



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**  
**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT**  
Jalan Raya Palembang – Prabumulih, KM 32 Indralaya Kabupaten Ogan Ilir 30662  
Telepon (0711) 581077 ;Faksimile (0711) 580053  
Laman: <http://www.lppm.unsri.ac.id>

---

KEPUTUSAN  
REKTOR UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
Nomor : 0028/UN9/SK.LP2M.PT/2019

TENTANG

REVISI PERSETUJUAN JUDUL DAN PENUNJUKAN TENAGA PELAKSANA  
PENELITIAN DOSEN **UNGGULAN KOMPETITIF TAHAP II**  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA TAHUN 2019

REKTOR UNIVERSITAS SRIWIJAYA

- Menimbang : a. bahwa untuk melaksanakan kegiatan penelitian Dosen Unggulan Kompetitif Tahap II Universitas Sriwijaya Tahun 2019 maka perlu adanya persetujuan judul penelitian dan penunjukan tenaga pelaksana penelitian;
- b. bahwa mereka yang namanya tertera dalam lampiran Surat Keputusan ini dianggap mampu dan memenuhi syarat untuk ditunjuk sebagai tenaga peneliti, judul serta besaran biaya yang tercantum pada Surat Keputusan ini;
- c. bahwa sehubungan dengan adanya perubahan sumber dana penelitian yang semula didanai PNBPU Universitas, sebagian didanai PNBPU Fakultas;
- d. bahwa sehubungan dengan huruf a dan b di atas perlu diterbitkan Surat Keputusan sebagai pedoman dan landasan hukumnya.
- Mengingat : 1. Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003, tentang Sistem Pendidikan Nasional;
2. Keputusan Menteri Keuangan Nomor 190/KMK.05/2009 tentang Penetapan Universitas Sriwijaya pada Depdiknas sebagai Instansi Pemerintahan yang Menetapkan PK-BLU;
3. Peraturan Pemerintah Nomor: 04 Tahun 2014, tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi;
4. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Nomor 12 Tahun 2015, tentang Organisasi dan Tata Kerja Universitas Sriwijaya;
5. Keputusan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor: 334/M/KP/XI/2015, tentang pengangkatan Rektor Universitas Sriwijaya;
6. Peraturan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 17 Tahun 2018 Tentang Statuta Universitas Sriwijaya.

7. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 20 tahun 2018, tentang penelitian
8. Surat Keputusan Rektor Nomor 0021/UN9/SK.LP2M.PT/2019 tanggal 18 Juli 2019 tentang persetujuan judul dan penunjukan tenaga pelaksana penelitian unggulan kompetitif tahap II.

**MEMUTUSKAN:**

**Menetapkan :** KEPUTUSAN REKTOR UNIVERSITAS SRIWIJAYA TENTANG PERSETUJUAN JUDUL DAN PENUNJUKAN TENAGA PELAKSANA PENELITIAN DOSEN UNGGULAN KOMPETITIF TAHAP II UNIVERSITAS SRIWIJAYA TAHUN 2019

**Kesatu :** Menyetujui judul penelitian, peneliti serta besaran biaya yang tercantum pada lampiran Surat Keputusan ini;

**Kedua :** Segala biaya yang timbul sebagai akibat penerbitan Surat Keputusan ini, dibebankan pada anggaran belanja Universitas Sriwijaya tahun 2019 atau dana khusus yang disediakan untuk itu;

**Ketiga :** Memberi wewenang kepada Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, serta Wakil Rektor Bidang Umum, Kepegawaian, dan Keuangan Universitas Sriwijaya untuk menandatangani Surat Perjanjian Pelaksana Penelitian.

**Keempat :** Memberi wewenang kepada Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Sriwijaya untuk melaksanakan monitoring dan evaluasi terhadap pelaksanaan penelitian serta menyetujui laporan hasil penelitian.

**Kelima :** Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di: Indralaya  
Pada tanggal : 18 September 2019

  
**REKTOR**  
ANIS SAGGAFF  
NIP 196210281989031

**Tembusan:**

1. Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi R.I.
2. Direktur Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat Kemenristekdikti R.I.
3. Wakil Rektor seluruh Bidang Universitas Sriwijaya
4. Dekan Fakultas di lingkungan Universitas Sriwijaya
5. Ketua Lembaga di lingkungan Universitas Sriwijaya
6. Kepala Biro di lingkungan Universitas Sriwijaya
7. Kepala Bagian Keuangan BUK Universitas Sriwijaya

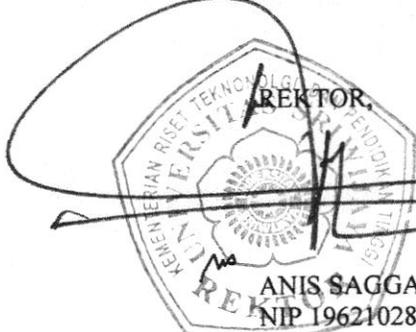
No	Nama Ketua	Nama Anggota	Judul Penelitian	Fakultas	Dana yang Diterima (Rp)
1	Hj. Nofawati, S.E., M.M.	Iisnawati, SE, M.Si; Drs. H. Akhmad Nazaruddin, M.M.	Pengaruh Experiential Marketing Terhadap Loyalitas Konsumen Pengguna Shopee Di Sumatera Selatan	Ekonomi	36,000,000
2	Emylia Yuniartie, S.E., M.Si., Ak.	Abukosim, S.E., Ak., M.M. Dra. Siti Fatimah, M.Si.	Hubungan Antara Kualitas Laporan Berkelanjutan Dan Kinerja Perusahaan Pada Perusahaan Terdaftar Di Bursa Efek Indonesia	Ekonomi	39,560,500
3	Drs. Harun DL., M.Si., Ak.	Yulia Saftiana, S.E., Ak., M.Si. Umi Kalsum, S.E., M.Si.	Determinan Kemampuan Auditor Dalam Mendeteksi Kecurangan (Studi Kasus Di Kantor Akuntan Publik Di Wilayah Sumatera Bagian Selatan)	Ekonomi	39,941,500
4	Drs. Burhanuddin, M.Acc.Ak.	Arista Hakiki, S.E., M.Acc.Ak. Dr. E. Yusnaini, S.E., M.Si., Ak.	Field Dependence Cognitive Dan Learner Aptitudes: Studi Eksperimen Atas Kinerja Mahasiswa Akuntansi	Ekonomi	37,592,000
5	Hj. Rela Sari, S.E., M.Si.	Ir. Hj. Reini Silvia Ilmiaty, M.T Hj. Rahmawati, S.T, M.T	Peningkatan Ekonomi Masyarakat Melalui Pemanfaatan Aset Satwa Liar dilindungi	Ekonomi	35,000,000
6	Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, M.S, M.T	Ir. H. Abdullah Saleh, M.S, M.Eng Dr. Hj. Rr. Harminuke EH, S.T, M.T	Pengembangan Peralatan Pembakaran Batubara Kalori Rendah Berdasarkan Pengatur Temperatur dan Waktu untuk Mengurangi Emisi Gas Metana (CH4) pada Pembakaran Batubara	Teknik	38,000,000
7	Dr. Ir. Restu Juniah, M.T	Prof. Dr. Ir. H. M. Taufik Toha, DEA Dr. Yuli Andriani, M.Si	Studi Komparatif Efektivitas Pembongkaran Batu Kapur Menggunakan Metode Surface Miner Dan Blasting Untuk Lingkungan Berkelanjutan Di Pt Semen Baturaja Tbk	Teknik	38,000,000
8	Dr. Ir. H. Marwan Asof, DEA	Ir. Mukiat, M.S Rosihan Febriato, ST,MT	Proses ekstraksi material silika dari Fly Ash menggunakan metode asam	Teknik	37,000,000
9	Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, M.T	Aneka Firdaus, S.T, M.T Amir Arifin, S.T, M.Eng	Perancangan Tungku Pengecoran Logam menggunakan bahan bakar campuran briket batubara dan biomassa menggunakan metode sandwich	Teknik	36,000,000
10	Dr. Ir. Endang WD. Hastuti, M.Sc	Dr. Azhar K. Affandi, M.S Elisabet Dwi Mayasari, S.T, M.T	Studi Aspek Geologi Terhadap Daerah Potensi Bencana Longsor di Daerah Oku Selatan dan Sekitarnya, Sumatera Selatan	Teknik	39,000,000
11	Ir. Taufik Arief, M.S	Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T Bochori, S.T, M.T	Studi Pengaruh Campuran Batubara, Gambut Dan Tempurung Kelapa Terhadap Nilai Kalori	Teknik	38,000,000

	Nama Ketua	Nama Anggota	Judul Penelitian	Fakultas	Dana yang Diterima (Rp)
12	Dr. Eng. Budhi Setiawan, S.T, M.T	Harnani, S,T.,M.T Stevanus Nalendra Jati, S.T.,M.T.	Studi Morfometri Dan Perubahan Iklim Terhadap Perubahan Aliran Sungai Di DAS MUSI Sumatera Selatan	Teknik	38.600.000
13	Ir. A. Rahman, M.S	Ir. Ubaidillah Anwar, M.S Harry Waristian, S.T.,M.T	Studi Pemanfaatan Filter Andesit Untuk Penetralkan Ph, Penurunan Konsentrasi Fe, Dan Mn Air Asam Tambang	Teknik	39.900.000
14	Dr. Ir. Laila Husin, M.Sc.	Ir. Yulius, M.M. Dr. Agustina Bidarti, S.P., M.Si.	Pengaruh Kinerja Lembaga Pemasaran Karet Terorganisir Terhadap Kualitas Bokar Dan Pendapatan Petani Di Sumatera Selatan	Pertanian	36.000.000
15	Ir. Haisen Hower, M.P.	Farry Apriliano Haskari, S.TP., M.Si. Ari Hayati, S.TP., M.Sc.	Pemanfaatan Dye Vegetasi Rawa Sebagai Sumber Pemeka Cahaya Pada Sistem Dye Sintisitized Solar Cell (DSSC)	Pertanian	35.000.000
16	Dr. Ir. Marsi, M.Sc.	Ir. Sabaruddin. M.Sc., Ph.D. Dr. Dade Jubaidah, S.Pi., M.Si.	Pengapuran Pada Sistem Budidaya Terintegrasi Jagung Yang Dipupuk N Dan Ikan Yang Diberi Pakan Dengan Dosis Berbeda Di Lahan Rawa	Pertanian	37.465.000
17	Ir. R. Mursidi, M.Si.	Dr. Ir. Hersyamsi, M.Agr. Dr. Ir. Tri Tunggal, M.Sc.	“ Inovasi Tungku Energi Biomassa Termodifikasi Sebagai Sumber Dan Transfer Panas Perebusan Dan Pengeringan Kemplang”	Pertanian	37.000.000
18	Dr. Ir. Abu Umayah, M.S.	Dr. Ir. Harman Hamidson, M.P. Dr-Phil Ir. Arinafril	Fotmulasi Biofungisida Dengan Bahan Aktif Pseudomonas Fluorescens Isolat Pf5te Untuk Mengendalikan JAP Pada Tanaman Karet	Pertanian	35.000.000
19	Ir. KH. Iskandar, M.Si.	Ir. R. Mursidi, M.Si. Ir. Endo Argo Kuncoro, M.Sc.	Penentuan Komposisi Liat Dan Pasir Pada Emiter Keramik Untuk Pembuatan Dripline Sistem Irigasi Tetes Bawah Permukaan	Pertanian	36.195.000
20	Arjuna Neni Triana, S.TP., M.Si.	Ir. KH. Iskandar, M.Si. Dr. Rizky Tirta Adhiguna, S.TP., M.Si	Optimalisasi Pengelolaan Tanah dan Air Lahan Rawa Lebak	Pertanian	39.500.000
21	Dr. Ir. Maria Fitriana, M.Sc.	Dr. Ir. Firdaus, M.Si. Dr. Ir. Erizal Sodikin	Pemanfaatan Kompos Tandan Kosong Kelapa Sawit Dan Arang Sekam Padi Untuk Mengurangi Dosis Pupuk N,P,K Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Kubis Bunga (Brassica Oleraceae Var. Botrytis L.)	Pertanian	35.000.000
22	Dr. Sardianto Markos Siahaan, M.Si., M.Pd.	Drs. Zulherman, M.Pd. Apit Fathurohman, S.Pd., M.Si., Ph.D.	Pengembangan Ebook Tiga Dimensi Sebagai Bahan Ajar Mata Kuliah Filsafat Pendidikan Untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Mahasiswa Calon Guru	FKIP	37.465.000

	Nama Ketua	Nama Anggota	Judul Penelitian	Fakultas	Dana yang Diterima (Rp)
23	Drs. Imron A. Hakim, M.S.	Dra. Evy Ratna Kartika Waty, M.Pd Dr. Azizah, M.Pd.	Studi Implementasi Standar Penyelenggaraan Program Pendidikan Kesetaraan Pada Pusat Kegiatan Belajar Masyarakat (Pkbm) Di Sumatera Selatan	FKIP	35.000.000
24	Sudirman, S.Pd., M.Si.	Dr. Kistiono, M.T. Drs. Hamdi Akhsan, M.Si.	Pengembangan Instrumen Penilaian Pengetahuan, Sikap Dan Keterampilan Ipa Berbasis Berpikir Kritis Pada Konsep Listrik Siswa Smp	FKIP	35.000.000
25	Dr. Meirizal Usra, M.Kes.	Drs. Waluyo, M.Pd. Drs. Syamsuramel, M.Kes.	Pengembangan Model Pembelajaran Salto Kedepan Melalui Media Alat Bantu Tali	FKIP	35.000.000
26	Dr. Iyakrus, M.Kes.	Silvi Aryanti, M.Pd. Dr. Syafaruddin, M.Kes.	Pengembangan Model Test Cabang Olahraga Untuk Mengukur Kebugaran Fisik Atlit Pon (Pekan Olahraga Nasional) Sumatera Selatan Tahun 2020 Melalui Aplikasi	FKIP	35.000.000
27	Dr. Kistiono, M.T.	Dr. Sardianto Markos Siahaan, M.Si., M.Pd. Sudirman, S.Pd., M.Si.	Pengembangan Petunjuk Praktikum Berbasis Inkuiri Terbimbing Untuk Meningkatkan Keterampilan Generik Sains Mahasiswa Calon Guru Pada Perkuliahan Laboratorium Fisika	FKIP	35.000.000
28	Dra. Harlina, M.Sc.	Dr. Yosef, M.A. Rani Mega Putri, S.Pd., M.Pd.Kons.	Pengembangan Media Bimbingan Klasikal Dengan Materi Penyesuaian Diri Siswa Pada Aspek Pengembangan Diri	FKIP	35.000.000
29	Dra. Murniati, M.Si.	Dr. Sardianto Markos Siahaan, M.Si., M.Pd. Muhammad Muslim, S.Pd., M.Si.	Pengembangan Bahan Ajar Berbasis Praktikum Sebagai Upaya Meningkatkan Profesional Mahasiswa Sebagai Calon Guru Fisika	FKIP	36.195.000
30	Dr. Didi Tahyudin, M.Pd.	Yanti Karmila Nengsih, M.Pd. Drs. Imron A. Hakim, M.S.	Peran Sanggar Kegiatan Belajar (SKB) sebagai Satuan Pendidikan Luar Sekolah dalam Membangun Mutu Sumber Daya Manusia	FKIP	35.000.000
31	Wijaya Mardiansyah, S.Si., M.Si	Sutopo, S.Si., M.Si. Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc.	Analisis Dampak Sekat Kanal Di Area Ksm Padang Sugihan Terhadap Anomaly Penurunan Level Muka Air Di Hulu S. Sugihan	MIPA	41.000.000
32	Dr. Suheryanto, M.Si.	Zainal Fanani, M.Si. Elvi Sunarsih, S.KM., M.Kes	Pengembangan Metode Potensiometri Untuk Spesiasi Logam Berat Di Lingkungan Perairan Sekitar TPA Sukawinatan	MIPA	41.275.000
33	Zainal Fanani, M.Si.	Drs. Pradanto P, DEA. Drs. Almunady T. Panagan, M.Si	Hidrorengkah Bio-Oil Produk Pirolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Katalis Zeolit Terimpregnasi	MIPA	38.000.000

