

**STUDI PENGARUH ALIRAN OSILASI PADA
HIDROLISIS LIMBAH PADAT P.T. TANJUNG ENIM
LESTARI PULP AND PAPER DALAM KONDISI ASAM**

TESIS

**Disampaikan Dalam Rangka Memenuhi Persyaratan Gelar Magister Teknik
Pada Program Studi Teknik Kimia Bidang Kajian Utama Teknologi Energi
Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya**



**Oleh
Erna Yuliwati
NIM. 20993270006**

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
MARET 2003**

**STUDI PENGARUH ALIRAN OSILASI PADA
HIDROLISIS LIMBAH PADAT P.T. TANJUNG ENIM
LESTARI PULP AND PAPER DALAM KONDISI ASAM**

TESIS

**Disampaikan Dalam Rangka Memenuhi Persyaratan Gelar Magister Teknik
Pada Program Studi Teknik Kimia Bidang Kajian Utama Teknologi Energi
Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya**



**Oleh
Erna Yuliwati
NIM. 20993270006**

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
MARET 2003**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : STUDI PENGARUH ARUS OSILASI TERHADAP HIDROLISIS
LIMBAH PADAT P.T. TANJUNG ENIM LESTARI PULP AND
PAPER DALAM KONDISI ASAM

Oleh : Erna Yuliwati

NIM : 20993270006

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Sri Haryati
NIP. 130 935 907

Dr. Ir. M. Djoni Bustan, M.Eng
NIP. 130 935 906

Direktur Program Pascasarjana
Universitas Sriwijaya

Ketua Program Studi Teknik Kimia

Dr. Ir. Rujito Agus Suwignyo, M.Agr.
NIP. 131 477 200

Dr. Ir. M. Djoni Bustan, M.Eng
NIP. 130 935 906

KATA PENGANTAR

Segala Puji kehadiran Allah Pemilik Alam Semesta yang berkat Rahman dan Rahiim-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Studi Pengaruh Arus Osilasi Terhadap Hidrolisis Limbah Padat PT. Tanjung Enim Lestari Pulp and Paper dalam Kondisi Asam”. Tesis yang dibuat penulis menjadi bagian terpenting selama menjalani proses studi dan merupakan salah satu syarat penyelesaian studi pada tingkat Magister (S2) pada Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya Bidang Kajian Utama Teknologi Energi.

Suatu kebanggaan bagi penulis untuk dapat menikmati kebersamaan dalam suasana kondusif dan saling tolong menolong dalam penyelesaian tesis ini. Bantuan informasi dan data yang menunjang, dukungan, saran, kritik dari berbagai pihak. Dimulai dari proses studi literatur, perencanaan dan pengerjaan alat, maupun analisa data penelitian penulis telah mendapatkan begitu banyak pelajaran yang teramat berharga. Untuk itu pada kesempatan yang baik ini penulis mengucapkan rasa terima kasih dan penghargaan kepada :

1. Dr. Ir. M. Djoni Bustan, M.Eng
2. Dr. Ir. Sri Haryati, DEA.

selaku pengayom, pembina, dan lebih dari sekedar pembimbing tesis. Dan semua pihak yang telah membantu selama proses penelitian, yaitu ;

1. PT. Gulf Resources Indonesia
2. PT Tanjung Enim Lestari Pulp and Paper
3. Pertamina UP-III Plaju
4. Balai Penelitian dan Pengembangan Industri dan Perdagangan Palembang
5. Direksi dan Staf Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya
6. Suami, anak-anak, dan Orang Tua serta keluarga yang telah berbesar hati dan melapangkan jiwa dalam menemani dalam suka maupun duka
7. Teman-teman yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tesis ini, yaitu : Ir. Hilda Porawati, Ir. H. Agus Maulana, Ir. H. Amir Hamzah Siagian, Ir. Kustinah, Ir. Made Gede Armana, Ir. Antoni Ratio Doloksaribu, Bpk. Sukohadi, Bpk. Sukanto, Ir. Hasudungan Limbong, Ir. Mansyur Husin, Hairul, Zulkarnain, Ibnu, Anya, Anton, Wita

ST, Zami ST, Kak Edi, Husni, Andriansyah, Bambang, Andi, Solihin, ST dan Budi Santoso, ST.

Sebuah proses yang mengisyaratkan adanya kontinuitas adalah manakala muncul pertanyaan dan permasalahan yang mempunyai nilai ilmiah dan cukup menjangkau daya nalar serta logika dari hasil-hasil yang telah dilakukan. Peneliti melakukan penelitian ini di Laboratorium Pascasarjana Universitas Sriwijaya dalam waktu 6 bulan ditambah dengan persiapan pembuatan alat. Kesenambungan suatu proses adalah ciri perkembangan positif dari pemikiran-pemikiran ilmiah untuk kemajuan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang.

Oleh sebab itu penulis sangat mengharapkan adanya saran dan kritik yang menunjang ke arah perbaikan, hingga akhirnya penulis dapat memberikan manfaat yang berguna kita semua.

Palembang, Maret 2003

Penulis

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari dan mengkaji pengaruh variabel hidrodinamika dan kinetika pada proses hidrolisis α -Selulosa menjadi D-Glukosa sebagai faktor penyeimbang antara konversi yang dihasilkan dengan konsumsi energi dan massa yang digunakan. Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap yaitu, pertama penelitian dengan menggunakan bahan baku berupa kayu segar untuk mencari kondisi yang optimum. Kemudian kondisi yang dihasilkan digunakan untuk penelitian dengan menggunakan bahan baku berupa limbah kayu dari PT Tanjung Enim Lestari Pulp and Paper.

Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan variabel dengan dan tanpa osilasi, Amplitudo (4, 6, 8 cm), Frekuensi (8,10,12,14,16 Hz), Perbandingan bahan baku terhadap larutan katalis asam (20, 30, 50 kg/kg) dan persentase asam dalam larutan (4,6,10 %) pada temperatur dan tekanan konstan (130°C dan 1,8 atm).

Hasil yang didapat dalam penelitian ini yaitu berupa konversi α -Selulosa menjadi D-Glukosa menunjukkan adanya peningkatan dengan adanya kenaikan perbandingan larutan katalis asam terhadap bahan baku, kenaikan persentase asam dalam larutan dan pertambahan waktu reaksi. Konversi juga terjadi peningkatan dengan adanya arus osilasi.

