untuk agregat kasar, distribusi butirannya dirancang untuk butiran dengan diameter maksimum 20 mm sesuai standar SNI 03-2834-2000.

**Tabel 1**

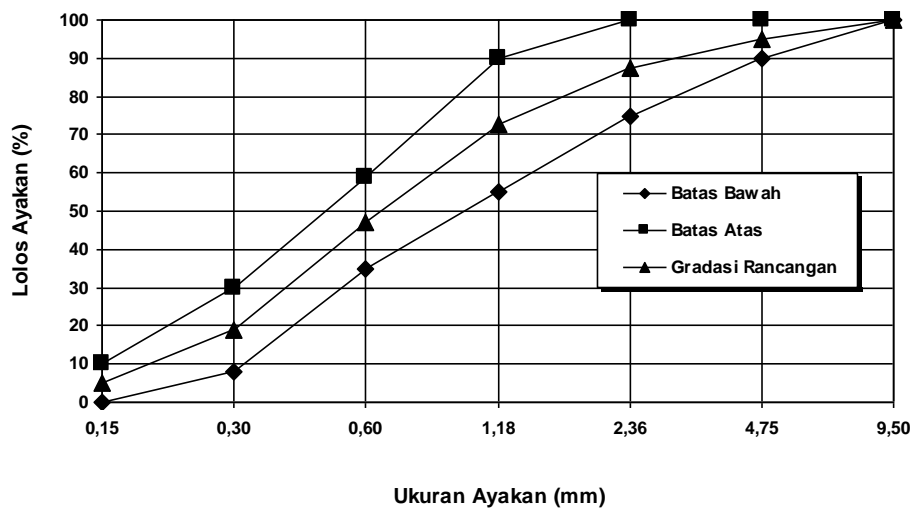
Properti kimia dan fisik dari SPI dan ATB

Oksida	SPI	ATB
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	6,20	2,78
CaO (%)	61,46	0,82
SiO <sub>2</sub> (%)	28,44	69,22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,54	0,49

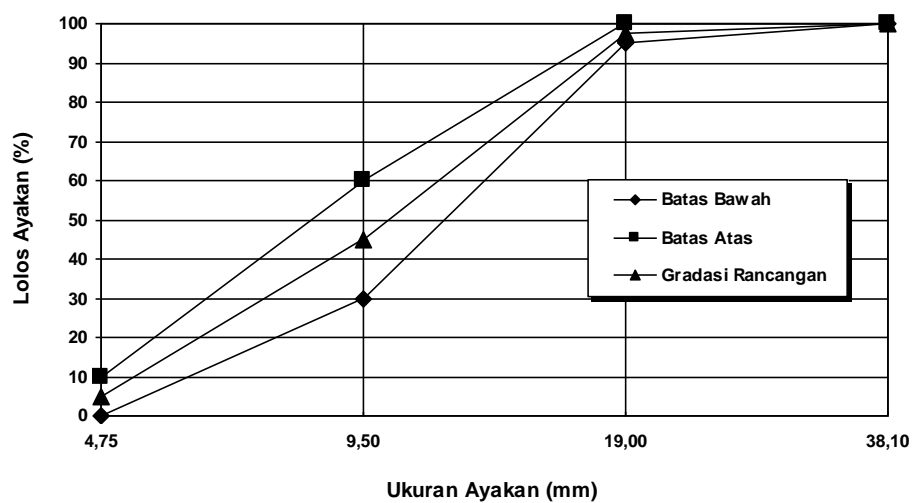
**Tabel 2**

Properti fisik dari agregat halus dan kasar

	Agregat	Pasir	Batu Pecah
Sifat Fisik			
Berat Satuan (kg/l)		1,54	1,47
Berat Jenis SSD		2,62	2,68
Penyerapan Air (%)		2,04	0,60
Kadar Lumpur (%)		3,85	0,10
Kadar Air (%)		4,60	0,60
Kekerasan dengan Los Angeles (%)		-	21,94



**Gambar 1.** Gradasi rancangan agregat halus



**Gambar 2.** Gradasi rancangan agregat kasar

Empat jenis perekat dibuat dari campuran SPI dan ATB dengan berat ATB untuk setiap jenis perekat ditetapkan sebesar 0%, 50%, 55% dan 60% dari berat total perekat. Perekat dengan kandungan 0% ATB (100% SPI) merupakan perekat kontrol. Untuk setiap jenis perekat dibuat benda uji beton berupa kubus dengan ukuran rusuk 150 x 150 x 150 mm. Beton dirancang dengan menggunakan perbandingan berat yang konstan antara semen : agregat halus : agregat kasar sebesar 1,0 : 2,0 : 3,0 dengan nilai faktor air perekat (FAP) ditetapkan sebesar 0,35. Untuk memudahkan dalam pengerjaan beton, saat pencampuran ditambahkan superplastisizer (SPS) sebesar 1,5% dari berat perekat. Karakteristik dari masing-masing beton dengan empat jenis perekat tersebut diberikan pada Tabel 2. Pencampuran beton dilaksanakan dengan *mixer* yang mana sebelum dicampur agregat disiapkan dalam kondisi *Saturated Surface Dry* (SSD).

**Tabel 3**  
Karakteristik beton

Jenis Beton	Perekat	Perekat : Pasir : Batu Pecah (Perbandingan berat)	F AP	S PS
B1	100% SPI	1 : 2 : 3	0,35	1,5%
B2	50% SPI + 50% ATB	1 : 2 : 3	0,35	1,5%
B3	45% SPI + 55% ATB	1 : 2 : 3	0,35	1,5%
B4	40% SPI + 60% ATB	1 : 2 : 3	0,35	1,5%

Jumlah benda uji yang disiapkan disesuaikan dengan jumlah jenis perekat yang digunakan, umur uji serta jumlah benda uji per pengujian. Pengujian kuat tekan dilaksanakan pada umur 3, 7, 28 dan 90 hari dengan menggunakan masing-masing 3 benda uji untuk setiap umur uji. Dengan demikian total benda uji yang dibuat secara keseluruhan dengan variasi 4 jenis semen yaitu 48 (empat puluh delapan) buah. Benda uji yang telah dicetak dibiarkan dalam cetaknya selama 24 jam dan setelah itu dibuka dari cetaknya untuk selanjutnya mendapatkan perawatan. Perawatan dilaksanakan dengan menutup benda uji dengan karung goni yang dibasahi secara periodik sampai dengan waktu yang ditentukan untuk pengujian kuat tekan. Uji kuat tekan dilaksanakan dengan menggunakan mesin tekan dengan kapasitas 2000 kN. Gambar 3 berikut menampilkan pembuatan, perawatan dan pengujian benda uji kubus 150 x 150 x 150 mm.



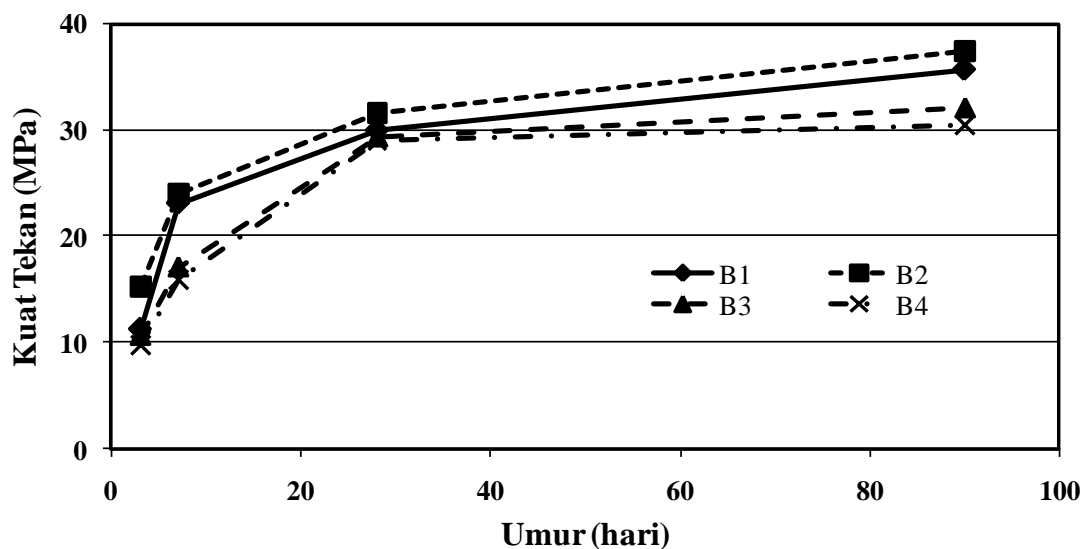
**Gambar 3.** Pembuatan, perawatan dan pengujian benda uji

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Uji Kuat Tekan

Perkembangan kuat tekan dari masing-masing beton yang dibuat dengan menggunakan perekat berupa campuran SPI dan ATB berdasarkan waktu hidrasi diberikan pada Gambar 4. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kuat tekan, untuk semua jenis beton, meningkat dengan bertambahnya umur hidrasi. Peningkatan kuat tekan beton nampak lebih cepat pada umur hidrasi awal, sampai dengan 28 hari, dan selanjutnya peningkatannya cenderung lebih lambat bahkan pada beton B4 perkembangan kuat tekannya mulai mengalami stabilisasi.

Beton yang dibuat dengan menggunakan ATB sebanyak 55% dan 60% sebagai pengganti SPI (B3 dan B4) mengembangkan kuat tekan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan beton kontrol yang dibuat dengan 0% ATB (B1) untuk setiap umur hidrasi. Sebelum mencapai umur 28 hari, perkembangan kuat tekan dari beton B3 dan B4 terlihat lebih lambat bila dibandingkan dengan B1, namun demikian dengan bertambahnya umur hidrasi perbedaan perkembangan kuat tekannya terlihat berkurang. Pada umur 90 hari, kuat tekan yang dihasilkan beton B3 dan B4 dapat mencapai berturut-turut 90% dan 85% dari kuat tekan B1 yang nilainya sebesar 35,70 MPa.



**Gambar 4.** Kuat tekan beton yang dibuat dengan perekat berupa campuran SPI dan ATB

Di sisi lain, beton dengan kandungan ATB sebesar 50% sebagai pengganti SPI (B2) memperlihatkan perkembangan kuat tekan yang cenderung lebih cepat bila dibandingkan dengan beton B1 sampai dengan umur 28 hari dan selanjutnya perkembangan kuat tekan tersebut nampak menyerupai perkembangan pada beton B1. Untuk setiap umur hidrasi beton B2 menghasilkan kuat tekan yang relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan yang dihasilkan oleh beton B1. Pada umur 90 hari, kuat tekan yang dihasilkan oleh beton B2 bahkan mampu melampaui sekitar 5% dari kuat tekan beton B1. Dari Gambar 4 tersebut juga dapat dilihat bahwa kuat tekan untuk beton B2 dan B3, seperti halnya dengan beton B1, nampak masih menunjukkan perkembangan setelah melampaui umur hidrasi 90 hari. Kecenderungan perkembangan kuat tekan yang diamati pada beton dengan penggunaan ATB ini



selaras dengan hasil penelitian sejenis yang telah dilaksanakan oleh peneliti lain [Sivasundaram et al., 1990; Bouzoubaâ et al., 1998; Collepardi, et al., 2000; Langley, 2000; Mehta and Manmohan, 2006; Malhotra and Mehta, 2008].

### 3.2. Pembahasan

Secara umum terlihat bahwa perkembangan kuat tekan dari masing-masing beton yang dibuat dengan menggunakan perekat berupa campuran SPI dan ATB berdasarkan waktu hidrasi memiliki kecenderungan yang sama dengan beton yang dibuat dengan 100% SPI : cepat di umur awal dan lebih lambat pada umur selanjutnya. Diketahui bahwa mineral C3S bereaksi dengan air lebih cepat bila dibandingkan dengan C2S. Dengan demikian perkembangan kuat tekan yang cepat di awal hidrasi berhubungan dengan kontribusi dari hasil hidrasi C3S sedangkan perkembangan kuat tekan pada umur selanjutnya lebih banyak disumbangkan dari hasil hidrasi C2S. Namun demikian dapat dicatat bahwa kontribusi hasil reaksi pozolanik terhadap perkembangan kuat tekan beton pada penggunaan ATB sebanyak 50% bahkan sudah terlihat dari awal hidrasi.

Beton yang dibuat dengan menggunakan ATB sebanyak 50%, 55% dan 60% sebagai pengganti SPI tercatat mampu mengembangkan kuat tekan mencapai berturut-turut 105%, 90% dan 85% dari kuat tekan beton yang dibuat dengan 100% SPI pada umur 90 hari. Hal ini menunjukkan bahwa alumina ( $Al_2O_3$ ) dan silika ( $SiO_2$ ) yang ada pada ATB bersifat reaktif dan dapat mengikat kapur bebas yang dilepaskan saat hidrasi SPI untuk membentuk senyawa tambahan bersifat perekat, seperti C-A-H dan C-S-H. Kenyataan inilah, terutama, yang menyebabkan penggantian sebanyak 50%-60% SPI dengan ATB tersebut dapat menghasilkan beton dengan kekuatan yang mampu mengimbangi dan bahkan, pada penggunaan ATB sebanyak 50%, dapat melampaui kuat tekan beton yang dibuat dengan menggunakan 100% SPI pada umur 90 hari.

Kemampuan dari masing-masing jenis perekat untuk mengembangkan kuat tekan beton berhubungan erat dengan jumlah ATB yang digunakan sebagai pengganti SPI. Ini berhubungan dengan ketersediaan kapur bebas yang dilepaskan saat reaksi hidrasi dari C3S dan C2S pada SPI dengan jumlah alumina dan silika reaktif yang ada pada ATB sebagai pengganti SPI. Secara proporsional, jumlah ATB yang digunakan sebagai pengganti SPI mengakibatkan C-S-H dan kapur bebas yang dihasilkan dari reaksi C3S dan C2S dengan air berkurang intensitasnya. Dengan adanya alumina dan silika reaktif dari ATB, hasil reaksi kedua oksida ini dengan kapur bebas mampu mengganti pengurangan jumlah C-S-H yang dihasilkan dari reaksi hidrasi C3S dan C2S dengan C-S-H dan C-A-H yang dihasilkan dari reaksi pozolanik ATB. Efektifitas substitusi senyawa ini akan tergantung dari keseimbangan ketersediaan kapur bebas yang diperoleh dari reaksi hidrasi SPI yang ada pada perekat dan alumina serta silika reaktif dari ATB yang digunakan sebagai pengganti SPI untuk menghasilkan senyawa C-S-H dan C-A-H hasil reaksi pozolanik. Fenomena ini mengakibatkan kecepatan perkembangan kekuatan maupun kuat tekan akhir yang dihasilkan beton untuk tiap jenis perekat yang digunakan menjadi berbeda-beda sesuai dengan jumlah ATB yang digunakan sebagai pengganti SPI dalam setiap jenis perekat yang digunakan.

## 4. PENUTUP

### 4.1. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disampaikan kesimpulan sebagai berikut :

1. Kuat tekan yang dikembangkan oleh beton yang dibuat dengan menggunakan abu terbang sebagai pengganti sebagian semen Portland tipe I tergantung dari umur hidrasi dan jumlah abu terbang yang digunakan.
2. Beton yang dibuat dengan menggunakan abu terbang sebanyak 50%, 55% dan 60% sebagai pengganti semen Portland tipe I mampu mengembangkan kuat tekan sebesar berturut-turut 105%, 90% dan 85% dari kuat tekan beton yang dibuat dengan 100% semen Portland tipe I, yang besarnya 35,70 Mpa, pada umur 90 hari.
3. Abu terbang yang digunakan dalam penelitian ini memiliki reaktivitas pozolanik yang sangat baik sehingga dapat dipertimbangkan untuk digunakan sebagai komponen dari perekat hidrolik dalam jumlah besar dalam rangka mengurangi permasalahan lingkungan yang diakibatkan oleh fabrikasi semen sekaligus memanfaatkan residu industri.

### 4.2. SARAN

Untuk melengkapi pemahaman terhadap kinerja dari beton yang dibuat dengan menggunakan abu terbang dalam jumlah besar, pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian terhadap properti beton lainnya seperti modulus elastisitas dan permeabilitas. Selain itu perlu juga dilakukan penelitian sejenis dengan menggunakan berbagai jenis pozolan.

## 5. REFERENCES

- Mehta, P. K. and Meryman H. 2009. *Tools for Reducing Carbon Emissions Due to Cement Consumption*. Structure Magazine. <http://www.structuremag.org>. [10 November 2010].
- Mehta, P. K. 2009. *Global Concrete Industry Sustainability*. Concrete International. <http://www.allbusiness.com>. [10 November 2010].
- Vanderley, M. J. 2003. *On the Sustainability of the Concrete*. UNEP Journal : Industry and Environment. <http://vmjohn.pcc.usp.br>. [10 November 2010].
- Badan Standardisasi Nasional, 2004, Standar Nasional Indonesia Semen Portland Pozolan (SNI 15-0302-2004).
- Badan Standardisasi Nasional, 2004, Standar Nasional Indonesia Semen Portland (SNI 15-2049-2004).
- Lea F.M., 1970, *The Chemistry of Cement and Concrete*, third edition, Edward Arnold Ltd, London.
- Mehta, P.K., 1986, *Concrete Structure Properties, and Materials*, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Neville, A.M. and Brooks J.J., 1998, *Concrete Technology*, Longman, Singapore.
- Sivasundaram, V., Carette, G. C. and Malhotra, V. M. 1990. *Long-Term Strength Development of High Volume Fly Ash Concrete*. Cement and Concrete Composite, 12, 1990, pp. 263-270.
- Bouzoubaâ, N., Zhang, M. H., Bilodeau, A. and Malhotra, V. M. 1998. *Laboratory-Produced High-Volume Fly Ash Blended Cements: Physical Properties and*

- Compressive Strength of Mortars*. Cement and Concrete Research, 28, 1998, pp. 1555-1569.
- Collepari, S., Coppola, L., Troli, R. and Collepari, M. 2000. *High-Volume Fly Ash Blended Cements According to European Standards for High Performance Concrete*. CANMET/ACI International Seminar on High-Volume Fly Ash Blended Cements and Concrete : Their Role in Growth and Sustainability. Lyon, France. November 29, 2000.
- Langley, W. S. 2000. *Practical Uses for High-Volume Fly Ash Concrete Utilizing a Low Calcium Fly Ash*. CANMET/ACI International Seminar on High-Volume Fly Ash Blended Cements and Concrete : Their Role in Growth and Sustainability. Lyon, France. November 29, 2000.
- Mehta, P. K. and Manmohan, D. 2006. Sustainable High-Performance concrete Structures. ACI Concrete International, Vol. 28, No. 7, July 2006, pp. 37-42.
- Malhotra, V. M. and Mehta, P. K. 2008. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete. 3<sup>rd</sup> edition, Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc. Ottawa, Canada, January 2008, 142 pages.

## PENGARUH BEBERAPA JENIS BAHAN PENGUMPAL LATEKS DAN HUBUNGANNYA DENGAN SUSUT BOBOT, KADAR KARET KERING DAN PLASTISITAS

Mili Purbaya<sup>1)</sup>, Tuti Indah Sari<sup>2)</sup>, Chessa Ayu Saputri<sup>2)</sup>, Mutia Tama Fajriaty<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Balai Penelitian Karet Sembawa

<sup>2)</sup> Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya  
Km.32, Inderalaya, Ogan Ilir, Sumatera Selatan

Email: [ty\\_indahsari@yahoo.co.id](mailto:ty_indahsari@yahoo.co.id); [chem\\_esa@yahoo.com](mailto:chem_esa@yahoo.com)

### ABSTRAK

Petani karet umumnya menggunakan bahan pengumpal yang tidak dianjurkan seperti tawas, pupuk TSP dan lain-lain. Untuk meningkatkan kualitas bokar, petani karet diharuskan untuk menggunakan bahan pengumpal anjuran seperti asam format, formula asam organik dan anorganik lemah. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh berbagai jenis bahan pengumpal terhadap kualitas bokar selama penyimpanan, dan bermanfaat bagi petani agar dapat memperoleh informasi mengenai pengaruh bahan pengumpal terhadap kualitas bokar.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Balai Penelitian Sembawa dengan bahan baku lateks yang berasal dari kebun percobaan Balai Penelitian Sembawa. Lateks digumpalkan dengan bahan pengumpal menjadi sleb, kemudian sleb disimpan selama 1 bulan. Analisa yang dilakukan adalah analisa susut bobot, Kadar Karet Kering (KKK) dan plastisitas karet (Po dan PRI).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan bahan pengumpal yang dianjurkan semakin lama disimpan KKK sleb akan meningkat sampai dengan 84 % dan bobot sleb akan menurun hingga 70 %. Penyusutan bobot yg cukup besar pada sleb yang digumpalkan dengan pupuk TSP. Dari semua koagulan yang dianalisa, pengumpal asam format, formula asam organik dan anorganik lemah dapat menggumpalkan lateks dengan nilai Po dan PRI yang memenuhi standar SIR.

**Kata kunci:** asam-anorganik, asam-organik, KKK, koagulan, plastisitas.

### I. PENDAHULUAN

Di Indonesia karet *Havea brasiliensis* diperkenalkan pertama kali pada tahun 1876 yang berasal dari lembah Amazon, Brazil. Hasil yang diambil dari tanaman karet adalah lateks. Bahan olahan yang dihasilkan dari lateks ini berupa sit, lateks pekat, dan karet remah.

Lateks adalah cairan getah yang didapat dari bidang sadap pohon karet. Pada umumnya berwarna putih seperti susu dan belum mengalami penggumpalan dengan atau tanpa penambahan bahan pemantap (zat anti penggumpal). Lateks ini dapat diperoleh dengan cara menyadap antara kambium dan kulit pohon.

**Tabel 1.** Komposisi Lateks Segar

Kandungan	Kadar (%)
-----------	-----------

Karet (Cis 1,4-poliisoprene)	25,0 – 40,0
Karbohidrat	1,0 – 2,0
Protein dan senyawa nitrogen	1,0 – 1,5
Lipid	1,0 – 1,5
Senyawa anorganik	0,1 – 1,5
Air	60 – 75

Komposisi kimia lateks segar secara garis besar adalah 25-40% karet dan 60-75% merupakan bahan bukan karet. Kandungan bukan karet ini selain air adalah protein (globulin dan havein), karbohidrat (sukrosa, glukosa, galaktosa dan fruktosa), lipida (gliserida, sterol, dan fosfolipida). Komposisi ini bervariasi tergantung pada jenis tanaman, umur tanaman, musim, sistem deres dan penggunaan stimulan. (Harahap, 2008).

#### Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Lateks

- 1) Iklim  
Musim hujan akan mendorong terjadinya prokoagulasi, sedangkan musim kemarau akan mengakibatkan keadaan lateks menjadi tidak stabil.
- 2) Alat – alat yang digunakan dalam pengumpulan dan pengangkutan (baik yang terbuat dari aluminium maupun yang terbuat dari baja tahan karat). Peralatan yang digunakan harus dijaga kebersihannya agar kualitas lateks tetap terjaga.
- 3) Pengaruh pH.  
Perubahan pH dapat terjadi dengan penambahan asam, basa atau karena penambahan elektrolit. Dengan penurunan pH maka akan mengganggu kestabilan atau kemantapan lateks akibatnya lateks akan menggumpal.
- 4) Pengaruh Jasad Renik  
Setelah lateks keluar dari pohon, lateks itu akan segera tercemar oleh jasad renik yang berasal dari udara luar atau dari peralatan yang digunakan. Jasad renik tersebut mula – mula akan menyerang karbohidrat terutama gula yang terdapat dalam serum dan menghasilkan asam lemak yang mudah menguap (asam eteris). Terbentuknya asam lemak eteris ini secara perlahan – lahan akan menurunkan pH lateks akibatnya lateks akan menggumpal. Sehingga makin tinggi jumlah asam – asam lemak eteris, semakin buruk kualitas lateks.
- 5) Pengaruh Mekanis  
Jika lateks sering tergoncang akan dapat mengganggu gerakan Brown dalam sistem koloid lateks, sehingga partikel mungkin akan bertubrukan satu sama lain. Tubrukan – tubrukan tersebut dapat menyebabkan terpecahnya lapisan pelindung, dan akan mengakibatkan penggumpalan. (Handayani, 2008)

Penggumpalan adalah peristiwa perubahan fase sol menjadi fase gel dengan bantuan bahan penggumpal yang biasa disebut dengan koagulan. Lateks akan menggumpal jika muatan listrik diturunkan (dehidratasi), pH lateks diturunkan (penambahan asam H<sup>+</sup>) dan penambahan elektrolit. (Abednego, 1981).

Penurunan pH lateks dapat terjadi baik secara alami maupun disengaja atau adanya perlakuan khusus pada lateks seperti penambahan bahan penggumpal.

Penggumpalan secara alami terjadi akibat aktivitas bakteri pengurai yang banyak terdapat di udara.

Lateks segar yang baru keluar dari pohon karet merupakan media yang sangat baik bagi pertumbuhan bakteri. Dalam pembuluh pohon (latex vessel), lateks dalam kondisi steril. Bakteri mulai masuk ke dalam lateks sejak lateks mengalir melalui irisan sadap dan berkembang biak.

Zat makanana yang utama bagi bakteri yaitu karbohidrat yang terdapat di fraksi serum, khususnya quebrachitol. Dengan bantuan oksigen dari udara, karbohidrat di ubah bakteri menjadi asam asetat dan asam format. Sumber asam lain yang dapat menggumpalkan lateks adalah protein yang terhidrolisa menjadi asam amino. (Abednego, 1981).

Jenis-jenis penggumpal lateks :

- 1) Asam Format
- 2) Formula Asam Organik
- 3) Formula Asam Anorganik
- 4) Aluminum Sulfat ( TAWAS)
- 5) Pupuk TSP

Pengujian Mutu Lateks :

- 1) Plastisitas

Suatu bahan yang plastisitasnya tinggi mudah sekali berubah bentuk atau dengan kata lain mudah sekali mengalir, sehingga telah didefinisikan, bahwa plastisitas adalah kepekaan terhadap deformasi, pengertian ini merupakan kebalikan dari pada pengertian viskositas-efektif, sedangkan viskositas efektif didefinisikan sebagai ketahanan terhadap deformasi. Metode pengujian viskositas umumnya bersifat mengukur konsistensi (ketahanan terhadap deformasi).

Plastisitas awal adalah plastisitas karet mentah yang langsung diuji tanpa perlakuan khusus sebelumnya. Plastisitas retensi indeks adalah cara pengujian untuk mengukur ketahanan karet terhadap degradasi oleh oksidasi pada suhu tinggi. Karet yang mempunyai plastisitas retensi indeks tinggi mempunyai rantai molekul yang tahan terhadap oksidasi, sedangkan yang mempunyai plastisitas retensi yang rendah mudah teroksidasi menjadi karet lunak.

Plastisitas retensi indeks ini sangat penting karena plastisitas retensi index menunjukkan keadaan dari molekul itu sendiri, menunjukkan sejauh mana akan terjadi pemecahan karet jika dipanaskan. Plastisitas retensi indeks ukuran terhadap tahan usang karet dan plastisitas retensi indeks dipakai sebagai petunjuk mudah tidaknya karet itu dilunakkan dalam gilingan pelunak (masticator).

Plastisitas retensi indeks dapat ditentukan dengan Wallace Plastimeter. Dengan alat ini ditentukan plastisitas dari karet sebelum dipanaskan pada suhu 140°C selama 30 menit. Nilai plastisitas dari karet dapat menurun karena faktor-faktor sebagai berikut :

1. Karet dijemur dibawah sinar matahari
2. Karet dipanaskan terlalu tinggi
3. Karet terlalu banyak digiling atau direndam terlalu lama
4. Karet mengandung banyak kotoran

Karet-karet mutu rendah setelah digiling dan diuji beberapa kali, ada kalanya mempunyai plastisitas retensi indeks yang sangat rendah. Karet-karet yang sudah



teroksidasi terlalu banyak memang mempunyai plastisitas retensi indeks rendah dan karet demikian tidak dapat diperbaiki plastisitas retensi indeksnya. (Safitri, 2009).

## 2) Kadar Karet Kering (KKK)

Kadar Karet Kering (KKK) adalah kandungan padatan karet per satuan berat (%). KKK lateks atau bekuan sangat penting untuk diketahui karena selain dapat digunakan sebagai pedoman penentuan harga juga merupakan standar dalam pemberian bahan kimia untuk pengolahan RSS, TPC dan lateks pekat. Kadar karet kering pada lateks tergantung dari beberapa faktor antara lain jenis klon, umur pohon, waktu penyadapan, musim, suhu udara serta letak tinggi dari permukaan laut. Terdapat beberapa metode dalam penentuan KKK, salah satu di antaranya adalah metode laboratorium. Prinsip dalam metode laboratorium adalah pemisahan karet dari lateks yang dilakukan dengan cara pembekuan, pencucian dan pengeringan. (Anonim, 2010).

## II. BAHAN DAN ALAT

Alat yang digunakan adalah Beker gelas 100 ml, 250 ml, 500 ml, erlemeyer 500 ml, 1000 ml, gelas ukur 500 ml, spatula, pengaduk lateks, indikator pH meter, bak plastic, neraca analitik, oven, plastik, timbangan, alat blending, wallance punch, rapid plastimeter.

Bahan yang digunakan adalah 340 liter Lateks, 60 kg cup lump, aquadest, penggumpal asam semut, tawas, pupuk TSP, FAO, dan FAA

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

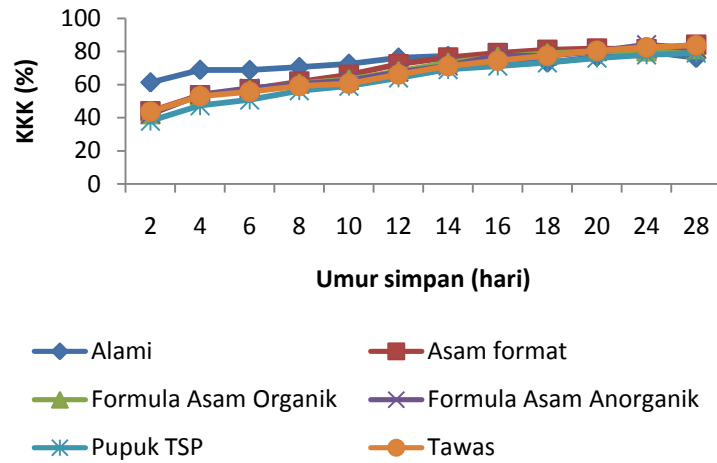
Kondisi penggumpalan pada berbagai koagulan dapat dilihat pada Tabel 1. Koagulan Asam format, Formula Asam Organik dan Formula Asam Anorganik dapat menggumpalkan lateks dengan sempurna, dengan waktu penggumpalan yang tidak berbeda nyata. Sedangkan pupuk TSP dan tawas tidak dapat menggumpalkan lateks dengan sempurna.

**Tabel 2**

Kondisi penggumpalan pada berbagai penggumpal

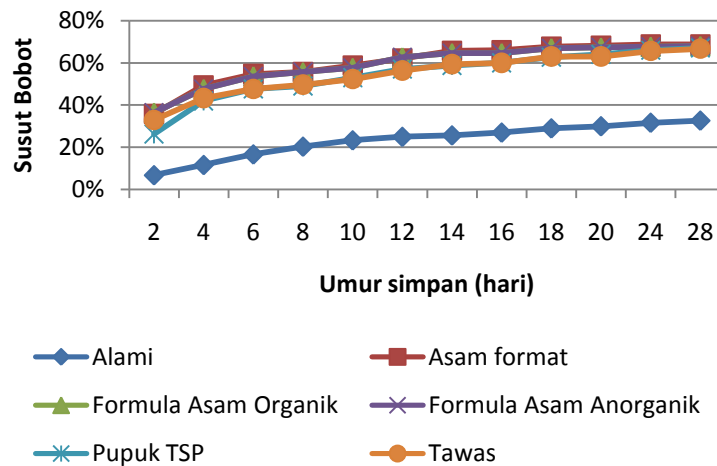
No	Jenis penggumpal	pH penggumpalan	Waktu (menit) penggumpalan	Kondisi gumpalan	Warna sleb	Warna serum
1.	Asam Format	4,7	22,2	Sempurna	Abu-abu muda	Kuning bening
2.	Formula Asam Organik	4,7	25	Sempurna	Coklat tua	Putih keruh
3.	Formula Asam Anorganik	5	31	Sempurna	Coklat muda	Putih keruh
4.	Pupuk TSP	5	14,17	Tidak sempurna	Abu-abu tua	Putih keruh
5.	Tawas	4,7	21,17	Tidak sempurna	Krem	Putih jernih

Pengaruh umur simpan sleb terhadap KKK dan susut bobot sleb dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.



**Gambar 1.** Pengaruh umur simpan sleb terhadap KKK pada berbagai penggumpal

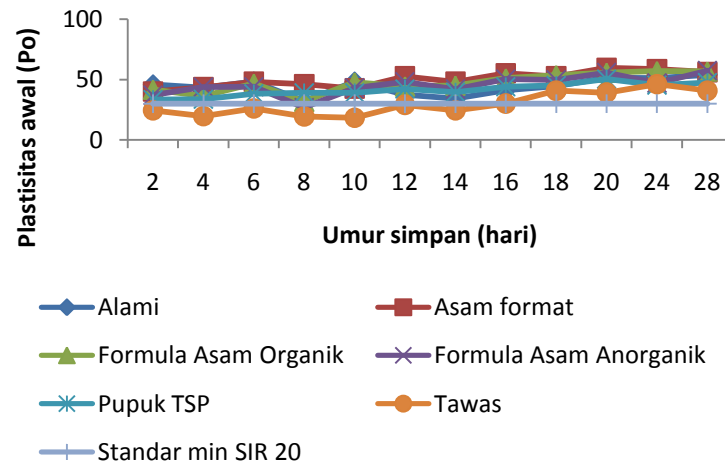
Pada data analisa KKK (Kadar Karet Kering) dapat diketahui bahwa KKK sleb dengan semua jenis penggumpal mengalami kenaikan dari umur simpan 2 hari sampai umur simpan 28. Sedangkan sleb tanpa bahan penggumpal mengalami penurunan pada umur simpan 28 hari. Hal ini menunjukkan bahwa penggumpal sangat mempengaruhi besarnya kadar karet kering dari sleb.



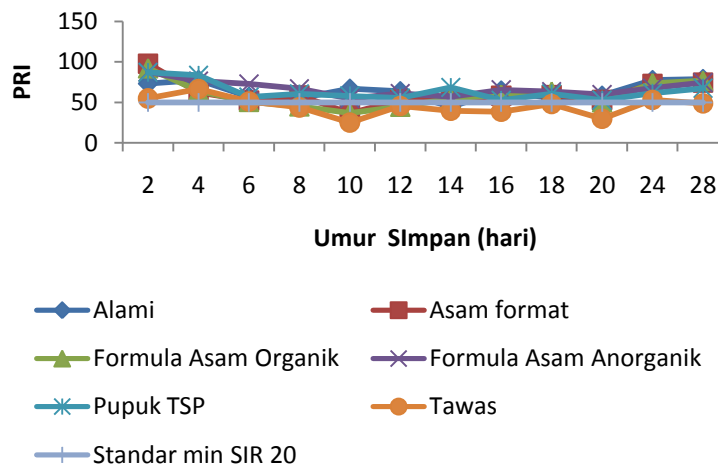
**Gambar 2.** Pengaruh umur simpan sleb terhadap susut bobot pada berbagai penggumpal

Dari gambar 2. hasil penelitian di atas pada analisa susut bobot terlihat dari semakin lama umur penyimpanan semakin meningkat susut bobot sleb tersebut. Hal ini dikarenakan kadar air yang terkandung di dalam sleb semakin hari mengalami penguapan sehingga berat sleb juga mengalami penurunan akibatnya susut bobot meningkat.

Perkembangan plastisitas karet pada berbagai sleb yang digumpalkan dengan penggumpal yang berbeda padat di lihat pada Gambar 3 dan 4. Plastisitas karet selama penyimpanan terlihat berfluktuasi baik plastisitas awal ( $P_o$ ) maupun PRI. Tetapi secara umum sleb yang digumpalkan dengan tawas memiliki nilai  $P_o$  di bawah standar SIR. Begitu pula dengan PRI pada sleb yang digumpalkan dengan tawas, juga memiliki nilai PRI di bawah standar SIR.



**Gambar 3.** Pengaruh umur simpan sleb terhadap plastisitas awal ( $P_o$ ) pada penggumpal yang berbeda



**Gambar 4.** Pengaruh umur simpan sleb terhadap PRI pada penggumpal yang berbeda

Tawas di dalam air akan terhidrolisa dan membentuk asam sulfat. Asam ini berperan sebagai oksidator yang dapat merusak lapisan protein (selubung partikel karet) yang berfungsi sebagai anti oksidan. Sebagai akibatnya, molekul karet mudah teroksidasi sehingga  $P_o$  dan PRI nya rendah.

Sleb yang digumpalkan dengan pupuk TSP memiliki nilai Po dan PRI yang memenuhi standar SIR karena pupuk TSP yang digunakan telah didekantasi atau diendapkan selama 1 malam sehingga nilai Po dan PRI-nya tidak jatuh. Jika pupuk TSP langsung digunakan tanpa didekantasi terlebih dahulu maka akan menurunkan nilai Po dan PRI.

#### IV. KESIMPULAN

1. KKK tertinggi didapat pada bahan penggumpal anjuran yaitu asam format yang nilainya mencapai 84%.
2. Bobot sleb masing – masing koagulan terus mengalami penyusutan sampai dengan umur penyimpanan maksimum pada penelitian ini hingga 70%.
3. Penggumpal anjuran seperti asam semut, formula asam organik dan anorganik memiliki nilai Po lebih dari 30 dan PRI lebih dari 50 yang sesuai dengan SIR.

#### V. REFERENSI

- Abednego, J.G. (1981). *Pengetahuan Lateks*. Departemen Perdagangan dan Koperasi.
- Anonim. (2010). *Asam Format*. Retrieved on 9 Oktober 2010 from [http://id.wikipedia.org/wiki/Asam\\_format](http://id.wikipedia.org/wiki/Asam_format).
- Anonim. (2010). *Tawas*. Retrieved on 9 Oktober 2010 from [http://b0cah.org/index.php?option=com\\_content&task=view&id=1031&Itemid](http://b0cah.org/index.php?option=com_content&task=view&id=1031&Itemid).
- Anonim, 2010c. *Kadar Karet Kering*. Retrieved on 27 Oktober 2010 from [http://id.wikipedia.org/wiki/Kadar\\_Karet\\_Kering](http://id.wikipedia.org/wiki/Kadar_Karet_Kering).
- Dalimunte, V. H. (2008). *Penentuan Kandungan Padatan Total (% TSC) Lateks Pekat dan Pengaruhnya terhadap Kekuatan Tarik Benang*, Laporan Penelitian Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Rahma, T. H. (2008). *Penentuan Bilangan Volatile Fatty Acid (VFA) dalam Lateks Kebun pada Pembuatan Karet Remah*, Laporan Penelitian Universitas Sumatra Utara, Medan.
- Safitri, Khairina. (2009). *Pengaruh Ekstraksi Belimbing Wuluh Sebagai Penggumpal Lateks Terhadap Mutu Karet*. Laporan Penelitian Universitas Sumatra Utara, Medan.
- Solichin, M., dan A. Anwar. (2003) *Pengaruh Penggumpalan Lateks, Perendaman dan Penyemprotan Bokar dengan Asap Cair terhadap Bau Bokar, Sifat Teknis dan Sifat Fisik Vulkanisat*, Jurnal Penelitian Karet Vol 21, Sembawa.
- Solichin, M., dan A. Anwar. (2006). *Deorub K Pembeku Lateks dan Pencegah Timbulnya Bau Busuk Karet*, Palembang.
- Wahyudi, Freddy. (2008) *Pengaruh Kombinasi Komposisi Bahan Olah Karet terhadap Tingkat Konsentrasi Plastisitas Indeks (PRI) Karet Remah SIR 20*, Laporan Penelitian Universitas Sumatra Utara, Medan.
- Yuwono, W. N. (2006) *Pupuk Fosfor*. Retrieved on 9 Oktober 2010 from <http://nasih.staff.ugm.ac.id/p/004%20p%20f.htm>.

## **PENGURANGAN TINGKAT KEBISINGAN DENGAN MENGUNAKAN SERAT SABUT KELAPA DIGUNAKAN SEBAGAI BAHAN PENYERAP BUNYI**

**Zulkarnain**

Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya  
Jl. Raya Prabumulih Km 32 Inderalaya Ogan Ilir  
Korespondensi Pembicara. Email: nain\_sae@yahoo.co.id

### **ABSTRACT**

Serat sabut kelapa mempunyai potensi dikembangkan sebagai bahan penyerap bunyi. Selain merupakan serat alami yang ketersediaannya melimpah, serat sabut kelapa mempunyai kekuatan tarik dan nilai keporousan yang baik. Karakteristik akustik yang umum diukur adalah nilai koefisien penyerapan bunyi dan konstanta perambatan bunyi. Untuk melakukan analisis karakteristik akustik bahan berpori dan berserat, umumnya banyak peneliti menggunakan model persamaan yang dikembangkan oleh Delany & Bazley (1970). Akan tetapi nilai keakuratan yang didapat belum memuaskan. Untuk itu, beberapa peneliti melakukan berbagai penelitian pada bahan-bahan berserat dan berpori. Garai & Pompoli (2005) dan Komatsu (2008) mengenalkan model persamaan baru untuk memperbaiki persamaan dari Delany & Bazley. Penelitian ini bertujuan menganalisa karakteristik akustik dari serat sabut kelapa dengan menggunakan model yang dikembangkan oleh Delany & Bazley (1970), Garai & Pompoli (2005) dan Komatsu (2008). Validitasi data analisis dilakukan dengan menguji sampel sabut serat kelapa. Sampel serat sabut kelapa disediakan dengan ketebalan masing-masing 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm dan 50 mm. Dari perbandingan data hasil analisa dan data pengujian didapatkan bahwa model persamaan yang dikembangkan Komatsu (2008) memberikan nilai yang baik pada range frekuensi rendah yaitu 50 Hz – 1500 Hz, sedangkan pada range frekuensi antara 1550 Hz – 4250 Hz memberikan nilai yang kurang memuaskan.

**Keywords** : Koefisien penyerapan bunyi, konstanta perambatan, serat sabut kelapa.

### **1. PENDAHULUAN**

Dewasa ini tingkat kebisingan telah menjadi permasalahan lingkungan yang cukup mengkhawatirkan. Tingkat kebisingan di kota-kota besar meningkat sebesar 1 dB setiap tahunnya. Bising adalah suara atau bunyi gaduh ( berdengung, berdesing) sehingga memekakkan telinga. Bising juga dapat dampak psikologis seperti menghilangkan konsentrasi bagi manusia. Bising psikologis berarti tidak dapat mendengar dan memahami sesuatu karena sedang tegang, mengantuk atau memikirkan hal lain.

Intensitas suara bising dapat dikontrol dengan menggunakan bahan penyerap akustik. Di pasaran, bahan penyerap akustik umumnya berupa bahan berpori dan busa berliang atau serat sintetik. Untuk meningkatkan nilai penyerapan bunyi di ferkuensi

rendah, bahan penyerap akustik dikombinasikan dengan pelat berlubang, sela udara dan bahan berpori.

Beberapa peneliti melakukan terobosan untuk mengembangkan bahan penyerap akustik baru menggunakan serat organik sebagai bahan penyerap bunyi. Yang et al (2003) meneliti paduan jerami padi dan partikel-partikel kayu menjadi papan komposit untuk menyerap kebisingan. Wassilief (1996) menggunakan partikel kayu sebagai bahan dasar. Beliau menunjukkan pengaruh tiga parameter ( ditambah dengan ketebalan sampel) resitivitas aliran udara, porositas, turtuositas yang menentukan nilai penyerapan bunyi. Untuk menyerap kebisingan pada frekuensi rendah harus menggunakan bahan yang lebih tebal. Ini akan menyebabkan peningkatan bobot bahan dan tempat untuk menginstalnya.

Dengan meningkatnya perhatian mengenai resiko kesehatan yang banyak dikaitkan dengan penyebaran serat-serat halus dari serat sintetik dan busa tersebut. Hal ini memberikan peluang kepada bahan penyerap bunyi yang berbahan dasar kayu atau serat organik alami untuk dikembangkan sebagai bahan penyerap bunyi untuk menggantikan serat sintetik ini (Wassilief 1996). Salah satu serat organik alami yang mempunyai potensi digunakan sebagai bahan penyerap bunyi adalah serat sabut kelapa.

Untuk melakukan analisis karakteristik akustik sebuah bahan penyerap akustik, nilai impedansi karakteristik dan angka gelombang merupakan faktor yang penting untuk diperhatikan. Model empiris Delany & Bazley (1970) merupakan salah satu model analisis yang sangat luas digunakan untuk memprediksi nilai impedansi karakteristik dan angka gelombang kompleks bahan penyerap akustik. Model analisis ini ialah model yang hanya memperhatikan rambatan udara dalam skala makro, sehingga rambatan udara dalam liang tidak diambil perhatian. Dalam penelitiannya Delany & Bazley (1970) melakukan banyak pengukuran nilai koefisien penyerapan dalam tabung impedansi, kemudian mengembangkan persamaan empiris yang dapat memprediksi nilai impedansi karakteristik dan angka gelombang.

Akan tetapi persamaan empiris Delany & Bazley mempunyai beberapa kekurangan. Kekurangan dari persamaan di atas ialah persamaan tersebut memberikan hasil yang kurang teliti pada frekuensi-frekuensi rendah dan tinggi. Oleh karena itu, beberapa penelitian telah dilakukan oleh Garai & Pompoli (2005) untuk memperbaiki persamaan galangan ciri dan nombor gelombang dari Delany & Bazley (1970). Dengan melakukan penelitian terhadap serat poliester, mereka memodifikasi persamaan Delany & Bazley dengan konstanta yang baru. Persamaan yang mereka perbaiki ini disebut *new impedance model* (NMI).

Begitu juga dengan penelitian yang dilakukan oleh Komatsu (2008) mendapatkan persamaan empiris baru yang dapat digunakan untuk menganalisis karakteristik akustik bahan berpori. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan persamaan-persamaan empiris yang telah dikembangkan, sehingga mendapatkan permodelan yang dapat digunakan untuk serat sabut kelapa.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Ciri akustik bahan penyerap berbeda satu dengan yang lainnya bergantung kepada jenis bahan. Bahan penyerap akustik umumnya dibedakan sebagai bahan berpori dan busa sintetik. Bahan berpori yang biasanya digunakan ialah serat gelas dan wol batu. Bahan-bahan ini mempunyai ciri penyerapan akustik yang tinggi dan tahan api. Akan tetapi serat-serat halus bahan tersebut dapat menyebabkan gangguan pernafasan dan



paru-paru manusia, apabila terhirup lagipula bahan tersebut umumnya berharga cukup mahal.

Dengan adanya kelemahan tersebut, beberapa peneliti melakukan beberapa penelitian untuk mendapatkan bahan pengganti yang berasal dari bahan serat organik. Yang et al (2003) telah mendapatkan dalam penelitiannya mengenai komposit jerami padi-serbuk kayu sebagai bahan penyerap bunyi. Nilai koefisien penyerapan bunyi yang didapatkan ialah lebih tinggi berbanding bahan bahan yang hanya berasaskan kayu. Khedari et al (2003 & 2004) mengembangkan fiberboard yang berasaskan sisa pertanian seperti kulit durian ( Durian zibethinus) dan sabut kelapa (cocos nucifera). Fibreboard yang berhasil dikembangkan mempunyai konduktivitas panas yang rendah tetapi mempunyai biaya produksi yang lebih rendah berbanding bahan komersil.

Wassilief (1996) membuat penelitian bahan penyerap bunyi yang menggunakan serat dan sebuk kayu ( Pinus Radiata ) sebagai bahan dasarnya. Koefisien penyerapan bunyi yang didapat menunjukkan penyerapan bunyi yang tinggi pada range frekuensi tinggi (1000 Hz – 4000 Hz). Zulkifli (2008) juga telah mengeksplorasi dan menilai penggunaan serat alami seperti pelepah kelapa sawit ( Elaeis guinnesis), sekam padi (oryza sativa) dan sabut kelapa (cocos nucifera) sebagai pengisi system komposit berasaskan matriks polimer dalam aplikasi kontrol kebisingan. Zulkifli et al (2008) telah melakukan penelitian dengan menggunakan metode ruang gema dan koefisien penyerapan bunyi memberikan nilai yang tinggi pada range frekuensi tinggi.

## 2.1 Karakteristik Impedansi Bahan Berpori

Untuk melakukan analisis karakteristik akustik sebuah bahan penyerap akustik, nilai impedansi karakteristik dan angka gelombang merupakan faktor yang penting untuk di ambil perhatian. Model analisis empiris Delany & Bazley merupakan salah satu model yang sangat luas digunakan untuk memprediksi nilai impedansi karakteristik akustik dan angka gelombang kompleks bahan berpori. Model ini adalah model analisis yang hanya memperhatikan rambatan udara dalam skala makro, sehingga rambatan udara dalam pori-poribahan tidak diambil perhatian. Dalam penelitiannya Delany & Bazley (1970) melakukan banyak pengukuran nilai koefisien penyerapan dalam tabung impedansi, kemudian mengembang sebuah persamaan empiris yang dapat memprediksi nilai impedansi karakteristik dan angka gelombang. Nilai impedansi karakteristik  $Z_c$  diberikan oleh persamaan.

$$Z_c = \rho_0 c_0 \left( 1 + 0.0571 X^{-0.754} - j0.087 X^{-0.732} \right) \quad (1)$$

Sedangkan angka gelombang kompleks,  $k$ , diberikan oleh persamaan

$$k = \frac{\omega}{c_0} \left( 1 + 0.0978 X^{-0.700} - j0.189 X^{-0.595} \right) \quad (2)$$

Dimana  $\rho_0$  dan  $c_0$  adalah nilai massa jenis dan kecepatan udara, sedangkan  $\omega$  adalah frekuensi sudut. Nilai  $X$  diberikan oleh persamaan

$$X = \frac{\rho_0 f}{\sigma} \quad (3)$$

$f$  adalah frekuensi gelombang dan  $\sigma$  adalah rintangan aliran udara bahan penyerap akustik.

Kekurangan dari persamaan di atas ialah persamaan tersebut, memberikan hasil yang kurang teliti pada frekuensi yang rendah dan tinggi. Oleh karena itu, satu

penelitian telah dilakukan oleh Garai & Pompoli (2005) untuk memperbaiki persamaan impedansi karakteristik dan angka gelombang dari Delany & Bazley (persamaan 1 dan 2). Dengan melakukan penelitian menggunakan serat poliester, mereka memodifikasi persamaan 1 dan 2 dengan konstanta yang baru. Persamaan yang mereka modifikasi ini disebut *new impedance model* (NMI).

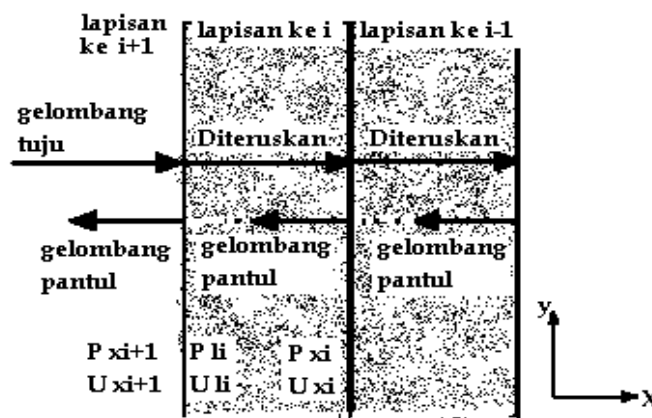
$$Z_c = \rho_0 c_0 \left( 1 + 0.078 X^{-0.754} - j0.074 X^{-0.660} \right) \quad (4)$$

Sedangkan  $k = \frac{\omega}{c_0} \left( 1 + 0.159 X^{-0.571} - j0.121 X^{-0.530} \right)$  Komatsu (2008) melakukan penelitian untuk 15 jenis bahan penyerap berbahan dasar serat gelas dan 9 jenis bahan penyerap berbahan dasar rock wool. Komatsu (2008) memperkenalkan persamaan baru untuk memperbaiki persamaan Delany & Bazley yaitu:

$$Z_c = \rho_0 c_0 \left\{ 1 + 0.00027 \left( 2 - \log \frac{f}{\sigma} \right)^{6.2} - j0.0047 \left( 2 - \log \frac{f}{\sigma} \right)^{4.1} \right\} \quad (5)$$

$$k = \frac{\omega}{c_0} \left\{ 0.0069 \left( 2 - \log \frac{f}{\sigma} \right)^{4.1} + j \left[ 1 + 0.0004 \left( 2 - \log \frac{f}{\sigma} \right)^{6.2} \right] \right\}$$

Kaedah matrik pindah merupakan kaedah yang fleksibel untuk menentukan nilai koefisien penyerapan. Kaedah ini dapat digunakan untuk menentukan nilai impedansi permukaan baik untuk panel penyerap dengan lapisan tunggal maupun banyak lapisan. Gambar 1 memperlihatkan pemodelan dari mekanisme perambatan gelombang bunyi yang merambat pada beberapa bahan.



**Gambar 1** Mekanisme perambatan gelombang bunyi pada bahan

Gelombang bunyi yang sampai ke panel penyerap adalah gelombang tuju normal. Pada setiap permukaan bahan tekanan dan kecepatan udara adalah kontinu. Sehingga persamaan tekanan dan kecepatan udara di atas dan di bawah lapisan dapat dinyatakan dengan matriks ialah (Cox & D'Antonio 2004):

$$\begin{Bmatrix} P_{li} \\ u_{li} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_{xi+1} \\ u_{xi+1} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \cos(k_{xi} d_i) & j \frac{\omega \rho_i}{k_{xi}} \sin(k_{xi} d_i) \\ j \frac{k_{xi}}{\omega \rho_i} \sin(k_{xi} d_i) & \cos(k_{xi} d_i) \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} P_{xi} \\ u_{xi} \end{Bmatrix} \quad (6)$$

Dimana  $p_{xi}$  dan  $u_{xi}$  adalah tekanan dan kecepatan udara pada lapisan bawah yang ke- $i$ ,  $p_{xi+1}$  dan  $u_{xi+1}$  adalah tekanan dan kecepatan udara pada lapisan bawah yang ke  $(i+1)$ , sedangkan  $p_{li}$  dan  $u_{li}$  adalah tekanan dan kecepatan udara pada lapisan atas yang ke- $i$ ,  $d_i$  ialah ketebalan lapisan,  $\rho_i$  ialah massa jenis lapisan ke- $i$  dan  $k_{xi}$  adalah angka gelombang pada lapisan yang ke- $i$ (Cox & D'Antonio 2004):

$$z_{si+1} = \frac{-jz_{si}z_i \cot(k_{xi}d_i) + z_i^2}{z_{si} - jz_i \cot(k_{xi}d_i)} \quad (7)$$

Nilai pekali penyerapan bunyi dan impedansi permukaan sampel diperoleh dengan persamaan

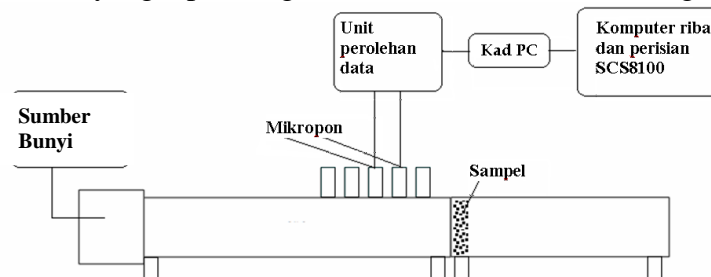
$$\frac{Z_1}{\rho c} = \frac{1+R}{1-R} \quad (8)$$

$$\alpha = 1 - |R|^2 \quad (9)$$

dimana R adalah nilai koefisien pemantulan gelombang bunyi.

### 3. BAHAN DAN ALAT

Penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman SciLab 5.2 untuk melakukan simulasi pemodelan persamaan (1) - (7). Model-model yang diperkenalkan oleh Delany & Bazley (1970), Garai & Pompoli (2005) dan Komatsu (2008). Sebagai parameter utama untuk mendapatkan nilai koefisien penyerapan bunyi, diperlukan nilai airflow resistivity dari bahan penyerap. Untuk keperluan tersebut, ukuran diameter serat sabut kelapa di ukur dibawah mikroskop dengan pembesaran 50X. Selanjutnya nilai airflow resistivity dihitung dengan menggunakan persamaan yang diperkenalkan oleh Garai & Pompoli (2005). Nilai koefisien penyerapan bunyi dihitung dengan frekuensi berkisar antara 50 Hz – 4250 Hz. Untuk validasi data yang didapat melalui persamaan-persamaan (1) – (7) dilakukan beberapa pengukuran dengan beberapa sampel serat sabut kelapa. Sampel disediakan dengan ketebalan 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm dan 50 mm. Pengukuran nilai koefisien penyerapan bunyi serat sabut kelapa dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengukuran di laboratorium. Pengukuran dengan metode tabung impedansi menggunakan gelombang bunyi bidang (1 dimensi) yang sampai kepada bahan, oleh itu koefisien penyerapan yang diperoleh disebut dengan pekali penyerapan normal (*Noise Absorption Coefficient*, NAC) (Lee & Chen 2001). Metode tabung impedansi menggunakan sampel yang kecil dengan diameter sampel berukuran 28 mm dan 100 mm. Dalam metode ini, sumber bunyi ditempatkan pada salah satu ujung dari tabung dan sampel dibuat dengan ukuran yang tepat dengan ukuran diameter dari tabung (gambar 2).



**Gambar 2** Tabung impedansi untuk mengukur koefisien penyerapan bunyi

Pengukuran dengan tabung impedansi ini digunakan sebagai nilai pembanding untuk perhitungan analisis dengan menggunakan persamaan empiris yang telah dikembangkan oleh Delany & Bazley (1970), Pompoli & Garai (2005) dan Komatsu (2008).