	Nama Ketua	Nama Anggota	Judul Penelitian	Fakultas	Dana yang Diterima (Rp)
34	Drs. Arsali, M.Sc.	Dr. Azhar K. Affandi, M.S. Drs. Octavianus C.S, M.T.	Penerapan Skema Parameterisasi Kumulus Betts-Miller-Janjic (Bmj) Pada Advanced Research Wrf – Weather Research And Forecasting (Wrf-Arw) Untuk Prakiraan Curah Hujan Kota Palembang Dan Sekitarnya	MIPA	36.000.000
35	Doni Setiawan, S.Si. M.Si.	Dr. Zazili Hanafiah, M.Sc. Drs. Hanifa Marisa, MS.	Studi Keanekaragaman Hayati Burung Air dan Biota Perairan sebagai Indikator Kualitas Lingkungan Kawasan Rawa Tanjung Senai dan Potensi Dasar Ekowisata di Kota Indralaya Kabupaten Ogan Ilir	MIPA	36.000.000
<b>Total dana</b>					<b>1.294.689.000</b>

Terbilang : Satu milyar dua ratus sembilan puluh empat juta enam ratus delapan puluh sembilan ribu rupiah


  
 REKTOR.  
 ANIS SAGGAFF  
 NIP. 196210281989031002



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT  
Jalan Palembang-Prabumulih, KM 32 Inderalaya, Kabupaten Ogan Ilir (30662)  
Telepon (0711) 581077, Faks (0711) 580053  
Website: [www.lppm.unsri.ac.id](http://www.lppm.unsri.ac.id) Email: [lemlit.unsri\\_lp@yahoo.com](mailto:lemlit.unsri_lp@yahoo.com)

**KONTRAK PENELITIAN UNGGULAN KOMPETITIF TAHAP II  
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
Tahun Anggaran 2019  
Nomor : 0208.05/UN9/SB3.LP2M.PT/2019**

Pada hari ini Jum'at tanggal dua puluh bulan September tahun Dua Ribu Sembilan Belas, kami yang bertandatangan dibawah ini :

1. Prof. Dr. Ir. Muhammad Said, M.Sc : Sebagai Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Sriwijaya yang berkedudukan di Inderalaya dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama Rektor Universitas Sriwijaya, yang berkedudukan di Jalan Palembang-Prabumulih, KM 32 Inderalaya, Kabupaten Ogan Ilir untuk selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA**;
2. Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, M.S, M.T : Dosen Fakultas Teknik dalam hal ini bertindak sebagai pengusul dan Ketua Pelaksana Penelitian Tahun Anggaran 2019 untuk selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

**PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA**, secara bersama-sama sepakat mengikatkan diri dalam suatu Kontrak Penelitian Unggulan Kompetitif Anggaran 2019 dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagai berikut:

**Pasal 1  
Ruang Lingkup Kontrak**

**PIHAK PERTAMA** memberi pekerjaan kepada **PIHAK KEDUA** dan **PIHAK KEDUA** menerima pekerjaan tersebut dari **PIHAK PERTAMA**, untuk melaksanakan dan menyelesaikan Penelitian Unggulan Kompetitif Tahun Anggaran 2019 dengan judul "**Pengembangan Peralatan Pembakaran Batubara Kalori Rendah Berdasarkan Pengatur Temperatur dan Waktu untuk Mengurangi Emisi Gas Metana (CH<sub>4</sub>) pada Pembakaran Batubara**"

**Pasal 2  
Dana Penelitian**

- (1) Besarnya dana untuk melaksanakan penelitian dengan judul sebagaimana dimaksud pada Pasal 1 Pada Tahun 2019 sebesar Rp 38.000.000,- (Tiga puluh delapan juta rupiah) sudah termasuk pajak
- (2) Dana Penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibebankan pada Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Nomor SP DIPA 042.01.2.400953/2019, dan Digital Stamp : 2006-0434-2510-9871 tanggal Revisi 24 Juni 2019

**Pasal 3**  
**Jangka Waktu**

- (1) Kontrak Penelitian ini dilaksanakan dalam jangka waktu 1 (satu) tahun yang mulai berlaku sejak tanggal 20 September 2019.
- (2) Keberlanjutan penelitian ditentukan berdasarkan hasil penilaian atas capaian tahun berjalan yang dilakukan oleh Komite Penilaian Keluaran dan/atau Reviewer Luaran Penelitian.

**Pasal 4**  
**Tata Cara Pembayaran Dana Penelitian**

- (1) **PIHAK PERTAMA** akan membayarkan Dana Penelitian kepada **PIHAK KEDUA** secara bertahap yaitu :
  - a. Pembayaran Tahap pertama (70 %) sebesar Rp 26.600.000,- (Dua puluh empat juta lima ratus ribu rupiah) sudah termasuk pajak yang akan dibayarkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** setelah merevisi proposal penelitian;
  - b. Pembayaran Tahap kedua (30%) sebesar Rp 11.400.000,- (Sepuluh juta lima ratus ribu rupiah) sudah termasuk pajak yang akan dibayarkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** setelah Pihak Pertama menerima Dokumen berupa Laporan Akhir pelaksanaan Penelitian, Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian yangtelah ditetapkan.
- (2) Dana Penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) akan disalurkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** ke rekening sebagai berikut:

Nama	: Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, M.S, M.T
Nomor Rekening	: 0070538570
Nama Bank	: BNI

- (3) **PIHAK PERTAMA** tidak bertanggung jawab atas keterlambatan dan/atau tidak terbayarnya sejumlah dana sebagaimana dimaksud pada ayat (1) yang disebabkan karena kesalahan **PIHAK KEDUA** dalam menyampaikan data peneliti, nama bank, nomor rekening, dan persyaratan lainnya yang tidak sesuai dengan ketentuan.

**Pasal 5**  
**Target Luaran**

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk mencapai target luaran wajib berupa **Artikel Ilmiah di jurnal internasional bereputasi atau artikel ilmiah di jurnal nasional terakreditasi SINTA**
- (2) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk melaporkan perkembangan pencapaian target luaran sebagaimana dimaksud pada ayat (1) kepada **PIHAK PERTAMA**.

**Pasal 6**  
**Hak dan Kewajiban Para Pihak**

- (1) Hak dan Kewajiban **PIHAK PERTAMA**:
  - a. **PIHAK PERTAMA** berhak untuk mendapatkan dari **PIHAK KEDUA** luaran penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5;
  - b. **PIHAK PERTAMA** berkewajiban untuk memberikan dana penelitian kepada **PIHAK KEDUA** dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) dan dengan tata cara pembayaran sebagaimana dimaksud dalam Pasal 4.

(2) Hak dan Kewajiban **PIHAK KEDUA**:

- a. **PIHAK KEDUA** berhak menerima dana penelitian dari **PIHAK PERTAMA** dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1);
- b. **PIHAK KEDUA** berkewajiban menyerahkan kepada **PIHAK PERTAMA** luaran Penelitian Unggulan Kompetitif berupa Artikel Ilmiah di jurnal internasional bereputasi atau artikel ilmiah di jurnal nasional terakreditasi SINTA.
- c. **PIHAK KEDUA** berkewajiban Bukti Artikel jurnal yang sudah di submit/accepted ke LPPM sebelum tanggal 3 Desember 2019 dan berkewajiban mengupload bukti jurnal yang sudah di submit/accepted di SIM LPPM Universitas Sriwijaya.
- d. **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk bertanggungjawab dalam penggunaan dana penelitian yang diterimanya sesuai dengan proposal kegiatan yang telah disetujui;
- e. **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk menyampaikan kepada **PIHAK PERTAMA** laporan penggunaan dana sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7.

**Pasal 7**

**Laporan Pelaksanaan Penelitian**

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk menyampaikan kepada **PIHAK PERTAMA** berupa laporan kemajuan dan laporan akhir serta luaran penelitian.
- (2) **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengunggah Laporan Kemajuan pelaksanaan penelitian, Catatan Harian pelaksanaan penelitian dan Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah di tetapkan, ke SIM LPPM paling lambat tanggal **8 November 2019**
- (3) **PIHAK KEDUA** berkewajiban menyerahkan dokumen hasil unggahan di laman SIM LPPM Laporan Kemajuan pelaksanaan penelitian, Catatan Harian pelaksanaan penelitian dan Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan, laporan akhir penelitian dan luaran penelitian ke LPPM paling **03 Desember 2019**
- (4) Laporan hasil Penelitian sebagaimana tersebut pada ayat (4) harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:
  - a. Bentuk/ukuran kertas A4;
  - b. Di bawah bagian cover ditulis:

Dibiayai oleh:

Anggaran DIPA Badan Layanan Umum  
Universitas Sriwijaya tahun anggaran 2019

SP DIPA 042.01.2.400953/2019, dan Digital Stamp : 3206-0434-2510-9871 tanggal Revisi 24  
Juni 2019 Sesuai dengan SK Rektor Penelitian Unggulan Kompetitif Tahap II  
Nomor: 0027/UN9/SK.LP2M.PT/2019  
Tanggal 18 September 2019

**Pasal 8**

**Monitoring dan Evaluasi**

**PIHAK PERTAMA** dalam rangka pengawasan akan melakukan Monitoring dan Evaluasi internal terhadap kemajuan pelaksanaan Penelitian Tahun Anggaran 2019.

**Pasal 9**  
**Penilaian Luaran**

- (1) Penilaian luaran penelitian dilakukan oleh Komite Penilai/*Reviewer* Luaran sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
- (2) Apabila dalam penilaian luaran terdapat luaran tambahan yang tidak tercapai maka dana tambahan yang sudah diterima oleh peneliti harus disetorkan kembali kekas negara.

**Pasal 10**  
**Perubahan Susunan Tim Pelaksana dan Substansi Pelaksanaan**

Perubahan terhadap susunan tim pelaksana dan substansi pelaksanaan Penelitian ini dapat dibenarkan apabila telah mendapat persetujuan tertulis dari Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Sriwijaya

**Pasal 11**  
**Penggantian Ketua Pelaksana**

- (1) Apabila **PIHAK KEDUA** selaku ketua pelaksana tidak dapat melaksanakan Penelitian ini, maka **PIHAK KEDUA** wajib mengusulkan pengganti ketua pelaksana yang merupakan salah satu anggota tim kepada **PIHAK PERTAMA**.
- (2) Apabila **PIHAK KEDUA** tidak dapat melaksanakan tugas dan tidak ada pengganti ketua sebagaimana dimaksud pada ayat(1), maka **PIHAK KEDUA** harus mengembalikan dana penelitian kepada **PIHAK PERTAMA** yang selanjutnya disetor ke Kas Negara.
- (3) Bukti setor sebagaimana dimaksud pada ayat (2) disimpan oleh **PIHAK PERTAMA**.

**Pasal 12**  
**Sanksi**

- (1) Apabila sampai dengan batas waktu yang telah ditetapkan untuk melaksanakan Penelitian ini telah berakhir, namun **PIHAK KEDUA** belum menyelesaikan tugasnya, terlambat mengirim laporan Kemajuan, dan/atau terlambat mengirim laporan akhir, maka **PIHAK KEDUA** dikenakan sanksi administratif berupa penghentian pembayaran dan tidak dapat mengajukan proposal penelitian dalam kurun waktu dua tahun berturut-turut.
- (2) Apabila **PIHAK KEDUA** tidak dapat mencapai target luaran sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5, maka kekurangan capaian target luaran tersebut akan dicatat sebagai hutang **PIHAK KEDUA** kepada **PIHAK PERTAMA** yang apabila tidak dapat dilunasi oleh **PIHAK KEDUA**, akan berdampak pada kesempatan **PIHAK KEDUA** untuk mendapatkan pendanaan penelitian atau hibah lainnya yang dikelola oleh **PIHAK PERTAMA**.

**Pasal 13**  
**Pembatalan Perjanjian**

- (1) Apabila dikemudian hari Terhadap Judul Penelitian Sebagaimana dimaksud dalam pasal 1 Ditemukanakanya duplikasi dengan penelitian Lain dan/Atau ditemukanaanya ketidakjujuran, Itikad Tidak Baik, dan/Atau Perbuatan Yang Tidak sesuai dengan kaidah ilmiah dari atau Dilakukan Oleh **PIHAK KEDUA**, Maka Perjanjian Penelitian Ini dinyatakan Batal dan **PIHAK KEDUA**Wajib Mengembalikan Dana Penelitian Yang Telah Diterima Kepada **PIHAK PERTAMA**Yang Selanjutnya Akan Disetor Ke Kas Negara.
- (2) Bukti setor sebagaimana dimaksud pada ayat (1) disimpan oleh **PIHAK PERTAMA**.

**Pasal 14**  
**Pajak-Pajak**

Hal-hal dan/atau segala sesuatu yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa PPN dan/atau PPh menjadi tanggungjawab **PIHAK KEDUA** dan harus dibayarkan oleh **PIHAK KEDUA** ke kantor pelayanan pajak setempat sesuai ketentuan yang berlaku.

**Pasal 15**  
**Peralatan dan/alat Hasil Penelitian**

Hasil Pelaksanaan Penelitian ini yang berupa peralatan dan/atau alat yang dibeli dari pelaksanaan Penelitian ini adalah milik Negara yang dapat dihibahkan kepada Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

**Pasal 16**  
**Penyelesaian Sengketa**

Apabila terjadi perselisihan antara **PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** dalam pelaksanaan perjanjian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dan mufakat, dan apabila tidak tercapai penyelesaian secara musyawarah dan mufakat maka penyelesaian dilakukan melalui proses hukum.

**Pasal 17**  
**Lain-lain**

- (1) **PIHAK KEDUA** menjamin bahwa penelitian dengan judul tersebut di atas belum pernah dibiayai dan/atau diikutsertakan pada Pendanaan Penelitian lainnya, baik yang diselenggarakan oleh instansi, lembaga, perusahaan atau yayasan, baik di dalam maupun di luar negeri.
- (2) Segala sesuatu yang belum cukup diatur dalam Perjanjian ini dan dipandang perlu diatur lebih lanjut dan dilakukan perubahan oleh **PARA PIHAK**, maka perubahan-perubahannya akan diatur dalam perjanjian tambahan atau perubahan yang merupakan satu kesatuan dan bagian yang tidak terpisahkan dari Perjanjian ini.

