

**KARAKTERISTIK EMISI PEMBAKARAN BATU BARA
MENGUNAKAN *PULVERIZED BURNER***

(Skripsi)

Oleh :

I PUTU GEDE WAHANA A W

(1715021004)



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

**KARAKTERISTIK EMISI PEMBAKARAN BATU BARA
MENGUNAKAN *PULVERIZED BURNER***

Oleh

I PUTU GEDE WAHANA A W

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2021

ABSTRAK

KARAKTERISTIK EMISI PEMBAKARAN BATU BARA MENGUNAKAN *PULVERIZED BURNER*

Oleh

I Putu Gede Wahana A W

Batu bara merupakan bahan bakar yang paling banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi manusia. Jika digunakan terus menerus dalam skala masif, kelangkaan batu bara mau tidak mau akan terjadi. Salah satu cara untuk mengatasi kelangkaan ini adalah dengan melakukan pembakaran bersama batu bara dengan bahan lain yang lebih ramah lingkungan. Sebelum melakukan pembakaran bersama, karakteristik pembakaran batubara harus diketahui terlebih dahulu agar dapat mengidentifikasi material yang akan digunakan pada pembakaran bersama. Pada penelitian ini karakteristik yang akan diuji adalah karakteristik emisi dari pembakaran yang dilakukan dengan menggunakan batubara sub-bituminus dan menggunakan tungku tipe *pulverized burner* serta menggunakan tiga variasi temperatur pembakaran yaitu 800°C, 900°C, dan 1000°C. Emisi gas buang yang akan diuji antara lain NO_x, CO dan SO₂. Hasil emisi CO pada temperatur 800°C, 900°C, dan 1000°C adalah 685 mg/m³, 412 mg/m³, dan 192 mg/m³. Hasil emisi NO_x pada temperatur 800°C, 900°C, dan 1000°C berturut-turut adalah 475 mg/m³, 522 mg/m³, dan 566 mg/m³. Hasil emisi SO₂ masing-masing pada temperatur 800°C, 900°C, dan 1000°C adalah 277 mg/m³, 345 mg/m³, dan 426 mg/m³. Emisi CO, NO_x, dan SO₂ mengalami perbedaan. Produksi emisi CO yang dihasilkan menurun seiring dengan peningkatan temperatur pembakaran sedangkan emisi NO_x dan SO₂ meningkat seiring dengan peningkatan temperatur pembakaran. Emisi produk terbaik pada temperatur 1000°C dengan SO₂ dan NO_x masih aman karena masih dibawah ambang batas yang diizinkan yaitu 750 mg/m³ untuk SO₂ dan 825 mg/m³ untuk NO_x. Emisi CO terbaik juga pada temperatur 1000°C yaitu 192 mg/m³.

Kata Kunci : Batu bara, Pembakaran, Emisi.

ABSTRACT

EMISSION CHARACTERISTICS OF BURNING COAL USING A PULVERIZED BURNER

By

I Putu Gede Wahana A W

Coal is the most widely used fuel to meet human energy needs. If used continuously on a massive scale, coal scarcity will inevitably occur. One way to overcome this scarcity is to co-combustion coal with other materials that are more environmentally friendly. Before conducting co-combustion, the characteristics of coal combustion must be known in advance in order to identify the material to be used in co-combustion. In this study, the characteristics that will be tested are the emission characteristics from combustion which is carried out using sub-bituminous coal and using a pulverized burner type furnace and using three variations of combustion temperature, namely 800°C, 900°C, and 1000°C. Exhaust emissions to be tested include NO_x, CO and SO₂. The results of CO emission at temperatures of 800°C, 900°C, and 1000°C were 685 mg/m³, 412 mg/m³, and 192 mg/m³. The results of NO_x emission at temperatures of 800°C, 900°C, and 1000°C were 475 mg/m³, 522 mg/m³, and 566 mg/m³, respectively. The resulting SO₂ emissions at temperatures of 800°C, 900°C, and 1000°C were 277 mg/m³, 345 mg/m³, and 426 mg/m³, respectively. Emissions of CO, NO_x, and SO₂ are different. The resulting CO emission production decreases with increasing combustion temperature while NO_x and SO₂ emissions increase with increasing combustion temperature. The best product emission at a temperature of 1000°C with SO₂ and NO_x is still safe because it is still below the permitted threshold, namely 750 mg/m³ for SO₂ and 825 mg/m³ for NO_x. The best CO emission is also at a temperature of 1000°C, which is 192 mg/m³.

Keywords: Coal, Combustion, Emissions.

Judul Skripsi : **KARAKTERISTIK EMISI PEMBAKARAN
BATU BARA MENGGUNAKAN
PULVERIZED BURNER**
Nama Mahasiswa : I Putu Gede Wahana A W
Nomor Pokok Mahasiswa : 1715021004
Program Studi : S1 Teknik Mesin
Fakultas : Teknik



Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2

Dr. Amrul, S.T., M.T.

NIP. 19710331 199903 1 003

Dr. Muhammad Irsyad S.T., M.T.

NIP. 19711214 200012 1 001

MENGETAHUI

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Program Studi S1 Jurusan
Teknik Mesin

Dr. Amrul, S.T., M.T.

NIP. 19710331 199903 1 003

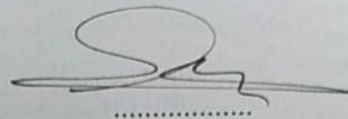
Novri Tanti, S.T., M.T.

NIP. 19701104 199703 2 001

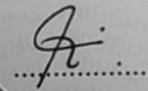
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Amrul, S.T., M.T



Anggota Penguji : Dr. Muhammad Irsyad S.T., M.T



Penguji Utama : Agus Sugiri S.T., M.Eng



Dekan Fakultas Teknik

 Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN., Eng.
NIP. 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 13 Oktober 2021

PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini dibuat sendiri oleh penulis dan bukan hasil plagiat sebagaimana diatur dalam pasal 27 peraturan akademik universitas lampung dan sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU no.20 tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Bandar Lampung, Oktober 2021

Penulis



I PUTU GEDE WAHANA A W

NPM 1715021004

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama I Putu Gede Wahana A W, lahir pada tanggal 12 Juli 1999 di Panjang, Provinsi Lampung. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Made Dharma Laksana dan Sri Bomantari. Penulis bersekolah di SMAN 01 KOTAGAJAH dan lulus pada tahun 2017 silam.

Pada tahun yang sama penulis melanjutkan studi di Universitas Lampung Program S1 Teknik Mesin melalui jalur SNMPTN. Pada tahun bulan Juli tahun 2020 penulis melakukan Kerja Praktik di PT. Lambang Bumi Perkasa yang terletak di Jl. Lintas timur KM. 255 Kampung Terbanggi Ilir, Kecamatan Bandar Mataram, Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung. Selama melaksanakan studi, penulis aktif pada kegiatan kemahasiswaan khususnya himpunan yang ada di jurusan Teknik Mesin yaitu HIMATEM.

Pada tahun 2021 penulis menyelesaikan studi S1 Teknik Mesin dengan Skripsi yang berjudul **“Karakteristik Emisi Pembakaran Batubara Menggunakan *Pulverized Burner*”** dengan bimbingan dari Dr. Amrul S.T., M.T. dan Dr. Muhammad Irsyad S.T., M.T.