Peningkatan konversi dengan adanya arus osilasi pada bahan baku limbah kayu sebesar 1,56 dan pada bahan baku kayu segar sebesar 1,72. Biaya yang dibutuhkan untuk proses yang menggunakan arus osilasi lebih kecil dibandingkan proses tanpa arus osilasi.



DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	ii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan	7
1.3. Tujuan Penelitian	7
1.4. Manfaat Penelitian	8
BAB II SUDUT PANDANG DAN DASAR ILMU PENGETAHUAN DALAM PENELITIAN	9
2.1. Sejarah Perkembangan Proses Hidrolisis Lignoselulosa	9
2.2. Proses Hidrolisis Kondisi Asam Pada Selulosa	12
2.2.1 Tinjauan Bahan Baku dan Senyawa-senyawa yang berperan dalam Proses	12
2.2.1.1 Komposisi Kimia Dan Analisis Kayu <i>Acacia Mangium</i> ...	12
2.2.1.1.1 Selulosa	12
2.2.1.1.2 Hemiselulosa	15
2.2.1.1.3 Lignin	17
2.2.1.1.4 Zat Ekstraktif	19
2.2.2 Tinjauan Bahan Baku dan Senyawa-senyawa yang berperan dalam Proses Hidrolisis Selulosa	20
2.2.2.1 Delignifikasi	20
2.2.2.1.1 Pembengkakan (<i>Swelling</i>) Serat Selulosa	21
2.2.2.2 Proses Hidrolisis Selulosa dalam	22
2.2.2.2.1 Reaksi Degradasi Selulosa	22
2.2.2.3 Proses Hidrolisis Selulosa dalam Suasana Asam	24
2.2.2.4 Mekanisme Reaksi Proses Hidrolisis dalam Suasana Asam	26
2.2.3 Variabel-Variabel Yang Mempengaruhi Reaksi Hidrolisis Lignoselulosa Dalam Suasana Asam	29
2.2.3.1 Jenis Media Larutan Untuk Hidrolisis Selulosa	29
2.2.3.2 Konsentrasi Larutan Asam	30
2.2.3.3 Temperatur dan Tekanan	30

2.2.3.4 Waktu Reaksi	31
2.3. Tinjauan Teori Kinetika Kimia pada Proses Hidrolisis	32
2.3.1 Orde Reaksi	32
2.3.2 Konstanta Kecepatan Reaksi	32
2.3.3 Reaksi Kimia Reversibel	33
2.3.4 Kestimbangan Reaksi Kimia	34
2.4. Teori Arus Osilasi Dalam Upaya Peningkatan Kinerja Proses	35
2.4.1 Peningkatan Perpindahan Massa	40
2.4.2 Peningkatan Perpindahan Panas	40
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	41
3.1. Variabel Yang Diteliti.....	41
3.2. Deskripsi Metodologi Penelitian.....	41
3.2.1 Tahap Preparasi Bahan Baku	42
3.2.2 Tahap Hidrolisis	44
3.3. Deskripsi Proses Hidrolisis α -Selulosa Kayu Akasia Menjadi Larutan Glukosa	47
3.4. Analisa dan Perhitungan Produk Hidrolisis α -Selulosa Menjadi Larutan D-Glukosa	50
3.5. Gambar Peralatan Penelitian	51
BAB IV ANALISA KUALITATIF DAN KUANTITATIF TERHADAP KONVERSI α-SELULOSA MENJADI D-GLUKOSA	56
4.1. Proses Delignifikasi	56
4.2. Reaktor Kolom Dengan Aliran Osilasi (Oscillated Column Reactor)....	57
4.2.1 Penentuan Orde reaksi dan konstanta kecepatan reaksi	57
4.2.2 Komparasi Konversi Yang Didapat Dari Penelitian Dengan Konversi Perhitungan secara Termodinamika	60
4.2.3 Analisa Pengaruh Waktu, Konsentrasi Asam, Perbandingan Massa Kayu dan Larutan Asam Terhadap Konversi yang Didapat Untuk Kondisi Tanpa Osilasi	74
4.2.3.1 Analisa Pengaruh Waktu Terhadap Konversi Pada Hidrolisis α -Selulosa Menjadi D-Glukosa	74
4.2.3.2 Analisa Pengaruh Konsentrasi asam Terhadap Konversi Pada Hidrolisis α -Selulosa Menjadi D-Glukosa	74
4.2.3.3 Analisa Pengaruh Perbandingan Massa Kayu Terhadap Konversi Pada Hidrolisis α -Selulosa Menjadi D-Glukosa	83
4.2.4 Pengaruh Aliran Dengan dan Tanpa Osilasi Terhadap Konversi α -Selulosa Menjadi D-Glukosa	92
4.2.4.1 Analisa Pengaruh Amplitudo Terhadap Konversi Pada Hidrolisis α -Selulosa Menjadi D-Glukosa	94
4.2.4.2 Analisa Pengaruh Frekuensi Terhadap Konversi Pada Hidrolisis α -Selulosa Menjadi D-Glukosa	95
4.2.5 Komparasi Antara Konversi Yang Didapat Pada Kondisi	

Tanpa Osilasi Dengan Konversi Yang Didapat Pada Kondisi Dengan Osilasi	99
4.2.6 Analisa Pengaruh Konsentrasi asam Terhadap Konstanta Kecepatan Reaksi Pada Aliran Dengan dan Tanpa Osilasi (k_o dan k_{no})	103
4.2.7 Analisa Konstanta Kecepatan Reaksi Pada Aliran Dengan dan Tanpa Osilasi	108
4.2.7.1 Analisa Pengaruh Amplitudo Terhadap Konstanta Kecepatan Reaksi	108
4.2.7.2 Analisa Pengaruh Amplitudo Terhadap Peningkatan (<i>Enhancement</i>) Konstanta Kecepatan Reaksi	109
4.3. Analisa Pengaruh Aliran Dengan dan Tanpa Osilasi Terhadap Konversi α -Selulosa Menjadi D-Glukosa dari Limbah Kayu PT. Tanjung Enim Lestari Pulp and Paper	114
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	121
5.1. Kesimpulan	121
5.2. Saran	122
DAFTAR PUSTAKA	122
LAMPIRAN	125