Perjanjian ini dibuat dan ditandatangani oleh **PARA PIHAK** pada hari dan tanggal tersebut di atas, dibuat dalam rangkap 3 (tiga) dan bermaterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku, yang masing-masing mempunyai kekuatan hukum yang sama.

PIHAK PERTAMA

PIHAK KEDUA

Prof. Dr. Ir. Muhammad Said, M.Sc  
NIP : 196108121987031003

Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, M.S, M.T  
NIP : 195909251988111001

**Bidang Penelitian: Rekayasa/Keteknikan**

**LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN UNGGULAN KOMPETITIF  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**PENGEMBANGAN PERALATAN PEMBAKARAN BATUBARA  
KALORI RENDAH BERDASARKAN PENGATUR TEMPERATUR  
DAN WAKTU UNTUK MENGURANGI EMISI GAS METANA (CH<sub>4</sub>)**



**Ketua : Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, MS., MT/0025095903**  
**Anggota : Dr. Hj. RR. Harminuke Eko Handayani, ST., MT/0009026905**  
**Ir. H. Abdullah Saleh, MS., M.Eng/0026045305**

**Dibiayai oleh:**

**Anggaran DIPA Badan Layanan Umum  
Universitas Sriwijaya tahun anggaran 2019  
SP DIPA 042.01.2.400953/2019, dan Digital Stamp : 3206-0434-2510-9871 tanggal Revisi  
24 Juni 2019 Sesuai dengan SK Rektor Penelitian Unggulan Kompetitif Tahap II  
Nomor: 0027/UN9/SK.LP2M.PT/2019  
Tanggal 18 September 2019**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
NOPEMBER 2019**

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**PENELITIAN UNGGULAN KOMPETITIF**

1. Judul Penelitian : Pengembangan Peralatan Pembakaran Batubara Kalori Rendah Berdasarkan Variasi Temperatur dan Waktu untuk Mengurangi Emisi Gas Metana (CH<sub>4</sub>)
2. Bidang Penelitian : Rekayasa/Keteknikan
3. Ketua Peneliti
  - a. Nama Lengkap : Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, MS., MT
  - b. Jenis Kelamin : Laki-laki
  - c. NIP : 195909251988111001
  - d. Pangkat dan Golongan : Pembina/IV/a
  - e. Jabatan Struktural : Kepala Laboratorium Perancangan dan Optimasi Tambang
  - f. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
  - g. Perguruan Tinggi : Universitas Sriwijaya
  - h. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Pertambangan
  - i. Alamat Kantor : Jalan Raya Prabumulih KM. 32 Indralaya OI (30662)
  - j. Telepon/Fax : (0711) 580739/(0711) 580741
  - k. Alamat Rumah : Kompleks Tirta Kencana Blok A No. 4 Sukamaju Palembang (30164)
  - l. Telepon/HP/Fax/E-mail : (0711) 814011/08127103741/maulanaysf@yahoo.co.id
4. Jangka Waktu Penelitian : 1 (satu) tahun
5. Jumlah yang diajukan : Rp. 38.000.000,-

Indralaya, Nopember 2019



Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya

Prof. Ir. H. Subiyer Nasir, MS., PhD  
NIP. 196009091987031004

Ketua Peneliti,

Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, MS., MT  
NIP. 195909251988111001

Menyetujui,  
Ketua Lembaga Penelitian  
Universitas Sriwijaya



Prof. Dr. Ir. H. M. Said, M.Sc  
NIP. 196108121987031003

## IDENTITAS PENELITIAN

1. Judul Usulan : Pengembangan Peralatan Pembakaran Batubara Kalori Rendah Berdasarkan Pengatur Temperatur dan Waktu untuk Mengurangi Emisi Gas Metana (CH<sub>4</sub>)
2. Ketua Peneliti  
 (a) Nama Lengkap : Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, MS., MT  
 (b) Bidang Keahlian : Ilmu Lingkungan Pertambangan dan CBM
3. Anggota Peneliti

No.	Nama dan Gelar	Keahlian	Institusi	Curahan Waktu (jam/minggu)
1	Dr. Hj. RR. Harminuke Eko Handayani, ST., MT	Teknik Pertambangan	Jurusan Teknik Pertambangan FT. Unsri	20
2	Ir. H. Abdullah Saleh, MS., M. Eng	Teknik Kimia	Jurusan Teknik Kimia FT. Unsri	20

4. Isu Strategis : Emisi gas metana (CH<sub>4</sub>) pada pembakaran batubara kalori rendah sangat berpengaruh pada pemanasan global (*global warming*)
5. Topik Penelitian : Pengelolaan emisi gas metana (CH<sub>4</sub>) pada PLTU
6. Objek Penelitian : Emisi Gas metana (CH<sub>4</sub>) dari pembakaran batubara
7. Lokasi Penelitian : PLTU Banjarsari Kabupaten Lahat
8. Hasil yang ditargetkan : Peralatan dan validasi komponen/subsistem emisi gas Metana (CH<sub>4</sub>) dalam lingkungan laboratorium
9. Institusi lain yang terlibat : PT. Bukit Asam (Persero), Tbk Tanjung Enim dan PT. Bukit Pembangkit Innovative Kabupaten Lahat
10. Sumber biaya lain : Tidak ada
11. Keterangan lain : Tidak ada

## RINGKASAN

Kebijakan Pemerintah Indonesia yang telah dituangkan dalam peraturan perundang-undangan dan dokumen energi lainnya sejak tahun 2006 telah mengarahkan pemanfaatan sumber energi alternatif seperti batubara dan energi terbarukan. Kebijakan tersebut dimaksudkan untuk mendorong peran dunia usaha dalam pengembangan bahan bakar alternatif sebagai pengganti minyak dan gas bumi yang semakin berkurang cadangannya. Batubara yang potensinya di Indonesia sangat besar masih dimanfaatkan untuk pembangkit tenaga listrik, industri, dan kegiatan lainnya. Pemanfaatan batubara untuk kegiatan tersebut masih menggunakan batubara kalori rendah (*low rank coal*) di bawah 5.000 kkal/kg terutama lignit dan sub bituminus sedangkan untuk batubara kalori tinggi di atas 5.000 kkal/kg (bituminus) masih belum dimanfaatkan secara intensif oleh PLTU di Indonesia. Permasalahan yang terjadi terhadap batubara kalori rendah sebagai bahan bakar PLTU sifatnya yang polutif dimana akan terbentuk gas rumah kaca, seperti: gas CO<sub>2</sub> dan gas metana (CH<sub>4</sub>). Khusus emisi gas CH<sub>4</sub> dari pembakaran batubara kalori rendah tersebut sangat berpengaruh pada pemanasan global (*global warming*) karena potensinya 21-25 kali lebih besar dari gas CO<sub>2</sub>. Tujuan umum penelitian ini adalah menentukan efisiensi, pengaruh temperatur dan waktu pembakaran batubara terhadap emisi gas metana batubara. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah gabungan antara penelitian laboratorium dengan penelitian lapangan dengan melihat variasi temperatur dan waktu pada pembakaran batubara dan melihat pola temperatur dan waktu terhadap emisi gas CH<sub>4</sub>. Batubara yang digunakan sebagai sampel adalah batubara yang terdapat pada *stockpile* di PLTU dengan kalori antara 4.000-5.000 kkal/kg yang digunakan sebagai bahan bakar untuk memanaskan *boiler*. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi untuk batubara kalori rendah mencapai 83,95 %, pengaruh temperatur dan waktu pembakaran batubara terhadap emisi gas metana menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur dan waktu pembakaran maka akan semakin tinggi emisi gas metana. Pembakaran batubara kalori rendah sebagai bahan bakar PLTU sangat bergantung pada efisiensi peralatan, temperatur dan waktu pembakaran yang digunakan. Penggunaan temperatur dan waktu pembakaran batubara kalori rendah yang tepat akan sangat berpengaruh terhadap pengurangan emisi gas CH<sub>4</sub>. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengembangkan peralatan pembakaran batubara kalori rendah dengan pengatur temperatur dan waktu pembakaran dalam skala laboratorium yang tepat sehingga dapat mengurangi emisi gas CH<sub>4</sub> yang terjadi.

**Kata Kunci:** emisi gas metana (CH<sub>4</sub>), batubara kalori rendah, lignit, sub bituminus, bituminus, pemanasan global

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### A. LATAR BELAKANG

Sektor pertambangan merupakan salah satu sektor yang diandalkan untuk mendorong pertumbuhan ekonomi dalam mendukung pembangunan di Indonesia. Batubara digunakan sebagai sumberdaya energi merupakan sumberdaya yang tidak dapat diperbaharui (*non renewable resources*) sehingga pemanfaatannya harus seoptimal mungkin dengan memperhatikan dampak lingkungan yang ditimbulkannya. Permasalahan yang terjadi pada masa yang akan datang adalah semakin langka keberadaan batubara akan semakin menawarkan nilai ekonomi yang menjanjikan. Permintaan batubara baik sebagai bahan bakar industri maupun pembangkit listrik akan semakin meningkat dan berdampak pada meningkatnya jumlah pengusaha yang tertarik untuk melakukan kegiatan usaha pertambangan. Peningkatan jumlah pengusaha di sektor pertambangan tersebut karena penerbitan izin usaha pertambangan (IUP) kepada pemerintah daerah khususnya pemerintah provinsi.

Potensi batubara Sumatera Selatan yang sangat besar memberikan peluang dibangunnya Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Mulut Tambang karena cadangannya mencapai 48,63% dari cadangan batubara nasional. Potensi sumberdaya batubara di Sumatera Selatan sebesar 59.254,24 juta ton sedangkan cadangan batubara mencapai 13.625,21 juta ton. Potensi batubara yang sangat besar tersebut didominasi hampir 70% oleh batubara kalori rendah (*low rank coal*) di bawah 5.000 kkal/kg seperti lignit dan sub bituminus.

Pemanfaatan batubara kalori rendah sebagai bahan bakar PLTU disamping sangat menguntungkan karena harganya murah dan sesuai dengan *setting boiler* yang digunakan juga memberikan dampak lingkungan yang signifikan. Gas yang muncul pada pembakaran batubara tersebut merupakan gas CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> merupakan gas rumah kaca yang sangat berpengaruh terhadap pemanasan global (*global warming*). Gas CH<sub>4</sub> merupakan gas yang sangat potensial penyebab terjadinya pemanasan global karena dampaknya 21-25 kali lebih besar dari gas CO<sub>2</sub>. Oleh karena itu, batubara kalori rendah yang digunakan sebagai bahan bakar sering disebut bahan bakar polutif. Batubara kalori rendah mempunyai sifat fisika dan

kimia sangat tinggi, seperti: kadar air, kadar abu, dan zat terbang jika dibakar akan terjadi pembakaran tidak sempurna yang membentuk gas  $\text{CH}_4$  secara intensif.

Emisi gas  $\text{CH}_4$  dari pembakaran batubara kalori rendah juga terjadi pada PLTU terutama pada pembuangan gas hasil pembakaran pada cerobong. Oleh karena itu, penelitian emisi gas  $\text{CH}_4$  pada pembakaran batubara kalori rendah di PLTU perlu diamati baik proses pembakarannya maupun gas  $\text{CH}_4$  yang ditimbulkannya. Di samping itu, penelitian ini juga akan mengembangkan peralatan pembakaran batubara dengan variasi temperatur untuk melihat pola temperatur terhadap emisi gas  $\text{CH}_4$ .

## **B. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini mempunyai tujuan umum adalah mitigasi emisi gas  $\text{CH}_4$  pada pembakaran batubara di PLTU dari dari sektor pertambangan dan energi untuk mengurangi terjadinya pemanasan global. Sedangkan tujuan khusus dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Efisiensi peralatan pembakaran batubara kalori rendah;
2. Analisis pengaruh temperatur pembakaran batubara kalori rendah terhadap emisi gas metana batubara;
3. Analisis pengaruh waktu pembakaran batubara kalori rendah terhadap emisi gas metana batubara.

## **C. Urgensi Penelitian**

Urgensi penelitian adalah salah satu usaha mitigasi emisi gas  $\text{CH}_4$  pada pembakaran batubara di PLTU dari sektor pertambangan dan energi untuk mengurangi terjadinya pemanasan global yang semakin meningkat akhir-akhir ini. Pembakaran batubara kalori rendah untuk pemanasan boiler akan menyebabkan terbentuknya gas  $\text{CH}_4$ . Pembentukan gas tersebut disebabkan karena sifat fisik dan kimianya dimana zat terbang (karbon dan hidrogen) mudah menguap membentuk ikatan C-H terutama gas  $\text{CH}_4$ . Semakin rendah kalori batubara maka akan semakin intensif terbentuknya gas  $\text{CH}_4$  jika batubara tersebut dibakar. Fenomena tersebut menyebabkan akan menyebabkan semakin banyaknya gas  $\text{CH}_4$  yang terbentuk di udara yang menyebabkan semakin intensifnya pemanasan global dan perubahan iklim yang ekstrim. Oleh karena itu, perlu diteliti karakteristik emisi gas  $\text{CH}_4$  pada pembakaran batubara kalori rendah terhadap pengatur temperatur dan waktu.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Proses Pembakaran Batubara

Batubara merupakan bahan bakar organik yang jika dibakar akan menghasilkan gas, *tar*, dan arang batubara (*char*). Proses pembakaran batubara sudah banyak dilakukan oleh peneliti dalam rangka mempelajari karakteristik pembakaran (Sodikin *et al.*, 2012; Xu and Qiao, 2012; Zhou, 2014).

Gas hasil pembakaran batubara berupa CO, SO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S dan gas rumah kaca seperti CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>. *Tar* adalah cairan hitam kecoklatan yang dapat digunakan untuk bahan bakar cair sedangkan *char* adalah padatan berupa arang batubara yang akan terbakar menjadi panas yang hasil akhirnya berupa debu dan material hasil (*fly ash dan bottom ash*). Sulistyanto (2006) and Xu and Qiao (2012) menjelaskan model proses pembakaran batubara dalam pembentukan gas, *tar*, dan *char* akan terjadi dalam tiga tahapan pembakaran, yaitu: (1) Pemanasan dan pengeringan batubara (*heating and drying*), (2) Devolatilisasi dan pirolisis (*devolatilization and pyrolysis*), dan (3) pembakaran arang (*char combustion*).