KATA INSPIRASI

*“Lebih mengerjakan pekerjaan sendiri walaupun kurang cara penyelesaiannya
Daripada mengerjakan pekerjaan orang lain walaupun baik penyelesaiannya.”*
(Bhagavad gita III. 35)

*“Masa depan bukan apa-apa, masa depan berasal dari keputusan yang
diambil hari ini.”*
(Sri Krisna)

*“Mereka yang sudah tidak ada alasan bangga kepada diri sendiri
mereka sudah kalah.”*
(Pangeran Sangkuni)

*“Kegilaan adalah melakukan sesuatu dengan usaha yang sama dan
mengharapkan hasil berbeda.”*
(Albert Einstein)

PERSEMBAHAN

Karya yang ini saya persembahkan kepada:

Orang tua saya yang selalau memberikan yang terbaik dan adik saya yang selalu memberi semangat untuk menyelesaikan studi.

Anda semua yang bertanya kapan saya wisuda.

SANWACANA

Om Swastyastu, salam sejahtera bagi kita semua

Puji syukur penulis panjatkan hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat, karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Karakteristik Emisi Pembakaran Batu Bara Menggunakan *Pulverized Burner*”. Karya ilmiah ini merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Sarjana Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Limpahan terimakasih penulis berikan kepada kedua orang tua yakni I Made Dharma Laksana dan Sri Bomantari yang sudah mendidik, merawat dengan segala daya upaya yang dimiliki, memberikan doa, kasih sayang bahkan materi yang tidak akan mampu penulis balas hingga akhir hayat. Selama proses penulisan skripsi ini, penulis telah menerima banyak masukan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T. selaku pembimbing utama sekaligus pembimbing akademik penulis telah bersedia memberikan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi.

2. Bapak Muhammad Irsyad S.T., M.T. selaku pembimbing kedua yang tidak lelah untuk menasihati penulis agar segera menyelesaikan skripsi.
3. Kedua Orang Tua penulis I Made Dharma Laksana, Sri Bomantari yang selalu memberikan doa, dukungan dan motivasi kepada penulis.
4. Seluruh dosen Teknik mesin yang telah banyak memberikan ilmu dan tauladan bagi penulis selama melaksanakan studi.
5. Pak Marta selaku admin S1 yang sangat banyak membantu penulis dalam mengurus administrasi.
6. Seluruh tim penelitian Yogi Satria Darma, Nikolaus Derry Chandra, Fajar Bakti Kusuma, Alvenda Yulianto, dan Daril Galih Kusumo.
7. Teman-teman NGT69 Wahyu Rahmatulloh, Yogi Satria Darma, Aldy Iwang Ramadhan, Edho Pangestu, Irfan Nul Hakim, Mikael Sihonanda, Achmad Muhroji dan Angga Yuda Pratama.
8. Semua teman-teman Teknik Mesin Universitas Lampung angkatan 2017.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas semua kebaikan semua pihak dan semoga Skripsi ini bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan pada pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung, Oktober 2021

Penulis

I Putu Gede Wahana A W

DAFTAR ISI

	Halaman
SANWACANA	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	vi
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Manfaat Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Bahan Bakar.....	6
2.2 Batu bara	7
2.3 Kandungan Batu bara.....	7
2.4 Proses Pembentukan Batu bara.....	9
2.5 Jenis Batu bara	10
2.6 Pembakaran.....	11
2.7 Jenis Pembakaran.....	12
2.8 Dasar Pembakaran	14
2.9 Mekanisme Pembakaran Padatan	15
2.10 Pembakaran Batu bara Serbuk	15
2.11 Pengujian Emisi	16
2.12 Emisi Polutan	17

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	19
3.2 Alat dan Bahan.....	19
3.3 Metode Pengambilan Data	24
3.4 Diagram Alir Penelitian	26

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil penelitian	27
4.2 Pembahasan.....	28

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1. Efek temperatur terhadap emisi NO _x	17
2.2. Efek temperatur terhadap emisi CO	18
2.3. Efek temperatur terhadap emisi SO ₂	18
3.1. Timbangan digital	20
3.2. Ayakan 200 <i>mesh</i>	20
3.3. Alat uji emisi E6000-5DS	21
3.4. Perekam temperatur	21
3.5. Selang regulator dan pemantik api	22
3.6. <i>Pulverized burner</i>	22
3.7. Batu bara <i>sub bituminous</i>	23
3.8. Skema pengujian	24
4.1. Grafik pengaruh temperatur terhadap emisi CO	30
4.2. Grafik pengaruh temperatur terhadap emisi NO _x	33
4.3. Grafik pengaruh temperatur terhadap emisi SO ₂	36
4.4. Grafik perbandingan emisi hasil pengujian dengan standar emisi kementrian LHK	38

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1. Ambang Batas Emisi bagi Ketel Uap (Permen Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 07 Tahun 2007 Lampiran IV)	16
3.1. Spesifikasi batu bara sub <i>bituminous</i>	24
4.1 Hasil pengujian pembakaran batu bara serbuk menggunakan <i>pulverized burner</i>	27

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Revolusi industri berkembang sangat cepat, perkembangan ini membutuhkan persediaan energi yang besar guna memenuhi kebutuhan energi. Sumber energi primer yang paling banyak digunakan adalah bahan bakar fosil. Ketersediaan bahan bakar ini masih melimpah di alam sehingga bahan bakar fosil menjadi pilihan. Kebutuhan manusia pada energi fosil membuat persediaan bahan bakar fosil di alam semakin menipis dan intensitas penggunaan tidak sebanding dengan waktu pembentukannya.

Contoh bahan bakar fosil adalah batu bara dan produk turunan dari minyak bumi seperti bensin, solar, aspal. Batu bara dipilih sebagai sumber energi karena jumlah yang melimpah, dan harga yang cenderung stabil. Sumber energi lain seperti gas alam harganya rentan terhadap fluktuasi sehingga sebagian besar industri lebih memilih sumber energi batu bara (Gunara, 2017).

Indonesia merupakan negara yang memiliki sumber energi fosil melimpah khususnya batu bara dan sebagai salah satu negara pengekspor batu bara terbesar didunia bersama Amerika Serikat, Rusia, India dan China. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional mencatat sampai juni 2019 Indonesia memiliki cadangan batu bara mencapai 37 miliar ton. Berdasarkan data Direktorat Sumber Daya Energi Mineral dan Pertambangan, jumlah produksi batu bara tahun 2018 di Indonesia mencapai 406 juta ton. Diharapkan pada

tahun 2019, Indonesia mampu memproduksi batu bara sebesar 400 juta ton dengan 60% untuk kebutuhan dalam negeri. (Bapennas, 2019).

Sebagian besar industri di Indonesia menggunakan batu bara sebagai sumber energi utama khususnya batu bara serbuk. Batu bara serbuk memiliki beberapa kelebihan yaitu dapat mempercepat proses pembakaran sehingga efisiensi alat meningkat. Menggiling batu bara menjadi serbuk membuat permukaan yang kontak dengan udara akan semakin rapat sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna. Menggunakan metode ini efisiensi pembakaran dapat ditingkatkan (Samlawi, 2017).

Penggunaan bahan bakar fosil khususnya batu bara akan berakibat buruk pada kesehatan dan lingkungan. Pemanasan global dan efek rumah kaca adalah dampak dari penggunaan batu bara secara terus-menerus. Pemanasan global disebabkan oleh pembakaran batu bara yang dilakukan secara masif menghasilkan gas buang dengan jumlah besar yang tidak dapat diserap kembali secara menyeluruh oleh tumbuhan.

Batu bara membutuhkan waktu jutaan tahun untuk dapat terbentuk, jika tidak mencari pengganti batu bara, maka kelangkaan pasti akan terjadi. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah melakukan pembakaran bersama antara batu bara dengan bahan lain seperti biomassa yang lebih ramah lingkungan dengan variasi tertentu. Sebelum itu, harus diketahui terlebih dahulu karakteristik pembakaran batu bara agar dapat mengidentifikasi pembakaran bahan lain dengan pembakaran batu bara sebagai acuannya.