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perhitungan Konsumsi Energi yang Dibutuhkan pada Penelitian-penelitian (US Patent)	11
Tabel 2.2	Data Komposisi Kimia Kayu <i>Acacia Mangium</i> dari Hutan Tanaman Industri P.T. Musi Hutan Persada	12
Tabel 3.1	Data Komposisi Kimia Kayu <i>Acacia Mangium</i> dari Hutan Tanaman Industri P.T. Musi Hutan Persada	43
Tabel 3.2	Komposisi bahan Baku Lignoselulosa	44
Tabel 4.1	Hasil Analisa Komposisi Kayu Akasia Sebelum Delignifikasi	57
Tabel 4.2	Hasil Analisa Komposisi Kayu Akasia Setelah Delignifikasi	57
Tabel 4.3	Konversi Berdasarkan Perhitungan k Secara Termodinamika dan dari Penelitian Pada Rasio 50 kg larutan/kg Kayu dan Konsentrasi Asam 6% Amplitudo 8 cm	61
Tabel 4.4	Konversi, X_A (%) pada Setiap Konsentrasi Asam pada Rasio 20 kg larutan/kg Kayu Tanpa Osilasi	75
Tabel 4.5	Konversi, X_A (%) pada Setiap Rasio Larutan pada Konsentrasi Asam 10% Tanpa Osilasi	83
Tabel 4.6	Konversi, X_A (%) pada Setiap Amplitudo pada Konsentrasi Asam 6% dan Rasio 20 kg larutan/kg Kayu	95
Tabel 4.7	Rasio Konversi, X_{Ao}/X_{Ano} (%) pada Setiap Amplitudo pada Konsentrasi Asam 6% dan Rasio 20 kg larutan/kg Kayu	99
Tabel 4.8	Harga k_o (menit ⁻¹) pada Rasio 50 kg larutan/kg kayu	103
Tabel 4.9	Harga k_o/k_{no} (menit ⁻¹) pada Rasio 50 kg larutan/kg kayu	109

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rumus Stereo-kimia Selulosa	14
Gambar 2.2	Ujung pereduksi dan bukan pereduksi pada rantai selulosa	14
Gambar 2.3	Ikatan Hidrogen intramolekul dan intermolekul dalam dua molekul Selulosa yang berdampingan	15
Gambar 2.4	Rumus-rumus Komponen Gula Hemiselulosa	16
Gambar 2.5	Unit Pembentuk Lignin , (I) p-koumaril Alkohol, (II) koniferil Alkohol, (III) Sinapil Alkohol	18
Gambar 2.6	Konsep struktur lignin beech	19
Gambar 2.7	Mekanisme Reaksi Hidrolisis α -Selulosa Menjadi D-Glukosa Dalam Suasana Asam	28
Gambar 2.8	Aliran Osilasi dalam tube	38
Gambar 2.9	Pengaruh frekuensi terhadap kecepatan amplitudo	39
Gambar 3.1	Diagram Alir Delignifikasi Lignoselulosa.....	42
Gambar 3.2	Diagram Alir Hidrolisis Lignoselulosa	46
Gambar 3.3	Bagan Alir Sederhana Proses Hidrolisis Selulosa Kayu Akasia Menjadi Larutan Glukosa	49
Gambar 3.4	Peralatan Lengkap	51
Gambar 3.5	Reaktor	52
Gambar 3.6	Reaktor Tampak Samping	52
Gambar 3.7	Tangki Delignifikasi	52
Gambar 3.8	Boiler	52
Gambar 3.9	Sistem Osilasi Tampak Depan	53
Gambar 3.10	Sistem Osilasi Tampak Samping.....	53
Gambar 3.11	Termo indikator	54
Gambar 3.12	Inverter dan Termostat.....	54
Gambar 3.13	Bahan Baku Serbuk Kayu Akasia.....	55
Gambar 3.14	Bahan Baku Limbah Kayu Akasia dari PT Tanjung Enim Lestari Pulp and paper	55

Gambar 4.1	Hubungan Antara $\ln [X_{Ae}/(X_A - X_{Ae})]$ Dengan Waktu Pada Kondisi Perbandingan 20 kg Larutan/kg Kayu, Konsentrasi Asam 6% Dengan dan Tanpa Osilasi	59
Gambar 4.2	Pengaruh Waktu Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Kondisi Tanpa Osilasi, Rasio 1:20, Konsentrasi Asam 4%	62
Gambar 4.3	Pengaruh Waktu Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Kondisi Tanpa Osilasi, Rasio 1:50, Konsentrasi Asam 4%	63
Gambar 4.4	Pengaruh Waktu Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Kondisi Tanpa Osilasi, Rasio 1:20, Konsentrasi Asam 6%	64
Gambar 4.5	Pengaruh Waktu Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Amplitudo = 8 cm, Rasio 1:20, Konsentrasi Asam 4%	65
Gambar 4.6	Pengaruh Waktu Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Amplitudo = 8 cm, Rasio 1:50, Konsentrasi Asam 4%	66
Gambar 4.7	Pengaruh Waktu Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Amplitudo = 8 cm, Rasio 1:20, Konsentrasi Asam 6%	67
Gambar 4.8	Pengaruh Waktu Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Amplitudo = 6 cm, Rasio 1:20, Konsentrasi Asam 4%	68
Gambar 4.9	Pengaruh Waktu Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Amplitudo = 6 cm, Rasio 1:50, Konsentrasi Asam 4%	69
Gambar 4.10	Pengaruh Waktu Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Amplitudo = 6 cm, Rasio 1:20, Konsentrasi Asam 6%	70
Gambar 4.11	Pengaruh Waktu Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Amplitudo = 4 cm, Rasio 1:20, Konsentrasi Asam 4%	71
Gambar 4.12	Pengaruh Waktu Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Amplitudo = 4 cm, Rasio 1:50, Konsentrasi Asam 4%	72
Gambar 4.13	Pengaruh Waktu Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Amplitudo = 4 cm, Rasio 1:20, Konsentrasi Asam 6%	73
Gambar 4.14	Pengaruh Waktu dan Konsentrasi Asam Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Rasio 1 : 20 Tanpa Osilasi	76
Gambar 4.15	Pengaruh Waktu dan Konsentrasi Asam Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Rasio 1 : 50 Tanpa Osilasi	77
Gambar 4.16	Pengaruh Waktu dan Konsentrasi Asam Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Rasio 1 : 20 Amplitudo 4 cm	78
Gambar 4.17	Pengaruh Waktu dan Konsentrasi Asam Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Rasio 1 : 50 Amplitudo 4 cm	79