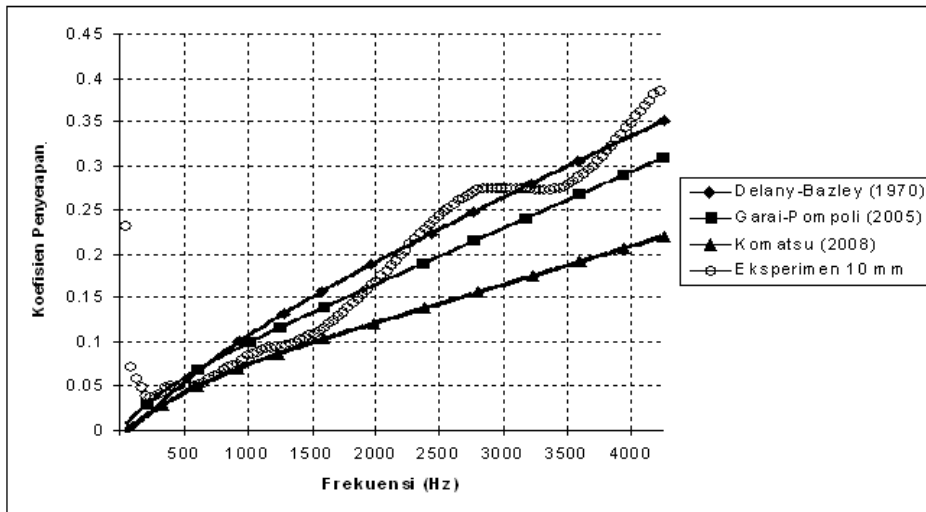


**Gambar 3** Foto sampel serat sabut kelapa dibawah mikroskop dengan pembesaran 50X

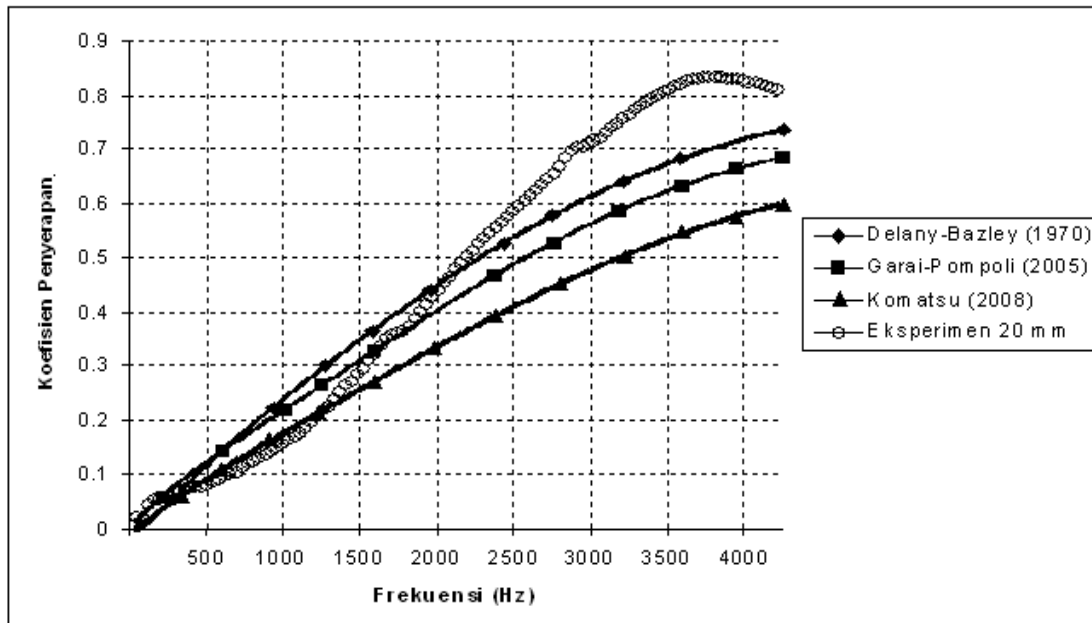
#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 menunjukkan hasil pembesaran 50X sampel serat sabut kelapa di bawah mikroskop. Dari pengukuran di bawah mikroskop didapatkan besar serat sabut kelapa berkisar antara 0.30 mm sampai dengan 0.38 mm. Besar diameter serat sabut kelapa ini kemudian dimasukkan kedalam persamaan (Rozli, 2008; Rozli, 2010; Fouladi, 2009) sehingga diperoleh nilai airflow resistivity sebesar 4177 rayls/m.

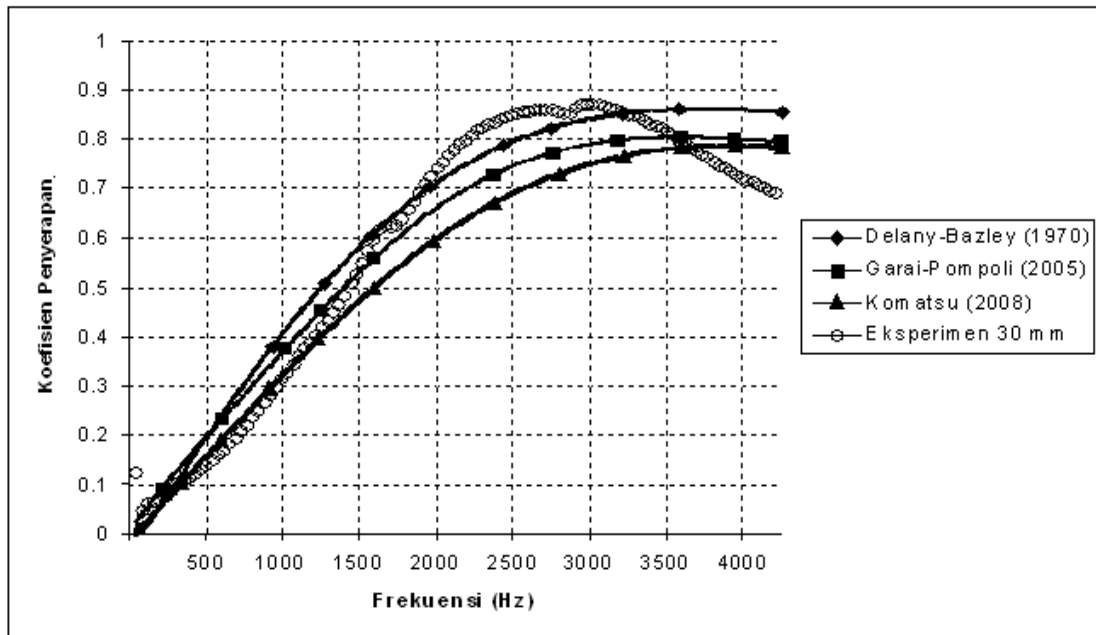
Gambar 4 – 8 merupakan hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan-persamaan yang dikenalkan oleh Delany & Bazley (1970), Garai & Pompoli (2005) dan Komatsu (2008) dan hasil dari pengujian dengan sampel sabut kelapa dengan beberapa ketebalan. Simulasi untuk koefisien penyerapan bunyi serat sabut kelapa dihitung menggunakan metode matriks transfer (persamaan 6 dan 7). Metode ini dapat juga digunakan untuk menghitung prestasi akustik gabungan beberapa lapisan bahan akustik yang berbeda. Perhitungan dengan metode ini dilakukan pada range frekuensi 50 Hz – 4250 Hz.



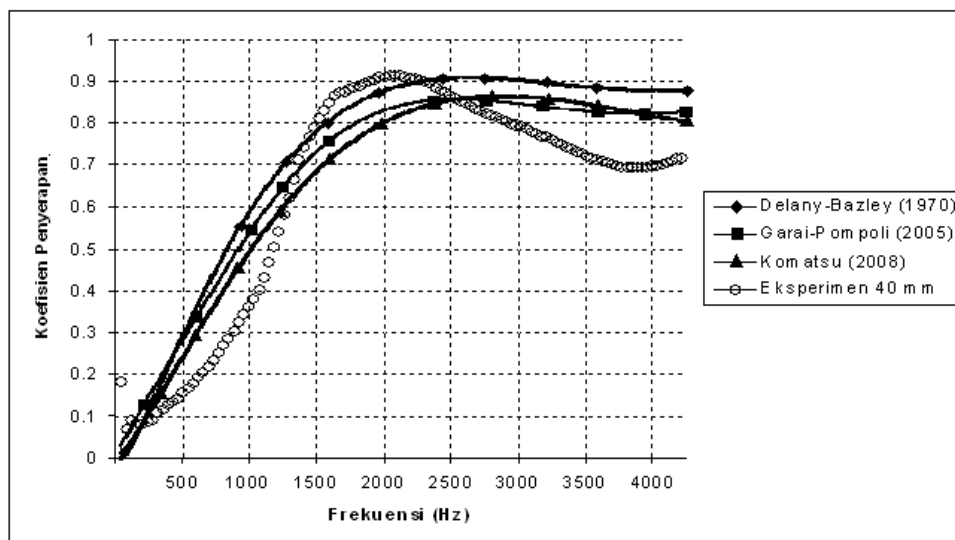
**Gambar 4** Hasil perbandingan analisis nilai koefisien penyerapan bunyi sampel serat sabut kelapa ketebalan 10 mm dengan eksperimen



**Gambar 5** Hasil perbandingan analisis nilai koefisien penyerapan bunyi sampel serat sabut kelapa ketebalan 20 mm dengan eksperimen

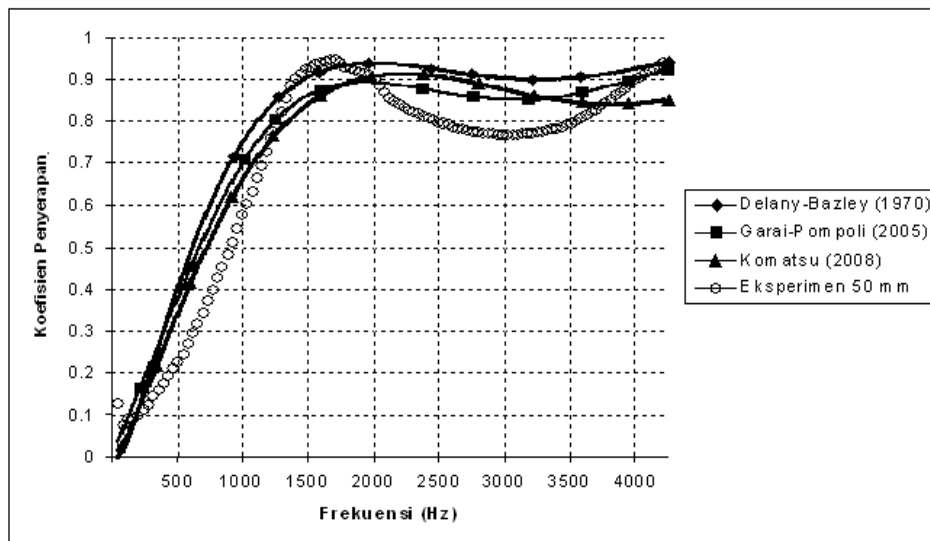


**Gambar 6** Hasil perbandingan analisis nilai koefisien penyerapan bunyi sampel serat sabut kelapa ketebalan 30 mm dengan eksperimen



**Gambar 7** Hasil perbandingan analisis nilai koefisien penyerapan bunyi sampel serat sabut kelapa ketebalan 40 mm dengan eksperimen





**Gambar 8** Hasil perbandingan analisis nilai koefisien penyerapan bunyi sampel serat sabut kelapa ketebalan 50 mm dengan eksperimen

Dari pengujian didapatkan bahwa nilai koefisien penyerapan bunyi terbesar sampel sabut kelapa dengan ketebalan 10 mm adalah 0.39 (gambar 4). Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa analisa nilai koefisien penyerapan bunyi dengan model Komatsu (2008) lebih mendekati nilai koefisien penyerapan bunyi hasil pengujian dibandingkan dengan model Delany & Bazley (1970) dan Garai & Pompoli pada range frekuensi 115 Hz sampai 1500 Hz, akan tetapi pada julat frekuensi diatas 1500 Hz menunjukkan nilai yang kurang memuaskan. Penyimpangan analisa nilai koefisien penyerapan bunyi dengan model Delany & Bazley terjadi oleh sebab model ini memberi batasan bahwa nilai porositas bahan penyerap mendekati nilai satu, tambah pula model berlaku pada batasan nilai  $0.01 < X < 0.1$ , dan batasan pengukuran nilai airflow resistivity berkisar pada nilai  $1,000 < \sigma < 50,000$  MKS rayl/m ( Delany & Bazley, 1970). Dari hasil pengujian pada range frekuensi dibawah 115 Hz menunjukkan nilai koefisien penyerapan yang membesar secara mendadak, hal ini disebabkan karena terjadinya distorsi gelombang bunyi yang mengenai sisi sampel.

Untuk pengujian sampel-sampel dengan ketebalan 20 mm, 30 mm (gambar 5 & 6) menunjukkan hal yang sama yaitu analisa nilai koefisien penyerapan bunyi dengan model Komatsu (2008) lebih mendekati nilai koefisien penyerapan bunyi hasil pengujian dibandingkan dengan model Delany & Bazley (1970) dan Garai & Pompoli pada range frekuensi 115 Hz sampai 1500 Hz.

Akan tetapi untuk ketebalan sampel 40 mm dan 50 mm (gambar 7 & 8) pada range frekuensi diatas 50 Hz -1500 Hz menunjukkan nilai yang kurang memuaskan untuk semua model yang digunakan. Jika dibandingkan dengan model Delany & Bazley dan Garai & Pompoli, model Komatsu (2008) menunjukkan nilai yang lebih mendekati nilai koefisien penyerapan bunyi hasil pengujian 115 Hz sampai 1500 Hz. Penyimpangan analisa nilai koefisien penyerapan bunyi tersebut terjadi karena masing masing model ini memberi batasan bahwa nilai porositas bahan penyerap mendekati nilai satu, tambah pula jenis sampel yang digunakan mempunyai nilai diameter serat yang seragam. Dari hasil pengujian pada range frekuensi dibawah 115 Hz menunjukkan nilai koefisien penyerapan yang membesar secara mendadak, hal ini disebabkan karena terjadinya distorsi gelombang bunyi yang mengenai sisi sampel.

## 5. KESIMPULAN

Penelitian ini telah melakukan perbandingan nilai koefisien penyerapan bunyi hasil analisa dengan persamaan-persamaan yang telah diperkenalkan baru-baru ini. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa persamaan model yang dikembangkan oleh Komatsu (2008) menunjukkan hasil yang memuaskan pada range frekuensi 115 Hz – 1500 Hz untuk ketebalan sampel serat sabut kelapa 10 mm, 20 mm dan 30 mm. Akan tetapi untuk sampel serat sabut kelapa dengan ketebalan yang lebih besar menunjukkan nilai penyimpangan yang cukup besar. Untuk itu dilakukan penelitian yang lebih mendalam untuk mendapatkan persamaan yang lebih sesuai untuk memprediksi karakteristik akustik bahan penyerap bunyi dengan bahan dasar serat sabut kelapa.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Delany, M. E. & Bazley, E. N. 1970. Acoustical properties of fibrous absorbent materials. *Applied Acoustics* 3(2): 105-116.
- Fouladi, M, H, Nor, M, J, M, Md Ayub, **Zukarnain Ali Lemam**. 2009. Utilization of coir fiber in multilayer acoustic absorption panel. *Applied Acoustics* 71: 241- 249.
- Khedari, Joseph., Charoenvai, Sarocha & Hirunlabh, Jongjit. 2003. New insulating particleboards from durian peel and coconut coir. *Building and Environment* 38: 435–441.
- Khedari, Joseph., Nankongnab, Noppanun., Hirunlab, Jongjit & Teekasap, Sombat. 2004. New low-cost insulation particleboards from mixture of durian peel and coconut coir. *Building and Environment* 39: 59–65.
- Komatsu, T. 2008. Improvement of the Delany-Bazley and Miki models for fibrous sound absorbing materials. *Acoust. Sci. & Tech.* 29(2).
- Lee, F. –C. & W.-H. Chen. 2001. Acoustic transmission analysis of multi-layer absorbers. *Journal of Sound and Vibration* 4: 621–634.
- Miki, Y. 1990. Acoustical properties of porous materials—Generalization of empirical models. *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, 11, 25-28.
- Sakagami, K., Kiyama, M., Morimoto, M & Takahashi, D. 1996. Sound absorption of a cavity-backed membrane: A step towards design method for membrane-type absorbers. *Applied Acoustics* 49: 237-247.
- Wassilieff. C. 1996, Sound absorption of wood-based materials. *Applied Acoustics* 48: 339–356.
- Yang, Han-Seung., Kim, Dae-Jun., & Kim, Hyun-Joong. 2003. Rice straw-wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials. *Bioresource Technology* 86: 117–121.
- Zent, Andrea & Long, Jhon. T. 2007. Automotive sound absorbing material survey results. SAE international
- Zulkifli, R. Mohd Jailani Mohd Nor, Ahmad Rasdan Ismail, Mohd Zaki Nuawi & Mohd Faizal Mat Tahir. 2008. Acoustic properties of multi-layer coir fibres sound absorption panel. *Journal Applied Sciences* 8: 3709-3714.
- Zulkifli, R. **Zukarnain**, Mohd Jailani Mohd Nor. 2010. Noise Control Using Coconut Coir Fiber Sound Absorber with Porous Layer Backing and Perforated Panel. *American Journal of Applied Sciences*. 7(2): 260-264.

## PEMBUATAN ALAT BANTU PENGUKURAN GEOMETRI DAN TOLERANSI PADA COORDINATE MEASURING MACHINE

Al Antoni Akhmad<sup>1</sup>, Amrifan S.M<sup>1</sup>, Zulkarnain<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya Km.32, Inderalaya

<sup>2</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya Km.32, Inderalaya  
Email: alantoni78@yahoo.com

### ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang bagaimana prosedur dan proses pembuatan alat bantu untuk mesin CMM (*Coordinate Measuring Machine*). Proses pembuatan alat bantu tersebut menggunakan mesin sekrup, mesin bubut, mesin bor dan mesin frais. Bahan yang digunakan adalah aluminium alloy 5754. Alat bantu ini dibuat untuk membantu pengukuran dimensi *connecting rod* dan *piston* sepeda motor tetapi juga dirancang agar dapat digunakan untuk alat praktikum pengukuran geometri dan toleransi berbagai jenis dimensi seperti panjang, lebar, tinggi, diameter, *champer*, *fillet*, jarak dari pusat ke pusat lingkaran dan lain-lain di mesin CMM.

**Keywords:** Alat bantu, CMM (*Coordinate Measuring Machine*), Geometri dan toleransi,

### 1. PENDAHULUAN

Dalam pembuatan produk tidak hanya mementingkan bisa tidaknya produk itu di buat tetapi juga dituntut agar produk yang dibuat bermutu dan berkualitas. Semakin berkembangnya teknologi permesinan, semakin membutuhkan komponen mesin yang presisi. Untuk membuat produk yang presisi dibutuhkan mesin perkakas yang presisi juga[5]. Seperti penggunaan mesin perkakas nonkonvensional yang sering digunakan untuk memproduksi suatu benda atau alat.

Mesin perkakas nonkonvensional merupakan mesin yang sering digunakan untuk memproduksi suatu produk dengan ketelitian dan keakuratan yang tinggi yang dapat dilakukan dengan menggunakan dua atau lebih mesin perkakas yang sejenis. Pemeriksaan kualitas produk dilakukan dengan menggunakan sejumlah contoh (*sample*), kemudian diukur apakah sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan atau tidak. Pengukuran produk dilakukan dengan menggunakan alat ukur yang sesuai dengan jenis dimensi ukur. Hasil pengukuran kemudian digunakan sebagai masukan data untuk menentukan kualitas produk yang mencerminkan ketelitian mesin perkakas serta alat ukur yang digunakan.

Pada suatu pabrik manufaktur, pengaruh proses produksi terhadap kualitas produk adalah faktor yang harus diperhatikan. Seperti diketahui proses pemesinan akan menyebabkan keausan komponen mesin dan mata pahat, hal ini selanjutnya akan mempengaruhi produk yang dihasilkan. Perencanaan yang baik dilakukan dengan mempertimbangkan faktor – faktor tersebut dan dikerjakan dengan suatu metode yang

tepat[8]. Salah satu mesin yang dapat digunakan untuk melihat ketelitian geometri dan toleransi suatu hasil produksi yaitu dengan menggunakan mesin CMM (*Coordinate Measuring Machine*).

Dengan mesin CMM pengukuran dimensi dan toleransi dapat dilakukan untuk berbagai macam bentuk benda kerja. Pada proses pengukuran dengan menggunakan mesin CMM ini benda kerja atau produk yang diukur harus dalam keadaan diam, untuk itu dibutuhkan alat bantu untuk memudahkan memegang benda kerja pada meja kerja.

## 2. CMM (*Coordinate Measuring Machine*)

*Coordinate Measuring Machine* adalah sebuah alat pengukur multi fungsi berkecepatan tinggi yang menghasilkan akurasi dan efisiensi pengukuran yang tinggi. Pada prinsipnya CMM adalah kebalikan dari CNC. Pada CNC koordinat yang dimasukkan menghasilkan gerakan pahat pada sumbu X, Y dan Z. Sedangkan pada CMM kontak antara probe dengan benda kerja menghasilkan kordinat. Selain itu jika pada mesin CNC menggunakan bantalan peluru bersirkulasi (*circulated ball bearing*) maka pada mesin CMM menggunakan batalan udara (*air pad bearing*) sehingga gerakannya sangat halus.

Untuk menjamin keakuratan konstruksi CMM dibuat sangat kaku (*rigid*). Salah satu caranya dengan menggunakan granit sebagai meja atau bidang acuan. [8]



Gambar 1. Mesin CMM *Thome Präzision GmbH*

CMM dapat digunakan untuk mengukur benda tiga dimensi (3D), dimensi yang diukur adalah ruang yang memiliki panjang, lebar dan tinggi, yang diterjemahkan ke dalam system koordinat kartesian adalah X, Y dan Z. Kemudian data koordinat yang terukur oleh CMM dikonversikan menjadi data pengukuran seperti posisi, diameter, jarak, sudut. Secara sederhana cara kerja CMM adalah membaca perubahan posisi dari suatu titik origin acuan nol suatu part yang diukur atau terhadap origin mesin itu sendiri.

Perubahan posisi tersebut kemudian di rekam dan diproses menjadi data hasil pengukuran menggunakan software yang disertakan dalam CMM. Pengenalan Komponen3D CMM. CMM terdiri dari beberapa bagian utama yang saling terkait dan mempengaruhi akurasi mesin tersebut, bagian-bagian tersebut adalah: [11]

1. *Working Table*, merupakan tempat meletakkan *part* yang akan diukur.
2. *Support*, merupakan kaki penopang seluruh beban CMM.
3. *Air bearing*, digunakan sebagai landasan untuk bergerak ke semua axis.

4. *Axis Guideways*, adalah lintasan untuk pergerakan semua axis.
5. Motor penggerak.
6. *Joystick*, untuk memudahkan operator mengoperasikan mesin.
7. *Controller*.
8. *Probe Head*, berfungsi sebagai *trigger* bagi CMM untuk merekam posisi koordinat *part* yang disentuhnya (*touch point*).
9. Sensor-sensor.
10. *Linear Scale*. Unit ini sebagai *transducer* untuk merubah perubahan posisi menjadi arus atau tegangan yang digunakan untuk membaca koordinat X, Y dan Z.
11. *Software*.

### 3. PERALATAN DAN BAHAN

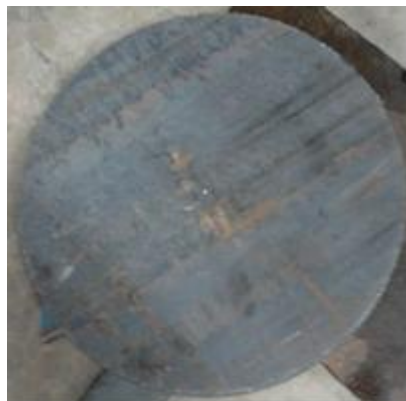
Proses pembuatan alat bantu menggunakan beberapa peralatan permesinan, diantaranya sebagai berikut :

1. Mesin sekrap
2. Mesin bubut
3. Mesin frais vertikal
4. Mesin bor.
5. Mesin polishing
6. Mata bor Ø 13, Ø 10, Ø 8, Ø 6
7. Tap M 10, M 8
8. Jangka sorong, meteran dan lain-lain.

Bahan yang di gunakan dalam penelitian ini yaitu aluminium *alloy* 5754, tebal 16 mm, diameter 500 mm, dengan komposisi bahan seperti pada table 1.

Tabel 1. Komposisi aluminium alloy 5754

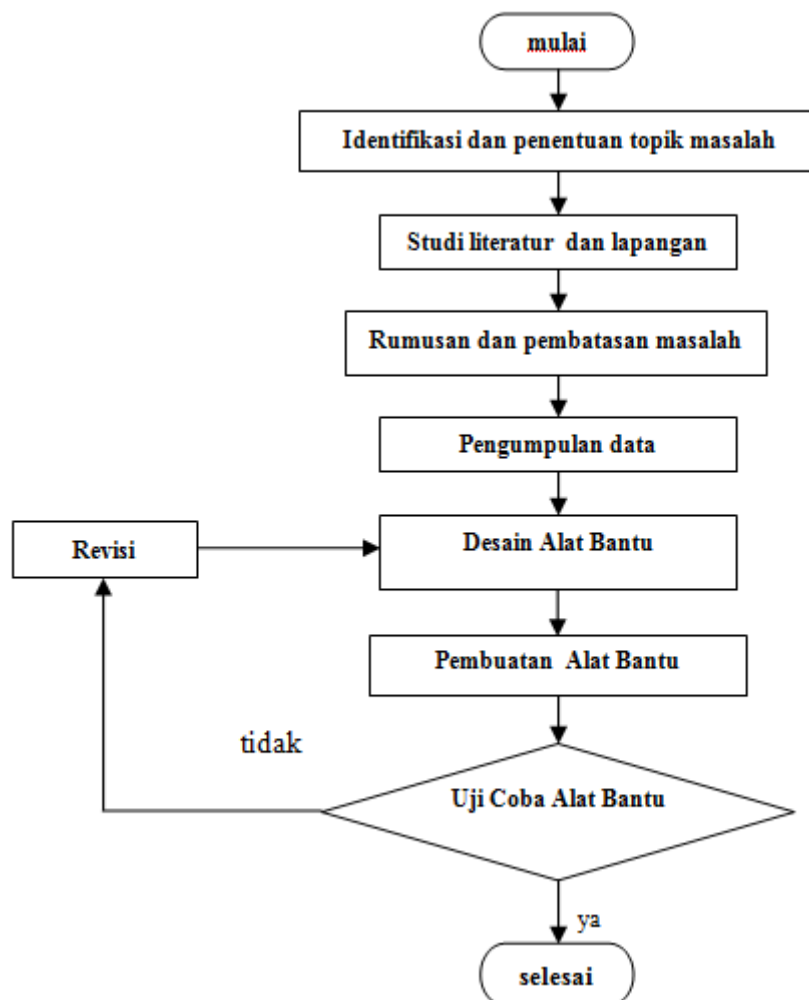
No.	Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
			$U_{AK} \sim 332$	
1.	Si	%	0,40	AAS
2.	Mg	%	2,60	AAS
3.	Fe	%	0,42	AAS
4.	Cr	%	0,33	AAS
5.	Zn	%	0,21	AAS



Gambar 2. Bahan plat aluminium

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mempermudah proses penelitian perlu dibuat diagram alir penelitian terlebih dahulu, tujuannya adalah membuat jalannya penelitian lebih terencana dan terarah. Adapun diagram alir penelitian ini adalah sebagai berikut :



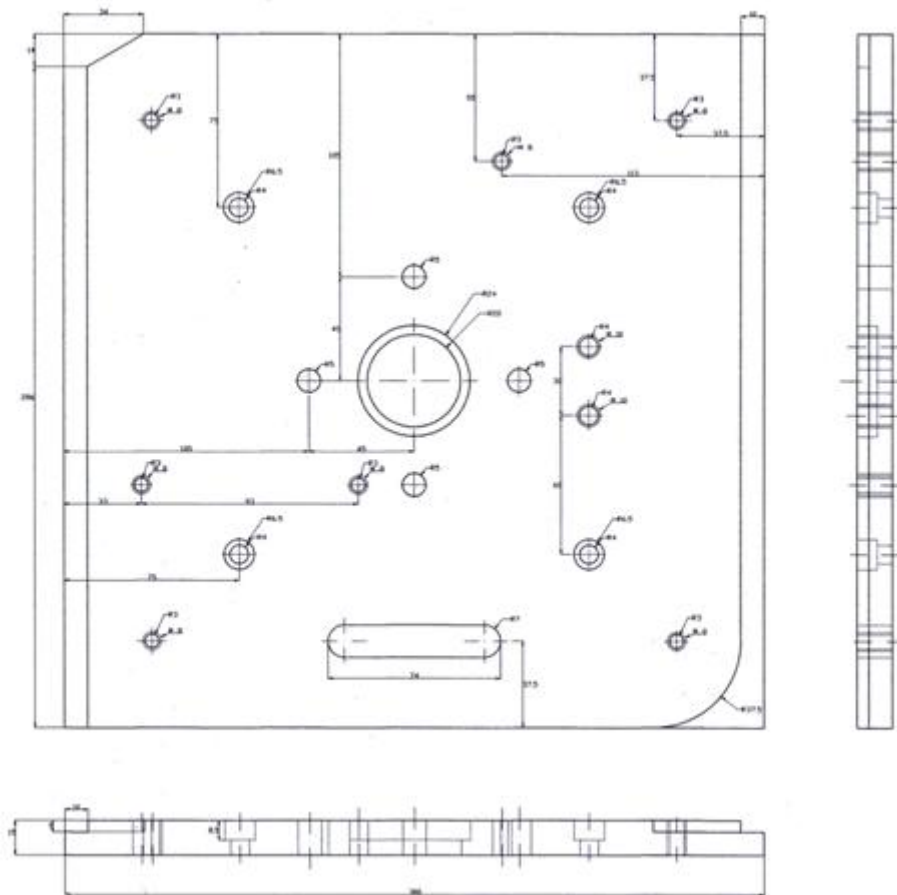
Gambar 3. Diagram alir perancangan

Setelah membuat diagram alir langkah selanjutnya adalah membuat desain alat bantu, untuk penelitian ini desain alat bantu yang dibuat dapat dilihat seperti pada gambar 4. Desain dibuat menggunakan perangkat lunak AutoCAD.

##### 4.1. PROSES PEMBUATAN

Proses pembuatan alat bantu dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap, dimulai dengan pemotongan plat aluminium yang berbentuk lingkaran menjadi berbentuk bujur sangkar dengan menggunakan mesin sekrup. Kemudian diteruskan dengan pembuatan beberapa lubang dengan mesin bor, lalu pelebaran lubang dibagian center dengan mesin bubut, selanjutnya pembuatan ulir dengan cara di tap, terakhir baru difinishing dengan cara di poles dengan mesin polishing.





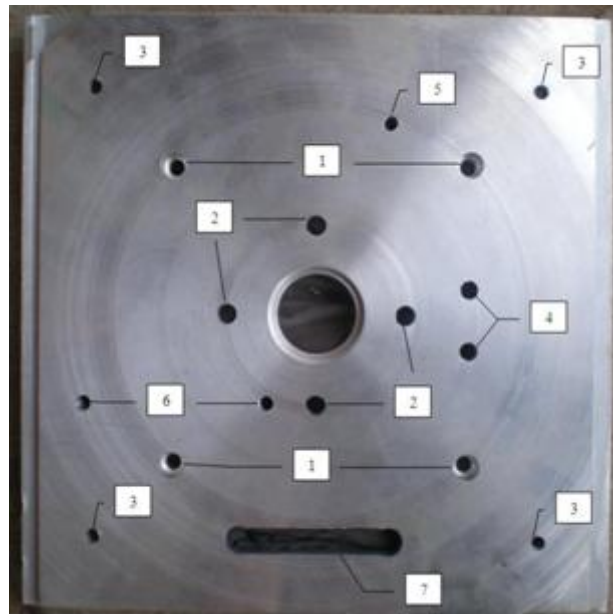
Gambar 4. Desain Alat Bantu



Gambar 5. Pemotongan plat dengan sekrap



Gambar 6. Proses pembubutan lubang center



Gambar 7. Letak titik pengeboran dan pengetapan



a

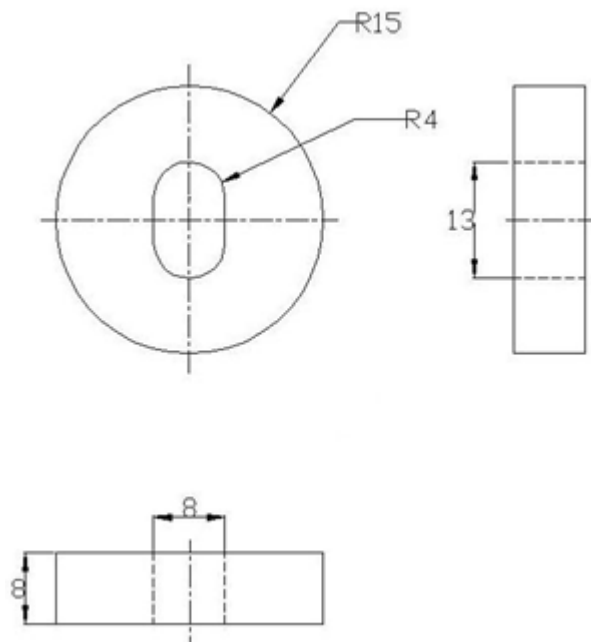


b

Gambar 8. (a)Proses pengeboran (b)proses pengetapan

**Proses pembuatan alat bantu pengunci connecting rod saat pengukuran (*fixture*)**

Proses pembuatan *fixture* menggunakan mesin bubut, mesin bor dan frais vertical. Desain *fixture* dapat dilihat pada gambar 9.



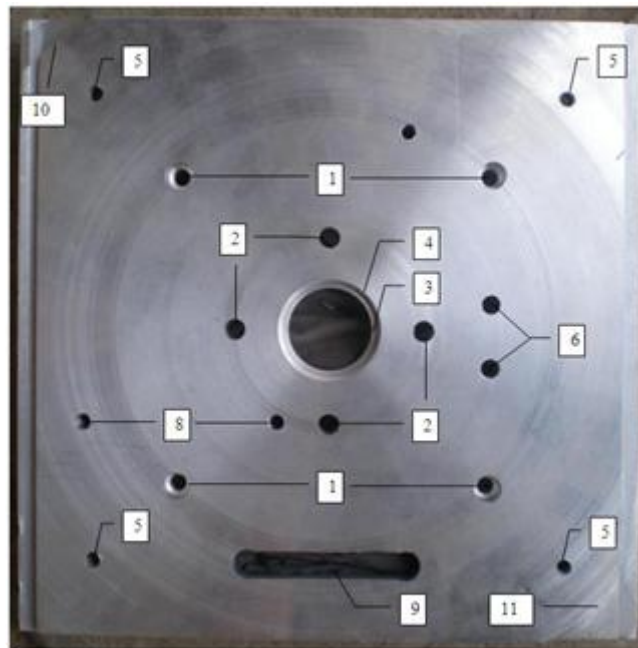
Gambar 9. Rancangan 2D fixture



Gambar 10. Proses bubut *fixture*

#### IV.2. FUNGSI - FUNGSI LUBANG, *CHAMFER*, DAN *FILLET* PADA *JIG*

Setiap bentuk yang ada pada alat bantu yang berupa; lubang, *chamfer* dan *fillet* yang dibuat mempunyai suatu fungsi dan tujuan tujuan yang berbeda.beda. bentuk-bentuk tersebut sangat berguna saat pengukuran dan praktikum. Lebih jelasnya dapat dibaca pada uraian di halaman berikut dan seterusnya.



Gambar 11. Letak nomor posisi lubang, *Fillet* dan *chamfer* tampak atas

Fungsi setiap lubang pada alat bantu yang dibuat seperti pada gambar 11 dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Lubang No.1  
Lubang ini dibuat bertingkat digunakan untuk meletakkan baut tanam dan mengunci alat bantu pada meja granit mesin CMM.
2. Lubang No.2,3 dan 4  
Lubang no.2, 3 dan 4 digunakan untuk bahan praktikum pengukuran diameter dalam, jarak dari pusat ke pusat lingkaran dan menentukan posisi center lingkaran untuk praktikum mesin CMM.
3. Lubang ulir No.5  
Lubang ini digunakan untuk baut pijakan kaki alat.
4. Lubang ulir No.6  
Lubang digunakan sebagai untuk menempatkan pencekam piston saat pengukuran.
5. Lubang ulir No. 7  
Lubang ini digunakan sebagai untuk mencekam plat kampas rem motor saat pengukuran.
6. Lubang ulir No.8  
Lubang ini digunakan sebagai untuk mengunci connecting rod sepeda saat pengukuran.
7. Lubang No. 9  
Lubang ini digunakan sebagai contoh bahan praktikum mesin CMM.
8. *Fillet* (no 10)  
*Fillet* digunakan untuk pengukuran kemiringan sudut.
9. *Chamfer* (no 11)  
*Chamfer* digunakan untuk pengukuran radius.



Gambar 12. Alat Bantu terpasang di meja CMM



Gambar 13. Alat bantu terpasang di meja CMM dilengkapi dengan *connecting rod*

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses pengerjaan alat bantu ini menggunakan beberapa mesin yaitu diantaranya mesin sekrup, mesin bubut, mesin frais vertikal, mesin bor dan mesin poles.
2. Alat bantu yang di buat dapat digunakan untuk bahan uji praktikum pada mesin CMM.

### 5.2. Saran

Sebagai penutup dari penelitian ini, peneliti memberikan beberapa saran yang mungkin berguna bagi pembaca agar dapat mengembangkan alat ini menjadi lebih baik. Saran-saran tersebut diantaranya :

1. Untuk memudahkan proses pembuatan alat bantu, sebaiknya dibuat terlebih dahulu diagram alir proses pembuatan sesempurna mungkin.
2. Pemilihan material haruslah tepat agar mudah di pabrikan dan hasilnya menjadi lebih sempurna.

- Gunakan disain gambar yang benar agar *alat bantu* yang dibuat tepat dan sesuai dengan yang diinginkan.
- Dimasa yang akan datang diharapkan proses pembuatan *alat bantu* menggunakan mesin CNC (*computer numerical control*) agar hasilnya lebih teliti dan lebih akurat.

## 6. REFERENCES

- Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Kamus Besar Bahasa Indonesia. Balai Pustaka. Jakarta 2001.
- Sato G. Takeshi, Hartanto N. Sugiarto. Menggambar Mesin Menurut Standar I.S.O. Pradnya Paramita. Jakarta 1981.
- Ariati Nining. Modul Perkuliahan Analisa Sistem Informasi Fasilkom Universitas Indo Global Mandiri. Palembang.
- Asyari Daryus Diktat Kuliah Proses Produksi II Universitas Darma Persada. Jakarta 2005.
- Herlambang Mario Agung, Tugas Akhir “Perancangan Fixture untuk Benda Kerja Round dan Square pada Mesin Wire Cut” ITS, Surabaya 2004.
- Ansyori Muhammad Mey Ade, Laporan praktikum Proses produksi praktikum permesinan. Jember 2011
- Aldinata Yesha N.G dkk, Laporan praktikum Proses produksi Universitas Mulawarman, Samarinda 2010.
- De Silva GMS, "Basic Metrology for ISO 9000 Certification". Buttenworth Heinemann 2002.
- Dra.soegeng Witjahjo, ST, “Modul Autocad” Program kerjasama pendidikan dan pelatihan kerja pemerintah daerah kabupaten muara enim dengan politeknik negeri sriwijaya. Palembang 2006.
- <http://www.scribd.com/doc/54123444/BAB-II-Landasan-Teori> 23 mei 2011
- Metrologi, elektronika dan komputer  
<http://daniw24.blogspot.com/2009/12/coordinate-measuring-machine-3d-cmm.html> di download tanggal 23 mei 2011.
- Mesin sekrap [http://romadhonssite.blogspot.com/2009/04/mesin-skrap\\_17.html](http://romadhonssite.blogspot.com/2009/04/mesin-skrap_17.html) di download tanggal 9 juni 2011.
- Bagaimana-cara-kerja-mesin-bubut  
<http://arunals.wordpress.com/2010/01/11/bagaimana-cara-kerja-mesin-bubut/> di download tanggal 8 juli 2011.
- Mengoperasikan bor duduk <http://amirudin99.blogspot.com/2010/03/mengoperasikan-bor-duduk.html> di download tanggal 9 juni 2011.
- Berbagai jenis mata bor dan fungsinya  
<http://www.tentangkayu.com/2008/03/berbagai-jenis-mata-borfungsinya.html> di download tanggal 1 juli 2011.
- Perbedaan shell end milling cutter (SMEC) dan end milling cutter  
<http://herliyantoadi.blogspot.com/2011/02/perbedaan-shell-end-mill-cutter-semc.html> di download tanggal 1 juli 2011.
- Membuat ulir dalam dan ulir luar dengan tap dan sney (part1)  
<https://zwingly.wordpress.com/tag/membuat-ulir-dengan-tap/> di download tanggal 5 juli 2011.



## STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENGGUNAAN CATALYTIC CONVERTER TERHADAP EMISI GAS BUANG PADA MOTOR YAMAHA Rx-King TAHUN PEMBUATAN 2006

RIMAN SIPAHUTAR<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya  
Jl. Raya Palembang-Prabumulih Km. 32, Inderalaya.

Korespondensi Pembicara Phone: HP-0811787782, Fax: 0711-317722  
Email: riman\_sipahutar@yahoo.com

### ABSTRAK

Motor Yamaha Rx-King dengan mesin 2-tak cenderung menghasilkan kadar emisi gas buang yang relatif tinggi. Untuk mengurangi kadar emisi gas buang ini, teknologi alternatif yang disarankan adalah penggunaan *catalytic converter (CC)* pada sistem saluran gas buangnya. Dalam penelitian ini, CC yang digunakan ada dua tipe, yaitu tipe *Pipe Catalyst* dan *Monolith (Honeycomb)*. Metodologi pengujian adalah dengan membandingkan hasil pengujian mesin tanpa CC dan dengan kedua tipe CC tersebut. Alat penganalisa yang digunakan adalah Stargas 898 yang menguji dan menganalisis kadar gas-gas, seperti CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, dan NO<sub>x</sub>. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Penggunaan dan penerapan *catalytic converter* tipe *Pipe Catalyst* dan *Monolith (Honeycomb)* pada sistem saluran buang (knalpot) dapat mengurangi kadar gas dalam emisi gas buang mesin 2-tak Yamaha Rx-King. *Catalytic converter* tipe *pipe catalyst* menghasilkan persentase penurunan kadar emisi gas CO maksimal 11,53%, gas CO<sub>2</sub> maksimal sebesar 2,06%, dan emisi HC maksimal sebesar 0,46% (pada 4.000 rpm). *Catalytic converter* tipe *monolith (honeycomb)* menyebabkan persentase penurunan kadar emisi gas CO maksimal 23,93%, gas CO<sub>2</sub> maksimal sebesar 2,79%, dan emisi HC maksimal sebesar 0,80% (pada 4.000 rpm).

**Kata Kunci :** *Catalytic converter, honeycomb, monolith, pipe catalyst.*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pencemaran udara, telah menyebabkan menurunnya kualitas udara. Tak pelak, ini mengganggu kesehatan serta keseimbangan iklim global. Menurunnya kualitas udara tersebut, terutama disebabkan karena penggunaan bahan bakar fosil untuk sarana transportasi dan industri, yang umumnya terpusat di kota-kota besar. Dampak negatif akibat menurunnya kualitas udara cukup berat terhadap lingkungan, terutama kesehatan manusia, yaitu dengan menurunnya fungsi paru, peningkatan penyakit pernafasan, dampak karsinogen, dan beberapa penyakit lainnya.

Melihat semua kenyataan ini memang patut dipertanyakan kelangsungan teknologi mesin 2-tak di Indonesia. Apalagi motor tipe ini dikenal sebagai penyumbang gas buang dengan tingkat emisi yang tinggi. Pemerintah sendiri telah mengeluarkan peraturan Kepmen LH No. 141/2003 tentang emisi gas buang. Secara efektif regulasi

ini mulai diberlakukan pada tanggal 1 Januari 2005, yang intinya pabrikan otomotif diwajibkan untuk memproduksi kendaraan yang rendah emisi dengan standar Euro-2.

Ini sesuai dengan isi Kepmen yang menyebutkan aturan emisi untuk kendaraan tipe L (kendaraan roda dua atau roda tiga dengan penggerak motor bahan bakar cetus api dan penyalaan kompresi 2-tak atau 4-tak). Sementara aturan untuk kendaraan yang sedang diproduksi (current production) kategori L berlaku mulai 1 Januari 2007 untuk jenis 2-tak dan 1 Juli 2006 untuk jenis 4-tak. Artinya selama kadar racun gas buang bisa ditekan dan sesuai standar Euro-2 maka produksinya bisa berjalan terus.

Teknologi Injeksi Ditech juga dilengkapi peranti pengontrol jumlah pasokan bensin-udara. Tujuannya untuk bisa mencapai perbandingan campuran ideal 1:15 (1 molekul bensin, 15 molekul udara). Namun, jika ingin mengubah rasio campuran menjadi "kaya atau miskin", bisa diatur ulang dengan program komputer tertentu.

Di Indonesia sendiri pabrikan telah bersiap menghadapi regulasi pemerintah. Yamaha kini tengah fokus pada pengembangan teknologi untuk RX-King. Salah satunya adalah pemasangan teknologi air induction system (AIS). Fungsinya sebagai penambah udara bersih ( $O_2$ ) di sistem gas buang. Prinsip kerjanya adalah mengubah racun hidrokarbon (HC) dan karbon monoksida (CO) menjadi karbondioksida ( $CO_2$ ) dan uap air ( $H_2O$ ).

Dengan demikian betapa pentingnya untuk perlu diungkapkan sejauh mana keterkaitan antara teknologi pengurang emisi gas buang yang sudah ada dengan mutu gas buang itu sendiri. Karena itu penulis sengaja melakukan penelitian tentang hubungan teknologi pengurang emisi gas buang dengan mutu gas buang yaitu : **"Pengaruh Penggunaan Catalytic Converter Terhadap Emisi Gas Buang Pada Motor Yamaha RX-King Tahun 2006"**.

## 1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh penggunaan Catalytic Converter dengan variasi putaran terhadap emisi gas buang CO pada motor Yamaha RX-King tahun 2006.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan Catalytic Converter dengan variasi putaran terhadap emisi gas buang HC pada motor Yamaha RX-King tahun 2006.
3. Mengetahui pengaruh penggunaan Catalytic Converter dengan variasi putaran terhadap kinerja motor Yamaha RX-King tahun 2006.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengenalan Yamaha Rx-King

Pada produk andalannya di kategori mesin dua tak itu, Yamaha Motor Company mengembangkan teknologi yang dapat menekan emisi gas buang. Bagi konsumen sepeda motor Indonesia kendaraan roda dua model bebek (di dunia dikenal sebagai moped) menjadi jenis yang paling laku. Selain moped, motor sport 100 cc sampai 150 cc menjadi lapis kedua jenis sepeda motor yang digemari pembeli. Tak pelak, beberapa ATPM mengeksploitasi motor jenis ini dengan pengembangan model dan keragaman warna catnya. Amati saja Honda Tiger Megapro maupun Suzuki Thunder dan Kawasaki Ninja, semua tampak saling beradu pada penampilan dan gemerlap warnanya.

Namun, terdapat satu motor sport yang amat digemari konsumen karena performa akselerasinya yaitu Yamaha Rx-King. Karena soal 'tarikannya' yang menjadi unggulan, pabrikan Yamaha tak pernah mengubah bentuknya sejak 15 tahun lalu.

Namun, Rx King tetap memiliki pangsa pasar cukup besar. Inilah satu-satunya motor sport yang tanpa mengalami perubahan bentuk secara radikal namun masih mampu bertahan walau persaingan amat ketat. Namun, popularitas Rx-King seakan menurun demikian muncul Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 141 Tahun 2003 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru dan Kendaraan Bermotor yang sedang diproduksi. Dalam Kepmen ini diberlakukan pembatasan emisi buang motor bermesin dua tak yang memang terbilang tinggi kadar karbon monoksidanya (CO).

Pada produk andalannya di katagori mesin dua tak itu, Yamaha Motor Company mengembangkan teknologi yang dapat menekan emisi gas buang. Secara awam teknologi itu dapat dimengerti sebagai adanya kombinasi penambahan peranti *Air Intake System (AIS)* dengan penggunaan knalpot yang telah dipasangi *tiga katalis* di dalamnya.

Peranti tiga katalis yang mengandung lapisan senyawa kimia itu akan mengikat sejumlah partikel dan senyawa beracun buangan mesin dua tak hingga memenuhi persyaratan Euro II. Sayangnya, pihak Yamaha masih belum merincikan jenis dan mekanisme kerja detail sistem ini. Tentu faktor persaingan antar pabrikan motor sebagai penyebabnya. "Yang jelas dalam pengetesan di pabrik Yamaha Jepang maupun Yamaha Indonesia, penguasaan teknologi ini bisa membuat Rx-King memenuhi syarat Euro II".

Terdapat empat faktor utama yang mempengaruhi emisi suatu kendaraan bermotor, yaitu:

1. Kondisi dan teknologi kendaraan.
2. Kondisi jalan.
3. Kualitas bahan bakar.
4. Ketepatan pemeliharaan kendaraan.

## 2.2. Klasifikasi Motor Bakar

Motor bakar dapat di klasifikasikan dengan berbagai cara, antara lain sebagai berikut :

### 2.2.1. Berdasarkan Jenis Bahan Bakar yang Digunakan

1. Motor bakar bensin
2. Motor bakar gas
3. Motor bakar diesel

### 2.2.2. Berdasarkan Metode Penyalaan Bahan Bakar

1. Motor bakar penyalaan busi (Motor bakar bensin dan motor bakar gas)
2. Motor bakar penyalaan kompresi (motor bakar diesel)

### 2.2.3. Berdasarkan Jumlah Siklus Operasinya

1. Motor bakar siklus dua langkah (2-tak)  
Motor bakar ini adalah motor yang pada dua langkah torak/piston (satu putaran poros engkol) sempurna akan menghasilkan satu tenaga kerja (satu langkah kerja).
2. Motor bakar siklus empat langkah (4-tak)  
Motor bakar ini adalah motor yang pada setiap langkah torak / piston (dua putaran poros engkol) sempurna menghasilkan satu tenaga kerja (satu langkah kerja).

#### 2.2.4. Berdasarkan Proses Pembakaran

1. Motor bakar siklus Otto (pembakaran bahan bakar terjadi pada volume konstan).
2. Motor bakar siklus Diesel (pembakaran bahan bakar dilakukan pada keadaan tekanan konstan).
3. Motor bakar siklus gabungan (bahan bakar sebagian di bakar pada volume konstan dan sebagian lagi pada tekanan konstan).

#### 2.2.5. Berdasarkan Kecepatan Mesin

1. Motor bakar kecepatan rendah (kecepatan poros engkol lebih kecil dari 120 rpm).
2. Motor bakar kecepatan sedang (kecepatan poros engkol antara 120 – 500 rpm).
3. Motor bakar kecepatan tinggi (kecepatan poros engkol lebih dari 500 rpm).

### 2.3. Pembakaran

#### 2.3.1. Prinsip Pembakaran

Secara umum pembakaran didefinisikan sebagai reaksi kimia atau reaksi persenyawaan bahan bakar dengan oksigen yang diikuti oleh sinar dan panas. Mekanisme pembakaran sangat dipengaruhi oleh keadaan dari keseluruhan.

Proses pembakaran dimana atom-atom dari komponen yang dapat bereaksi dengan oksigen dan membentuk produk yang berupa gas. Faktor yang menentukan penyalaan campuran bahan bakar dan udara antara lain :

- \* Komposisi  
Komposisi bahan bakar yang mengandung inert gas seperti  $N_2$ ,  $CO_2$ , akan mengurangi nyala dari bahan bakar.
- \* Temperatur  
Semakin meningkat temperatur pembakaran maka jarak batas kemampuan nyala dari bahan bakar akan semakin meningkat. Ketika temperatur penyalaan sendiri tercapai maka campuran bahan bakar dan udara akan terbakar secara spontan tanpa perlu adanya penambahan energi dari luar.
- \* Tekanan
- \* Kelembaban  
Jika kelembaban ruang bakar meningkat maka batas atas dan bawah dari jangkauan kemampuan nyala bahan bakar akan semakin mengecil.
- \* Pusaran pembakaran turbulensi
- \* Bentuk ruang pembakaran

#### 2.3.2 Proses Pembakaran

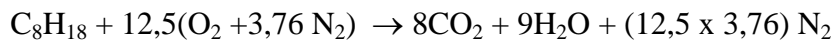
Sebagaimana telah kita ketahui sebagai bahan bakar motor bensin terutama mengandung unsur-unsur karbon dan hidrogen yang hasil pembakarannya akan menghasilkan emisi karbon monoksida ( $CO$ ), karbon dioksida ( $CO_2$ ) dan hidrokarbon yang tidak terbakar (UHC) atau terkadang disingkat emisi HC saja.

Dalam pembakaran hidrokarbon, jika oksigen dan hidrokarbon tidak bercampur dengan baik, maka akan terjadi proses cracking dimana pada penyalaan akan timbul asap. Pembakaran semacam ini disebut pembakaran tidak sempurna.

#### 2.3.3. Pembakaran Sempurna

Mekanisme pembakaran normal dalam motor bensin dimulai saat terjadinya loncatan bunga api pada busi. Selanjutnya api membakar gas bakar yang berada di

sekelilingnya dan terus menjalar keseluruh bagian sampai semua partikel gas bakar terbakar habis. Di dalam pembakaran normal pembagian nyala api pada waktu ignition delay terjadi merata diseluruh bagian. Pada keadaan yang sebenarnya mekanisme pembakaran didalam motor ini bersifat kompleks. Bahan bakar standar motor bensin adalah isooktan (  $C_8H_{18}$  ), persamaan reaksi pembakarannya dengan udara adalah :



### 2.3.4. Pembakaran Tidak Sempurna

#### a. Knocking

Dalam hal ini gas baru yang belum terbakar terdesak oleh gas yang sudah terbakar. Sehingga tekanan dan suhunya naik sampai mencapai keadaan hampir terbakar. Jika pada saat ini gas tadi terbakar dengan sendirinya, maka akan timbul ledakan (detonasi) yang menghasilkan gelombang kejutan yang berupa suara ketukan (knocking noise). Fluktuasi tekanan yang besar dan cepat ini terjadi pada akhir pembakaran. Sebagai akibatnya tenaga mesin akan berkurang dan jika sering terjadi maka akan memperpendek umur mesin.

Hal-hal yang menyebabkan *knocking* adalah sebagai berikut :

1. Perbandingan kompresi yang tinggi, tekanan kompresi, suhu pemasangan campuran dan suhu silinder yang tinggi?
2. Masa pengapian terlalu cepat.
3. Putaran mesin rendah dan penyebaran api lambat.
4. Penempatan busi dan konstruksi ruang bakar tidak tepat, serta jarak penyebaran api terlalu jauh.

#### b. Pre-Ignition

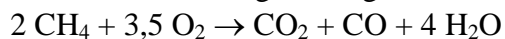
Pre-ignition adalah merupakan suatu gejala pembakaran tidak normal. Peristiwanya hampir sama dengan knocking tetapi terjadi pada saat busi belum memercikan api, disini bahan bakar terbakar dengan sendirinya akibat dari tekanan dan suhu yang tinggi sebelum terjadinya busi menyala. Pre-Ignition adalah peristiwa pembakaran yang terjadi sebelum sampai pada saat yang dikehendaki.

### 2.3.5. Pembakaran Tidak Lengkap

Pembakaran yang tidak lengkap yaitu pembakaran yang ada kelebihan atau kekurangan oksigen atau hidrogen.



Jadi dalam persamaan reaksi di atas jelas ada kelebihan  $O_2$  (oksigen), sedangkan contoh reaksi kekurangan oksigen:



Pada persamaan reaksi di atas masih ada CO yang tidak terbakar dan keluar bersama-sama dengan gas buang. Hal tersebut disebabkan karena pembakaran kekurangan oksigen.

## 3. PENGUJIAN

### 3.1 Peralatan Pengujian

#### 3.1.1 Motor Uji

Motor uji yang digunakan adalah motor bensin 2-tak pada motor Yamaha RX-King 135 cc dalam keadaan standar berbahan bakar Premium, dengan sistem saluran buang (*exhaust manifold*) yang standar maupun dengan yang memiliki katalis. Dalam



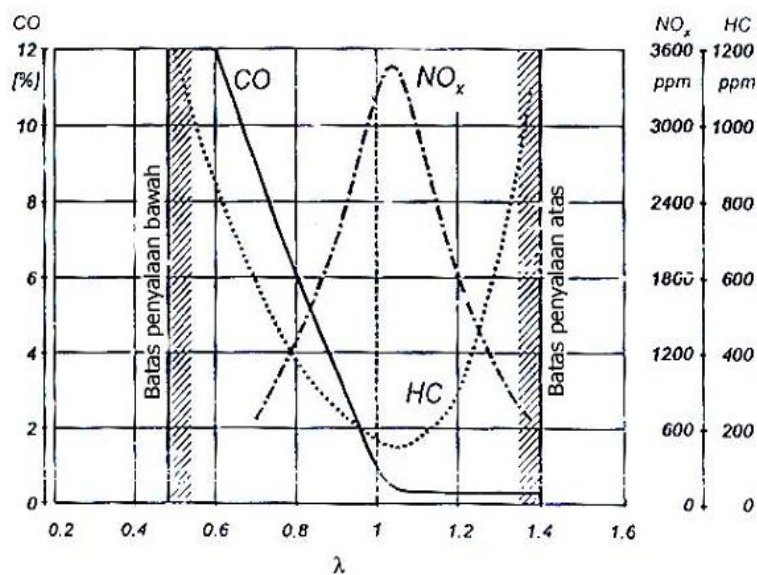
persiapan pengujian ini dilakukan penggantian komponen-komponen berupa filter udara, minyak pelumas mesin dan oli samping, serta busi. Pada bagian saluran buang (*exhaust manifold*) standar sedikit dimodifikasi agar dapat memudahkan proses pengambilan sampel gas buang.



**Gambar 3.1** Motor bakar 2-tak yang digunakan sebagai motor uji

### 3.1.2 Exhaust Gas Analyzer

Salah satu parameter terpenting dalam menentukan besarnya emisi gas buang yang dihasilkan adalah perbandingan massa udara dan bahan bakar. Gambar 3.4 menunjukkan angka kualitatif dari NO, CO, dan HC hasil emisi gas buang yang bervariasi terhadap perbandingan massa udara dan bahan bakar. Pada kondisi operasi normal, motor bensin beroperasi pada daerah mendekati stoikiometrik atau dapat pula beroperasi pada daerah kaya bahan bakar, agar menjamin motor dapat beroperasi dengan lancar.