Seiring berjalannya waktu batu bara pasti akan habis dan pembakaran bersama dapat menjadi solusi untuk masalah tersebut. Berdasarkan hal tersebut saya tertarik untuk melakukan penelitian karakteristik emisi pembakaran batu bara serbuk, sehingga diharapkan dapat menjadi pedoman, sebagai upaya mencari bahan pengganti dan mencegah kelangkaan batu bara.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik emisi pembakaran batu bara serbuk menggunakan *pulverized burner* meliputi CO (karbon monoksida), NO_x (nitrogen oksida) dan SO₂ (sulfur dioksida).

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melalui penelitian ini dapat diketahui karakteristik emisi pembakaran batu bara serbuk khususnya batu bara *sub bituminous* yang sering digunakan sebagai bahan bakar industri di Indonesia.
2. Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai literasi untuk mencari sumber energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yang ditetapkan untuk memusatkan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan menggunakan batu bara tipe *sub bituminous*.
2. Pengujian ini menggunakan 3 variasi temperatur yaitu 800°C, 900°C, dan 1000°C dan menggunakan mesin *coal combustion* skala lab tipe *pulverized burner* yang terdapat di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Mengukur emisi pembakaran batu bara serbuk menggunakan perekam temperatur BTM-4208SD yang dihubungkan dengan termokopel.
4. Produk pembakaran yang akan diuji hanya terdiri dari CO, NO_x dan SO₂.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan oleh penulis dalam penyusunan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Pendahuluan berisikan Latar Belakang, Tujuan, Batasan Masalah dan Sistematika Penulisan Laporan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka berisi dasar teori dan literatur penunjang dalam penelitian ini.

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian berisi mengenai waktu dan tempat pelaksanaan penelitian, tahapan, serta metode-metode yang digunakan penulis untuk melaksanakan penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan berisi data-data yang diperoleh dari hasil penelitian yang sudah dilakukan dan pembahasan mengenai pengaruh berbagai parameter yang digunakan pada penelitian ini.

V. PENUTUP

Penutup berisi simpulan dari hasil penelitian yang sudah dilakukan serta saran yang diperlukan agar penelitian selanjutnya menjadi lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi sumber dan referensi yang digunakan oleh penulis dalam menyusun laporan penelitian ini.

LAMPIRAN

Berisi data pelengkap seperti gambar, dan beberapa data pendukung untuk menunjang kredibilitas laporan penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Bakar

Bahan bakar adalah bahan yang mudah terbakar dengan karbon sebagai unsur penyusun utama. Karbon jika dibakar akan menghasilkan kalor yang besar yang dapat dimanfaatkan untuk rumah tangga atau industri. Bahan bakar dibagi menjadi 3 jenis yaitu bahan bakar padat, cair dan gas. Karbon, hidrogen, dan sulfur adalah unsur penyusun bahan bakar.

Contoh bahan bakar adalah kayu kering, batu bara, arang dan bahan bakar minyak. Saat proses pembakaran, terjadi reaksi antara unsur kimia kandungan bahan bakar dengan oksigen dan pemantik sehingga terjadi pembakaran dan terjadi pelepasan panas. Besar nilai kalor bahan bakar bergantung pada jumlah atom karbon dan hidrogen. Karakteristik Bahan bakar yang baik adalah sebagai berikut (Fuhadi, 2011):

1. Memiliki nilai kalor yang tinggi.
2. Kandungan zat-zat yang tidak mudah terbakar rendah.
3. Temperatur penyalaan cukup.
4. Kelembaban rendah.
5. Pembakaran harus dapat dikendalikan.
6. Kecepatan pembakaran cukup.
7. Bebas dari gas berbahaya seperti CO, SO_x, H₂S.
8. Mudah diangkut dan harga yang murah.

2.2 Batu Bara

Batu bara adalah sebuah batuan sedimen yang berasal dari bahan organik mengandung sejumlah karbon diantaranya adalah nitrogen, oksigen, hidrogen, dan belerang serta sejumlah kecil elemen termasuk materi mineral penyusun lainnya. Nama batu bara diperkirakan berasal dari bahasa Inggris Kuno, yaitu *col* jenis arang yang digunakan saat itu. Beberapa daerah menyebut batu bara sebagai batu bara laut, karena batu bara ini terkadang ditemukan di pinggir pantai terutama di Timur Laut Inggris. Selama awal abad pertengahan (sebelum 1000 M), batu bara belum mulai diambil dan ditambang tetapi ada catatan tertulis tentang keberadaan batu bara ditambang setelah itu. Secara keseluruhan abad ke-19 dan awal abad ke-20 penggunaan batu bara mulai berkembang pesat.

Batu bara juga dapat diartikan sebagai sebuah batuan padat, mudah terbakar, rapuh, dan memiliki nilai karbon. Batu bara terbentuk melalui proses perubahan vegetasi alami dan dekomposisi bahan organik yang melalui proses pemadatan, temperatur, dan tekanan. Batu bara memiliki warna yang bervariasi dan cenderung coklat kehitaman, warna ini tergantung dari tingkat batu bara tersebut. Lumut, tumbuhan rendah, dan tumbuhan berkayu merupakan sumber vegetasi pembentuk utama batu bara. Batu bara terbentuk dari tumbuhan prasejarah yang tumbuh di ekosistem rawa-rawa. Ketika tanaman tersebut mati, biomassa mereka diendapkan secara anaerobik, lingkungan akuatik yang memiliki kadar oksigen rendah dapat mencegah pembusukan dan pelepasan karbon dioksida (Speight, 2005).

2.3 Kandungan Batu bara

Struktur penyusun batu bara secara umum yaitu karbon (C), oksigen (O) dan hidrogen (H) dan unsur lain yaitu belerang (S), nitrogen (N). Berikut ini adalah analisis ultimat batu bara (Sepfitrah, 2016):

1. Kadar Air

Kadar air adalah besarnya jumlah kandungan air didalam batu bara. Hasil analisis dibagi menjadi kadar air bebas dan kadar air tetap dengan jumlah keduanya disebut kadar air total. Kandungan kadar air akan mempengaruhi jumlah pemakaian udara primer karena bahan bakar dengan kadar air tinggi membutuhkan udara primer yang lebih besar untuk kering.

2. Zat Volatil

Volatil dalam KBBI (Kamus Besar Bahasa Indonesia) berarti mudah berubah menjadi gas atau uap. Zat volatil adalah bahan mudah menguap yang terdapat pada bahan bakar. Bahan yang mudah menguap pada batu bara adalah metan, hidrokarbon, hidrogen, karbon monoksida. Kandungan volatil pada batu bara berkisar 20% hingga 35%.

3. Karbon Tetap

Karbon tetap adalah sisa yang tersisa setelah kandungan air pada batu bara dan zat volatil dihilangkan. Nilai karbon tetap adalah nilai murni pembentuk batu bara sesungguhnya. Nilai karbon akan meningkat seiring dengan lamanya waktu pembatu baraan dan nilainya diperoleh melalui pengurangan dengan jumlah kadar air, jumlah zat volatil, dan abu.

4. Abu

Abu adalah sisa zat yang tidak akan terbakar. Kandungannya berkisar antara 5% hingga 40%. Semakin tinggi kadar abu maka akan mempengaruhi tingkat pengotor, keausan dan korosi.

