

**PENGARUH VARIASI CAMPURAN BATU BARA DAN TANDAN
KOSONG KELAPA SAWIT TERTOREFAKSI TERHADAP
KARAKTERISTIK EMISI PEMBAKARAN MENGGUNAKAN
*PULVERIZED BURNER***

(Skripsi)

Oleh

DARIL GALIH KUSUMO

(1715021033)



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2022**

**PENGARUH VARIASI CAMPURAN BATU BARA DAN TANDAN
KOSONG KELAPA SAWIT TERTOREFAKSI TERHADAP
KARATERISTIK EMISI PEMBAKARAN MENGGUNAKAN
*PULVERIZED BURNER***

Oleh
DARIL GALIH KUSUMO

Skripsi
Sebagai Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2022

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI CAMPURAN BATU BARA DAN TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT TERTOREFAKSI TERHADAP KARAKTERISTIK EMISI PEMBAKARAN MENGGUNAKAN *PULVERIZED BURNER*

Oleh

Daril Galih Kusumo

Bahan bakar fosil sampai saat ini masih banyak digunakan salah satunya yaitu batu bara. Sumber energi terbarukan perlu dikembangkan seiring dengan habisnya sumber energi yang berasal dari fosil. Perkebunan kelapa sawit merupakan salah satu sumber potensi energi biomassa yang cukup besar di Indonesia. Tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi memiliki kemiripan sifat mulai dari sifat hidrofobik sampai dengan nilai kalor batu bara yang dimanfaatkan dengan cara pembakaran bersama. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui karakteristik emisi pembakaran variasi campuran tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi dengan batu bara dan mengetahui variasi campuran tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi dengan batu bara terbaik berdasarkan emisi pembakarannya. Variasi campuran yang digunakan adalah 70% Batu bara 30% TKKS Tertorefaksi, 80% Batu bara 20% TKKS Tertorefaksi, 90% Batu bara 10% TKKS Tertorefaksi dan 100% Batu bara. Parameter yang digunakan adalah CO, NO_x dan SO₂. Emisi terbaik diketahui pada variasi 70% Batu bara dengan 30% TKKS Tertorefaksi dengan nilai emisi CO sebesar 287 mg/mm³, NO_x sebesar 97 mg/mm³, dan SO₂ sebesar 89 mg/mm³.

Kata kunci : Batu Bara, Emissions, Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS),
Torefaksi

ABSTRACT

EFFECT OF VARIATIONS IN THE MIXTURE OF COAL AND TORREFIED EMPTY BUNCHES OF PALM OIL ON THE CHARACTERISTICS OF COMBUSTION EMISSIONS USING PULVERIZED BURNER

By

Daril Galih Kusumo

Fossil fuels are still widely used, one of which is coal. Renewable energy sources need to be developed along with the exhaustion of energy sources derived from fossils. Oil palm plantations are one of the sources of considerable biomass energy potential in Indonesia. Torrefied empty bunches of palm oil have similarities in properties ranging from hydrophobic properties to the calorific value of coal which is utilized by co-combustion. The purpose of this study is to determine the characteristics of combustion emissions of variations in the mixture of torrefied empty bunches of palm oil with coal and find out the best variations of the mixture of torrefied empty bunches of palm oil with coal based on their combustion emissions. The variation of the mixture used is 70% Coal, 30% EFB Torrefied, 80% Coal 20% EFB Torrefied, 90% Coal 10% EFB Torrefied and 100% Coal. The parameters used are CO, NO_x and SO₂. The best emission is known in the variation of 70% Coal with 30% Torrefied EFB with CO emission values of 287 mg/mm³, NO_x of 97 mg/mm³, and SO₂ of 89 mg/mm³.

Keywords : Coal, Emission, Empty Bunches of Palm Oil, Torrefaction

Judul Skripsi : **PENGARUH VARIASI CAMPURAN BATU
BARA DAN TANDAN KOSONG KELAPA
SAWIT TERTOREFAKSI TERHADAP
KARAKTERISTIK EMISI PEMBKARAN
MENGUNAKAN *PULVERIZED BURNER***

Nama : **Daril Galih Kusumo**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1715021033**

Jurusan : **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

Ketua Jurusan
Teknik Mesin

Ketua Program Studi
S1 Teknik Mesin

Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP 19710331 199903 1 003

Novri Tanti, S.T., M.T.
NIP 19701104 199703 2 001

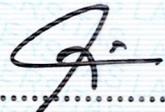
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

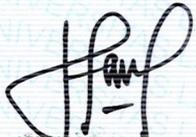
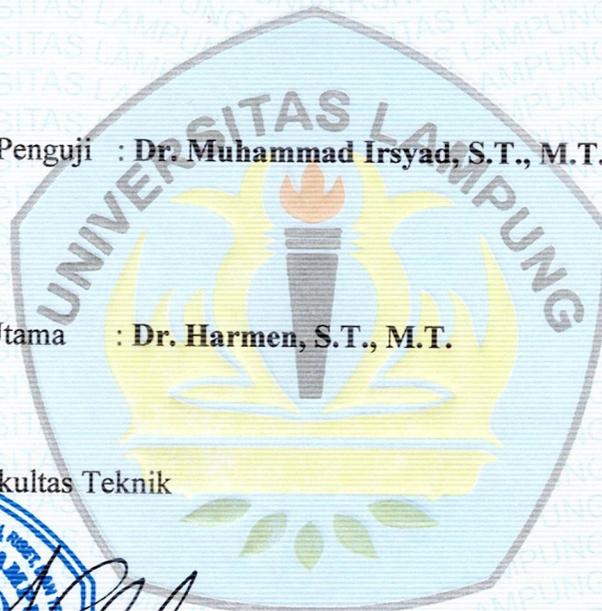
Ketua Penguji : **Dr. Amrul, S.T., M.T.**


.....

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


.....

Penguji Utama : **Dr. Harmen, S.T., M.T.**


.....

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. ✓
NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **17 Juni 2022**

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

DENGAN INI SAYA MENYATAKAN BAHWA SKRIPSI INI SAYA BUAT
DENGAN USAHA SAYA SENDIRI DAN BUKAN HASIL DARI PLAGIAT
SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 36 PERATURAN AKADEMIK
UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN KEPUTUSAN REKTOR NO. 13
TAHUN 2019

Bandar Lampung, 8 Agustus 2022

Penulis,



DARIL GALIH KUSUMO

NPM. 1715021033

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 10 Desember 1998 sebagai anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Sugiarto Rachmad dan Ibu Desi Aryati.

Penulis mengawali pendidikan formal di Taman Kanak-Kanak Dewi Sartika Kota Bandar Lampung dan diselesaikan pada tahun 2005. Kemudian penulis melanjutkan sekolah di Sekolah Dasar (SD) Al-Azhar 2 Bandar Lampung pada tahun 2005 dan selesai pada tahun 2011, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 29 Bandar Lampung yang selesai pada tahun 2014, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 5 Bandar Lampung yang selesai pada tahun 2017.

Penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) pada tahun 2017. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Tematik pada Januari-Februari 2021 di Kecamatan Tanjung Senang, Kota Bandar Lampung. Penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) pada tahun 2020 di Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Rancabugur, Bogor, dengan judul “Ketahanan Korosi Pisau Potong Baja Karbon Rendah Pada Mesin Potong Propelan Di Laboratorium Komposisi Dasar Pusat Teknologi Roket LAPAN”. Penulis melakukan penelitian dan skripsi pada tahun 2021 dengan judul ”Pengaruh Variasi Campuran Batu Bara Dan Tandan Kosong Kelapa Sawit Tertorefaksi Terhadap karakteristik Emisi Pembakaran Menggunakan *Pulverized Burner*” dibawah bimbingan Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T. selaku pembimbing pertama dan Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. selaku pembimbing kedua.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM). Penulis terdaftar sebagai anggota muda HIMATEM pada tahun 2017, anggota Divisi Penelitian HIMATEM pada tahun 2018-2019, Kepala Bidang Penelitian Pengembangan (Kabid Litbang) HIMATEM pada tahun 2019-2020, dan ikut berperan aktif dalam setiap kegiatan yang dilaksanakan oleh pihak jurusan.

”Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.”

(Q.S. Al-Mujadalah ayat 11)

“Berpikir merupakan hal yang sulit dilakukan, oleh sebab itu hanya sedikit orang yang bisa melakukannya”

(Henry Ford)

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(Q.S Al-Insyiroh : 4-5)

“I like helping people because it makes me happy. I like seeing their faces light up”

(Mr. Beast)

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan kepada ALLAH SWT karena berkat rahmat dan hidayahnya penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dan menyelesaikan laporan skripsi dengan lancar. Shalawat serta salam tak lupa penulis sanjung agungkan kepada nabi Muhammad SAW yang telah menuntun kita menuju kehidupan yang berilmu dan berakhlak. Skripsi ini dibuat sebagai sebuah karya tulis hasil dari pengerjaan tugas akhir yang telah dilakukan. Penulis berharap karya tulis ini dapat menjadi perkembangan ilmu dalam bidang mekanikal dan energi. Skripsi ini juga menjadi salah satu syarat mencapai gelar sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Penulis berharap karya tulis ini dapat bermanfaat dan dapat dikembangkan lebih lanjut.

Selesaiannya skripsi ini tidak luput dari bimbingan, arahan dan dukungan dari semua pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua, bapak Sugiarto Rachmad dan ibu Desi Aryati yang selalu mendampingi, mendukung dan mendoakan sehingga penulis mempunyai semangat lebih untuk menyelesaikan studi di Teknik Mesin Universitas Lampung.
2. Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung beserta staff dan jajarannya.
3. Dr. Amrul, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung dan Dosen Pembimbing I yang telah bersedia membimbing dan meluangkan waktu dalam penyusunan skripsi ini.
4. Novri Tanti, S.T., M.T. selaku Kepala Prodi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu bersedia membimbing penulis dan meluangkan waktu dalam penyusunan skripsi ini.

6. Dr. Harmen, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji dalam skripsi ini. Terimakasih atas masukan dan saran pada seminar proposal dan hasil terdahulu.
7. Seluruh Dosen di Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah mengajarkan banyak ilmu dan pengetahuan.
8. Tim Laboratorium Termodinamika : Alvenda, Yogi, Putu, Niko dan Fajar yang telah berjuang Bersama.
9. Andara Aulia yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Ayunda Derafita Zahra dan Izora Orlena Aqilla yang membantu penulis untuk menyelesaikan skripsi.
11. Teman-teman Ali's House: Yuli, Agung, Dimas, Ali, Pacri, Udin, Pais, Hilmi, Yahya, Mario, Ganang, Engkoh.
12. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak bisa disebutkan satu persatu, penulis mengucapkan banyak terima kasih.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini terdapat kekurangan, oleh karena itu penulis berharap masukan dan saran dari semua pihak untuk menyempurnakan karya tulis ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca secara umum.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Bandar Lampung, 8 Agustus 2022
Penulis

Daril Galih Kusumo
NPM. 1715021033

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	3
C. Manfaat Penelitian	4
D. Batasan Masalah	4
E. Sistematika Penulisan	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Batu bara	6
B. Biomassa	8
C. Torefaksi	9
D. Pembakaran	10
E. Mekanisme Pembakaran Padatan	11
F. Pembakaran Serbuk	12
G. Emisi Proses Pembakaran	12
H. Pengujian Emisi	14
III. METODOLOGI PENELITIAN	16
A. Tempat dan Waktu Penelitian	16
B. Alat dan Bahan	16
C. Metode Pengambilan Data	23
D. Diagram Alir Penelitian	25
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
A. Hasil Pengujian Emisi Campuran Batu bara Serbuk dan Tandan Kosong Kelapa Sawit Serbuk Tertorefaksi Menggunakan Pulverized Burner	27
B. Pembahasan	28
1. CO	28

2. NO _x	29
3. SO ₂	31
V. PENUTUP.....	34
A. SIMPULAN	34
B. SARAN.....	35
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN.....	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Segitiga Pembakaran.....	10
3.1 Timbangan Digital	17
3.2 Ayakan <i>Mesh</i> 200.....	17
3.3 Alat Uji Emisi E 6000-5DS.....	18
3.4 Reaktor Torefaksi.....	19
3.5 Perekam Temperatur	19
3.6 Selang Regulator Gas	20
3.7 <i>Pulverized Burner</i>	20
3.8 Skema Pengujian.....	24
3.9 Diagram Alir Penelitian	26
4.1 Grafik Pengaruh Variasi Campuran Terhadap CO	29
4.2 Grafik Pengaruh Variasi Campuran Terhadap NO _x	31
4.3 Grafik Pengaruh Variasi Campuran Terhadap SO ₂	33

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Karakteristik tandan kosong kelapa sawit	9
2.2 Ambang Batas Emisi Untuk Sumber Tidak Bergerak Bagi Ketel Uap	15
3.1 Spesifikasi batu bara <i>sub bituminous</i>	22
3.2 Spesifikasi Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit	23
3.3 Lembar Tabel Data Pengujian.....	26
4.1 Hasil Pengujian Emisi Batu Bara Serbuk Dan Tandan Kosong Kelapa Sawit Serbuk Tertorefaksi Menggunakan <i>Pulverized Burner</i>	27

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Menipisnya sumber energi tak terbarukan seperti batu bara memicu kebutuhan untuk mencari sumber daya energi lain yang bersifat terbarukan. Sumber energi terbarukan ini perlu dikembangkan seiring dengan habisnya sumber energi yang berasal dari fosil. Dalam beberapa tahun terakhir, permintaan energi terus meningkat dan menyebabkan kekurangan bahan bakar fosil di hampir seluruh dunia, sehingga mendorong untuk memanfaatkan sumber energi terbarukan. Pencarian sumber energi alternatif terbarukan dibutuhkan tidak hanya untuk penggantian bahan bakar fosil, tetapi juga untuk memenuhi tuntutan perlindungan lingkungan.