**Gambar 3.2** Hubungan antara emisi motor bensin dengan Lambda ( $\lambda$ )

Dari gambar dapat dilihat bahwa pada daerah yang miskin bahan bakar (kelebihan udara), emisi gas buang yang dihasilkan ketiga jenis polutan ini tergolong rendah hingga saatnya kualitas pembakaran yang terjadi menjadi rendah (biasanya terjadi *misfire*). Bentuk dari kurva juga mengindikasikan kompleksitas dari pengaturan emisi gas buang tersebut.

Untuk menganalisis gas buang digunakan alat yang disebut *exhaust gas analyzer* dengan merk dagang Stargas 898. Alat ini telah memenuhi standar pengujian di Eropa



(OIML Class O type approved). Tampilan dan bentuk fisik dari alat Stargas 898 ini dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 3.3 Peralatan pengambilan dan penganalisis sampel emisi gas buang**

Alat Stargas 898 ini menguji dan menganalisis kadar gas-gas, seperti CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, dan NO<sub>x</sub> (optional). Selain itu, data-data pendukung, seperti lambda, RPM dan temperatur mesin, juga dapat dilihat pada *print-out* data hasil analisis. Format *print-out* data hasil analisis dapat dilihat pada gambar berikut.

```

EXHAUST GAS ANALYSIS
Serial nr. -----
TYPE STATGAS 898
OIML CLASS 0
REPORT N.
116/OIML/00/RM
09/27/2004

RPM      0850      [1/min]
CO       3.498    [%Vol]
CO2      12,5     [%Vol]
HC       1464    [ppmVol]
O2       0,52    [%Vol]
NOx      1       [ppmVol]
CO COR.  -.----  [%VOL]
^        -.----  [-]
TEMP.    080     [oC]
.....
ENVIRONMENT CONDITIONS
.....
Temperature :25 [oC]
Pressure :100 [KPa]
Rel. Humidity:40 [%]
DATE: 09/27/2004
TIME: 15:41
.....

```

**Gambar 3.4 Format Data Hasil Analisis Gas Buang**

### 3.1.3 Sistem Knalpot Uji

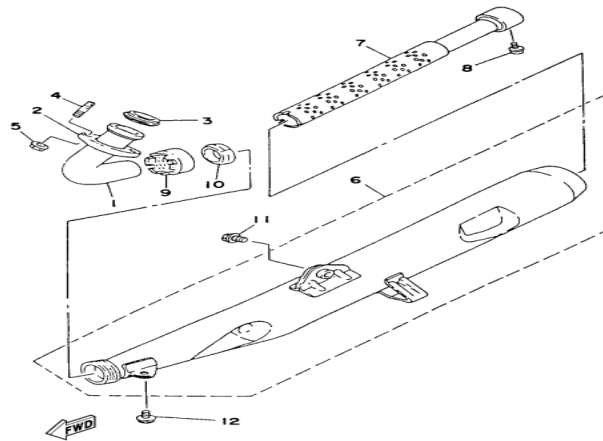
Sistem knalpot yang digunakan dalam penelitian ini memiliki dua konfigurasi yang berbeda, yaitu:

1. Knalpot standar tanpa *catalytic converter*.
2. Knalpot standar yang dilengkapi dengan *catalytic converter*.

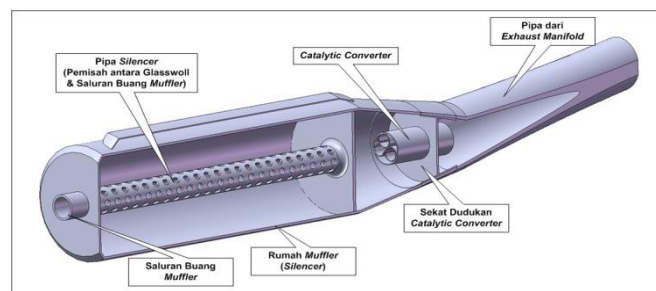
Knalpot standar tanpa *catalytic converter* merupakan knalpot yang diproduksi bersamaan dengan motor Yamaha Rx-King, seperti pada gambar di halaman berikut.

Knalpot standar dengan *catalytic converter* merupakan knalpot yang diproduksi bersamaan dengan motor Yamaha New Rx-King, seperti pada gambar berikut.

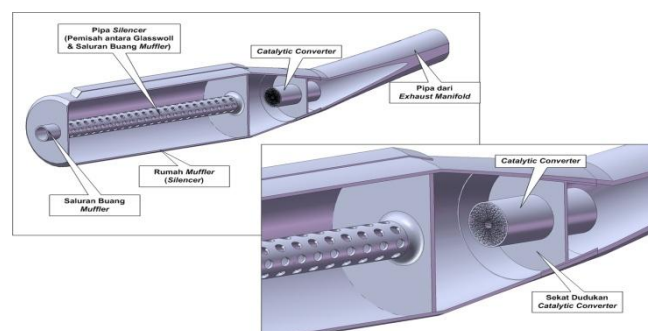
Jenis *catalytic converter* yang digunakan ada dua macam, yaitu tipe *pipe catalyst* dan tipe *monolith (honeycomb)*, masing-masing ditunjukkan pada Gambar 3.5 dan Gambar 3.6.



Gambar 3.5 Knalpot standar tanpa *catalytic converter*



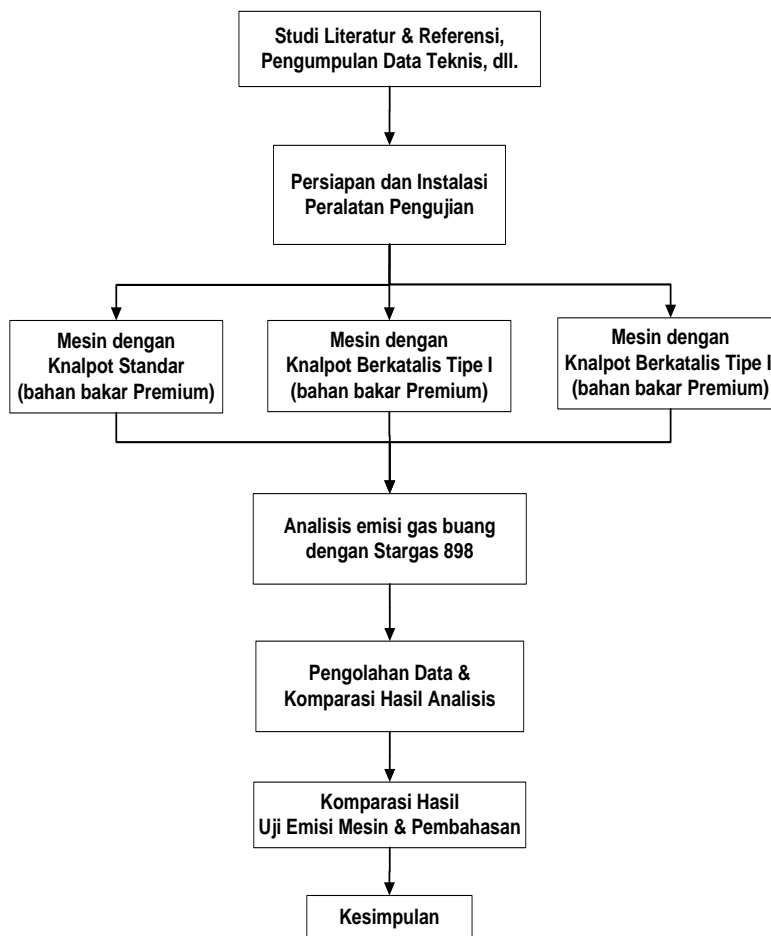
Gambar 3.6 (a) Knalpot standar dengan *catalytic converter* tipe pipe catalyst



Gambar 3.6 (b) Knalpot standar dengan *catalytic converter* tipe monolith (honeycomb)

### 3.2 Metodologi Pengujian

Penelitian yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini memiliki tahap dan prosedur dengan garis besar seperti yang ditunjukkan dalam bentuk diagram alir seperti pada Gambar 3.7 di halaman berikut.



Gambar 3.7 Langkah-langkah penelitian

#### 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Emisi gas buang (CO, CO<sub>2</sub> dan HC) dengan variasi kecepatan 1000 rpm, 2000 rpm, 3000 rpm dan 4000 rpm pada motor 2 tak dengan menggunakan knalpot standar tanpa catalytic converter dan knalpot standar yang dilengkapi dengan catalytic converter (jenis pipe catalyst dan monolith atau honeycomb) ditabelkan pada Tabel 4.1, Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.1

Hasil Pengujian Emisi Gas Buang pada Motor 2 tak dengan knalpot standar tanpa *catalytic converter*

Tanpa Catalytic Converter					
No.	RPM	Emisi Gas Buang			
		CO (% vol)	CO <sub>2</sub> (% vol)	HC (ppm vol)	O <sub>2</sub> (% vol)
1	1000	1.928	13.513	59.113	1.872
2	2000	1.622	13.473	54.846	1.881
3	3000	1.585	14.145	54.632	1.881
4	4000	2.645	14.542	57.021	1.871

Tabel 4.2

**Hasil Pengujian Emisi Gas Buang pada Motor 2-tak dengan knalpot standar yang dilengkapi dengan CC tipe *pipe catalyst***

Dengan menggunakan catalytic converter tipe <i>pipe catalyst</i>					
No.	RPM	Emisi Gas Buang			
		CO (% vol)	CO <sub>2</sub> (% vol)	HC (ppm vol)	O <sub>2</sub> (% vol)
1	1000	1.785	13.244	58.945	1.867
2	2000	1.461	13.265	54.675	1.866
3	3000	1.403	13.870	54.454	1.876
4	4000	2.340	14.243	56.757	1.845

**Tabel 4.3**

**Hasil Pengujian Emisi Gas Buang pada Motor 2-tak dengan knalpot standar yang dilengkapi dengan CC tipe *monolith*.**

Dengan menggunakan catalytic converter tipe <i>Monolith</i> atau <i>Honeycomb</i>					
No.	RPM	Emisi Gas Buang			
		CO (% vol)	CO <sub>2</sub> (% vol)	HC (ppm vol)	O <sub>2</sub> (% vol)
1	1000	1.624	13.216	58.855	1.865
2	2000	1.388	13.225	54.468	1.876
3	3000	1.326	13.765	54.279	1.857
4	4000	2.012	14.136	56.565	1.863

Untuk mengetahui besarnya penurunan kadar emisi gas buang dengan penggunaan catalytic converter tipe *pipe catalyst* dapat diperoleh dengan membandingkan Tabel 4.1 dengan Tabel 4.2 dan hasilnya ditabelkan pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4**

**Persentase penurunan Emisi Gas Buang pada Motor 2-tak dengan knalpot standar yang dilengkapi dengan CC tipe *pipe catalyst*.**

No.	RPM	Persentase penurunan Emisi Gas Buang								
		CO (% vol)			CO <sub>2</sub> (% vol)			HC (ppm vol)		
		Tanpa CC	CC pipe catalyst	% penurunan	Tanpa CC	CC pipe catalyst	% penurunan	Tanpa CC	CC pipe catalyst	% penurunan
1	1000	1,928	1,785	7,42	13,513	13,244	1,99	59,113	58,945	0,28
2	2000	1,622	1,461	9,93	13,473	13,265	1,54	54,846	54,675	0,31
3	3000	1,585	1,403	11,48	14,145	13,870	1,94	54,632	54,454	0,33
4	4000	2,645	2,340	11,53	14,542	14,243	2,06	57,021	56,757	0,46

Dari Tabel 4.4 terlihat bahwa dengan penggunaan catalytic converter tipe *pipe catalyst* pada variasi putaran 1000, 2000, 3000 dan 4000 rpm, kadar emisi CO (% vol) mengalami penurunan bervariasi antara 7,42 – 11,53 %, dan kadar emisi CO<sub>2</sub> (% vol) mengalami penurunan bervariasi antara 1,54 – 2,06 %, sedangkan emisi HC (ppm vol) mengalami penurunan bervariasi antara 0,28 – 0,46 %.

Besarnya penurunan kadar emisi gas buang dengan penggunaan catalytic converter tipe *Monolith* atau *Honeycomb* dapat diperoleh dengan membandingkan Tabel 4.1 dengan Tabel 4.3 dan hasilnya ditabelkan pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5**

**Persentase penurunan Emisi Gas Buang pada Motor 2-tak dengan knalpot standar yang dilengkapi dengan CC tipe *monolith*.**

No.	RPM	Persentase penurunan Emisi Gas Buang								
		CO (% vol)			CO <sub>2</sub> (% vol)			HC (ppm vol)		
		Tanpa CC	CC monolith	% penurunan	Tanpa CC	CC monolith	% penurunan	Tanpa CC	CC monolith	% penurunan
1	1000	1.928	1.624	15.77	13.513	13.216	2.20	59.113	58.855	0.44
2	2000	1.622	1.388	14.43	13.473	13.225	1.84	54.846	54.468	0.69
3	3000	1.585	1.326	16.34	14.145	13.765	2.69	54.632	54.279	0.65
4	4000	2.645	2.012	23,93	14.542	14.136	2.79	57.021	56.565	0.80

Dari Tabel 4.5 terlihat bahwa dengan penggunaan catalytic converter tipe monolith atau honeycomb pada variasi putaran 1000, 2000, 3000 dan 4000 rpm, kadar emisi CO (% vol) mengalami penurunan bervariasi antara 14,43 – 23,93 %, dan kadar emisi CO<sub>2</sub> (% vol) mengalami penurunan bervariasi antara 1,84 – 2,79 %, sedangkan emisi HC (ppm vol) mengalami penurunan bervariasi antara 0,44 – 0,80 %.

## 5. KESIMPULAN

Dari pembahasan dalam bab sebelumnya, beberapa hal penting yang dapat disimpulkan adalah sebagai berikut:

1. *Catalytic converter* baik jenis *pipe catalyst* maupun jenis *monolith (honeycomb)* yang dipasang pada knalpot standar motor 2-tak dapat berfungsi untuk mengurangi emisi gas buang karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), dan hidrokarbon (HC).
2. Penggunaan *catalytic converter* jenis *pipe catalyst* yang dipasang pada knalpot standar motor 2-tak dapat menghasilkan pengurangan emisi gas buang CO hingga 11,53 %, emisi gas buang CO<sub>2</sub> hingga 2,06 % dan emisi gas buang HC hingga 0,46 %, masing-masing pada putaran 4000 rpm.
3. Penggunaan *catalytic converter* jenis *monolith atau honeycomb* yang dipasang pada knalpot standar motor 2-tak dapat menghasilkan pengurangan emisi gas buang CO hingga 23,93 %, emisi gas buang CO<sub>2</sub> hingga 2,79 % dan emisi gas buang HC hingga 0,80 %, masing-masing pada putaran 4000 rpm.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Hardianto, Toto (1993). Usaha Pengurangan dan Pengontrolan Polusi Gas Buang. ITB, Bandung.
- Luo, Ma-Ji, Chen Guo-hua, dan Ma, Yuan-hao (2003). Three-dimensional transient numerical simulation for intake process in the engine port-valve-cylinder system. Journal of Zhejiang University SCIENCE, Vol.4, No.3, Juni 2003, hal. 309-316.
- Obert, E.F. (1973). Internal Combustion Engines and Air Pollution. Harper & Row, Publishers, Inc., New York, USA.
- Soelaiman, Fauzi (1993). Dampak dari Berbagai Polusi Udara terhadap Lingkungan. ITB, Bandung.

## ANALISIS EKSERGI SIKLUS KOMBINASI TURBIN GAS-UAP UNIT PLTGU INDERALAYA

Dyos Santoso<sup>1\*</sup> dan Hasan Basri<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya  
Km.32, Inderalaya

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya  
Km.32, Inderalaya

\*Korespondensi Pembicara. Phone: +62 711 580272, Fax: +62 711 580272  
Email: dyos\_santoso@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Pada umumnya, sumber energi untuk sistem-sistem pembangkit tenaga gas/uap berkapasitas besar didominasi oleh bahan bakar fosil yang saat ini persediaannya semakin menipis dan aplikasinya selalu menciptakan emisi gas-gas rumah kaca. Sebagai konsekuensinya, perancangan dan pengoperasian sistem pembangkit tenaga yang baik menjadi sangat penting sehingga konsumsi energi dan emisi gas-gas rumah kaca dapat dikurangi. Analisis eksergi merupakan piranti yang menarik untuk memenuhi kebutuhan ini karena dapat mengidentifikasi lokasi irreversibilitas atau kerugian eksergi dan tingkat ketidakefisienan dari sistem pembangkit tenaga. Dengan demikian analisis eksergi memberikan informasi yang diperlukan untuk meningkatkan sistem pembangkitan tenaga secara sistematis dan efisien. Sebagai studi kasus, metoda ini diimplementasikan pada siklus kombinasi pembangkit gas-uap yang ada di Unit PLTGU Inderalaya, Sumatera Selatan. Hasil studi memperlihatkan bahwa komponen yang memberikan kontribusi terbesar terhadap pemusnahan eksergi adalah ruang bakar. Persentase rasio pemusnahan eksergi pada masing-masing komponen terhadap pemusnahan eksergi total maksimum diperoleh pada ruang bakar (59,76%), diikuti oleh HRSG (13,19%), turbin gas (9,74%), kompresor (7,39%), turbin uap (7,06%), kondensor (2,71%) dan kemudian pompa (0,15%). Eksergi yang dibawa oleh gas buang ke atmosfer (4,0% dari eksergi total bahan bakar) dianggap sebagai suatu kerugian. Sedangkan besarnya efisiensi eksergetik keseluruhan dari siklus kombinasi turbin gas-uap masih relatif rendah (38,4%).

**Keywords:** Analisis eksergi, Efisiensi eksergetik, HRSG, pemusnahan eksergi, siklus kombinasi turbin gas-uap.

### 1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan energi yang paling penting dalam pembangunan suatu Negara. Hal ini terlihat dari besarnya jumlah konsumsi listrik yang diperlukan perkapita negara setiap tahunnya, dengan ketersediaan sumber energi dan adanya teknologi yang dapat mengubah sumber energi menjadi bentuk yang bermanfaat bagi masyarakat, merupakan salah satu faktor pendukung dalam penyediaan tenaga listrik tersebut. Di Indonesia dengan peningkatan penduduknya yang signifikan pertahunnya, peningkatan kebutuhan terhadap listrik yang tinggi juga tidak dapat dielakkan lagi.



PT.PLN (persero) sebagai perusahaan Negara yang mengelola pendistribusian listrik sering kewalahan dengan peningkatan konsumsi listrik itu sendiri. Sehingga sering kita dengar pemadaman listrik yang bergilir dan kendala-kendala lainnya.

Seiring dengan peningkatan konsumsi listrik tersebut, masalah baru yang dihadapi ialah menipisnya sumberdaya alam yang dijadikan sebagai sumber energi khususnya sumberdaya alam yang tak dapat diperbaharui (fosil). Hal ini dikarenakan pemakaian sumber energi tersebut secara terus menerus. Semua itu seringkali muncul dalam pemberitaan dari pemerintah Indonesia maupun dari LSM-LSM terkait yang menyatakan bahwa persediaan sumber energi tak terbarukan (fosil) setiap tahunnya menurun dan perlu pemaamfaatan yang lebih efisien. Oleh karena beberapa alasan itulah, pada tahun belakangan ini analisis eksergi banyak menarik perhatian para ilmuwan dan perancang sistem. Ada beberapa yang mencurahkan studi-studinya pada analisis eksergi komponen dan peningkatan efisiensi.

Dasar dari analisis eksergi pertama kali dikenalkan oleh Carnot pada tahun 1824 dan Clausius pada tahun 1865. Penelitian menggunakan analisis eksergi itu sendiri telah dilakukan pada akhir abad ke-19. Pada tahun 1889 Gouy meneliti tentang konsep eksergi dari *useable energi* (energi yang berguna) untuk sistem tertutup. Dalam konsep ini juga dinyatakan bahwa energi yang hilang selama proses sama dengan perubahan entropi proses itu. Pada tahun 1898, dengan menggunakan konsep yang sama dengan Gouy, Stodala mengembangkan proses untuk aliran yang mantap. Kemudian konsep ini terus dikembangkan melalui penelitian-penelitian selanjutnya. Baru pada tahun 1939. Bosjankovic mulai mengembangkannya dengan mempublikasikan dua paper yang mengembangkan konsep Hukum Kedua Termodinamika. Paper ini menjadi begitu penting bagi perkembangan konsep eksergi.

Penggunaan kata "*exergy*" itu sendiri dikenalkan pertama kali oleh Bosjankovic pada tahun 1960, Trepp pada tahun 1961, dan Baehr tahun 1962, dan sejak itu "*exergy*" mulai dikenalkan sebagai "*work capacity*" atau "*available work*".

Trep (1961) meneliti kehilangan eksergi pada mesin pendingin yang dipublikasikan oleh *Cyrogenic Engineering Confrence* di Ann Arbor, Michigan USA. Trep menggunakan *exergy losses* untuk mengembangkan optimasi desain *cycle refrigerator*.

Brodyanskii (1965) mengkaji aplikasi eksergi pada sistem pengembunan udara, hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi eksergi lebih kecil daripada efisiensi energi, lokasi dari kerugian-kerugian terbesar juga berbeda antara analisis energi dan analisis eksergi ini. Demikian hal juga dengan Kun dan Ranov (1965) yang mendiskusikan efisiensi mesin ekspansi temperatur rendah, juga hasilnya menunjukkan bahwa kerugian yang dianalisis dengan menggunakan analisis energi berbeda dengan menggunakan analisis eksergi.

Kotas (1985), melakukan penelitian menggunakan metoda analisis eksergi pada pabrik kimia yang dipublikasikan oleh *Chemical Engineering Res.* Hendrik (1984) menganalisa eksergi menggunakan simulasi diagram alir yang diaplikasikan pada pabrik produksi gas sintesa dari gas alam. Ahmed et al (1996) menganalisa eksergi pada sistem pendinginan udara. Goran Wall dan Mel Gong (1997) menganalisa eksergi sekaligus mengoptimasi secara termoekonomi proses secara umum. Love Grove et al (1998) menganalisa eksergi pada proses sintesa amoniak dengan menggunakan tenaga matahari sebagai sumber tenaga penggerak pada sistem penukar kalor, sehingga didapatkan performansi yang terbaik dengan minimum kerugian eksergi.

Di Jepang, pada tahun 1985, dari total aliran sumber daya energi dan material sebesar  $18 \times 10^{18}$  Joule, hanya 21% yang dapat dimanfaatkan, ini memicu kajian tentang sistem pengisolasian panas yang baik pada penggunaan pemanas ruangan dan pengkondisian udara. Hal yang sama juga terjadi di Swedia pada tahun 1994, dari total aliran energi sebesar  $2,72 \times 10^{18}$  Joule, hanya 14% yang mencapai penggunaan akhir. Apabila penggunaan energi nuklir hanya 0,65% dan bahan bakar fosil kurang dari 10% yang dapat dimanfaatkan.

Di Indonesia sendiri sebagian pembangkit tenaga listrik yang berkapasitas besar menggunakan sumber energi fosil tersebut seperti PLTU dan PLTG. Sehingga efisiensi sistem pembangkit tersebut haruslah diperhitungkan, guna menjamin penggunaan sumber bahan bakar yang lebih efisien untuk mengimbangi peningkatan konsumsi listrik pada masa yang akan datang.

Dalam penelitian ini, studi kasus analisis eksergi ini diterapkan pada siklus kombinasi sistem pembangkit gas-uap yang ada di PT. PLN (persero) Pembangkitan Sumbagsel Sektor Pembangkitan Keramasan Unit PLTGU Inderalaya. Studi ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dari Siklus Kombinasi Turbin Gas-Uap tersebut termasuk komponen-komponennya, serta mengidentifikasi bagian-bagian dari komponen sistem turbin gas ini yang mengalami kerugian paling besar dan berpotensi untuk ditingkatkan. Sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam mengambil langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk meningkatkan peformansi dari sistem tersebut.

## 2. ANALISIS TEORITIKAL

### 2.1. Analisis Energi

Termodinamika dasar yang diterapkan dalam studi kasus ini adalah untuk mencari sifat-sifat termodinamika pada masing-masing keadaan dan energi termal pada setiap proses. Dalam analisis, proses-proses dipertimbangkan sebagai aliran stedi keadaan stedi (*steady state steady flow*). Sebagai tambahan efek energi kinetik dan energi potensial diabaikan. Untuk gas ideal, formulasi yang digunakan memperhitungkan variasi entalpi dan entropi absolut terhadap temperatur untuk berbagai substansi.

Untuk proses aliran stedi keadaan stedi, neraca laju energi volume atur dapat ditulis sebagai:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{C.V} + \sum \dot{m}_i \left( h_i + \frac{V_i^2}{2} + g \cdot z_i \right) \\ = \sum \dot{m}_e \left( h_e + \frac{V_e^2}{2} + g \cdot z_e \right) + \dot{W}_{C.V} \end{aligned} \quad (1)$$

Perubahan entropi antara dua keadaan untuk gas ideal ditulis sebagai (Bejan et al., 1996):

$$\begin{aligned} \bar{s}(T_2, p_2) - \bar{s}(T_1, p_1) \\ = \bar{s}^0(T_2) - \bar{s}^0(T_1) - \bar{R} \ln \frac{p_2}{p_1} \end{aligned} \quad (2)$$

Entalpi dan entropi untuk campuran gas ideal dapat ditentukan sebagai penjumlahan sifat masing-masing komponen gas, asalkan kontribusi dari setiap gas dievaluasi pada kondisi dimana gas berada dalam campuran (Bejan et al., 1996). Jadi:

$$H = \sum_{k=1}^N n_k \bar{h}_k \quad \text{atau} \quad \bar{h} = \sum_{k=1}^N x_k \bar{h}_k \quad (3)$$

$$S = \sum_{k=1}^N n_k \bar{s}_k \quad \text{atau} \quad \bar{s} = \sum_{k=1}^N x_k \bar{s}_k \quad (4)$$

Entalpi gas ideal hanya tergantung pada temperatur, suku  $\bar{h}$  yang nampak pada persamaan di atas dievaluasi pada temperatur campuran. Entropi adalah fungsi dari dua sifat bebas. Oleh karena, suku  $\bar{s}_k$  dievaluasi baik pada temperatur dan volume campuran atau temperatur campuran maupun pada tekanan parsial komponen  $p_k$  (Bejan et al., 1996). Jadi untuk entropi berlaku:

$$S = \sum_{k=1}^N n_k \cdot \bar{s}_k(T, x_k, p) \quad (5)$$

Berat molekul campuran  $M$  ditentukan berdasarkan berat molekul-molekul komponen  $M_k$  sebagai berikut:

$$M = \sum_{k=1}^N x_k \cdot M_k \quad (6)$$

Hukum Termodinamika Ketiga berkenaan dengan entropi zat pada temperatur nol absolut, dan pada dasarnya menyatakan bahwa entropi kristal sempurna adalah nol pada nol absolut. Fakta yang berhubungan dengan hukum termodinamika ketiga adalah bahwa hukum ini memberikan dasar absolut untuk ukuran entropi setiap zat. Entropi relatif terhadap dasar ini disebut entropi absolut.

Bilamana entropi absolut diketahui pada keadaan standar, entropi spesifik pada titik-titik lainnya dapat diperoleh dengan menambahkan perubahan entropi antara dua keadaan pada entropi absolut pada keadaan standar. Cara yang sama bila entropi absolut diketahui pada tekanan  $p_{ref}$  dan temperatur  $T$ , entropi absolut pada temperatur yang sama dan tekanan  $p$  berapapun dapat diperoleh dari:

$$\bar{s}(T, p) = \bar{s}^0(T) - \bar{R} \cdot \ln \frac{p}{p_{ref}} \quad (\text{gas ideal}) \quad (7)$$

Entropi komponen campuran gas ideal  $k^{th}$  dievaluasi pada temperatur campuran  $T$  dan tekanan parsial  $p_k$ . Untuk komponen campuran gas ideal  $k^{th}$ , persamaan (7) dapat ditulis menjadi:

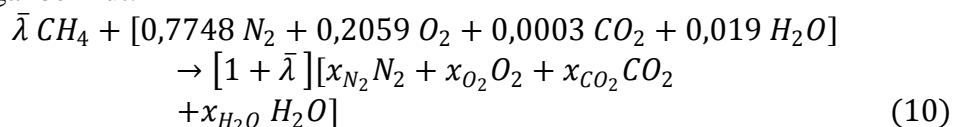
$$\bar{s}_k(T, p) = \bar{s}^0(T) - \bar{R} \cdot \ln \frac{x_k \cdot p}{p_{ref}} \quad (8)$$

Udara atmosfer dapat dianggap terdiri dari udara kering dan uap air. Analisis molar udara (%) adalah: 77.48  $N_2$ , 20.59  $O_2$ , 0.03  $CO_2$ , 1.90  $H_2O_{(g)}$ .

Dengan menyatakan rasio bahan bakar udara sebagai  $\bar{\lambda}$ , laju aliran molar bahan bakar, udara, dan produk pembakaran dihubungkan oleh:

$$\frac{\dot{n}_f}{\dot{n}_a} = \bar{\lambda}, \quad \frac{\dot{n}_p}{\dot{n}_a} = 1 + \bar{\lambda} \quad (9)$$

dimana subskrip  $f$ ,  $p$ , dan  $a$  masing-masing menyatakan bahan bakar, produk pembakaran, dan udara. Untuk pembakaran sempurna dari metana, persamaan kimia adalah sebagai berikut:



Neraca karbon, hydrogen, dan nitrogen, fraksi mol dari komponen-komponen produk pembakaran adalah:

$$\begin{aligned} x'_{N_2} &= \frac{0.7748}{1 + \bar{\lambda}}, & x'_{O_2} &= \frac{0.2059 - 2\bar{\lambda}}{1 + \bar{\lambda}} \\ x'_{CO_2} &= \frac{0.0003 + \bar{\lambda}}{1 + \bar{\lambda}}, & x'_{H_2O} &= \frac{0.019 + 2\bar{\lambda}}{1 + \bar{\lambda}} \end{aligned} \quad (11)$$

## 2.2 Analisis Eksergi

Dengan tidak adanya efek-efek nuklir, magnetik, elektikal, tegangan permukaan, eksergi total suatu sistem dapat dibagi menjadi empat komponen: eksergi fisik  $E^{PH}$ , eksergi kinetik  $E^{KN}$ , eksergi potensial  $E^{PT}$ , dan eksergi kimia  $E^{CH}$  (Bejan et al., 1996):

$$E = E^{PH} + E^{KN} + E^{PT} + E^{CH} \quad (12)$$

Persamaan (12) dapat dinyatakan dengan basis unit massa :

$$e = e^{PH} + e^{KN} + e^{PT} + e^{CH} \quad (13)$$

Eksergi kinetik dan eksergi potensial adalah sebagai berikut :

$$e^{KN} = \frac{1}{2} V^2 \quad \text{dan} \quad e^{PT} = g \cdot z \quad (14)$$

Komponen eksergi fisik yang menyertai arus/aliran suatu zat adalah:

$$e^{PH} = (h_i - h_0) - T_0 (s_i - s_0) \quad (15)$$

dimana :  $i$  = Mengacu pada titik-titik keadaan (*state*)

Eksergi fisik untuk gas ideal (Kotas, 1985) :

$$\dot{E}^{PH} = C_p \left( T - T_0 - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right) + \bar{R} T_0 \ln \frac{p}{p_0} \quad (16)$$

Dalam mengevaluasi eksergi fisik untuk gas-gas ideal, beberapa pertimbangan khusus harus diperhitungkan. Bila suatu campuran gas ideal yang mengandung  $H_2O_{(g)}$  didinginkan pada tekanan konstan di bawah temperatur titik embun, pengkondensasian uap air akan terjadi. Misalkan bahwa suatu campuran gas ideal yang terdiri dari  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ , dan  $H_2O_{(g)}$  dan fraksi molnya masing-masing adalah  $x_{N_2}$ ,  $x_{O_2}$ ,  $x_{CO_2}$ ,  $x_{H_2O_{(g)}}$ . Pada kondisi atmosferik, campuran dapat terdiri dari  $N_2$ ,  $O_2$ , dan  $CO_2$ , beserta uap air jenuh yang berada dalam kesetimbangan dengan cairan jenuh. Tekanan parsial uap air akan sama dengan tekanan jenuh. Jumlah uap air setelah proses kondensasi,  $x_v$ , dapat diperoleh seperti berikut ini.

$$P_{sat}(T_0) = \frac{x_v}{x_{N_2} + x_{O_2} + x_{CO_2} + x_v} \cdot P_0 \quad (17)$$

Dengan menyusun kembali persamaan (17) selanjutnya diperoleh:

$$x_v = \frac{(1 - x_{H_2O_{(g)}}) \cdot P_{sat}(T_0)}{P_0 - P_{sat}(T_0)} \quad (18)$$

Jadi komposisi baru akan terdiri dari  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ , dan  $H_2O_{(g)}$  dan  $H_2O_{(l)}$ , dengan fraksi mol masing-masing adalah  $x_{N_2}$ ,  $x_{O_2}$ ,  $x_{CO_2}$ ,  $x_v$  dan  $(1 - x_{N_2} - x_{O_2} - x_{CO_2} - x_v)$ .

Kemudian,  $h_0$  dapat dihitung dengan menggunakan komposisi baru sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \bar{h}_o &= x_{N_2} \bar{h}_{N_2} + x_{O_2} \bar{h}_{O_2} + x_{CO_2} \bar{h}_{CO_2} + x_V \bar{h}_{H_2O(g)} \\ &+ (1 - x_{N_2} - x_{O_2} - x_{CO_2} - x_V) \bar{h}_{H_2O(l)} \end{aligned} \quad (19)$$

Pada persamaan (19) suku-suku entalpi dihitung pada temperatur atmosferik.

Fraksi mol komponen fase gas adalah:

$$x'_{N_2} = \frac{x_{N_2}}{x_{N_2} + x_{O_2} + x_{CO_2} + x_V} \quad (20)$$

$$x'_{O_2} = \frac{x_{O_2}}{x_{N_2} + x_{O_2} + x_{CO_2} + x_V} \quad (21)$$

Fraksi mol CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O<sub>(g)</sub> pada fase gas ditulis dengan cara yang sama. Kontribusi N<sub>2</sub> terhadap s<sub>o</sub> dievaluasi pada T<sub>o</sub> dan tekanan parsial x'N<sub>2</sub> · p<sub>o</sub>

$$\bar{s}_{N_2}(T_o, x'_{N_2} \cdot P_o) = \bar{s}_{N_2}^o(T_o) - \bar{R} \cdot \ln \frac{x'_{N_2} \cdot P_o}{P_{ref}} \quad (22)$$

Kontribusi komponen lainnya dapat ditulis dengan cara yang sama. Oleh karena itu, s<sub>o</sub> dapat dihitung dengan menggunakan komposisi yang sama seperti yang digunakan dalam perhitungan h<sub>o</sub>.

$$\begin{aligned} s_o &= x_{N_2} \bar{s}_{N_2} + x_{O_2} \bar{s}_{O_2} + x_{CO_2} \bar{s}_{CO_2} + x_V \bar{s}_{H_2O(g)} \\ &+ (1 - x_{N_2} - x_{O_2} - x_{CO_2} - x_V) \bar{s}_{H_2O(l)} \end{aligned} \quad (23)$$

Eksergi kimia adalah komponen eksergi yang terkait dengan perbedaan komposisi kimia dari suatu sistem dengan yang dimiliki lingkungan. Tabel eksergi kimia molar standar tersedia pada beberapa literatur. Sebagai contoh tabel pada (Kotas, 1985) memberikan nilai-nilai untuk kondisi atmosferik pada 298,15 K dan 1,01325 bar. Dan juga tabel pada (Moran, 1982) memberikan nilai-nilai untuk kondisi pada 298,15 dan 1 atm. Menurut (Bejan et al., 1996) jika kondisi-kondisi lingkungan dari sistem sedikit berbeda daripada kondisi yang digunakan pada tabel, tabel tersebut masih dapat digunakan.

Untuk air, tabel eksergi kimia standar dapat digunakan untuk kondisi-kondisi atmosferik. Untuk kondisi di luar atmosferik, formulasi berikut ini dapat dipergunakan:

$$\bar{e}^{CH} = \bar{R} \cdot T_o \cdot \ln \frac{p_{sat}(T_o)}{x_{oH_2O} \cdot p_o} \quad (24)$$

Untuk campuran gas ideal, formulasi berikut ini dapat digunakan:

$$\bar{e}^{CH} = -\bar{R} \cdot T_o \cdot \sum x_k \cdot \ln \frac{x_{ok}}{x_k} \quad (25)$$

Persamaan (25) dapat dinyatakan sebagai (Ahern, 1980) :

$$\bar{e}^{CH} = \sum x_k \cdot \bar{e}_k^{CH} + \bar{R} \cdot T_o \cdot \sum x_k \cdot \ln x_k \quad (26)$$

Dalam hal bila pertimbangan kondensasi di atas harus diperhitungkan, suku x<sub>k</sub> pada persamaan (25) dan (26) harus diganti dengan x'<sub>k</sub> untuk mendapatkan kontribusi fase gas terhadap eksergi kimia. Kontribusi fase air terhadap eksergi kimia dapat dihitung

dari persamaan persamaan (24) atau tabel. Oleh karena itu, eksergi kimia dapat dihitung dengan menambahkan kontribusi tersebut sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \bar{e}^{CH} &= (x_{N_2} + x_{O_2} + x_{CO_2} + x_V) \cdot \bar{e}_{gas}^{CH} \\ &+ (1 - x_{N_2} - x_{O_2} - x_{CO_2} - x_V) \cdot \bar{e}_{liq}^{CH} \end{aligned} \quad (27)$$

Untuk bahan bakar hidrokarbon,  $C_aH_b$ , tabel eksergi kimia standar dapat digunakan. Hubungan yang paling akurat untuk eksergi kimia bahan bakar dapat ditetapkan sebagai berikut (Moran, 1982).

$$\begin{aligned} \bar{e}_F^{CH} &= \left[ \bar{h}_F + \left( a + \frac{b}{4} \right) \cdot \bar{h}_{O_2} - a \cdot \bar{h}_{CO_2} - \frac{b}{2} \cdot \bar{h}_{H_2O(g)} \right] (T_o, P_o) - T_o \\ &\cdot \left[ s_F + \left( a + \frac{b}{4} \right) \cdot s_{O_2} - a \cdot s_{CO_2} - \frac{b}{2} \cdot s_{H_2O(g)} \right] (T_o, P_o) \\ &+ R \cdot T_o \cdot \ln \left[ \frac{(x_{o,O_2})^{a+b/4}}{(x_{o,CO_2})^a \cdot (x_{o,H_2O(g)})^{b/2}} \right] \end{aligned} \quad (28)$$

Suatu formulasi pendekatan untuk eksergi kimia bahan bakas gas hidrokarbon diberikan sebagai berikut (Moran, 1982):

$$\frac{\bar{e}_F^{CH}}{LHV} \cong 1,033 + 0,0169 \frac{b}{a} - \frac{0,0698}{a} \quad (29)$$

Eksesrgi kimia bahan bakar gas hidrokarbon dapat juga diperoleh dari hubungan berikut (Bejan et al., 1996):

$$\dot{E}^{CH} = \dot{m} \bar{e}^{CH} \quad (30)$$

dimana nilai eksergi kimia molar standar  $\bar{e}^{CH}$  dapat diperoleh dari Tabel C.2 (Bejan et al., 1996).

Bentuk keadaan stedi dari neraca eksergi volume atur (Bejan et al., 1996).

$$0 = \sum_j \left( 1 - \frac{T_o}{T_j} \right) \cdot \dot{Q}_j - \dot{W}_{cv} + \sum_i \dot{m}_i \cdot e_i - \sum_e \dot{m}_e \cdot e_e - \dot{E}_D \quad (31)$$

Suku terakhir pers. (31),  $\dot{E}_D$  sama dengan  $T_o \cdot \dot{S}_{gen}$  dari Dalil Guoy-Stodola.

Laju eksergi yang dimusnahkan pada komponen sistem dapat dibandingkan dengan laju eksergi bahan bakar yang diberikan ke dalam sistem keseluruhan,  $\dot{E}_{F,tot}$  memberikan rasio pemusnahan eksergi:

$$y_D = \frac{\dot{E}_D}{\dot{E}_{F,tot}} \quad (32)$$

Sebagai alternatif, laju pemusnahan eksergi komponen dapat dibandingkan dengan laju pemusnahan eksergi total di dalam sistem,  $\dot{E}_{D,tot}$  memberikan rasio:

$$y_D^* = \frac{\dot{E}_D}{\dot{E}_{D,tot}} \quad (33)$$



Rasio kerugian eksergi didefinisikan sebagai:

$$y_L = \frac{\dot{E}_L}{\dot{E}_{F,tot}} \quad (34)$$

Efisiensi eksergetik dari suatu komponen atau sistem dapat diberikan sebagai:  $y_D$

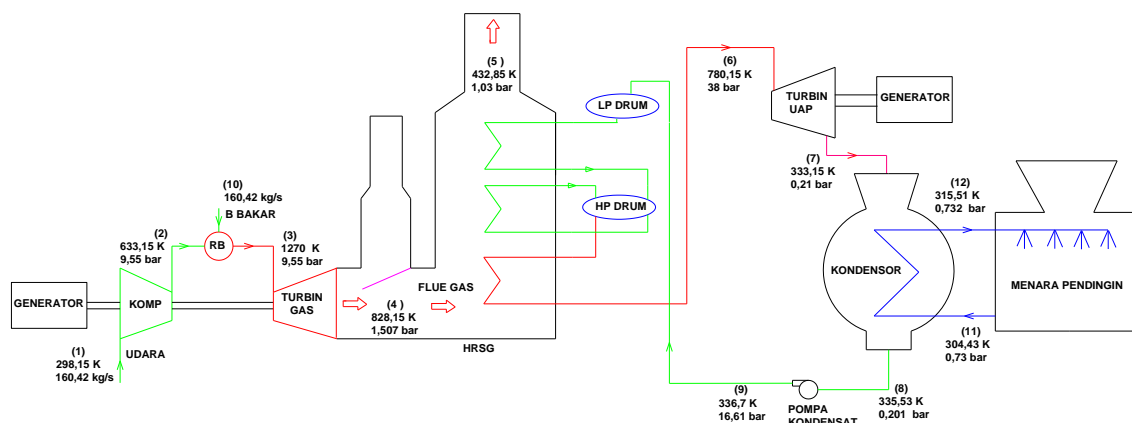
$$\varepsilon = \frac{\dot{E}_P}{\dot{E}_F} = 1 - \frac{\dot{E}_D + \dot{E}_L}{\dot{E}_F} \quad (35)$$

Efisiensi eksergetik keseluruhan dari suatu sistem dapat sebagai:

$$\varepsilon = 1 - \sum y_D - \sum y_L \quad (36)$$

### 3. DESKRIPSI SISTEM

Skematik instalasi pembangkit Tenaga Gas-Uap Inderalaya dan kondisi operasinya ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut ini.



**Gambar 3.1.** Instalasi Siklus Kombinasi Turbin Gas–Uap PLTGU Inderalaya

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil

#### 4.1.1 Analisis Energi

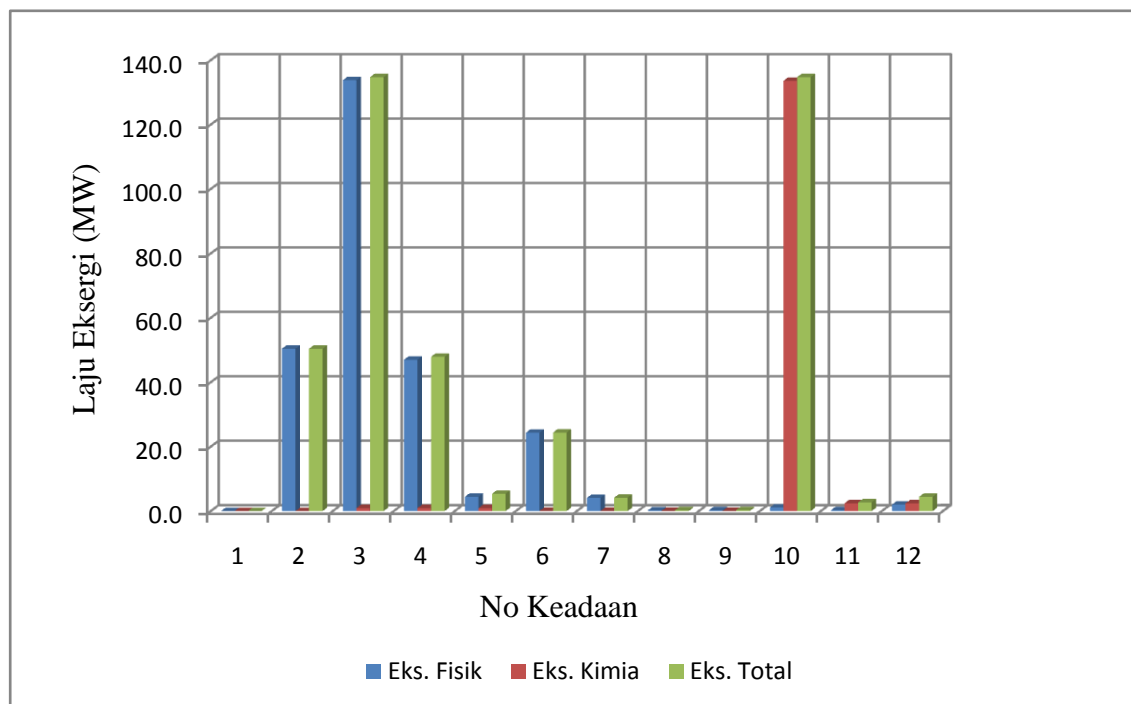
Setelah dilakukan pengolahan terhadap data maka didapatkan rasio bahan bakar udara,  $\bar{\lambda}$  diperoleh ialah 0,029. Analisis molar produk pembakaran adalah: 75,29% N<sub>2</sub>, 14,37% O<sub>2</sub>, 2,85% CO<sub>2</sub>, 7,49% H<sub>2</sub>O.

#### 4.1.2 Analisis Eksergi

Pengolahan data dari sistim pembangkit gas dan uap (PLTGU) dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan yang diberikan pada bagian terdahulu. Pemusnahan eksergi didapatkan dari menggunakan neraca eksergi. Hasil dari laju eksergi pada sistim dan laju pemusnahan eksergi dapat terlihat pada tabel berikut.

**Tabel 4.1**  
Eksergi Dari Masing-Masing Keadaan

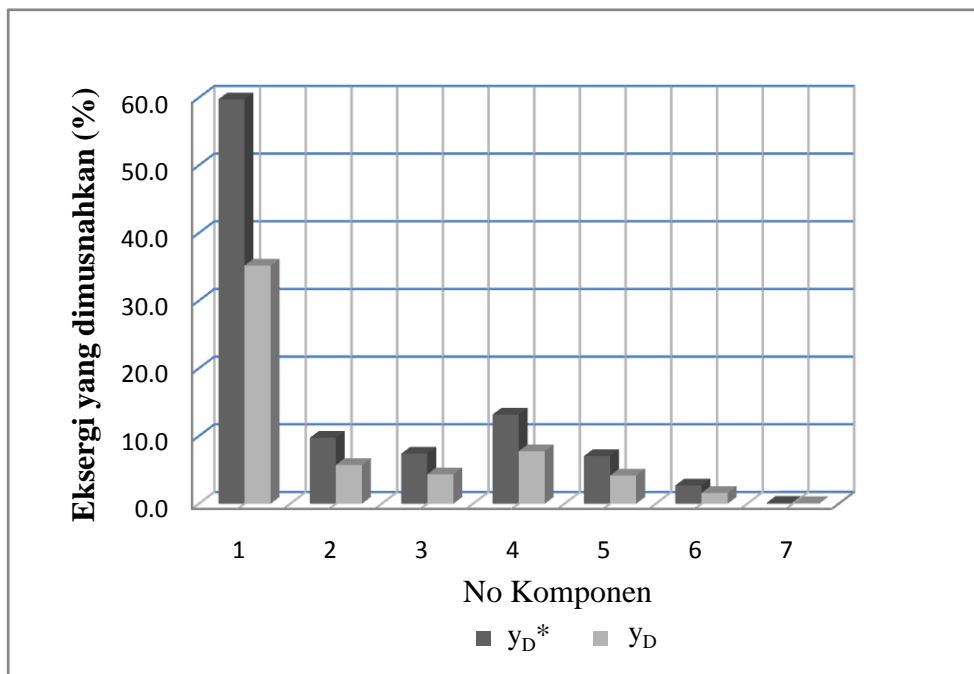
Kondisi	Substansi	Laju eksergi [MW]		
		$\dot{E}^{PH}$	$\dot{E}^{CH}$	$\dot{E}$
1	Udara masuk kompressor	0,0000	0,0000	0,0000
2	Udara keluar kompressor	50,4180	0,0000	50,4180
3	Produk pembakaran masuk turbin	133,8030	0,9340	134,7370
4	Produk pembakaran keluar turbin	46,9820	0,9340	47,9160
5	Produk pembakaran keluar HRSG	4,4540	0,9340	5,3880
6	Uap keluar HRSG	24,3440	0,0450	24,3890
7	Uap keluar turbin	4,1130	0,0450	4,1580
8	Air masuk pompa kondensat	0,2450	0,0450	0,2900
9	Air keluar pompa kondensat	0,2580	0,0450	0,3030
10	Metana masuk ruang bakar	1,1350	133,5980	134,7330
11	Air sirkulasi masuk kondensor	0,2927	2,4314	2,7241
12	Air meninggalkan kondensor	2,0120	2,4314	4,4434



**Gambar 4.1.** Laju Eksergi Pada Sistem Gas-Uap (PLTGU)

**Tabel 4.2**  
Eksergi yang dimusnahkan pada masing-masing komponen sistem

No. komponen	komponen	Eksergi yang dimusnahkan ( $\dot{E}_D$ )		
		[MW]	$y_D^*$ (%)	$y_D$ (%)
1	Ruang bakar	47,41	59,76	35,19
2	Turbin gas	7,73	9,74	5,74
3	Kompresor	5,87	7,39	4,35
4	HRSG	10,46	13,19	7,77
5	Turbin uap	5,60	7,06	4,15
6	Kondensor	2,15	2,71	1,59
7	Pompa	0,12	0,15	0,09
8	Keseluruhan	79,34	100,00	58,89



Gambar 4.2. Eksergi yang dimusnah pada tiap komponen sistem gas-uap (PLTGU)

#### 4.4 Pembahasan

Ringkasan hasil analisis eksergi untuk sistem pembangkit tenaga listrik pada PLTGU Inderalaya disajikan pada Tabel 4.1 dan 4.2 serta Gambar 4.1 dan 4.2. Tabel 4.1 dan Gambar 4.1 i memperlihatkan laju eksergi pada setiap keadaan dimana total eksergi yang tersedia pada bahan bakar sebesar 134,7330 MW.

Pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.2. nampak jelas bahwa bagian terbesar pemusnahan eksergi terjadi pada ruang bakar, yaitu sebesar 59,76 %, yang merupakan penyebab utamanya adalah proses pembakaran. Kemudian berturut-turut diikuti oleh HRSG (13,19%), turbin gas (9,74%), kompresor (7,39%), turbin uap (7,06%), kondensor (2,71%), dan pompa (0,15%). Pemusnahan eksergi pada komponen-komponen tersebut berasal dari satu atau beberapa dari ketiga jenis irreversibilitas utama yang terkait, masing-masing adalah reaksi pembakaran, perpindahan kalor dan gesekan.

Ketiga jenis irreversibilitas tersebut terjadi pada ruang bakar, dimana reaksi kimia merupakan sumber pemusnahan eksergi yang paling signifikan, yang berhubungan dengan perpindahan kalor dari aliran ke aliran. Pemusnahan eksergi pada turbin gas dan kompresor adiabatik terutama disebabkan oleh gesekan.

Pada hakekatnya, pembakaran merupakan sumber irreversibilitas yang paling signifikan, dan pengurangan secara dramatis efeknya pada pemusnahan eksergi dengan cara-cara konvensional tidaklah dapat diharapkan. Sampai saat ini, cara yang paling dikenal untuk meningkatkan efisiensi pembakaran adalah dengan pra-pemanasan udara pembakaran, mengurangi rasio bahan bakar dan udara. Pemusnahan eksergi pada turbin dan kompresor dapat berkurang bila gesekan dikurangi. Pertimbangan-pertimbangan yang diuraikan sebelumnya memberikan dasar untuk mengimplementasikan langkah-langkah rekayasa praktis untuk peningkatan performansi sistem turbin gas. Akan tetapi langkah-langkah yang demikian itu harus diterapkan secara bijaksana. Langkah-langkah peningkatan performansi termodinamika pada suatu komponen dapat saja memberikan efek yang berlawanan, tidak mengarah ke peningkatan bersih secara keseluruhan. Selain itu, langkah-langkah untuk meningkatkan performansi termodinamika selalu mempunyai konsekuensi ekonomi. Hal ini tentunya memerlukan pertimbangan-pertimbangan baik dari sisi termodinamika maupun dari sisi ekonomi.

Siklus kombinasi gas-uap yang mana pemanfaatan panas dari gas buang dari turbin gas untuk dimanfaatkan lagi sehingga efisiensi siklus akan lebih tinggi daripada siklus turbin gas sederhana. Hal ini terlihat dari efisiensi eksergetik siklus turbin gas sederhana (siklus Brayton) yang hanya 29,3%, setelah dikombinasikan, efisiensi siklus kombinasi gas – uap meningkat menjadi 38%..

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Keampuhan analisis eksergi untuk evaluasi performansi instalasi pembangkit tenaga telah dibuktikan. Analisis eksergi pada Instalasi pembangkit tenaga listrik PLTGU Inderalaya telah dilaksanakan serta lokasi-lokasi dan besarnya kerugian eksergi, pembuangan dan pemusnahan pada berbagai proses di seputar instalasi telah diketahui. Sebagai tambahan, analisis eksergi mampu menemukan tingkat ketidakefisienan suatu proses. Dari hasil studi tersebut dapat ditarik kesimpulan:

1. Lokasi terjadi pemusnahan eksergi (*exergy destruction*) yang paling tinggi terjadi pada ruang bakar yang nilainya sebesar 47,41 [MW] atau jika dipersentasakan dengan total eksergi bahan bakar yang masuk kedalam sistem ialah 35,19%, dan kemudian diikuti oleh HRSG sebesar 10,46 [MW] atau sama dengan 7,77%, dan kompresor sebesar 5,87 [MW] sama dengan 4,35%.
2. Siklus kombinasi meningkatkan efisiensi, jika dibandingkan dengan efisiensi siklus gas sederhana (29,3%) maka efisiensi siklus kombinasi lebih tinggi (38,6%). Selain daripada itu siklus kombinasi turbin gas-uap ini mengurangi emisi termal gas buang dengan pemanfaatan gas buang turbin gas yang temperaturnya masih relatif tinggi sebesar 828,15 K dengan nilai ekserginya 47,9 MW berkurang menjadi menjadi 423,85 K dengan nilai eksergi 5,39 MW yang merupakan kerugian eksergi.

### 5.2 Saran

Berdasarkan analisis eksergi hendaknya pada PLTGU unit Inderalaya dilakukan peningkatan efisiensi pada ruang bakar, yang mana beberapa hal yang mungkin untuk

dilakukan ialah melakukan pra-pemanasan pada udara dari kompresor serta mengurangi rasio bahan bakar dan udara.

Melakukan analisis yang lebih terperinci pada sistim (instalasi) ini hendaknya dilakukan dulu kalibrasi alat ukur secara keseluruhan, dan mengambil data kondisi operasi aktual dan data desain dari sistim. Juga semua alat ukur pada keadaan atau semua parameter hendaklah terpasang.

Analisis peformansi dalam hal peningkatan efisiensi dari sistim PLTGU Indralaya ini maupun ditempat lain harusnya dikaitkan juga dengan nilai-nilai ekonomi, yaitu dengan termoeкономи dan eksergi ekonomi, hal ini dapat menghubungkan operasi dengan biaya operasi dari sistim itu sendiri.

## 6. REFERENCES

- Ahern, J. E. (1980). The exergy method of energy systems analysis. Canada: John Wiley and Sons Inc.
- Bathie, William W. (1984). Fundamentals of gas turbines. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Bejan, A. (1988). Advanced engineering thermodynamics. U.S.A: John Wiley and Sons Inc.
- Bejan, A. (1998). Advanced engineering thermodynamics, 2nd ed. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran M. (1996). Thermal design and optimization. U.S.A: John Wiley and Sons Inc.
- Çengel, Y.A., Boles, M.A. (2006). Thermodynamics: an engineering approach, 5th ed., Dubuque, Iowa: McGraw-Hill.
- Çolpan, C.Ö. (2005). Exergy analysis of combined cycle cogeneration systems. Middle East Technical University.
- Ebadi, M. J., Gorji-Bandpy, M. (2005). Exergetic analysis of gas turbine plants. Int. J. Exergy, Vol. 2, No. 1.
- Holmberg, H. (2009). Determination of the real loss of power for a condensing and a backpressure turbine by means of second law analysis. Entropy 2009, 11, 702-712.
- Jubeh, N. M. (2005). Exergy analysis and second law efficiency of a regenerative brayton cycle with isothermal heat addition. Entropy 2005. 7[3], 172-187.
- Kotas, T. J. (1985). The exergy method of thermal plant analysis. London: Butterworths.
- Mahmoudi S. M. S., Ranjhar, F., Zare, V (2009). Energy and exergy analysis and regenerative gas turbines inlet air cooling using absorption refrigeration. Journal of Applied Sciences.
- Moran, M. (1982). Availability analysis. Englewood Cliffs: Prentice Hall Inc.
- Priddy, A. P., Li K. W. (1985). Power plant system design. New York: John Wiley and Sons Inc.

## PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME SEMEN PUTIH TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN IMPAK KOMPOSIT *GLASS FIBER REINFORCE PLASTIC* (GFRP) BERPENGUAT SERAT *E-GLASS CHOP STRAND MAT* DAN MATRIKS RESIN POLYESTER

**Helmy Alian**

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya

Jl. Raya Palembang – Prabumulih Km. 32 Kec. Indralaya 30662 Ogan Ilir

### ABSTRAK

Komposit polimer merupakan material alternatif pengganti logam. Melakukan penambahan paduan pada komposit polimer dengan fraksi volume tertentu merupakan salah satu cara memperbaiki sifat-sifat pada komposit. Dilakukan penelitian penambahan fraksi volume semen putih pada komposit *Glass Fiber Reinforced Plastics* (GFRP), Serat yang digunakan yaitu serat *E-glass* jenis *Chopped Strand Mat* (CSM), dan matriks yang digunakan yaitu resin polyester. Variasi volume semen putih yang ditambahkan adalah 20%, 25%, 30%, 35% dan 40% dan variasi volume matriks resin polyester adalah 75%, 70%, 65%, 60%, dan 55%, sedangkan fraksi untuk volume serat sama untuk semua variasi yaitu 5%. Serat *E-glass* jenis *Chopped Strand Mat* terlebih dahulu dipotong 26 x 26 cm berbentuk persegi. Potongan yang didapatkan untuk fraksi volume serat 5% adalah 9 potongan. Dari data yang didapat, kekuatan tarik dan impak semakin meningkat ketika dilakukan penambahan fraksi volume semen putih mulai dari fraksi 20%, 25% dan 30%, tetapi menurun ketika fraksi 35% dan 40%. Kekuatan tarik rata-rata fraksi volume semen putih 20% = 1,543 kgf/mm<sup>2</sup>, 25% = 2,243 kgf/mm<sup>2</sup>, 30% = 2,461 kgf/mm<sup>2</sup>, 35% = 1,583 kgf/mm<sup>2</sup>, dan 40% = 1,382 kgf/mm<sup>2</sup>. Kekuatan impak rata-rata fraksi volume semen putih 20% = 3,329 kgf/mm<sup>2</sup>, 25% = 4,751 kgf/mm<sup>2</sup>, 30% = 5,703 kgf/mm<sup>2</sup>, 35% = 2,377 kgf/mm<sup>2</sup>, dan 40% = 1,899 kgf/mm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk persentase adsorpsi fraksi volume semen putih 20% = 1,045 %, 25% = 1,135 %, 30% = 1,324 %, 35% = 1,349 %, dan 40% = 1,742 %.

**Kata kunci** : Komposit Polimer, *Glass Fiber Reinforced Plastics*, Semen Putih, Serat *E-glass*

### I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi bahan dewasa ini semakin pesat. Hal ini didorong oleh kebutuhan akan bahan yang dapat memenuhi karakteristik tertentu yang dikehendaki. Salah satu hasilnya adalah bahan komposit polimer. Kemampuan untuk mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan, baik dalam segi kekuatan, maupun bentuknya dan keunggulannya dalam rasio kekuatan terhadap berat, mendorong penggunaan komposit polimer sebagai bahan pengganti material logam konvensional pada berbagai produk.

Dalam industri manufaktur dibutuhkan material yang memiliki sifat-sifat istimewa yang sulit di dapat dari logam. Komposit merupakan material alternatif yang dapat



digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Material komposit adalah gabungan dari penguat (*reinforced*) dan matriks. Kelebihan material komposit jika dibandingkan dengan logam adalah perbandingan kekuatan terhadap berat yang tinggi, kekakuan, ketahanan terhadap korosi dan lain-lain.

Pemanfaatan serat sintetis pada komposit polimer masih banyak digunakan karena terbuat dari bahan sintetis / bahan modern yang diproduksi dengan industri manufaktur, di mana komponen-komponennya diproduksi secara terpisah kemudian digabungkan dengan teknik tertentu agar diperoleh struktur dan sifat yang diinginkan. Contoh serat sintetis misalkan pada serat kaca. Salah satu jenis serat kaca adalah serat E-glass. Komposit polimer berpenguat serat *E-glass* banyak digunakan dalam industri kecil atau pun besar dalam pembuatan bahan fiberglass seperti dalam pembuatan body mobil, bumper mobil, kapal, kursi tunggu di stasiun, terminal, tendon air, tangki air, dan masih banyak lagi. Pengembangan pada paduan atau campuran dalam pembuatan komposit polimer berbahan serat gelas dengan penambahan material-material tertentu seperti semen putih sangat perlu diteliti lebih lanjut. Mengingat dibutuhkannya bahan yang memiliki kekuatan fisik dan mekanik yang baik ketika diaplikasikan nantinya.

Dalam penelitian ini, penulis mencoba menggabungkan serat *E-glass* jenis *Chop Strand Mat* (CSM) dan matrik resin polyester yang biasa disebut dengan komposit polimer *Glass Fiber Reinforced Plastics* (GFRP) dengan penambahan paduan semen putih sebagai pengisi. Komposit polimer GFRP dengan penambahan semen putih ini lebih ditekankan pada variasi fraksi volume semen putih itu sendiri, sedangkan pada fraksi volume serat *E-glass* yang ada dalam paduan selalu tetap pada setiap percobaan.

Dari pertimbangan-pertimbangan diatas maka penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan data kemampuan mekanik berupa kekuatan tarik, kekuatan impak dan kemampuan fisik seperti pengujian adsorpsi pada komposit polimer *Glass Fiber Reinforced Plastics* (GFRP) dengan penambahan variasi volume semen putih yang akan diaplikasikan untuk material baru alternatif sehingga diharapkan mampu menggantikan atau mengurangi penggunaan material logam pada berbagai aplikasi.

## II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Material Komposit Polimer

Material komposit polimer dapat didefinisikan sebagai gabungan dari dua atau lebih material yang berbeda secara makroskopik dan masing-masingnya mempunyai sifat-sifat yang diinginkan, tetapi tidak dapat dari bahan – bahan penyusun asalnya jika bekerja sendiri-sendiri (Gibson R.F., 1994).

### 2.2. Komposit *Glass fiber Reinforced Plastic* (GFRP)

GFRP merupakan jenis komposit penguat serat yang banyak digunakan dan mudah untuk diterapkan. Beberapa keunggulan komposit GFRP menurut Schawrtz (1984) antara lain: kestabilan dimensinya, tahan terhadap bahan kimia, isolator listrik yang baik, mampu bentuk yang baik, cocok untuk produksi massal dengan berbagai proses produksi, dan rasio kekakuan dan berat yang cukup tinggi.

Komposit GFRP biasa digunakan dalam pembuatan komposit dengan menggunakan beberapa lapis serat *glass* dan variasi jenis resin yang berbeda, komposit GFRP akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda pula. Oleh sebab itu

paduan antara jumlah lapisan serat *glass*, bentuk serat *glass*, *density* serat *glass*, dan jenis resin yang digunakan akan berpengaruh pada kekuatan mekanis komposit yang dibuat. Bahan pembentuk komposit GFRP antara lain serat adalah serat gelas dan matriks yang memakai polyester atau dengan epoxy.

### 2.3 Serat Gelas

Serat gelas dibuat dari campuran *kaolin*, *sand*, *colemantie*, *limestone* yang dilebur dalam *furnace electrically heated bushing*. Selanjutnya, cairan material tersebut ditarik dalam bentuk *filamen* (serat) dengan diameter 5-24 mm dan ditaburkan di atas *belt conveyor* dengan orientasi acak. Serat acak tersebut diikat oleh pengikat organik *polyvinil acetate* untuk menghasilkan ikatan longgar mat terbuka yang untuk dilakukan laminasi. Tipe serat gelas yang paling banyak digunakan di industri adalah *E-glass* baik berbentuk *random chopped strand mat* (CSM) maupun *woven roving*.



Serat melintang

Gambar 2.1 Susunan Serat *Chop Strand Mat* (CSM)



Serat memanjang

Gambar 2.2 Susunan Serat *Woven Roving* (WR)

Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit.

Bentuk serat utamanya adalah benang panjang atau pendek dan biasanya dalam bentuk acak atau sudah dalam bentuk anyaman dari pabrik dengan variasi berat. Serat dalam bentuk anyaman atau acak bertujuan untuk memberikan pilihan agar kualitas komposit sesuai dengan keinginan dan fungsi dari material.

Serat *glass* mempunyai karakteristik yang berbeda-beda. Pada penggunaannya, serat *glass* disesuaikan dengan sifat/karakteristik yang dimilikinya. Biaya produksi rendah, proses produksi sangat sederhana, memberikan serat *glass* unggul dalam ratio (perbandingan) harga dan performance. Serat *glass* banyak digunakan di industri-industri otomotif seperti pada panel-panel body kendaraan. Bahkan sepeda motor sekarang seluruh body terbuat dari komposit yang berpenguat serat *glass*. Komposit

*glass/epoxy* dan *glass/polyester* diaplikasikan juga pada lambung kapal dan bagian-bagian pesawat terbang

## 2.4 Matriks

Matriks yang digunakan pada material-material komposit adalah keramik, logam, dan resin. Fungsi dari matriks dalam komposit adalah :

- Memproteksi serat dari abrasi dan impak
- Mendistribusikan beban pada serat
- Menentukan poros fabrikasi dan kekuatan tekan
- Memberikan kekakuan pada struktur.

### 2.4.1 Resin Polyester

Resin ini digunakan pada industri-industri umum, dikarenakan harganya cukup murah, daya rendah dan kekerasan yang tinggi dengan pengeringan yang cepat. Resin ini biasa di cure pada temperatur ruang dan bisa juga pada temperatur mencapai 177<sup>o</sup> C.

Kelebihan resin polyester adalah :

- Harganya relatif murah
- Stabil terhadap cahaya
- Daya rekatnya baik
- Tahan larutan kimia, khususnya asam

Kekurangan resin polyester adalah :

- Mudah terbakar
- Ketahanan terhadap sinar ultraviolet rendah
- Bersifat kaku dan getas
- Ketahanan terhadap kelembaban rendah



Gambar 2.3 Resin Polyester

### 2.4.2 Katalis

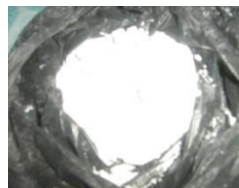
Katalis yang digunakan adalah katalis *Methyl Ethyl Keton Peroxide* (MEKPO) dengan bentuk cair, berwarna bening. Fungsi katalis adalah mempercepat proses pengeringan (*curing*) pada bahan matriks suatu komposit. Semakin banyak katalis yang dicampurkan pada cairan matriks akan mempercepat proses laju pengeringan, tetapi akibat mencampurkan katalis terlalu banyak membuat komposit menjadi getas. Pada saat mencampurkan katalis ke dalam matriks maka akan timbul reaksi panas (60<sup>o</sup> - 90<sup>o</sup>C). Proses pengerasan resin diberi bahan tambahan yaitu, katalis jenis *Metyl Etyl Keton Peroksida* (MEKPO). Pemakaian katalis dibatasi sampai 1% dari volume resin (P.T. Justus Sakti Raya, 2001). Yaitu pada pencampuran dengan resin polyester memiliki perbandingan sebagai berikut : Resin polyester : Katalis = 100 ml : 5 ml



Gambar 2.4 Katalis MEKPO

### 2.4.3 Semen Portland Putih (*White Portland Cement*)

Semen Portland Putih merupakan semen yang dipakai dalam penelitian ini. Semen Portland putih merupakan jenis semen bermutu tinggi. Biasanya digunakan untuk keperluan pekerjaan-pekerjaan arsitektur, precast dan beton yang diperkuat dengan fiber, panel, permukaan teraso, stucco, cat semen, nat ubin / keramik serta struktur yang bersifat dekoratif. Semen Portland Putih dibuat dari bahan-bahan baku pilihan yang rendah kandungan besi dan magnesium oksidanya (bahan-bahan tersebut menyebabkan semen berwarna abu-abu). Semen Portland Putih dapat juga digunakan untuk proses konstruksi pada umumnya. Semen putih dibuat untuk tujuan dekoratif, bukan untuk tujuan konstruktif. Pembuatan semen ini membutuhkan persyaratan bahan baku dan proses pembuatan yang khusus, seperti misalnya bahan mentahnya mengandung oksida *besi* dan oksida *manganese* yang sangat rendah (dibawah 1 %).

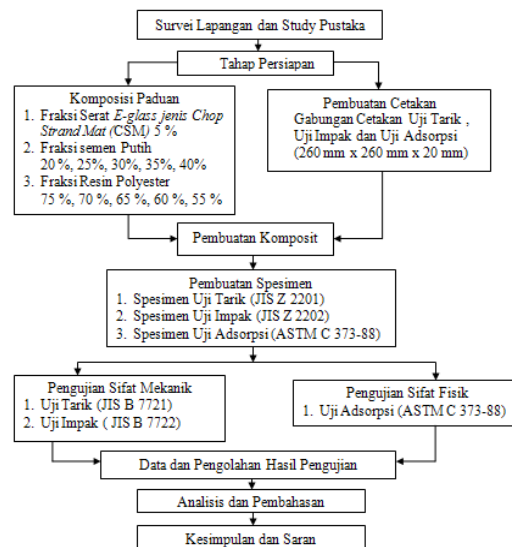


Gambar 2.5 Semen Portland Putih

## III METODE PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

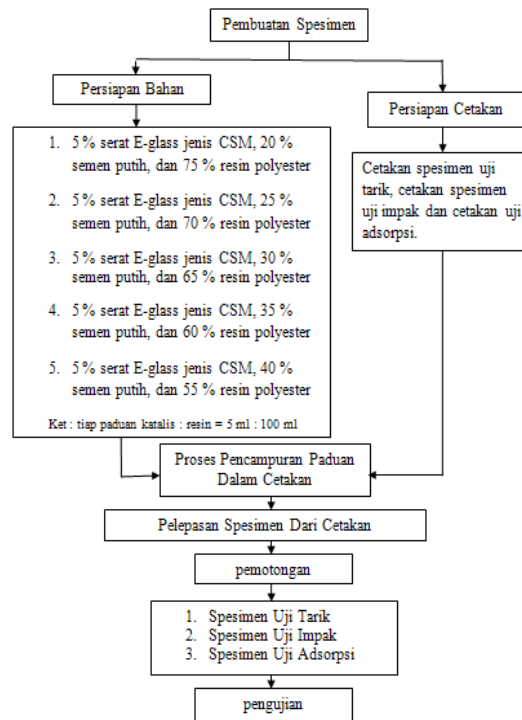
Prosedur pelaksanaan penelitian digambarkan secara skematik seperti diagram alir dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Pembuatan Spesimen Pengujian

Spesimen yang akan diuji dipersiapkan terlebih dahulu sesuai dengan paduan fraksi yang ditentukan.



Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan Spesimen

### 3.3 Langkah Kerja Pengujian Spesimen

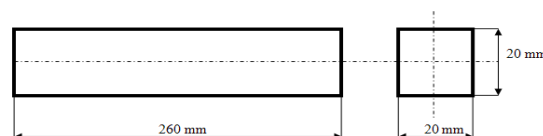
#### 3.3.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan atas sample (contoh) yang dibentuk menjadi batang uji sesuai dengan jenis standar spesimen yang dipakai. Metode pengambilan contoh, bentuk dan ukuran batang uji untuk berbagai bahan distandarkan menurut ASTM, DIN, ISO, JIS dan lain sebagainya. Dalam pengujian tarik ini penulis membuat bentuk dan ukuran spesimen sesuai dengan standar JIS Z 2201.

Pengujian tarik dilakukan pada mesin uji tarik. bisa secara mekanik atau secara hidrolis dimana mesin uji tarik akan mencatat :

1. Beban yang dialami material/ spesimen
2. Perpanjangan yang dialami spesimen.

Pada pengujian tarik, spesimen uji tarik diberikan beban gaya tarik satu sumbu yang bertambah besar secara kontinu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai pertambahan panjang yang dialami benda uji tarik tersebut. Bentuk dan besaran pada kurva tegangan-regangan suatu material tergantung pada sifat-sifat dari material itu sendiri.



Gambar 3.3 Spesimen Uji Tarik Standar JIS Z 2201

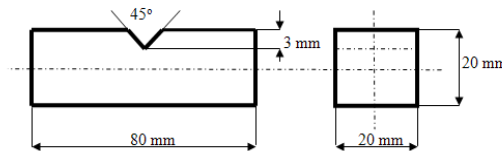
### 3.3.2 Pengujian Impak

Suatu material ulet dapat patah getas yang disebabkan oleh beberapa hal, yaitu:

- Adanya takikan
- Kecepatan pembebanan yang tinggi menyebabkan regangan yang tinggi
- Temperatur yang sangat rendah

Ketiga kondisi ini didekati dengan melakukan pengujian impact, dimana takikan sengaja dibuat pada specimen, pembebanan di timbulkan oleh pendulum (hammer), dan variasi temperatur diberikan dengan menggunakan media es atau nitrogen cair.

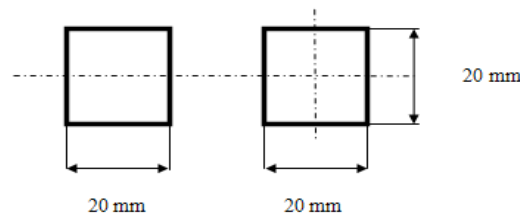
Energi Impact adalah energi potensial dari Hammer (pendulum) yang mengenai benda pada temperatur tertentu dan dihitung dalam satuan Joule. Dari hubungan dengan temperatur didapat diagram yang menggambarkan sifat material terhadap beban tiba-tiba pada temperatur tertentu. Sehingga akan didapat temperatur transisi, dimana material akan berubah dari bersifat ulet menjadi getas.



Gambar 3.4 Spesimen Uji Impak Standar JIS Z 2202

### 3.3.3 Pengujian Adsorpsi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai adsorpsi material komposit GFRP dengan penambahan semen putih. Dimana adsorpsi adalah proses penyerapan fluida (cairan) oleh suatu penyerap. Standar yang digunakan dalam pengujian ini adalah ASTM C 373-88.



Gambar 3.5 Spesimen Uji Adsorpsi Standar ASTM C 373-882

## IV DATA DAN PENGOLAHAN HASIL PENGUJIAN

### 4.1 Data Awal Hasil Pengujian

Data awal hasil pengujian pada penelitian ini meliputi data awal pengujian tarik, pengujian impact, dan pengujian adsorpsi.

#### 4.1.1 Pengujian Tarik

Tabel 4.1 Data Hasil Uji Tarik Spesimen A, B, C

Parameter	Spesimen A			Spesimen B			Spesimen C		
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
Pu (kgf)	705	525	680	965	920	910	1060	990	1005
Lo (mm)	160	160	160	160	160	160	160	160	160
Li (mm)	161	161,5	161	161,5	161,5	162	162	162	161,5



Tabel 4.2 Data Hasil Uji Tarik Spesimen D, E

Parameter	Spesimen D			Spesimen E		
	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>
Pu (kgf)	580	780	640	610	585	530
Lo (mm)	160	160	160	160	160	160
Li (mm)	160,5	160,5	161	160,5	160,5	160,5

#### 4.1.2 Pengujian Impak

Alat uji : Charpy Impact Testing Machine

P = Berat palu (25,68 kg)

D = Jarak dari pusat sumbu palu ke pusat gravitasi (0,6490 m)

$\alpha = 90\%$

$\theta$  = Sudut ayun setelah palu mengenai spesimen

Data hasil uji impak dapat dilihat pada tabel-tabel berikut ini :

Tabel 4.3 Data Hasil Uji Impak Spesimen A, B, C

Parameter	Spesimen A			Spesimen B			Spesimen C		
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
$\theta$	89	88,5	89	88	88,5	88,5	88,5	88	87,5

Tabel 4.4 Data Hasil Uji Impak Spesimen D, E

Parameter	Spesimen D			Spesimen E		
	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>
$\theta$	89	89,5	89	89	89,5	89,5

#### 4.1.3 Pengujian Adsorpsi

Dibawah ini terdapat tabel-tabel yang berisikan tentang data sebelum dilakukan pengujian adsorpsi :

Tabel 4.5 Data Adsorpsi Sebelum Pengujian

Parameter	Spesimen (gram)				
	A	B	C	D	E
Berat Kering (g)	12,150	12,508	13,027	13,560	14,812

Tabel 4.6 Data Adsorpsi Setelah Pengujian

Parameter	Spesimen (gram)				
	A	B	C	D	E
Berat Basah (g)	12,277	12,650	13,226	13,743	15,070

## 4.2 Pengolahan Data Hasil Pengujian

### 4.2.1 Pengujian Tarik

Data awal yang diperoleh pada pengujian tarik dihitung tegangan tarik maupun regangan yang dialami oleh spesimen dimana material komposit diasumsikan homogen sehingga dapat memakai persamaan pada standar yang telah ditentukan.

#### 4.2.1.1 Rata-rata Hitung Tegangan Tarik

Tabel 4.7 Rata-rata Tegangan Tarik Spesimen Fraksi Paduan

Spesimen		$\sigma_u$ Spesimen (kgf/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_u$ Rata-rata Spesimen (kgf/mm <sup>2</sup> )
A	A <sub>1</sub>	1,716	1,543
	A <sub>2</sub>	1,258	
	A <sub>3</sub>	1,655	
B	B <sub>1</sub>	2,264	2,243
	B <sub>2</sub>	2,239	
	B <sub>3</sub>	2,225	
C	C <sub>1</sub>	2,491	2,461
	C <sub>2</sub>	2,408	
	C <sub>3</sub>	2,485	
D	D <sub>1</sub>	1,395	1,583
	D <sub>2</sub>	1,829	
	D <sub>3</sub>	1,526	
E	E <sub>1</sub>	1,501	1,382
	E <sub>2</sub>	1,371	
	E <sub>3</sub>	1,275	

Spesimen		e Spesimen (%)	e Rata-rata Spesimen (%)
A	A <sub>1</sub>	0,625 %	0,729
	A <sub>2</sub>	0,9375 %	
	A <sub>3</sub>	0,625 %	
B	B <sub>1</sub>	0,9375 %	1,042
	B <sub>2</sub>	0,9375 %	
	B <sub>3</sub>	1,25 %	
C	C <sub>1</sub>	1,25 %	1,146
	C <sub>2</sub>	1,25 %	
	C <sub>3</sub>	0,9375 %	
D	D <sub>1</sub>	0,3125 %	0,4167
	D <sub>2</sub>	0,3125 %	
	D <sub>3</sub>	0,625 %	
E	E <sub>1</sub>	0,3125 %	0,3125
	E <sub>2</sub>	0,3125 %	
	E <sub>3</sub>	0,3125 %	

#### 4.2.1.2 Rata-rata Hitung Regangan Uji Tarik

Tabel 4.8 Rata-rata Regangan Tarik Spesimen Fraksi Paduan

Spesimen		e Spesimen (%)	e Rata-rata Spesimen (%)
A	A <sub>1</sub>	0,625 %	0,729
	A <sub>2</sub>	0,9375 %	
	A <sub>3</sub>	0,625 %	
B	B <sub>1</sub>	0,9375 %	1,042
	B <sub>2</sub>	0,9375 %	
	B <sub>3</sub>	1,25 %	
C	C <sub>1</sub>	1,25 %	1,146
	C <sub>2</sub>	1,25 %	
	C <sub>3</sub>	0,9375 %	
D	D <sub>1</sub>	0,3125 %	0,4167
	D <sub>2</sub>	0,3125 %	
	D <sub>3</sub>	0,625 %	
E	E <sub>1</sub>	0,3125 %	0,3125
	E <sub>2</sub>	0,3125 %	
	E <sub>3</sub>	0,3125 %	

#### 4.2.2 Pengujian Impak

Dari data pengujian impak, dapat dihitung besar energi yang diperlukan untuk mematahkan masing-masing fraksi paduan pada spesimen uji impak

Tabel 4.9 Energi (E) Untuk Spesimen Uji Impak

Spesimen	P (kg)	D (m)	$\alpha$	$\theta$	$E_1$ (kg m)	$E_2$ (kg m)	E joule	
A	A <sub>1</sub>	25,68	0,6490	90 °	89	16,666	16,375	2,855
	A <sub>2</sub>	25,68	0,6490	90 °	88,5	16,666	16,230	4,277
	A <sub>3</sub>	25,68	0,6490	90 °	89	16,666	16,375	2,855
B	B <sub>1</sub>	25,68	0,6490	90 °	88	16,666	16,085	5,699
	B <sub>2</sub>	25,68	0,6490	90 °	88,5	16,666	16,230	4,277
	B <sub>3</sub>	25,68	0,6490	90 °	88,5	16,666	16,230	4,277
C	C <sub>1</sub>	25,68	0,6490	90 °	88,5	16,666	16,230	4,277
	C <sub>2</sub>	25,68	0,6490	90 °	88	16,666	16,085	5,699
	C <sub>3</sub>	25,68	0,6490	90 °	87,5	16,666	15,939	7,132
D	D <sub>1</sub>	25,68	0,6490	90 °	89	16,666	16,375	2,855
	D <sub>2</sub>	25,68	0,6490	90 °	89,5	16,666	16,521	1,422
	D <sub>3</sub>	25,68	0,6490	90 °	89	16,666	16,375	2,855
E	E <sub>1</sub>	25,68	0,6490	90 °	89	16,666	16,375	2,855
	E <sub>2</sub>	25,68	0,6490	90 °	89,5	16,666	16,521	1,422
	E <sub>3</sub>	25,68	0,6490	90 °	89,5	16,666	16,521	1,422

##### 4.2.2.1 Rata-rata Hitung Energi Impak

Tabel 4.10 Rata-rata Energi Impak Untuk Setiap Spesimen Fraksi Paduan

Spesimen	Energi (E) Spesimen (joule)	Energi (E) Rata-rata Spesimen (joule)
A	A <sub>1</sub>	2,855
	A <sub>2</sub>	4,277
	A <sub>3</sub>	2,855
B	B <sub>1</sub>	5,699
	B <sub>2</sub>	4,277
	B <sub>3</sub>	4,277
C	C <sub>1</sub>	4,277
	C <sub>2</sub>	5,699
	C <sub>3</sub>	7,132
D	D <sub>1</sub>	2,855
	D <sub>2</sub>	1,422
	D <sub>3</sub>	2,855
E	E <sub>1</sub>	2,855
	E <sub>2</sub>	1,422
	E <sub>3</sub>	1,422

#### 4.2.3 Pengujian Adsorpsi

Untuk pengujian adsorpsi, digunakan 5 buah sampel untuk setiap persentase fraksi paduan yang berbeda. Data pada pengujian adsorpsi diambil dari hasil pengukuran berat sampel dalam keadaan kering dan kemudian hasil pengukuran dalam keadaan basah. Dari data pengujian adsorpsi, dapat dihitung besar persentase adsorpsi dari material berpenguat Serat *E-glass jenis Chop Strand Mat* dan semen putih dengan resin polyester.

Tabel 4.11 Persentase Adsorpsi Untuk Setiap Spesimen Fraksi Paduan

Spesimen	Berat Kering (D) (gram)	Berat Basah (M) (gram)	Adsorpsi (% volume)
A	12,150	12,277	1,045
B	12,508	12,650	1,135
C	13,027	13,226	1,324
D	13,560	13,743	1,349
E	14,812	15,070	1,742

## V. ANALISA DAN PEMBAHASAN

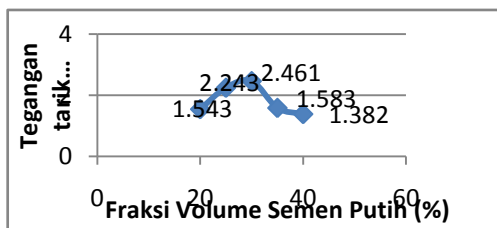
### 5.1 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Dari pengolahan data yang telah dilakukan diperoleh hasil berupa nilai tegangan ultimate yang didapat dari hasil perbandingan antara beban ultimate ( $P_u$ ) dengan luas penampang ( $A$ ). Tegangan ultimate rata-rata untuk spesimen A (5 % *E-glass* jenis *Chop Strand Mat* dan 20 % semen putih dengan 75 % resin polyester) sebesar 1,543 kgf/mm<sup>2</sup>, untuk spesimen B (5 % serat *E-glass* jenis *Chop Strand Mat* dan 25 % semen putih dengan 70 % resin polyester) sebesar 2,243 kgf/mm<sup>2</sup>, untuk spesimen C (5 % serat *E-glass* jenis *Chop Strand Mat* dan 30 % semen putih dengan 65 % resin polyester) sebesar 2,461 kgf/mm<sup>2</sup>, untuk spesimen D (5 % serat *E-glass* jenis *Chop Strand Mat* dan 35 % semen putih dengan 60 % resin polyester) sebesar 1,583 kgf/mm<sup>2</sup>, untuk spesimen E (5 % serat *E-glass* jenis *Chop Strand Mat* dan 40 % semen putih dengan 55 % resin polyester) sebesar 1,382 kgf/mm<sup>2</sup>.

Berdasarkan hasil pengolahan data yang didapat dapat disimpulkan bahwa persentase paduan sangat mempengaruhi kekuatan tegangan ultimate. Ketika penambahan persentase paduan semen putih mulai dari fraksi volume 10 % sampai ke 30 % terjadi kenaikan kekuatan tegangan ultimate, sedangkan setelah fraksi 35% ke 40 % terjadi penurunan kekuatan tegangan ultimate secara drastis. Dari data nilai diketahui bahwa komposit polimer GFRP dengan berpenguat serat *E-glass* jenis *Chop Strand Mat* (CSM) dan matriks resin polyester dengan penambahan semen putih bervariasi pada fraksi volumenya memiliki kekuatan tarik yang relative kecil, kemungkinan terbesar karena adanya porositas atau pori-pori yang terjadi karena terperangkapnya udara pada saat proses pencetakan. Porositas yang terjadi mengakibatkan penurunan kekuatan sifat mekanik yang dimiliki oleh material tersebut karena porositas merupakan cacat pada material. Dalam pengujian juga terdapat beberapa spesimen putus bukan di tengah melainkan didaerah pangkal spesimen. Hal ini disebabkan karena pada saat pengujian daerah yang dicekam tidak simetris. Sehingga menyebabkan retak pada saat pemasangan pencekam spesimen sebelum spesimen di uji.

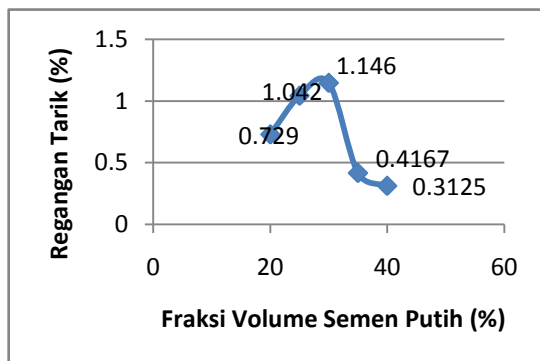
Regangan ( $\epsilon$ ) yang didapat relative kecil, hal ini mengindikasikan bahwa material memiliki keuletan yang rendah. Hal ini juga ditandai dengan pertambahan panjang ( $\Delta L$ ) yang kecil menunjukkan sifat getas dari material, sebaliknya jika pertambahan panjang yang semakin besar maka material tersebut bersifat ulet.

Hasil Pengujian Tarik masing- masing fraksi paduan pada spesimen untuk nilai rata – rata kekuatan tegangan tarik dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Grafik 5.1 Tegangan Tarik – Fraksi Volume Semen Putih

Selain nilai rata-rata kekuatan tegangan tarik, dapat dilihat juga grafik nilai rata-rata kekuatan regangan tarik untuk masing-masing fraksi paduan pada spesimen.



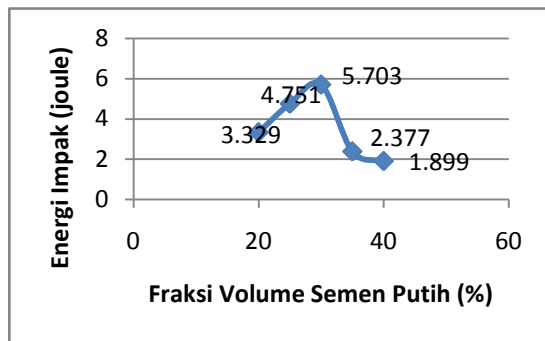
Grafik 5.2 Regangan Tarik – Fraksi Volume Semen Putih

## 5.2 Hasil Pengujian Kekuatan Impak

Berdasarkan data yang diperoleh untuk spesimen material komposit penelitian ini dibutuhkan untuk mematahkan spesimen A berkisar antara 2,855 sampai 4,277 joule. Untuk spesimen B berkisar antara 4,277 sampai 5,699 joule. Untuk spesimen C dibutuhkan 4,277 sampai 7,132 joule. Untuk spesimen D berkisar antara 1,422 sampai 2,855 joule. Untuk spesimen E dibutuhkan berkisar antara 1,422 sampai 2,855 joule.

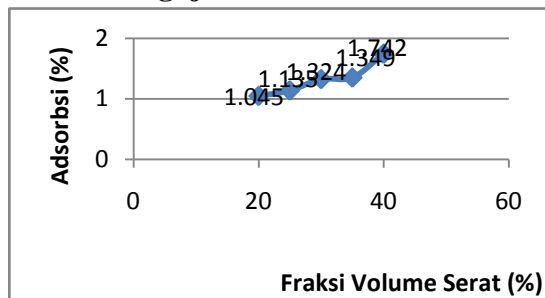
Sedangkan untuk nilai rata-rata energi impact untuk spesimen A sebesar 3,329 joule, untuk spesimen B sebesar 4,751 joule, untuk spesimen C sebesar 5,703 joule, untuk spesimen D sebesar 2,377 joule, dan untuk spesimen E sebesar 1,899 joule. Hal ini menunjukkan perbedaan kekuatan pada masing-masing spesimen antara fraksi 20 % sampai dengan 40 % semen putih yang tidak terlalu besar. Pada perbandingan variasi semen putih pada komposit polimer GFRP menunjukkan bahwa ketika penambahan persentase paduan semen putih mulai dari fraksi volume 10 % sampai ke 30 % terjadi peningkatan kekuatan material untuk menahan beban impact, tetapi setelah fraksi 35% naik ke 40 % terjadi sifat kebalikannya yaitu terjadinya penurunan kekuatan beban impactnya.

Setelah nilai rata-rata hitung didapatkan maka dapat kita lihat grafik peningkatan kekuatan tegangan impact untuk masing-masing fraksi paduan pada spesimen yang telah dilakukan uji impact yaitu :



Grafik 5.3 Energi Impak – Fraksi Volume Semen Putih

### 5.3 Pengujian Adsorpsi



Grafik 5.4 Energi Adsorpsi – Fraksi Volume Semen Putih

Dari grafik terlihat bahwa pengaruh persentase volume fraksi paduan terhadap adsorpsi air, dimana semakin tinggi kandungan semen putih maka semakin besar adsorpsi. Nilai adsorpsi rata-rata pada spesimen A sebesar 1,045 %, spesimen B sebesar 1,135 %, spesimen C sebesar 1,324 %, spesimen D sebesar 1,349 %, spesimen E sebesar 1,742 %. Melihat hasil yang didapat dari besarnya adsorpsi untuk spesimen kecil dengan rata-rata dibawah 10 % maka material komposit ini baik digunakan dalam lingkungan basah dan cocok dijadikan material komposit alternative.

## VI. KESIMPULAN

Berdasarkan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian. Setelah diadakan perhitungan dan analisa tentang pengaruh dari variasi penambahan volume semen putih pada komposit *Glass Fiber Reinforced Plastics* (GFRP) berpenguat serat *E-glass* jenis *Chop Strand Mat* (CSM) dan matriks resin polyester. Maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kekuatan tarik rata-rata untuk semua jenis spesimen berbeda, menunjukkan bahwa adanya pengaruh dari volume fraksi semen putih yang digunakan. Spesimen C dengan 30 % fraksi semen putih memiliki kekuatan tarik terbesar yaitu  $2,461 \text{ kgf/mm}^2$  dan spesimen E dengan 40 % serat *E-glass* jenis *Chop Strand Mat* memiliki penurunan kekuatan tarik yaitu  $1,382 \text{ kgf/mm}^2$ .
2. Pertambahan panjang yang relative kecil pada semua paduan fraksi menandakan bahwa kekuatan komposit paduan ini getas.
3. Kekuatan impak rata-rata yang paling besar terdapat pada spesimen C dengan 30 % fraksi semen putih sebesar 5,703 joule dan yang paling kecil terdapat pada spesimen E dengan 40 % semen putih sebesar 1,899 joule. Ini mengindikasikan



- kekuatan impak maksimum ada pada fraksi 30 % semen putih. Setelah fraksi 35 % semen putih terjadi penurunan sifat mekaniknya.
4. Persentase daya adsorpsi spesimen dengan 40 % semen putih memiliki nilai yang paling tinggi tingkat adsorpsinya yaitu bernilai 1,742 %. Sedangkan persentase daya adsorpsi terendah terdapat pada spesimen dengan 20 % semen putih yaitu bernilai 1,045 %. Bisa disimpulkan bahwa Adsorpsi air komposit dalam penelitian ini adalah kecil dan baik digunakan dalam lingkungan basah.
  5. Dari beberapa paduan yang digunakan dalam pengujian dapat disimpulkan bahwa spesimen dengan paduan fraksi 30 % semen putih mempunyai sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan spesimen lainnya.
  6. Terlalu berlebihan dalam penambahan volume semen putih menyebabkan tidak sempurnanya ikatan antara resin polyester, semen putih dan serat gelas karena perbandingan volume resin dengan serat gelas dan semen putih hampir sama. Fungsi resin polyester sebagai pengikat menjadi melemah sehingga dapat membuat komposit polimer GFRP dengan berpenguat serat *E-glass* jenis *Chop Strand Mat* (CSM) dan resin polyester menjadi semakin getas. Terlihat jelas dari penurunan kekuatan tarik dan impak pada fraksi 35% dan 40 % semen putih pada komposit dalam penelitian ini.
  7. Seiring dari penambahan fraksi volume semen putih meningkat maka terjadi peningkatan juga pada berat komposit paduan ini.

## VII. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2001. *Technical Data Sheet*, P.T. Justus Kimia Raya, Jakarta.
- ASTM, 1998, *Annual Book of ASTM Standart Section 4*, Vol.13, ASTM, New York, C 393 – 94.
- Berthelot, Marie dan Jean, 1999, *Composite Materials*, New York, USA
- Callister, W.D., 1997, *Material Science And Engineering*, Jhon Wiley&Sons, New York.
- Febrianto dan Diharjo, 2004, *Karakteristik Mekanis Kekuatan Bending dan Impak Komposit Hibrid Sandwich GFRP Dengan Core Kayu Sengon Laut*, UNS, Surakarta
- Gibson, F.R., 1994, *Principles of Composite material Mechanis*, *International Edition*, McGraw-Hill Inc, New York.
- Hadi, B.K., 2001, *Mekanika Struktur Komposit*, Departemen Pendidikan Nasional, Bandung.
- Herakovich, C.T., *Mechanical of Fibrous Composites*, John Wiley Sons, Inc, first Edition, USA, 1998
- Ismoyo dan Smith M.J, 1999, *Bahan Konstruksi dan Struktur Teknik* (eds.2), Jakarta.
- Jones, P.M, 1975, *Mechanics Of Composite Materials*, *Institute Of Technology*, Southern Methodist University, Mc Graw-Hill, Dallas.
- Laboratorium Metallurgy Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya, *Panduan Pengujian Mekanik dan Metalurgy*. 2006
- Singer, L. Ferdinand, Andrew Pytel dan Ir. Darwin Sebayang, *Kekuatan Bahan (Teori kokoh-Strength of Material )eds.3*, 1999, Jakarta
- Sudjono, Hendra, 2004, *The Influence Of Catalyst Volume On The Property Of Polymer Composites*, Universitas Sanata Dharma, Jogjakarta.
- Schwartz, M.M., 1984 *Composite Materials Handbook*, McGraw-Hill Inc, New York.



Yanuar, D, 2002, *Pengaruh Berat Serat E-Glass Chopped Strand Mat Terhadap Beban Bending, Impak dan Tarik Komposit GFRP*, UNS, Surakarta.

Warsono, 2006, *Pengaruh Tebal Core Terhadap Peningkatan Kekuatan Bending Komposit Sandwich Serat Kenaf Dengan Core Kayu Sengon Laut*, Unnes, Semarang.

[www.lafargenorthamerica.com/White\\_Portland\\_PDS\\_v5](http://www.lafargenorthamerica.com/White_Portland_PDS_v5) 30 April 2011.



## PENGARUH WAKTU TAHAN *POURING* TERHADAP STRUKTUR MIKRO PLAT TWDI 1 mm

Rianti D. Sulamet-Ariobimo<sup>1,a</sup>, Johny W. Soedarsono<sup>2,3,b</sup>, Bambang Suharno<sup>2,c</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti  
Kampus A, Jl. Kyai Tapa No. 1, Grogol, Jakarta 1440, Indonesia

<sup>3</sup>Departemen Metallurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia  
Kampus UI Depok, Depok 16424, Indonesia

<sup>4</sup>Politeknik Negeri Jakarta  
Kampus UI Depok, Depok 16424, Indonesia

[riantariobimo@yahoo.com](mailto:riantariobimo@yahoo.com)<sup>a</sup>, [jwsono@metal.ui.ac.id](mailto:jwsono@metal.ui.ac.id)<sup>b</sup>, [suharno@metal.ui.ac.id](mailto:suharno@metal.ui.ac.id)<sup>c</sup>

### ABSTRACT

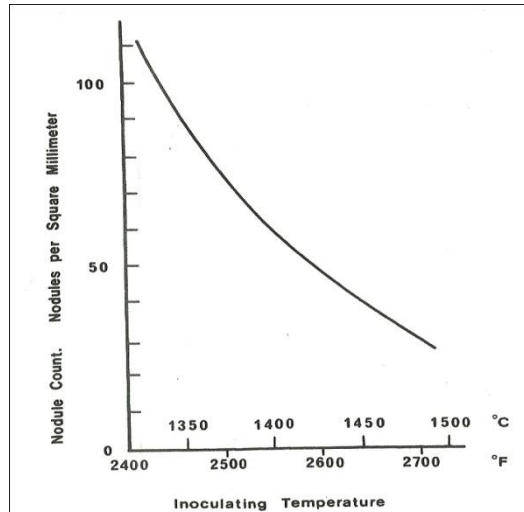
*Fading in ductile iron production covers the loss of inoculation and nodulation effectiveness. The main factors of fading are process time and temperature including rest time between tapping and pouring. This research conducted to see the effect of time rest between tapping and pouring process to the completion of inoculation and nodulation process. Analysis was done on 1 mm plates of TWDI casting process. The liquid metal came from 1 bath. Variations of casting condition were presented. The Tapping temperature was 1550°C. The pouring temperature varied of the first bath was 1399°C, 1389°C, 1385°C and 1381°C. Rest time was analysis as the temperature differences between tapping temperature and pouring temperature. The completion of inoculation and nodulation process were seen in nodule count and nodularity. The result shows that longer rest time lay between tapping and pouring will cause disturbance to inoculation and nodulation process. Apart from that the level of tapping temperature which is also inoculation temperature should be maintained.*

**Keywords** : 1 mm TWDI plate, nodulation, inoculation, process condition, nodule count, nodularity, tapping, pouring.

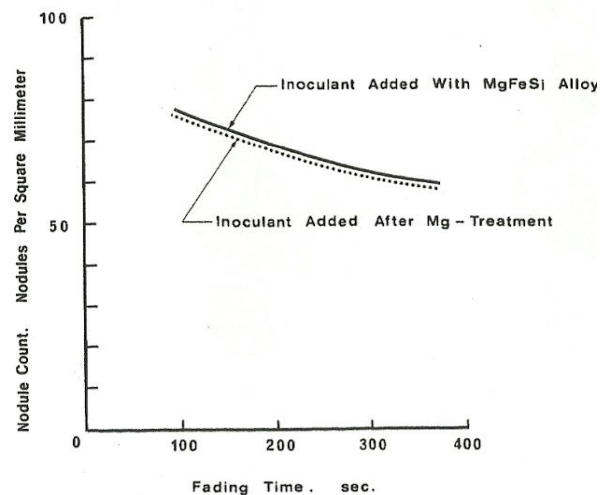
### 1. PENDAHULUAN

Pada proses pembuatan besi tuang nodular terdapat 2 proses *liquid treatment* yang sangat menentukan kualitas. Proses *liquid treatment* tersebut adalah proses inokulasi dan proses nodulasi.

Secara metalurgis, inokulasi didefinisikan sebagai mempersiapkan logam cair dengan benih-benih atau inti-inti untuk tumbuh fasa padat pada saat proses pembekuan [1]. Pada logam cair dilakukan penambahan material yang akan menghasilkan inti-inti yang heterogenus untuk pertumbuhan grafit nodular. Material yang digunakan adalah material yang mengandung unsur silicon (Si) dan disebut sebagai inokulan. Efektivitas inokulasi akan berkurang dengan semakin tingginya temperatur proses inokulasi seperti terlihat pada Gbr. 1. Ketika inokulan ditambahkan



Gbr. 1. Efektivitas Inokulasi



Gbr. 2. Pengaruh Nodulasi

bersama-sama dengan FeSiMg sebagai nodulan, terlihat adanya sedikit kenaikan jumlah nodul seperti terlihat pada Gbr. 2.

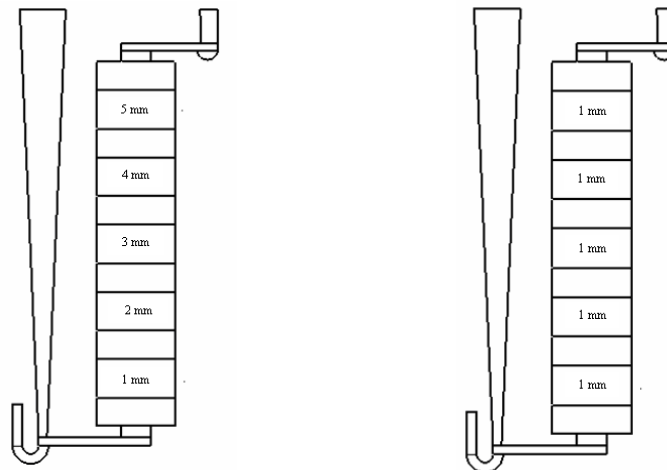
Nodulasi adalah proses penambahan unsur cerium (Ce) dan/atau magnesium (Mg) ke dalam logam cair yang bertujuan untuk membuat agar grafit yang terbentuk mempunyai bentuk nodular. Proses nodulasi adalah proses modifikasi struktur solidifikasi sehingga fasa grafit akan berpresipitasi dan tumbuh dalam bentuk *spherical*, [2]. Unsur Mg lebih banyak digunakan sebagai nodulan karena lebih murah dari unsur Ce. Efektivitas nodulasi tergantung pada beberapa hal, yaitu: kadar sulfur dalam logam cair, temperatur *tapping*, waktu penambahan, kebersihan logam cair dari *slag*, desain dan kondisi ladle, kecepatan penuangan logam cair ke dalam ladle, jenis dan ukuran logam penutup, waktu *pouring*, inokulasi dan jenis dan kondisi noduliser [3].

Proses inokulasi dan nodulasi tidak menetap dalam logam cair [2,4,5]. Unsur-unsur tersebut akan meninggalkan logam cair setelah temperatur dan waktu efektifnya terlewati. Kondisi menghilangnya efek inokulasi dikenal dengan istilah *fading* atau *fade* [5]. *Fading* sangat bervariasi dan ditentukan oleh jenis inokulan yang digunakan dan komposisi kimia [5]. Gundlach dalam Huerta dan Popovski menyatakan bahwa *fade* dalam besi tuang nodular diartikan sebagai hilangnya nodularitas terhadap waktu [6]. Konsep *fade* dalam besi tuang nodular mencakup menghilangnya efektivitas nodulan dan inokulan [6]. Hilangnya efektivitas nodulan akan berakibat grafit yang terbentuk adalah grafit *compacted* atau bahkan grafit serpih. Secara umum efek inokulasi akan menghilang sampai setengahnya setelah 5 sampai 7 detik, [7]. Dalam besi tuang nodular, efek *fading* berkurang dengan kehadiran Ce. Pada Gbr. 2 terlihat hubungan antara efek inokulasi dengan jumlah nodul dari beberapa inokulan. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Huerta dan Popovski menemukan bahwa *fading* dalam besi tuang nodular akan terjadi setelah 6 menit pertama [6].

Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh jeda antara *tapping* dengan *pouring* terhadap keberhasilan proses *liquid treatment* dari plat TWDI dengan ketebalan 1 mm. Jeda waktu dilihat sebagai perbedaan antara temperatur *tapping* dengan *pouring*. Sementara keberhasilan proses *liquid treatment* dilihat sebagai fungsi dari jumlah nodul dan nodularitas.

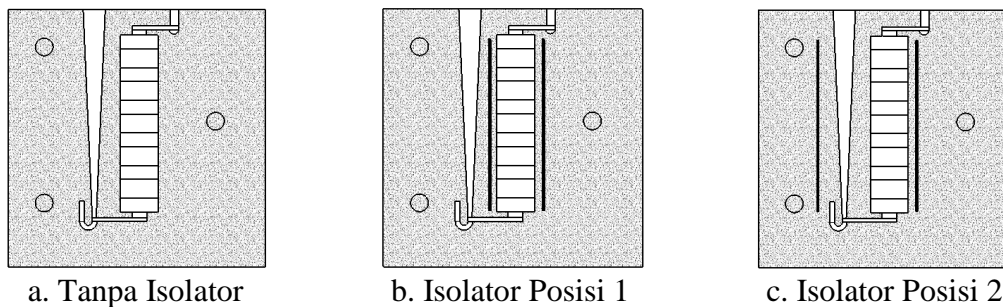
## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini membuat plat TWDI dengan menggunakan desain pengecoran vertikal seperti terlihat pada Gbr. 3.a. Dalam 1 kali penuangan dibuat 5 buah plat berukuran  $150 \times 75 \text{ mm}^2$  dengan ketebalan adalah 5,4,3,2 dan 1 mm. Kelima plat disusun secara paralel berurutan mulai dari plat paling tipis, 1 mm, terletak paling dekat dengan saluran masuk. Variasi dilakukan pada penggunaan isolator untuk memperlambat proses perpindahan panas yang terjadi. Posisi peletakan isolator seperti terlihat pada Gbr. 4. Selain membuat plat dengan ketebalan yang berbeda, juga dibuat plat dengan semua ketebalan sama seperti terlihat pada Gbr. 3.b.



a. ketebalan plat 5 sampai 1 mm      b. ketebalan plat semua 1 mm

Gbr. 3. Design Pengecoran



a. Tanpa Isolator

b. Isolator Posisi 1

c. Isolator Posisi 2

Gbr. 4. Peletakan Isolator

Proses *liquid treatment* dilakukan secara bersamaan dengan sistim *sandwich*. Pengecoran dilakukan dalam 1 kali pouring. Temperatur tapping adalah  $1550^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan temperatur penuangan berturut-turut adalah: A adalah  $1385^{\circ}\text{C}$ , B adalah  $1381^{\circ}\text{C}$ , C adalah  $1389^{\circ}\text{C}$ , dan D adalah  $1399^{\circ}\text{C}$ . Penamaan cetakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 : Penamaan Cetakan

Kode	Kondisi
A	Ketebalan plat 5 sampai 1 mm tanpa isolator
B	Ketebalan plat 5 sampai 1 mm dengan isolator posisi 2
C	Ketebalan plat 5 sampai 1 mm dengan isolator



posisi 1  
D Ketebalan semua plat 1 mm tanpa isolator

---

Pengujian komposisi kimia menggunakan spektrometri. Logam cair sampel diambil sebelum dilakukan proses *liquid treatment*. Pengamatan struktur mikro dilakukan mengikuti JIS G5502. Etsa dilakukan dengan menggunakan nital. Identifikasi struktur mikro dilakukan dengan mengacu pada ASM. Analisa kuantitatif terhadap struktur mikro dilakukan secara manual mengikuti JIS G5502 dan dengan menggunakan program *Cyuzou Kun* yang dimiliki oleh *Iwate University* dan NIS Element Br 3.1 dengan lisensi yang dimiliki oleh Laboratorium Metalurgi Fisik, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti.

Pada penelitian ini analisa hanya dilakukan pada plat dengan ketebalan 1 mm yang terletak paling dekat dengan saluran masuk.

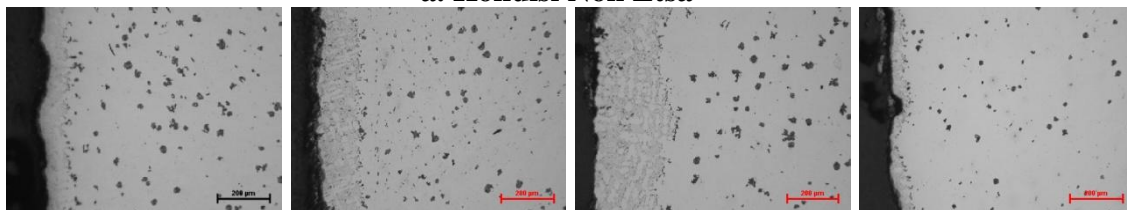
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemeriksaan spektrometri untuk komposisi kimia logam cair yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

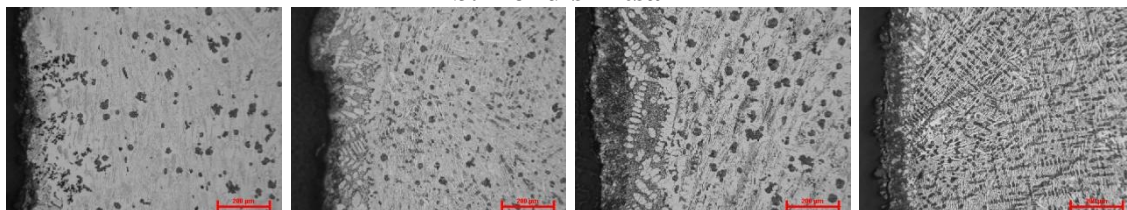
Tabel 2 : Komposisi Kimia – berat, %.

Penuangan	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mg	CE
P6	3,51	2,14	0,34	0,02	0,02	0,12	0,04	0,07	0,02	4,2

#### a. Kondisi Non Etsa



#### b. Kondisi Etsa



Cetakan A

Cetakan B

Cetakan C

Cetakan D

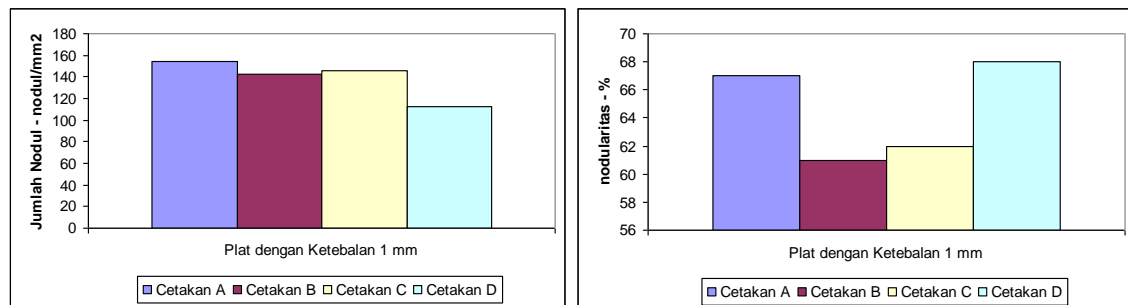
Gbr. 5. Foto Struktur Mikro Plat 1 mm

Hasil analisa komposisi kimia menunjukkan bahwa komposisi kimia logam cair yang digunakan tidak memenuhi standar yang digunakan untuk silikon (Si) dan magnesium (Mg). Kadar Si kurang 11% dan kadar Mg kurang 33% dari standar minimal masing-masing. Sedangkan kadar sulfur (S) ada dalam batas maksimal.

Hasil foto struktur mikro non etsa, Gbr. 5.a. menunjukkan jumlah nodul yang dihasilkan oleh cetakan A terlihat lebih banyak dari pada cetakan yang lain. Bahkan pada foto struktur mikro Cetakan D terlihat jumlah nodul yang sangat sedikit. Foto struktur mikro non etsa juga menunjukkan terbentuknya lapisan kulit untuk Cetakan A, B, dan C. Lapisan kulit tidak terlihat pada foto struktur mikro Cetakan D. Hasil foto struktur mikro etsa, Gbr. 5.b., menunjukkan bahwa matriks yang terbentuk adalah



karbida. Foto struktur mikro Cetakan D menunjukkan struktur yang terbentuk adalah karbida penuh. Nodularitas Cetakan A terlihat paling tinggi jika dibandingkan dengan Cetakan B dan C. Walaupun jumlah nodul cetakan D rendah tetapi nodularitas dari grafit yang terbentuk terlihat tinggi. Jika dibandingkan dengan Cetakan A, nodularitas Cetakan A hampir sama dengan Cetakan D.



a. Jumlah Nodul

b. Nodularitas

Gbr. 6. Jumlah Nodul dan Nodularitas

Hasil analisa kualitatif ternyata didukung oleh hasil perhitungan terhadap jumlah nodul Gbr. 6.a. Jumlah nodul tertinggi dimiliki oleh plat 1 mm yang berasal dari Cetakan A. Sedangkan jumlah nodul yang terendah, seperti sudah disampaikan pada analisa kualitatif, adalah Cetakan D. Secara kualitatif terlihat banyak titik-titik hitam pada hasil foto struktur mikro Cetakan B, tetapi perhitungan dibatasi pada diameter minimal ikut terhitung adalah 5 mikron, sehingga jumlah nodul menjadi lebih banyak pada Cetakan C. Pembatasan dilakukan karena untuk bintik hitam dibawah 5 mikron sangat sulit untuk dipastikan bahwa hal tersebut adalah grafit nodular, bukan inklusi. Secara umum jumlah nodul yang dicapai oleh keseluruhan plat dengan ketebalan 1 mm berada jauh dibawah batas minimal, yaitu 1000 nodul/mm<sup>2</sup>. Hal ini terjadi karena perbedaan temperatur antara proses *tapping* dengan *pouring* terlihat cukup jauh. Perbedaan temperatur Cetakan A adalah 165<sup>o</sup>, Cetakan B adalah 169<sup>o</sup>, Cetakan C adalah 161<sup>o</sup>, dan Cetakan D adalah 151<sup>o</sup>. Jika diasumsikan penurunan temperatur logam cair adalah 20<sup>o</sup>/detik, maka jeda waktu antara proses *tapping* dengan *pouring* untuk Cetakan A adalah 8,25 menit, Cetakan B adalah 8,45 menit, Cetakan C adalah 8,05 menit dan Cetakan D adalah 7,55 menit. Semua waktu tunggu melewati waktu efektif inokulasi yaitu 5 sampai 7 menit [7] dengan batas maksimum waktu adalah 6 menit [6]. Selain itu jika dilihat dari temperatur *tapping*, yaitu 1550<sup>o</sup>C, maka temperatur *tapping* yang digunakan pada penelitian ini terlalu tinggi terutama karena proses *liquid treatment* yang digunakan adalah sistim *sandwich*. *Tapping* umumnya dilakukan pada temperatur 1500<sup>o</sup>C [3]. Ketika proses *liquid treatment* dilakukan dengan sistem *sandwich* berarti temperatur logam cair yang tinggi akan menjadi temperatur proses inokulasi. Semakin tinggi proses inokulasi maka jumlah nodul yang terjadi pun akan semakin sedikit. Temperatur inokulasi yang dapat menghasilkan jumlah nodul maksimum adalah sekitar (1310 – 1320)<sup>o</sup>C. Penggunaan isolator terlihat cenderung mengurangi jumlah nodul. Tetapi pengurangan tersebut terlihat tidak signifikan.