2.4 Proses Pembentukan Batu bara

Gambut adalah proses awal batu bara dimulai yang terbentuk di lumpur. Lingkungan berawa yang dibutuhkan pada proses pembatu baraan adalah lumpur. Lumpur diperlukan karena dapat membentuk kondisi yang diperlukan untuk gambut yang sudah terkumpul menjadi suatu lapisan. Untuk dapat menjadi batu bara, gambut melalui proses yang panjang dan rumit, campuran kompleks organik dan senyawa anorganik merupakan penyusun utama dari batu bara. Senyawa organik ini berasal dari tumbuhan yang sudah mati dan jumlahnya mencapai jutaan.

Batu bara juga mengandung lebih dari 100 senyawa anorganik yang dimasukkan ke dalam lumpur dari sedimen yang terbawa air atau terbawa angin atau berasal dari unsur-unsur aslinya vegetasi misalnya, senyawa anorganik yang mengandung semacam unsur zat besi dan seng yang sangat dibutuhkan tanaman untuk kesehatan pertumbuhan. Senyawa anorganik tetap berada pada gambut setelah tanaman membusuk. Beberapa elemen itu bergabung untuk membentuk mineral diskrit seperti pirit. Sumber lain dari senyawa anorganik yang digunakan oleh tumbuhan mungkin adalah lumpur itu melapisi dasar lumpur, sedimen yang ditimbulkan oleh drainase limpasan, elemen terlarut dalam air lumpur, dan terbawa angin pasir, debu, atau abu. (Schweinfurth, 2009).

1. Tahap Penggambutan (*peatification*)

Tahap penggambutan adalah tahap saat sisa-sisa tumbuhan yang tersimpan, terakumulasi dalam kondisi anaerobik (bebas oksigen) di daerah rawa dengan sistem pengeringan yang buruk dan selalu tergenang air pada kedalaman antara 0,5 sampai 10 meter. Unsur H, N, O, dan C dalam bentuk senyawa CO_2 , H_2O , dan NH_3 dilepaskan oleh tumbuhan yang sudah membusuk tersebut dan berubah menjadi humus yang selanjutnya humus diubah menjadi gambut oleh bakteri anaerobik.

2. Tahap Pembatu baraan (*coalification*)

Proses penggabungan biologi, kimia, dan fisika yang terjadi karena pengaruh pembebanan dari sedimen yang menutupinya, temperatur, tekanan, dan waktu terhadap komponen organik dari gambut. Saat tahap ini, persentase karbon akan naik sedangkan persentase hidrogen dan oksigen akan turun. Proses ini menghasilkan batu bara yang dibagi berdasarkan tingkat kematangan material organiknya.

2.5 Jenis Batu bara

Setelah melalui proses penggambutan yaitu pembentukan bahan kaya karbon dan proses pembatu baraan yang melalui temperatur dan waktu yang berbeda sehingga menyebabkan pembentukan batu bara sifat yang sangat berbeda. Berdasarkan waktu pembentukan dan kadar karbon yang terkandung, batu bara terbagi menjadi lima yaitu gambut, lignit, *sub bituminous*, *bituminous* dan antrasit (Speight, 2005).

1. Gambut

Gambut adalah batu bara yang memiliki kandungan karbon paling rendah yaitu kurang dari 60% dengan kandungan sisanya adalah abu kering. Batu bara jenis ini memiliki waktu pembentukan yang paling cepat, oleh karena itu massa sisa-sisa tanaman yang mati belum sepenuhnya berkarbonisasi.

2. Lignit

Jenis ini merupakan batu bara dengan peringkat terendah (batu bara coklat). Batu bara lignit ini mengandung nilai kalor kurang dari 8300 kJ/kg dengan kadar karbon mencapai 60-70% .

3. *Sub bituminous*

Batu bara *sub bituminous* adalah jenis batu bara dengan kandungan karbon mencapai 71-77%. Batu bara jenis ini memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dari pada batu bara lignit dan gambut yaitu sebesar 8300-

13000 kJ/kg. Berdasarkan nilai kalornya, batu bara *Sub-Bituminuos* dibagi lagi menjadi batu bara *sub-bituminous A*, *sub-bituminous B*, dan *sub-bituminous C*.

4. *Bituminous*

Batu bara *bituminous* adalah batu bara dengan kandungan karbon mencapai 77 - 87%. Nilai kalor ini jauh lebih tinggi dari batu bara lignit atau *sub bituminous*. Berdasarkan produksi bahan yang mudah menguap, batu bara *bituminous* dibagi lagi menjadi batu bara *bituminous* volatil rendah, batu bara *bituminous* volatil sedang, dan batu bara *bituminous* volatil tinggi.

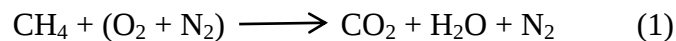
5. Antrasit

Peringkat tertinggi dari batu bara adalah batu bara antrasit dengan kandungan karbon lebih dari 87%. Batu bara jenis ini adalah batu bara dengan waktu pembentukan yang paling lama diantara jenis batu bara yang lainnya. Batu bara antrasit dibagi lagi menjadi semi-antrasit, antrasit dan meta-antrasit.

2.6 Pembakaran

Pembakaran dapat diartikan sebagai reaksi eksotermik cepat dan membebaskan energi substansial panas dan api sebagai reaksi pembakaran dengan kemampuan untuk merambat melalui media yang sesuai dan kompatibel. Perbanyakan ini dihasilkan dari penggandengan yang kuat dari reaksi dengan proses transfer molekul. Pembakaran secara kimia dan fisika adalah penghancuran dan penataan ulang molekul tertentu, dengan cepat melepaskan energi dalam sepersejuta detik. Pembakaran adalah hasil dari peristiwa dinamis atau bergantung pada waktu yang terjadi pada tingkat molekuler antara atom dan molekul.

Pembakaran merupakan suatu reaksi kimia yang terjadi antara material yang dapat terbakar dengan oksigen pada volume dan temperatur tertentu dan dapat diartikan juga sebagai proses oksidasi bahan bakar secara cepat yang disertai dengan produksi panas atau panas dan cahaya. Pelepasan panas dan cahaya ini ditandai dengan terbentuknya api. Reaksi kimia proses pembakaran terdapat dibawah ini.



Pembakaran memiliki tiga syarat untuk dapat terjadi yaitu terdapat bahan bakar, harus menyertai oksigen didalam dan sumber panas awal. Ketiga unsur ini biasa disebut dengan segitiga pembakaran. Saat kondisi tertentu, bahan bakar akan dapat terbakar dengan sendirinya tanpa bantuan sumber penyalan pembakaran semacam ini disebut pembakaran spontan. Pembakaran spontan dapat terjadi ketika oksigen yang kontak langsung dengan bahan bakar serta temperatur bahan bakar dapat disebabkan oleh tekanan atau reaksi kimia yang menghasilkan panas (Mahallawy, 2002).

2.7 Jenis Pembakaran

Proses pembakaran pada dasarnya dibagi menjadi 2 jenis yaitu :

1. Pembakaran Stoikiometri

Kata stoikiometri berasal dari bahasa Yunani "*stoicheion*", yang berarti elemen. Ketika bahan bakar fosil terbakar bersama oksida, maka sebagian besar pembakaran tersebut akan menghasilkan pembakaran parsial. Umumnya bahan bakar tersebut hanya mengandung unsur nitrogen, hidrogen karbon, oksigen, dan belerang. Fungsi stoikiometri adalah untuk menentukan dengan tepat berapa banyak udara yang digunakan untuk bahan bakar agar teroksidasi sepenuhnya dan bahan bakar berubah menjadi produk yaitu karbon dioksida, uap air dan nitrogen.