Bahan bakar fosil yang sampai saat ini masih banyak digunakan salah satunya yaitu batu bara. Batu bara merupakan batuan sedimen yang mudah terbakar, terbentuk dari sisa-sisa tanaman melalui proses pembatu baraan. Menurut Kementerian ESDM pada tahun 2021, Indonesia memiliki sumber daya batu bara sebesar 143,7 miliar ton dengan rata-rata produksi per tahun sebesar 600 juta ton. Selain itu, Indonesia juga memiliki cadangan batu bara terbesar pada Kalimantan sebesar 61% dari total cadangan batu bara di Indonesia.

Adapun negara dengan cadangan batu bara terbesar yaitu Amerika Serikat, Rusia, Cina, Australia, dan India. Sedangkan dari total cadangan 891 milyar ton batu bara dunia, Indonesia memiliki cadangan batu bara sebesar 30 milyar ton batu bara atau hanya sekitar 3,1% dari cadangan batu bara dunia (Bappenas, 2019). Jika tidak dikelola dengan baik dan tidak ditemukan sumber energi

pengganti, cadangan batu bara tersebut dapat habis dalam kurun waktu seratus tahun ke depan. Berdasarkan hal itu, pemerintah mengupayakan untuk menggunakan energi terbarukan seperti dengan membangun pembangkit listrik yang memanfaatkan sumber energi terbarukan.

Biomassa merupakan sumber energi terbarukan yang memiliki potensi sangat besar yaitu 146,7 ton per tahun. Biomassa dapat berasal dari tanaman, pepohonan, limbah pertanian, kotoran ternak dan lainnya. Sumber energi biomassa memiliki kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui sehingga dapat menyediakan energi dalam jangka panjang. Selain itu, sumber energi biomassa juga lebih ramah lingkungan. Dengan penggunaan biomassa maka keterbatasan dari ketersediaan bahan bakar fosil dapat teratasi.

Perkebunan kelapa sawit merupakan salah satu sumber potensi energi biomassa yang cukup besar di Indonesia. Menurut *Oil World* (2017), Indonesia memberikan kontribusi sebesar 58,72 persen dari total CPO (*Crude Palm Oil*) dunia. Untuk setiap pengolahan 1 ton TBS akan menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit sebanyak 22-23%, *fiber* (serat) sebanyak 12-14%, *shell* (cangkang) sebanyak 6-8%, lumpur sawit sebanyak 2,5%, dan limbah cair sebanyak 30-60% (Dinata, dkk., 2019). Dengan dihasilkannya limbah dari pengolahan TBS menjadi CPO maka perkebunan kelapa sawit dapat menjadi sumber potensi energi biomassa.

Biomassa akan kurang menguntungkan jika digunakan secara langsung sebagai sumber energi. Biomassa perlu diberikan *treatment* terlebih dahulu. *Treatment* yang bisa dilakukan terhadap biomassa salah satunya yaitu torefaksi. Torefaksi merupakan proses termokimia yang terjadi pada kondisi tanpa atau dengan sedikit oksigen. Dengan diberikannya proses torefaksi maka densitas energi pada biomassa akan meningkat, tidak mudah menyerap air (*hydrophobic*), membuat biomassa menjadi getas dan lebih mudah dihaluskan.

Menurut penelitian Ren, dkk. (2017) mengenai karakteristik emisi dari biomassa mentah dan tertorefaksi, adapun biomassa yang digunakan adalah brangkasan jagung mentah dan tertorefaksi. Pada brangkasan jagung mentah memiliki nilai kadar emisi CO₂ sebesar 2%, emisi NO_x 235 mg/m³, emisi SO₂ 52 mg/m³ dan pada brangkasan jagung tertorefaksi memiliki nilai kadar emisi CO₂ sebesar 4%, emisi NO_x 525 mg/m³, emisi SO₂ 26 mg/m³. Dibandingkan dengan hasil pengujian batu bara *sub bituminous* pada pengujian yang sama, brangkasan jagung mentah dan tertorefaksi memiliki hasil pengujian emisi CO₂, NO_x, dan SO₂ memiliki kadar emisi dibawah batu bara *sub bituminous*.

Melihat karakteristik biomassa yang meningkat setelah diberikan perlakuan torefaksi maka tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi berpotensi menjadi sumber bahan bakar untuk mengurangi penggunaan batu bara. Tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi memiliki kemiripan sifat mulai dari sifat hidrofobik sampai dengan nilai kalornya. Pemanfaatan biomassa ini dapat dilakukan dengan cara pembakaran bersama (*co-combustion*) antara batu bara dengan biomassa. Pembakaran bersama dapat dilakukan dengan perbandingan antara batu bara dan biomassa sebesar 70:30, 80:20 atau 90:10. Dengan menerapkan metode tersebut, mampu mengurangi dampak emisi batu bara sebab lebih ramah lingkungan dan mengurangi ketergantungan penggunaan batu bara (Saptoadi, 2011). Oleh karena besarnya potensi tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi untuk menggantikan batu bara, penulis tertulis untuk melakukan penelitian ini guna melihat karakteristik emisi *co-combustion* antara batu bara dengan tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi yang meliputi CO, SO₂ dan NO_x dengan menggunakan *pulverized burner*.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui karakteristik emisi pembakaran variasi campuran tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi dengan batu bara yang mencakup CO, NO_x, dan SO₂ pada *co-combustion* menggunakan *pulverized burner*.

2. Mengetahui variasi campuran tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi dengan batu bara terbaik berdasarkan emisi pembakaran.

C. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melalui penelitian ini dapat ikut serta mengembangkan tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi untuk menjadi pengganti batu bara.
2. Melalui penelitian ini dapat menambah literasi tentang pengembangan energi terbarukan berbasis biomassa di Indonesia.
3. Melalui penelitian ini dapat mengurangi limbah tandan kosong kelapa sawit yang saat ini pada sebagian pabrik pengolahan kelapa sawit sering terbuang percuma.
4. Melalui penelitian ini dapat mengetahui karakteristik emisi pembakaran *co-combustion* TKKS tertorefaksi dengan batu bara.

D. Batasan Masalah

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

1. Penelitian ini dilakukan menggunakan biomassa berupa tandan kosong kelapa sawit yang ditorefaksi pada temperatur 275°C dengan waktu tinggal selama 30 menit dan batu bara tipe *sub bituminous*.
2. Penelitian ini menggunakan reaktor torefaksi berjenis reaktor kontinu tipe turbular yang memiliki kapasitas maksimum sebesar 5 kg/jam dengan temperatur operasional maksimum sebesar 375°C yang ada di Laboratorium Termodinamika Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Pengujian ini menggunakan 3 variasi komposisi antara tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi dengan batu bara yaitu 70:30, 80:20, dan 90:10.
4. Pengujian emisi pembakaran dilakukan menggunakan *portable industrial combustion gas and emissions analyzer* E 6000 – 5DS.
5. Komponen emisi pembakaran yang diuji adalah CO, SO₂, dan NO_x.

E. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan penulis dalam menyusun laporan penelitian ini adalah sebagai berikut :

I. PENDAHULUAN

Pendahuluan berisikan latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka berisikan landasan teori dan literatur yang digunakan sebagai acuan dalam menyusun laporan ini.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian berisikan alur penelitian dan metode-metode yang digunakan dalam melaksanakan penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan berisikan data-data serta pembahasan dari penelitian yang sudah dilakukan.

V. PENUTUP

Penutup berisikan kesimpulan dari data yang diperoleh dari penelitian dan saran yang dapat diberikan agar penelitian selanjutnya dapat lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar pustaka berisikan referensi yang digunakan dalam penyusunan laporan penelitian.

LAMPIRAN

Lampiran berisikan data pelengkap hasil pengujian, foto perlengkapan selama penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Batu bara

Batu bara adalah batuan sedimen organik yang terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan yang telah mengalami dekomposisi atau penguraian dan mengandung nitrogen, oksigen, hidrogen, karbon, sulfur dan unsur lainnya. Batu bara telah digunakan untuk jangka waktu yang lama sebagai sumber penghasil tenaga. Sebagai bahan bakar, batu bara memiliki nilai kalor yang tinggi. Nilai kalor bervariasi tergantung dari jenis batu bara, kadar abu dan kadar airnya.

Kualitas batu bara ditentukan dengan analisis batu bara, berikut ini adalah analisis ultimat dari batu bara (Sepfitrah, 2016) :

1. Kadar Air

Kadar air merupakan jumlah kandungan air yang terdapat di dalam batu bara. Pemakaian udara primer dipengaruhi dari kandungan air. Batu bara dengan kadar air tinggi akan membutuhkan udara primer lebih besar untuk kering. Kandungan kadar air pada batu bara berkisar antara 0,5% sampai dengan 10%

2. Zat Volatil

Zat volatil merupakan zat mudah menguap yang terkandung dalam bahan bakar. Zat yang mudah menguap pada batu bara adalah hidrokarbon, hidrogen, metan, karbonmonoksida. Kandungan zat volatil dalam batu bara berkisar antara 20% hingga 35%.

3. Abu

Abu merupakan sisa zat yang tidak akan terbakar. Semakin tinggi kadar abu dalam batu bara, akan mempengaruhi tingkat pengotoran, korosi dan keausan. Kandungan abu berkisar antara 5% sampai dengan 40%.

4. Karbon Tetap

Karbon tetap merupakan zat yang tersisa setelah kandungan air dan zat volatil dihilangkan. Sehingga makin tinggi nilai karbonnya, peringkat batu bara akan meningkat. Nilai karbon tetap semakin bertambah seiring dengan lamanya waktu pembatu baraan dan nilainya diperoleh dari pengurangan dengan jumlah zat volatil, kadar air dan abu.

Berdasarkan kualitasnya, batu bara diklasifikasikan menjadi empat berdasarkan ASTM D388 dengan kriteria pada analisis proksimat dan nilai kalor serta analisis ultimat dan nilai sulfurnya (Mahreni, dkk., 2019).

1. Lignit

Lignit sering juga disebut batu bara coklat. Lignit memiliki nilai kalor dibawah 8.300 Btu/lb dengan kadar karbon berkisar 60 hingga 70%.

2. *Sub bituminous*

Batu bara *sub bituminous* merupakan jenis batu bara yang sering digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap. Batu bara *sub bituminous* dibagi menjadi tiga yaitu *sub bituminous A*, *sub bituminous B* dan *sub bituminous C* dengan nilai kalor 8300 hingga 13000 Btu/lb dan kadar karbon berkisar 71 hingga 77%

3. *Bituminous*

Batu bara *bituminous* dibagi menjadi batu bara *bituminous* volatil rendah, *bituminous* volatil sedang dan *bituminous* volatil tinggi. Batu bara *bituminous* nilai kalor yang lebih tinggi dari batu bara lignit dan *sub bituminous*. Nilai kalor batu bara *bituminous* berkisar 13000 hingga 14000 Btu/lb dengan kadar karbon mencapai 77 hingga 87%.

4. Antrasit

Antrasit merupakan peringkat batu bara tertinggi dengan kadar karbon lebih dari 87%. Batu bara antrasit dibagi menjadi semi-antrasit, antrasit dan

meta-antrasit. Batu bara jenis memerlukan waktu pembentukan terlama dibandingkan dengan jenis batu bara lainnya.

B. Biomassa

Biomassa merupakan istilah semua bahan organik dari tanaman (termasuk alga, tanaman dan pohon). Biomassa diproduksi oleh tanaman hijau yang mengkonversi sinar matahari menjadi bahan tanaman melalui proses fotosintesis. Sumber biomassa dapat didefinisikan sebagai materi organik, dimana energi sinar matahari yang disimpan dalam ikatan kimia. Ketika ikatan antar karbon berdekatan, molekul hidrogen dan oksigen yang rusak oleh pencernaan, pembakaran atau dekomposisi, zat ini melepaskan energi yang disimpan (McKendry P,2002).

Pada biomassa, tanaman akan menyerap energi matahari melalui proses fotosintesis dengan memanfaatkan air dan CO₂ di udara. Pada saat biomassa digunakan akan melepaskan CO₂ ke atmosfer, sama halnya seperti emisi CO₂ hasil pembakaran bahan bakar fosil. Namun, seiring dengan pertumbuhan tanaman baru maka CO₂ akan kembali diserap untuk pertumbuhan biomasa baru. Inilah yang menyebabkan siklus CO₂ pada biomassa bersifat netral. Tentu pertumbuhan tanaman baru perlu diperhatikan agar hal ini dapat berjalan dengan baik (WBCSD, 2013).

Salah satu biomassa yang melimpah jumlahnya di Indonesia adalah kelapa sawit. Pada tahun 2018, luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia yaitu 14,33 juta ha. Luas tersebut lebih besar dibandingkan pada tahun 2012 sebesar 10,13 juta ha (BPS, 2019). Dengan meningkatnya luas perkebunan kelapa sawit tersebut, maka potensi limbah biomassa dari pabrik kelapa sawit (PKS) juga semakin meningkat. Limbah biomassa dari PKS terdiri dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), serat dan cangkang sawit. Limbah TKKS mencapai 22% dari berat tandan buah segar (TBS) dan merupakan limbah padat dengan persentase terbesar (Hasanudin dkk., 2015). Karakteristik TKKS ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik tandan kosong kelapa sawit (Wahyudi, dkk., 2020).