Hasil analisa kualitas dari nodularitas juga didukung oleh hasil kuantitas, Gbr. 6.b. Nodularitas tertinggi memang diperoleh Cetakan D, lalu diikuti oleh Cetakan A. Perbedaan nodularitas antara Cetakan D dengan Cetakan A tidak signifikan, hanya 1,5% sehingga dapat dikatakan bahwa nodularitas Cetakan A serupa (similar) dengan

Cetakan D. Pada Cetakan D, walaupun jumlah nodulnya paling rendah tetapi terlihat bahwa setiap grafit yang terbentuk mempunyai nilai nodularitas yang tinggi. Ini menunjukkan bahwa proses nodulasi tetap berjalan dengan baik walaupun proses inokulasinya gagal. Sedangkan untuk Cetakan B dan C, memang nodularitasnya tidak sebaik Cetakan A dan D tetapi perbedaannya juga tidak terlalu signifikan, yaitu 10% untuk perbedaan antara nodularitas terkecil (Cetakan B) dengan nodularitas terbesar (Cetakan D). Nodularitas yang dicapai pada penelitian ini masih belum memenuhi persyaratan yang ada, yaitu berkisar 80% sampai 90%. Hal ini terjadi sama seperti halnya dengan proses inokulasi, yaitu karena jeda waktu pouring yang terlalu lama dan temperatur *tapping* yang terlalu tinggi. Penggunaan isolator cenderung mengurangi nodularitas. Pengurangan yang terjadi terlihat lebih signifikan jika dibandingkan dengan jumlah nodul. Walaupun demikian dapat dikatakan penggunaan isolator tidak memberikan efek yang signifikan terhadap nodularitas.

Jika analisa dilakukan kepada posisi peletakan isolator, Gbr. 3 dan Gbr. 6, maka terlihat jika isolator diletakan simetris pada posisi samping kiri dan kanan tepat di samping plat, Gbr. 3.b., akan memberikan jumlah nodul dan nodularitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan posisi peletakan isolator yang tidak simetris, Gbr. 3.c. Hal ini sebagai akibat dari proses pelepasan dan perpindahan panas yang terjadi.

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini jeda waktu antara proses *tapping* dengan *pouring* tidak boleh terlalu lama karena akan menyebabkan terjadinya kegagalan proses inokulasi dan nodulasi. Hasil penelitian juga menunjukkan walaupun jumlah nodul yang diperoleh rendah tetapi nodularitas yang diperoleh tetap di atas 50%. Selain itu temperatur *tapping* yang juga menjadi temperatur inokulasi tidak boleh terlalu tinggi karena jumlah nodul yang terbentuk akan semakin berkurang dengan semakin tingginya temperatur proses inokulasi.

Kesimpulan lain yang dapat diambil adalah walaupun tidak signifikan tetapi terlihat penggunaan isolator mengurangi jumlah nodul dan nodularitas. Pengaruh isolator terlihat lebih signifikan pada nodularitas. Selain itu dapat disimpulkan juga posisi peletakan isolator juga memberikan pengaruh kepada jumlah nodul dan nodularitas.

#### 5. DAFTAR ACUAN

- [1] QIT Technical Staff, *Ductile Iron Production*, QIT-Fer er Titane Inc., 1992.
- [2] T. Skalad, *Developments in Cast Iron Metallurgical Treatments*, Elkem, Norwegia.
- [3] S. O. Olsen dan C. Hartung, *Recovery of Magnesium in a Ductile Iron Process*, Elkem, Norwegia.
- [4] J. V. Dowson, *Graphite in As-cast Nodular (SG) Iron – Their Causes and Prevention*, BCIRA Report No. 1221, 1976, hal. 153.
- [5] A. G. Fuller, *Mechanisms and Effects of Inoculation*, BCIRA Technology, Maret, 1991, hal. 2.
- [6] E. Huerta dan V. Popovski, *A Study of Hold Time, Fade Effect and Microstructure in Ductile Iron*, Proceeding of the AFS Cast Iron Inoculation Conference, September, 2005, Illinois, USA.
- [7] Y. S. Lerner dan M. V. Riabov, *Iron Inoculation: An Overview of Methods*, Modern Casting, 6(89), July, 1999, hal. 37.

## PENGARUH JENIS PROSES PENGELASAN TERHADAP KETAHANAN KOROSI SS316L

Muhammad Anis<sup>a</sup>, Johny Wahyuadi Soedarsono<sup>a,b</sup>, Rr. Reni Indraswari<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departemen Metallurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia  
Kampus UI Depok, Depok 16424, Indonesia

<sup>b</sup> Politeknik Negeri Jakarta  
Kampus UI Depok, Depok 16424, Indonesia  
jwsono@metal.ui.ac.id

### ABSTRACT

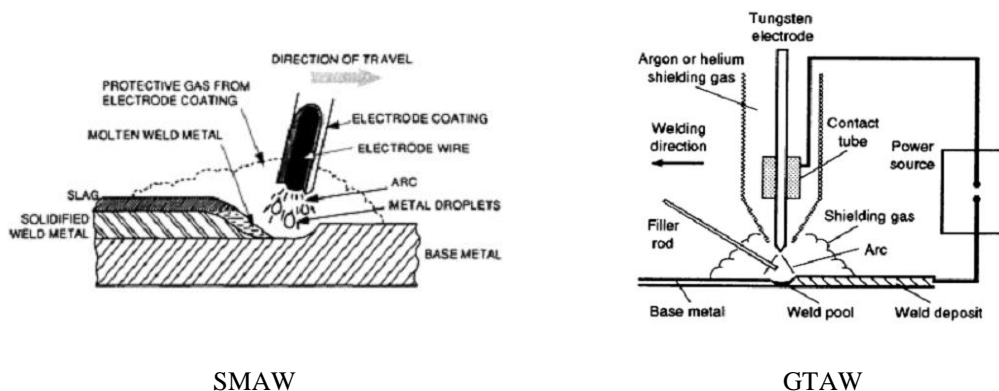
*Pitting corrosion in SS316L usually happened due to galvanic differences in an area. This research is conducted to see the effect of welding process to pitting corrosion in welded SS316L. The welding processes used in this research are SMAW, GTAW, and mixed process of SMAW and GTAW. In the GTAW process various conditions are presented, those are: normal welding condition, welding condition without gas back purging, and the use of special filler. Shielding gas used is argon. The result shows that welding process do not show significant effect to pitting corrosion but the use of gas back purging and special filler do. Thickness and samples preparation play important role in pitting corrosion of SS316L.*

**Keywords:** SS316L, SMAW, GTAW, Pitting Corrosion

### 1. PENDAHULUAN

Baja tahan karat 316L atau SS316L adalah baja tahan karat austenitik krom nikel yang memiliki ketahanan korosi yang sangat tinggi [1]. Jika dibandingkan dengan SS316, SS316L mempunyai kadungan karbon yang lebih rendah, yaitu maksimum 0,03%. Sedangkan SS316 mempunyai kadungan karbon maksimum 0,08%. Penggunaan SS316L sangat mengurangi resiko untuk korosi intergranular [2]. Sedangkan jika dibandingkan dengan SS304L, SS316L mempunyai kadar molybdenum 2% lebih tinggi dari SS304L [2]. Hal ini memberikan ketahanan korosi sumur (*pitting*) yang lebih baik kepada SS316L. Sebagai baja tahan karat austenitik atau *austenitic stainless steel* ketahanan korosi yang dimilikinya lebih baik jika dibandingkan dengan baja tahan karat feritik dan martensitik [3]. Selain itu juga memiliki sifat non-magnetik, sifat mekanik yang baik, mudah difabrikasi dengan mampu las (*weldability*) yang baik, dan mudah dibersihkan [3]. Kekurangan SS316L adalah terjadinya *sensitization*. Kekurangan unsur krom, nikel, dan molybdenum akan menyebabkan pembentukan daerah yang kehilangan krom (*Cr-depleted zone*). Daerah ini bertanggung jawab atas peristiwa *sensitization* [4]. Salah satu kekurangan SS316L yang lain adalah SS316L tidak sesuai untuk digunakan sebagai anoda atau katoda dalam suatu proses elektrokimia [5]. SS316L juga potensial untuk digunakan dalam pembuatan *fuel cell* [6].

Menurut *Deutsche Industrie Normen* (DIN) pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair. Las didefinisikan sebagai sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas, dengan/atau tanpa menggunakan tekanan (*pressure*), atau hanya tekanan, dengan/atau tanpa menggunakan logam pengisi (*filler*). Salah satu teknik pengelasan yang dikenal dalam penyambungan baja tahan karat adalah proses pengelasan busur las (*Arc Welding*). Jenis proses pengelasan diantaranya adalah *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW). Proses pengelasan menyebabkan terjadinya perbedaan temperatur pada SS316L. Daerah pada logam tersebut terbagi menjadi: daerah lasan (*welded metal*), daerah HAZ, dan daerah logam dasar (*base metal*). Kondisi ini mempengaruhi ketahanan korosi SS316L. Penelitian yang dilakukan oleh Munoz dkk menunjukkan semakin tinggi kandungan nikel dan/atau molibdenum dalam baja tahan karat austenitik akan meningkatkan ketahanan korosi baja tersebut terhadap korosi umum dan terlokalisasi [7]. Penelitian pengaruh proses pengelasan yang dilakukan terhadap baja tahan karat 304 menunjukan bahwa ketahanan korosi dari daerah lasan proses pengelasan laser (*laser welding*) lebih tinggi dari proses pengelasan GTAW [8]. Kelakuan SCC dan korosi sumur (*pitting corrosion*) berhubungan langsung dengan stabilitas lapisan film yang dihasilkan oleh proses pengelasan. Sedangkan efek proses pengelasan GTAW terhadap baja tahan karat 304L adalah ketahanan terhadap korosi sumur (*pitting corrosion*) menjadi lebih tinggi jika semua variabel yang berkaitan dengan tegangan pada proses GTAW dalam keadaan optimum [9].



Gambar 1 : Skema Proses Pengelasan [10]

Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh jenis proses pengelasan terhadap ketahanan korosi sumur (*pitting corrosion*) SS316L. Jenis proses pengelasan yang digunakan adalah *shielded metal arc welding* (SMAW) dan *gas tungsten arc welding* (GTAW) [11].

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan baja SS316L dengan dimensi 300 mm x 150 mm dengan ketebalan 1,5 dan 3,0 mm. Pada pengelasan SMAW digunakan gas argon sebagai pelindung. Sedangkan pada GTAW dilakukan beberapa variasi proses, yaitu dengan menggunakan gas argon sebagai *gas back purging* dan tanpa *gas back purging*. *Filler* yang digunakan untuk proses SMAW adalah AWS A5.4. E316L-16 (18Cr-13Ni) diameter 2 mm dan untuk proses GTAW adalah AWS A5.9. ER316L dengan diameter 1,6 mm dan TGX 316L (R316LT1-5) dengan diameter 2,2 mm.

Proses pengelasan yang dilakukan pada penelitian ini adalah: pengelasan SMAW, pengelasan GTAW tanpa *back gas purging*, pengelasan GTAW dengan *back gas purging*, pengelasan GTAW dengan *filler* TGX, dan pengelasan gabungan antara SMAW dengan GTAW.

Penamaan sampel berikut kondisi proses dapat dilihat pada Tabel 1. Pengujian ketahanan terhadap korosi sumur (*pitting corrosion*) dilakukan mengikuti standar ASTM G48 metoda A [5]. Larutan yang digunakan adalah *ferric chloride* ( $\text{FeCl}_3$ ) 10%. Temperatur larutan perendam adalah  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Lama perendaman sampel 72 jam. Dimensi sampel yang digunakan adalah 50 mm x 25 mm. Ketelitian timbangan yang digunakan untuk menimbang berat sampel adalah 0,0001 gram.

Pengujian lain yang dilakukan selain pengujian ketahanan korosi adalah pengujian komposisi kimia dengan menggunakan SEM, pengamatan visual, pengamatan makro dengan M:50x, pengamatan struktur mikro menurut ASTM E-3-95 [5] pada daerah lasan dan pengujian kekerasan metode Vickers menurut ASTM E-384-99 [5]. Hasil-hasil pengujian tersebut telah disampaikan dalam paper lain [12].

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa komposisi kimia dengan menggunakan SEM dapat dilihat pada Tabel 2, [12]. Hasil pengujian komposisi kimia untuk plat dengan ketebalan 1,5 mm dan 3,0 mm memenuhi standar dari SS316L. Perbedaan signifikan antara komposisi kimia plat berketebalan 1,5 mm dengan 3,0 mm hanya terjadi pada unsur-unsur minor, yaitu fosfor (15%), sulfur (50%), dan silikon (22%).













Tabel 1 : Penamaan Sampel

Penamaan Sampel	Kondisi	Penamaan Sampel	Kondisi
1	SMAW – 1,5 mm	1A	Kondisi 1 tanpa preparasi
2	SMAW – 3,0 mm	2A	Kondisi 2 tanpa preparasi
3	GTAW tanpa <i>gas back purging</i> – 1,5 mm	3A	Kondisi 3 tanpa preparasi
4	GTAW tanpa <i>gas back purging</i> – 3,0 mm	4A	Kondisi 4 tanpa preparasi
5	GTAW – 1,5 mm	5A	Kondisi 5 tanpa preparasi
6	GTAW – 3,0 mm	6A	Kondisi 6 tanpa preparasi
7	GTAW <i>filler</i> TGX – 1,5 mm	7A	Kondisi 7 tanpa preparasi
8	GTAW <i>filler</i> TGX – 3,0 mm	8A	Kondisi 8 tanpa preparasi
9	SMAW + GTAW – 1,5 mm	9A	Kondisi 9 tanpa preparasi
10	SMAW + GTAW – 3,0 mm	10A	Kondisi 10 tanpa preparasi

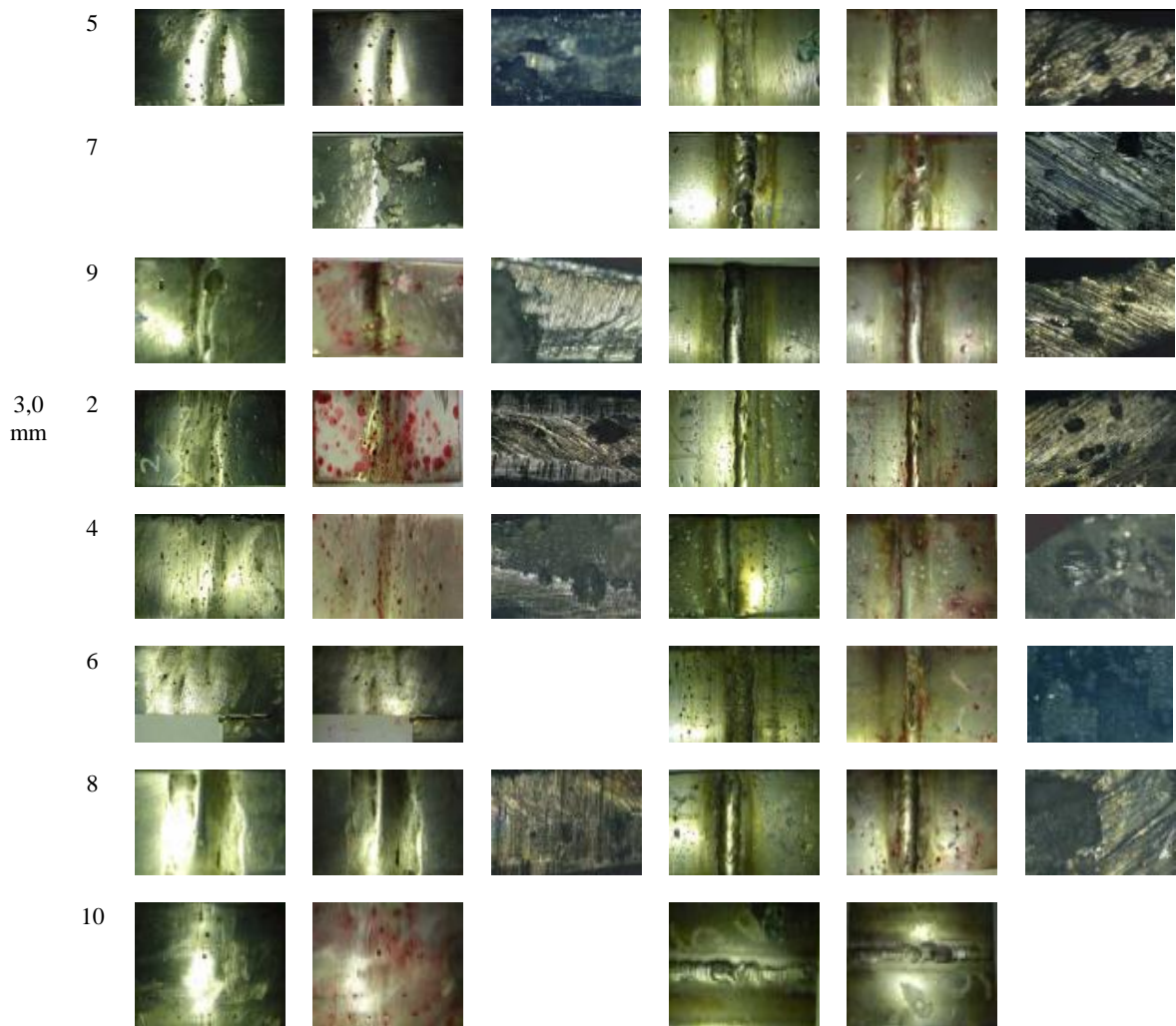
Tabel 2 : Hasil Pengujian Komposisi Kimia

	C	Cr	Mn	Unsur (%)					
				Mo	N	Ni	P	S	Si
Standar S31603 [2]	0,03	16-18	2	2-3	0,1	10-14	0,045	0,03	1
Ketebalan 1,5 mm	0,024	16,915	1,295	2,138	0,042	10,157	0,029	0,002	0,389
Ketebalan 3,0 mm	0,023	16,708	1,237	2,118	0,044	10,296	0,034	0,004	0,303

Sampel	Dengan Preparasi			Tanpa Preparasi		
	Visual Sebelum NDT	Visual Sesudah NDT	Makro	Visual Sebelum NDT	Visual Sesudah NDT	Makro
1,5 mm						
3						



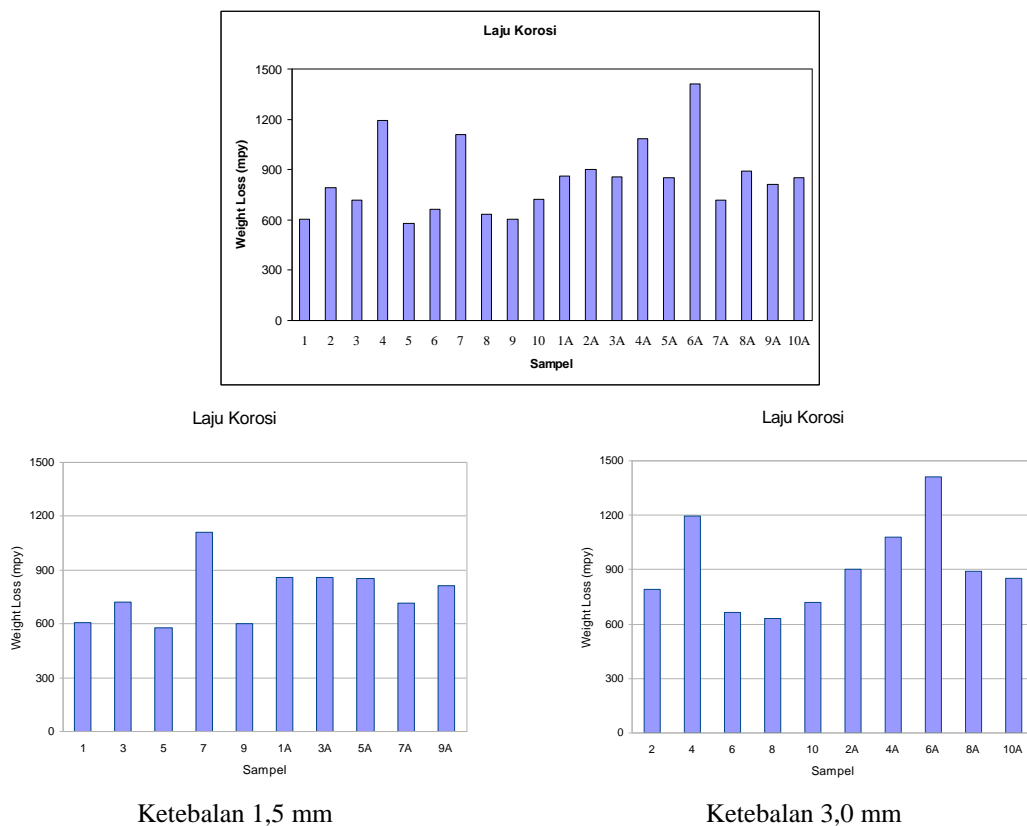


Gambar 2: Hasil Pengamatan Visual dan Makro

Pengamatan visual, Gambar 2, secara kualifikasi menunjukkan bahwa secara umum jumlah korosi yang terjadi pada daerah lasan (*welded metal*) untuk kedua kondisi, dengan dan tanpa preparasi, lebih sedikit dibandingkan dengan daerah HAZ dan daerah *base metal*. Pada sampel yang dilakukan preparasi jumlah korosi yang terjadi lebih rendah jika dibandingkan dengan sampel yang tanpa preparasi. Pada kedua kondisi, korosi terjadi lebih banyak pada daerah HAZ dan daerah *base metal*, terutama untuk *base metal* yang mempunyai cacat permukaan seperti goresan atau *porosity*. Pada sampel 7A terjadi retak pada daerah lasan. Retak ini diperkirakan terjadi karena proses preparasi yang tidak sesuai sehingga pada saat proses pengujian ketahanan korosi dilakukan terjadi retak.

Ferit pada daerah lasan lebih banyak mengandung krom daripada austenit. Krom lebih cepat berdifusi dalam ferit daripada austenit. Karbida krom lebih mudah berpresipitasi pada batas butir austenit/ferit yang mempunyai geometri berliku-liku daripada yang lurus. Semua kondisi ini sangat membatasi terjadinya sensitisasi dalam daerah lasan dari *austenitic stainless steel* yang mengandung ferit, []. Sehingga sensitisasi merupakan masalah pada HAZ bukan daerah lasan kecuali untuk daerah lasan yang *fully austenitic*.





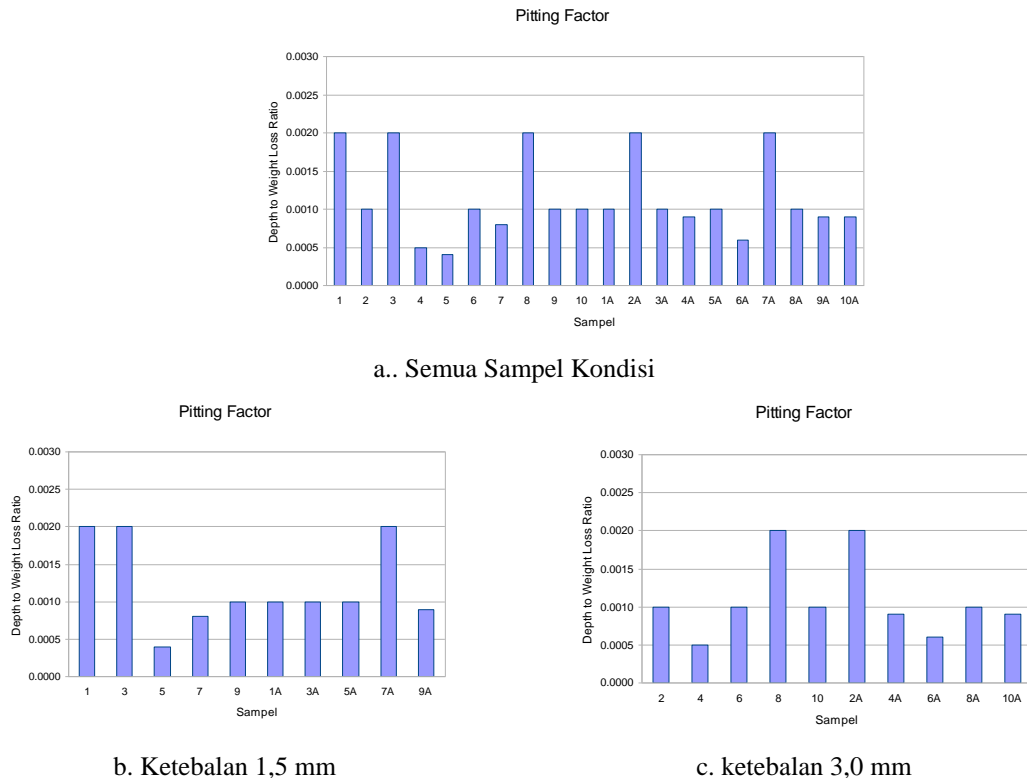
Gambar 4: Grafik Laju Korosi

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa korosi terjadi lebih dominan pada daerah *base metal*. Hal ini disebabkan daerah lasan menjadi lebih katodik karena mendapat panas dari proses pengelasan. Sedangkan daerah *base metal* bersifat anodik karena *base metal* adalah hasil dari *cold rolling*. Pengerjaan dingin menyebabkan logam yang dihasilkan mempunyai sifat lebih anodik dari logam yang mengalami proses pelunakan, []. Dengan kondisi ini maka larutan korosif akan menyerang *base metal*. Analisa ini menunjukkan bahwa korosi *pitting* terjadi karena adanya perbedaan potensial.

Secara umum tidak terlihat adanya pola khusus untuk laju korosi baik untuk sampel yang dilakukan preparasi maupun yang tidak. Laju korosi tertinggi terjadi pada sampel GTAW 3,0 mm tanpa preparasi (sampel 6A). Sedangkan laju terendah terjadi pada sampel GTAW 1,5 mm dengan preparasi (sampel 5). Pada ketebalan 1,5 mm laju korosi untuk sampel-sampel tanpa preparasi SMAW, GTAW tanpa *gas back purging* dan GTAW menunjukkan laju korosi yang hampir sama, hal ini tidak terlihat pada sampel dengan ketebalan 3,0 mm. Sampel tanpa preparasi menunjukkan laju korosi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan sampel yang mengalami preparasi. Kondisi ini terjadi karena pada ampel yang tidak mengalami proses preparasi memiliki lebih banyak daerah potensial yang berbeda (*unequipotentialized zone*).

Seperti disampaikan sebelumnya, korosi *pitting* terjadi karena adanya perbedaan potensial. Hal berbeda yang dialami oleh sampel GTAW 3,0 mm tanpa *gas back purging* (sampel 4 dan 4A) terjadi karena proses preparasi yang dialami oleh sampel menyebabkan bertambahnya daerah dengan perbedaan potensial, bukan mengurangi. Hal ini dapat disebabkan karena proses preparasi yang dilakukan kurang bersih atau karena adanya cacat yang tidak terlihat. Kondisi yang sama juga dialami oleh sampel

GTAW filler TGX 1,5 mm (sampel 7 dan 7A). Tetapi hasil ini tidak dapat dianalisa sebab seperti sudah disampaikan sebelumnya terjadi kerusakan pada sampel 7A, sehingga penimbangan berat yang dilakukan menjadi tidak valid.



Gambar 5 Grafik *Pitting Factor*

Ketika kedua jenis pengelasan dibandingkan, terlihat bahwa pengelasan dengan GTAW laju korosi yang terjadi lebih fluktuatif dibandingkan SMAW untuk kedua kondisi dan ketebalan plat. Ketika hasil diantara proses GTAW dibandingkan terlihat bahwa untuk kondisi ketebalan plat 3,0 mm dengan preparasi terlihat bahwa GTAW dengan penggunaan *filler* TGX mempunyai laju korosi yang paling rendah. Demikian juga untuk sampel plat 3,0 mm tanpa preparasi dan sampel plat 1,5 mm tanpa preparasi. Sedangkan analisa tidak dapat dilakukan pada ketebalan 1,5 mm untuk kondisi sampel mengalami preparasi karena salah satu sampelnya retak. Laju korosi terlihat bertambah dengan bertambahnya ketebalan. Selain itu tidak terlihat pengaruh dari proses SMAW dan GTAW secara signifikan pada laju korosi.

Hasil perhitungan *pitting factor* (PF) menunjukkan bahwa semua nilai PF lebih kecil dari 1. PF terendah terjadi pada sampel dengan ketebalan 1,5 mm dan mengalami proses GTAW (sampel 5). Hal ini disebabkan karena penggunaan *gas back purging* yang tidak benar sehingga memungkinkan masuknya oksida. Tidak terlihat pola khusus antara sampel dengan preparasi dengan sampel tanpa preparasi. Juga tidak ditemukan pola khusus antara PF dengan ketebalan. Pada ketebalan plat sampel 1,5 mm terlihat proses SMAW mempunyai PF yang tinggi tetapi hal ini tidak terjadi pada ketebalan 3,0 mm dan terjadi keadaan terbalik juga terjadi pada kondisi sampel dipreparasi dan tanpa preparasi. Pada ketebalan 1,5 mm sampel dengan preparasi mempunyai nilai PF yang lebih tinggi dibandingkan sampel tanpa preparasi

(Sampel 1 dan 1A). Tetapi pada ketebalan 3,0 mm sampel dengan preparasi mempunyai nilai PF yang lebih rendah dari sampel tanpa preparasi (sampel 2 dan 2A)

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah korosi *pitting* lebih dominan terjadi pada *base metal* daripada *welded metal*. Selain itu dapat disimpulkan tidak terlihat secara signifikan pengaruh proses SMAW dengan GTAW terhadap laju korosi dan *pitting factor*, tetapi terlihat pengaruh signifikan dari penggunaan *gas back purging* dan *filler* TGX. Pengaruh ketebalan plat terlihat pada laju korosi, yaitu laju korosi bertambah dengan bertambahnya ketebalan. Proses preparasi sampel harus diperhatikan karena proses yang salah aka menyebabkan terjadinya pertambahan daerah korosi dan/atau merusak sampel pada saat pengujian korosi.

#### 5. DAFTAR ACUAN

- [1] [hpmetals.com](http://hpmetals.com)
- [2] [www.finishing.com](http://www.finishing.com)
- [3] R. Rokicki, *The Effect of Electropolishing on SS Weld and Heat Affected Zones*, Electrobright, Macungie, PA.
- [4] A. Kriaa, N. Hamdi, K. Jbali, and H. Sidhom, *Statistical Modeling of Electrochemical Reactivation Conditions for Detecting Sensitization to IGC of Austenitic Stainless Steel Type 316L*, *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, Vol. 43, No. 6, 2007, Hal. 494.
- [5] J. H. Choi, S. Maruthamuthu, H. G. Lee, T. H. Ha, and J. H. Bae, *Electrochemical Studies on the Performance of SS316L Electrode in Electrokinetics*, *Met. Material International Journal*, Vol. 15, No. 5, 2009, Hal. 771.
- [6] L. J. Yang, H. J. Yu, L. J. Jiang, L. Zhu, X. Y. Jian and Z. Wang, *Graphite-polypyrrole Coated 316L Stainless Steel as Bipolar Plates for Proton Exchange Membrane Fuel Cells*, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, Vol. 18, No. 1, 2011, Hal.53.
- [7] A. I. Munoz, J. G. Anton, J. L. Guinon, and V. P. Herranz, *Corrosion Behavior of Austenitic and Duplex Stainless Steel Weldings in Aqueous Lithium Bromide Solution*, *Corrosion*, Vol. 60, Iss. 10, 2004, Hal. 982.
- [8] Z. Chen, *The Influence of Welding Processes on Pitting Corrosion and Stress Corrosion Cracking in 304 Austenitic Stainless Steel*, University of Alberta, Canada, 2003.
- [9] P. K. Giridharan and N. Murugan, *Effect of Pulsed Gas Tungsten Arc Welding Process Parameters on Pitting Corrosion Resistance of Type 304L Stainless Steel Welds*, *Corrosion*, Vol. 63, Iss. 5, 2007, Hal. 433.
- [10] ASM International, 1991, *Welding, Brazing and Soldering*, ASM Metals Handbook, Vol. 6, USA.
- [11] E. M. Hasudungan, 2008, *Studi Perbandingan Proses Pengelasan antara Metode Gas Metal Arc Welding (GMAW), Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), dan Plasma Arc Welding (PAW) pada Baja Lembaran Lapis Seng dengan Ketebalan 1 mm*, Tesis Departemen Metalurgi dan Material, FT, UI, Depok.
- [12] M. Anis, J. W. Soedarsono, dan R. R. Inderaswari, *Pengaruh Jenis Proses Pengelasan Terhadap Nilai Keras SS316L*, 2011, *in press*.

## PENGARUH JUMLAH LALUAN ARAH BOLAK-BALIK PADA ALUMINIUM KOMERSIL DENGAN PROSES ECAP TERHADAP SIFAT MEKANIK

**Qomarul Hadi<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya  
Km.32, Inderalaya

\*Korespondensi Pembicara. Phone: +62 711 580272, Fax: +62 711 580272  
Email: [qoma2007@yahoo.co.id](mailto:qoma2007@yahoo.co.id)

### ABSTRAK

Perkembangan Teknologi memungkinkan pemanfaatan logam termasuk Aluminium untuk ditingkatkan sifat mekanik dengan proses penguatan logam. Proses penguatan logam secara deformasi plastis menyeluruh dengan melewati logam dalam suatu alur dengan cara ditekan. Penguatan ini lebih dikenal dengan nama ECAP (*equal channel angular pressing*). ECAP berpotensi untuk dikembangkan dalam dunia industri karena dapat menghaluskan struktur mikro atau sub-mikro yang berpengaruh terhadap peningkatan sifat mekanik material. Aluminium memiliki sifat ringan, tahan korosi dan tidak beracun sehingga dapat digunakan sebagai kemasan berbagai jenis produk. Penelitian ini menggunakan spesimen Aluminium komersil 98,10% berpenampang persegi  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  dengan proses ECAP pada rute C dengan pemutaran spesimen  $180^\circ$  dalam beberapa kali laluan. Semakin banyak jumlah laluan maka persentase kenaikan sifat mekanik logam akan semakin naik. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan nilai kekerasan dan kekuatan tarik aluminium sebelum dan setelah proses ECAP.

**Kata Kunci :** *Deformasi Plastis, Aluminium Murni 98,10%, ECAP (equal channel angular pressing)*

### I. PENDAHULUAN

#### I.1. Latar Belakang

Krisis energi nasional belakangan ini yang dipicu kenaikan harga minyak dunia secara tidak langsung memicu penggunaan material ringan dengan sifat mekanik yang lebih baik untuk struktur kendaraan bermotor dan industri agar lebih efisien dalam proses produksi dan pemakaian. Aplikasi yang banyak dijumpai adalah dengan menggunakan baja sebagai bahan pembuatnya, namun disisi lain hal ini memiliki kekurangan karena biaya produksi relatif tinggi. Oleh karena itu diusahakan untuk menggunakan bahan baku alternatif yang memiliki sifat fisik dan mekanik yang baik.

Salah satu material ringan yang dapat digunakan sebagai bahan kendaraan dan industri dengan cadangan yang cukup melimpah di tanah air adalah Aluminium (Al) yaitu sekitar 7,6%. Dengan kelimpahan sebesar itu, aluminium merupakan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon, serta merupakan unsur logam yang paling melimpah. Aluminium merupakan logam yang berwarna putih perak dan

tergolong ringan yang mempunyai massa jenis  $2,7 \text{ gr/cm}^3$ . Sifat yang paling penting dari aluminium adalah ringan, tahan korosi dan tidak beracun. Namun begitu, kekuatan Al terutama Al murni belum memadai untuk struktur. Karena itu perlu dikembangkan metoda penguatan yang dapat diterapkan pada Al maupun logam ringan lain agar kekuatannya menyamai atau bahkan melebihi baja.

Baru-baru ini telah dikembangkan metode efektif untuk meningkatkan kekuatan material dengan cara deformasi plastis secara menyeluruh (SPD). *Severe Plastic Deformation* (SPD) adalah pemberian deformasi yang tinggi dan merata pada material melalui pengerolan, ekstrusi tekan, puntir kecepatan tinggi (*high speed torsion*), dan ECAP (*equal channel angular pressing*). Dari beberapa metode tersebut, ECAP berpotensi untuk diaplikasikan dalam dunia industri karena dapat menghasilkan penghalusan struktur mikro atau sub-mikro yang signifikan yang berpengaruh terhadap peningkatan sifat mekanik material seperti yang telah dibuktikan oleh peneliti Amerika dan Jepang. Namun demikian, masih banyak hal yang harus diamati dalam proses ini. Diantaranya adalah berapa besar tingkat deformasi, pengaruh jumlah laluan, pengaruh rute, faktor sudut yang dibentuk oleh kedua alur dan sudut kelengkungan.

Dengan melihat alasan-alasan dasar tersebut, disini penulis mencoba melakukan mengkaji lebih dalam tentang “Pengaruh Jumlah Laluan Dengan Rute C Dalam Proses ECAP Pada Aluminium Komersil”.

## 1.2. Perumusan Masalah

Pengaruh yang terjadi akibat dari proses ECAP (*Equal Chanel Angular Pressing*) terhadap sifat mekanik pada Aluminium komersil.

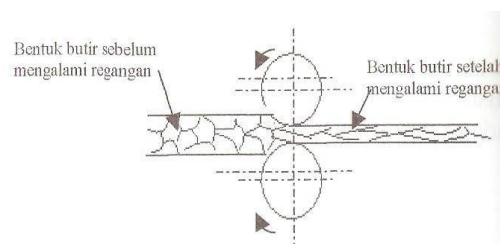
## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1. Penguatan Logam

Metode penguatan logam yang dilakukan pada prakteknya adalah untuk menghalangi pergerakan dislokasi. Cara menghalangi pergerakan dislokasi antara lain:

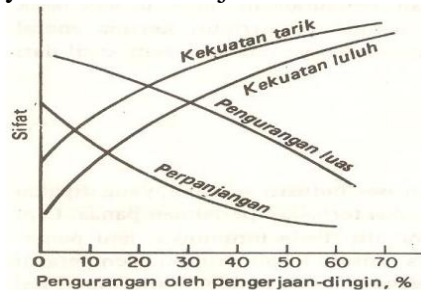
#### 2.1.1 Penguatan Regangan

Penguatan regangan atau *strain hardening* adalah fenomena dimana logam yang ulet menjadi lebih keras dan kuat akibat deformasi plastis atau *cold working*. Logam akan naik kekerasannya bila logam tersebut mengalami deformasi plastis akibat pengerjaan dingin (*cold work*). Fenomena ini disebut pengerasan regangan (*strain hardening*) atau penguatan regangan (*strain strenghening*). Dislokasi pada logam akan sulit bergerak akibat deformasi plastis. Hal ini disebabkan dislokasi naik akibat regangan.



**Gambar.1** Perubahan Bentuk Butir Yang Mengalami Regangan Akibat Pengerolan

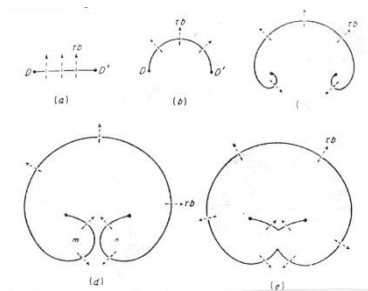
Fenomena penguatan regangan didasarkan pada interaksi dari medan regangan dislokasi. Kerapatan dislokasi di dalam logam akan meningkat seiring dengan adanya deformasi plastis atau pengerjaan dingin. Akibatnya jarak antar dislokasi semakin rapat sehingga dislokasi akan bertemu satu sama lain sehingga akan menyebabkan reaksi dislokasi dan akhirnya dislokasi menjadi bertambah.



**Gambar 2.** Variasi sifat tarik dengan jumlah pengerjaan dingin.

### 2.1.2 . Dislokasi dan Batas Butir

Dislokasi merupakan salah satu cacat kristal berupa garis. Dengan adanya cacat ini akan menurunkan kekuatan logam. Namun dislokasi tidak bisa dihilangkan atau dihindari namun hanya bisa dikurangi. Dislokasi yang sudah ada bergerak dan dengan adanya penghambat/obstacle yang menyebabkan penggandaan dislokasi. Hal ini sejalan dengan teori Frank read mengenai perbanyakan dislokasi. Model Perbanyakan dislokasi Frank Read diterangkan sebagai berikut :



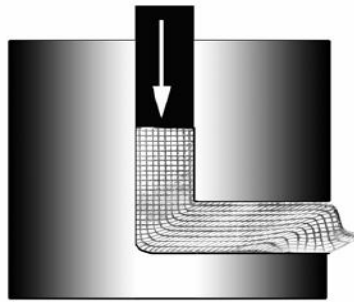
**Gambar 3.** Model dislokasi Frank Read

Dislokasi merupakan cacat garis pada kristal logam yang merupakan pemicu dari setiap mekanisme penguatan logam. Jadi dasar dari teori penguatan logam tidak bisa dilepaskan dari dislokasi. Hanya saja pergerakan dislokasi dalam rangka untuk memperbanyak diri seperti yang diterangkan oleh Frank Read sering kali penghambatnya banyak cara seperti yang diterangkan selanjutnya.

### 2.1.3. ECAP (*Equal Chanel Angular Pressing*)

ECAP merupakan salah satu proses SPD yang pertama kali dikembangkan oleh Segal dkk. SPD (*Severe Plastic deformation*) adalah metode deformasi yang menyeluruh pada material untuk membentuk material dengan ukuran butir sub-mikro (*Submicron Grained*). Macam-macam proses SPD, antara lain : CEC (*Cyclic Extrusion Compression*), ECAP (*Equal Chanel Angular Pressing*), Puntir Kecepatan Tinggi (*High Speed Torsion*). ECAP adalah proses dimana sebuah sampel diberikan regangan plastis berupa geseran sederhana dengan penekanan melalui cetakan khusus. Selama proses ECAP material mengalami regangan plastis dalam sebuah alur yang berbentuk **L** berpenampang tetap.





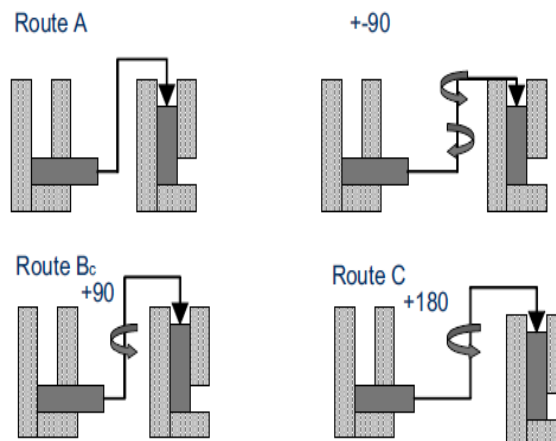
**Gambar 2.4** Prinsip ECAP

Pada ECAP benda kerja di masukan dari lubang bagian atas dan diikuti dengan penekan. Material akan melewati sudut dan akan keluar dari lubang samping. Luas penampang masuk dan penampang keluar memiliki luas dan dimensi yang sama.

Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat material hasil proses ECAP :

1. Rute Proses
2. Geometri Cetakan
3. Variabel Proses Penekanan
4. Sifat Material

Pada proses ECAP memiliki beberapa rute untuk proses penekanan. Rute adalah dimana sampel diputar diantara urutan penekanan.



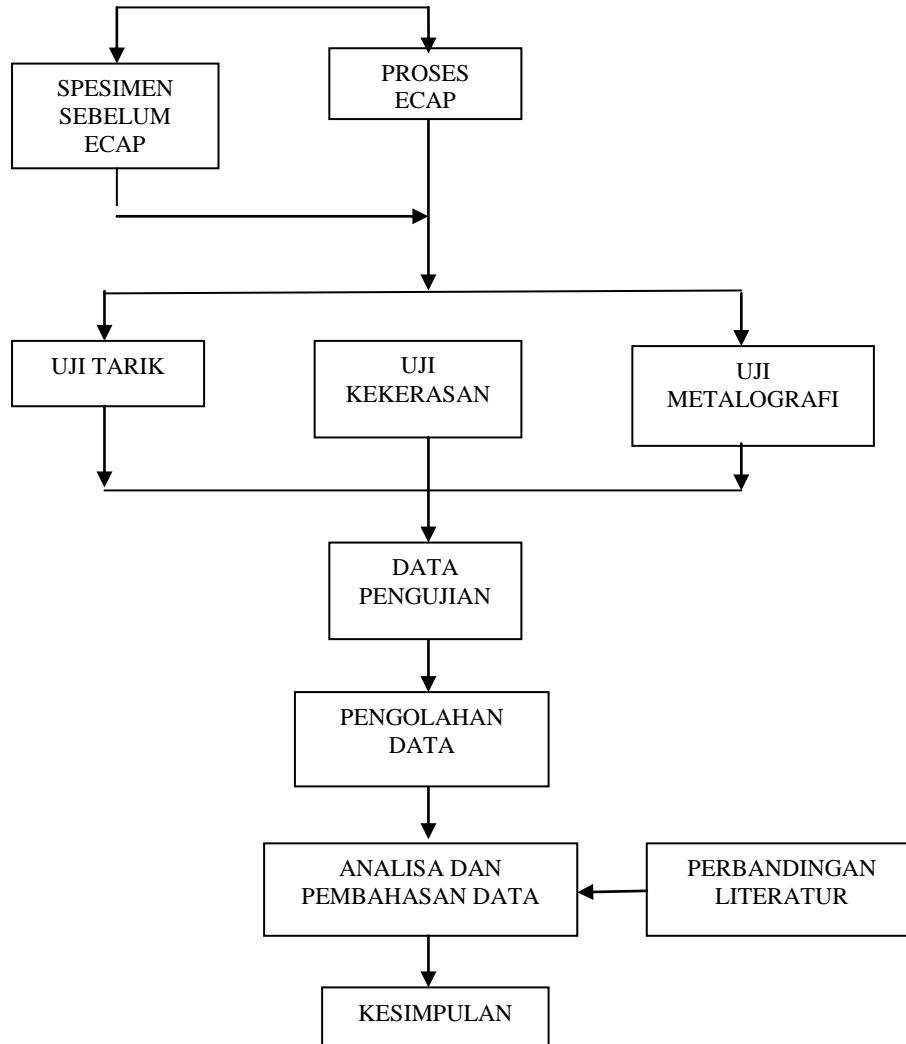
**Gambar 2.5** Rute Proses ECAP

Cara pemasukan spesimen untuk tiap laluan dapat divariasikan. Secara umum berdasarkan putaran sampel rute dibagi atas tiga bagian (gambar diatas) :

- Rute A, yaitu rute dengan putaran sample sebesar  $0^\circ$  untuk tiap langkah proses.
- Rute B, yaitu rute dengan putaran sample sebesar  $90^\circ$  untuk tiap langkah proses.
- Rute BA, yaitu rute dengan putaran sample sebesar  $90^\circ$  dengan arah berlawanan untuk tiap langkah proses.
- Rute BC, yaitu rute dengan putaran sample sebesar  $90^\circ$  dengan arah yang sama untuk tiap langkah proses.
- Rute C, yaitu rute dengan putaran sample sebesar  $180^\circ$  untuk tiap langkah proses

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental di laboratorium dengan didukung oleh literatur-literatur yang menunjang. Metode penelitian selengkapnya dapat dilihat pada diagram alir berikut ini:



**Gambar 4.** Diagram Alir Metode Penelitian

### 3.1 Proses ECAP

Pada penelitian ini penulis melakukan proses ECAP dengan menggunakan rute C dengan pemutaran specimen sebesar  $180^\circ$  pada laluan berikutnya. Jumlah laluan yang akan dialami oleh specimen berjumlah enam kali laluan.

Prosedur dalam proses ECAP dengan rute C adalah sebagai berikut:

- Specimen diperlakukan ECAP sebanyak enam kali laluan.
- Dua specimen mengalami satu kali laluan (1)
- Dua specimen mengalami dua kali laluan (1-2)
- Dua specimen mengalami tiga kali laluan (1-2-3)
- Dua specimen mengalami empat kali laluan( 1-2-3-4)
- Dua specimen mengalami lima kali laluan( 1-2-3-4-5)
- Dua specimen mengalami enam kali laluan( 1-2-3-4-5-6)

Pada penelitian ini penekanan spesimen pada proses ECAP menggunakan Universal Testing Machine. Pembebanan yang dipakai pada proses ECAP sebesar 15000 kgf. Gambar kombinasi dies dan alat penekan pada proses ECAP dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 5.** Alat ECAP Yang Dikombinasikan Dengan Universal Testing Machine

## 1. ANALISA DAN PEMBAHASAN



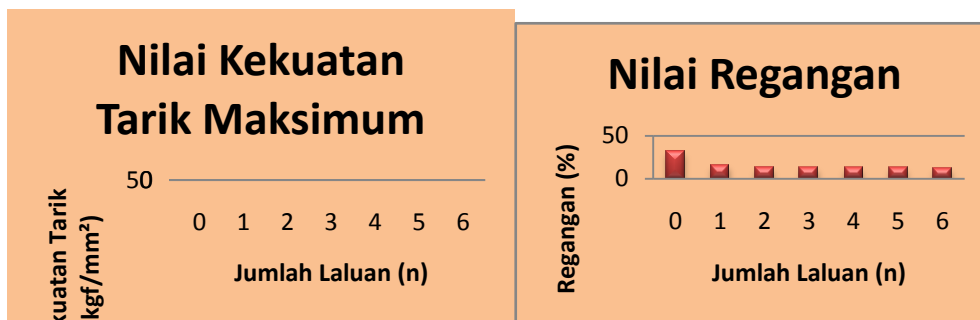
**Gambar 6.** Grafik Nilai Kekerasan Pada Tiap Lalan

Pada sisi C mengalami peningkatan kekerasan yang paling tinggi. Peningkatan pada satu kali lalan sebesar lebih kurang 41% dari sebelum mengalami proses Ecap.

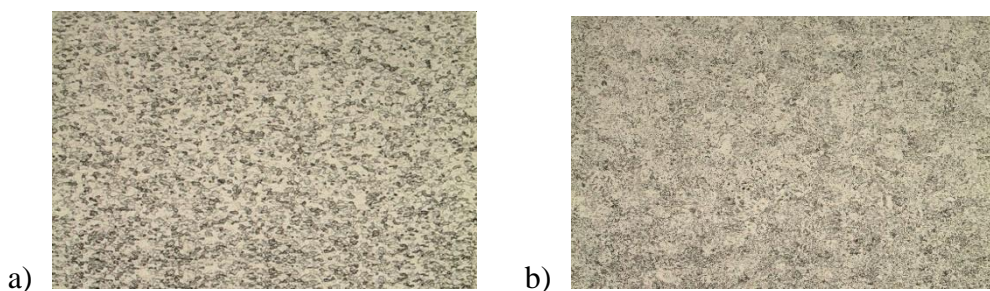
Peningkatan kekerasan maksimum terjadi pada lima kali lalan sebesar lebih kurang 86% dari sebelum proses ECAP. Peningkatan ini terjadi terus-menerus satu kali lalan sampai lima kali lalan. Pada enam kali lalan nilai kekerasan pada sisi C naik menjadi 90%. Pada sisi A mengalami peningkatan kekerasan maksimum pada enam kali lalan sebesar 84.49 BHN. dengan kata lain nilai kekerasan sisi A sama besarnya dengan sisi C yaitu meningkat lebih kurang sebesar 90%.

Nilai kekerasan pada sisi B dan D cenderung sama. Hal ini dikarenakan kedua sisi mengalami gesekan dan lalan yang sama. Kedua sisi ini tidak menyentuh tikungan dalam dan tikungan luar. Kekerasan meningkat terus-menerus sampai enam kali lalan. Peningkatan kekerasan sebesar 63% pada enam kali lalan.

Dari empat sisi spesimen tersebut didapat nilai kekerasan rata-rata pada tiap spesimen untuk tiap lalan. Pada sisi C dan sisi A peningkatan kekerasannya boleh dibilang sama setelah mengalami enam kali lalan. Hal itu pun terjadi pada sisi B dan sisi D tetapi nilai kekerasannya tidak sebesar pada sisi C dan A



**Gambar 7.** Grafik Nilai Kekuatan Tarik Maksimum Pada Tiap Lalan dan Grafik Nilai Regangan Pada Tiap Lalan  
**Struktur Mikro**



**Gambar 8.** a) Struktur Mikro Spesimen Sebelum Mengalami Proses ECAP  
b) Spesimen Sesudah Mengalami 2 Kali Lalan (Pembesaran 180 x)



**Gambar 9.** Struktur Mikro Spesimen Sesudah Mengalami 4 dan 6 Kali Lalan (Pembesaran 180 x)

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang dilakukan terhadap proses ECAP dengan pemutaran spesimen 180° baik sebelum dilakukan lalan maupun setelah dilakukan beberapa lalan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Adanya peningkatan kekerasan dan kekuatan tarik yang signifikan serta penurunan nilai regangan (elongasi)
2. Peningkatan kekerasan secara keseluruhan sangat tinggi yaitu sekitar 86%. Sedangkan peningkatan kekuatan tarik secara keseluruhan sekitar 142% yaitu dari 1360 kgf sampai dengan 3300 kgf. Peningkatan ini tidak sama pada tiap sisi aluminium sebagai spesimen, namun pada tiap sisi hampir memiliki pola yang sama. Penurunan sifat juga terjadi, yaitu pada nilai regangan. Penurunan

nilai regangan sangat wajar terjadi karena adanya perubahan sifat dari sifat aluminium yang ulet menjadi lebih getas.

3. Semakin banyak laluan yang diberikan maka semakin tinggi nilai kekerasan dan kekuatan tarik, namun juga terjadi penurunan pada nilai regangan (elongasi). Hal ini sesuai dengan banyaknya deformasi plastis yang dialami spesimen sehingga ukuran butir pada struktur mikro aluminium mengalami pengecilan atau penghalusan. Semakin kecil ukuran butir dan dislokasi butir semakin rapat maka semakin getas aluminium tersebut. Namun sampai jumlah laluan tertentu spesimen akan mengalami crack atau retak. Jadi laluan hanya bisa sampai batas tertentu.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Callister, *Materials Science and Engineering*, John Wiley, 1985
- James, Thomas F Kilduff, *Engineering Materials Technology, Structure, Processing, Properties, and Selection*, Prentice-Hall Int, 1994
- Wirjosumarto, Harsono, Prof. Dr. Ir. dan Prof. Dr. Toshie Okumura, *Teknologi Pengelasan Logam*, PT. Pradnya Paramita, Cetakan ke-5, Jakarta, 1991.
- Amstead, B.H, Phillip F. Ostwald, Myron L. Begemen, dan Sriati Djaprie, "*Teknologi Mekanik*", Jilid 1, Edisi Ketujuh, Erlangga, Jakarta, 1993.
- Kalpakjian, Serop, *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, Addison-Wesley Publishing Company, Canada, 1984.
- Shigley, E, Joseph dan Larry D. Mitchell, *Perencanaan Teknik Mesin*, Penerbit Erlangga, Edisi ke-4, Jilid ke-2, Jakarta, 1994.
- Surdia, Tata dan Saito, Shinroku. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Gunwarman, M. Niinomi and T. Akahori, *Effect of Service Plastic Deformation Using ECAP on Microstructure and Mechanical Properties of Titanium Alloys for Biomedical Applications*, Materials Science and Engineering 2004, TMS, New Orleans, USA, 26-29 Sept 2004
- Joni Syahputta Utama, Skripsi S-1, *Pengaruh Rute Equal Chanel Angular Pressing (ECAP) terhadap Kekuatan, Kekerasan dan Struktur Mikro Aluminium Komersil*, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas, Padang Oktober 2005
- Frurukawa M, Zenji Horita, Z, Nemoto M And Langdon, T.G, *Review Processing of Metal by Equal Chanel Angular Pressing*, Journal of Materials Sciences 36 (2001) 2835 -284.

## PENGARUH PENGGUNAAN *THREE-WAY CATALYTIC CONVERTER* TERHADAP EMISI GAS BUANG PADA KENDARAAN TOYOTA KIJANG INNOVA

**Ellyanie**

Jurusan Teknik Mesin-Fakultas Teknik UNSRI  
Korespondensi Pembicara. Email: elly\_unsri@yahoo.com

### ABSTRAK

Emisi gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor mempunyai dampak yang negatif terhadap kesehatan manusia, tumbuh-tumbuhan, hewan, bahan bangunan, udara dan iklim. Hal ini tidak dapat kita hilangkan tetapi kita dapat menekan polutan sampai ketitik yang tidak membahayakan lingkungan (ramah lingkungan). Gas buang yang berbahaya tersebut antara lain: Karbonmonoksida (CO), Hidrokarbon (HC) dan karbondioksida (CO<sub>2</sub>). Gas-gas ini dihasilkan oleh proses pembakaran yang terjadi tidak sempurna, baik itu bahan bakarnya maupun sistem pengapiannya serta akibat dari campuran udara-bahan bakar yang terlalu kaya.

Usaha yang dapat digunakan untuk mengurangi emisi gas buang tersebut adalah dengan menggunakan Three-way Catalytic Converter (TWC), dimana alat tersebut dipasang pada saluran pembuangan kendaraan. Alat tersebut telah dilengkapi dengan sensor lamda yang berfungsi untuk mengontrol perbandingan campuran udara-bahan bakar selalu berada pada rasio pembakaran stoikhiometri.

Pengujian dilakukan pada kendaraan Toyota Kijang Innova, *spark ignition* 4 langkah, 4 silinder *inline*, EFI. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan putaran 750 rpm sampai 5000 rpm. Alat ukur yang digunakan adalah Multi Gas Analyzer type 488 Homologation N. 3664/4103/8-L, emisi gas buang yang diukur adalah CO, CO<sub>2</sub>, HC dan O<sub>2</sub>.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kendaraan yang menggunakan TWC dapat menurunkan emisi CO antara 83% hingga 94%, emisi HC antara 73% hingga 86% dibandingkan dengan tanpa TWC. Nilai lamda pada kendaraan yang dilengkapi TWC akan lebih mendekati 1, sedangkan kendaraan tanpa TWC menghasilkan campuran udara-bahan bakar lebih kaya.

**Kata kunci** :emisi gas buang, HC, CO.

### I. PENDAHULUAN

Kendaraan bermotor merupakan alat transportasi yang paling banyak digunakan pada saat ini, Seiring dengan kemajuan industri otomotif dunia berpacu untuk menginovasi produk-produk kendaraan yang mereka ciptakan. Akan tetapi dampak dari banyaknya kendaraan bermotor itu sendiri adalah polusi udara yang berasal dari saluran pembuangan kendaraan bermotor, sehingga industri-industri tersebut melakukan inovasi untuk menciptakan kendaraan dengan gas buangnya ramah lingkungan.