Gambar 4.18 Pengaruh Waktu dan Konsentrasi Asam Terhadap Konversi α -Selulosa Pada rasio 1 : 20 Amplitudo 6 cm	80
Gambar 4.19 Pengaruh Waktu dan Konsentrasi asam Terhadap Konversi α -Selulosa Pada rasio 1 : 50 Amplitudo 6 cm	81
Gambar 4.20 Pengaruh Waktu dan Konsentrasi Asam Terhadap Konversi α -Selulosa Pada rasio 1 : 20 Amplitudo 8 cm	82
Gambar 4.21 Pengaruh Waktu dan Perbandingan Larutan Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Konsentrasi Asam 4% Tanpa Osilasi	84
Gambar 4.22 Pengaruh Waktu dan Perbandingan Larutan Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Konsentrasi Asam 6% Tanpa Osilasi	85
Gambar 4.23 Pengaruh Waktu dan Perbandingan Larutan Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Konsentrasi Asam 10% Tanpa Osilasi	86
Gambar 4.24 Pengaruh Waktu dan Perbandingan Larutan Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Konsentrasi Asam 4% Amplitudo 8 cm	87
Gambar 4.25 Pengaruh Waktu dan Perbandingan Larutan Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Konsentrasi Asam 10% Amplitudo 8 cm	88
Gambar 4.26 Pengaruh Waktu dan Perbandingan Larutan Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Konsentrasi Asam 4% Amplitudo 6 cm	89
Gambar 4.27 Pengaruh Waktu dan Perbandingan Larutan Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Konsentrasi Asam 10% Amplitudo 6 cm	90
Gambar 4.28 Pengaruh Waktu dan Perbandingan Larutan Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Konsentrasi Asam 4% Amplitudo 4 cm	91
Gambar 4.29 Pengaruh Waktu, Frekuensi dan Amplitudo Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Rasio 1 : 20 Konsentrasi Asam 4%	96
Gambar 4.30 Pengaruh Waktu, Frekuensi dan Amplitudo Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Rasio 1 : 20, Konsentrasi Asam 6%	97
Gambar 4.31 Pengaruh Waktu, Frekuensi dan Amplitudo Terhadap Konversi α -Selulosa Pada Rasio 1 : 50, Konsentrasi Asam 4%	98
Gambar 4.32 Pengaruh Waktu, Frekuensi dan Amplitudo Terhadap Rasio Konversi α -Selulosa Pada Rasio 1 : 20 Konsentrasi Asam 4%	100
Gambar 4.33 Pengaruh Waktu, Frekuensi dan Amplitudo Terhadap Rasio Konversi α -Selulosa Pada Rasio 1 : 20, Konsentrasi Asam 6%	101
Gambar 4.34 Pengaruh Waktu, Frekuensi dan Amplitudo Terhadap Rasio Konversi α -Selulosa Pada Rasio 1 : 50, Konsentrasi Asam 4%	102
Gambar 4.35 Pengaruh Konsentrasi Asam Terhadap Harga ko dan kno Pada Rasio 1 : 20	104

Gambar 4.36 Pengaruh Konsentrasi Asam Terhadap Harga k_o dan k_{no} Pada Rasio 1 : 50	105
Gambar 4.37 Pengaruh Konsentrasi Asam Terhadap Harga k_o/k_{no} Pada Rasio 1 : 20	106
Gambar 4.38 Pengaruh Konsentrasi Asam Terhadap Harga k_o/k_{no} Pada Rasio 1 : 50	107
Gambar 4.39 Pengaruh Amplitudo Terhadap Harga k_o Pada Rasio 1 : 20	110
Gambar 4.40 Pengaruh Amplitudo Terhadap Harga k_o Pada Rasio 1 : 50	111
Gambar 4.41 Pengaruh Amplitudo Terhadap Harga k_o/k_{no} Pada Rasio 1 : 20	112
Gambar 4.42 Pengaruh Amplitudo Terhadap Harga k_o/k_{no} Pada Rasio 1 : 50	113
Gambar 4.43 Pengaruh Waktu Terhadap Konversi α -Selulosa Dari Limbah Kayu pada Kondisi Dengan dan Tanpa Osilasi, Rasio 1 : 50, Konsentrasi Asam 6%, Frekuensi 12 Hz dan Amplitudo 8 cm	115
Gambar 4.44 Pengaruh Waktu Terhadap Peningkatan (<i>Enhancement</i>) Konversi α -selulosa Dari Limbah Kayu Pada Rasio 1 : 50, Konsentrasi Asam 6%, Frekuensi 12 Hz dan Amplitudo 8 cm	116

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	125
LAMPIRAN B	129
LAMPIRAN C	131
LAMPIRAN D	133
LAMPIRAN E	134
LAMPIRAN F	136
LAMPIRAN G	139

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perubahan lingkungan strategis dan krisis multidimensi yang sedang dihadapi oleh bangsa Indonesia harus mendorong pemerintah untuk melakukan *repositioning* terhadap kebijakan-kebijakan berdasarkan perkembangan paradigma-paradigma baru. Meningkatnya kesadaran internasional terhadap masalah-masalah diluar aspek perdagangan yang dikaitkan dengan perdagangan internasional suatu negara, seperti HAM, kepedulian terhadap lingkungan (*environment friendly*) dan perburuhan, atau adanya kecenderungan tuntutan akan standar dan kualitas internasional termasuk *sanitary* dan *phytosanitary* yang meliputi keamanan, kesehatan, dan kelestarian lingkungan akan berpengaruh pada produk ekspor Indonesia.

Berkembangnya fenomena tersebut menyebabkan tingkat persaingan global semakin ketat. Oleh karena itu, semua pihak yang berkompeten dalam masalah ini perlu mencermati dan mensikapi persaingan global tersebut secara cepat dan tepat melalui peningkatan daya saing nasional, terutama peningkatan kualitas sumber daya manusia yang handal, dalam rangka menghadapi AFTA, APEC dan WTO. Selain itu penguasaan teknologi juga harus menjadi dasar bagi kemampuan nasional dalam mengolah potensi yang dimiliki baik teknologi proses produksi, rancang bangun dan perekayasaan mesin dan peralatan, serta rekayasa bio-teknologi di sektor industri. Demikian pula, strategi pemasaran yang didukung oleh kemajuan teknologi informasi perlu mendapat perhatian utama di sektor perdagangan.