Parameter	Nilai (%)
Analisis Proksimat	
Kadar Air	11,6
Abu	4,0
Zat Volatil	73,5
Karbon Tetap	10,8
Analisis Ultimat	
Karbon, C	42,9
Hidrogen, H	5,5
Oksigen, O	49,3
Nitrogen, N	2,1
O/C	1,1
H/C	1,5
HHV, kkal/kg	5039,2

C. Torefaksi

Torefaksi merupakan perlakuan awal yang diberikan terhadap biomassa yang dipanaskan secara perlahan hingga pada rentang temperatur 200-300°C dalam keadaan tanpa atau dengan sedikit oksigen. Biomassa mentah memiliki karakteristik kadar air dan kadar zat volatil yang cukup tinggi, densitas energi yang rendah dan sulit untuk disimpan karena sifatnya yang hidroskopis. Namun, biomassa mentah dapat diberikan perlakuan awal berupa proses torefaksi agar kualitas biomassa dapat meningkat (Basu, 2013).

Dengan proses torefaksi maka kandungan karbon tetap akan meningkat, zat-zat volatil akan terdekomposisi seiring dengan bertambahnya temperatur pada proses torefaksi. Kandungan air pada biomassa juga akan menurun sehingga biomassa akan memiliki sifat *hydrophobic*. Proses torefaksi memiliki manfaat mengurangi zat-zat yang mudah menguap. Dengan kandungan oksigen yang rendah maka rasio oksigen terhadap karbon akan menurun sehingga biomassa

yang diberikan perlakuan awal berupa proses torefaksi akan memiliki karakteristik mendekati batu bara.

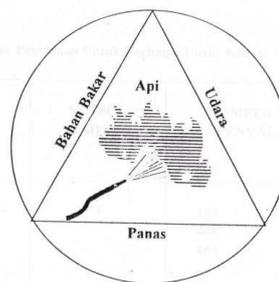
D. Pembakaran

Pembakaran dapat diartikan sebagai suatu reaksi kimia yang terjadi antara material yang dapat terbakar dengan oksigen pada temperatur dan volume tertentu. Disertai dengan menghasilkan panas dan cahaya ditandai dengan terbentuknya api. Adapun reaksi kimia pada proses pembakaran terdapat di bawah ini.



Syarat terjadinya pembakaran yang merupakan suatu proses reaksi kimia akan terjadi apabila terdapat 3 sumber. Ketiga sumber tersebut akan membentuk segitiga pembakaran yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Sumber-sumber tersebut yaitu:

1. Bahan Bakar
2. Oksigen
3. Sumber nyala atau panas



Gambar 2.1 Segitiga Pembakaran
(Samlawi, 2017).

Unsur-unsur yang terkandung dalam bahan bakar yang dapat membentuk reaksi pembakaran dengan oksigen, diantaranya yaitu hidrogen, sulfur dan

karbon. Ketiga unsur tersebut akan menghasilkan reaksi pembakaran jika bereaksi dengan oksigen. Reaksi pembakaran ketiga unsur ditunjukkan dalam rumus pembakaran (Samlawi, 2017).

Reaksi Pembakaran Karbon Sempurna



Pembakaran dimana semua unsur yang dapat terbakar di dalam bahan bakar membentuk gas CO_2 dan H_2O sehingga tidak ada lagi bahan bakar yang tersisa. Pada reaksi ini memiliki melepaskan kalor sebesar 394 kJ/mol (Ganesan, 2003).

Reaksi Pembakaran Karbon Tidak Sempurna



Proses pembakaran hidrokarbon tidak sempurna akan menghasilkan gas karbon monoksida (CO) yang dapat bersifat racun pada darah. Pada reaksi ini melepaskan kalor sebesar 110,5 kJ/mol.

E. Mekanisme Pembakaran Padatan

Secara umum proses pada pembakaran padatan terdiri dari beberapa tahap yaitu pemanasan, pengeringan, devolatilisasi dan pembakaran arang. Saat terjadi pembakaran padatan, maka kadar air pada bahan bakar akan berkurang dikarenakan mengalami proses pengeringan. Setelah itu terjadi proses devolatilisasi, selama proses devolatilisasi maka kandungan volatil akan dilepaskan dalam bentuk gas. Gas-gas yang dilepaskan pada proses delovalitisasi yaitu CO, CO_2 , CH_4 dan H_2 .

Kemudian akan terjadi proses oksidasi bahan bakar padat (arang). Terdapat faktor – faktor yang mempengaruhi besarnya laju pembakaran arang yaitu konsentrasi oksigen, temperatur gas, ukuran dan porositas arang. Konsentrasi oksigen yang tinggi akan mengakibatkan laju pembakaran bahan bakar padat yang tinggi. Temperatur pembakaran bahan bakar padat yang tinggi akan

menaikkan laju reaksi yang mengakibatkan waktu pembakaran menjadi lebih singkat (Suyitno dan Istanto, 2005).

F. Pembakaran Serbuk

Pembakaran serbuk merupakan pembakaran yang dilakukan dengan bahan bakar yang digunakan sudah digiling terlebih dahulu sehingga berbentuk serbuk. Faktor – faktor yang mempengaruhi pembakaran serbuk yaitu karakteristik dari bahan bakar, ruang pembakaran, temperatur serta aerodinamis. Keseimbangan pengoksidasi dan udara sekunder memiliki pengaruh yang penting terhadap efisiensi pembakaran dan polutan yang akibat pembakaran (Nelson, 1979).

Sebelum digunakan, batu bara dan biomassa digiling terlebih dahulu sampai dengan ukuran yang telah ditentukan. Pembakaran serbuk memiliki kelebihan yaitu efisiensi yang tinggi sebab laju pembakaran lebih cepat dibandingkan pembakaran batu bara dan biomassa berbentuk bongkahan, kontrol bahan yang lebih mudah dan biaya operasional yang murah. Selain itu ada beberapa hal yang harus diperhatikan seperti temperatur, waktu tinggal dan campuran bahan bakar lain yang digunakan bersama dengan biomassa. Faktor-faktor tersebut dapat berpengaruh terhadap proses pembakaran (Nordgren, 2011).

G. Emisi Proses Pembakaran

Proses pembakaran akan menghasilkan beragam zat sisa. Sehingga emisi gas buang merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan karena dapat membahayakan kesehatan. Produk pembakaran karbon dioksida (CO_2) dapat diserap kembali oleh tumbuhan namun hanya sebagian, sebagian lainnya akan terperangkap di bumi dan menimbulkan efek rumah kaca. Produk pembakaran lainnya seperti nitrogen oksida dan sulfur dioksida juga dapat membahayakan kesehatan. Faktor yang mempengaruhi produksi emisi yaitu kandungan bahan bakar dan kualitas pembakaran. Temperatur, waktu, dan bahan bakar yang

digunakan juga menjadi parameter yang mempengaruhi terhadap produksi emisi.

1. Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) merupakan salah satu parameter pencemaran udara yang perlu diperhatikan. Karbon monoksida terdiri dari satu atom karbon (C) dan satu atom oksigen (O). Gas buang karbon monoksida (CO) tidak berbau, tidak berasa, dan tidak berwarna, tetapi gas buang ini beracun akibat dari pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna. Gas CO dapat bereaksi dengan hemoglobin yang kemudian akan menurunkan kemampuan darah dalam membawa oksigen (Ayuningtyas, 2019).