Pembakaran dalam keadaan stoikiometri adalah kondisi dimana bahan bakar dan udara saat terjadi proses pembakaran jumlahnya secara teoritis dibutuhkan minimal untuk menghasilkan pembakaran sempurna sehingga dapat dihitung melalui analisa yang digunakan sebagai perbandingan dengan pembakaran dalam kondisi aktual. Pembakaran stoikiometri dapat terjadi jika oksigen yang terdapat pada proses pembakaran bahan bakar cukup. Syarat terjadinya pembakaran stoikiometri atau pembakaran sempurna antara lain:

- a. Semua karbon (C) yang terkandung didalam bahan bakar setelah proses pembakaran berubah menjadi CO_2 didalam produk.
- b. Semua hidrogen (H) yang terkandung didalam bahan bakar setelah proses pembakaran berubah menjadi H_2O didalam produk.

Kondisi pembakaran stoikiometri pada umumnya sulit untuk dicapai karena pada teori pembakaran membutuhkan oksigen sebagai oksidan. Hal ini bertentangan dengan fakta bahwa oksida pada pembakaran aktual oksidannya adalah udara yang terdiri dari 21% oksigen 78% nitrogen dan 1% unsur lainnya. Meskipun demikian, campuran yang secara stoikiometri akan menghasilkan persis produk yang tercantum diatas dan tidak memiliki oksigen berlebih jika pembakaran telah selesai.

2. Pembakaran aktual

Campuran non stoikiometri adalah kondisi dimana terdapat komponen yang berlebih dari campuran tersebut baik itu udara ataupun bahan bakar. Hal ini dikenal dengan istilah kaya dan miskin. Istilah kaya dan miskin digunakan saat dimana setiap oksidan dan bahan bakar yang terdapat pada campuran udara bahan bakar melebihi proporsi stoikiometrinya.

2.8 Dasar Pembakaran

Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan pembakaran dan efisiensi pembakaran adalah sebagai berikut:

1. Waktu

Pembakaran adalah suatu reaksi kimia dan setiap reaksi kimia membutuhkan waktu untuk menuntaskan prosesnya. Setiap pembakaran, bahan bakar harus diusahakan agar tetap berada di batas pembakaran di dalam ruang bakar pada waktu yang cukup. Hal ini bertujuan agar bahan bakar dapat terbakar dengan sempurna sehingga efisiensi dari pembakaran meningkat.

2. Temperatur

Supaya proses pembakaran suatu bahan bakar dapat terjadi, maka temperatur dari zat tersebut harus berada pada suatu nilai tertentu yang cukup untuk memulai terjadinya suatu reaksi pembakaran. Harga temperatur ini tergantung dari komposisi kimia dari zat tersebut. Temperatur ini biasa disebut temperatur penyalaan. Temperatur ruang bakar harus dijaga agar campuran dari udara dan bahan bakar dapat mencapai temperatur penyalaan dan terbakar.

3. Turbulensi

Oksigen di dalam udara yang dialirkan ke ruang bakar memiliki kemungkinan akan langsung mengalir keluar tanpa kontak dengan bahan bakar. Hal seperti ini dapat dihindari dengan cara memusarkan aliran udara. Turbulensi udara akan menghasilkan percampuran yang baik antara udara dengan bahan bakar sehingga pembakaran yang sempurna dapat diperoleh. Ketiga faktor diatas harus dijaga agar tidak terjadi hal yang merugikan seperti:

- a. Bila temperatur yang terdapat di ruang bakar lebih rendah dari temperatur penyalaan campuran udara dan bahan bakar, maka campuran udara dan bahan bakar tidak akan terbakar dengan baik

dan bahkan dapat mematikan nyala api atau sering disebut gagal menyala.

- b. Bila pasokan udara terlalu kuat dan tidak sesuai dengan kebutuhan maka turbulensi yang terjadi menjadi kurang baik. Ukuran partikel bahan bakar jika terlalu besar akan menghasilkan proses pembakaran yang kurang sempurna. Akhirnya, bahan bakar yang belum sempat terbakar di ruang bakar akan terbakar diluar zona pembakaran.

2.9 Mekanisme Pembakaran Padatan

Proses pembakaran padatan secara umum terdiri dari pemanasan, pengeringan, devolatilisasi, dan pembakaran arang. Saat pembakaran padatan bahan bakar mengalami proses pengeringan dimana kadar air berkurang kemudian terjadi devolatilisasi. Devolatilisasi adalah proses pelepasan gas-gas yang mengandung volatil. Komposisi gas selama devolatilisasi tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan. Gas yang dikeluarkan selama proses devolatilisasi antara lain CO, CO₂, CH₄ dan H₂. Setelah devolatilisasi, terjadi oksidasi bahan bakar padat (arang). Besar laju pembakaran arang tergantung pada konsentrasi oksigen, temperatur gas dan porositas arang. Saat konsentrasi oksigen meningkat dalam gas, akan menimbulkan laju pembakaran bahan bakar padat yang lebih tinggi. Temperatur pembakaran bahan bakar padat yang lebih tinggi akan menyebabkan waktu pembakaran padatan yang lebih singkat (Suyitno, 2005).

2.10 Pembakaran Batu bara Serbuk

Saat ini penggunaan batu bara serbuk sebagai bahan bakar pembangkit energi sudah banyak digunakan. Pembakaran batu bara serbuk adalah suatu proses pembakaran batu bara yang berbentuk serbuk, sebelum digunakan batu bara akan digiling lebih dahulu sampai ukuran yang ditentukan. Tujuan menggiling batu bara yaitu meningkatkan efisiensi pembakaran. Batu bara

yang ukurannya lebih kecil akan memiliki kerapatan kontak udara yang lebih besar. Batu bara bongkahan hanya lapisan luarnya saja yang kontak dengan udara. Lebih rapatnya kontak udara akan mempercepat proses pembakaran sehingga laju aliran bahan bakar dapat ditingkatkan kemudian akan menghasilkan temperatur tinggi dalam waktu yang lebih singkat. Melalui cara ini, efisiensi alat dapat ditingkatkan. Batu bara dengan ukuran lebih kecil akan meningkatkan laju pemanasan dan mempercepat lepasnya zat volatil dari batu bara (Matsuda, 2006).

2.11 Pengujian Emisi

Industri pada prosesnya menghasilkan emisi gas buang dari sisa pembakaran. Emisi ini berbahaya dan menimbulkan pencemaran jika kadarnya melebihi ambang batas yang diperbolehkan. Maka perlu dilakukan pengujian emisi untuk mengetahui apakah emisi yang dihasilkan pada industri tersebut dibawah standar yang sudah ditetapkan selain itu uji emisi juga diperlukan untuk evaluasi industri tersebut agar dapat menurunkan kadar emisi yang dihasilkan. Ambang batas emisi yang diizinkan ditunjukan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Ambang Batas Emisi bagi Ketel Uap (Permen Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 07 Tahun 2007 Lampiran IV)

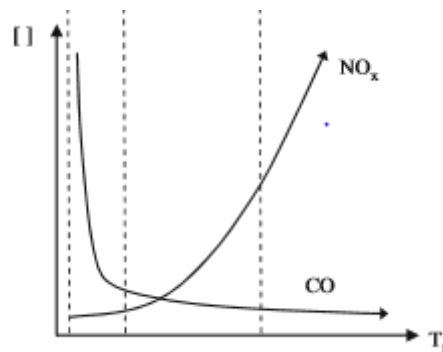
Jenis Bahan Bakar	Parameter	Baku Mutu (mg/m ³)
Batu bara	Partikulat	230
	Sulfur Dioksida (SO ₂)	750
	Nitrogen Oksida (NO _x)	825

2.12 Emisi Polutan

Proses pembakaran menghasilkan berbagai macam zat sisa. CO_2 adalah salah satu zat sisa yang dapat diserap habis oleh tumbuhan. Setiap proses pembakaran selalu menghasilkan emisi dan emisi akan muncul ketika pembakaran dimulai. Bentuk dan besar emisi yang dihasilkan akan dipengaruhi oleh kandungan udara, bahan bakar, dan temperatur pembakaran. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.1 saat temperatur awal pun emisi sudah muncul. Produksi CO_2 terus meningkat karena pembakaran bahan bakar fosil secara besar-besaran. CO_2 yang dapat diserap tumbuhan hanya sebagian dan sebagian lainnya terperangkap di bumi yang dapat menimbulkan efek rumah kaca. Nitrogen oksida dan karbon monoksida juga dapat mengakibatkan masalah pernafasan dan bersifat karsinogenik. Karbon monoksida mengikat hemoglobin dalam darah sehingga darah kehilangan kemampuan untuk membawa oksigen. Faktor yang mempengaruhi produksi emisi antara lain, kandungan bahan bakar dan kualitas pembakaran. Berikut ini adalah penjelasan pengaruh temperatur terhadap emisi yang dihasilkan.