##### 1. Pemanasan dan pengeringan batubara (*heating and drying*)

Tahap pertama dari pembakaran batubara adalah proses pemanasan dan pengeringan batubara. Faktor utama yang berpengaruh dalam tahapan ini adalah kandungan air dari batubara tersebut. Batubara yang mempunyai *total moisture* tinggi maka waktu pemanasan dan pengeringan akan lebih lama dan temperatur pembakaran akan lebih rendah. Sedangkan batubara dengan *total moisture* rendah maka waktu pemanasan dan pengeringan akan lebih cepat dan temperatur pembakaran akan lebih tinggi (Sodikin *et al.*, 2012). *Total moisture* pada batubara terdapat dalam dua kondisi, yaitu kandungan air bebas (*free water*) berupa air yang terdapat pada permukaan batubara yang mengisi pori-pori dan kandungan air terikat (*bound water*) yang terserap pada permukaan bagian dalam batubara. Pelepasan uap air (H<sub>2</sub>O) secara kontinyu akan menyebabkan temperatur batubara akan meningkat karena *total moisture* pada batubara akan semakin berkurang. Proses pemanasan dan pengeringan dinyatakan selesai jika telah terbentuk gas CO yang muncul pertama kali dan disusul oleh pelepasan zat terbang lainnya pada temperatur yang rendah. Proses pemanasan dan

pengeringan batubara terjadi pada temperatur rendah antara 0° - 50° C akan menyebabkan terjadinya penguapan terutama air dengan reaksi sebagai berikut (Bell *et al.*, 2011):



Reaksi (4.1) terjadi sangat intensif pada batubara kalori rendah dengan *total moisture* relatif tinggi sampai 70%. Temperatur pembakaran yang terjadi juga relatif rendah. Dampak penguapan air pada batubara kalori tinggi relatif sangat kecil karena *total moisture* juga kecil (Bell *et al.*, 2011).

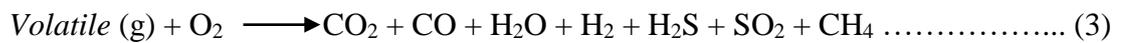
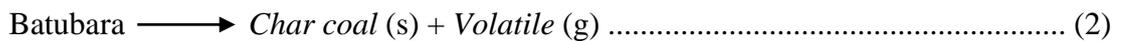
## 2. Devolatilisasi dan pirolisis (*devolatization and pyrolysis*)

Proses pelepasan zat terbang terjadi pada saat batubara mengalami dekomposisi dari hasil pemanasan dan pengeringan. Struktur batubara akan mengalami pecahnya ikatan kimia akibat panas yang terjadi dan zat terbang akan terlepas dari batubara. Zat terbang yang terjadi terutama gas yang mudah meledak (*combustion gas*) dan gas yang tidak meledak (*non combustion gas*). Gas yang mudah meledak terdiri dari CO, CO<sub>2</sub>, SO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, dan CH<sub>4</sub> sedangkan gas yang tidak meledak terdiri dari H<sub>2</sub>O dan *tar*.

Reaksi oksigen dengan batubara akan terjadi pada temperatur yang rendah (0-50°C) menimbulkan pelepasan zat terbang yang dihasilkan dari pemanasan dan pengeringan batubara. Molekul oksigen akan terserap pada permukaan batubara menyebabkan reaksi eksotermal dengan peningkatan panas secara perlahan-lahan. Laju reaksi akan semakin meningkat dengan meningkatnya temperatur sampai terjadi pembakaran batubara. Waktu yang dibutuhkan dari awal proses sampai terjadinya pembakaran batubara disebut sebagai periode inkubasi (*incubation period*). Pembakaran terjadi pada temperatur rendah karena dalam tahapan ini panas yang dihasilkan juga digunakan untuk memanaskan air yang terdapat pada batubara dan pelepasan zat terbang.

Batubara yang mulai terbakar akan membentuk CO<sub>2</sub> dan uap air (H<sub>2</sub>O). Pembakaran yang sempurna akan terjadi jika semua unsur karbon pada batubara terbakar seluruhnya akan membentuk gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O sedangkan jika pembakaran tidak sempurna akan terbentuk gas CO. Pembakaran tidak sempurna juga terjadi jika konsentrasi oksigen menurun secara signifikan. Proses pembakaran batubara yang terjadi pada tahap ini adalah devolatilisasi di mana masih terdapat konsentrasi oksigen disusul pirolisis jika konsentrasi oksigen menurun secara drastis bahkan menjadi nol. Temperatur pembakaran yang terjadi antara 50-75 °C tergantung pada kalori batubara yang terbakar (Xu and Qiao, 2012).

Tahap selanjutnya dari pembakaran batubara adalah pembentukan CO, CO<sub>2</sub>, SO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>O, dan CH<sub>4</sub> pada temperatur yang lebih tinggi tergantung pada kalori batubara yang dibakar. Temperatur pembakaran batubara kalori tinggi juga akan lebih tinggi sedangkan temperatur pembakaran pada batubara kalori rendah akan lebih rendah. Proses devolatilisasi dan pirolisis akan menyebabkan terjadinya arang batubara. Proses devolatilisasi dan pirolisis pada tahap ini akan menghasilkan reaksi sebagai berikut (Bell *et al.*, 2011):



Reaksi (2) dan (3) terjadi pada proses devolatilisasi dan pirolisis yang membentuk *char* dan pelepasan zat terbang. Zat terbang akan bereaksi dengan O<sub>2</sub> membentuk berbagai macam gas terutama CO, CO<sub>2</sub>, SO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>, dan *tar*.

### 3. Pembakaran arang batubara (*char*)

Tahap terakhir dari pembakaran batubara adalah pembakaran arang batubara membentuk cairan berwarna coklat kehitaman (*tar*) yang sangat potensial sebagai bahan bakar cair. Abu batubara juga terbentuk dari tahapan pembakaran tersebut berupa abu terbang (*fly ash dan bottom ash*). Pembakaran batubara juga membentuk gas CO, CO<sub>2</sub>, SO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan CH<sub>4</sub>. Reaksi global pembakaran arang batubara dapat dituliskan sebagai berikut (Bel *et al.*, 2011, Basu, 2013):



Reaksi 4 merupakan reaksi yang terjadi membentuk gas CH<sub>4</sub>. Reaksi (4) disebut reaksi metanasi (*methanation reaction*).

## B. Teknologi Pembakaran Batubara

Batubara dapat dibagi menjadi lima peringkat (*rank*), yaitu: gambut (*peat*), lignit (*lignite*), sub bituminus (*subbituminous*), bituminus (*bituminous*), dan antrasit (*anthracite*). Gambut merupakan langkah awal dari pembentukan batubara. Proses temperatur dan tekanan yang tinggi secara bertahap dengan waktu yang relatif panjang dan berturut-turut akan membentuk batubara lignit, sub bituminus, bituminus, dan antrasit.

Proses pembentukan batubara akan menyebabkan batubara peringkat rendah mempunyai *total moisture* yang tinggi dan kandungan karbon yang rendah. Sebaliknya batubara peringkat tinggi akan mempunyai *total moisture* yang rendah dan kandungan karbon yang tinggi. Batubara peringkat tinggi akan terbakar sempurna dan emisi gas yang terjadi relatif lebih kecil. Sedangkan batubara peringkat rendah akan terjadi emisi gas relatif lebih besar karena terjadi pembakaran tidak sempurna (Bel *et al.*, 2011; Basu, 2013).

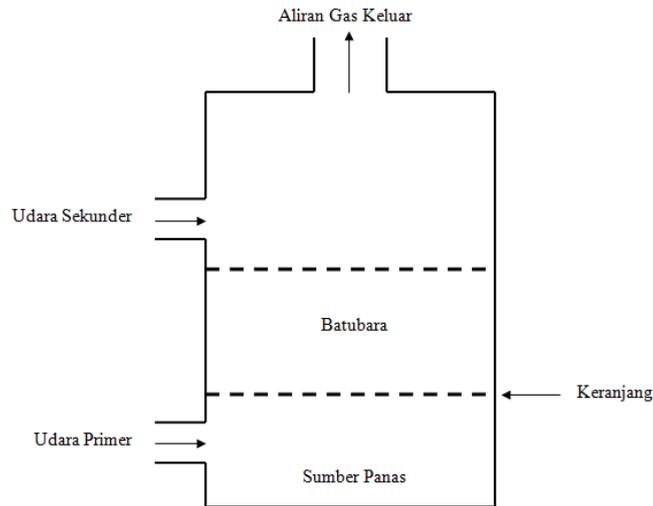
Batubara juga dapat diklasifikasikan ke dalam nilai kalorinya walaupun termasuk ke dalam peringkat batubara yang sama. Batubara lignit dan sub bituminus sebagian besar terdapat di Indonesia khususnya Provinsi Sumatera Selatan. Kedua jenis batubara tersebut pada umumnya termasuk batubara kalori rendah sampai sedang (5.100-6.500 kkal/kg) yang potensinya hampir 70% terdapat di Indonesia (ESDM, 2015) khususnya Provinsi Sumatera Selatan. Pembagian kode batubara BA-59, BA-63, BA-67, dan BA-76 dilakukan oleh PT. Bukit Asam (Persero), Tbk untuk memudahkan penjualan batubara baik untuk kebutuhan dalam negeri maupun ekspor. Batubara BA-59 adalah batubara dengan nilai kalori 5.900 kkal/kg, BA-63 (6.300 kkal/kg), BA-67 (6.700 kkal/kg), dan BA-76 (7.600 kkal/kg).

Teknologi pembakaran batubara sangat ditentukan oleh peringkat batubara, nilai kalor, dan peralatan yang digunakan. Bell *et al.* (2011) dan Basu (2013) memperkenalkan sistem pembakaran batubara yang terdiri dari *coal fixed-bed combustion*, *coal particle suspension combustion*, dan *coal fluidized-bed combustion*.

Pembakaran menggunakan *coal fixed-bed combustion* merupakan teknologi awal dikembangkannya model pembakaran batubara (Buczynski, 2011). Batubara diletakkan pada keranjang di dalam ruang yang dapat dibagi sebagai keranjang tetap dan bergerak. Peralatan tersebut mempunyai lubang udara dan ruang pembakaran batubara. Batubara yang digunakan untuk pembakaran berukuran lebih kasar (1-5 cm) dan diletakkan pada tengah tungku (*furnace*).

Sistem pembakaran batubara dapat dibagi menjadi dua, yaitu sumber api di bawah tungku dan sumber api di atas tungku. Pada sumber api di bawah tungku, gas yang terjadi dikeluarkan dari atas dan abu dikeluarkan dari bawah. Pembakaran dari atas, gas dan abu yang terjadi dikeluarkan dari bawah. Temperatur pembakaran dapat terjadi pada suhu rendah atau pada suhu tinggi (Bell *et al.*, 2011, Basu, 2013; Li *et al.*, 2013).

Model tungku pembakaran *coal fixed-bed combustion* sangat sederhana dan dapat dimodifikasi berdasarkan bahan dan teknologi yang tersedia. Model yang akan dikembangkan menggunakan pembakaran ke atas di mana sumber panas terletak di bawah dan gas yang keluar berada di atas (Gambar 1).



Gambar 1. *Coal fixed-bed combustion*

Pembakaran batubara menggunakan *coal particle suspension combustion* menggunakan batubara halus sebagai umpan, sering digunakan untuk industri semen (*pulverized coal combustion*) dan PLTU menggunakan tungku besar dengan kecepatan aliran pembakaran sebesar 30,5 m/detik. Batubara harus dicampur dengan minyak sebagai umpan dan akan menyebabkan polusi udara yang cukup intensif (Bell *et al.*, 2011; Basu, 2013).

Pembakaran menggunakan *fluidized beds combustion* di mana batubara diumpankan dari samping tungku, pembakaran dilakukan dari bawah, gas dikeluarkan dari atas, dan abu dikeluarkan dari bawah. Proses pembakaran pada tungku dilakukan bertahap dan sangat rumit. Batubara yang digunakan sebagai umpan adalah batubara berukuran halus dengan diameter 1 mm (Bell *et al.*, 2011; Basu, 2013).

Penggunaan tungku yang sesuai dalam penelitian pembakaran batubara sangat sulit digunakan terutama harganya sangat mahal dan sulit didapatkan. Penelitian pembakaran batubara yang dilakukan memodifikasi dari sistem *coal fixed-bed combustion* menggunakan

keranjang tetap. Peralatan yang dimodifikasi tersebut berbahan *stainless steel* dengan ukuran batubara, tungku, sistem pembakaran, dan ruang bakar batubara tertentu. Proses pembakaran menggunakan prinsip semi adiabatik sesuai fenomena pembakaran batubara. Bahan untuk menahan panas adalah bahan serat (*glass fibers*) digunakan dengan meletakkanya di antara dinding *stainless steel*.

### C. Emisi Gas CH<sub>4</sub> pada Pembakaran Batubara

Emisi gas CH<sub>4</sub> terjadi karena pembakaran batubara tidak sempurna. Udara yang terdiri dari 21% oksigen dan 79% nitrogen tidak terpenuhi dalam pembakaran tersebut. Emisi gas CH<sub>4</sub> pada pembakaran batubara di PLTU tergantung pada temperatur *boiler*. PLTU yang menggunakan peralatan besar akan relatif kecil menghasilkan emisi gas CH<sub>4</sub>. Sedangkan pada *furnace* dan pembakaran terbuka terjadi emisi gas CH<sub>4</sub> sangat intensif.

Pembakaran batubara merupakan proses di mana batubara yang mengandung material karbonan (*carbonaceous material*) terbakar akibat proses oksidasi. Proses oksidasi ini akan terjadi jika terdapat tiga komponen utama yang membentuk pembakaran batubara, yaitu: (1) sumber bakar adalah batubara yang terdiri dari material karbonan, (2) oksigen dan *total moisture* atau tingkat kelembaban, dan (3) panas yang dibangkitkan oleh proses oksidasi pada batubara yang mengandung unsur C, H, O, N, dan S (Industry & Investment, 2011).

Kandungan karbon terutama karbonan yang tinggi menyebabkan batubara mudah terbakar. Batubara kalori rendah (< 6.000 kkal/kg) mempunyai porositas yang tinggi sehingga akan memudahkan oksigen masuk ke pori-pori batubara menyebabkan pembakaran. Panas pada batubara karena terjadinya oksidasi baik pada batubara itu sendiri maupun pada material pirit. Oksidasi yang terjadi berlangsung pada temperatur yang rendah, proses semi adiabatik, dan reaksi eksotermal. Panas yang dihasilkan dari reaksi oksidasi tersebut tidak menyebar ke daerah sekitarnya menyebabkan temperatur akan naik dan terjadi pembakaran batubara yang menghasilkan emisi gas CO, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>, dan gas lainnya.

Pembakaran batubara yang terjadi sangat dipengaruhi oleh faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal antara lain: kandungan pirit, kandungan air (*inherent moisture*), ukuran partikel dan luas permukaan, *rank* batubara, komposisi petrografi, dan kandungan mineral lainnya. Sedangkan faktor eksternal antara lain: temperatur, *total moisture*, tekanan barometrik, konsentrasi oksigen, bakteri, tebal lapisan batubara dan lapisan batuan di

sekelilingnya, dan metode penambangan (Diaconu *et al.*, 2011; Industry & Investment, 2011).