Penambahan biomassa akan mengakibatkan terjadinya penurunan pada konsentrasi CO. Hal itu dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti karakteristik bahan bakar itu sendiri yang dapat meliputi kandungan *fixed carbon* dan kandungan oksigen. Tingginya zat volatil pada biomassa mengakibatkan terjadinya pembakaran sempurna, sehingga tingginya konsentrasi CO yang dihasilkan pada *co-combustion* lebih rendah (Xue dkk, 2020).

2. Nitrogen Oksida (NO_x)

Dalam proses pembakaran dapat terbentuk nitrogen oksida yang berasal dari bahan bakar maupun berasal dari atmosfer. Pembentukan NO_x bergantung pada temperatur dan jumlah oksigen yang digunakan. Mekanisme pembentukan NO_x yang berasal dari nitrogen di dalam bahan bakar pada dasarnya dibentuk dari oksidasi nitrogen organik di dalam bahan bakar. NO_x yang berasal dari bahan bakar ini bisa menjadi penyumbang signifikan bagi NO_x pada saat pembakaran. Laju pembentukan nitrogen sendiri berbanding lurus dengan temperatur, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.1 (Faranita, 2009).

3. Sulfur Dioksida (SO₂)

Menurut Talayansa (2017) gas buang sulfur oksida memiliki pengaruh terhadap lingkungan, karena gas tersebut bersifat korosif dan beracun. Gas buang ini dapat menyebabkan iritasi membran lendir pada daerah pernapasan dan juga dapat menyebabkan penyakit pernapasan kronis khususnya *bronchitis*. Emisi sulfur dioksida pada pembakaran bergantung pada biomassa yang digunakan. Kandungan emisi SO₂ pada pembakaran biomassa bergantung pada kandungan sulfur di dalam biomassa itu sendiri. Penambahan biomassa pada *co-combustion* akan mengakibatkan penurunan emisi SO₂. Hal ini disebabkan dari efek terikatnya emisi SO₂ oleh logam alkali dan alkali tanah dari biomassa melalui reaksi sulfasi (Huddk, 2014).

H. Pengujian Emisi

Kegiatan industri pada prosesnya menghasilkan emisi gas buang dari sisa pembakaran. Pengujian emisi ini perlu dilakukan agar emisi pada industri tidak melebihi ambang batas yang telah diizinkan sebab emisi ini dapat mencemarkan lingkungan dan berbahaya. Selain sebagai acuan batas emisi gas buang yang diperbolehkan, pengujian emisi juga dilakukan sebagai evaluasi pada industri untuk menurunkan emisi gas buang yang dihasilkan. Setiap instrumen dan industri memiliki ambang batas emisi yang berbeda-beda. Dalam peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 7 Tahun 2007 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Ketel Uap. Ambang batas emisi untuk sumber tidak bergerak bagi ketel uap ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Ambang Batas Emisi Untuk Sumber Tidak Bergerak Bagi Ketel Uap
(Lampiran Permen No. 7 Tahun 2007)

No	Jenis Bahan Bakar	Parameter	Baku Mutu (mg/m ³)
1.	Biomassa (serabut dan/atau cangkang)	Partikulat	250
		Sulfur Dioksida (SO ₂)	600
		Nitrogen Oksida (NO ₂)	800
2.	Biomassa (ampas dan/atau tebu kering)	Partikulat	300
		Sulfur Dioksida (SO ₂)	600
		Nitrogen Oksida (NO ₂)	800
3.	Batu bara	Partikulat	230
		Sulfur Dioksida (SO ₂)	750
		Nitrogen Oksida (NO ₂)	825

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun 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 Universitas Lampung dan CV. Allistan Metro.

2. Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan selama tiga bulan terhitung dari Oktober 2021 sampai dengan Desember 2021.

B. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Alat

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang berat batu bara serbuk dan biomassa tertorefaksi yang akan digunakan dalam setiap variasi parameter pengujian. Timbangan digital yang digunakan memiliki kapasitas timbangan maksimal 7 kg dengan ketelitian ± 1 gram. Timbangan digital ditunjukkan oleh Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Timbangan Digital

b. Ayakan *mesh* 200

Ayakan digunakan untuk menyaring batu bara serbuk dan tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi serbuk supaya berukuran 200 *mesh*. Ukuran serbuk menyesuaikan standar ASTM E:11. Ayakan *mesh* 200 ditunjukkan oleh Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Ayakan *Mesh* 200

c. Alat Uji Emisi

Alat uji emisi digunakan yang digunakan untuk mengukur kadar emisi pembakaran dari batu bara serbuk dan biomassa tertorefaksi yang meliputi CO, SO₂, NO_x merupakan jenis E 6000-5DS *Portable Industrial Combustion Gas and Emissions Analyzer*. Alat ini dapat mengukur emisi hingga temperatur maksimal 1200°C dan dapat mengukur emisi CO dengan rentang 0-8000 ppm, emisi SO₂ dengan rentang 0-5000 ppm dan emisi NO_x dengan rentang 0-5000 ppm. Alat uji emisi ini bekerja dengan cara mengambil sampel gas dari *probe*, lalu masuk ke sampel *cell*. Sampel gas kemudian akan dikomparasikan dengan gas standar yang melewati pemancaran sistem. Hasilnya berupa perbedaan panjang gelombang yang akan dikonversi menjadi sinyal analog oleh *receiver*. Alat uji emisi E 6000-5DS ditunjukkan oleh Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Alat Uji Emisi E 6000-5DS

d. Reaktor Torefaksi

Reaktor torefaksi yang digunakan dalam proses torefaksi tandan kosong kelapa sawit adalah reaktor torefaksi jenis kontinu tipe turbular yang ada di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Lampung. Reaktor ini memiliki temperatur operasional maksimum sebesar 375°C dengan kapasitas maksimum sebesar 5 kg/jam. Reaktor torefaksi ditunjukkan oleh Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Reaktor Torefaksi

e. Perekam Temperatur

Perekam temperatur yang digunakan untuk mengukur temperatur pembakaran batu bara serbuk dan biomassa tertorefaksi. Perekam temperatur yang digunakan adalah jenis Lutron BTM-4208SD. Perekam temperatur seri BTM-4208SD ini memiliki rentang temperatur $-100-1300^{\circ}\text{C}$ dengan 12 *channels* apabila menggunakan termokopel jenis K dan resolusi tampilan sebesar 1°C . Perekam Temperatur ditunjukkan oleh Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Perekam Temperatur