Dalam mengupayakan agar pembangunan di Indonesia menjadi sejajar dengan negara-negara lain di dunia, pemerintah harus mempunyai salah satu sektor pembangunan yang menjadi andalan. Sektor pembangunan yang diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pembangunan salah satunya dalam bentuk penambahan devisa negara adalah sektor industri. Salah satu sektor industri yang tergolong penting di Indonesia adalah industri *pulp* dan kertas, karena tugasnya adalah memenuhi kebutuhan kertas dalam negeri yang semakin meningkat disamping meningkatkan kapasitas ekspor non migas dari produk

olahan hasil hutan. Sebelum krisis moneter tahun 1998, konsumsi kertas di Indonesia hanya 16,5 kilogram per kapita per tahun. Angka itu sangat kecil dibandingkan Singapura yang mencapai 106 kg per kapita per tahun atau Amerika Serikat (AS) sekitar 300 kg per kapita per tahun. Tetapi akselerasi kebutuhan kertas di dalam negeri sekarang ini mencapai 35.000 ton sampai 40.000 ton per bulan. Diandaikan kebutuhan konsumsi 40.000 ton per bulan, konsumsi per tahun mencapai 480.000 ton atau 480 juta kg. Dengan asumsi jumlah penduduk sebesar 210 juta orang, konsumsi per kapita pun meningkat menjadi lebih dari 20 kg per tahun⁴²⁾. Dari data di atas dapat dilihat bahwa daya saing industri *pulp* dan kertas di Indonesia dengan negara lain yang notabene penghasil *pulp* dan kertas cukup tinggi. Struktur industri kertas dan *pulp* ini sangat kuat dibandingkan dengan industri lainnya yang ada di Indonesia karena industri ini tidak mengalami ketergantungan impor bahan baku. Bahkan, bahan baku kayu dalam bentuk *akasia* dan *eucalyptus* tersedia dalam jumlah yang banyak untuk jangka waktu yang panjang. Dengan demikian membuat sektor industri ini memiliki keunggulan komparatif, dibandingkan dengan industri dari negara pesaing, seperti AS maupun Eropa⁴²⁾.

Dengan dituntutnya sektor industri ini menjadi salah satu garda terdepan dalam proses industrialisasi di Indonesia, adalah suatu tugas dan kewajiban yang berat bagi pemerintah selaku penyelenggara pembangunan dan pengusaha yang bergerak di sektor industri ini untuk menentukan kebijakan-kebijakan yang berhubungan. Kebijakan pengembangan industri *pulp* dan kertas di Indonesia harus lebih diarahkan pada peningkatan (*enhancement*) dan efisiensi proses yang dapat diimplementasikan dalam penelitian dan pengembangan teknologi pembuatan *pulp* dan kertas baik pada sisi perbaikan kualitas *pulp*, peningkatan rendemen, minimasi kebutuhan energi dan pengurangan tingkat pencemaran lingkungan (reduksi limbah).

Permasalahan yang acap dianggap *classical problem* dan sarat dengan nuansa dilema selalu muncul yaitu merebaknya permasalahan limbah dan sampah manakala salah satu jenis produk menjadi suatu komoditas diproduksi dengan kapasitas yang cukup besar. Melihat lebih dalam tentang limbah-limbah yang dihasilkan oleh industri *pulp* dan kertas di lapangan telah dideteksi bahwa limbah-limbah yang dihasilkan oleh proses produksi *pulp* berwujud cair, padat dan gas. Limbah cair berupa bahan-bahan kimia hasil pelarutan lignin

dan komponen kimia kayu lainnya seperti hemiselulosa, zat ekstraktif, karbohidrat terlarut sedangkan limbah padat berupa serpihan kayu yang masih mengandung lignoselulosa dan zat ekstraktif⁴¹⁾. Limbah cair yang dihasilkan dalam proses pemutihan (bleaching) pulp dengan klorin dicampur dengan beberapa senyawa kimia lainnya yang berpotensi menghasilkan organoklorin, yakni sekelompok senyawa kimia yang bisa menyebabkan kematian dan penyakit di seluruh dunia. Yang paling terkenal dan dianggap paling berbahaya dari AOX adalah dioksin. Dioksin adalah bahan kimia sintetis paling beracun yang pernah diketahui manusia. Dengan dosis berbahaya minimum (minimum lethal dose), yakni 1,0 ug/kg atau 1,0 ppb, ternyata dioksin 10.000 kali lebih beracun dari sianida (NaCN)⁴³⁾. Limbah gas dari pabrik pulp didominasi senyawa sulfur misalnya saja seperti H_2S , CH, SH, SO_2 dan SO_x , VOC yang merupakan sisa dari hasil pembuburan. Dan efek yang dikandungnya ternyata bisa mengakibatkan turunnya hujan asam⁴³⁾. Sedangkan bentuk limbah padat yang kerap dijumpai adalah serbuk atau ampas sisa dari digester yang menimbulkan polusi bau dan akumulasinya akan menyebabkan berkurangnya luas lahan potensial dan menurunkan kualitas kesuburan tanah terutama pada lapisan top soil akibat tercemar oleh bahan kimia beracun yang melekat pada ampas tersebut⁴³⁾.

Terlepas dari nuansa kepentingan politis dalam sudut pandang keilmuan khususnya *engineering*, terjadinya kasus-kasus pencemaran lingkungan yang telah terjadi dan dapat berakibat fatal baik kepada pihak pengusaha maupun masyarakat yang tinggal di daerah dimana pabrik *pulp* dan kertas tersebut beroperasi, adalah fakta keberadaan aplikasi teknologi yang ramah lingkungan belum sepenuhnya dilaksanakan dengan baik. Contoh yang masih segar dalam ingatan adalah penutupan secara total seluruh kegiatan pabrik kertas dan *pulp* PT Inti Indorayon Utama (IIU) yang kini berganti nama menjadi PT Toba *Pulp* Lestari. Hal ini adalah manifestasi kekecewaan seluruh masyarakat Porsea terhadap pabrik yang selama ini menimbulkan berbagai masalah bagi mereka, baik lingkungan hidup, kesehatan, ekonomi, maupun sosial.