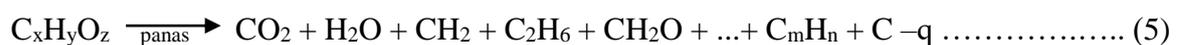
Mekanisme terjadinya emisi gas CH<sub>4</sub> dari pembakaran batubara disebabkan adanya sifat fisika dan kimia yang terdapat pada batubara tersebut. Sifat fisika dan kimia batubara diperoleh dari uji proksimat dan ultimat. Uji proksimat dilakukan untuk menentukan kadar air bawaan (*inherent moisture*), kandungan abu (*ash content*), zat terbang (*volatile matter*), dan karbon tetap (*fixed karbon*). Uji ultimat meliputi kandungan karbon (C), hidrogen (H), nitrogen (N), oksigen (O). Sifat fisika dan kimia lain yang diperoleh dari uji batubara adalah *total moisture* dan sulfur total (*total sulphur*).

Tabel 1. Komposisi unsur kimia batubara

Jenis Batubara	Kandungan Kimia (%)				
	C	H	O	N	S
<i>Low-volatile bituminous</i>	90,5	4,7	2,8	1,3	-
<i>Medium-volatile bituminous</i>	88,4	5,0	4,1	1,7	0,68
<i>High-volatile bituminous</i>	76,4	5,3	15,8	1,6	0,83
<i>Subbituminous A</i>	75,8	5,3	15,5	1,9	0,84
<i>Subbituminous B</i>	75,3	5,1	17,4	1,5	0,81
<i>Subbituminous C</i>	73,7	5,3	19,1	1,3	0,86
<i>Lignite</i>	70,2	5,6	20,8	1,4	0,96

Batubara mempunyai unsur kimia karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitogen (N), dan sulfur (S). Komposisi unsur kimia dari berbagai *rank* batubara dapat dilihat pada Tabel 4.1. Unsur kimia batubara tersebut terdiri dari C, H, O, N, dan S dapat membentuk gas tambang. Unsur kimia ini dengan komponen lainnya akan menyebabkan terjadinya pembakaran akibat reaksi eksotermal yang membentuk gas tambang antara lain CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> dan rangkaian ikatan C-H lainnya, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, dan gas lainnya.

Emisi gas CH<sub>4</sub> dapat terbentuk dari pembakaran batubara akibat pemanasan batubara dengan oksigen dan sumber panas akan menyebabkan temperatur semakin meningkat (reaksi eksotermal). Emisi gas CH<sub>4</sub> akan terjadi disebabkan oleh pembakaran yang tidak sempurna. Wielgosinski (2010) memperlihatkan proses devolatilisasi dan pirolisis hidrokarbon dalam reaksi kimia sebagai berikut:



Persamaan reaksi (5) memperlihatkan batubara seperti lignit dan bituminus jika dipanaskan akan membentuk gas primer, seperti: CO, CO<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub>. Gas lain, seperti: H<sub>2</sub>S, SO, dan SO<sub>2</sub> akan terbentuk jika batubara mengandung sulfur. Pembakaran batubara secara sempurna akan menyebabkan pembentukan gas CO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>O. Pembakaran tidak sempurna akan menyebabkan terbentuknya gas SO, CO, dan CH<sub>4</sub>.

Pembentukan gas CH<sub>4</sub> dari kegiatan penambangan batubara pada pembakaran batubara akan terjadi dengan reaksi sekunder atau reaksi hidrogenasi sebagai berikut (Bell *et al.*, 2011; Basu, 2013):



Persamaan reaksi (6) memperlihatkan pembentukan emisi gas CH<sub>4</sub> dari reaksi antara karbon (C) dengan hidrogen (H). Pembentukan emisi tersebut sangat intensif terjadi jika batubara mempunyai kadar air yang relatif tinggi. Batubara yang mengandung air akan mudah membentuk unsur hidrogen dan bereaksi dengan karbon membentuk gas CH<sub>4</sub> dalam proses gasifikasi dan pirolisis batubara (Budiman, 2014).

Pembentukan gas CH<sub>4</sub> dari kemungkinan lain pada pembakaran dalam proses gasifikasi dan pirolisis batubara dapat menggunakan reaksi metanasi dalam reaksi (7) sebagai berikut :



Gas CH<sub>4</sub> dapat terbentuk dari pembakaran batubara tergantung pada lamanya waktu dan temperatur pembakaran batubara. Temperatur yang terjadi pada pembakaran batubara berkisar antara 20-170<sup>0</sup>C. Gas CH<sub>4</sub> yang terjadi pada pembakaran batubara tidak terjadi secara langsung dalam pembakaran batubara tersebut. Pada kondisi temperatur tertentu baru akan terjadi emisi gas CH<sub>4</sub> dan ini dibuktikan dalam percobaan di mana gas CH<sub>4</sub> akan muncul setelah menunggu beberapa saat. Karakteristik emisi gas CH<sub>4</sub> dari pembakaran batubara perlu dipelajari dalam upaya mitigasi emisi gas tersebut.

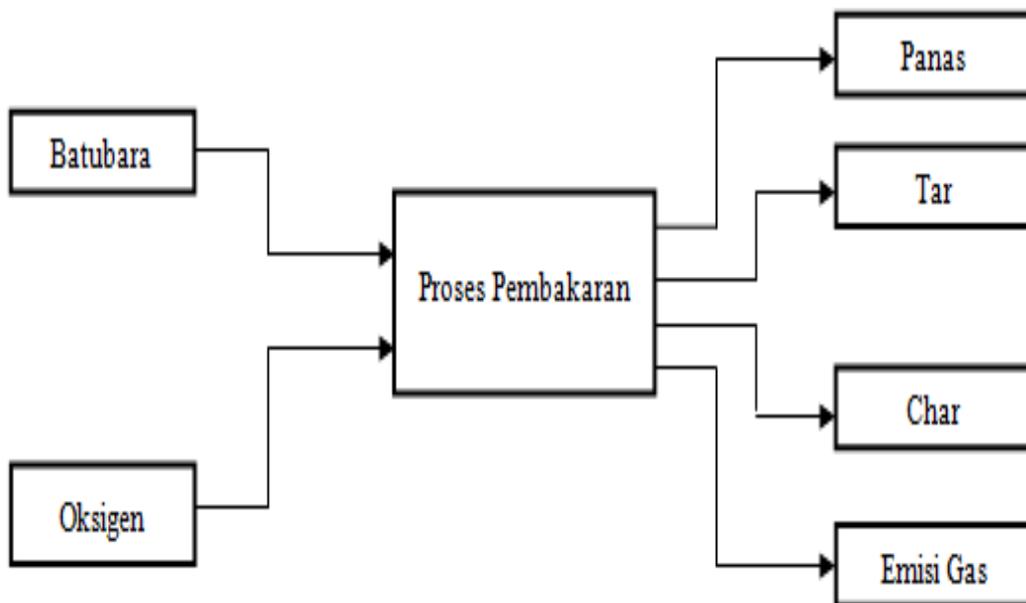
Dampak pembakaran batubara adalah terjadinya emisi gas CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub> yang keluar ke atmosfer. Pembakaran yang terjadi secara terus menerus akan

menyebabkan gas rumah kaca terutama gas  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$  akan mempengaruhi pemanasan global serta penurunan kuantitas dan kualitas batubara.

Pembakaran batubara digunakan sebagai bahan bakar untuk memanaskan *boiler* dalam PLTU. Batubara sebagai bahan bakar akan memberikan peluang yang sangat besar dalam upaya mengurangi peran minyak bumi yang semakin hari semakin menipis cadangannya. Batubara yang digunakan sebagai bahan bakar untuk PLTU adalah kalori  $< 6.000$  kkal/kg sesuai dengan rancangan *boiler* yang digunakan.

Sistem dapat bekerja dalam pembakaran batubara jika terjadi reaksi kimia selama terjadinya proses oksidasi yang menghasilkan energi panas. Pembakaran batubara terjadi jika terdapat tiga faktor utama, yaitu: batubara sebagai bahan bakar, oksigen sebagai media bakar, dan sumber panas. Ketiga unsur tersebut harus tersedia agar proses pembakaran batubara dapat terjadi.

Pembakaran terjadi jika batubara bereaksi dengan oksigen akan menghasilkan panas. Panas dari pembakaran batubara akan digunakan dalam proses PLTU, industri, pemanasan lingkungan, atau untuk ekspansi gas dalam silinder atau piston. Peralatan *boiler*, *furnace*, *kiln*, dan mesin membutuhkan bahan bakar untuk menggerakkannya.



Gambar 2. Sistem pembakaran batubara

Gambar 2 menunjukkan sistem pembakaran batubara yang terdiri masukan (*input*), proses (*process*), dan keluaran (*output*). Masukan proses adalah batubara, oksigen, dan panas yang merupakan bahan utama terjadinya reaksi kimia. Proses merupakan kegiatan pembakaran batubara yang melibatkan variabel temperatur (T) dan waktu pembakaran (t) batubara. Sedangkan keluaran merupakan hasil dari proses pembakaran batubara yang terdiri dari panas dan limbah yang dihasilkan. Limbah yang dihasilkan terdiri limbah padat berupa abu batubara dan *char*, limbah cair berupa *tar*, dan limbah gas berupa emisi gas CO, CO<sub>2</sub>, SO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, dan CH<sub>4</sub>.

Pembakaran batubara sempurna terjadi jika semua komponen C dan HC masing-masing membentuk CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Pembakaran batubara tersebut dapat digambarkan pada reaksi berikut ini (Speight, 1994, Bell *et al.*, 2011; Basu, 2013):



Persamaan reaksi (7) menunjukkan pembentukan emisi gas CH<sub>4</sub> dari pembakaran sempurna di mana CO<sub>2</sub> pada reaksi primer akan membentuk gas CH<sub>4</sub> dan H<sub>2</sub>O. Reaksi kimia tersebut akan membutuhkan oksigen agar pembentukan emisi gas CH<sub>4</sub> terjadi. Batubara kalori tinggi akan membutuhkan konsentrasi oksigen yang tinggi agar terjadi emisi gas CH<sub>4</sub>.

Pembakaran batubara tidak sempurna terjadi jika komponen pada batubara tersebut tidak terbakar seluruhnya. Reaksi kimia tersebut tidak membutuhkan konsentrasi oksigen yang tinggi untuk menghasilkan emisi gas CH<sub>4</sub>. Reaksi kimia pembentukan emisi gas CH<sub>4</sub> pada pembakaran tidak sempurna dapat diperlihatkan sebagai berikut (Bell *et al.*, 2011; Basu, 2013):



Persamaan reaksi (8) menunjukkan pembakaran batubara tidak sempurna yang berasal dari pembentukan CO. Kebutuhan konsentrasi oksigen sangat sedikit pada reaksi pembentukan emisi gas CH<sub>4</sub>.

Pembentukan emisi gas CH<sub>4</sub> pada pembakaran terjadi karena batubara mempunyai unsur C dan H dalam berbagai jenis batubara (*ultimate analysis*). Batubara kalori rendah relatif sedikit kandungan unsur C dibandingkan dengan batubara kalori tinggi. Sedangkan unsur H akan banyak terdapat pada batubara kalori rendah dibandingkan dengan batubara kalori tinggi. Hasil *ultimate analysis* dan *proximate analysis* merupakan salah satu faktor

penting dalam menganalisis karakteristik emisi gas CH<sub>4</sub> pada pembakaran batubara. Pembentukan emisi gas CH<sub>4</sub> pada pembakaran batubara akan relatif sama seperti yang terjadi pada swabakar batubara.

#### **D. State of The Art Penelitian**

Penelitian yang telah dilakukan terhadap emisi gas (CH<sub>4</sub>) pada pembakaran batubara merupakan penelitian yang pada saat ini masih dilakukan terutama batubara kalori rendah untuk umpan PLTU. Batubara kalori rendah pada umumnya digunakan untuk pembakaran batubara karena harganya murah dan sesuai dengan *setting boiler* yang digunakan. Batubara kalori rendah seperti diketahui jika dibakar akan menghasilkan gas terutama gas rumah kaca seperti CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>. Beberapa penelitian yang sudah dilakukan akan dirangkum sebagai berikut :

1. Krwaczyk *et al.* (2013) melakukan penelitian menekankan pada proses pembakaran batubara terutama emisi gas SO<sub>x</sub>. Kaitan dengan penelitian yang akan dilakukan untuk melihat proses pembakaran batubara.
2. Puspitorini *et al.* (2013) melakukan penelitian pemanfaatan batubara kalori rendah sebagai bahan bakar rotary cement kiln berbasis CFD. Penelitian ini masih dalam tarap melihat proses pembakaran batubara.
3. Sodikin *et al.* (2012) melakukan penelitian untuk mengembangkan teknologi pembakaran batubara untuk industri. Penelitian ini lebih menentukan teknologi pembakaran batubara untuk industry.
4. Xu ang Qiao (2012) melakukan penelitian untuk mengembangkan model matematik pembakaran batubara terhadap proses devolatisasi dan kandungan air pada pembakaran batubara. Penelitian ini lebih menekankan model matematik dalam pembakaran batubara.
5. Zhou (2014) melakukan penelitian pembakaran batubara untuk mengurangi emisi yang terjadi terutama gas CO<sub>2</sub>. Penelitian ini dilakukan usaha mengurangi emisi gas akibat pembakaran batubara.
6. Buczynski (2011) melakukan penelitian terhadap proses pembakaran untuk pemanasan *boiler*. Penelitian ini merupakan penelitian proses pembakaran batubara pada boiler di PLTU.

7. Li et al. (2013) melakukan penelitian pembakaran batubara untuk mengamati emisi  $\text{NO}_x$  dan  $\text{SO}_x$  pada pembakaran batubara di boiler. Penelitian ini lebih menekankan pengaruh pembakaran pada emisi gas.
8. Akinyemi *et al.* (2012) melakukan penelitian pembakaran batubara sub bituminus terutama melihat sifat geokimia dan mineraloginya terhadap emisi gas  $\text{CH}_4$ . Penelitian ini lebih menekankan produk pembakaran batubara sub bituminous.
9. Bhushan et al. (2012) melakukan penelitian pembakaran batubara dengan melakukan analisis terhadap tekanan dan kecepatan pembakaran. Penelitian ini menekankan pengamatan terhadap tekanan dan kecepatan pembakaran.
10. Gosh (2014) melakukan penelitian pembakaran batubara menggunakan ruang bakar. Penelitian ini menekankan peralatan pembakaran batubara.
11. Wielgosinski (2010) melakukan penelitian proses pembakaran batubara dan pembentukan gas polutif antara lain gas  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , dan gas  $\text{CH}_4$ . Penelitian ini tidak memperlihatkan berapa besar gas polutif tersebut terbentuk.