Pada kendaraan yang menggunakan bahan bakar bensin, gas buang yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dan udara terdiri dari banyak komponen gas yang merupakan hasil dari reaksi sampingan yang tidak dapat dihindarkan. Gas buang dari hasil pembakaran yang tidak hanya oksida-oksida saja tapi juga merupakan senyawa kimia lainnya, misalnya bahan bakar yang belum terbakar secara sempurna jadi masih berupa hidrokarbon, yang lebih populer dengan sebutan HC.

Polusi udara tentu saja mempunyai dampak yang negatif terhadap lingkungan. Polutan akan memberikan efek negatif terhadap kesehatan manusia, tumbuh-tumbuhan, hewan, bahan bangunan, udara dan iklim. Hal ini tidak dapat kita hilangkan akan tetapi kita dapat menekan polutan sampai ke titik yang tidak membahayakan lingkung.

Upaya yang telah dilakukan industri kendaraan bermotor dalam rangka menekan atau mengurangi gas buang/emisi hasil pembakaran salah satunya dengan menambahkan *Three-way catalyst* pada saluran buang (knalpot) agar pembuangan gas buang jumlah (kadar) emisi gas buangnya berada dalam tingkat yang tidak membahayakan.

## II. LANDASAN TEORI

### Emisi Gas Buang

Gas buang yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dan udara terdiri dari banyak komponen gas yang sebagian besar merupakan polusi bagi lingkungan hidup. Gas yang menjadi polusi tersebut kebanyakan merupakan hasil dari reaksi sampingan yang tidak dapat dihindarkan. Sebagaimana diketahui bahwa udara disekitar kita mengandung kurang lebih 21% Oksigen dan 79% terdiri dari sebagian besar Nitrogen dan sisanya gas-gas lain dalam jumlah yang sangat kecil, sedangkan bahan bakar pada umumnya berbentuk ikatan karbon ( $C_xH_y$ ) yang juga mengandung unsur lain yang terikat kedalamnya.

Pada saat reaksi pembakaran, temperatur fluida yang terbakar menjadi sangat tinggi. Pada saat itulah dengan mudah terbentuk oksida-oksida dari unsur-unsur yang ada di dalam bahan bakar dan udara. Oksida-oksida tersebut yang antara lain  $SO_x$ ,  $CO_x$  dan  $NO_x$  mempunyai sifat yang merugikan terhadap lingkungan hidup yang berarti bersifat polusi.

#### 1. Polutan Karbon Monoksida (CO)

Gas karbonmonoksida (CO) merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, sukar larut dalam air dan tidak mempunyai rasa. Karbonmonoksida merupakan polutan yang berbahaya jika melebihi ambang batas yang ditentukan karena zat pencemar CO, apabila terhisap kedalam paru-paru akan ikut dalam peredaran darah dan menghalangi masuknya oksigen yang dibutuhkan tubuh. Hal ini dapat terjadi karena CO bersifat racun metabolisme yang ikut bereaksi secara metabolisme didalam darah. Karbonmonoksida mengikat hemoglobin dalam darah sehingga menurunkan kapasitas peredaran oksigen dalam jaringan tubuh manusia yang akhirnya menurunkan fungsi organ tubuh terutama saluran saraf pusat dan panca indera.

#### 2. Polutan Karbondioksida ( $CO_2$ )

Gas karbondioksida ( $CO_2$ ) merupakan gas buang yang tidak berwarna dan tidak berbau, mudah larut dalam air, Gas  $CO_2$  yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya pemanasan global karena hutan yang mempunyai kemampuan menyerap  $CO_2$  saat ini

sudah semakin berkurang, pemanasan global dapat dilihat dengan terjadinya gelombang panas, naiknya permukaan laut serta mencairnya gunung es dan pemanasan kutub dan hal ini telah terjadi diberbagai tempat.

Pada prinsipnya CO<sub>2</sub> berbanding terbalik dengan gas buang karbon monoksida (CO), apabila CO<sub>2</sub> tinggi maka CO akan rendah, karena dalam proses pembakaran yang hampir sempurna CO<sub>2</sub> harus tinggi dan O<sub>2</sub> rendah, akan tetapi CO<sub>2</sub> yang tinggi hasil pembakaran dapat dicegah dengan melakukan penghijauan untuk menyerap CO<sub>2</sub>.

### 3. Polutan Oksida Nitrogen (NO<sub>x</sub>)

NO<sub>x</sub> terdiri dari NO<sub>2</sub> dan NO. Sifat nitrogenoksida (NO) tidak berwarna, relatif tidak membahayakan tetapi di atmosfer berlebihan menjadi nitrogenoksida (NO<sub>2</sub>) yang berbahaya. NO<sub>2</sub> bereaksi dengan air di atmosfer membentuk asam nitrat yang menyebabkan korosi pada permukaan logam.

Pengaruh terhadap lingkungan kadar NO<sub>2</sub> empat kali lebih tinggi dibanding NO dan CO menyebabkan gangguan pernapasan yang merusak jaringan paru-paru.

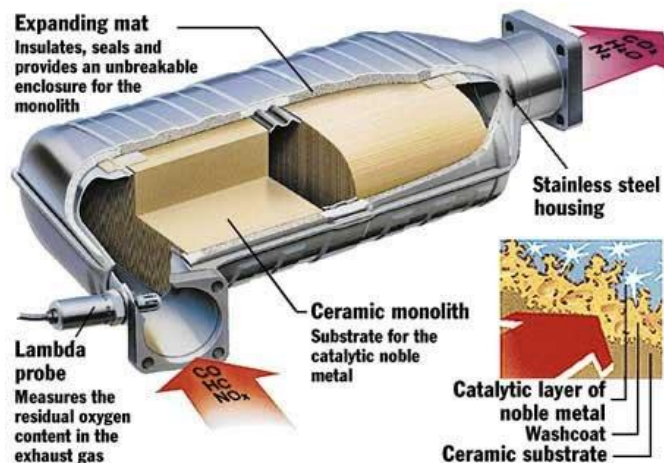
#### Katalitik konverter (Catalytic Converter)

Katalitik konverter berfungsi untuk mengubah polutan yang membahayakan pada gas buang menjadi gas yang tidak membahayakan. Alat ini dipasang pada sistem pembuangan, sehingga semua gas buang harus mengalir melaluinya. *Katalis* adalah suatu bahan pada katalitik konverter yang mendorong saling bereaksi antara satu dengan yang lainnya tanpa menggunakan reaksi kimia pada bagian tersebut. Gas buang yang keluar dari katalitik konverter kandungan HC, CO, dan NO<sub>x</sub>nya lebih rendah dibandingkan yang masuk.

Di dalam katalitik konverter, gas buang melewati suatu permukaan luas yang dilapisi katalis. Lapisan ini berbentuk butiran kecil atau pelet yang ditempatkan pada sebuah alas atau pada keramik berbentuk sarang madu.

Katalitik konverter ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu penyangga dan inti logam aktif yang berfungsi sebagai katalis. Bahan yang sering dipakai sebagai inti logam aktif adalah platina (Pt), rhodium (Rh), paladium (Pd) dan keramik monolith. Logam Pt dan Pd sangat efektif untuk mereduksi CO dan HC, sedangkan logam Rh mampu “menjinakkan” NO. Paduan Rhodium (Rh) dan platina (Pt) akan membentuk catalytic converter yang disebut Three Way Catalyst (TWC) yang sangat efektif mereduksi sekaligus mengoksidasi CO, NO<sub>x</sub> maupun HC.

Logam-logam aktif pada katalitik ini sangat sensitif terhadap timbal yang terkandung dalam bahan bakar (terutama BBM di Indonesia), hal ini perlu diperhatikan untuk menjaga efisiensi kerja katalis, karena itu TWC hanya bisa dipakai untuk mesin berbahan bakar tanpa timbal



**Gambar 1** Bentuk-bentuk Katalis

Kendaraan yang menggunakan katalitik konverter harus menggunakan bensin tanpa timbal. Alasannya, timbal pada bensin akan menempel pada katalis yang mengakibatkan katalisator tersebut tidak efektif. Agar katalitik konverter tersebut lebih efektif, campuran udara-bahan bakar harus dalam perbandingan *stokiometri*. Perubahan yang paling kecil pada perbandingan udara-bahan bakar mengakibatkan kenaikan yang besar pada emisi gas buangnya. Agar lebih akurat jumlah perbandingan udara-bahan bakarnya, maka sistem bahan bakar pada motor tersebut dikontrol secara elektronik.

Pada saat motor dilakukan pemanasan, udara sekunder dari pompa didorong menuju ruang udara pembatas. Udara tersebut membantu untuk mengoksidasi katalis mengubah HC dan CO menjadi karbon dioksida dan air. Cara yang sama dilakukan juga pada konverter katalis sarang lebah tiga jalur.

Tahap awal dari proses yang dilakukan pada katalitik konverter adalah reduction catalyst. Tahap ini menggunakan platinum dan rhodium untuk membantu mengurangi emisi  $\text{NO}_x$ . Ketika molekul NO atau  $\text{NO}_2$  bersinggungan dengan katalis, sirip katalis mengeluarkan atom nitrogen dari molekul dan menahannya. Sementara oksigen yang ada diubah ke bentuk  $\text{O}_2$ . Atom nitrogen yang terperangkap dalam katalis tersebut diikat dengan atom nitrogen lainnya sehingga terbentuk format  $\text{N}_2$ . Rumus kimianya sebagai berikut:  $2\text{NO} \Rightarrow \text{N}_2 + \text{O}_2$  atau  $2\text{NO}_2 \Rightarrow \text{N}_2 + 2\text{O}_2$ .

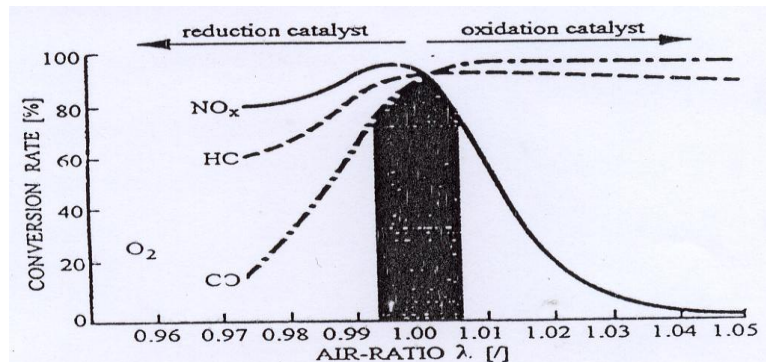
Tahap kedua dari proses di dalam katalitik konverter adalah oxidization catalyst. Proses ini mengurangi hidrokarbon yang tidak terbakar di ruang bakar dan CO dengan membakarnya (oxidizing) melalui katalis platinum dan palladium. Katalis ini membantu reaksi CO dan HC dengan oksigen yang ada di dalam gas buang. Reaksinya sebagai berikut;  $2\text{CO} + \text{O}_2 \Rightarrow 2\text{CO}_2$ .

Tahap ketiga adalah pengendalian sistem yang memonitor arus gas buang. Informasi yang diperoleh dipakai lagi sebagai kendali sistem injeksi bahan bakar. Ada sensor oksigen yang diletakkan sebelum katalitik konverter dan cenderung lebih dekat ke mesin ketimbang konverter itu sendiri. Sensor ini memberi informasi ke *Electronic Control System* (ECS) seberapa banyak oksigen yang ada di saluran gas buang. ECS akan mengurangi atau menambah jumlah oksigen sesuai rasio udara-bahan bakar. Skema pengendalian membuat ECS memastikan kondisi mesin mendekati rasio stoikiometri dan memastikan ketersediaan oksigen di dalam saluran buang untuk proses oxidization HC dan CO yang belum terbakar.

Sistem pengendalian lamda loop tertutup bersama-sama dengan katalitik konverter sampai saat ini adalah metode yang paling efektif untuk membersihkan gas buang motor bensin.

### Katalitik konverter Tiga Lajuan (Three – Way Catalytic Converter)

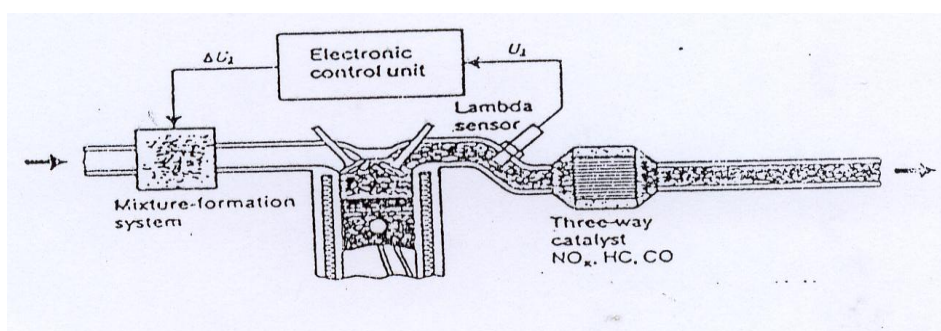
Three way catalytic (TWC) merupakan alat yang paling efektif untuk menurunkan emisi gas buang. Katalitik ini dapat mengurangi kadar HC, CO (oksidasi) dan  $\text{NO}_x$  sampai dengan 90% jika motor beroperasi pada daerah sekitar 1% dari perbandingan stoikiometrik lamda ( $\lambda$ ) = 1, gambar . berikut memperlihatkan daerah operasi katalitik oksidasi dan katalitik oksidasi. Daerah yang gelap merupakan daerah operasi sekitar  $\lambda = 1 \pm 1\%$ .



Gambar 2 Daerah operasi three way catalytic converter

Pada pembakaran yang sebenarnya, motor bensin tidak dapat bekerja pada daerah operasi yang sempit tersebut, maka digunakan sistem pengendalian loop tertutup, yaitu sistem pengendalian yang menjaga komposisi campuran udara-bahan bakar yang masuk ke ruang bakar tetap pada daerah lamda yang diinginkan ( $\lambda = 1 \pm 1\%$ ).

Sebagai pendeteksi gas buang pada TWC digunakan sensor lamda. Sensor ini akan mendeteksi apakah campuran lebih kaya atau lebih miskin dari  $\lambda = 1$ . Pada gambar 3 dapat dilihat skema sistem katalitik konverter yang menggunakan sensor lamda sebagai alat pengontrol kandungan oksigen campuran bahan bakar pada kendaraan.



Gambar 3 Sistem three way catalytic converter

### III. PROSEDUR PENGUJIAN

Pengujian ini dilakukan pada kendaraan Toyota Kijang Innova, *spark ignition*, empat langkah 4 silinder *inline*, 16*valve*, DOHC, VVT-I, EFI,

Pengujian dilakukan secara bertahap dengan memvariasikan putaran yaitu pada putaran 750 rpm, 1500 rpm,, 3000 rpm,, 4000 rpm,, dan 5000 rpm. Pada setiap putaran mengukur emisi-emisi karbonmonoksida (CO), karbondioksida (CO<sub>2</sub>), hidrokarbon (HC), dan lambda ( $\lambda$ ). Pengukuran dilakukan pada kendaraan yang menggunakan *three way catalytic converter* dan tanpa *three way catalytic converter*.

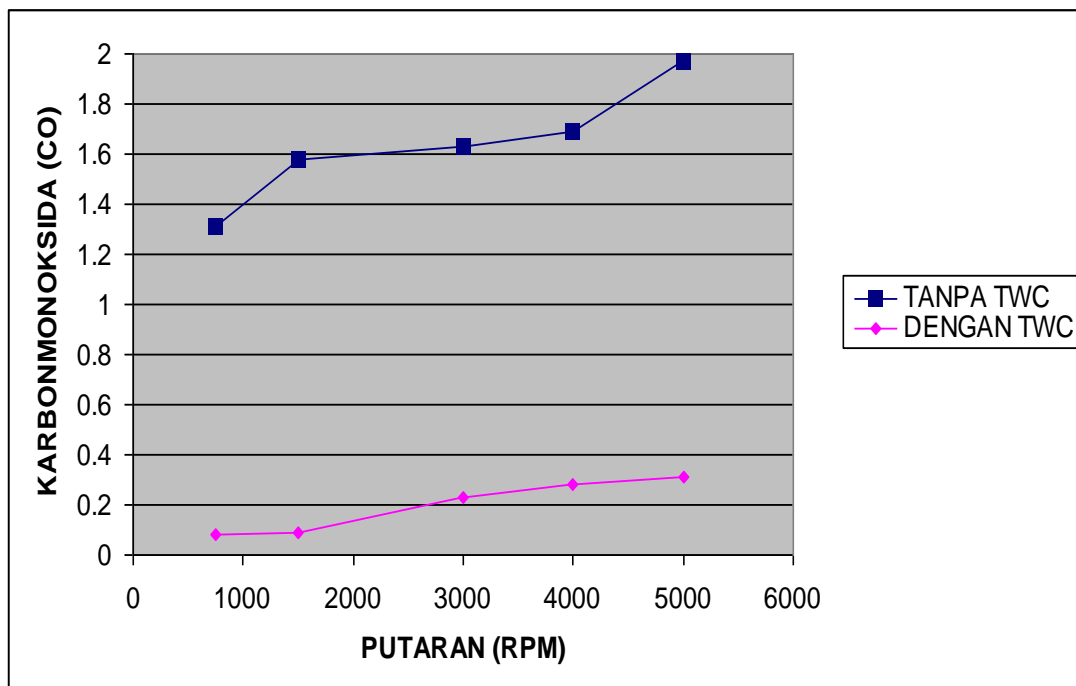
Pengukuran emisi gas buang ini dilakukan di UPT Balai Pengujian Kendaraan Bermotor dinas Perhubungan dengan menggunakan alat uji *Multigas Analyzer Tecnotest, type 488 Homologation N. 3664/4103/8-L*. Alat ini dapat digunakan untuk mengetahui emisi CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> dan Lamda.

### IV. PEMBAHASAN

#### A. Karbonmonoksida (CO)

Pada gambar 4 terlihat bahwa konsentrasi CO meningkat seiring dengan meningkatnya putaran motor. Penggunaan TWC pada saluran pembuangan (knalpot) kendaraan dapat menurunkan konsentrasi emisi CO. antara 83% hingga 94% dibandingkan dengan tanpa TWC.. Hal ini karena TWC dilengkapi dengan sensor lamda untuk mendapatkan daerah operasi sekitar  $\lambda = 1 \pm 1\%$ ., sehingga dapat mengetahui jumlah udara yang akan disuplai dan juga penggunaan katalis dapat mereduksi emisi CO.

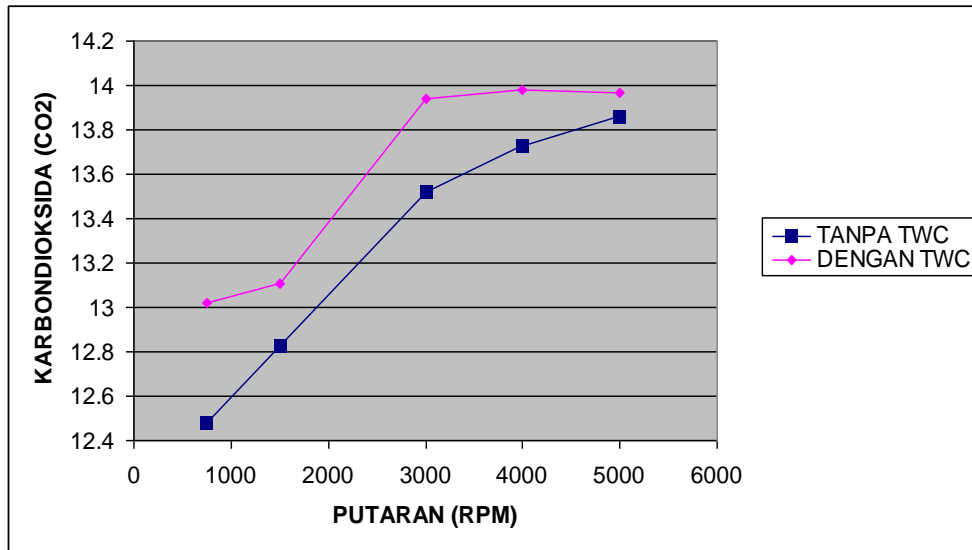
Faktor yang paling mempengaruhi jumlah konsentrasi CO adalah campuran udara-bahan bakar. Semakin kaya campuran udara-bahan bakar, maka emisi CO yang dihasilkan akan lebih besar karena terjadi pembakaran tidak sempurna pada ruang bakar yang menyebabkan meningkatnya konsentrasi emisi CO.



Gambar 4..Grafik hubungan putaran terhadap emisi CO



## B. Karbondioksida (CO<sub>2</sub>)

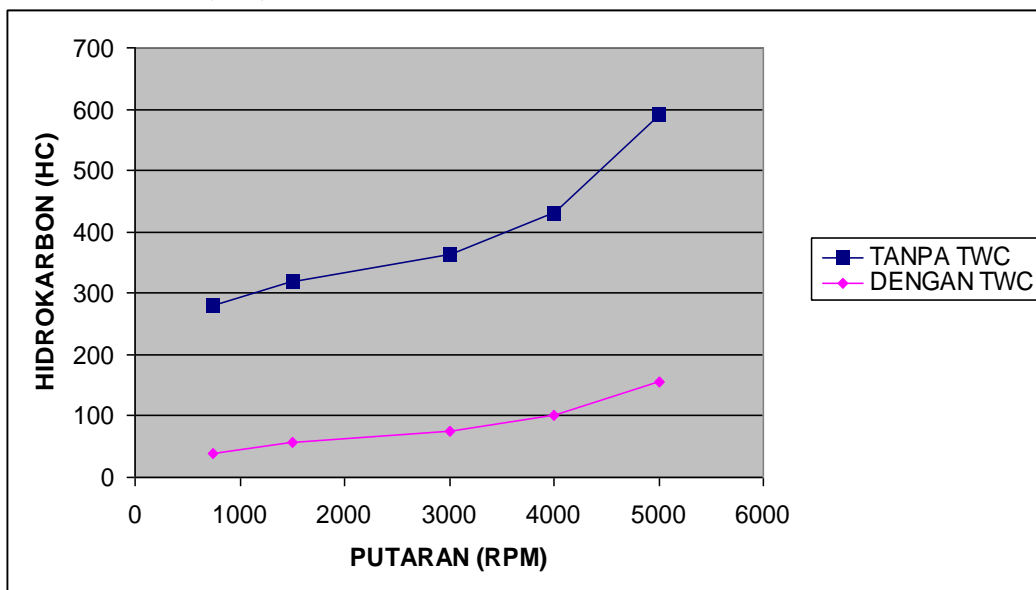


Gambar 5. Grafik hubungan putaran terhadap emisi CO<sub>2</sub>

Pada gambar 5 menunjukkan grafik hubungan putaran terhadap emisi CO<sub>2</sub>, kendaraan yang menggunakan TWC menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi dibandingkan tanpa TWC.

Konsentrasi CO<sub>2</sub> pada kendaraan sangat tergantung pada kesempurnaan pembakaran, apabila konsentrasi O<sub>2</sub> mencukupi untuk terjadinya pembakaran sempurna maka gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan akan lebih besar dibandingkan dengan gas CO, begitu juga sebaliknya, apabila konsentrasi O<sub>2</sub> tidak mencukupi untuk terjadinya pembakaran sempurna maka konsentrasi gas CO akan meningkat sedangkan CO<sub>2</sub> akan menurun, atau dapat diambil pengertian semakin tinggi konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam emisi gas buang maka kesempurnaan pembakaran semakin baik.

## C. Hidrokarbon (HC)

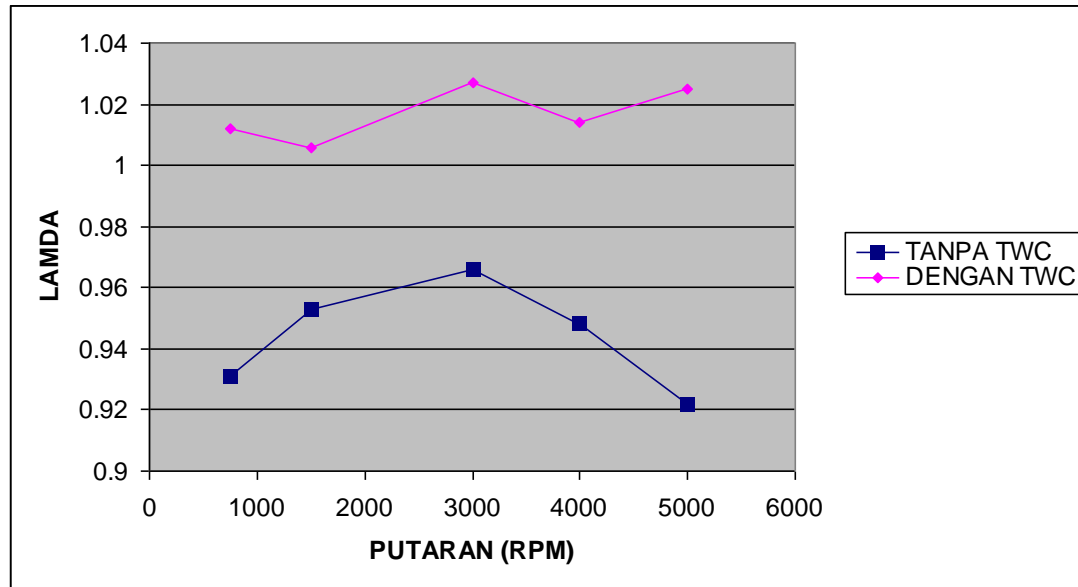


Gambar 6 Grafik hubungan putaran terhadap emisi HC



Pada gambar 6 menunjukkan pengaruh pemakaian TWC terhadap emisi hidrokarbon (HC), semakin tinggi putaran motor maka emisi HC akan semakin tinggi juga. Konsentrasi emisi HC pada kendaraan yang menggunakan TWC menurun antara 73% hingga 86% dibandingkan dengan tanpa TWC.

#### D. Lamda ( $\lambda$ )



Gambar 7. Grafik hubungan putaran terhadap Lamda ( $\lambda$ )

Pada gambar 7 menunjukkan pengaruh penggunaan TWC terhadap lamda. Nilai lamda sangat mempengaruhi tingkat emisi polutan yang terbentuk pada proses pembakaran.

Nilai lamda pada kendaraan yang dilengkapi TWC akan lebih mendekati satu, sedangkan kendaraan tanpa TWC menghasilkan lamda dibawah satu atau campuran udara-bahan bakar lebih kaya.

#### V. KESIMPULAN

1. Pada kendaraan yang menggunakan TWC dapat menurunkan konsentrasii CO antara 83% hingga 94%
2. Pada kendaraan yang menggunakan TWC dapat menurunkan konsentrasi HC mulai dari 73,8% hingga 86,1%.
3. Pada kendaraan yang menggunakan TWC menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi dibandingkan tanpa TWC.
4. Nilai lamda ( $\lambda$ ) pada kendaraan yang dilengkapi TWC lebih mendekati satu, sedangkan kendaraan tanpa TWC menghasilkan lamda dibawah satu atau campuran udara-bahan bakar lebih kaya

#### VI. DAFTAR PUSTAKA

- Arends, BPM, Berenschot, H., "Combustion Engine II", Volume 1, Jenbacher Energie Systeme, Austria, 1996.
- Arismunandar, Wiranto, "Penggerak Mula Motor Bakar Torak", Edisi Kelima, cetakan kesatu, ITB, Bandung, 2002.

- Hardianto, Toto, Dr. Ir., "Usaha Pengurangan dan Pengontrolan Polusi Gas Buang", ITB, Bandung, 1993.
- Hardianto, Toto, Dr. Ir., "Jenis-jenis Polusi Udara dari Gas Buang", ITB, Bandung, 1993.
- Laboratorium Termodinamika Pusat Antar Universitas – Ilmu Rekayasa. Aspek Polutan Emisi Gas Buang dari Proses Pembakaran Terhadap Lingkungan, ITB, Bandung, 1993.
- Soelaiman, Fauzi, Dr. Ir., "Dampak Dari Berbagai Polusi Udara Terhadap Lingkungan", ITB, Bandung, 1993.
- Schwaller, E., Anthony, "Motor Automotive Mechanics", Delmar Republisher INC., United States of America, 1988.
- Perkins, Henry Crawford, "Air Pollution", McGraw-Hill INC., United States of America, 1974.
- Toyota Astra Motors, "Technical Inspection Manual", PT. TAM ATPM, Jakarta, 2004.

KM-1

## ***IONIC LIQUID* SEBAGAI KATALISATOR POTENSIAL UNTUK MENINGKATKAN PRODUKSI BIOFUEL**

**Elda Melwita**

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Jl. Raya Inderalaya  
Km.32, Inderalaya

Koresponensi Pembicara. Phone: +62 711 580303, Fax: +62 711 580303

Email: e\_melwita@yahoo.com

### **ABSTRACT**

Biofuel sebagai salah satu sumber energi terbarukan terus dioptimalkan pengembangannya diberbagai aspek. Salah satunya adalah pengembangan katalis untuk reaksi transesterifikasi minyak nabati menjadi biodisel dan konversi biomasa menjadi etanol. *Ionic liquid* saat ini tengah menjadi sorotan sebagai katalis yang potensial dalam berbagai reaksi kimia. Berbagai keunikan *ionic liquid* menjanjikan potensi aplikasi yang luas diberbagai bidang. Makalah ini akan memberikan uraian mengenai *ionic liquid* dan potensinya dalam peningkatan produksi biofuel.

**Keywords:** Bioalkohol, biodisel, *ionic liquid*.

### **1. *IONIC LIQUID***

*Ionic liquid* adalah suatu cairan yang terdiri dari ion positif dan ion negatif. *Ionic liquid* umumnya adalah garam-garam dari kation organik seperti tetraalkilamonium, tetraalkilfosfonium, *N*-alkylpyridinium, 1,3-dialkilimidazolium dan trialkilsulfonium (Sheldon, 2001; Welton, 1999). Sifat-sifat *ionic liquid* tergantung pada kation dan anion yang menjadi penyusunnya. Hal ini memberikan potensi yang luas dalam mendesain *ionic liquid* untuk keperluan tertentu. Kelebihan *ionic liquid* antara lain; tak menguap, stabil terhadap panas hingga 300 C, larut dalam berbagai senyawa organik, inorganik, dan organometalik, sifat-sifat seperti polaritas, hidrofilik atau lipofilik dapat disesuaikan. **Tabel 1** menampilkan jenis-jenis *ionic liquid* dan beberapa sifat fisik dan kimianya.

*Ionic liquid* juga diklasifikasikan sebagai garam yang memiliki titik leleh < 100 C. Berdasarkan titik leleh *ionic liquid* seperti yang ditunjukkan dalam **Tabel 1**, maka dikenal adanya *ionic liquid* suhu kamar (room temperature *ionic liquid*/RTIL). RTIL adalah jenis *ionic liquid* yang menjadi fokus pengembangan karena berwujud cair pada suhu kamar. Jenis kation menentukan densitas, viskositas, dan sifat lipofilik atau hidrofilik suatu *ionic liquid*. Semakin panjang rantai alkil, maka viskositas semakin tinggi. Sifat hidrofobik/lipofilik *ionic liquid* juga meningkat dengan semakin panjangnya rantai alkil. Sementara itu, jenis anion menentukan sifat asam, basa atau netral dari suatu *ionic liquid*. Anion seperti Cl, AlCl<sub>4</sub>, HSO<sub>4</sub>, BF<sub>4</sub>, PF<sub>6</sub> menghasilkan *ionic liquid* yang bersifat asam. Sedangkan anion seperti asetat memberikan *ionic liquid* yang bersifat basa.

**Tabel 1.**  
Jenis-jenis *ionic liquid* beserta sifat fisik-kimia (BASF)

Jenis Kation	<i>Ionic liquid</i>	Titik leleh (C)	Viskositas pada suhu kamar (mPa)	Densitas pada suhu kamar (g/cm <sup>3</sup> )	Titik nyala (C)	Kelarutan dalam air
Imidazolium	1-Ethyl-3-methylimidazolium tetrachloroaluminate (EMIM AlCl <sub>4</sub> )	9	26	1.3040	218	Bereaksi dengan air
	1-Butyl-3-methylimidazolium tetrachloroaluminate (BMIM AlCl <sub>4</sub> )	-10	32	1.234	198.5	Beraksi dengan air
	1-Butyl-3-methylimidazolium hydrogen sulfate (BMIM HSO <sub>4</sub> )	28	4320	1.2770	>249	Tak hingga
	1-Ethyl-3-methylimidazolium acetate (EMIM Asetat)	-10	93	1.027	164	Tak hingga
	1-ethyl-3-methylimidazolium thiocyanate (EMIM SCN)	< -20	22	1.1140	162	Tak hingga
Tetraalkil amonium	Methyl-tri-n-butylammonium methylsulfate (MTBS)	62	-		179.5	Tak hingga

## 2. IONIC LIQUID SEBAGAI KATALISATOR DALAM REAKSI TRANSESTERIFIKASI/ESTERIFIKASI

Aplikasi *ionic liquid* dalam transesterifikasi atau esterifikasi dapat dilihat dalam **Tabel 2**. *Ionic liquid* dapat berperan sebagai katalis dalam reaksi transesterifikasi/esterifikasi seperti ditunjukkan dalam referensi 3,13,14 dan 15. Jenis *ionic liquid* yang digunakan adalah yang bersifat asam. Mekanisme katalisis *ionic liquid* dalam transesterifikasi dan esterifikasi serupa dengan katalis asam seperti asam klorid dan asam sulfat.

Berdasarkan hasil penelitian saat ini, *ionic liquid* dapat menghasilkan yield ester atau FAME yang tinggi (>90%) . Hanya, kondisi operasi katalis *ionic liquid* belum

sebaik katalis asam konvensional. Selain berperan sebagai katalis dalam reaksi esterifikasi atau transesterifikasi, *ionic liquid* juga mempercepat reaksi dengan berperan sebagai pelarut seperti yang ditunjukkan dalam referensi 5 dan 8. Sementara, katalis dalam reaksi diperankan oleh senyawa lain seperti lipase atau logam. Dalam hal ini, *ionic liquid* berperan sebagai media pelarut bagi katalis dan reaktan. Peningkatan kecepatan reaksi dengan katalis enzim dalam *ionic liquid* diasumsikan karena fleksibilitas protein enzim untuk berubah dalam media organik (Itoh et al., 2004).

**Tabel 2.**

Reaksi transesterifikasi dan esterifikasi menggunakan *ionic liquid*

Ref.	Fungsi <i>ionic liquid</i>	Bahan baku	Kondisi operasi	Yield FAME/ Ester	<i>Ionic liquid reuse</i>	Keterangan
3	Katalis (Tri- <i>n</i> -butylammonium-Propane Sulfonate)	Asam asetat dan etanol	T = suhu kamar Waktu = 2.5 jam	95%	6 kali (yield turun 4.4%)	Reaksi esterifikasi
5	Pelarut (EmimTfO)  Katalis lipase	Minyak kedelai	T = 50 C Waktu = 15 jam MeOH: Minyak 4:1/mol/mol	80%		Hasil lebih tinggi 15% dibanding menggunakan tert-butanol
8	Pelarut (1- <i>n</i> -butyl-3-methylimidazolium tetrachloroindate/BMI·InCl <sub>4</sub> )  Katalis Sn(pyrone) <sub>2</sub>	Minyak kedelai	T = 80 C Waktu = 10 jam Minyak:MeOH 10:3 g/g	84%	5 kali (yield turun 100%)	
13	Katalis (1-(4-sulfonic acid) butylpyridinium hydrogen	Minyak biji kapas	T = 180 C Waktu = 5 jam MeOH: minyak 12:1 mol/mol	92%		Minyak biji kapas mengandung FFA
14	Katalis (Diphenylammonium triflate)	Lemak hewan	T = 90 C Waktu = 2 jam	94%		Lemak hewan mengandung FFA ± 50%
15	Katalis Hmim BF <sub>4</sub>	Asam asetat dan butanol	T = 110 C Waktu = 2 jam	97%	8 kali (yield turun 3%)	Reaksi esterifikasi

### 3. IONIC LIQUID SEBAGAI KATALISATOR DALAM PRODUKSI BIOALKOHOL

Penelitian yang telah dilakukan mengenai aplikasi *ionic liquid* dalam produksi bioalkohol menunjukkan bahwa *ionic liquid* juga memainkan beberapa peran yang berbeda seperti terlihat dalam **Tabel 3**. *Ionic liquid* berperan sebagai pelarut dalam

proses hidrolisa lignoselulosa dan selulosa. Sementara fungsi sebagai katalis dijalankan oleh asam klorid atau Amberlyst/p-TSA (Li et al., 2008; Dadi et al., 2007). Pelarutan selulosa dan lignoselulosa dalam *ionic liquid* mampu mempercepat reaksi hidrolisa dan meningkatkan konversi selulosa dan lignoselulosa menjadi gula.

*Ionic liquid* juga diaplikasikan sebagai pelarut dalam proses pemurnian alkohol (Fadeev et al., 2001). Kelebihan *ionic liquid* dibanding pelarut lain seperti telah diuraikan sebelumnya adalah tidak menguap dan polaritasnya dapat didesain menurut kebutuhan. Hal ini dapat meningkatkan selektifitas *ionic liquid* sebagai pelarut terhadap alkohol.

### Tabel 3.

Aplikasi *ionic liquid* dalam produksi bioalkohol

Ref.	Fungsi <i>ionic liquid</i>	Proses	Kondisi operasi	Konversi	Keterangan
2	Pelarut (BMIMCl) Katalis Amberlyst dan p-TSA	Hidrolisa selulosa	T = 100 C P = 1 atm Waktu = 5 jam	30%	Konversi menjadi gula
4	Pelarut [OMIM][PF6]	Pemisahan n-butanol	T = 23 C		Selektifitas <i>ionic liquid</i> terhadap butanol 55%
7	Pelarut (C <sub>4</sub> mimCl)	Hidrolisa lignoselulosa	T = 100 C P = 1 atm Waktu = 60 menit	60-80%	Konversi menjadi gula
11	Pelarut (C <sub>4</sub> mimCl)	Pelarutan selulose	T = 100 C		Kelarutan selulosa dalam <i>ionic liquid</i> 10%

## 4. DAUR ULANG IONIC LIQUID

Salah satu kelebihan *ionic liquid* adalah dapat didaur ulang (recovery) dan digunakan kembali (reuse) melalui proses yang sederhana. Penelitian yang menggunakan *ionic liquid* seperti ditunjukkan dalam **Tabel 2** selalu menyertakan proses daur ulang *ionic liquid*. Pemakaian kembali *ionic liquid* hasil daur ulang sebagai katalis menunjukkan efisiensi yang tak jauh berbeda dengan efisiensi *ionic liquid* baru (Fang et al., 2006; Zhu et al., 2003). Pemilihan proses daur ulang yang tepat akan memberikan *ionic liquid* dengan sifat-sifat yang tak jauh berbeda dengan *ionic liquid* baru. Proses daur ulang yang kurang tepat akan menurunkan kualitas *ionic liquid* sehingga efisiensi *ionic liquid* hasil daur ulang juga menurun (Neto et al., 2007).

## 5. KESIMPULAN

*Ionic liquid* dapat meningkatkan efisiensi produksi biofuel baik berupa biodiesel atau bioalkohol. *Ionic liquid* dapat berperan sebagai katalis, pelarut, atau keduanya



sekaligus. Fleksibilitas yang luas dalam mendesain *ionic liquid* akan menciptakan potensi yang sangat besar dalam aplikasinya. Kemampuan daur ulang *ionic liquid* juga memberikan keuntungan tersendiri yang akan meningkatkan efisiensi produksi biofuel.

## 6. REFERENSI

BASF. Ionic liquids.

- Dadi, A.P., Schall, C.A., & Varanasi, S. (2007). Mitigation of cellulose recalcitrance to enzymatic hydrolysis by ionic liquid pre-treatment. *Applied biochemistry and biotechnology*, 136–140.
- Fang D., Zhou, X.L., Ye, Z.W., & Liu, Z.L. (2006). Brønsted acidic ionic liquids and their use as dual solvent-catalysts for Fischer esterifications, *Industrial Engineering Chemistry Resources*, 45: 7982-7984.
- Fadeev, A.G. & Michael M. Meagher, M.M. (2001). Opportunities for ionic liquids in recovery of biofuels. *Chemistry Communications*, 295–296.
- Haa, S.H., Lan, M.N., Lee, S.H., Hwang, S.H. & Koo, Y.M. (2007). Lipase-catalyzed biodiesel production from soybean oil in ionic liquids, *Enzyme and Microbial Technology*, 41: 480–483.
- Itoh, T., Han, S., Matsushita, Y. & Hayase, S. (2004). Enhanced enantioselectivity and remarkable acceleration on the lipase-catalyzed transesterification using novel ionic liquids. *Green Chemistry*, 6: 437-439.
- Li, C., Wang, Q. & Zhao, Z.K. (2008). Acid in ionic liquid: An efficient system for hydrolysis of lignocellulose. *Green Chemistry*, 10: 177 – 182.
- Neto, B.A.D., Alves, M.B., & Lapis, A.A.M. (2007). 1-*n*-Butyl-3-methylimidazolium tetrachloro-indate (BMI-InCl<sub>4</sub>) as a media for the synthesis of biodiesel from vegetable oils. *Journal of Catalysis*, 249:154–161.
- Ropel L, Belv`eze LS, Aki SNVK, Stadtherr MA, & Brennecke JF. (2005). Octanol-water partition coefficients of imidazolium-based ionic liquids. *Green Chemistry*, 7:83–90.
- Sheldon, R. (2001). Catalytic reactions in ionic liquids. *Chemistry Communications*, 2399–2407.
- Swatloski, R.P., Spear, S.K., Holbrey, J.D. & Robin D. Rogers, R.D. (2002). Dissolution of Cellose with Ionic liquids. *Journal of American Chemistry Society*, 124: 4974-4975.
- Welton, T. (1999). Room-Temperature Ionic liquids. *Solvents for Synthesis and Catalysis. Chemistry Review*, 99: 2071-2083.
- Wu, Q., Chen, H., Han, M., Wang, D., & Wang, J. (2007). Transesterification of Cottonseed Oil Catalyzed by Brønsted Acidic Ionic liquids. *Industrial Engineering Chemistry Research*, 46:7955-7960.
- Zafiroopoulos, N.A., Ngo, H.L., Foglia, T.A., T. Samulski, E.T., & Lin, W. (2007). Catalytic synthesis of biodiesel from high free fatty acid-containing feedstocks. *Chemistry Communications*, 3670–3672.
- Zhu, H.P., Yang, F., Tang, J., & He, M.Y. (2003). Brønsted acidic ionic liquid 1-methylimidazoliumtetrafluoroborate: a green catalyst and recyclable medium for esterification. *Green Chemistry*, 5: 38–39.

KM-2

## HIDROLISIS ENZIMATIK DAN FERMENTASI TKKS YANG DIDELIGNIFIKASI DENGAN ASAM SULFAT DAN NaOH UNTUK MEMPRODUKSI ETANOL

Novia<sup>1</sup>, Muhammad Faizal<sup>1</sup>, Meilinda Fitriani Ariko<sup>2</sup>, Daru Hw  
Yogamina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya  
Km.32, Inderalaya

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Srijaya Negara,  
Kampus UNSRI Bukit Besar, Palembang

\*Koresponensi: Phone: +62 711 580303 / 081368632611, Fax: +62 711 580303  
Email: noviasumardi@yahoo.com

### ABSTRAK

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) adalah limbah yang dihasilkan oleh pabrik *Crude Palm Oil* (CPO) yang belum banyak dimanfaatkan menjadi produk yang mempunyai nilai tambah. Sementara TKKS memiliki kandungan lignoselulosa yang cukup tinggi. Selulosa yang ada dalam TKKS berpotensi untuk digunakan sebagai sumber energi terbarukan berupa bioetanol. Namun kandungan lignin yang ada dalam TKKS perlu dihilangkan/dirusak strukturnya. Pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk mendegradasi lignin adalah pretreatment menggunakan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> encer (1%) dan NaOH (4%). Selanjutnya TKKS yang telah diberi perlakuan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> encer (1%) dan NaOH (4%), dihidrolisis secara enzimatik menggunakan enzim selulase dan difermentasi dengan yeast *saccharomyces cerevisiae*. Setelah itu, larutan bioetanol hasil fermentasi dipisahkan dari residu, kemudian etanol dimurnikan menggunakan distilasi. Penelitian dilakukan pada berbagai volume enzim dan waktu fermentasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar etanol yang dihasilkan semakin tinggi sampai waktu fermentasi tertentu (waktu optimum) dan setelah waktu optimum terlewati kadar etanol yang dihasilkan menurun. Kadar etanol tertinggi yang dihasilkan sebesar 13,8900 %, pada hari fermentasi ke-5 menggunakan enzim sebanyak 9 ml.

**Keywords:** Etanol, Fermentasi, Hidrolisis Enzimatik, TKKS

### 1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki beragam kekayaan alam terbarukan yang sangat berpotensi sebagai penghasil bioenergi. Namun dalam pengembangannya, bahan bakar nabati yang dihasilkan menggunakan bahan baku yang juga dimanfaatkan sebagai bahan pangan. Bahan bakar nabati seperti bioetanol, masih dibuat dari bahan berpati dan bergula yang merupakan bahan pangan. Hal ini akan berdampak buruk bagi penyediaan pangan. Karena jika bahan bakar nabati (BBN) terus menerus dibuat dari bahan pangan, maka akan terjadi persaingan antara penyediaan pangan dan energi.

Untuk menghindari persaingan tersebut, telah dikembangkan teknologi bahan bakar nabati generasi kedua. Teknologi bahan bakar nabati generasi kedua merupakan

teknologi yang mampu memproduksi bahan bakar nabati, seperti biodiesel atau bioetanol dari bahan lignoselulosa. Pada saat membudidayakan tanaman, bahan yang diproduksi terbesar oleh tanaman adalah lignoselulosa. Ketika hasil-hasil pertanian dan perkebunan dipanen, bahan lignoselulosa akan tertinggal sebagai limbah pertanian yang biasanya kurang termanfaatkan secara optimal. Padahal lignoselulosa dapat digunakan sebagai bahan baku untuk memproduksi bahan bakar nabati seperti bioetanol.

Pada penelitian ini digunakan biomassa lignoselulosa tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Bahan baku ini tidak berkompetensi dengan pangan maupun pakan, tersedia melimpah, murah dan terbarukan. Tandan kosong kelapa sawit merupakan limbah dengan kandungan lignoselulosa yang cukup tinggi, sehingga limbah ini berpotensi untuk digunakan sebagai sumber energi terbarukan berupa bioetanol generasi kedua. Lignoselulosa mengandung tiga komponen penyusun utama, yaitu selulosa (30-50 %-berat), hemiselulosa (15-35 %-berat) dan lignin (13-30 %-berat). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum proses hidrolisis enzimatis dan fermentasi dengan mempelajari pengaruh penambahan jumlah enzim terhadap etanol yang dihasilkan serta pengaruh waktu fermentasi terhadap kadar etanol.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bioetanol merupakan salah satu *biofuel* yang hadir sebagai bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan dan sifatnya yang terbarukan. Bioetanol adalah etanol yang diproduksi dengan cara fermentasi menggunakan bahan baku hayati. Etanol atau *Etil Alcohol* (lebih dikenal dengan alkohol, dengan rumus kimia  $C_2H_5OH$ ) merupakan cairan tak berwarna dengan karakteristik antara lain mudah menguap, mudah terbakar, larut dalam air, tidak karsinogenik dan jika terjadi pencemaran tidak memberikan dampak lingkungan yang signifikan.

Bioetanol bersifat multi-guna karena dicampur dengan bensin pada komposisi berapapun memberikan dampak yang positif. Pencampuran bioetanol absolut sebanyak 10% dengan bensin (90%) disebut juga Gasohol E-10. Gasohol singkatan dari gasoline (bensin) plus alkohol (bioetanol). Etanol absolut memiliki angka oktan (ON) 117, sedangkan Premium hanya 87-88. Gasohol E-10 secara proporsional memiliki ON 92 atau setara Pertamina. Pada komposisi ini bioetanol dikenal sebagai *octan enhancer* (aditif) yang paling ramah lingkungan dan negara-negara maju telah mengganti penggunaan *Tetra Ethyl Lead* (TEL) maupun *Methyl Tertiary Butyl Ether* (MTBE).

Indonesia memiliki bahan baku untuk memproduksi bioetanol yang sangat berlimpah. Tanaman yang berpotensi sebagai penghasil bioetanol diantaranya:

1. Bahan yang mengandung glukosa  
Bahan ini ada pada tetes tebu / molasse, nira aren, nira kelapa, nira tebu, sari buah-buahan dan lain-lain.
2. Bahan yang mengandung pati / karbohidrat  
Bahan ini terdapat pada umbi-umbian seperti sagu, singkong, ketela, gapek, ubi jalar, talas, ganyong, jagung dan lain-lain.
3. Bahan yang mengandung selulosa

Selulosa terdapat dalam serat seperti serat kayu, serat tandan kosong kelapa sawit. Tandan kosong kelapa sawit memiliki kandungan lignosellulosa yang cukup tinggi yang dapat didegradasi menjadi bentuk yang lebih sederhana yaitu glukosa sebagai sumber pembentukan bioetanol. Setiap pengolahan 1 ton TBS (Tandan Buah Segar)

akan dihasilkan TKKS sebanyak 22 – 23% TKKS atau sebanyak 220 – 230 kg TKKS. Jumlah limbah TKKS seluruh Indonesia pada tahun 2004 diperkirakan mencapai 18.2 juta ton (Prawita, 2008). Namun limbah ini belum dimanfaatkan secara baik oleh sebagian besar pabrik kelapa sawit di Indonesia. serat pisang, serat nanas, ampas tebu dan lain-lain). Dalam waktu yang relatif panjang keberadaan limbah tandan kosong kelapa sawit mendatangkan masalah pencemaran. Pemanfaatan limbah tersebut diharapkan akan mengurangi masalah serta mendatangkan keuntungan dengan menjadi tingginya nilai tambah dari limbah tersebut.



**Gambar 1.** Tandan Kosong Kelapa Sawit

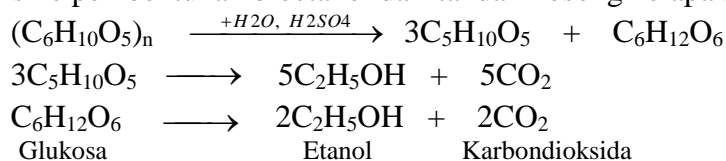
**Tabel 1**

Komponen Tandan Kosong Kelapa Sawit

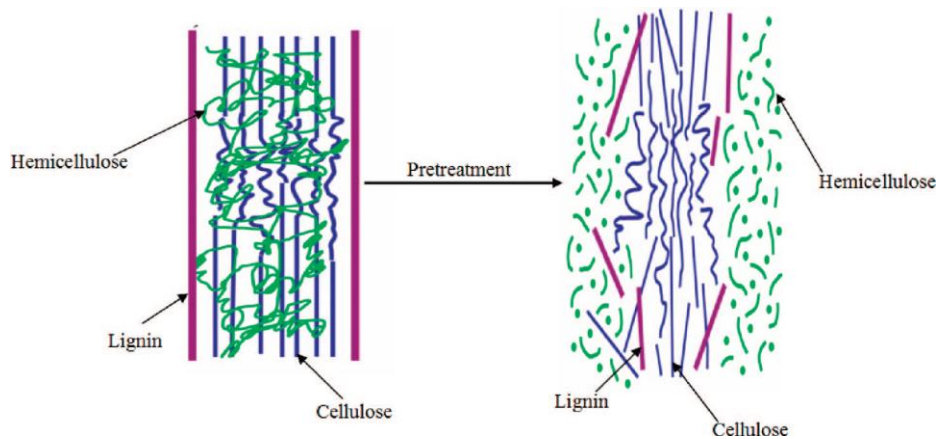
Komponen	% Berat
Selulosa	44,2
Hemiselulosa	33,5
Lignin	20,4

Sumber : (Astima et al., 2002)

Mekanisme pembentukan bioetanol dari tandan kosong kelapa sawit (Risvank, 2008):



Pretreatment biomassa lignoselulosa harus dilakukan untuk mendapatkan hasil yang tinggi. Tujuan dari pretreatment adalah untuk membuka struktur lignoselulosa agar selulosa menjadi lebih mudah diakses oleh enzim yang memecah polymer polisakarida menjadi monomer gula. Jika lignoselulosa tidak dipretreatment terlebih dahulu, maka selulosa sulit untuk dihidrolisis menjadi glukosa, karena lignin sangat kuat melindungi selulosa sehingga sangat sulit melakukan hidrolisis sebelum memecah pelindung lignin. Gula yang diperoleh tanpa pretreatment kurang dari 20%, sedangkan dengan pretreatment dapat meningkat menjadi 90% dari hasil teoritis (Isroi, 2008). Tujuan pretreatment secara skematis ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Skema pretreatment biomassa lignoselulosa (Kumar dkk, 2009)

Menurut Sun dan Cheng (2002) metode - metode yang digunakan untuk pretreatment antara lain: pretreatment fisika (*Mechanical comminution*, Pirolisis); pretreatment fisika - kimia (*Steam explosion* (Autohidrolisis), *Ammonia fiber explosion* (AFEX), *CO<sub>2</sub> explosion*); pretreatment kimia (Ozonolisis, Hidrolisa asam, Hidrolisa alkali, *Oxidative delignification*, *Organosolv process*).

Pretreatment kimia untuk tandan kosong kelapa sawit menggunakan bahan kimia yang berbeda seperti asam, alkali dan pengoksidasian yaitu peroksida dan ozon. Diantara metode ini, *pretreatment* asam encer menggunakan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> adalah metode yang paling banyak digunakan (Sun dan Cheng, 2002).

Hidrolisis merupakan proses pemecahan polisakarida di dalam biomassa lignoselulosa, yaitu selulosa dan hemiselulosa menjadi monomer gula penyusunnya. Pada hidrolisis sempurna selulosa akan menghasilkan glukosa, sedangkan hemiselulosa menghasilkan beberapa monomer gula pentose (C<sub>5</sub>) dan heksosa (C<sub>6</sub>). Hidrolisis dapat dilakukan secara kimia (asam) atau enzimatik.

Hidrolisis selulosa menjadi glukosa dapat dilakukan menggunakan cara kimiawi dan hayati. Hidrolisis dengan cara kimiawi menggunakan asam, sedangkan dengan cara hayati menggunakan enzim murni atau mikroorganisme penghasil enzim selulase. Kendala yang dihadapi yaitu rendahnya laju hidrolisis karena adanya kandungan lignin dalam bahan lignoselulosa. Oleh karena itu dilakukan proses delignifikasi sebelum dihidrolisis.

Beberapa asam yang umum digunakan untuk hidrolisis asam antara lain adalah asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), asam perklorat dan HCl. Asam sulfat merupakan asam yang paling banyak diteliti dan dimanfaatkan untuk hidrolisis asam.

Aplikasi hidrolisis menggunakan enzim secara sederhana dilakukan dengan mengganti tahap hidrolisis asam dengan tahap hidrolisis enzim selulosa. Hidrolisis enzimatik memiliki beberapa keuntungan dibandingkan hidrolisis asam, antara lain: tidak terjadi degradasi gula hasil hidrolisis, kondisi proses yang lebih rendah (suhu rendah), berpotensi memberikan hasil yang tinggi dan biaya pemeliharaan peralatan relatif rendah karena tidak ada bahan yang korosif. Beberapa kelemahan dari hidrolisis enzimatik antara lain adalah membutuhkan waktu yang lebih lama, dan kerja enzim dihambat oleh produk. Di sisi lain harga enzim saat ini lebih mahal daripada asam sulfat, namun demikian pengembangan terus dilakukan untuk menurunkan biaya dan meningkatkan efisiensi hidrolisis maupun fermentasi (Isroi, 2008).



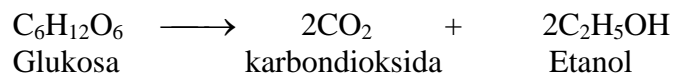
Pemanfaatan limbah berlignoselulosa dengan menggunakan jasa mikroorganisme dapat menghasilkan enzim ekstraseluler yang mampu mendegradasi bahan berlignoselulosa menjadi fraksi penyusunnya. Enzim selulase adalah enzim yang bisa mengurai selulosa menjadi glukosa, setelah diurai bisa difermentasikan menjadi etanol. Enzim selulase yang dapat merombak bahan berlignoselulosa berupa jerami atau serat.

Produksi komersial selulase pada umumnya menggunakan fungi atau bakteri yang telah diisolasi. Meskipun banyak mikroorganisme yang dapat mendegradasi selulosa, hanya beberapa mikroorganisme yang memproduksi selulase dalam jumlah yang signifikan yang mampu menghidrolisa kristal selulosa. Fungi adalah mikroorganisme utama yang dapat memproduksi selulase, meskipun beberapa bakteri dan *actinomycetes* telah dilaporkan juga menghasilkan aktivitas selulase. Fungi berfilamen seperti *Trichoderma reesei* dan *Aspergillus niger* adalah penghasil enzim selulase secara komersial. Fungi-fungi tersebut sangat efisien dalam memproduksi enzim selulase (Eprint, 2006).

*Aspergillus niger* merupakan fungi dari filum ascomycetes yang berfilamen, mempunyai bulu dasar berwarna putih atau kuning pada media Agar Dexstrosa kentang (PDA) dengan lapisan konidiospora tebal berwarna coklat gelap sampai hitam. Kepala konidia berwarna hitam, bulat, cenderung memisah menjadi bagian-bagian yang lebih longgar dengan bertambahnya umur. *Aspergillus niger* tumbuh pada suhu 35 – 37°C (optimum), 6 – 8°C (minimum), 45 - 47°C (maksimum) dan memerlukan oksigen yang cukup (*aerobic*). *Aspergillus niger* digunakan secara komersial dalam produksi asam sitrat, asam glukonat dan pembuatan beberapa enzim seperti selulase, amilase, pektinase, dan amiloglukosidase. *Aspergillus niger* memerlukan mineral (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, urea, CaCl<sub>2</sub>.7H<sub>2</sub>O, FeSO<sub>4</sub>, MnSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O untuk menghasilkan enzim selulase (Wikipedia, 2007).

Fermentasi berasal dari bahasa latin “*Ferfere*” yang berarti mendidihkan (Muljono, 2002). Seiring perkembangan teknologi, definisi fermentasi meluas menjadi proses yang melibatkan mikroorganisme untuk menghasilkan suatu produk. Pada mulanya istilah fermentasi digunakan untuk menunjukkan proses pengubahan glukosa menjadi etanol. Namun, kemudian istilah fermentasi berkembang lagi menjadi seluruh perombakan senyawa organik yang dilakukan oleh mikroorganisme.