1. Nitrogen Oksida (NO_x)

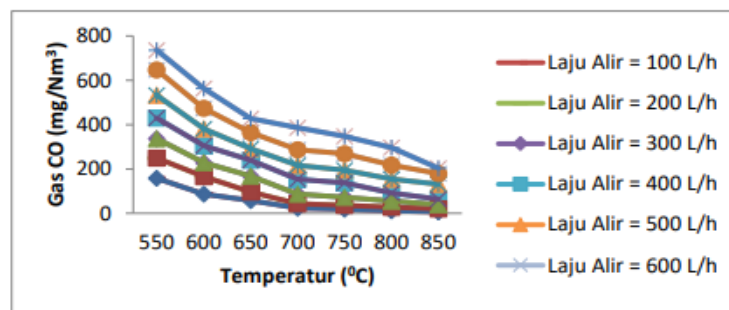
Pemanasan menggunakan temperatur operasi tinggi dan pemanasan komponen pembakaran seperti pemanasan udara dan bahan bakar yang mana berfungsi untuk meningkatkan efisiensi termal. Pembakaran yang dioperasikan pada temperatur tinggi dengan akses udara tinggi akan mendukung pembentukan NO_x . Gambar 2.1 adalah peningkatan NO_x terhadap temperatur (Zink, 2006).



Gambar 2.1 Efek temperatur terhadap emisi NO_x (McAllister, dkk., 2010)

2. Karbon Monoksida

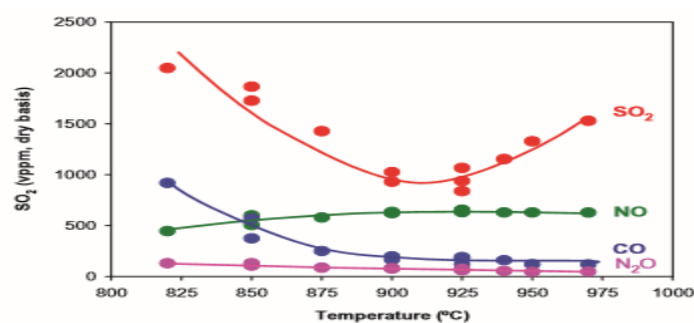
Emisi karbon monoksida dipengaruhi oleh temperatur yaitu semakin tinggi temperatur pembakaran, semakin sedikit gas CO yang dihasilkan, karena entalpi pembentukan gas CO_2 lebih besar dari entalpi pembentukan gas CO, maka untuk menghasilkan gas CO_2 dibutuhkan temperatur pembakaran yang lebih tinggi. Pembakaran yang baik yang lebih sedikit menghasilkan gas CO adalah pembakaran dengan temperatur yang tinggi. Hubungan temperatur dengan emisi CO ditunjukkan Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Efek temperatur terhadap emisi CO (Arifandi, 2017)

3. Sulfur Dioksida

Saat dibakar belerang akan membentuk sulfur dioksida SO_2 atau SO_3 . Sulfur dioksida SO_2 dapat bereaksi dengan H_2O . Reaksi antara sulfur dioksida dengan H_2O akan membentuk asam sulfat yang akan berdampak buruk. Hubungan temperatur dengan emisi SO_2 ditunjukkan Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Efek temperatur terhadap emisi SO_2 (Losertares, dkk., 2013)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat dan waktu pelaksanaan penelitian yang direncanakan adalah sebagai berikut:

1. Tempat Penelitian

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Termodinamika Teknik Jurusan Teknik Mesin Unviversitas Lampung.

2. Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan selama tiga bulan terhitung dari April sampai dengan Juli 2021.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan penulis dalam pengujian ini adalah:

1. Timbangan Digital

Gambar 3.1 adalah timbangan digital, digunakan untuk menimbang berat batu bara serbuk yang akan digunakan dalam setiap variasi parameter pengujian. Kapasitas timbangan ini maksimal 7kg dengan ketelitian ± 1 gram.



Gambar 3.1 Timbangan digital

2. Ayakan 200 mesh

Gambar 3.2 adalah ayakan yang digunakan untuk menyaring batu bara supaya memiliki ukuran yang seragam 200 mesh. Standar yang digunakan ASTM E:11. Batu bara yang didapat dari PLN Tarahan diayak di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Lampung.



Gambar 3.2 Ayakan 200 mesh

3. Alat Uji Emisi.

Gambar 3.3 adalah alat uji emisi yang digunakan untuk mengukur kadar emisi pembakaran batu bara serbuk meliputi CO, SO₂, NO_x. Alat uji emisi ini jenis E 6000-5DS *Portable Industrial Combustion Gas and Emissions Analyzer*.

Alat ini dapat mengukur temperatur maksimal mencapai 1200°C dan dapat mengukur emisi CO dengan rentang $0-8000 \text{ mg/m}^3$, emisi NO_x dengan rentang $0-5000 \text{ mg/m}^3$ dan emisi SO_2 dengan rentang $0-5000 \text{ mg/m}^3$.



Gambar 3.3 Alat uji emisi E 6000-5DS

4. Perekam Temperatur

Gambar 3.4 adalah perekam temperatur digunakan untuk mengukur temperatur pembakaran batu bara serbuk. Perekam temperatur yang digunakan adalah jenis Lutron BTM-4208SD. Perekam temperatur ini seri BTM-4208SD dengan rentang temperatur $-100-1300^{\circ}\text{C}$ dan dapat digunakan sampai 12 *channels* apabila menggunakan termokopel jenis K dan resolusi tampilan sebesar 1°C .



Gambar 3.4 Perekam temperatur

5. Selang Regulator dan Pemantik Api

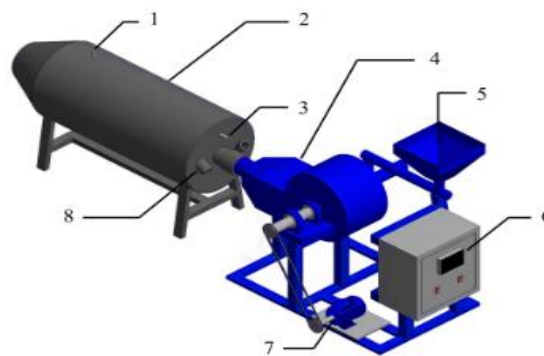
Gambar 3.5 adalah satu set selang regulator dan kompor bakar yang digunakan untuk menghubungkan api dari gas LPG ke *pulverized burner*.



Gambar 3.5 Selang regulator dan pemanitik api

6. *Pulverized Burner*

Gambar 3.6 adalah *pulverized burner* yang digunakan untuk pembakaran batu bara serbuk.