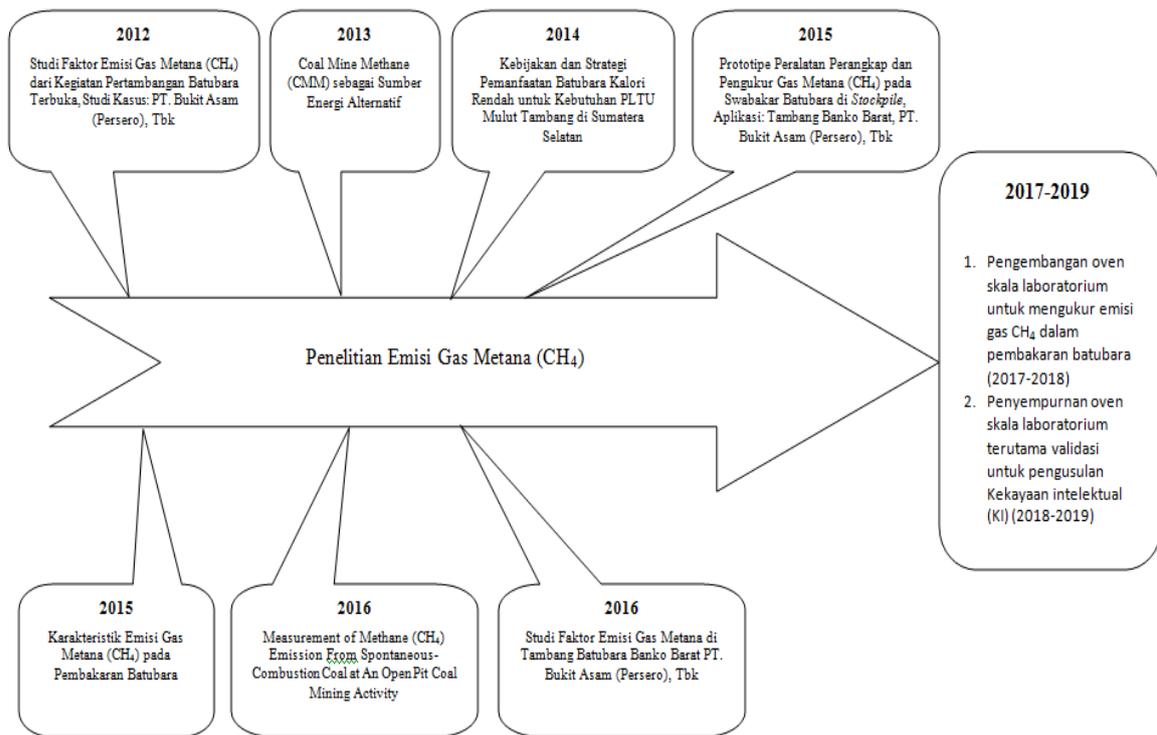
*State of the art* yang telah dijelaskan di atas menunjukkan bahwa emisi gas  $\text{CH}_4$  pada pembakaran batubara dapat dibagi dalam beberapa bagian yang dijelaskan pada langkah penelitian sebagai berikut :

1. Teknologi pembakaran batubara
2. Peralatan pembakaran batubara
3. Proses pembakaran batubara
4. Variabel penelitian pembakaran batubara
5. Emisi gas  $\text{CH}_4$  akibat pembakaran batubara

Penelitian yang akan dilakukan akan mengembangkan peralatan batubara yang kaitannya dengan variable temperatur dan waktu untuk mengurangi emisi gas  $\text{CH}_4$  yang merupakan gas polutif yang berpengaruh pada pemanasan global.

## **E. Peta Jalan Penelitian**

Peta jalan penelitian emisi gas  $\text{CH}_4$  yang disebabkan kegiatan pembakaran batubara terutama untuk laboratorium dan lapangan dapat dilakukan dengan berbagai tahapan yang akan dilakukan baik yang sudah diteliti maupun akan akan diteliti.



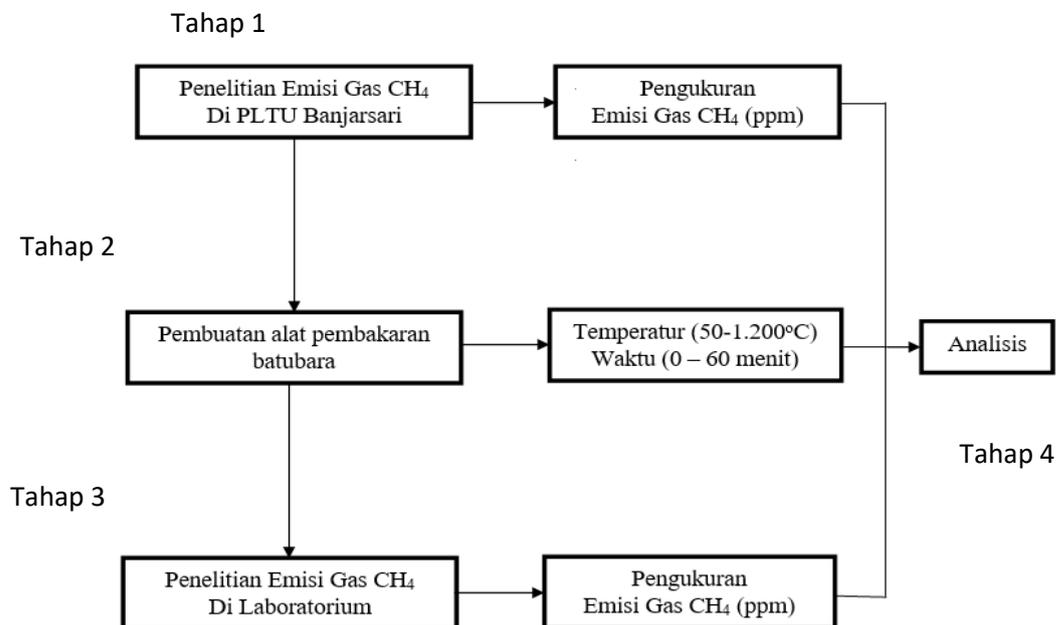
Gambar 3. Peta Jalan Penelitian

## BAB 4 METODE PENELITIAN

Penelitian ini difokuskan pada fenomena emisi gas CH<sub>4</sub> pada pembakaran batubara di PLTU, pengembangan peralatan pembakaran batubara dengan mengatur temperatur dan waktu, dan menganalisis kecenderungan emisi gas CH<sub>4</sub> yang terjadi pada temperatur dan waktu pembakaran batubara yang dikaitkan dengan emisi gas CH<sub>4</sub> pada PLTU. Bagan alir penelitian dapat dijelaskan tahapan sebagai berikut :

1. Penelitian emisi gas CH<sub>4</sub> pada PLTU;
2. Pembuatan alat pembakaran batubara dengan variable temperatur dan waktu;
3. Penelitian emisi gas CH<sub>4</sub> di laboratorium

Secara garis besar bagan penelitian emisi gas CH<sub>4</sub> pada pembakaran batubara baik di laboratorium dan PLTU dapat dijelaskan dengan diagram alir penelitian sebagai berikut :



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

## **A. Tahapan Penelitian**

Tahapan penelitian dilakukan dengan berbagai persiapan baik modifikasi peralatan yang digunakan, teknik pengambilan sampel, pengolahan dan analisis data. Tahapan penelitian tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Modifikasi peralatan pembakar batubara dengan teknologi yang dikembangkan berdasarkan pengaturan temperature dan waktu;
2. Menyiapkan peralatan pengukur emisi gas CH<sub>4</sub> *digital* yaitu *multigas detector*, alat ukur temperatur (termokopel) dan alat ukur waktu (*stopwatch*);
3. Menyiapkan sampel batubara kalori 4.000 – 5.000 kkal/kg dari PLTU;
4. Pembakaran batubara dan pengukuran emisi gas CH<sub>4</sub> menggunakan *multigas detector*, pengukuran lama waktu pembakaran (t) menggunakan waktu digital dan pengukuran temperatur (T) menggunakan termokopel;
5. Pengujian sampel batubara kalori 4.000 – 5.000 kkal/kg meliputi pengujian proksimat, ultimat, dan nilai kalor di laboratorium;
6. Mengolah dan menganalisis data hasil pengukuran pembakaran batubara menggunakan metode statistika.

## **B. Perancangan Penelitian**

Perancangan penelitian yang dilakukan memerlukan langkah-langkah sebagai berikut: pendekatan penelitian, bahan dan peralatan, jenis dan sumber data, teknik pengambilan sampel, prosedur pengambilan sampel emisi gas CH<sub>4</sub>, metode pengolahan dan analisis data emisi gas CH<sub>4</sub> yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

### **Pendekatan Penelitian**

Penelitian dilakukan dengan menggunakan dua pendekatan, yaitu: modifikasi peralatan pembakar batubara berdasarkan pengatur temperature dan waktu dan menganalisis karakteristik emisi gas CH<sub>4</sub> pada pembakaran batubara dengan pendekatan deskriptif, asosiatif, dan kuantitatif. Pendekatan tersebut dimaksud untuk mempelajari karakteristik emisi gas CH<sub>4</sub>, mencari hubungan sebab akibat, dan pengujian hipotesis sedangkan pendekatan kuantitatif memaksa variabel penelitian harus dapat diukur sebagai data primer. Pendekatan kuantitatif menggunakan data primer diperoleh dari hasil pengujian berupa pengukuran emisi gas CH<sub>4</sub> dalam satuan % LEL yang dikonversi ke satuan lainnya, seperti ppm dan pengukuran T dan t. Perumusan masalah deskriptif dan asosiatif yang digunakan

dalam penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik emisi gas CH<sub>4</sub> pada pembakaran batubara.

### **Bahan dan Peralatan**

Subbagian ini menjelaskan bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian pembakaran batubara dalam rangka mempelajari karakteristik emisi gas CH<sub>4</sub>.

#### **Bahan**

Bahan penelitian dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu: bahan untuk membangun peralatan pembakaran batubara berupa *stainless steel* dengan tebal 6 mm dan bahan untuk pembakaran berupa sampel batubara kalori 4.000 – 5.000 kkal/kg. Sampel batubara digunakan untuk mencari besarnya emisi gas CH<sub>4</sub> dan hubungan sebab akibat pada pembakaran batubara dalam rangka mempelajari karakteristik emisi gas CH<sub>4</sub>.

#### **Peralatan**

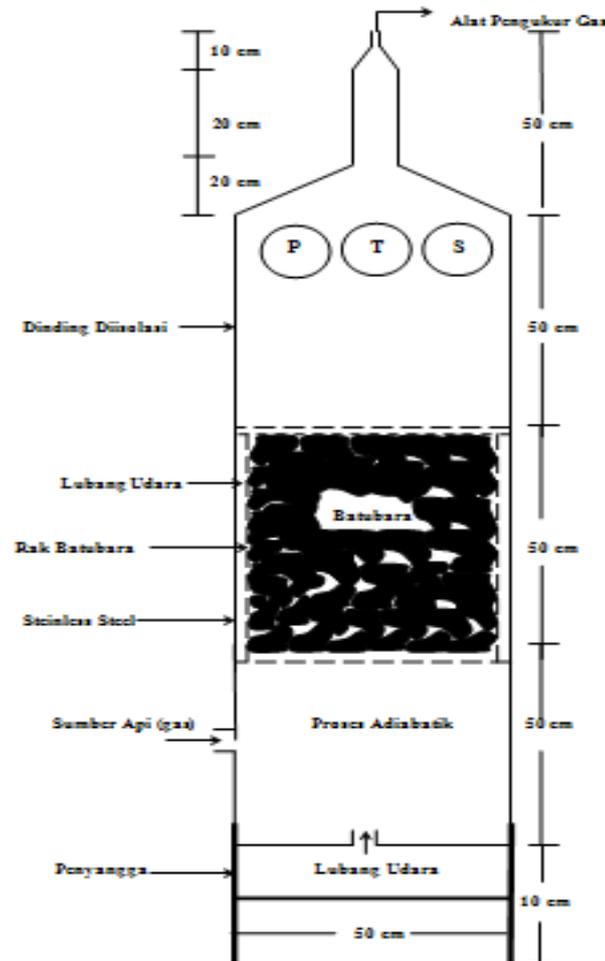
Peralatan yang digunakan untuk mengukur emisi gas CH<sub>4</sub> dalam pembakaran batubara adalah *multigas detector* yang telah dikalibrasi sedangkan perangkap untuk melokalisir emisi gas CH<sub>4</sub> dan pembakaran batubara terbuat dari *stainless steel*. Peralatan lain yang digunakan adalah alat pengukur temperatur (termokopel), waktu (*stopwatch*), dan kecepatan pembakaran (*anemometer*). Sampel batubara digunakan juga untuk melakukan uji proksimat, ultimat, dan nilai kalor dalam rangka mengetahui sifat fisika dan kimia batubara.

Peralatan pembakar batubara dan pengukur emisi gas CH<sub>4</sub> berbentuk kubus dengan ukuran setiap ruang masing-masing 50 cm x 50 cm x 50 cm dan bagian paling atas berupa lubang kecil untuk pengeluaran dan pengukuran gas. Penentuan ukuran tersebut untuk memudahkan pengontrolan pengukuran emisi gas CH<sub>4</sub>.

Peralatan pembakar batubara dan pengukur emisi gas CH<sub>4</sub> mempertimbangkan konduksi (*conduction*) panas di mana dalam pembakaran batubara tidak ada panas yang keluar maupun panas yang masuk atau proses semi adiabatik. Konduksi adalah proses perpindahan panas dari temperatur tinggi ke temperatur rendah melalui media yang tetap. Pertimbangan tersebut sesuai dengan fenomena pembakaran batubara di mana tidak ada panas yang diserap maupun yang keluar.

Gambar 5 memperlihatkan modifikasi peralatan pembakar batubara dan pengukur emisi gas CH<sub>4</sub> yang terbuat dari *stainless steel*. Pertimbangan *stainless steel* dengan tebal 6 mm sebagai bahan pembakar batubara dan pengukur emisi gas CH<sub>4</sub> adalah bahan tersebut tahan panas, tahan karat, dan mudah dicari di pasaran. Peralatan pembakaran batubara dan

pengukur gas  $\text{CH}_4$  yang dimodifikasi merupakan pengambilan data langsung pada pembakaran batubara yang sangat berhubungan dengan temperatur (T) dan waktu pembakaran batubara (t).



Gambar 5. Modifikasi peralatan pembakar batubara dan pengukur emisi gas  $\text{CH}_4$

Peralatan pembakar batubara dan pengukur emisi gas dibagi menjadi tiga bagian, yaitu: bagian bawah tempat sumber api dan abu batubara, bagian tengah tempat keranjang batubara, dan bagian atas adalah ruang kosong untuk mengumpulkan dan mengukur emisi gas. Gas  $\text{CH}_4$  yang terperangkap dari pembakaran batubara akan keluar permukaan melalui lubang kecil ukuran diameter 5 mm karena adanya perbedaan tekanan dalam perangkat gas.

Emisi gas  $\text{CH}_4$  dapat diukur menggunakan *multigas detector* (Gambar 5.3) pada T dan t tertentu berupa konsentrasi gas  $\text{CH}_4$  dalam % LEL (*low explosive limit*) dan dikonversi menjadi ppm atau satuan gas lainnya.



Gambar 6. *Multigas detector*

Peralatan lain yang digunakan adalah alat pengukur temperatur, waktu, dan kecepatan pembakaran. Peralatan tersebut sangat penting digunakan dalam rangka untuk melihat hubungan antara emisi gas  $\text{CH}_4$  terhadap T dan t.