Bagaimanapun juga solusi dengan mencari alternatif yang terbaik sangat diperlukan untuk mengurangi pencemaran industri terutama pabrik *pulp* dan kertas. Sebab menumbuhkan kepercayaan di kalangan masyarakat terutama pada tingkat komunitas yang mempunyai pemahaman yang sangat kurang dalam hal ilmu pengetahuan dan teknologi

adalah kewajiban moral kalangan akademisi dan praktisi. Hal yang dirasakan lebih tepat dan merupakan jawaban permasalahan yang tak kunjung selesai adalah penerapan teknologi penanggulangan limbah yang efisien dan menguntungkan semua pihak.

Salah satu bentuk teknologi penanggulangan limbah dari pabrik *pulp* diantaranya adalah dengan Bioteknologi yang memanfaatkan limbah sebagai bahan baku untuk dikonversi menjadi bahan kimia dan bahan bakar. Limbah padat yang mengandung lignoselulosa tergolong Biomassa pertanian, mempunyai potensi untuk diproses menjadi bahan kimia contohnya larutan gula (D-Glukosa), Furfural, Aseton-Butanol-Etanol (ABE), karena jumlah produksinya sangat banyak, alternatif pemanfaatannya luas, dan dihasilkan dari suatu sistem produksi yang dapat terus diperbarui.

Tetapi yang tak kalah penting dan diharapkan menjadi proses dengan prospek yang progresif dan menjanjikan adalah konversi limbah lignoselulosa menjadi substrat berupa larutan gula dengan proses hidrolisis. Proses ini lebih mudah dilakukan, karena D-Glukosa terbentuk pada temperatur yang lebih rendah daripada furfural dan ABE. Selain itu kebutuhan (*demand side*) larutan D-Glukosa masih tinggi, sedangkan ketersediaannya belum mencukupi karena permintaan pasar (*supply side*) tidak mencukupi.

Penelitian tentang teknologi hidrolisis lignoselulosa menjadi glukosa dalam kondisi asam telah dilakukan oleh beberapa peneliti sejak tahun 1980-an, antara lain Rugg dan Stanton pada tahun 1980 melakukan penelitian tentang hidrolisis limbah selulosa menjadi glukosa dengan asam sulfat sebagai larutan pembentuk suasana asam pada temperatur dan tekanan reaksi sebesar 228,3 °C dan 28,79 atm. Konversi glukosa yang dihasilkan sebesar 50%. Kemudian penelitian lanjutan dilakukan oleh pasangan Rugg dan Brenner pada tahun 1983, dengan temperatur dan tekanan yang lebih rendah sebesar 200 °C dan 15 atm dan menghasilkan glukosa dengan konversi 40 %. Selanjutnya pada tahun 1991, Brelsford dan Bozeman meneliti hidrolisis lignoselulosa menjadi glukosa dengan menggunakan *two-stage plug-flow-reactor* pada temperatur reaksi 180 °C dan tekanan 120 psia. Konversi yang didapat pada penelitian ini sebesar 65,2 % (dengan recycle) dan 58,4 % (tanpa recycle). Pada tahun 1993, Clausen dan Gaddy melakukan penelitian yang sama dengan metode *single step* dan modifikasi *single step*, dimana konsentrasi asam sulfat dan waktu reaksi

merupakan variabel yang diukur. Pada metode single step temperatur reaksi yang digunakan 50°C, konsentrasi larutan asam 57% dan waktu reaksi 80-110 menit didapat konversi rata-rata sebesar 56%. Pada metode *modified single step*, hidrolisis dilakukan dalam dua tahap dengan temperatur reaksi 50°C pada tahap hidrolisis awal dan 100°C pada hidrolisis tahap lanjutan dengan pengenceran larutan asam dan menghasilkan konversi sebesar 92%. Dan pada tahun 2000 Torgel et.al meneliti tentang hidrolisis lignoselulosa dengan menggunakan double-pipe heat exchanger dan fraksionasi yang dipasang seri pada temperatur proses 180-280°C dan didapat konversi sebesar 87 %.

Proses hidrolisis lignoselulosa dapat dibagi melalui beberapa tahap reaksi, yaitu reaksi delignifikasi, reaksi depolimerisasi, dan reaksi purifikasi. Proses delignifikasi bertujuan menghilangkan lignin tanpa serangan bahan kimia terhadap polisakarida. Ritter dan Kurt (1933) merupakan orang pertama yang menggunakan klor dan klorit untuk delignifikasi dan menggunakan istilah holoselulosa untuk produk kayu yang dihasilkan setelah delignifikasi. Delignifikasi dapat juga dilakukan dengan menggunakan larutan asam sulfat dimana lignin akan larut melalui reaksi substitusi yang akan mengubah dan merusak struktur lignin. Depolimerisasi merupakan reaksi pemutusan ikatan glikosida dari α -Selulosa menjadi monosakarida (D-Glukosa) dalam larutan asam mineral. Faktor utama yang mempengaruhi adalah keadaan fasa zat-zat yang bereaksi dan faktor pendukung meliputi temperatur dan tekanan proses, jenis pelarut, konsentrasi pelarut serta jenis bahan baku. Sedangkan pada tahap purifikasi merupakan tahap pemurnian untuk mendapatkan kualitas produk yang lebih baik.

Beberapa studi dan eksperimen telah dilakukan untuk meningkatkan laju konversi, dimana laju konversi tersebut mempengaruhi parameter ekonomi yang tergantung pada konsumsi energi dan harga pelarut. Sehubungan dengan hal tersebut para peneliti telah melakukan penelitian untuk mendapatkan konversi yang tinggi, namun kenyataannya kebutuhan energi proses besar sehingga mempengaruhi biaya energi yang mahal. Energi proses yang besar ini disebabkan karena derajat turbulensi aliran fluida yang rendah.