Gambar 3.6 *Pulverized burner*

Keterangan gambar.

1. Termokopel 1

Termokopel 1 digunakan untuk mengukur temperatur yang berada di ujung ruang bakar.

2. Ruang bakar

Ruang bakar digunakan sebagai tempat terjadinya proses pembakaran.

3. Termokopel 2

Termokopel 2 digunakan untuk mengukur temperatur yang berada di pangkal ruang bakar.

4. Blower

Blower digunakan untuk mengalirkan serbuk batu bara dari penampungan batu bara ke ruang bakar.

5. *Hopper*

Penampungan batu bara digunakan untuk menampung batu bara sebelum masuk ke ruang bakar.

6. Panel

Panel digunakan untuk melihat temperatur di ruang bakar.

7. Motor Listrik

Motor digunakan untuk memutar blower dengan penggunaan daya sebesar 220 V, daya output sebesar 0,5 HP dan kecepatan sebesar 3000 rpm.

8. Lubang Udara Sekunder

Lubang udara sekunder digunakan sebagai tempat masuknya udara sekunder.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Batu bara serbuk *sub bituminous*

Gambar 3.7 adalah batu bara *sub-bituminous* yang didapat dari kerjasama dengan PT. PLN (persero) Sektor Pembangkitan Tarahan yang sudah dalam bentuk serbuk. Spesifikasi batu bara *sub bituminous* ditunjukkan pada Tabel 3.1



Gambar 3.7 Batu bara *sub bituminous*

Tabel 3.1 Spesifikasi batu bara *sub bituminous* (PT. PLN, 2020)

Analisis Proksimat	
Komponen	% Massa
Kadar Air	19,6
Zat Volatil	30,5
Karbon Tetap	45,9
Abu	4
HHV (kkal/kg)	5600
Analisis Ultimat	
Komponen	% Massa
Karbon	58,8
Hidrogen	3,8
Sulfur	0,3
Oksigen	12,2
Nitrogen	1,3

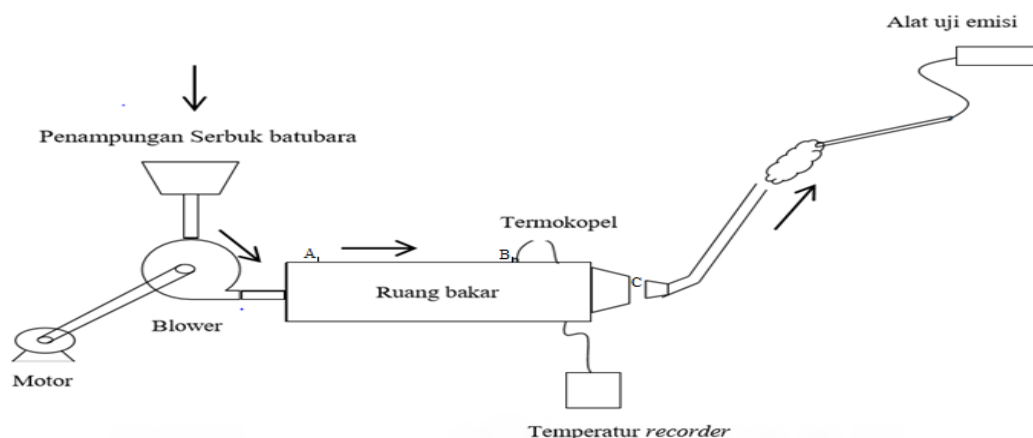
2. LPG

Gas LPG digunakan untuk pemanasan awal alat *pulverized burner*.

Gas yang digunakan adalah gas LPG berukuran 12kg.

3.3 Metode Pengambilan Data

Gambar 3.8 adalah skema pengujian yang dilakukan pada penelitian dan A, B dan C adalah titik pengujian yang digunakan pada penelitian. Berikut adalah prosedur pengujian dalam penelitian ini.

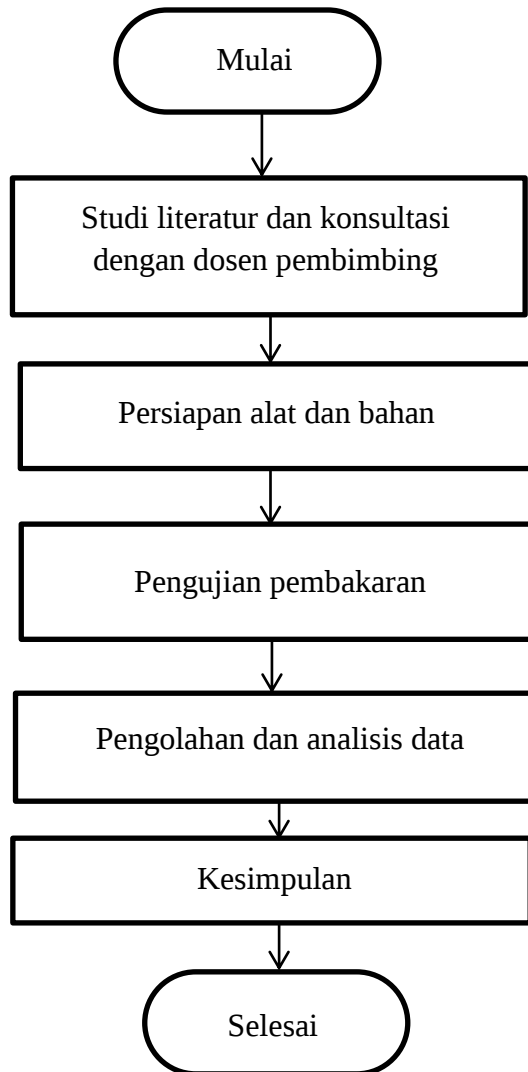


Gambar 3.8 Skema pengujian

1. Mempersiapkan alat dan bahan lain yang digunakan dalam penelitian ini seperti batu bara, ayakan, tabung gas, pemantik api, timbangan digital, temperatur *recorder* dan *pulverized burner*.
2. Mengayak batu bara menggunakan ayakan berukuran 200 mesh.
3. Menimbang serbuk batu bara yang sudah diayak menggunakan timbangan digital, 1kg untuk setiap variasi temperatur.
4. Menghidupkan gas melalui selang regulator menggunakan pemantik api, kemudian dihubungkan ke *pulverized burner*.
5. Memulai proses pemanasan awal hingga temperatur awal pembakaran mencapai 1000°C.
6. Memasukkan serbuk batu bara ke dalam penampungan batu bara.
7. Menghidupkan motor yang sudah terhubung dengan *blower* untuk menghembuskan serbuk batu bara menuju ruang bakar.
8. Membakar batu bara serbuk sampai terbakar habis.
9. Memulai pengujian emisi menggunakan alat E6000–5DS *Portable Industrial Combustion Gas and Emission Analyzer* bersamaan dengan terbakarnya batu bara.
10. Melihat hasil pengujian emisi pembakaran pada layar E6000–5DS *Portable Industrial Combustion Gas and Emissions Analyzer*.
11. Mencetak data hasil pengujian emisi pembakaran pada E6000–5DS *Portable Industrial Combustion Gas and Emissions Analyzer*.
12. Mengulangi langkah 8 sampai 14, namun menggunakan temperatur awal pembakaran yang berbeda yaitu pada temperatur 900°C dan 800°C.
13. Mencatat dan menganalisa hasil pengujian yang diperoleh.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah diagram alir dari penelitian karakteristik emisi pembakaran batu bara menggunakan *pulverized burner*:



V. PENUTUP

5.1 Simpulan

Simpulan yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian karakteristik emisi pembakaran batu bara menggunakan *pulverized burner* adalah pada pembakaran batu bara serbuk menggunakan *pulverized burner* emisi CO, NO_x, dan SO₂ mengalami perbedaan. Produksi emisi CO yang dihasilkan menurun seiring dengan peningkatan temperatur pembakaran sedangkan emisi NO_x dan SO₂ meningkat seiring dengan peningkatan temperatur pembakaran. Emisi produk terbaik pada temperatur 1000°C dengan SO₂ dan NO_x masih aman karena masih dibawah ambang batas yang diizinkan yaitu 750 mg/m³ untuk SO₂ dan 825 mg/m³ untuk NO_x. Emisi CO terbaik juga pada temperatur 1000°C yaitu 192 mg/m³.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian karakteristik emisi pembakaran batu bara menggunakan *pulverized burner* adalah:

1. Sebaiknya menambahkan alat penangkap abu terbang agar abu terbang yang terlepas ke udara dapat diminimalisir.
2. Sebaiknya parameter yang diuji ditambah dengan pengujian partikulat karena partikulat merupakan salah satu emisi yang wajib diperhitungkan dan juga menjadikan tulisan ini lebih lengkap.

3. Sebaiknya saat melakukan pengujian dilakukan pada waktu yang sama sehingga pengaruh lingkungan dapat diabaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifandi, A. dan Rahayu, P. 2017. Pengaruh Temperatur Pembakaran dan Laju Alir Limbah Cair Terhadap Emisi Gas Karbon Monoksida Pada Incenerator di PT. Bayer Material Science Indonesia. Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Serang Raya. Jurnal Teknik, ISSN : 1693-024x vol.13
- Artiningsih, A., Widodo, S., dan Firmansyah A, 2015. Studi Penentuan Kandungan Sulfur (Sulphur Analysis) dalam Batu Bara pada PT. Geoservices Samarinda Kalimantan Timur. Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Mulim Indonesia. Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin. Jurnal Geomine Vol 02
- Bapennas, 2019. Kajian Ketercapaian Target DMO Batu Bara Sebesar 60% Produksi Nasional Tahun 2019. Jakarta.
- Basu, Prabir. 2013. *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical and Design Theory (Second Edition)*. Elsevier. San Diego
- Direktorat Sumber Daya Energi, Mineral Dan Pertambangan BAPPENAS, 2019. Kajian Ketercapaian Target DMO Batu Bara Sebesar 60% Produksi Nasional. Indonesia
- Dongmei Li, 2012. *Air Pollutant Emissions from Coal-Fired Power Plants*. HAEPC Electric Power Research Institute, Zhengzhou, China
- Faranita Yusma, 2009. Evaluasi Sistem Pembakaran dan Pengendalian Pencemaran Udara pada PLTU Paiton Unit 7 dan 8 Probolinggo Jawa

Timur. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Fuhadi Naif, 2011. Pengaruh Medan Magnet Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Kinerja Motor Bakar Bensin Jenis Daihatsu Hijet 1000. PROTON, Vol 3 No.2/ Hal 26 – 31

Gunara Muhammad, 2017. Potensi Batu bara Sebagai Sumber Energi Alternatif Untuk Pengembangan Industri Logam. Program studi teknik mesin, fakultas teknik, universitas muhammadiyah Prof.Dr. HAMKA. ISSN No. 2502-8782 Vol. 2

Jamilatun Siti, 2008. Sifat-Sifat Penyalaan Dan Pembakaran Briket Biomassa, Briket Batu Bara, dan Arang Kayu. Program Studi Teknik Kimia, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta. Vol 2 No.2

Mahallawy, S., dan Habik, 2002. *Fundamentals and Technology of Combustion First Edition. Egypt Elsevier.*

Muhammad, A., Wisnu, N., dan Harjuni, H., 2019. Hubungan Kandungan Total Sulfur Terhadap Gross Calorific Value Pada Batu bara Pt. Carsurin Samarinda. Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman. Jurnal Teknologi Mineral Ft Unmul, Vol 7.

Matsuda Hiromitsu, 2006. *Improvement of Pulverized Coal Combustion Technology for Power Generation. Central Research Institute of Electric Power Indstry Japan.*

McAllister, S., Jyh-Yuan Chen, A. and Carlos, F., 2010. *Fundamentals of Combustion Processes. Springer New York Dordrecht Heidelberg London.*

Muller, B., dan Tillman D, 2009. *Combustion Engineering Issues For Solid Fuel Systems*.

Nainggolan F Syavira,. 2019. Kajian Beban Emisi Nitrogen Oksida (Nox) dan Particulate Matter 10 Mikron (Pm10) dari Sektor Transportasi Darat Di Beberapa Ruas Jalan Kota Medan. Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara 2019.

Nordin, J., dan Norman, W. 1997. *Nox Emissions Produced With Combustion Of Powder River Basin Coal In A Utility Boiler. U.S. Departement Of Energy Office Of Fossil Energy Federal Energy Technology Center Morgantown, West Virginia*.

Pallares J. et al, 2017. *Investigation on co-firing of coal mine waste residues in pulverized coal combustion systems. University of Zaragoza, María de Luna 5, 50018 Zaragoza, Spain dan Research Centre for Energy Resources and Consumption (CIRCE), CIRCE Building Rio Ebro, Mariano Esquillor Gomez 15, 50018 Zaragoza, Spain*

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2017. No.P.17/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/201)

Qing, L, Xinghua Li et al, 2015. *Semi-Coke Briquettes: Towards Reducing Emissions of Primary PM2.5, Particulate Carbon, and Carbon Monoxide From Household Coal Combustion In China. Scientific Reports*.

Samlawi A. Kusairi, 2017. Teknik Pembakaran (HMKB46). Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

Schweinfurth P. Stanley, 2009. *The National Coal Resource Assessment Overview. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia*.

Sepfitrah, 2016. Analisis Proksimat Kualitas Batu Bara Hasil Tambang Di Riau (Studi Kasus Logas, Selensen dan Pangkalan Lesung). Vol. 4

Speight G James, 2015. *Handbook of Coal Analysis Volume 182. United State of America Mark F. Vitha Editor*

Sugiarti, 2009. Gas Pencemar Udara Dan Pengaruhnya Bagi Kesehatan Manusia. Dosen Jurusan Kimia FMIPA UNM Makassar. Jurnal kimia Vo/. 10 Nomor 1 Juni 2009, 50-58.

Suyitno dan Istanto T, 2005. Simulasi CFD pembakaran non-premixed serbuk biomassa kayu jati. Jurusan teknik mesin fakultas teknik universitas negeri semarang.

Qadaryati, 2019. Penentuan lingkungan pengendapan batu bara berdasarkan karakteristik dan maseral batu bara di PT X, Kabupaten Nunukan, Kalimantan Utara. Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Wojciech, M., Krzysztof, C., Wiesław, F., Konrad, B., and Arkadiusz, S., 2013. *NO_x And SO₂ Emission During Oxy-Coal Combustion. Wiesław Rybak Wroclaw University of Technology, Department of Mechanical and Power Engineering, Energy Engineering and Technology Division Pola*

Xue, Y., et al. 2019. *Investigation On Gaseous Polltants Emissions During Co-Combustion Of Coal And Wheat Straw In A Fluidize Bed Combustor Journal energy*, 124853

Zink J, 2006. *Combustion Hanbook Washington D,C. Charles E. Baukal, JR. Editor*

Zhao, Bingtao., et al. *SO₂/NO_x Emission and Ash Formation from Algae Biomass Combustion: Process Characteristic and Mechanism*. *Journal energy*, 113, 82183