### **Jenis dan Sumber Data**

Penelitian yang dilakukan di Unit Dermaga Kertapati Palembang memerlukan beberapa jenis data dan sumber data. Jenis data yang diperlukan adalah berupa data yang diambil langsung dari pembakaran batubara adalah  $\text{CH}_4$ , T, dan t dan uji proksimat dan ultimat yang dinyatakan sebagai data primer. Data primer tersebut masuk ke dalam data rasio karena memiliki sifat data nominal, ordinal, dan interval yang memiliki nilai dimulai dari titik nol mutlak.

Data primer yang diambil dalam penelitian ini adalah data yang berkaitan dengan karakteristik emisi gas  $\text{CH}_4$  pada pembakaran batubara. Karakteristik emisi gas  $\text{CH}_4$  dari kegiatan penambangan batubara dapat digambarkan berdasarkan konsentrasi emisi gas  $\text{CH}_4$  pada pembakaran batubara. Konsentrasi emisi gas  $\text{CH}_4$  diperlukan untuk melihat besar rata-rata dan kumulatif, gambaran emisi dihubungkan dengan T dan t.

Data emisi gas  $\text{CH}_4$  akan diambil berdasarkan pada pembakaran batubara yang berupa data emisi gas  $\text{CH}_4$ , T, dan t dalam rangka mempelajari karakteristik emisi gas  $\text{CH}_4$  pada

pembakaran batubara. Data primer untuk sampel batubara yang diambil dari uji proksimat, ultimat, nilai kalori dalam rangka mengetahui sifat fisika dan kimia batubara batubara kalori 4.000 – 5.000 kkal/kg.

### **Teknik Pengambilan Sampel**

Teknik pengambilan sampel dilakukan dengan mengambil sampel batubara secara acak (*random sampling*) yang terdapat pada *stockpile* batubara di PLTU untuk batubara kalori 4.000 – 5.000 kkal/kg. Pengambilan sampel batubara tersebut untuk setiap jenis batubara diambil 5 kali sehingga berat sampel yang diperoleh mencapai 50 kg. Sampel batubara yang sudah dipilih masing-masing sebanyak 50 kg dibagi empat bagian (*quartering*) dan selanjutnya digabung menjadi dua bagian untuk pembakaran batubara dan untuk uji proksimat dan ultimat.

### **Prosedur Pengambilan Sampel Emisi Gas CH<sub>4</sub>**

Prosedur pengambilan sampel emisi gas CH<sub>4</sub> dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu: prosedur pengambilan sampel untuk pembakaran batubara untuk menentukan variabel CH<sub>4</sub>, T, dan t sedangkan prosedur pengambilan sampel untuk melakukan analisis proksimat, ultimat, dan nilai kalor.

#### 1) Prosedur pengambilan sampel emisi gas CH<sub>4</sub> pembakaran batubara

Pengambilan sampel emisi gas CH<sub>4</sub> pada pembakaran batubara dilakukan untuk lebih melihat besarnya konsentrasi emisi gas tersebut langsung pada pembakaran batubara. Pembakaran batubara dilakukan dalam rangka mempelajari karakteristik emisi gas CH<sub>4</sub>. Prosedur pengambilan sampel pembakaran batubara dilakukan sebagai berikut:

- a. Menyiapkan batubara yang sudah dilakukan *quartering* sebanyak 25 kg untuk batubara kalori 4.000 – 5.000 kkal/kg;
- b. Menyiapkan peralatan pembakar batubara dan pengukur emisi gas CH<sub>4</sub>;
- c. Timbang batubara sesuai dengan keranjang yang telah disiapkan;
- d. Masukkan batubara yang ada dalam keranjang tersebut ke dalam peralatan pembakar batubara dan pengukur emisi gas CH<sub>4</sub>;
- e. Cacat kondisi awal dalam peralatan pembakar batubara dan pengukur emisi gas CH<sub>4</sub> terutama temperatur pembakaran 0 – 1.200<sup>0</sup>C ;
- f. Nyalakan kompor gas untuk membakar batubara dan bersamaan dengan itu nyalakan peralatan ukur temperatur, waktu, *multigas detector*, dan cacat emisi gas CH<sub>4</sub> pada temperatur tertentu dan untuk waktu setiap 1 menit;

## 2) Prosedur pengambilan sampel emisi gas CH<sub>4</sub> uji proksimat dan ultimat

Pengambilan sampel gas CH<sub>4</sub> uji proksimat dan ultimat dilakukan untuk mempelajari karakteristik sampel batubara untuk kalori 4.000 – 5.000 kkal/kg. Prosedur pengambilan sampel tersebut dilakukan sebagai berikut: sampel yang telah dibagi dua dari *quartering* sebanyak 25 kg dibawa ke laboratorium yang terdapat di PLTU Tanjung Enim untuk dilakukan analisis proksimat, ultimat, dan nilai kalor.

Pengujian sampel batubara terutama uji proksimat, ultimat, dan nilai kalor menggunakan laboratorium yang sudah terakreditasi. Tahapan kegiatan dan prosedur yang digunakan mengikuti aturan yang telah baku terutama aturan SNI.

### **Metode Pengolahan dan Analisis Data Emisi Gas CH<sub>4</sub>**

Pengolahan dan analisis data emisi gas CH<sub>4</sub> menggunakan tabulasi dan grafik yang diolah menggunakan uji statistika. Metode analisis dalam penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu: metode analisis emisi gas CH<sub>4</sub> rata-rata dan kumulatif (statistika deskriptif) serta metode analisis emisi gas CH<sub>4</sub> berdasarkan korelasi dan regresi (statistika inferensial). Analisis emisi gas CH<sub>4</sub> rata-rata dan kumulatif digunakan untuk melihat gambaran besarnya emisi gas tersebut pada batubara kalori 4.000 – 5.000 kkal/kg.

Analisis korelasi dan regresi digunakan untuk melihat hubungan antara emisi gas CH<sub>4</sub> terhadap T dan t pada masing-masing batubara kalori 4.000 – 5.000 kkal/kg.

**BAB 5**  
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Efisiensi Peralatan pembakaran batubara kalori rendah**

Efisien peralatan ditinjau dari panas yang dihasilkan pada pembakaran batubara dengan sistem semi adiabatik atau semi isentropik. Panas pembakaran batubara dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu: panas pembakaran sebenarnya ( $Q_s$ ) dan panas pembakaran dalam kondisi normal ( $Q_n$ ). Persamaan panas pembakaran  $Q_s$  dan  $Q_n$  dapat dituliskan sebagai berikut (UNEP, 2006):

$$Q_s = m c_p (T_p - T_d) \dots\dots\dots (9)$$

$$Q_n = m c_p (T_p - T_u) \dots\dots\dots (10)$$

Efisiensi peralatan pembakar batubara dan pengukur emisi gas CH<sub>4</sub> dapat ditentukan berdasarkan perbandingan antara panas pembakaran yang sebenarnya ( $Q_s$ ) dengan panas pembakaran pada kondisi normal ( $Q_n$ ). Persamaan efisiensi ( $\eta$ ) peralatan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut (Wiharja and Susanto, 2008; Kumar, 2010):

$$\eta = \frac{Q_s}{Q_n} = \frac{m c_p (T_p - T_d)}{m c_p (T_p - T_u)} = \frac{(T_p - T_d)}{(T_p - T_u)} \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

Dimana:

- $\eta$  = efisiensi peralatan (%)
- $Q_s$  = panas pembakaran sebenarnya (kkal)
- $Q_n$  = panas pembakaran pada kondisi normal (kkal)
- $m$  = berat sampel batubara (kg)
- $c_p$  = panas jenis batubara (kkal/kg°C)
- $T_p$  = temperatur pembakaran (°C)
- $T_d$  = temperatur dinding (°C)
- $T_u$  = temperatur udara (°C)

Efisiensi peralatan pembakar batubara dan pengukur emisi gas CH<sub>4</sub> dapat menggunakan persamaan (11) dan hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2. Tekanan pada ruang bakar batubara akan meningkat mencapai 1.567,7 mbar pada saat pembakaran

batubara. Kondisi semi adiabatik akan tercapai jika relatif sedikit kehilangan panas melalui peralatan pembakar batubara dan pengukur emisi gas CH<sub>4</sub>. Efisiensi peralatan pembakar batubara dan pengukur emisi gas CH<sub>4</sub> akan mencapai hampir 100%. Gambar 7 peralatan pembakaran batubara yang dimodifikasi.



Gambar 7. Peralatan pembakaran batubara

Efisiensi pembakaran pada peralatan pembakar batubara dan pengukur gas CH<sub>4</sub> dapat ditentukan menggunakan temperatur pembakaran dan temperatur luar yang terjadi saat pembakaran. Jika temperatur dinding luar pada saat pembakaran sama dengan temperatur udara maka efisiensi pembakaran adalah 100% dan jika temperatur dinding luar pada saat pembakaran meningkat dibandingkan temperatur udara maka ada kebocoran pada peralatan pembakar batubara dan pengukur emisi gas CH<sub>4</sub> sehingga temperatur pembakaran tidak maksimal.

Tabel 2. Perhitungan efisiensi peralatan pembakaran batubara untuk berbagai nilai kalori

No.	Nilai Kalori (kkal/kg)	Temperatur Pembakaran (T <sub>p</sub> ) (°C)	Temperatur Dinding dinding (T <sub>d</sub> ) (°C)	Temperatur Udara (T <sub>u</sub> ) (°C)	Efiseiensi Pembakaran (η) (%)
1	BA-59	64	34,7	29,1	83,95
2	BA-63	75	36,5	29,1	83,88
3	BA-67	80	38,2	29,1	82,12
4	BA-76	113	43,4	29,1	82,96

Kinerja peralatan pembakar batubara dan pengukur emisi gas CH<sub>4</sub> dapat ditunjukkan oleh kehilangan panas dari peralatan yang digunakan. Kehilangan panas akan ditunjukkan pada dinding luar dari konduksi panas dimana temperatur dinding peralatan berada di atas temperatur udara. Efisiensi peralatan pembakar batubara dan pengukur emisi gas CH<sub>4</sub> akan mencapai hampir 100% jika tidak ada panas yang hilang atau keluar. Besarnya kehilangan panas akibat pembakaran batubara akan berbeda pada setiap nilai kalori batubara. Tabel 2 menunjukkan kondisi temperatur pembakaran dan temperatur luar untuk berbagai nilai kalori batubara.

Efisiensi pembakaran untuk berbagai nilai kalori batubara BA-59, BA-63, BA-67, dan BA-76 terjadi berbeda-beda masing-masing 83,95%, 83,88%, 82,12%, dan 82,96%. Kebocoran peralatan pembakar batubara dan pengukur emisi gas CH<sub>4</sub> yang terjadi pada berbagai nilai kalori batubara masih relatif kecil terlihat pada angka efisiensi di atas 80%. Efisiensi terbaik dalam proses pembakaran antara 80-95% (Bergmann, 2006; Kumar, 2010). Peralatan pembakar batubara dan pengukur emisi gas CH<sub>4</sub> yang dibangun masih terdapat sedikit kebocoran dalam sambungan sehingga panas pembakaran masih keluar. Namun demikian, kinerja peralatan tersebut sudah dapat dianggap baik karena efisiensinya > 80% dan dapat digunakan untuk mempelajari karakteristik emisi gas CH<sub>4</sub> pada pembakaran batubara.

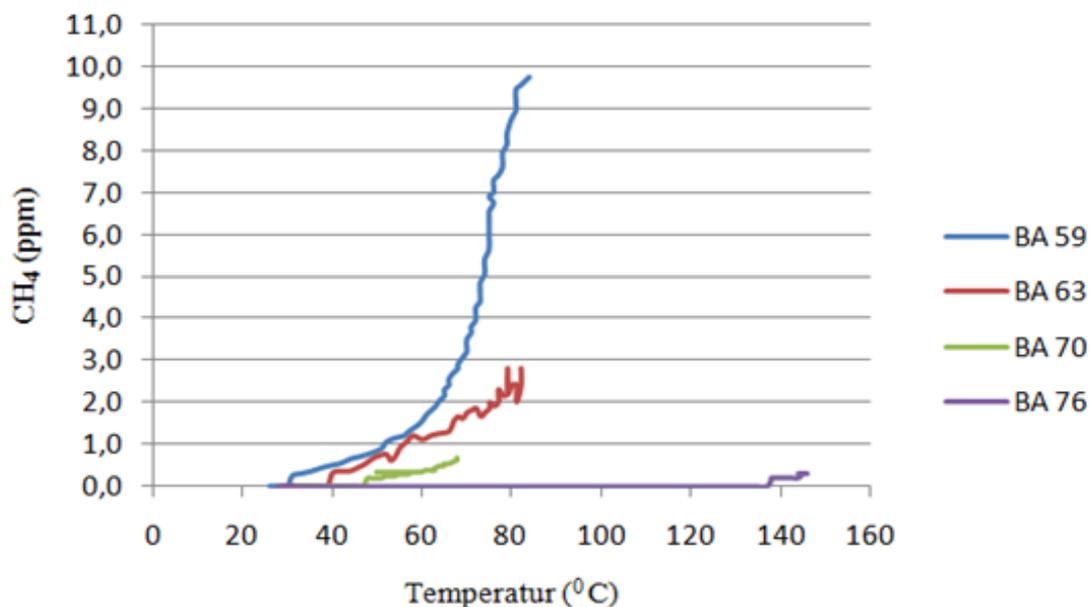
Bahan, ketebalan dinding, dan sistem pembakaran yang digunakan masih dapat menahan panas pembakaran karena temperatur maksimal dalam pembakaran batubara masih < 150°C sedangkan dalam rancangan peralatan tersebut diatur sampai temperatur maksimal 600°C. Perubahan panas yang terjadi pada temperatur dinding luar tidak terlalu besar antara 5-15°C atau rata-rata sebesar 9,1°C. Temperatur pembakaran batubara untuk berbagai jenis batubara menunjukkan peningkatan dari batubara kalori rendah sampai batubara kalori tinggi. Demikian juga dengan temperatur luar dimana terdapat peningkatan suhu mulai dari batubara kalori rendah sampai batubara kalori tinggi. Peningkatan tersebut masih dalam ambang efisiensi > 80%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa bahan, ketebalan dinding, dan sistem pembakaran sudah relatif baik tetapi kebocoran masih ada yang menyebabkan konduksi panas masih terjadi.

Perbedaan temperatur pembakaran yang terjadi pada ruang bakar untuk berbagai jenis batubara disebabkan oleh perbedaan sifat fisik dan kimia dari batubara tersebut. Batubara kalori rendah dengan kandungan air sekitar 70% maka pemanasan terlebih dulu dilakukan

terhadap air sehingga temperatur menjadi rendah. Sedangkan untuk batubara kalori tinggi kadar air relatif kecil sehingga batubara yang terbakar temperaturnya tinggi. Perbedaan tersebut menyebabkan efisiensi pembakaran berbeda. Efisiensi pembakaran untuk batubara kalori rendah akan lebih tinggi karena panas yang dihasilkan akan lebih rendah dan panas yang keluar lebih sedikit. Sedangkan efisiensi pembakaran untuk batubara kalori tinggi akan lebih rendah karena panas yang dihasilkan akan lebih tinggi dan panas yang keluar lebih banyak.