Untuk meningkatkan derajat turbulensi pada proses hidrolisis lignoselulosa, diupayakan suatu teknologi yang didasarkan oleh ilmu mekanika fluida. Arus osilasi

adalah aplikasi dari fenomena dalam pergerakan fluida yang diharapkan meningkatkan perpindahan panas dan massa baik secara hidrodinamika maupun geometri alat. Peningkatan perpindahan panas dan massa ini dihasilkan dengan pertimbangan modifikasi sistem yang merujuk pada kinerja peralatan yang digunakan, sehingga konversi proses dapat meningkat.

Teknologi arus osilasi merupakan teknologi yang merubah gerak rotasi menjadi gerak translasi, dimana pada gerak translasi akan terbentuk fase akselerasi dan deselerasi. Pada akhir fase akselerasi debit aliran fluida meningkat dan vorteks yang terbentuk asimetri serta berekspansi ke seluruh saluran fluida, yang secara keseluruhan menghasilkan derajat turbulensi tinggi yang mempengaruhi peningkatan perpindahan panas dan massa. Sedangkan bila dibandingkan dengan teknologi agitasi, teknologi ini menghasilkan gerak rotasi yang kontinyu dengan tenaga yang besar. Kecepatan *impeller* akan bertambah untuk menghasilkan vorteks yang akan memproduksi kondisi turbulensi pada aliran fluida.

Bagi Indonesia yang tipikal negara tropis adalah suatu hal yang lazim dijumpai pabrik pulp dan kertas dengan kapasitas yang besar, mengingat kayu sebagai bahan baku utama pabrik ini sangat banyak tersedia dan lahan untuk menanam jenis pohon bahan baku pulp masih cukup luas. Salah satu pabrik pulp dan kertas yang tergolong cukup besar adalah P.T. Tanjung Enim Lestari Pulp and Paper yang terdapat di daerah Muara Enim, Sumatera Selatan. Bahan baku *pulp* pada P.T. Tanjung Enim Lestari Pulp and Paper adalah jenis kayu dari tanaman Akasia Mangium yang diperoleh dari kawasan HTI (Hutan Tanaman Industri) Musi Hutan Persada. Berdasarkan keputusan Direktur Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan No. 151/KPTS/V/1991, Akasia Mangium termasuk 18 jenis tanaman yang diprioritaskan pada Hutan Tanaman Industri¹⁹⁾. Komponen utama kayu Akasia Mangium terdiri dari selulosa (40-50%), hemiselulosa (20-30%), lignin (30-40%) dan zat-zat ekstraktif yang terdiri dari lilin, tanin, lemak, abu dan ion-ion logam lainnya dalam jumlah yang tidak banyak. Proses pembuatan *pulp* di P.T. Tanjung Enim Lestari diawali dengan pemanasan awal, impregnasi *chips* dan pemasakan *chips* di dalam sebuah digester. Output dari *bottom digester* berupa *pulp* yang bercampur dengan pasir *chips* dan *chips* yang belum terolah.

Bertitik tolak dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka timbul suatu pemikiran untuk menciptakan proses konversi α -Selulosa dari limbah padat Pabrik Pulp yang efisien dan ekonomis ditinjau dari konsiderasi yang telah disebutkan di atas. Untuk itu, pada penelitian ini digunakan limbah lignoselulosa sisa *digester* P.T. Tanjung Enim Lestari yang akan dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk menghasilkan larutan gula dengan proses *recycle* hidrolisis dalam suasana asam yang dipengaruhi oleh aliran pulsasi.

1.2. Permasalahan

Pada penelitian-penelitian tentang konversi α -selulosa dari proses hidrolisis lignoselulosa yang telah dilakukan, didapatkan kenyataan bahwa :

1. Pada proses hidrolisis yang menggunakan katalis asam, untuk menghasilkan konversi glukosa yang tinggi diperlukan temperatur dan tekanan yang tinggi serta dengan rasio katalis terhadap bahan baku kecil, tetapi hal ini juga dapat dihasilkan dengan menggunakan proses yang temperatur dan tekanan yang rendah tetapi rasio pelarut asam terhadap bahan baku yang besar
2. Dalam kondisi proses yang sama, penggunaan katalis basa akan menghasilkan konversi α -Selulosa yang lebih rendah dari pada katalis asam.

Menitikberatkan permasalahan pada penggunaan katalis larutan asam dalam proses hidrolisis akan memunculkan hal yang kontroversial karena membentuk suatu opini bahwa terjadi dilema untuk mendapatkan konversi α -Selulosa, dimana akan membutuhkan "pengorbanan" yang cukup besar disebabkan keduanya memerlukan biaya tinggi akibat konsumsi energi dan atau konsumsi massa yang besar.

1.3. Tujuan Penelitian

Dalam upaya mencari solusi permasalahan yang telah disebutkan di atas maka diperlukan suatu cara pendekatan yaitu dengan jalan mempelajari dan mengkaji pengaruh variabel-variabel proses konversi α -Selulosa yang terdiri dari variabel hidrodinamika dan

kinetika sebagai faktor penyeimbang antara konversi α -Selulosa yang dihasilkan dengan konsumsi energi dan massa yang digunakan. Sehingga besarnya konsumsi energi dan massa yang ditandai dengan tingginya temperatur dan konsentrasi asam dapat diminimalkan untuk menghasilkan konversi yang relatif cukup besar.

1.4. Manfaat Penelitian

Melalui teknologi hidrolisis lignoselulosa dengan pengaruh arus pulsasi yang memenuhi kaidah konservasi, maka dapat memperjelas karakteristik aliran pulsasi yang mempengaruhi peningkatan perpindahan panas dan massa pada proses hidrolisis lignoselulosa. Sehingga biaya proses secara keseluruhan dapat diselaraskan dengan harga jual produk. Dan juga dengan adanya penelitian ini, kondisi operasi yang didapat akan menjadi acuan untuk skala industri.