f. Selang Regulator Gas

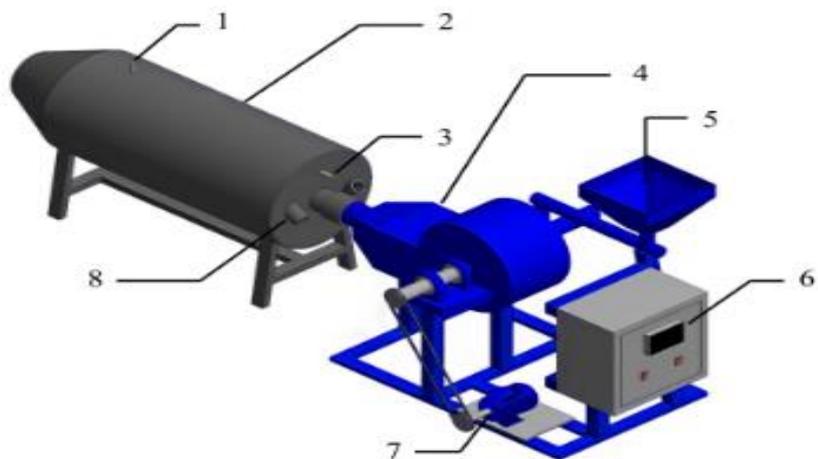
Selang regulator gas digunakan untuk menyalurkan gas LPG yang berfungsi sebagai bahan bakar pemanasan awal ke dalam ruang bakar. Seperti diperlihatkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Selang Regulator Gas

g. *Pulverized Burner*

Pulverized Burner digunakan sebagai tempat pembakaran dari campuran biomassa tertorefaksi dengan batu bara serbuk. *Pulverized Burner* ditunjukkan oleh Gambar 3.7.



Gambar 3.7 *Pulverized Burner*

Keterangan Gambar 3.7 adalah sebagai berikut :

1. Termokopel 1

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

2. Ruang Pembakaran

Ruang pembakaran digunakan sebagai tempat terjadinya proses pembakaran.

3. Termokopel 2

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

4. *Blower*

Blower digunakan untuk mendorong campuran batu bara serbuk dengan biomassa tertorefaksi ke dalam ruang pembakaran.

5. *Hopper*

Hopper digunakan sebagai tempat masuknya campuran batu bara serbuk dengan biomassa tertorefaksi ke dalam ruang pembakaran.

6. Panel

Panel digunakan untuk menampilkan temperatur di ruang pembakaran.

7. Motor Penggerak

Motor penggerak digunakan untuk menggerakkan *blower* yang berfungsi mendorong bahan bakar masuk ke dalam ruang pembakaran.

8. Udara Sekunder

Udara sekunder digunakan sebagai tempat masuknya udara sekunder.

2. Bahan

Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Batu bara serbuk *sub bituminous*

Batu bara *sub bituminous* diperoleh dalam bentuk serbuk dari PT. PLN (persero) Sektor Pembangkitan Tarahan. Adapun spesifikasi batu bara *sub bituminous* ditunjukkan pada Tabel 3.1.

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	4,0
HHV (kkal/kg)	5600
Analisis Ultimat	
Komponen	% Massa
Karbon	58,8
Hidrogen	3,8
Sulfur	0,3
Oksigen	12,2
Nitrogen	1,3

b. Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tandan kosong kelapa sawit diperoleh dalam bentuk pelet dari Jurusan Kehutanan Universitas Lampung. Selanjutnya pelet tandan kosong kelapa sawit dihaluskan menggunakan *crusher*. Kemudian serbuk tandan kosong kelapa sawit diayak menggunakan ayakan *mesh* 200 di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Lampung. Selanjutnya serbuk tandan kosong kelapa sawit yang telah diayak dimasukkan ke dalam reaktor untuk dilakukan proses torefaksi. Adapun

spesifikasi tandan kosong kelapa sawit yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Spesifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit Tertorefaksi (Wahyudi, dkk., 2020)

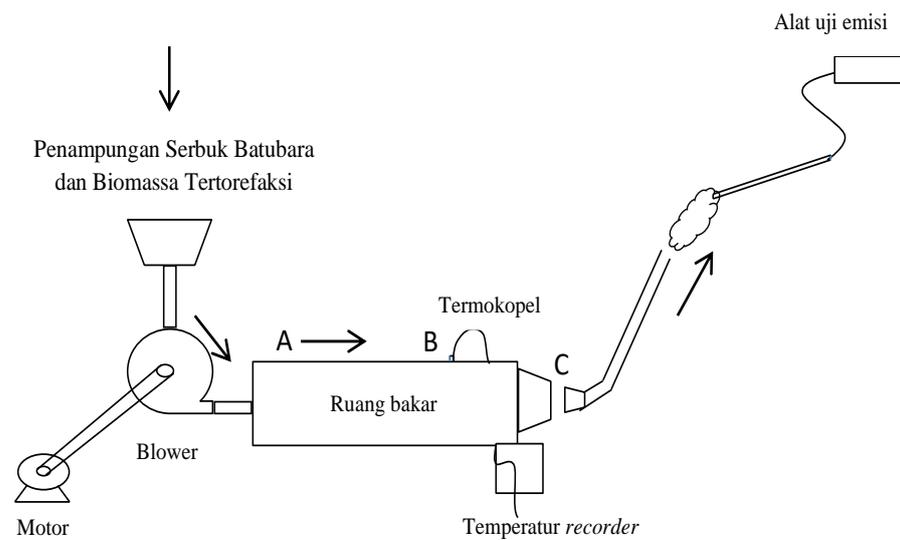
Parameter	% Massa
Analisis Ultimat	
Nitrogen	1,5
Karbon	52,7
Hidrogen	5,8
Oksigen	39,7
Analisis Proksimat	
Kadar Air	6,3
Kadar Abu	7,0
Kadar Zat Volatil	65,9
Karbo Tetap	20,7

c. LPG

Pemanasan awal pada *pulverized burner* menggunakan gas LPG. Gas LPG yang digunakan adalah gas LPG berukuran 12 kg.

C. Metode Pengambilan Data

Skema pengujian yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 3.8 dengan titik A, B dan C sebagai titik pengujian yang digunakan. Berikut ini merupakan prosedur pengujian dalam penelitian ini. Dengan skema pengujian diperlihatkan pada Gambar 3.8.