Dari beberapa peneliti didapat angka-angka yang menunjukkan bahwa proses fermentasi mengikuti hukum konservasi zat seperti pada reaksi-reaksi kimia biasa. Menurut Gay-Lussac tahun 1810, persamaan fermentasi pembuatan Alkohol adalah:



Fermentasi merupakan kegiatan mikrobial pada bahan pangan sehingga dihasilkan produk yang dikehendaki. Mikrobial yang umumnya terlibat dalam fermentasi adalah bakteri, khamir, dan kapang. Contoh bakteri yang digunakan dalam fermentasi adalah *Acetobacter Xylinum* pada pembuatan *nata decoco*, *Acetobacter Aceti* pada pembuatan asam asetat. Contoh khamir dalam fermentasi adalah *Saccharomyces Cerevisiae* dalam pembuatan alkohol sedangkan contoh kapang adalah *Rhizopus sp* pada pembuatan tempe, *Monascus Purpureus* pada pembuatan anggur dan sebagainya. Fermentasi dapat dilakukan menggunakan kultur murni ataupun alami serta dengan kultur tunggal ataupun kultur campuran. Fermentasi menggunakan kultur alami umumnya dilakukan pada proses fermentasi tradisional yang memanfaatkan mikroorganisme yang ada di lingkungan.



Faktor-faktor yang mempengaruhi fermentasi (Muljono, 2002): ragi, suhu, oksigen, pH dan kadar gula.

Pada proses pembuatan etanol dari tandan kosong kelapa sawit, pemurnian merupakan tahapan akhir proses. Destilasi dilakukan untuk memisahkan etanol dari *beer* (sebagian besar adalah air dan etanol) titik didih etanol murni adalah 78°C sedangkan air adalah 100°C (kondisi standar). Dengan memanaskan larutan pada suhu rentang 78 - 90°C akan mengakibatkan sebagian besar etanol menguap. Proses destilasi akan meningkatkan kandungan ethanol hingga 95%. Sisa air yang masih ada dihilangkan dengan proses dehidrasi hingga kandungan ethanol mencapai 99,5%.

#### 4. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah eksperimental, dilakukan untuk mengetahui sejauh mana tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dapat menghasilkan alkohol (etanol) melalui proses Hidrolisis Enzimatik dan Fermentasi. Proses konversi lignoselulosa tandan kosong kelapa sawit menjadi bioetanol terjadi melalui tahap – tahap berikut, yaitu :

1. Pretreatment atau delignifikasi dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1% dan NaOH 4 %
2. Hidrolisis enzimatik dengan enzim selulase
3. Fermentasi menjadi etanol
4. Destilasi
5. Analisa produk

Bahan baku yang digunakan yaitu limbah tandan kosong kelapa sawit yang berasal dari PT. LONSUM, Musi Rawas, Sumatera Selatan. Bahan Kimia yang dibutuhkan: Enzim Selulase berasal dari fungi *Aspergillus niger*, PDA (*Potato Dextrose Agar*), sukrosa 12,5 %, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,25 %, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0,2 %, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH 96 %, Urea, MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, Yeast *Saccromyces Cerevisiae*, NaOH 4 %, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 %, 25 %, Aquadest, Acetone, BSA (Bovine Serum Albumin), Luff Schoorl, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,1 N, Kalium Iodida 1%. Peralatan yang digunakan: beaker Gelas, erlemeyer, gelas ukur, labu takar, cawan petri, spatula, bunsen, kawat ose, pH meter / kertas pH, rotary shaker, autoclave, corong gelas, pipet tetes, pipet ukur, neraca analitik, blender, oven, batu didih, labu bundar, peralatan destilasi, piknometer, buret digital, kuvet, spektrofotometer, *Hot plate*

#### Parameter yang digunakan

Massa bahan baku	: 50 gram
pH	: 4 – 5
Waktu hidrolisis	: 24 jam
Volume Enzim	: 1 ml, 3 ml, 5 ml, 7 ml, 9 ml
Waktu fermentasi	: 1 hari, 3 hari, 5 hari, 6 hari, 7 hari

#### Pembuatan Enzim Selulase

##### A. Pembenuhan Inokulasi

Mikroba yang digunakan adalah *Aspergillus niger*. Pembenuhan dilakukan pada media PDA (*Potato Dextrose Agar*) secara zig-zag dengan menggunakan kawat inokulasi di dalam cawan petri secara aseptik. Mikroba diinkubasi pada suhu ± 30°C selama 120 jam.

#### B. Penyiapan Inokulum

- 100 ml media cair (media cair ini terdiri dari sukrosa 12,5%,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  0,25 %,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0,2 %).
- pH media cair diatur dengan HCl hingga pH 3.
- Ujung kawat ose dicelupkan ke dalam etanol 96 % lalu dipanaskan pada api bunsen sampai berwarna merah.
- Biakan *Aspergillus niger* dari media PDA diambil dengan menggunakan kawat ose lalu dicelupkan beberapa saat pada media cair hingga tampak keruh. Pekerjaan ini dilakukan di ruang aseptik.
- Media cair ditutup dengan kapas dan diinkubasi pada suhu  $\pm 30^\circ\text{C}$  selama 24 jam.

#### C. Produksi Enzim selulase dalam media cair padat

- TKKS dicacah dan dikeringkan kemudian dihaluskan.
- Menimbang 20 gram TKKS dimasukkan ke dalam beaker glass 250 ml dan menambahkan nutrisi urea 0,03 gr,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0,005 gr,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0,0023 gr.
- 80 ml aquadest ditambahkan dalam media tersebut
- pH diatur hingga pH 5 lalu media disterilkan di dalam autoclave pada suhu  $120^\circ\text{C}$  selama 15 menit.
- Media yang telah disterilkan kemudian didinginkan.
- Suspensi spora *aspergillus niger* ditambahkan sebanyak 10 ml pada media tersebut.
- Media diinkubasi pada suhu  $\pm 30^\circ\text{C}$  dengan waktu fermentasi 96 jam.

#### D. Pengambilan Enzim

- Hasil fermentasi diekstrak dengan aquadest sebanyak 100 ml lalu di letakkan pada rotari shaker 150 rpm selama 1 jam
- Cairan hasil fermentasi dipisahkan dengan menggunakan kertas saring.
- Enzim yang diperoleh kemudian disimpan di lemari pendingin dan siap digunakan.

#### Pretreatment Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

- Memotong TKKS lalu dikeringkan di panas matahari dan oven.
- Menggiling / menghaluskan TKKS sampai ukuran tertentu.
- Menimbang 50 gram TKKS, memasukkan kedalam erlemeyer 500 ml.
- Menambahkan 100 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 % dan menutup rapat erlenmeyer dengan gabus kemudian dipanaskan dalam autoclave pada suhu  $121^\circ\text{C}$  selama 30 menit.
- Memisahkan fase airnya sehingga tersisa fase seluligninnya
- Menambahkan 100 ml NaOH 4 % dan menutup rapatnya lalu dipanasi kembali pada suhu  $121^\circ\text{C}$  selama 30 menit. Mencuci fase solidnya dengan air beberapa kali.

#### Proses Hidrolisis Enzimatik

- Hasil pretreatment dimasukkan kedalam erlenmeyer 500 ml lalu ditambahkan 100 ml aquadest dan mengatur pH 4 – 5.
- Kemudian dipanaskan dalam autoclave pada suhu  $100^\circ\text{C}$  selama 30 menit.
- Bubur TKKS dibiarkan menjadi dingin.

- Menambahkan enzim selulase sebanyak 1 ml, 3 ml, 5 ml, 7 ml, 9 ml (sesuai perlakuan) kedalam bubur TKKS tersebut lalu menutup rapat erlenmeyer dengan gabus.
- Kemudian diletakkan pada rotary shaker 160 rpm selama 24 jam.

#### Proses Fermentasi

- Bubur TKKS yang telah dihidrolisis ditambahkan dengan 4 gr *Saccaromyces Cerevisiae* dan diaduk pada 150 rpm sampai homogen.
- Setelah itu menghubungkan erlemeyer 500 ml yang berisi bubur TKKS tersebut dengan selang karet dan ujung selang dimasukkan kedalam air agar tidak terjadi kontak langsung dengan udara.
- Selanjutnya larutan difermentasikan selama 1 hari, 3 hari, 5 hari, 6 hari dan 7 hari (sesuai dengan perlakuan).
- Selanjutnya memisahkan larutan dengan bubur TKKS sehingga diperoleh cairan alkohol + air.

#### Destilasi (Pemurnian etanol)

- Merangkai dan menyalakan peralatan destilasi dengan benar.
- Cairan hasil fermentasi lalu dimasukkan kedalam labu destilasi.
- Temperatur pemanas dijaga pada suhu 80 °C.
- Proses destilasi dilakukan selama 1,5 – 2 jam sampai etanol tidak menetes lagi.
- Mengukur destilat (etanol) yang didapat.

## 6. ANALISA PRODUK

### Penentuan kadar Etanol

Untuk menganalisa kadar alkohol (etanol) yang didapat digunakan analisa density. Analisa density ini dilakukan dengan menggunakan alat piknometer, piknometer yang digunakan adalah piknometer 5 ml pada suhu kamar.

Prosedur perhitungan density dengan menggunakan piknometer yaitu :

1. Menimbang berat piknometer kosong pada suhu kamar diperoleh a gr.
2. Menimbang berat piknometer yang telah berisi aquadest penuh pada suhu kamar diperoleh b gr.
3. Menghitung volume piknometer dengan menggunakan rumus

$$\text{Volume piknometer} = \frac{b-a}{0.995797} = c \text{ ml}$$

4. Menimbang berat piknometer yang telah diisi penuh dengan zat (etanol) yang akan ditentukan densitynya pada suhu kamar diperoleh d gr.

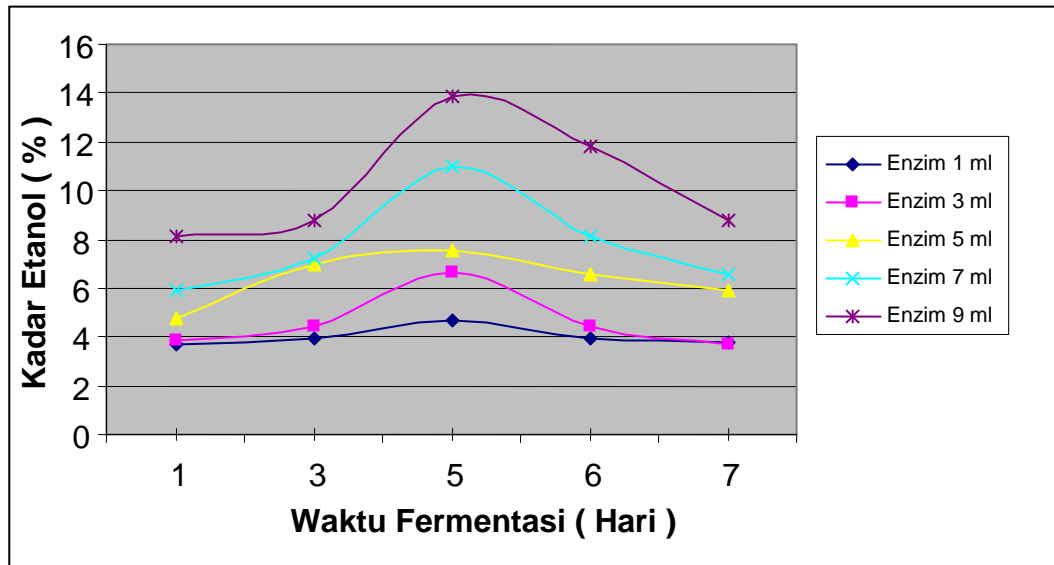
$$\text{Density} = \frac{\text{Berat piknometer isi zat} - \text{Berat piknometer kosong}}{\text{Volume piknometer}}$$

$$\text{Density} = \frac{d - a}{c}$$

Dari density yang diperoleh, dapat ditentukan kadar alkohol (etanol) yang terkandung, dengan melihat tabel density standar etanol pada suhu kamar (terlampir). Analisa ini dilakukan terhadap hasil fermentasi yang telah di destilasi, gunanya untuk mengetahui kadar alkohol (etanol) yang terdapat dalam hasil fermentasi.

## 7. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Waktu Fermentasi Terhadap Kadar Etanol Pada Berbagai Variasi Volume Enzim

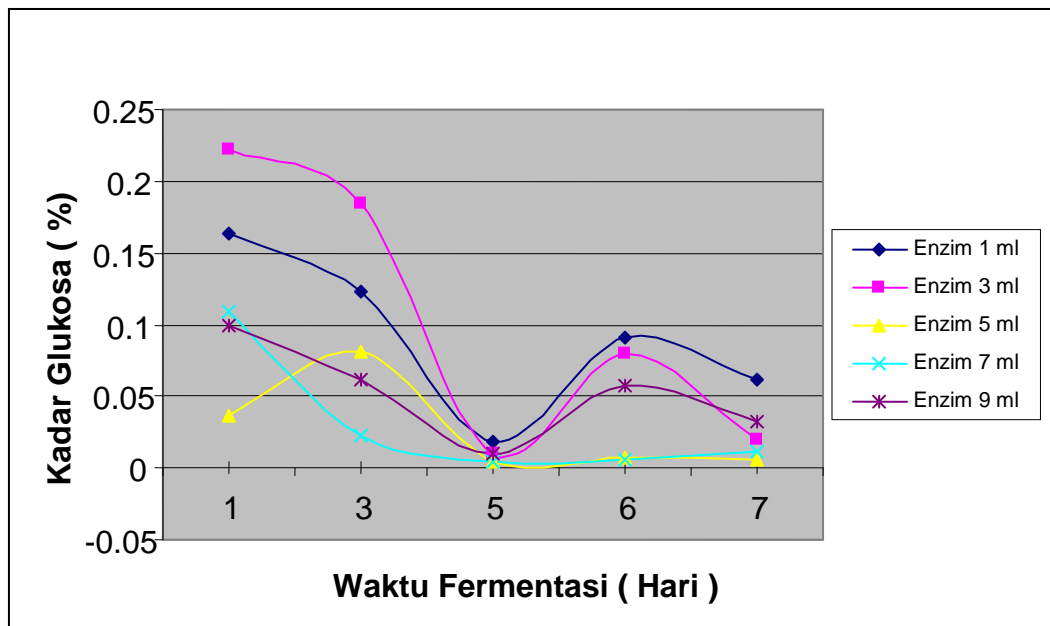


**Gambar 3.** Pengaruh waktu fermentasi terhadap kadar etanol pada berbagai variasi volume enzim

Jumlah enzim yang ditambahkan pada hidrolisis enzimatik bervariasi : 1ml, 3 ml, 5 ml, 7 ml, dan 9 ml. Gambar 3 menunjukkan pengaruh waktu fermentasi terhadap kadar etanol pada berbagai variasi volume enzim. Dari gambar 3. terlihat bahwa semakin lama waktu fermentasi kadar bioetanol akan mengalami kenaikan, namun setelah hari kelima kadar bioetanol pada masing-masing sampel mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena proses fermentasi telah mencapai optimum pada waktu 5 hari, kadar bioetanol mengalami penurunan setelah melewati waktu optimalnya. Kenaikan kadar bioetanol ini terjadi karena lama waktu fermentasi berhubungan erat dengan kurva pertumbuhan mikroba. Pertumbuhan mikroba terjadi dari enam fase, yaitu fase adaptasi, fase permulaan pembiakan, fase pembiakan cepat, fase konstan atau stasioner dan fase terakhir adalah fase kematian.

### Pengaruh Waktu Fermentasi Terhadap Kadar Glukosa Pada berbagai Variasi Volume Enzim

Pengaruh waktu fermentasi terhadap kadar glukosa pada berbagai variasi volume enzim dapat dilihat pada gambar 4. Massa TKKS yang digunakan 50 gram dan waktu hidrolisis selama 24 jam.



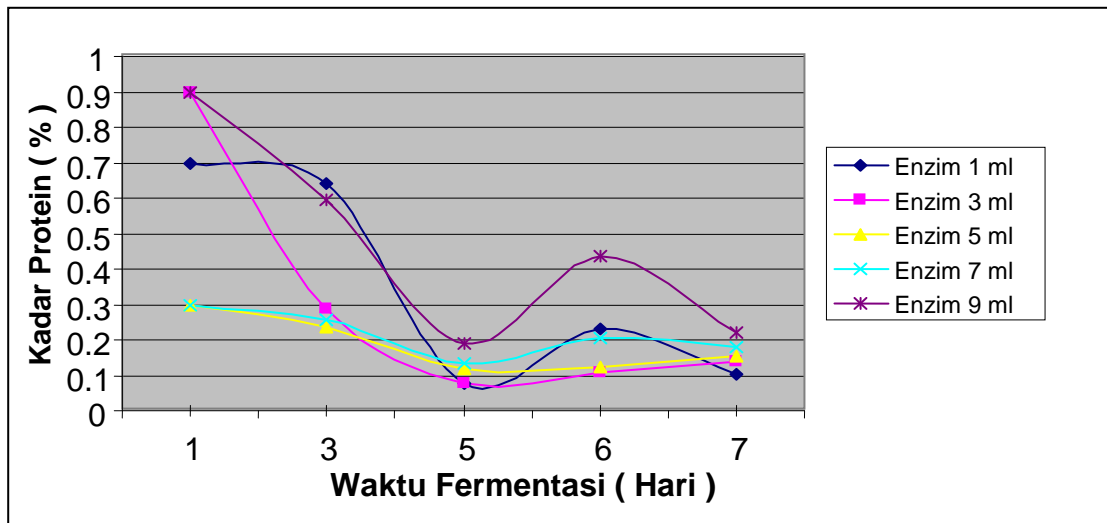
**Gambar 4.** Pengaruh waktu fermentasi terhadap kadar glukosa pada berbagai variasi volume enzim.

Gambar 4 menunjukkan bahwa sebelum 5 hari fermentasi, kadar glukosa semakin menurun seiring dengan bertambahnya waktu fermentasi. Hal ini menunjukkan bahwa glukosa hasil hidrolisis telah difermentasi secara sempurna menjadi etanol. Namun pada waktu fermentasi lebih dari 5 hari, kadar glukosa mengalami kenaikan. Kenaikan jumlah glukosa disebabkan karena kecepatan reaksi dipengaruhi oleh banyaknya selulosa yang ada. Sementara selulosa semakin lama semakin berkurang disebabkan pecah menjadi unit glukosa. Oleh karena itu kecepatan reaksi semakin lama semakin kecil sehingga kenaikan kadar selulosa yang terhidrolisa persatuan waktu semakin kecil. Hal ini mengakibatkan kenaikan glukosa yang terbentuk persatuan waktu.

Dari gambar 4 juga terlihat bahwa untuk waktu fermentasi yang sama, penambahan jumlah enzim tidak selalu mengakibatkan kadar glukosa bertambah atau berkurang. Hal ini mungkin disebabkan oleh variasi volume enzim yang terlalu kecil. Sebaiknya jumlah volume enzim yang ditambahkan lebih dari 7 ml. Fenomena ini mungkin juga disebabkan karena metode penentuan kadar glukosa yang kurang tepat, sebaiknya kadar glukosa diukur dengan HPIC (High Pressure Ion Chromatography) yang juga bisa menganalisa kadar arabinosa, xylosa, mannosida dan lain - lain.

### **Pengaruh Waktu Fermentasi Terhadap Kadar Protein Pada Berbagai Variasi Volume Enzim**

Analisa kadar protein dilakukan untuk mengetahui banyaknya enzim yang dihasilkan oleh *Aspergillus niger*. Analisa kadar protein dilakukan dengan menggunakan metode Lowry secara lengkap. Apabila ditinjau dari pengaruh jumlah enzim yang ditambahkan dan lamanya waktu fermentasi terhadap kadar protein, tampak ada hubungan antara kadar protein yang dihasilkan dengan aktivitas enzim. Pada kondisi dimana kadar protein yang terukur tinggi, maka aktivitas enzim juga tinggi. Sebaliknya pada kondisi dimana kadar protein yang terukur rendah, maka aktivitas enzim juga rendah.



**Gambar 5.** Pengaruh waktu fermentasi terhadap kadar protein pada berbagai variasi volume enzim yang ditambahkan saat hidrolisis.

Gambar 5 menunjukkan pengaruh waktu fermentasi terhadap kadar protein pada berbagai variasi volume enzim. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada waktu fermentasi kurang dari 5 hari, kadar protein semakin berkurang dengan bertambahnya jumlah enzim.

## 8. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa untuk rentang waktu fermentasi sampai 5 hari, semakin banyak jumlah enzim yang digunakan, maka kadar bioetanol yang dihasilkan semakin tinggi. Namun kadar bioetanol mengalami penurunan setelah melewati waktu optimalnya (5 hari). Kenaikan kadar bioetanol ini terjadi karena lama waktu fermentasi berhubungan erat dengan kurva pertumbuhan mikroba. Pertumbuhan mikroba terjadi dari enam fase, yaitu fase adaptasi, fase permulaan pembiakan, fase pembiakan cepat, fase konstan atau stasioner dan fase terakhir adalah fase kematian.

Kadar glukosa semakin menurun seiring dengan bertambahnya waktu fermentasi. Hal ini menunjukkan bahwa glukosa hasil hidrolisis telah difermentasi secara sempurna menjadi etanol. Namun pada waktu fermentasi lebih dari 5 hari, kadar glukosa mengalami kenaikan. Kenaikan jumlah glukosa disebabkan karena kecepatan reaksi dipengaruhi oleh banyaknya selulosa yang ada. Sementara selulosa semakin lama semakin berkurang disebabkan pecah menjadi unit glukosa. Oleh karena itu kecepatan reaksi semakin lama semakin kecil sehingga kenaikan kadar selulosa yang terhidrolisa persatuan waktu semakin kecil. Hal ini mengakibatkan kenaikan glukosa yang terbentuk persatuan waktu.

Kondisi penelitian terbaik adalah pada saat penambahan jumlah enzim 9 ml dan waktu fermentasi 5 hari, dengan kadar bioetanol yang dihasilkan 13,89 %.

## 9. DAFTAR PUSTAKA



- Balai Pemeriksaan Obat dan Makanan. 1979. *Farmakop Indonesia*. Edisi ketiga. Kopri Sub Unit Direktorat Jenderal Departemen Kesehatan RI.
- Balat, M., Balat, H., Oz, C., 2008. Progress in Bioethanol Processing, *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 551 – 573  
[http://eprints.undip.ac.id/13064/1/BAB\\_I\\_-\\_V.pdf](http://eprints.undip.ac.id/13064/1/BAB_I_-_V.pdf) enzim selulase diakses 25 januari 2011.
- Isroi. 2008. *Potensi Biomassa Lignoselulosa di Indonesia Sebagai Bahan Baku Bioetanol: Tandan Kosong Kelapa Sawit*. Online di <http://isro.wordpress.com>. Diakses 26 Juni 2010.
- Hahn-Hagerdal B., Galbe M., Gorwa-Grauslund M.F., Liden G., Zacchi G., 2006. Bio-ethanol—the fuel of tomorrow from the residues of today. *Trends Biotechnol*, 24, 549–56.
- Hamelinck, C.N., van Hooijdonk G., Faaij A.P.C., 2005. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle- and long-term. *Biomass Bioenergy*, 28, 384–410.
- Kumar, P., Barrett, D.M., Delwiche, M.J., and Stroeve, P. 2009. *Methods for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Efficient Hydrolysis and Biofuel Production*, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 48(8), 3713-3729.
- Mangunwidjaja, D. dan Suryani, A., 1994. *Teknologi Bioproses*. Penebar swadaya, Jakarta
- Mosier N., Wyman C., Dale B., Elander R., Holtzapple Y.Y.L.M., Ladisch M., 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technol*, 96, 673–86.
- Muljono, Judoamidjojo, Darwis, Aziz, A., dan Gumbira, E. 2002. *Teknologi Fermentasi*. Rajawali pers: Jakarta.
- Prawita, Dewi. 2008. *Mengolah Limbah Sawit Menjadi Bioetanol dan Kompos*. Online di <http://blogs.unpad.ac.id>. Diakses 13 Juni 2010.
- Sudarmadji, S., Haryono, B., dan Suhardi. 1984. *Prosedur analisa untuk bahan makanan dan pertanian*. Edisi ketiga. Liberty: Yogyakarta.
- Sun, Y., dan Cheng, J., 2002. *Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review*. *Bioresource Technology* 83, 1 – 11.
- UKM, B. 2009. *Bahan Bakar Nabati (Bioetanol)*. Khalifah Niaga Lantabura: Yogyakarta.
- [WWW.Wikipedia.org/wiki/cellulase](http://WWW.Wikipedia.org/wiki/cellulase) diakses 1 Agustus 2010.

## KM-3

# PERHITUNGAN INDEKS KEANDALAN SISTEM TENAGA LISTRIK INTERKONEKSI SUMATERA BAGIAN SELATAN

**Ir. Rudyanto Thayib, Msc**

Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya,  
Jl. Raya Prabumulih Km. 32 Indralaya 30662  
Email : [rudyantothayib@yahoo.co.id](mailto:rudyantothayib@yahoo.co.id)

## ABSTRACT

The quality of electricity supply at consumer's side is highly effected by the availability of power at power station. For that reason the adequate of power with high reliability is needed.

The reliability of electrical power system can be expressed by using a number of reliability indices. The most commonly used indices are SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) dan SAIDI (System Average Interruption Duration Index). These indices indicate how frequently the system is interrupted and the duration of system interrupted.

The calculation of SAIFI and SAIDI for Sumatera Bagian Selatan interconnection system requires probability of outage indices ( $\lambda$ ), outage duration ( $r$ ) dan annual outage time for installed power system and calculation is carried out by using software Etap 7.0.0.

From the result of calculation for Sumatera Bagian Selatan interconnection system, the value of SAIFI is 3,0716 failure/consumers/year. This value is very closed to the standar value determined by PT. PLN (Persero) i.e. 3 failure/consumers/year. On the other hand, the value of SAIDI is 34,6482 hour/consumers/year which is much higher than the standar value determined by PT. PLN (Persero) i.e. 1,67 hour/consumers/year. So it can be concluded that the interconnection system of Sumatera Bagian Selatan is not reliable.

**Key words** : reliability indices, outage rate, outage duration, annual outage time

## I. LATAR BELAKANG

Sistem interkoneksi Sumatera Bagian Selatan menghubungkan sistem tenaga listrik yang ada di Sumatera Selatan, Lampung dan Bengkulu. Sistem interkoneksi ini bertujuan untuk melayani kebutuhan listrik di seluruh wilayah Sumatera Bagian Selatan dalam satu integritas sistem sehingga keterbatasan pasokan listrik pada regional tertentu dapat teratasi melalui pengiriman daya dari regional yang memiliki kelebihan daya. Konsep integritas ini memperkuat sistem tenaga listrik Sumatera Bagian Selatan pada umumnya dan sistem tenaga listrik tiap-tiap subsistem yang ada di Sumatera Bagian Selatan pada khususnya.

Pada suatu sistem tenaga listrik tingkat keandalan adalah hal yang sangat penting dalam menentukan kinerja sistem tersebut. Keandalan ini dapat dilihat dari sejauh mana suplai tenaga listrik bisa mensuplai secara kontinu dalam satu tahun ke konsumen. Permasalahan yang paling mendasar pada penyaluran daya listrik adalah

terletak pada mutu, kontinuitas dan ketersediaan pelayanan daya listrik pada pelanggan. Gangguan yang terjadi pada unit-unit pembangkitan akan menyebabkan terganggunya penyediaan tenaga listrik dengan segala akibatnya bagi perusahaan listrik maupun konsumen.

Keandalan sistem adalah ketersediaan/tingkat pelayanan penyediaan tenaga listrik dari sistem ke konsumen. Indeks Keandalan merupakan suatu indikator keandalan yang dinyatakan dalam suatu besaran probabilitas. Untuk tingkat keandalan pelayanan tergantung dari berapa lama terjadi pemadaman selama selang waktu tertentu (satu tahun) atau dikenal dengan SAIDI dan berapa sering (frekwensi) terjadinya pemadaman selama setahun atau dikenal dengan SAIFI.

Perhitungan indeks keandalan secara keseluruhan dilakukan dengan mempergunakan software ETAP 7.0.0 kemudian hasil perhitungan yang diperoleh dibandingkan dengan indeks keandalan yang ditetapkan oleh PT. PLN (Persero) dalam rangka menuju WCS (World Customer Service) dan WCC (World Class Company) yaitu SAIFI = 3 kali/pelanggan/tahun dan SAIDI = 100 menit/pelanggan/tahun

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Umum

Dalam dunia modern sekarang ini, energi listrik merupakan bentuk energi yang paling penting peranannya karena tidak hanya secara langsung mensejahterakan kehidupan manusia, tetapi juga merupakan faktor penentu dalam peningkatan kemampuan dalam hal produksi. Makin tinggi tingkat kesejahteraan seseorang, makin tinggi pula tingkat ketergantungan pada ketersediaan energi listrik yang memadai dan berkualitas. Demikian juga makin maju perindustrian makin penting dan makin besar peran energi listrik itu dalam menjamin kelangsungan dan pengembangan selanjutnya.

Keandalan suatu sistem tenaga listrik dapat dinyatakan dengan menggunakan indeks keandalan. Indeks Keandalan yang umum digunakan adalah SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) dan SAIDI (System Average Interruption Duration Index) yaitu indeks yang menyatakan seberapa sering sistem mengalami gangguan dalam setahun dan berapa lama pemadaman terjadi.

Adapun indeks dasar yang digunakan adalah laju kegagalan rata-rata/ angka keluar pembangkit ( $\lambda$ ), waktu keluaran rata-rata ( $r$ ), dan ketidakterediaan tahunan rata-rata atau waktu keluar tahunan rata-rata ( $U$ ).

### 2.2 Keandalan dan Ketersediaan

Setiap pembangkit tenaga listrik dapat mengalami kegagalan. Kegagalan pembangkitan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain : kelalaian manusia, perawatan yang buruk, kesalahan dalam penggunaan, dan kurangnya perlindungan terhadap tekanan lingkungan yang berlebihan.

Akibat yang ditimbulkan dari kegagalan pembangkitan ini dapat berpengaruh pada operasi sistem , antara lain : terjadinya pemadaman pada sebagian titik beban yang disebabkan kekurangan dalam pembangkitan, dan kerugian biaya ekonomis yang cukup.

Definisi keandalan (*reliability*) secara umum merupakan kemungkinan sistem akan mampu berfungsi dengan baik untuk jangka waktu tertentu. Ukuran keandalan dapat dinyatakan sebagai seberapa sering sistem mengalami pemadaman, berapa lama pemadaman terjadi dan berapa cepat waktu yang dibutuhkan untuk memulihkan

kondisi dari pemadaman yang terjadi. Sistem yang mempunyai keandalan yang tinggi akan mampu memberikan tenaga listrik setiap saat dibutuhkan, sedangkan sistem yang mempunyai keandalan rendah akan menyebabkan sering terjadinya pemadaman.

Ketersediaan (*availability*) didefinisikan sebagai kemungkinan suatu sistem berfungsi menurut kebutuhan pada waktu tertentu saat digunakan dalam kondisi beroperasi.

### 2.3 Laju Kegagalan Komponen ( $\lambda$ )

Kegagalan komponen adalah keadaan suatu komponen atau sistem yang tidak dapat melaksanakan fungsinya akibat satu atau beberapa kejadian yang berhubungan secara langsung dengan komponen atau sistem tersebut.

Banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu  $t_1$  sampai  $t_2$  disebut laju kegagalan (*failure rate*). Hal ini dapat dinyatakan sebagai peluang bersyarat, yaitu kegagalan-kegagalan yang terjadi dalam selang waktu  $t_1$  dan  $t_2$  dimana sebelum periode  $t_1$  tidak terjadi kegagalan, dan ini merupakan awal dari selang.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa laju kegagalan ( $\lambda$ ) adalah harga rata-rata dari jumlah kegagalan persatuan waktu pada suatu selang waktu pengamatan ( $T$ ). Laju kegagalan ini dihitung dengan satuan kegagalan per tahun. Untuk selang waktu pengamatan diperoleh dari :

$$\lambda = \frac{\text{Jumlah Kegagalan selama selang waktu}}{\text{Jumlah Selang Waktu Pengamatan}}$$
$$= \frac{N}{\sum_{i=1}^n T_i} \text{ gangguan/tahun}$$

Metode representasi dimana dua keadaan baik dan dua keadaan gagal untuk durasi operasi atau durasi perbaikan, maka rumus laju kegagalan untuk jumlah  $n$  komponen adalah sebagai berikut :

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \text{ gangguan/tahun}$$

Dimana :

$\lambda$  = angka/laju kegagalan konstan (Failure Rate)

$N$  = jumlah kegagalan selama selang waktu (Total number of failure)

$\sum T_i$  = Jumlah selang waktu pengamatan

### 2.4 Durasi Perbaikan Rata-rata ( $r$ )

Durasi keluaran rata-rata ( $r$ ) adalah waktu rata-rata yang diperlukan oleh sistem atau pembangkit untuk melakukan perbaikan selama terjadinya gangguan.

$$(r) = \frac{\text{lama gangguan (jam) dalam periode tertentu}}{\text{jumlah h gangguan dalam periode tertentu}}$$

Waktu perbaikan ( $r$ ) dapat juga diartikan sebagai waktu yang diperlukan dari saat terjadinya gangguan sampai pembangkit atau sistem dapat bekerja kembali secara normal.

Metode representasi dimana dua keadaan baik dan dua keadaan gagal untuk durasi operasi atau durasi perbaikan, maka rumus durasi keluaran rata-rata untuk jumlah  $n$  komponen pembangkit adalah sebagai berikut :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot r_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \text{ jam/gangguan}$$

Dimana :

$\lambda_i$  = angka/laju kegagalan pembangkit (kegagalan/tahun)

$r_i$  = durasi keluaran rata-rata pembangkit (jam/gangguan)

## 2.5 Durasi Gangguan Tahunan / Annual Outage Duration (U)

Annual outage duration (durasi keluaran tahunan) merupakan waktu kegagalan rata-rata yang terjadi pada sistem atau peralatan yang terjadi selama periode tertentu (satu tahun).

$$U_i = \lambda_i \cdot r_i \text{ jam/tahun}$$

Dimana :

$U_i$  = Annual outage duration (jam/tahun)

$\lambda_i$  = Laju kegagalan pada titik tertentu (frekuensi/tahun)

$r_i$  = waktu rata-rata perbaikan selama terjadi gangguan(jam)

## 2.6 Indeks Keandalan Berorientasikan Pada Pelanggan/ Beban

Indeks keandalan yang akan dievaluasi biasanya menggunakan konsep klasik yang akan menghitung : laju kegagalan rata-rata, durasi pemadaman rata-rata dan ketersediaan tahunan rata-rata atau waktu pemadaman tahunan rata-rata.

### 2.6.1 Indeks Frekuensi Gangguan Rata-rata Sistem / System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)

SAIFI merupakan suatu indeks yang menyatakan banyaknya gangguan (pemadaman) yang terjadi dalam selang waktu tertentu (satu tahun) pada pelanggan dalam suatu sistem secara keseluruhan.

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah gangguan Pelanggan}}{\text{Jumlah pelanggan}}$$

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot N_i}{\sum N} \text{ gangguan/pelanggan}$$

Dimana  $\lambda_i$  adalah laju kegagalan unit dan  $N_i$  adalah banyaknya pelanggan (beban) pada suatu titik.

### 2.6.2 Indeks Durasi Gangguan Rata-rata Sistem / System Average Interruption Duration Index (SAIDI)

SAIDI merupakan suatu indeks yang menyatakan lamanya gangguan (pemadaman) yang terjadi dalam selang waktu tertentu. Indeks ini ditentukan dengan pembagian jumlah dari lamanya kegagalan secara terus menerus untuk semua pelanggan selama periode waktu yang telah ditentukan dengan jumlah pelanggan yang dilayani selama tahun itu

$$SAIDI = \frac{\text{Jumlah durasi gangguan Pelanggan}}{\text{Jumlah pelanggan}}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n U_i \cdot N_i}{\sum N} \text{ jam/pelanggan}$$

Dimana  $U_i$  adalah annual outage time dan  $N_i$  adalah jumlah pelanggan pada suatu titik.

### III. Hasil Perhitungan dan Pembahasan Indeks Keandalan Sistem Tenaga Listrik Interkoneksi Sumbagsel

#### 3.1. Data Pembangkitan

Data pembangkit yang digunakan untuk menghitung indeks keandalan SAIFI dan SAIDI adalah daya mampu, durasi keluaran, dan jumlah pemadaman/gangguan pembangkit. Adapun data pembangkit untuk wilayah Sumatera Bagian Selatan dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini :

Tabel 1: Unit pembangkit, kapasitas daya, durasi keluaran dan jumlah pemadaman sistem Sumbagsel.

No.	UNIT PEMBANGKIT	DAYA MAMPU (MW)	DURASI KELUARAN (JAM)	JUMLAH PEMADAMAN (KALI)
1	PLTA BATUTEGI 1	10	12	4
2	PLTA BATUTEGI 2	13	9	4
3	PLTA BESAI 1	45	20	18
4	PLTA BESAI 2	45	18	16
5	PLTA MUSI 1	70	11,25	2
6	PLTA MUSI 2	70	25,12	2
7	PLTA MUSI 3	70	9,05	2
8	PLTA TES 1	0,53	95,64	12
9	PLTA TES 2	0,53	18,05	10
10	PLTA TES 3	4	11,14	11
11	PLTA TES 4	4	23	9
12	PLTA TES 5	4	8	3
13	PLTA TES 6	4	40,07	22
14	PLTD BUKIT ASAM 1	5	0	0
15	PLTD BUKIT ASAM 2	5	Tidak beroperasi	Tidak Beroperasi
16	PLTD SUNGAI JUARO 1	11,34	65	4
17	PLTD SUNGAI JUARO 2	10,68	77	6
18	PLTD SUKAMERINDU 1	4,3	0	0
19	PLTD SUKAMERINDU 2	4,3	0	0
20	PLTD SUKAMERINDU 3	4,3	0	0
21	PLTD TEGINENENG 1	6,33	301,42	36
22	PLTD TEGINENENG 2	6,33	Tidak Beroperasi	Tidak Beroperasi
23	PLTD TEGINENENG 3	6,33	583,29	40
24	PLTD TELUK BETUNG 1	0,9	48	3
25	PLTD TELUK BETUNG 2	0,9	48	5
26	PLTD TELUK BETUNG 3	0,9	48	5
27	PLTD TELUK BETUNG 8	3,25	130,94	17
28	PLTD TELUK BETUNG 10	3,95	99,22	16



29	PLTG INDRALAYA GT 1.1	45	115,79	22
30	PLTG INDRALAYA GT 1.2	38,379	40	17
31	PLTG INDRALAYA ST 1.0	37,999	256,44	26
32	PLTG TM 1 BORANG	17,46	222,12	49
33	PLTG TM 2 BORANG	18	2263,41	188
34	PLTG GUNUNG MEGANG 1	40	1784,93	163
35	PLTG GUNUNG MEGANG 2	40	639,3	75
36	PLTG KERAMASAN 1	8,88	131,06	20
37	PLTG KERAMASAN 2	8,88	616,15	15
38	PLTG KERAMASAN 3	14,83	96,92	8
39	PLTG TALANG DUKUH 1	13,6	Tidak Beroperasi	Tidak Beroperasi
40	PLTG TALANG DUKUH 2	13,6	0	0
41	PLTGU AGP BORANG 1	100	500	15
42	PLTGU AGP BORANG 2	50	600,06	22
43	PLTU NEW TARAHAH 1	50	680,2	22
44	PLTU NEW TARAHAH 2	50	513,01	28
45	PLTU BUKIT ASAM 1	37,184	524,61	28
46	PLTU BUKIT ASAM 2	40	168,71	25
47	PLTU BUKIT ASAM 3	39,999	179,92	18
48	PLTU BUKIT ASAM 4	59,929	35,05	18
49	PLTU KERAMASAN 1	7,16	221,36	29
50	PLTU KERAMASAN 2	7,86	224,86	21
51	PLTD PULAU BAAI 1	5	0	0
52	PLTD PULAU BAAI 2	4	Tidak Beroperasi	Tidak Beroperasi
53	PLTD PULAU BAAI 3	1,5	0	0
54	PLTD PULAU BAAI 4	1,5	0	0
55	PLTD PULAU BAAI 5	3	0	0
56	PLTD TARAHAH 1	5	25,78	3
57	PLTD TARAHAH 2	4,71	515,00	15
58	PLTD TARAHAH 3	3,5	8,75	2
59	PLTD TARAHAH 4	6	450,08	30
60	PLTD TARAHAH 5	4,67	Tidak Beroperasi	Tidak Beroperasi
61	PLTD TARAHAH 6	4,67	5,60	5
62	PLTD TARAHAH 7	6,62	0	0
63	PLTG TARAHAH	16	27,55	13
64	PLTD TALANG PADANG 1	1	0	0
65	PLTD TALANG PADANG 2	1	0	0
66	PLTD TALANG PADANG 3	1	0	0
67	PLTD TALANG PADANG 4	0,119	0	0
68	PLTD TALANG PADANG 5	0,2	0	0
69	PLTD TALANG PADANG 6	0,2	0	0
70	PLTD TALANG PADANG 7	0,2	0	0
TOTAL KAPASITAS		1.222,519	Sebelum dikurangi yang tidak beroperasi	pembangkit
TOTAL KAPASITAS		1.200,249	Sesudah dikurangi	pembangkit

yang tidak beroperasi

### 3.2. Hasil Perhitungan dan Pembahasan

Perhitungan indeks keandalan SAIFI dan SAIDI dilakukan dengan menggunakan program Etap 7.0.0. Hasil perhitungan dapat dilihat dari tabel dibawah ini

Tabel 2 : Hasil perhitungan Indeks keandalan SAIFI dan SAIDI pada sistem interkoneksi Sumbagsel

No.	Indeks Keandalan	Hasil Perhitungan
1	SAIFI	3,0716 (gangguan/pelanggan/tahun)
2	SAIDI	34,6482 (jam/pelanggan/tahun)

Dari tabel 2 diatas dapat dilihat bahwa sistem Sumbagsel memiliki indeks SAIFI sebesar 3,0716 gangguan/pelanggan/tahun yang berarti bahwa dalam satu tahun, probabilitas terjadi gangguan pada pelanggan sebanyak 3 kali. Nilai SAIFI ini hanya memberi informasi frekwensi terjadinya pemadaman tetapi tidak memberi informasi berapa lama terjadinya pemadaman. Oleh karena itu nilai SAIFI akan lebih lengkap apabila disertakan nilai SAIDI.

Nilai indeks SAIDI hasil perhitungan adalah 34,6482 jam/pelanggan/tahun, ini berarti bahwa dalam satu tahun, probabilitas terjadi pemadaman pada pelanggan sebanyak 34,6482 jam. Nilai indeks SAIDI ini cukup besar, hal ini disebabkan karena waktu durasi keluaran pembangkit terlalu lama, dengan kata lain apabila ada pembangkit yang rusak, waktu perbaikannya cukup lama. Hal lain yang bisa menyebabkan nilai indeks SAIDI besar karena kurangnya pemeliharaan dan cadangan suka cadang tidak tersedia.

Untuk memenuhi target PT. PLN (Persero) ke depan yaitu mencapai WCS (World Customer Service) dan WCC (World Class Company), PT. PLN (Persero) telah menetapkan SAIFI sebesar 3 kali/pelanggan/tahun dan SAIDI sebesar 100 menit/pelanggan/tahun. Dengan demikian nilai indeks SAIFI untuk sistem Sumbagsel (3,0716 gangguan/pelanggan.tahun) hampir memenuhi standar yang ditetapkan, akan tetapi nilai indeks SAIDI ini jauh diatas standar yang ingin dicapai oleh PT. PLN (Persero), oleh karena itu harus dilakukan upaya dan kerja keras dari seluruh jajaran PT. PLN (Persero) untuk menurunkan indeks SAIDI dari 34,6482 jam menjadi lebih rendah dari 100 menit.

Dalam evaluasi nilai indeks keandalan pada sisi pelanggan, SAIFI dan SAIDI tidak bisa dievaluasi sendiri-sendiri tetapi harus dievaluasi secara bersama-sama (keseluruhan). jadi nilai indeks SAIFI dan SAIDI kedua-duanya harus memenuhi standar yang telah ditentukan, baru system itu dapat dikatakan andal, apabila salah satu indeks tidak memenuhi kreteria, maka system itu dikatakan tidak andal.

## IV. Kesimpulan dan Saran

### 4.1. Kesimpulan

1. Nilai indeks SAIFI untuk sistem Sumatera Bagian Selatan adalah 3,0716 gangguan/pelanggan/tahun. Nilai indeks ini mendekati indeks SAIFI yang ingin dicapai oleh PT. PLN (Persero) yaitu 3 gangguan/ pelanggan/tahun

2. Nilai indeks SAIDI untuk sistem Sumatera Bagian Selatan adalah 34,6482 jam/pelanggan/tahun. Nilai indeks ini jauh diatas indeks SAIDI yang ingin dicapai oleh PT. PLN (Persero) yaitu 1,67 jam/pelanggan/tahun.
3. Pada tahun 2010, Sistem interkoneksi Sumatera Bagian Selatan dapat dikatakan tidak andal

#### 4.2. Saran

Untuk memenuhi indeks keandalan yang ingin dicapai PT.PLN (Perseero) yaitu indeks SAIFI sebesar 3 gangguan/pelanggan/tahun dan SAIDI sebesar 1,67 jam/pelanggan/tahun maka hal-hal yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menambah cadangan kapasitas pembangkit
2. Overhaul pembangkit yang sudah tua
3. Meningkatkan pemeliharaan unit-unit pembangkit
4. Menyediakan alat suku cadang yang memadai

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Bertling, Lina dan Wallnerstrom Carl Johan. 2007. *“Exercise on Reliability Assessment of electric power systems”*. Royale Institute of Technology School of electrical Engineering : Stockholm.
- Billinton, R, dan Allan, R,N. 1994. *“Reliability Evaluation Of Power System second edition”*. Plenum Press New York dan London.
- Thayib, Rudyanto, Ir, Msc. 2003. *“Buku Ajar Keandalan Sistem Tenaga Listrik”*. Universitas Sriwijaya : Palembang.
- PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Sumatera
- Ramakumar, R. 2000. *“Reliability Engineering”* The Electrical Engineering Handbook. Boca Raton: CRC Press LLC.

## PERBANDINGAN MINYAK NABATI KASAR HASIL EKSTRAKSI BUAH KEPAYANG SEGAR DENGAN KLUWEK

**Cokorda Prapti Mahandari<sup>\*</sup>, Wiwik dan Anwar Fatoni**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Gunadarma  
Jl. Margonda Raya 100 Depok 16435

<sup>\*</sup>Korespondensi Pembicara. Phone: +62 2178881112 extn 453

Email: coki@staff.gunadarma.ac.id

### ABSTRACT

Minyak nabati kasar adalah minyak yang diperoleh dari pengolahan tanaman antara lain dari bagian batang, daun, buah, biji, kulit buah maupun bunga melalui proses ekstraksi. Penelitian tentang minyak nabati dari berbagai jenis dan bagian tanaman telah banyak dilakukan. Salah satu jenis tanaman yang belum banyak diteliti kandungan minyaknya adalah pohon kepayang atau *Pangium edule Reinw.* Potensi biji buah kepayang segar dan biji buah kepayang yang telah diproses menjadi kluwek sebagai bahan baku minyak nabati kasar diteliti dengan membandingkan hasil ekstraksinya. Sebelum dilakukan proses ekstraksi buah kepayang diolah untuk mendapatkan biji dengan cara pembusukan, pembelahan, pencucian, perebusan, pengupasan dan penjemuran. Sedangkan untuk memperoleh kluwek dilakukan penimbunan biji buah kepayang dalam tanah selama 4 minggu, pengupasan, pemilihan dan penjemuran. Proses ekstraksi dilakukan dengan menggunakan alat pres hidrolik. Hasil ekstraksi biji buah kepayang segar berupa campuran minyak, air dan getah dipanaskan untuk menghilangkan kadar airnya sampai menjadi minyak nabati kasar dengan warna coklat kehitaman. Sedangkan hasil ekstraksi kluwek menghasilkan minyak yang agak kotor sehingga hanya membutuhkan penyaringan untuk menjadi minyak nabati kasar. Biji buah kepayang menghasilkan minyak 8,7% dari total beratnya sedangkan kluwek 11 %. Berdasarkan hasil pengukuran massa dan volumenya diperoleh massa jenis minyak biji kepayang adalah 1,047 gr/ml, minyak kluwek 0,908 gr/ml. Hasil uji pembakaran menggunakan sumbu dari benang terlihat nyala api pada minyak biji kepayang mentah lebih pendek dan lebih redup sedangkan nyala api pada minyak kluwek lebih panjang dan lebih terang dengan warna merah jingga. Pada nyala api minyak kepayang ditemukan letupan–letupan dan percikan api yang menandakan masih terdapat kandungan air, sedangkan pada nyala api minyak kluwek tidak ada percikan saat api menyala.

**Keywords:** kepayang, minyak nabati, penekanan, ekstraksi, pembakaran.

### 1. PENDAHULUAN

Berdasarkan Perpres No 5/2006, peranan energi baru terbarukan diharapkan dapat mencapai 17% dari bauran energi nasional pada tahun 2025. Salah satu potensi energi baru dan terbarukan adalah biomassa yang pemanfaatannya masih kurang dari 1 % dari potensi yang ada lebih kecil dari potensi yang ada. Intensifikasi pencarian

sumber bahan baku bahan bakar nabati merupakan salah satu program yang direncanakan. Berbagai baku minyak nabati telah diteliti seperti kelapa, kelapa sawit, jagung, jarak, olive (zaitun), kacang tanah, biji kapuk, biji kapas, alpokat, kacang makadam, kanola, biji nyamplung dan masih banyak lagi jenis biji-bijian . Semua minyak nabati dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar namun dengan proses-proses pengolahan tertentu (Choo, 1994).

Salah satu buah yang belum banyak diteliti potensinya adalah biji buah kepayang. Buah kepayang saat ini pemanfaatannya selain sebagai bumbu masak yang disebut kluwek juga dapat digunakan sebagai pengawet ikan segar (Elidahanum, et al, 2007). Senyawa polifenol dari buah kepayang yang telah diekstraksi dicampur dengan garam ternyata dapat mengawetkan ikan segar sampai 1 minggu.

Penelitian awal tentang potensi buah kepayang sebagai bahan baku bahan bakar minyak nabati telah dilakukan dengan mengekstraksi kluwek menggunakan mesin tekan hidrolis. Hasil ekstraksi diuji bakar menggunakan sumbu dan diperoleh hasil bahwa biji kluwek mengandung minyak (Cokorda, et al, 2011). Proses pembentukan biji kepayang segar menjadi kluwek membutuhkan waktu yang sangat lama yakni penimbunan biji buah kepayang selama 40 hari. Untuk itu potensi daging biji buah kepayang segar sebagai bahan baku bahan bakar minyak nabati perlu juga diteliti dengan harapan jika diperoleh kandungan minyak maka proses penimbunan yang terlalu lama tidak dibutuhkan lagi.

Penelitian ini akan membandingkan proses ekstraksi buah kepayang dan kluwek secara mekanis menggunakan mesin tekan hidrolis serta membandingkan persentase berat minyak yang diperoleh. Uji pembakaran menggunakan sumbu juga dilakukan untuk mengetahui perbedaan api yang ditimbulkan oleh kedua minyak tersebut.

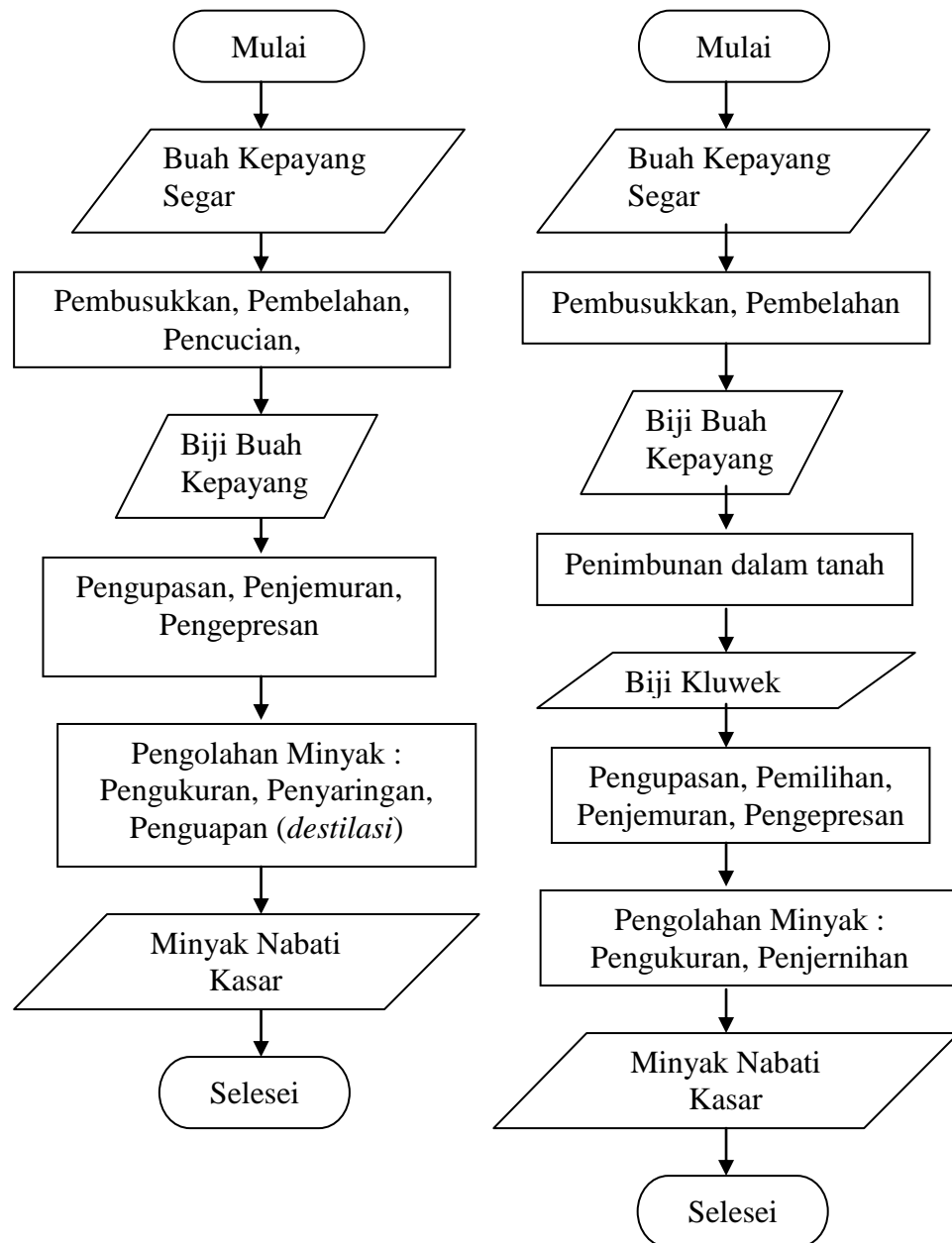
## 2. BAHAN DAN ALAT

Bahan yang digunakan pada penelitian yang dilakukan adalah daging biji buah kepayang yang masih dalam keadaan mentah yang diambil langsung dari kawasan gunung Pancar, Babakan Madang, Bogor, Jawa Barat. Buah kepayang tumbuh liar di area dengan ketinggian pohonnya mencapai 40 meter dengan diameter batangnya mencapai 2,5 meter.

Ciri-ciri fisik dari buah kepayang adalah menyerupai buah durian yang bulat lonjong, hanya saja buah kepayang memiliki tekstur kulit luar halus berwarna kecoklatan seperti sawo matang tidak berduri. Daging buahnya berwarna putih, namun setelah dibusukan berubah warna menjadi kekuning – kuningan. Setiap buah yang siap panen memiliki biji yang berbeda tergantung dari ukuran besar buah kepayang dan umumnya buah kepayang rata-rata memiliki 14–18 biji dari setiap buahnya. Diagram alir proses pengolahan buah kepayang menjadi minyak nabati kasar diperlihatkan pada Gambar 1.

Proses pertama yang dilakukan adalah pembusukan buah kepayang yang bertujuan agar buah mudah diambil bijinya, karena buah yang masih segar keras sangat sulit diambil bijinya. Proses pembusukan dilakukan dengan cara buah ditimbun didalam tanah atau dimasukkan ke dalam wadah dan ditutup rapat – rapat sehingga tidak ada udara yang keluar selama 1 minggu. Pembelahan dilakukan setelah buah ditimbun selama 1 minggu keadaan buah menjadi lunak dan mudah untuk dilakukan pembelahan. Proses pembelahan dilakukan untuk mengambil biji buah kepayang. Selanjutnya dilakukan proses pencucian untuk membersihkan biji dari daging atau isi

buah kepayang, daging atau isi buah kepayang berwarna kuning. Proses pencucian dilakukan dengan



Gambar 1. Diagram alir pengolahan buah kepayang dan kluwek

menggunakan air dengan bantuan sikat karena daging atau isi buah kepayang menempel pada biji. Biji kepayang kemudian dikupas untuk memisahkan cangkang dengan daging yang ada pada biji. Pengupasan dilakukan dengan menggunakan alat bantu berupa palu untuk mengetok dan pisau untuk mencongkel daging yang menempel pada cangkang. Daging biji kemudian dijemuran. Proses penjemuran dilakukan bertujuan untuk menghilangkan kadar airnya. Waktu penjemuran kira-kira 3 sampai 5 jam. Daging biji buah kepayang kemudian dipress atau ditekan dengan mesin tekan hidrolis. Sedangkan untuk mengolah biji buah kepayang menjadi kluwek dilakukan penimbunan selama 40 hari. Daging biji akan berubah menjadi berwarna



coklat kehitaman. Setelah dilakukan pemilihan daging biji yang tidak busuk, kemudian dijemur untuk memudahkan proses



Gambar 2. Buah kepayang, biji, daging biji segar dan kluwek

penekanan. Tampilan buah kepayang segar, biji kepayang dari hasil pembelahan, pencucian, pengulitan dan kluwek ditampilkan pada Gambar 2

Proses ekstraksi diawali dengan persiapan bahan kemudian pengolahan bahan seperti pembusukan untuk diambil bijinya, karena buah yang masih segar keras sangat sulit diambil bijinya, pembelahan untuk diambil bijinya, pencucian untuk membersihkan biji dari daging atau isi buah kepayang, perebusan untuk memudahkan proses pengupasan, pengupasan adalah pemisahan antara cangkang dengan daging yang ada pada biji dan penjemuran. Proses ekstraksi daging biji buah kepayang menghasilkan minyak yang masih tercampur dengan air, getah serta ampas biji kepayang sehingga dilakukan pengolahan cairan dengan penyaringan dan penguapan dengan cara pemanasan

Sedangkan proses ekstraksi daging biji kluwek menghasilkan cairan minyak yang kotor sehingga hanya membutuhkan penyaringan saja. Hasil minyak yang diperoleh kemudian diukur massa dan volumenya. Langkah terakhir adalah menguji minyak dengan membakarnya menggunakan sumbu.