DAFTAR PUSTAKA

1. Adishesha, Hendayani. 1996. Perkembangan Industri Pulp dan Kertas Menuju Industri Bebas Air Limbah. *Berita Selulosa* Vol.XXXII(4):9-16
2. Atkins. 1987. *Physikalische Chemie*. VCH Verlag Gessellschaft mbH.
3. Baker dan Ehrman. 1998. Hydrolysis of Cellulose Using Ternary Mixture of Purified Cellulases. *Applied Biochemistry and Biotechnology* Volume 70-72.
4. Bambang, P. dan Roffael, 1998. Emisi Asam-asam Formiat dan Asetat dari Bahan Lignoselulosa. *Puslitbang Fisika Terapan-LIPI*.
5. Bambang, P. 1994. Pengaruh Perubahan Komponen Kimia Kayu Terhadap Sifat Higroskopisnya. *Prosiding Simposium Fisika Jakarta*.
6. Barsha dan Van Wyck. Cellulose. Dalam Kirk Othmer. *Encyclopedia of Chemical Technology* Volume 5.
7. Breisford dan Bozeman. 1995. Bei Hydrolysis Process System an Improved Process for the Continous Hydrolysis Saccharification of Lignocellulosic in Two-Stage Plug-Flow-Reactor System. US 50376663.
8. Casey. 1994. *Pulp and Paper. Chemistry and Chemical Technology* (3rd edition) Volume 1. John Wiley and Sons Publishing.
9. Clausen dan Gaddy. 1993. Concentrated Sulfuric Acid Process for Converting Lignocellulosic Materials to Sugars. US 5188673.
10. Dale dan Collins. 1991. Process for Increasing The Reactivity of Cellulose-Containing Materials. US 5037663.
11. Fengel dan Wegener. 1983. *Kayu, Kimia Ultrastruktur Reaksi-reaksi*. Gajah Mada University Press.
12. Fessenden and Fessenden. 1989. *Kimia Organik* Jilid 1 dan 2. Erlangga.
13. Gregg dan Sadaler. 1996. Factors Affecting Cellulose Hydrolysis and the Potential of Enzym Recycle to Enhance The Efficiency of an Integrated Wood of Ethanol Process. *Biotechnology and Bioengineering*. Volume 51 : 375-383.
14. Hester dan Farina. 1999. Concentrated Sulfuric Acid Hydrolysis of Lignocellulosic. US 5972118.
15. Karina dan kawan-kawan. 1994. Pembuatan Karakterisasi Perekat Lignin-Phenol-Formaldehid. *Prosiding Seminar Ilmiah P3FT-LIPI*. Halaman 85-97. *Puslitbang Fisika Terapan-LIPI*.
16. Kinoshita. 1988. *Carbon, Elektrochemical and Physicochemical Properties*. John Wiley and Sons.
17. Kirk-Othmer. Lignin. *Encyclopedia of Chemical Technology* (5th edition) Volume 15: 268-289.
18. Knipe dan Watts. 1990. *Organic Reaction Mechanisms*. John Wiley and Sons.
19. Khaeruddin. 1994. *Pembibitan Tanaman Hutan Industri*. Penebar Swadaya.
20. Lee dan Yu. 1994. Evaluation of Cellulose Recycling Strategies for Hydrolysis of Lignocellulosics Substrates. *Biotechnology and Bioengineering* Volume 45:328-336.
21. Myrtha,K dan Indramoko,H.P. 1994. Pemanfaatan Lignin dari Limbah Pabrik Kertas Untuk Bahan Dasar Polimer. *Prosiding Seminar Ilmiah P3FT-LIPI*.
22. N.N. 1995/1996. Biokoversi Limbah Padat Industri Minyak Kelapa Sawit untuk Produksi Aseton-Butanol-Etanol. *Puspittek*.
23. N.N. 1987. *Kimia Karbohidrat*. Erlangga
24. Parfitt dan Rochester. 1982. Adsorption from Solution at The Solid/Liquid

Interface. Academic Press. Inc.

25. Proenca dan Piraicaha. 1999. Process for Rapid Acid Hydrolysis of Lignocellulosic Material and Hydrolysis Reactor. US 5879463.
26. Rugg dan Brenner. 1983. Apparatus for Chemical Conversion of Materials and Particularly the Conversion of Cellulose Waste to Glucose. US 4368079.
27. Sabur dan Triyanto, H.S. 1986. Berita Selulosa Volume XXII(2-3).
28. Scudder. 1992. Electron Flow In Organic Chemistry. John Wiley and Sons
29. Schell dan Nguyen. 1998. Pretreatment of Softwood by Acid Catalized Steam Explosion Followed by Alkali Extraction. Applied Biochemistry and Biotechnology Volume 70-72:17-24.
30. Siagian, R. dan Saptadi D. 1999. Komposisi Kimia Kayu Acacia Mangium dari Beberapa Tingkat Umur Hasil Tanam Rotasi Pertama. Buletin Penelitian Hasil Hutan Volume 17(1):57-66.
31. Sigit P. 1997. Sifat Penyerapan Air dan Perubahan Dimensi Komposit Hasil Campuran Serat Lignoselulosa dengan Plastik. Buletin Penelitian Kehutanan Volume 11(2):1-22.
32. Stenberg dan Tengborg. 1998. Optimization of Steam Pretreatment of SO₂-Impregnated Mixed Softwoods for Ethanol Production. Journal Chemical Technology Biotechnology Volume 51:375-383.
33. Susi S dan Gatot I. 1996. Pemanfaatan Tanaman Jarak untuk Pembuatan Pulp Kertas. Berita Selulosa Volume XXXII(2):7-12.
34. Sukardjo, Prof.Dr. 1989. Ikatan Kimia. Rineka Cipta.
35. Sykes, P. 1989. Penuntun Mekanisme Reaksi Kimia Organik. P.T. Gramedia. Jakarta.
36. Tigo M. dan Eny Y. 1999. Karakteristik Hidrodinamika Fluida dan Pengaruh Kondisi pada Aliran Pulsasi Terhadap Perpindahan Panas pada Saluran Berkorugasi. Riset Jurusan Teknik Kimia FT. Unsri.
37. Torgel dan Padukone. 2000. Hydrolysis and Fractionation of Lignocellulosics Biomass. US 6022419.
38. Treybal. 1981. Mass Transfer Operations. Mc Graw Hill.
39. Thumann dan Mehta. 1991. Handbook of Energy Engineering (2nd edition). The Farmont Press. Inc.
40. Wawan K. dan Nursyamsu B. 1997. Kualitas Pulp Kertas Acacia Mangium Berbagai Umur Tanaman. Berita selulosa Volume XXXII(4):104-109.
41. Werner. 1980. Chemistry The Solid-Water Interface : Processes at the Mineral-Water and Partikel-Water Interface in Natural Systems. John Wiley Sons. Inc.