### B. Pengaruh Temperatur Pembakaran terhadap Emisi Gas Betana Batubara

Pembentukan emisi gas  $\text{CH}_4$  terjadi pada temperatur yang rendah dan sampai temperatur maksimum dan gas yang terjadi lebih tinggi. Sedangkan untuk batubara kalori sedang lebih tinggi menunjukkan nilai emisi gas  $\text{CH}_4$  yang rendah. Temperatur pembakaran pada berbagai jenis batubara BA-59, BA-63, BA-67, dan BA-76 juga berbeda-beda. Tabel 4.7 menunjukkan adanya perbedaan pembentukan awal temperatur pembakaran batubara. Batubara kalori rendah pembentukan awal emisi gas  $\text{CH}_4$  lebih lama di bandingkan dengan batubara kalori sedang lebih tinggi.



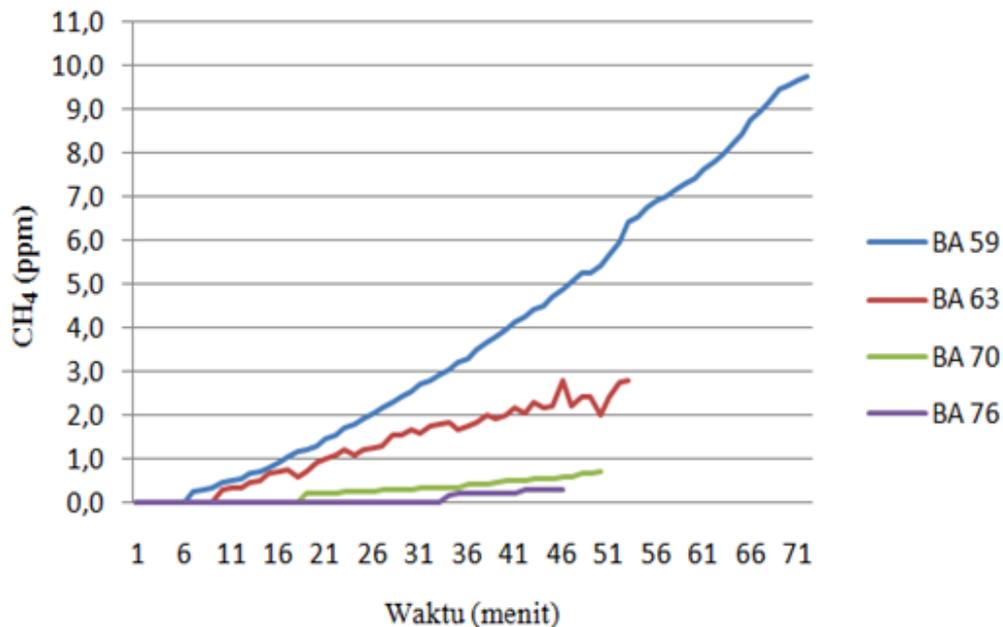
Gambar 7. Hubungan Temperatur (T) terhadap Pembentukan Emisi Gas  $\text{CH}_4$  pada Pembakaran Batubara

Temperatur pembentukan emisi gas  $\text{CH}_4$  pada pembakaran batubara kalori rendah akan lebih rendah dibandingkan batubara kalori sedang lebih tinggi. Penyebab utamanya adalah bahwa batubara kalori rendah mempunyai kadar air yang lebih tinggi dibandingkan

dengan batubara kalori tinggi. Panas yang terjadi digunakan untuk meningkatkan suhu kadar air pada batubara kalori rendah sehingga lebih cepat membentuk unsur hidrogen dan CO. Proses ini menyebabkan pada batubara kalori rendah pembentukan emisi gas CH<sub>4</sub> lebih cepat terjadi.

### C. Pengaruh waktu pembakaran terhadap emisi gas metana batubara

Lamanya pembakaran batubara batubara kalori rendah akan lebih lama dibandingkan dengan batubara kalori tinggi. Penyebab lamanya waktu pembakaran batubara tersebut adalah karena panas yang dihasilkan akan digunakan untuk memanaskan kadar air yang ada pada batubara tersebut. Oleh karena itu, emisi gas CH<sub>4</sub> yang terbentuk akan lebih besar dibandingkan dengan batubara kalori sedang dan rendah.



Gambar 8. Hubungan Waktu (t) terhadap Pembentukan Emisi Gas CH<sub>4</sub> pada Pembakaran Batubara

Pola grafik untuk berbagai jenis kalori batubara pada umumnya sama dimana emisi gas CH<sub>4</sub> yang terbentuk dan akan berakhir pada titik puncak atau ujung grafik dan setelah itu pola grafik akan menurun seiring dengan selesainya proses pembakaran sampai 0 ppm. Perbedaannya adalah bahwa pada batubara kalori rendah maka emisi gas CH<sub>4</sub> akan terbentuk lebih dulu dengan waktu pembakaran akan lebih lama dibandingkan dengan batubara kalori tinggi.

Pembentukan emisi gas CH<sub>4</sub> pada penelitian pembakaran batubara di laboratorium berbeda-beda. Tabel 3 menunjukkan perbedaan terhadap masing-masing kalori batubara. Batubara kalori rendah (BA-59) akan lebih cepat membentuk emisi gas CH<sub>4</sub> dibandingkan dengan batubara kalori tinggi (BA-63, BA-67, dan BA-76). Pembakaran batubara kalori rendah yang lebih cepat tersebut akibat adanya kadar air (inherent moisture dan total moisture) yang cukup tinggi menyebabkan dalam pembakaran tersebut akan terjadi pemanasan kadar air terlebih dahulu.

Tabel 3. Karakteristik Emisi Gas CH<sub>4</sub> pada Pembakaran Batubara

Variabel	Kalori (kkal/kg)			
	BA-59	BA-63	BA-67	BA-76
t inkubasi (menit)	7	10	19	34
t akhir pembakaran (menit)	72	53	50	46
Lama pembakaran ( $\Delta t$ )	65	43	37	12
T inkubasi (°C)	31	40	48	138
T akhir pembakaran (°C)	84	82	68	146
CH <sub>4</sub> rata-rata (ppm)	4,8	1,3	0,3	0,1
CH <sub>4</sub> kumulatif (ppm)	345,8	67,9	12,8	3,1

Pembentukan unsur hidrogen (H) akan lebih cepat sehingga akan mengikat unsur karbon (C), CO, dan CO<sub>2</sub> yang membentuk emisi gas CH<sub>4</sub>. Oleh karena itu, pembakaran batubara kalori rendah akan terjadi reaksi eksotermal secara cepat oleh adanya kandungan air tersebut dalam batubara akan membentuk emisi gas CH<sub>4</sub> lebih tinggi. Sedangkan batubara kalori tinggi maka proses pembentukan emisi gas CH<sub>4</sub> relatif lebih lama terutama untuk batubara kalori BA-76 dan nilai emisinya akan lebih rendah.

Gambar 7 dan Gambar 8 di atas menunjukkan pola yang sama terutama dalam pembentukan gas, *tar*, dan *char* akan terjadi dalam empat tahap pembakaran, yaitu (Smith, 1982; Chen, *at al*, 1996; Sen, 1999; Kamakci and Didari, 2000; Zhang, 2001; Walters *et al*,

2001; UNEP, 2006); (1) peningkatan panas secara lambat, (2) pembentukan gas CO<sub>2</sub> dan uap air (H<sub>2</sub>O), (3) pembentukan CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan hidrokarbon termasuk CH<sub>4</sub>, dan (4) pembentukan tar, char, dan gas CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O.

Pembakaran batubara pada penelitian akan mengalami masa inkubasi yang berbeda-beda untuk berbagai jenis kalori. Batubara dengan kalori rendah akan mengalami masa inkubasi yang lebih pendek dibandingkan dengan batubara kalori rendah (Gambar 8 dan Tabel 3). Pada masa inkubasi terjadi peningkatan panas secara lambat terutama pada batubara kalori rendah karena mengandung kadar air yang tinggi. Panas yang terjadi pada pembakaran digunakan terlebih dahulu untuk pemanasan air dalam batubara dan terbentuk CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Masa inkubasi (waktu inkubasi) pada batubara kalori rendah terjadi lebih cepat (Tabel 4.7) dimana untuk batubara BA-59, BA-63, BA-67, dan BA-76 masing-masing 7, 10, 19, dan 34 menit sedangkan temperatur inkubasi masing-masing 0 - 31, 0 - 40, 0 - 48, dan 0 - 138 °C (Tabel 3). Carres and Saghafi (1998); Wilpinjong Coal Project (2006); Industry & Investment (2011) menunjukkan masa inkubasi dalam pembakaran batubara antara 0 – 55 °C. Kelemahan dari penelitian tersebut bahwa temperatur yang terjadi tersebut tidak menjelaskan untuk batubara kalori tertentu. Namun demikian, nilai temperatur inkubasi dalam penelitian tersebut sudah menunjukkan kisaran 0 - 138 °C. Deming *et al* (2009) dan Sen *et al* (2009) dan temperatur inkubasi pada pembakaran batubara sekitar 0 - 70 °C juga tidak menunjukkan jenis batubara yang diteliti. Smith *et al* (1988); Nugroho *et al* (1998); Babraukas (2001); Buggeln and Rynk (2002); Beamish and Arisoy (2008); Zubicek (2008); Quintero *et al* (2009); Guranova *et al* (2010); dan Sasaki and Sugai (2011) juga menunjukkan temperatur inkubasi terjadi pada 0 - 200 °C juga tidak menyebutkan jenis kalori batubara yang diteliti.

Batubara kalori rendah seperti BA-59 proses inkubasi terjadi selama 7 menit pada temperatur 31 °C. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses pemanasan dan terbentuknya CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O akan terjadi lebih cepat dan terjadi pada temperatur rendah. Pembakaran batubara kalori rendah akan terjadi proses pemanasan, pembentukan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O terjadi lebih cepat karena adanya kadar air yang lebih tinggi. Proses ini akan sama terjadi pada batubara kalori BA-63, BA-67, dan BA-76 baik waktu maupun temperatur akan lebih lama dan lebih tinggi terjadinya inkubasi karena pengaruh kadar air yang tinggi. Waktu inkubasi selesai maka akan terjadi peningkatan waktu dan temperatur pembakaran dan membentuk tar, char, dan gas

CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan CH<sub>4</sub> sampai pembakaran selesai dimana kondisi CH<sub>4</sub> secara kontinyu menurun menuju 0 ppm.

Batubara kalori rendah maka masa inkubasi lebih lama dan temperatur pembakaran semakin tinggi. Temperatur yang lebih tinggi tersebut menyebabkan emisi gas CH<sub>4</sub> relatif lebih kecil karena terjadi pembakaran sempurna dimana unsur C akan terbakar seluruhnya dan sisanya menjadi abu terutama *fly ash* dan *bottom ash*. Batubara dengan kalori rendah terutama < 5.900 kkal/kg akan terjadi pembakaran tidak sempurna dimana sebagian masih menyisakan unsur carbon dalam bentuk arang yang menyebabkan emisi gas CH<sub>4</sub> rata-rata dan kumulatif lebih besar (Tabel 4.5 dan Tabel 4.6). Penggunaan batubara kalori rendah < 5.900 kkal/kg sebagai bahan bakar PLTU dan industri lainnya akan menyebabkan terjadinya emisi gas CH<sub>4</sub> di udara semakin besar. Oleh karena itu, perlu dilakukan peningkatan kalori batubara < 5.900 kkal/kg menjadi kalori 6.500 – 7.000 kkal/kg (coal upgrading) atau temperatur pembakaran batubara lebih ditingkatkan lagi sampai terjadi pembakaran yang sempurna.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akinyemi, S. A., Gitari, W. M., Akinlua, A., and Petrik, L. F., 2012. Mineralogy and Geochemistry of Sub-Bituminous Coal and Its Combustion Products from Mpumalanga Province, South Africa. InTech, Open Science, Open Minds.
- Bhushan, B., Kumar, R., and Mishra, S., 2012. Analysis of Pressure and Velocity in Coal Combustion System Using DPM Method in Fluent Software. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), Vol. 2, Issue 3: 2885-2889.
- Buczynski, R., 2011. Investigation of Fixed-Bed Combustion Process in Small Scale Boilers. Ph.D. Thesis, This thesis was realized in the frame of the agreement between Silesian University of Technology and Clausthal University of Technology, Gliwice-Clausthal-Zellerfeld.
- Gosh, A., 2014. Combustion Chamber in CI Engines: A Review. International Journal of Science and Research (IJSR), Volume 3 Issue 8, 196-198.
- Krwaczyk, E., Zakemska, M., and Wylecial, T., 2013. The Chemical Mechanism of SO<sub>x</sub> Formation and Elimination in Coal Combustion Process. Chemic, 67, 10: 856-862.
- Li, J., Zhang, X., Yang, W., and Blasiak, W., 2013. Effects of Flue Gas Internal Recirculation on NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub> Emissions in a Co-Firing Boiler. International Journal of Clean Coal and Energy, 2: 13-21 <http://dx.doi.org/10.4236/ijcce.2013.22002>.
- Liu, W., Li, Q., Liang F., Liu, L., Xu, G., and Yang, Y., 2014. Performance Analysis of Coal-Fired External Combustion Compressed Air Energy Storage System. Energy, 16, 5935-5953.
- Puspitorini, R. W., Damayanti, I. S., Nurtono, T., and Winardi, S., 2013. Studi Pemanfaatan Batubara Kualitas Rendah sebagai Bahan Bakar *Rotary Cement Kiln* Berbasis CFD, Jurnal Teknik Pomits Vol. 2 No. 1:1-3.
- Sodikin, I., Sumaryono, Sofaeti, Y., 2012. Pengembangan Teknologi Pembakaran Batubara untuk Industri. Kelompok Pelaksanaan Litbang Teknologi Pengolahan dan Pemanfaatan Batubara, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara, Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Bandung.
- Wielgosinski, G., 2010. Pollutant Formation in Combustion Processes Technical University of Lodz, Faculty of Process and Environmental Engineering Poland, Poland.
- Wiharja and Susanto, J. P., 2008. Peningkatan Efisiensi Pembakaran pada Boiler melalui Penerapan Produksi Bersih. J. Tek. Ling. Edisi Khusus, Hal. 40-47, ISSN1441-318X.
- Wilpinjong Coal Project., 2006. Spontaneous Combustion Management Plan. Wilpinjong Coal Pty Limited, Document No.: TCN0820-EVN-MP003/AO.

- Wuebbles D. J., and Hayhoe, K., 2000. Atmospheric Methane: Trends and Impacts. Department of Atmospheric Sciences, University of Illinois, Urbana, USA.
- Wuebbles D. J., and Hayhoe, K., 2002. Atmospheric Methane and Global Change, *Earth-Science Reviews*, 57 (2002), 177-210.
- Xu, J., and Qiao, L., 2012. Mathematical Modeling of Coal Gasification Processes in a Well-Stirred Reactor: Effect of Devolatilization and Moisture Content. *Energy & Fuels*, ACS Publication, American Chemical Society, School of Aeronautics and Astronautics, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- Zhou, L., 2014. The Chemical Principle of Green Coal Power. *Journal of Energy and Power Engineering* 8: 1918-1925.