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin press hidraulik (*hydraulic press*) untuk proses ekstraksi daging biji buah kepayang dan kluwek sehingga menghasilkan cairan pada saat proses pengepresan atau penekanan. Pres hidraulik memiliki *pressure gauge* dengan satuan tekanan kN (kilo Newton) dan pompa hidraulik untuk memberikan tekanan. Pompa hidraulik berfungsi untuk memberikan tekanan pada batang penekan dengan cara dipompa. As pendorong digunakan karena batang penekan dari mesin pres hidraulik tidak dapat menyentuh bahan hingga bagian bawah sehingga diteruskan dengan alat ini yang selanjutnya mendorong piston. Piston tersebut akan terdorong dan menekan buah. As pendorong dan piston ditampilkan pada Gambar 3. alat lain yang digunakan adalah tabung ekstraksi dan tabung penampung minyak.

Tabung ekstraksi adalah tabung dengan lubang-lubang diameter 2 mm di dinding bagian bawah. Tabung ekstraksi digunakan untuk tempat buah pada saat buah akan dipres. Fungsi lubang adalah agar pada saat buah dipres cairan hasil ekstraksi keluar



**Gambar 3. As pendorong dan Piston**



**Gambar 4. Tabung Ekstraksi dan Penampung Minyak**

lewat lubang tersebut seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Tempat penampung minyak digunakan untuk wadah saat minyak keluar dari tabung ekstraksi.

Timbangan digital juga digunakan untuk menimbang gelas ukur kosong dan berat volume cairan. Gelas ukur 10 ml digunakan untuk mengukur banyaknya cairan yang diperoleh setelah dipres, dan juga digunakan sebagai wadah saat mengukur volume cairan. Kain kasa (*mesh*) digunakan sebagai pelapis pada saat proses ekstraksi dan untuk menyaring ampas pada cairan. Kain kasa atau *mesh* berbahan *polyethylen* memiliki tingkat kerapatan yang bervariasi, misalnya 83, 110, 125, 200, 300 atau diantara angka-angka tersebut.

### **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Kluwek dapat ditemukan dengan mudah karena penggunaannya sebagai bumbu masak. Berbeda dengan buah kepayang segar atau picung, sangat sukar ditemukan

dipasaran karena belum dapat digunakan sebelum diolah menjadi kluwek. Hal tersebut karena buah kepayang mentah mengandung racun sianida yang mematikan.

Hasil ekstraksi biji kepayang segar menggunakan mesin tekan hidrolis disaring menggunakan kain kasa atau *mesh* untuk menghilangkan ampas daging biji kepayang dan datanya ditampilkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Hasil ekstraksi dan penyaringan biji kepayang segar**

Banyak (gr)	Tekanan (kN)	Sebelum Penyaringan (ml)	Setelah Penyaringan (ml)	Ampas yang dihasilkan (%)
120	15	39,1	36,4	2,7
	20	42,4	41,2	1,2
	25	49,0	45,7	3,3

Besarnya gaya tekan ternyata mempengaruhi hasil ekstraksinya. Pada gaya tekan yang rendah diperoleh hasil ekstraksi yang lebih rendah dari pada hasil ekstraksi pada gaya tekan optimumnya, dalam penelitian ini adalah 20 kN untuk massa 120 gr. Demikian pula pada gaya tekan yang lebih tinggi juga diperoleh hasil ekstraksi yang lebih rendah. Hal ini terjadi karena proses penekanan adalah sesaat sehingga pada tekanan rendah belum semua daging biji kepayang terekstraksi secara maksimum. Sedangkan pada tekanan yang tinggi kemungkinan daging biji kepayang telah melewati lubang ekstraksi terlebih dahulu sebelum sempat terekstraksi secara maksimum.

Cairan yang diperoleh dari ekstraksi biji kepayang masih membutuhkan pengolahan lebih lanjut yakni penguapan. dengan cara pemanasan sehingga pada titik tertentu akan terjadi pemisahan antara air dan minyak serta getah yang terkandung didalam cairan tersebut. Pemisahan minyak dengan air ditandai dengan adanya uap disekitar area tempat pemanas, sedangkan getah ditandai dengan adanya sejenis buih yang kalau dipegang akan terasa lengket. Proses perebusan dilakukan pada suhu mendidih sekitar 100°C dengan jangka waktu 15 menit dalam setiap proses perebusan. Hasil ekstraksi sebelum penguapan dan setelah penguapan ditampilkan pada Gambar 5. Untuk menghasilkan minyak nabati kasar, minyak yang sudah direbus kemudian diendapkan selama 1 minggu sehingga jadilah minyak nabati kasar.



**Gambar 5. Minyak kepayang sebelum dan setelah diuapkan**

Data hasil pengukuran volume sebelum dan setelah diuapkan dan diendapkan ditampilkan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Hasil penguapan dan persentase kehilangan volume minyak kepayang**

Massa (gr)	Tekanan (kN)	Setelah disaring (ml)	Hasil Minyak (ml)	Persentase Kehilangan (%)
120	15	36,4	15,1	58
	20	41,2	20,0	51
	25	45,7	23,9	48

Sedangkan proses pembuatan minyak kluwek membutuhkan proses penjemuran untuk meningkatkan kekerasannya agar dapat ditekan. Pengukuran massa kluwek sebelum dan setelah ekstraksi ditampilkan pada Gambar .6



Gambar 6. Pengukuran massa dan Pengukuran volume

Data massa kluwek selama penjemuran ditampilkan pada Tabel 3.

**Tabel 3. Massa kluwek Hasil Penjemuran**

Massa Awal (gr)	Massa (gr)			
	Hari I	Hari II	Hari III	Hari IV
15	7	5	4,78	4,61
13	4,5	3,2	3,12	2,96
10	3,3	2,7	2,52	2,43

Penurunan massa kluwek terbesar adalah pada penjemuran hari pertama, hal ini karena penguapan kandungan air pada kluwek yang sangat tinggi. Kemudian pada hari kedua terjadi penurunan yang tidak begitu besar berkisar 0,5 gr–2 gr atau 16,67%-28,5%. Hal ini karena kluwek yang dijemur sudah berkurang kadar airnya sehingga penurunannya tidak terlalu besar. Pada hari ketiga penurunan massa sudah tidak setinggi pada penjemuran hari kedua. Penjemuran ini hanya memberikan nilai kekerasan pada kluwek. Pada hari keempat penurunan massa sangat kecil sekali karena kandungan air dalam kluwek sudah sangat kecil juga. Hasil dari penjemuran selama empat hari ini kluwek memiliki nilai kekerasan yang cukup untuk diekstraksi secara mekanis dengan tabung berlubang.

Penurunan massa kluwek dari awal hingga penjemuran hari ke empat berkisar 69–77 %, maka untuk mendapatkan 1 kg bahan kering siap ekstraksi dibutuhkan buah segar sebesar 4 kg. Penurunan massa kluwek setelah dijemur ternyata lebih besar dari pada penurunan berat biji nyamplung yang merupakan salah satu sumber minyak nabati yang baru. Biji nyamplung membutuhkan 2,5 kg biji nyamplung kering yang dapat diperoleh dari 6 kg buah nyamplung yg sudah tua atau mengalami penurunan massa sekitar 58 % setelah dijemur untuk menghasilkan 1 liter minyak nyamplung (Desrial, 2011).

Minyak yang dihasilkan dari proses ekstraksi masih mengandung kluwek yang ikut terlarut dan debu yang menempel pada proses penjemuran. Proses penjernihan dilakukan dengan metode pengendapan selama dua hari dalam kondisi botol tertutup. Hal ini untuk menghindari penguapan dan kotoran masuk. Setelah pengendapan selesai dilanjutkan dengan pengukuran kembali minyak kasar yang menjadi nilai akhir minyak yang dihasilkan.

Berdasarkan proses ekstraksi yang dilakukan, dengan massa kluwek 50 gr dan pengendapan saat penjernihan dengan variasi tekanan dihasilkan data seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil ekstraksi dan Penjernihan

No	Tekanan (kN)	Hasil Ekstraksi (ml)	Hasil Pengendapan (ml)	Endapan (%)
1	20	2,7	2,6	3,70
2	25	4,5	4.3	4,44
3	30	5,3	5.1	3,77
4	35	5,9	5,7	3.38
5	40	6,4	6,1	4.68

Ekstraksi yang dilakukan pada tekanan 20–40 kN mampu menghasilkan minyak dengan baik, namun pada tekanan 45 kN ampas ikut keluar melalui lubang minyak sehingga tidak dapat dilakukan lagi ekstraksi lebih lanjut. Dengan keluarnya buah dari tabung ekstraksi pada tekanan 45 kN, maka ditetapkan tekanan maksimal untuk ekstraksi buah kepayang dengan penjemuran selama 4 hari pada tabung 3 inch sebesar 40 kN.

Banyaknya kotoran yang mengendap juga sangat bergantung pada lamanya proses penjemuran, hal tersebut karena banyaknya kotoran yang terlarut dalam minyak akan lebih banyak saat kluwek dalam keadaan lunak. Sebaliknya jika kluwek dalam keadaan cukup keras setelah melalui proses penjemuran maka didapatkan minyak yang memiliki sedikit endapan. Pada tekanan 20 kN minyak yang dihasilkan sebesar 2.6 ml dari bahan yang diekstraksi seberat 50 gr, dengan massa jenis minyak 0,908 gr/ml maka didapat massa minyak sebesar 2,360 gr dan diperoleh nilai randemen sebesar 4,72%. Sedangkan pada tekanan tertinggi yaitu 40 kN minyak yang dihasilkan sebesar 6,1 ml dari bahan yang diekstraksi seberat 50 gr, dengan massa jenis minyak 0,908 gr/ml maka didapat massa minyak sebesar 5,538 gr dengan nilai randemen 11.08 %.

Rendemen yang dihasilkan masih sangat kecil yaitu 11%. Sedangkan pada penelitian awal buah kepayang dapat menghasilkan 20% minyak nabati (Cokorda, 2011). Hal ini sangat dipengaruhi oleh jenis alat ekstraksi yang digunakan. Pada penelitian awal digunakan drill pres sederhana dengan maksimal bahan yang dapat diproses dalam satu kali langkah kerja adalah sebesar 10gr, serta sistem pengepresan

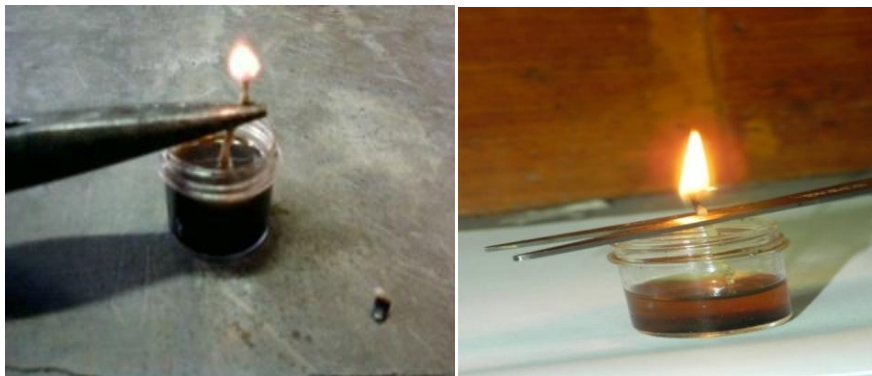


terbuka. Sedangkan pengepresan yang dilakukan saat ini menggunakan hidrolik pres dengan tabung berlubang. Dalam perjalanan proses ekstraksi, tabung berlubang inilah yang menghambat keluarnya minyak dari bahan. Proses ini sesuai karena kluwek sangat lunak, sedangkan tabung berlubang umumnya digunakan untuk melakukan ekstraksi pada bahan yang bersifat keras seperti kacang dan biji-bijian.

Jika dibandingkan dengan biji jarak yang ditemukan mengandung 50–60% minyak maka kandungan minyak kluwek masih jauh lebih rendah (Rahman, 2007, Devanesan, 2007, Hanumantha, 2009). Namun dengan metode ekstraksi yang lebih efektif kemungkinan kandungan minyak pada biji buah kepayang lebih tinggi dari rendemen yang diperoleh pada penelitian ini (Antony, 2011, Krishna, 2010, Sayyar, 2009). Karakteristik dari minyak kluwek perlu diteliti lebih lanjut seperti halnya karakteristik minyak jarak yang telah diteliti secara intensif dan karakteristik minyak kemiri serta pengaruh beberapa parameter terhadap ekstraksi dan transesterifikasi minyak kemiri (Daniel, 2005, Sulistyono, 2008, Arlene, 2010).

Tujuan akhir dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah buah kepayang yang memiliki kandungan minyak mampu terbakar. Minyak kepayang dan minyak kluwek kemudian diuji bakar dengan menggunakan sumbu dari benang kain kering seperti ditampilkan pada Gambar 7.

Perbedaan uji bakar antara minyak dari biji kepayang mentah dengan kepayang matang atau kluwek yakni nyala api minyak kepayang mentah lebih kecil sedangkan nyala api minyak kluwek lebih besar. Adanya letupan–letupan api pada minyak kepayang mentah itu menandakan masih mengandung kadar air, sedangkan pada api dari minyak kluwek sudah tidak ada percikan saat api menyala.



**Gambar 7.** Nyala api dari minyak biji kepayang mentah dan minyak kluwek

Dari aspek keberagaman bahan baku minyak nabati, biji buah kepayang dapat diteliti lebih lanjut sehingga menjadi alternatif pemanfaatannya selain sebagai bumbu masak dan bahan pengawet ikan. Jika dibandingkan dengan produksi minyak sawit yang telah terorganisir dengan baik seperti yang dikembangkan di Malaysia, penelitian biji buah kepayang masih sangat jarang. Fokus penelitian minyak sawit telah sampai pada tahap pembangunan berkelanjutan dengan riset yang sangat intensif mengenai pupuk dan kondisi tanah yang tepat untuk pertumbuhan kelapa sawit dengan efisiensi tinggi dan produktivitas tinggi (Basiron, 2007). Pembangunan berkelanjutan pada industri kelapa sawit telah memenuhi kriteria 3 aspek yakni keuntungan ekonomis, manusia, dan lingkungan yang saling menunjang. Penggunaan lahannya mencerminkan keseimbangan antara pembangunan pertanian dan pelestarian hutan. Kondisi ini perlu dijadikan acuan untuk pengembangan penelitian minyak dari



biji buah kepayang serta pertumbuhan pohon kepayang yang masih hanya terbatas sebagai tanaman hutan. Minyak yang diperoleh perlu diproses lebih lanjut untuk memperoleh minyak kepayang murni serta uji karakterisasinya.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Minyak nabati kasar dapat diperoleh dari proses ekstraksi buah kepayang segar dan kluwek dengan metode penekanan. Persentase massa minyak yang dapat diperoleh dari kluwek lebih tinggi dibandingkan dengan minyak kepayang. Api hasil pembakaran minyak kluwek lebih besar dibandingkan dengan api dari minyak kepayang. Pada pembakaran minyak kepayang terjadi percikan api yang menandakan terdapatnya kandungan air pada minyak.

Penelitian dapat dikembangkan untuk menentukan komposisi kimiawi dan karakteristik minyak serta perbaikan proses pengolahan. Minyak kepayang dan minyak kluwek berpotensi sebagai sumber minyak nabati dan menambah sumber energi terbarukan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan.

#### 5. REFERENCES

- Antony Raja, S, Robinson smart D.S, Lindon Robert Lee C, 2011, Biodiesel Production from jatropha Oil and its Characterization, *Research Journal of Chemical Sciences*, Vol 1 (1) hal 81-88
- Basiron , Yusuf, 2007, "Palm Oil Production through Sustainable plantation", *Eur. Journal Lipid Sci. Technol.* 109 hal. 289-295
- Choo, Yuen May., Basiron Yusuf, 1994 "Production of Palm Oil Metil Esters and Its Use as Diesel Substitute" Palm Oil Research Institute of Malaysia
- Cokorda Prapti Mahandari, Rossy Septi Wahyuni, Anwar Fatoni dan Wiwik, Kajian Awal Biji Buah Kepayang sebagai Bahan Baku Minyak Nabati Kasar ,Proceeding Seminar Nasional Teknik Industri, UGM, Yogyakarta, 2011
- Daniel, 2005, Pembuatan surfaktan dari Minyak kemiri Melalui Reaksi Interesterifikasi Diikuti Reaksi Amidasi, *Jurnal Sains Kimia*, Volume 9 Nomor 1 hal 1-7
- Desrial, 2011, Minyak Nyamplung sebagai Bahan Bakar Alternatif Mesin Diesel, *Insiprasi*, vol 2 No 22, PT Bina Insani, Jakarta
- Devanesan M.G, Viruthagiri T dan Sugumar N, 2007, Transesterification of Jatropha Oil using Immobilized psedumonas Fluorescens, *African Journal of Biotechnology* Vol 6 (21) hal 2497-2501
- Elidahanum Husni, Asmaedy Samah, Kiki Apriliza, 2007, "Pengawetan Ikan Segar dengan menggunakan Biji Buah Kepayang (Pangium edule Reinw dan Analisa Secara Kuantitatif, *Jurnal Sains Teknologi Farmasi* 12 (1) hal 45-49
- Hanumantha Rao. Y.V., Ram Sudher Voleti, Hariharan V.S., Sitaram Raju A.V., Nageswara Redd P., 2009, use of Jatropha Oil methyl Ester and Its Blend as An alternative Fuel in Diesel Engine, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Science and Engineering*, Vol XXXI no 3 hal 253-260
- Harry Sulisty, Suprihatin S Rahayu, Gatot Wioto, I. M Suardjaja, 2008, Biodiesel Production from High Iodine Number Candlenut Oil, *World Academy of Science and Technology*, vol 48, hal 485-469
- Hary Sulisty, dkk, 2008, Proses Penyiapan bahan baku pembuatan Biodiesel dari Minyak Kemiri, *Media Teknik* No 3 Tahun XXX hal 341-346

- Rahman, Kazi Mostafijur, Mohammad Mashud, Md. Roknuzzaman dan Asadullah Al Ghalib, 2008, Biodiesel From Jatropha Oil as An Alternatif Fuel for Diesel Engine, *International Journal of Mechanical & Mechatronics IJMME-IJENS* Vol 10 No 3
- Krishna Bama, G dan Ramachandran K, 2010, A Photoacoustic and Ultrasonic Study on Jatropha Oil, *Journal of Engineering Physic and Thermophysic*, Vol 83, No 1, hal 213-219
- Sayyar, Sepidar., Abidin, Zurina Zainal., Yunus, Robiah dan Azhari Muhammad, (2009) Extraction of Oil from Jatropha Seeds\_Optimization and Kinetics, *American Journal of Applied Sciences* 6 (&), hal. 1390-1395.

KM-5

## KATALIS BASA HETEROGEN CAMPURAN CaO & SrO PADA REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA SAWIT

Tuti Indah .S.<sup>1</sup>, M. Said<sup>1</sup> Adhitya Summa .W.<sup>1</sup> dan Ani .K. Sari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Inderalaya  
Km.32, Inderalaya, Ogan Ilir, Sumatera Selatan

Korespondensi Pembicara.

Email: [ty\\_indahsari@yahoo.co.id](mailto:ty_indahsari@yahoo.co.id), [mozanto19@yahoo.com](mailto:mozanto19@yahoo.com),  
[anikarlina\\_07058@yahoo.com](mailto:anikarlina_07058@yahoo.com)

### ABSTRAK

Biodiesel adalah nama untuk jenis fatty ester, umumnya merupakan monoalkyl ester yang terbuat dari minyak tumbuh-tumbuhan (minyak nabati). Metil ester ini diperoleh dari reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan bantuan katalis basa. Proses pembuatan biodiesel menggunakan katalis homogen dan heterogen. Pada penelitian ini pembuatan biodiesel menggunakan gabungan katalis basa heterogen CaO dan SrO. Katalis heterogen memiliki keuntungan lebih dari katalis homogen karena katalis heterogen tidak larut dalam campuran, sehingga pemisahan cukup dilakukan dengan penyaringan atau dekantasi.

Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh jumlah katalis, rasio perbandingan katalis, dan waktu reaksi terhadap konversi minyak nabati menjadi metil ester dan untuk mengetahui konstanta kecepatan reaksi ( $k$ ). Variabel yang diteliti adalah rasio perbandingan jumlah katalis (CaO & SrO, jumlah katalis dari range 4% - 12% berat, dan waktu reaksi sampai dengan 3 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konversi minyak nabati menjadi metil ester yang diperoleh sebesar 93,215% dengan konstanta kecepatan reaksi,  $k = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ menit}^{-1}$  yang diperoleh pada variabel rasio reaktan 1 : 6, rasio perbandingan katalis 50 : 50 dan katalis 12 % berat.

**Kata kunci :** biodiesel; kalsium oksida; katalis basa heterogen; strontium oksida; transesterifikasi

Pengembangan bahan bakar nabati (BBN) untuk menggantikan bahan bakar fosil yang semakin langka di beberapa daerah di Indonesia terus dilakukan. Salah satu upaya yang dilakukan pemerintah melalui Peraturan Presiden No. 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional yang berprinsip pada kebijakan harga, diversifikasi, dan konversi energi. Diversifikasi energi adalah pemanfaatan energi alternatif yang mudah diperoleh di Indonesia dan dapat diandalkan untuk menggantikan bahan bakar fosil. Instruksi Presiden No. I/2006 tentang penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati (Biofuel) sebagai bahan bakar lain, merupakan suatu instruksi yang menegaskan pentingnya pengembangan bahan bakar nabati.

Berbagai sumber energi baru yang dapat terbarukan (*renewable resources*) dan dapat diandalkan adalah berasal dari berbagai jenis minyak nabati (minyak sawit, minyak jarak pagar, minyak kedelai, dll). Pemilihan minyak kelapa sawit sebagai sumber energi alternatif sangat tepat dilakukan di Indonesia karena Indonesia

merupakan negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar kedua di dunia setelah negeri jiran Malaysia. Dengan ketersediaan minyak sawit yang cukup banyak, maka minyak sawit merupakan salah satu bahan baku alternatif yang sangat potensial untuk membuat bahan bakar pengganti *gasoline*, *kerosene* dan *solar*, selain itu pembuatan bahan bakar yang dihasilkan dari minyak sawit telah diteliti lebih ramah lingkungan karena bebas dari nitrogen dan sulfur. Selain itu, sifat yang dimiliki oleh biodiesel antara lain dapat terdegradasi dengan mudah (*biodegradable*), 10 kali tidak beracun dibandingkan minyak solar biasa, memiliki angka *cetane* yang lebih baik dari minyak solar biasa, asap buangan biodiesel tidak hitam, tidak mengandung sulfur dan senyawa aromatik sehingga emisi pembakaran yang dihasilkan ramah lingkungan.

## I. PENDAHULUAN

Biodiesel adalah nama untuk jenis fatty ester, umumnya merupakan monoalkyl ester yang terbuat dari minyak tumbuh-tumbuhan (minyak nabati). Minyak nabati yang dapat digunakan sebagai bahan baku biodiesel dapat berasal dari kacang kedelai, kelapa, kelapa sawit, padi, jagung, jarak, papaya dan banyak lagi melalui proses transesterifikasi. (Mardia dkk, 2006)

Keuntungan dari biodiesel ialah :

- Campuran dari 20 % biodiesel dengan 80 % petroleum diesel dapat digunakan pada mesin diesel tanpa modifikasi.
- Industri biodiesel dapat menggunakan lemak atau minyak daur ulang.
- Biodiesel tidak beracun.
- Biodiesel memiliki cetane number yang tinggi, yaitu di atas 100 sedangkan cetane number bahan bakar diesel hanya 40.
- Penggunaan biodiesel dapat memperpanjang umur mesin diesel karena biodiesel lebih licin.
- Biodiesel menggantikan bau petroleum dengan bau yang lebih enak.

Salah satu bahan yang digunakan didalam proses transesterifikasi ialah metanol. Metanol disebut juga metil alkohol merupakan senyawa paling sederhana dari gugus alkohol. Rumus kimianya adalah  $\text{CH}_3\text{OH}$ . Metanol berwujud cairan yang tidak berwarna, dan mudah menguap. Metanol memiliki berat molekul 32,042, titik leleh  $-98^\circ\text{C}$  dan titik didih  $64^\circ\text{C}$ . Pada umumnya metanol digunakan dalam proses transesterifikasi karena metanol harganya lebih murah dan lebih mudah untuk dikonversi.

### Katalis Basa Heterogen

Katalis basa heterogen merupakan katalis yang mempunyai fasa yang tidak sama dengan reaktan dan produk. Jenis katalis basa heterogen yang dapat digunakan pada reaksi transesterifikasi adalah  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SrO}$ , dll. Keuntungan menggunakan katalis ini adalah: mempunyai aktivitas yang tinggi, kondisi reaksi yang ringan, masa hidup katalis yang panjang biaya katalis yang rendah, tidak korosif, ramah lingkungan dan menghasilkan sedikit masalah pembuangan, dapat dipisahkan dari larutan produksi sehingga dapat digunakan kembali.

Namun katalis basa heterogen ini tetap lebih baik untuk digunakan dalam proses transesterifikasi minyak nabati menjadi metil ester dibandingkan dengan katalis basa homogen. Karena masalah pemisahan katalis dari zat pereaksi maupun produk lebih sering dijumpai pada katalis basa homogen. Katalis basa homogen larut dalam

campuran sehingga pemisahan tidak cukup dilakukan dengan penyaringan dan teknik yang umum digunakan adalah destilasi atau ekstraksi produk dari campuran. Sedangkan teknik pemisahan katalis basa heterogen tidak terlalu sulit, pemisahannya dapat dilakukan dengan filtrasi atau dekantasi. (Bangun, N., 2008).

### 1. Kalsium Oksida

Kalsium oksida biasanya dibuat oleh dekomposisi termal dari bahan seperti kapur, yang mengandung kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ; mineral kalsit). Hal ini tercapai dengan memanaskan bahan sampai suhu di atas  $825\text{ }^\circ\text{C}$ , proses ini dinamakan calcination atau *lime-burning*, untuk memisahkan  $\text{CO}_2$  dari senyawa. Ini dilakukan dengan memanaskan material di atas  $825\text{ }^\circ\text{C}$ . CaO telah diteliti sebagai katalis basa yang kuat dimana untuk menghasilkan biodiesel menggunakan CaO sebagai katalis basa mempunyai banyak manfaat, misalnya aktivitas yang tinggi, kondisi reaksi yang rendah, masa katalis yang lama, serta biaya katalis yang rendah.

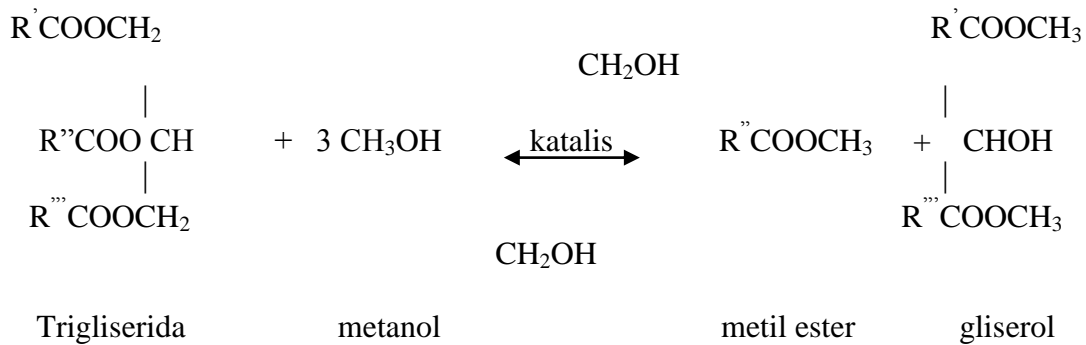
### 2. Stronsium Oksida

Stronsium oksida merupakan oksida basa karena mengandung ion oksida. Katalis ini jarang digunakan didalam penelitian, salah satu penyebabnya ialah harga katalis ini yang relatif cukup mahal dibandingkan dengan katalis basa heterogen lainnya. Stronsium oksida merupakan oksida logam yang sangat aktif dan akan larut dalam media reaksi. Pada proses transesterifikasi minyak kedelai dengan SrO sebagai katalis basa padat akan menghasilkan metil ester 90% yield. Katalis itu stabil bahkan setelah 10 siklus reaksi. SrO dapat mempercepat banyak reaksi kimia, seperti pasangan oksidatif metana (gas), oksidasi selektif sejenis metan, dan reaksi nitroaldol. (Zabeti, 2009).

### Transesterifikasi

Transesterifikasi merupakan suatu proses penggantian alkohol dari suatu gugus ester (trigliserida) dengan ester lain atau mengubah asam–asam lemak ke dalam bentuk ester sehingga menghasilkan alkyl ester. Proses tersebut dikenal sebagai proses alkoholisis. Proses alkoholisis ini merupakan reaksi biasanya berjalan lambat namun dapat dipercepat dengan bantuan suatu katalis. Katalis yang biasa dipergunakan adalah katalis asam seperti HCl dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , dan katalis basa NaOH dan KOH. (Yuli Setyo Indartono, 2006)

Secara umum reaksi transesterifikasi antara minyak nabati (trigliserida) dan alkohol (metanol) dapat digambarkan sebagai berikut :



$$-r_A = k_1 C_A C_B^3 \quad (2)$$

Karena reaksi ini menggunakan metanol yang berlebihan, maka reaksi dapat dianggap searah dan berorde satu terhadap minyak, sehingga reaksinya menjadi:



Persamaan reaksinya menjadi:

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k \cdot C_A \quad (4)$$

Dimana,

$$k = k_1 \cdot C_B^3 \quad (5)$$

$$-\int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A} = k \int_0^t dt \quad (6)$$

$$C_A = C_{A0} (1 - x) \quad (7)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (7) ke dalam persamaan (6) maka didapatkan:

$$\int_0^x \frac{dx}{1-x} = k \cdot t$$

(8) Dengan mengintegrasikan persamaan (8) diperoleh persamaan :

$$-\ln(1-x) = k \cdot t \quad (9)$$

Dimana :

k = konstanta kinetika reaksi (menit<sup>-1</sup>)

k diperoleh dari slope  $-\ln(1-x)$  Vs t.

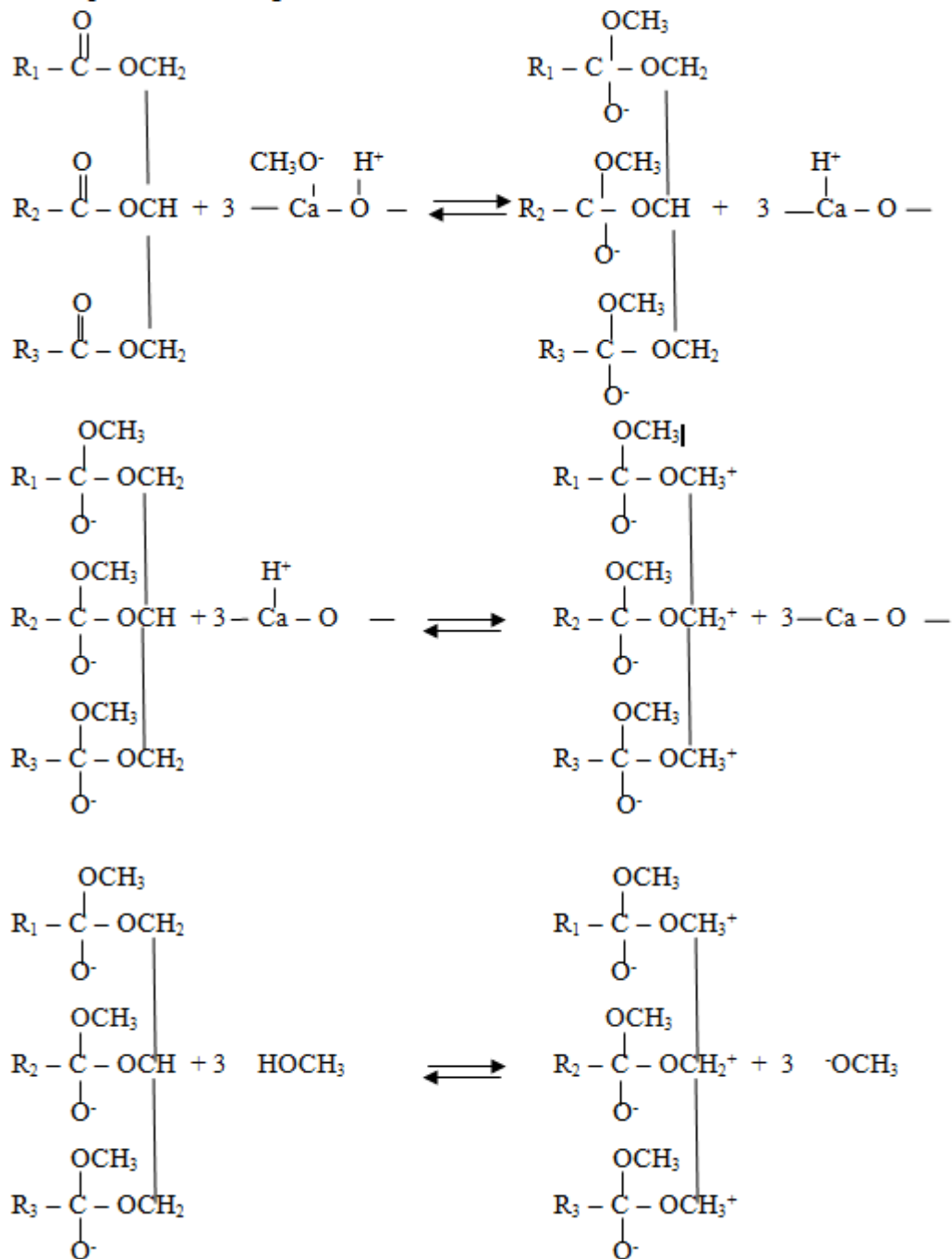
x = konversi minyak jarak pagar

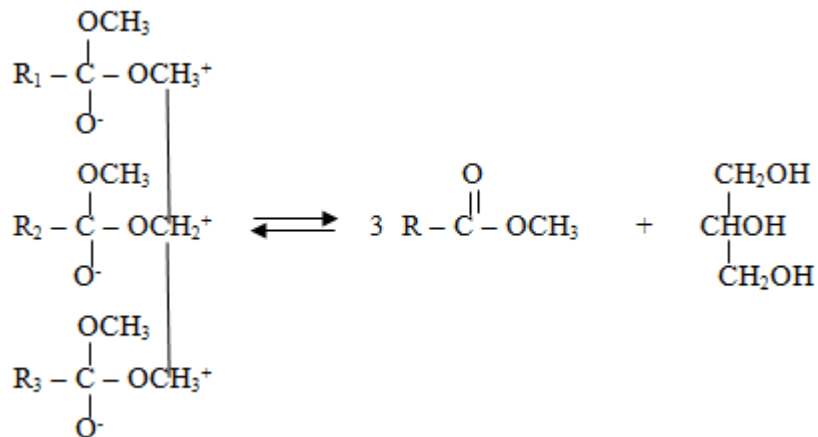
t = waktu reaksi (menit)



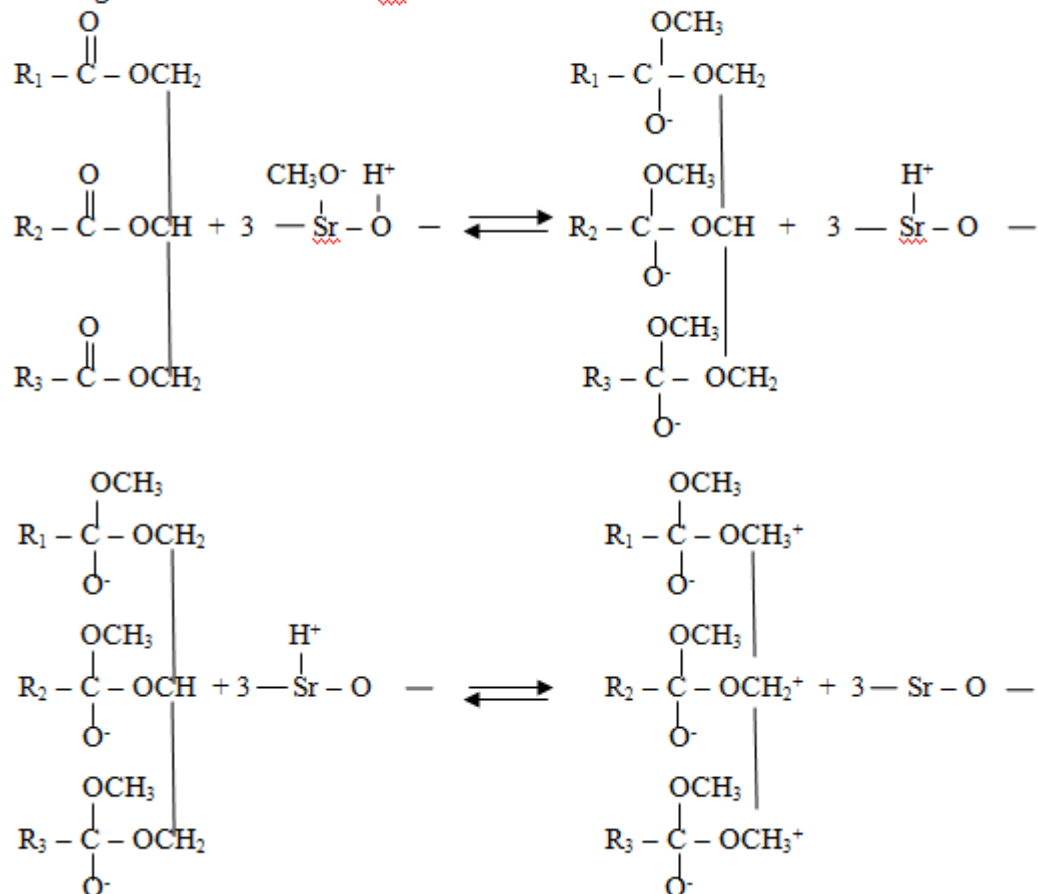
### MEKANISME KATALIS BASA HETEROGEN

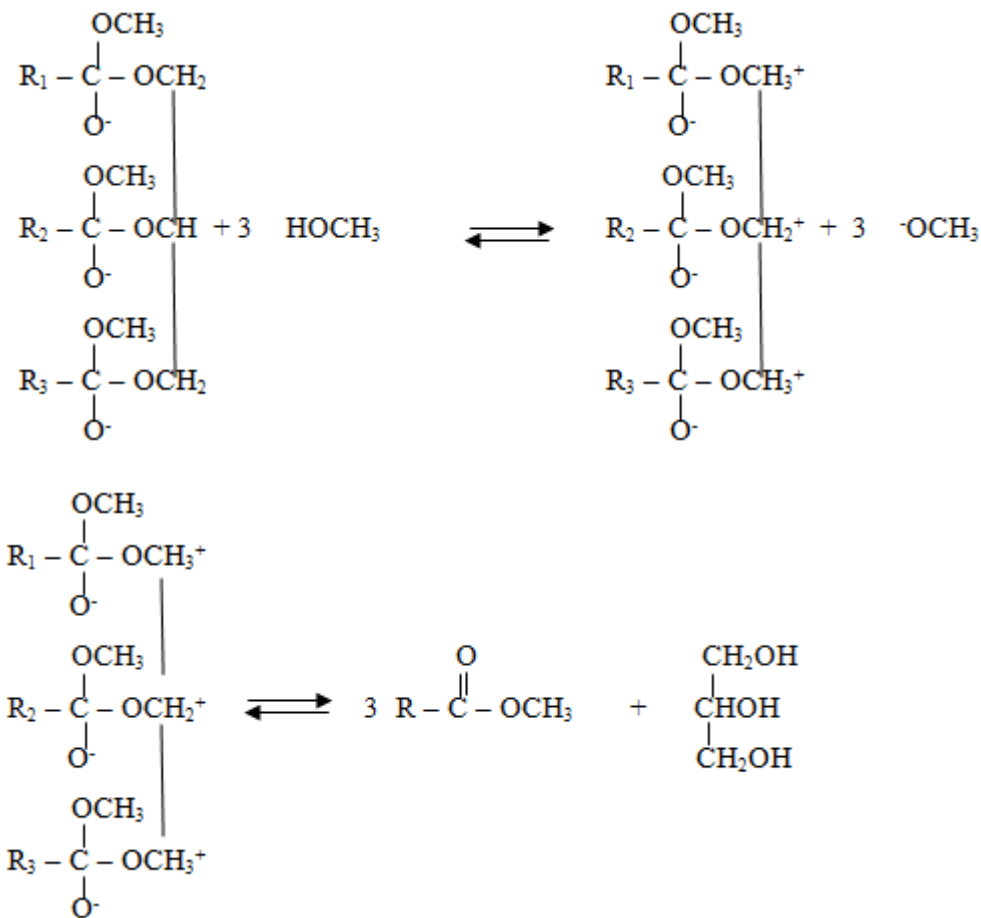
Jika dipakai CaO sebagai katalis maka akan terbentuk reaksi:



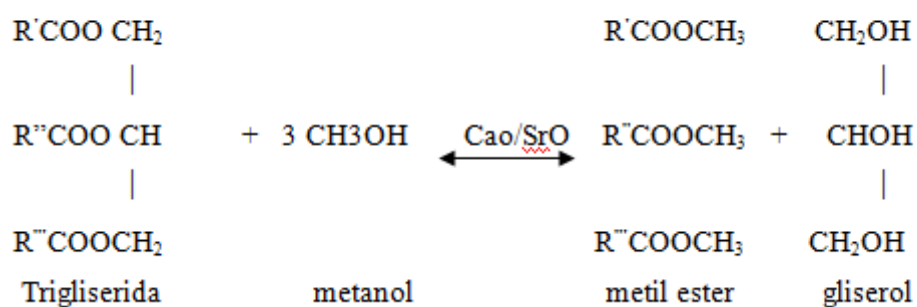


Sedangkan memakai katalis  $\text{SrO}$  akan terbentuk reaksi :

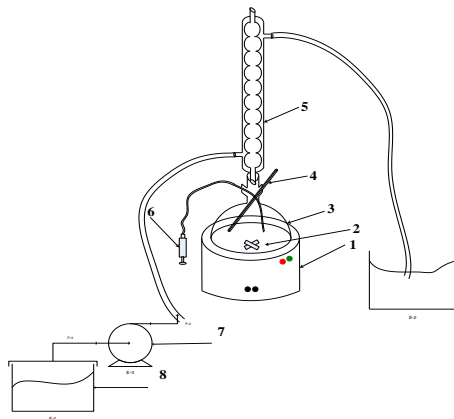




Dari kedua mekanisme reaksi tersebut baik penggunaan katalis CaO maupun SrO akan menghasilkan reaksi total yaitu :



Adapun bahan baku yang digunakan dalam proses transesterifikasi ialah minyak nabati (CPO), metanol, katalis CaO, dan katalis SrO. Sedangkan untuk analisa Griffin, bahan yang digunakan ialah Asam Asetat Anhidrid, Natrium Asetat, HCl, NaOH, dan indikator PP.



Keterangan :

1. Heating mantle
2. Magnetic stirrer
3. Labu leher tiga
4. Termometer
5. Condenser
6. Pipet hisap
7. Pompa
8. Ember

**Gambar 3.** Rangkaian Reaktor Batch Proses Metanolisis

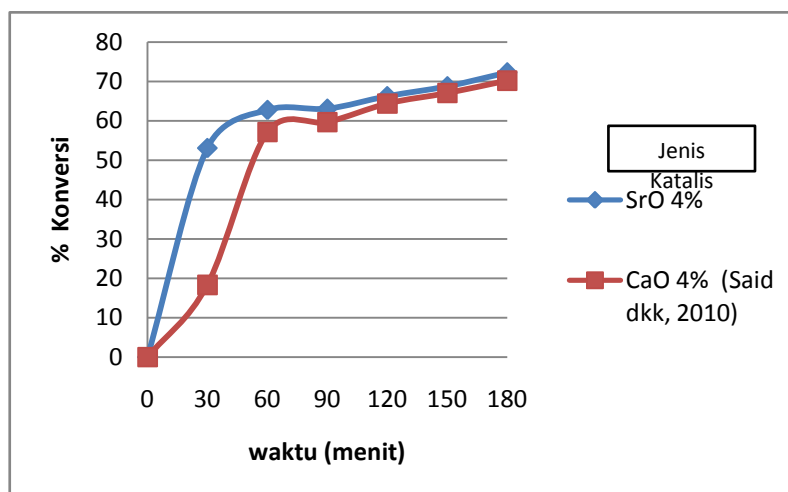
### Rancangan Penelitian

Konversi reaksi merupakan fungsi waktu reaksi dan temperatur reaksi. Adapun variabel penelitian kali ini ialah waktu reaksi, rasio perbandingan campuran katalis CaO.SrO dan persen massa katalis dengan temperatur reaksi yang konstan pada 65°C.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Perbandingan Jenis Katalis Terhadap Konversi Minyak Nabati Dalam Menghasilkan Metil Ester

Dari hasil penelitian kami dengan menggunakan katalis SrO dengan rasio reaktan 1 : 6, jumlah katalis 4% dan perbandingan rasio katalis CaO.SrO = 50 : 50 menghasilkan konversi yang maksimum pada waktu 180 menit sebesar 72,2110%. Sedangkan dari penelitian sebelumnya, katalis CaO dengan rasio reaktan 1 : 6, dan jumlah katalis 4% menghasilkan konversi yang maksimum pada waktu 180 menit sebesar 70.1749% (Said,dkk, 2010). Adapun grafik perbandingannya dapat dilihat pada gambar 3.1.

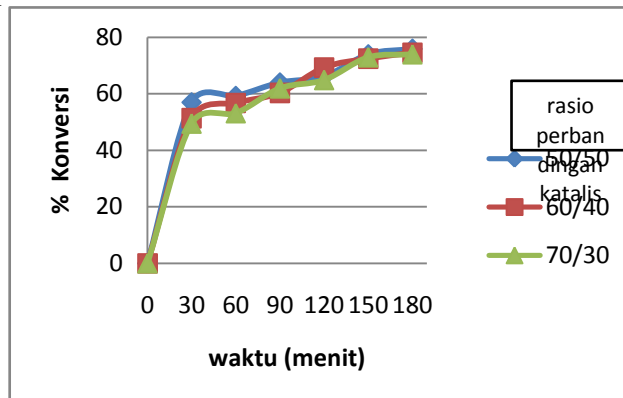


**Gambar 3.1.** Grafik Perbandingan katalis CaO 4% (Said dkk, 2010) dan katalis SrO 4% Terhadap Persen Konversi

Terlihat bahwa katalis SrO 4% mencapai persen konversi yang lebih tinggi dengan waktu reaksi yang cepat. Hal ini dapat disebabkan dari urutan aktivitas antar katalis oksida alkali tanah seperti berikut  $BaO > SrO > CaO > MgO$ .

### 3.2. Pengaruh Rasio Perbandingan Katalis Terhadap Konversi Minyak Nabati

Pada hasil penelitian mengenai pengaruh rasio perbandingan katalis ini didapati bahwa perbedaan rasio katalis dalam reaktan meningkatkan konversi yang terbentuk, ini dapat kita lihat dari Gambar 3.2.

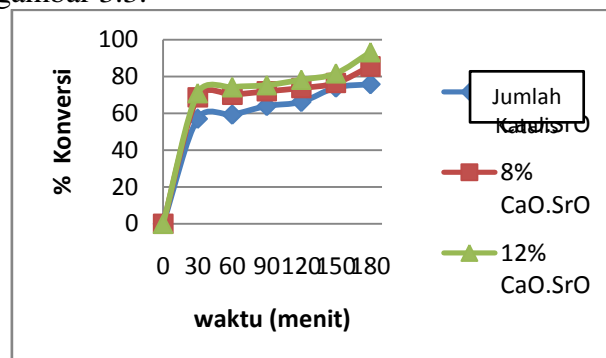


**Gambar 3.2.** Hubungan Waktu Reaksi Terhadap Konversi Reaksi Dengan Jumlah Katalis 4% Dalam Berbagai Variasi Rasio Perbandingan Katalis CaO : SrO

Hasil persen konversi yang didapat melalui penelitian dengan penggunaan katalis CaO.SrO dengan memvariasikan rasio perbandingan katalis bahwa didapat semakin sedikit jumlah katalis SrO yang diberikan maka persen konversi yang didapat akan menurun walaupun tidak terlalu signifikan. Dari data dapat kita lihat bahwa rasio perbandingan jumlah katalis CaO : SrO = 50 : 50 menghasilkan persen konversi yang lebih besar yaitu 75,837% sedangkan rasio perbandingan jumlah katalis CaO : SrO = (60 : 40) dan (70 : 30) menghasilkan persen konversi 74,506 % dan 73,590%. Hal ini disebabkan oleh sifat katalis SrO yang lebih dapat membantu mempercepat terjadinya reaksi dibandingkan katalis CaO, sehingga apabila jumlah katalis SrO didalam perbandingan katalis CaO : SrO diperkecil maka reaksi yang terjadi juga mengalami penurunan.

### 3.3. Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Konversi Minyak Nabati

Variasi waktu reaksi pada penelitian ini ada enam yaitu 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, 150 menit, dan 180 menit. Hubungan waktu reaksi dapat dilihat dengan jelas pada gambar 3.3.



### **Gambar 3.3.** Hubungan Waktu Reaksi Terhadap Konversi Reaksi Pada Rasio Reaktan 1 : 6 Dalam Berbagai Variasi Jumlah Katalis

Dapat dilihat bahwa semakin lama waktu reaksi, maka akan semakin besar konversi reaksi yang dicapai berdasarkan peningkatan jumlah katalis. Pada rasio reaktan 1 : 6 dan jumlah katalis CaO.SrO 12% dengan perbandingan rasio katalis 50 : 50 pada waktu reaksi 30 menit diperoleh konversi sebesar 70,951 %, pada waktu reaksi 60 menit diperoleh konversi sebesar 74,144 %, pada waktu reaksi 90 menit diperoleh konversi sebesar 75.240 %, pada waktu reaksi 120 menit diperoleh konversi sebesar 78,278%, pada waktu 150 menit diperoleh konversi sebesar 81,65% dan pada waktu 180 menit diperoleh konversi sebesar 93,215%.

Hubungan waktu reaksi terhadap konversi yang optimum dicapai pada waktu reaksi 180 menit untuk temperatur 65°C, ini terjadi karena waktu tinggal yang lama akan memberikan kesempatan reaksi antar reaktan yang lebih besar dan akan memberikan kesempatan terhadap molekul-molekul reaktan untuk bertumbukan satu sama lain sehingga akan meningkatkan konversi reaksi yang dicapai.

### **3.4. Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap Konversi Minyak Nabati**

Hubungan jumlah katalis dengan konversi reaksi ini dapat dilihat dengan memvariasikan waktu reaksi. Dapat dilihat dari Gambar 3.3. Grafik ini menunjukkan setiap kenaikan jumlah katalis mengakibatkan kenaikan persen konversi. Pada waktu reaksi 180 menit dengan rasio reaktan 1 : 6 dan rasio perbandingan katalis CaO : SrO sebesar 50 : 50 terlihat perbedaan yang signifikan pada metil ester yang terbentuk pada jumlah katalis 4%, 8%, dan 12%.

Pada jumlah katalis 4%, persen konversi yang didapat adalah 75,8373% pada waktu reaksi 180 menit. Sedangkan pada waktu 180 menit dengan jumlah katalis 8% konversi yang dicapai sebesar 85,4344% dan pada jumlah katalis 12% didapatkan konversi sebesar 93,215%. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah katalis CaO.SrO berbanding lurus dengan persen konversi reaksi yang dicapai.

Sedangkan pada kondisi operasi yang sama yaitu pada waktu reaksi 180 menit, rasio reaktan 1 : 6 dan rasio perbandingan katalis CaO : SrO sebesar 50 : 50, katalis CaO.MgO akan menghasilkan persen konversi yang lebih rendah dari katalis CaO.SrO. Untuk jumlah katalis CaO.MgO 4% didapatkan konversi sebesar 56,4142%, dan untuk jumlah katalis CaO.MgO 8% dan 12% didapatkan konversi sebesar 63,6885% dan 84,9377% (Rahadiyan dkk, 2011).

Hal ini dapat disebabkan oleh katalis SrO mempunyai aktivitas yang cukup tinggi di dalam transesterifikasi minyak nabati menjadi metil ester. CaO menghasilkan suatu laju reaksi yang lebih lambat dan diperlukan sekitar 2 jam untuk mencapai keadaan setimbangan. Sedangkan katalis MgO juga memiliki laju reaksi yang lambat dan lebih menyebabkan pembentukan sabun pada proses reaksi transesterifikasi. Sehingga campuran katalis CaO.SrO menghasilkan aktivitas katalitis yang lebih tinggi dibanding katalis CaO.MgO untuk mengubah minyak nabati menjadi metil ester.

### **3.5. Konstanta Kinetika Reaksi, k**

Konstanta kinetika reaksi ditentukan dari slope persamaan  $-\ln(1 - x) = k t$  yang diturunkan dari persamaan laju reaksi orde satu karena metanol yang digunakan berlebihan. Nilai k pada variasi jumlah katalis ditampilkan pada Tabel 4.1.



**Tabel 3.1. Nilai Konstanta Kinetika Reaksi, k**

Rasio	W ( % )	k, ( menit <sup>-1</sup> )
1 : 6	4	$5 \times 10^{-3}$
	8	$6 \times 10^{-3}$
	12	$1 \times 10^{-2}$

Berdasarkan Tabel 4.1. diatas terlihat bahwa semakin besar nilai rasio reaktan dan diikuti juga dengan semakin besarnya jumlah katalis maka akan semakin besar pula nilai konstanta kinetika reaksi yang didapatkan. Sehingga dapat kita simpulkan bahwa jumlah katalis juga berbanding lurus dengan kecepatan reaksi. Apabila persen jumlah katalis ditingkatkan maka jumlah molekul yang bertumbuk akan bertambah dan kecepatan reaksi juga akan meningkat.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- 1) katalis SrO 4% mencapai persen konversi yang lebih tinggi dengan waktu reaksi yang cepat dibandingkan dengan katalis CaO 4% dengan waktu reaksi yang sama. Pada waktu reaksi 30 menit katalis SrO telah mencapai konversi 53,018% sedangkan katalis CaO hanya mencapai 18,3117 %.
- 2) Semakin tinggi rasio katalis, maka konversi reaksi yang dihasilkan juga semakin tinggi. Pada rasio perbandingan jumlah katalis CaO : SrO = 50 : 50 dengan temperatur reaksi 65°C dan waktu reaksi 180 menit pada rasio katalis 4% menghasilkan persen konversi yang lebih besar yaitu 75,837% sedangkan rasio perbandingan jumlah katalis CaO : SrO = (60 : 40) dan (70 : 30) menghasilkan persen konversi 74,506 % dan 73,590% pada temperatur dan waktu reaksi yang sama.
- 3) Semakin besar jumlah katalis, maka konversi reaksi yang dihasilkan juga semakin tinggi. Pada jumlah katalis 4% dengan temperatur reaksi 65°C, rasio reaktan 1 : 6 dan waktu reaksi 180 menit diperoleh konversi sebesar 75,8373% pada waktu reaksi 180 menit. Sedangkan pada waktu 180 menit dengan jumlah katalis 8% konversi yang dicapai sebesar 85,4344% dan pada jumlah katalis 12% didapatkan konversi sebesar 93,215% .
- 4) Pada rasio reaktan 1 : 6 dengan temperatur reaksi 65°C terjadi kenaikan konstanta kecepatan reaksi untuk setiap interval kenaikan rasio katalis yaitu pada saat rasio katalis 4 % didapat  $5,00 \cdot 10^{-3}$  menit<sup>-1</sup>, pada rasio katalis 8 % didapat konstanta kecepatan reaksi sebesar  $6,00 \cdot 10^{-3}$  menit<sup>-3</sup> dan pada rasio reaktan 12 % didapat konstanta kecepatan reaksi sebesar  $1,00 \cdot 10^{-2}$  menit<sup>-1</sup>.

Penelitian lanjutan disarankan untuk menganalisa metil ester dan menggunakan reaktor pada skala yang lebih besar dengan kondisi optimum dari skala laboratorium.

#### V. REFERENCES

- Anonim. 2010. *Kalsium Oksida (CaO)*. Diakses pada 19 November 2010 dari <http://www.google.com>
- Anonim. 2010. *Stronsium Oksida (SrO)*. Diakses pada 19 November 2010 dari <http://www.google.com>

- Bangun, N. 2008. Perbedaan Katalis Homogen dan Heterogen. Diakses pada 30 September 2011 dari <http://www.google.com>
- Dewi, T.K dan Arita, S. 2007. *Penuntun Praktikum Operasi Teknik Kimia II*. Laboratorium Operasi Teknik Kima Jurusan Teknik Kimia FT Unsri
- Johnatand, dkk. 2010. *Pengaruh Ratio Reaktan dan Jumlah Katalis CaO Pada Konversi dan Kinetika Reaksi Pembuatan Metil Ester Dari Minyak Nabati*. Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya. Palembang, Indonesia.
- Levenspiel, Octave. 1972. *Chemical Reaction Engineering, second edition*. United State of America.
- Mardiah ; Widodo, Agus ; Trisingwati, Efi ; Purijatmiko, Aries. 2006. *Pengaruh Asam Lemak dan Konsentrasi Katalis Asam terhadap Karakteristik dan Konversi Biodiesel pada Transesterifikasi Minyak Mentah Dedak Padi*. Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Surabaya.
- Rahadiyan, M., dkk. 2010. *Pengaruh Katalis Basa-Heterogen Campuran (CaO.MgO) Pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit*. Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya. Palembang, Indonesia.
- Said, M., Fachry, A.R., Sari, T.I. 2010. *The Effect of Reactant Ratios, Reaction Time and Catalyst Weight Ratios on Production of Biodiesel From Coconut Palm Oil Using Heterogenous Catalyst*. Department of Chemical Engineering Sriwijaya University. Palembang, Indonesia.
- Setyo, Y., dkk. 2005. *Menghasilkan Biodiesel Murah Mengatasi Polusi & Kelangkaan BBM*. Tangerang: Agromedia Pustaka.
- Zabeti, M., Daud, W.M.A., Aroua, M.K. *Activity of Solid Catalysts for Biodiesel Production*. Fuel Processing Technology Journal. Elsevier Ltd.