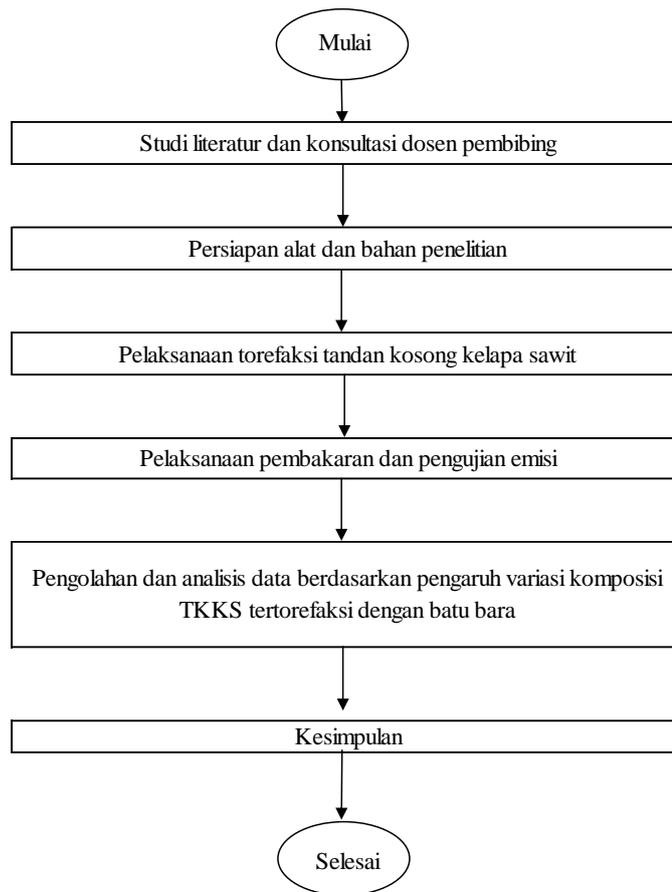
Gambar 3.8 Skema Pengujian

1. Mengumpulkan limbah tandan kosong kelapa sawit yang akan ditorefaksi.
2. Melakukan perlakuan awal berupa proses torefaksi pada limbah tandan kosong kelapa sawit yang akan ditorefaksi.
3. Melakukan torefaksi pada limbah tandan kosong kelapa sawit dengan menggunakan reaktor torefaksi kontinu tipe turbular.
4. Mempersiapkan alat dan bahan lain yang digunakan dalam penelitian ini seperti ayakan, arang, LPG, timbangan digital, perekam temperatur dan *pulverized burner*.
5. Mengayak batu bara menggunakan ayakan berukuran 200 mesh.
6. Menimbang serbuk batu bara yang sudah diayak tadi menggunakan timbangan digital sebanyak 700 gram, 800 gram dan 900 gram.
7. Menimbang limbah tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi menggunakan timbangan digital sebanyak 300 gram, 200 gram dan 100 gram.
8. Memanaskan *pulverized burner* hingga temperatur pembakaran 800°C.
9. Memasukkan campuran batu bara serbuk dengan limbah tandan kosong kelapa sawit dengan perbandingan 70% batu bara serbuk dan 30% limbah tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi ke dalam penampungan.

10. Menghidupkan motor yang sudah terhubung dengan *blower* untuk menghembuskan campuran bahan bakar menuju ruang bakar.
11. Memulai pengujian emisi menggunakan alat E 6000 – 5DS *Portable Industrial Combustion Gas and Emission Analyzer* bersamaan dengan terbakarnya campuran batu bara dengan limbah tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi.
12. Membakar campuran batu bara serbuk dengan limbah tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi sampai terbakar habis.
13. Melihat hasil pengujian emisi pembakaran pada layar E 6000 – 5DS *Portable Industrial Combustion Gas and Emissions Analyzer*.
14. Mencetak data hasil pengujian emisi pembakaran pada E 6000 – 5DS *Portable Industrial Combustion Gas and Emissions Analyzer*.
15. Mengulangi langkah 9 sampai 14, namun menggunakan variasi campuran bahan bakar yang berbeda yaitu variasi 80% batu bara dengan 20% limbah tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi dan variasi 90% batu bara dengan 10% limbah tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi.
16. Mencatat dan menganalisa hasil pengujian yang diperoleh.

D. Diagram Alir Penelitian

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



Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian

Tabel 3.3 Lembar Tabel Data Pengujian

No	Variasi Campuran	CO (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)	SO ₂ (mg/m ³)
1	70% Batu bara 30% TKKS Tertorefaksi			
2	80% Batu bara 20% TKKS Tertorefaksi			
3	90% Batu bara 10% TKKS Tertorefaksi			
4	100% Batu bara			

V. PENUTUP

A. SIMPULAN

Simpulan yang diperoleh setelah melakukan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Pada pembakaran *co-combustion* batu bara dengan TKKS tertorefaksi menggunakan *pulverized burner*, emisi CO, NO_x, dan SO₂ mengalami penurunan seiring dengan ditambahkannya biomassa yang digunakan pada variasi campuran bahan bakar *co-combustion*. Pada *co-combustion* dilakukan pengujian dengan TKKS tertorefaksi sebesar 10%, 20%, dan 30%. Untuk emisi CO, hasil yang diperoleh dari 498 mg/mm³ menjadi 287 mg/mm³. Untuk emisi NO_x hasil yang diperoleh dari 207 mg/mm³ menjadi 97 mg/mm³. Untuk emisi SO₂ hasil diperoleh dari 177 mg/mm³ menjadi 89 mg/mm³.
2. Emisi terbaik pada *co-combustion* dengan biomasa TKKS tertorefaksi 30%, nilai emisi CO, NO_x, dan SO₂ yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan *co-combustion* dengan biomassa TKKS tertorefaksi 20% dan 10%. Pada *co-combustion* biomassa TKKS tertorefaksi memiliki nilai emisi CO sebesar 287 mg/mm³, emisi NO_x sebesar 97 mg/mm³, dan emisi SO₂ sebesar 89 mg/mm³. Hasil ini sudah berada di bawah baku mutu yang ditetapkan kementerian LHK sebesar 550 mg/mm³.

B. SARAN

Saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian karakteristik emisi pembakaran *co-combustion* batu bara dengan biomassa menggunakan *pulverized burner* adalah :

1. Sebaiknya ditambahkan alat penangkap abu terbang pada *pulverized burner*.
2. Sebaiknya ditambahkan dengan pengujian partikulat karena emisi partikulat merupakan salah satu emisi yang wajib diperhitungkan.
3. Diperlukan pengaturan proses pemanasan *burner* yang lebih baik agar dapat memanaskan *burner* menuju temperatur yang diinginkan secara cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Artiningsih, A., Widodo, S., & 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.
- Ayuningtyas, C. 2016. *Study Sectional: Kadar HbCO Pada Darah Mekanik Bengkel Sepeda Motor Di Surabaya*. Jurnal Kesehatan Lingkungan.
- Basu, Prabir. 2013. *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torefaction: Pratical and Design Theory (Second Edition)*. San Diego: Elsevier.
- Bappenas. 2019. Kajian Ketercapaian Target DMO Batu Bara Sebesar 60% Produksi Nasional Tahun 2019. Jakarta.
- Dinata, T.A., Junaidi, Kurniawan, E. 2019. Studi Pemanfaatan Biomassa Limbah Padat Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Untuk Pembangkit Energi Listrik. Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- Faranita, Yusma. 2009. *Evaluation of Firing and Air Polution Controlling Systems at PLTU PAITON Unit 7 and 8 Probolinggo-Jawa Timur*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Ganesan, V. 2003. *Internal Combustion Engines 2nd ed*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.

- Hamzah, dkk. 2019. *Solid Fuel from Oil Palm Biomass Residues and Municipal Solid Waste by Hydrothermal Treatment for Electrical Power Generation in Malaysia: A Review*. Malaysia: Sustainability.
- Hantoko, dkk. 2018. *Preparation of Empty Fruit Bunch as a Feedstock for Gasification Process by Employing Hydrothermal Treatment*. Bandung: Elsevier.
- Hasanudin, U., Sugiharto, R., Haryanto, A., Setiadi, T. Fujie, K. 2015. *Palm Oil Mill Effluent Treatment and Utilization to Ensure the Sustainability of Palm Oil Industries*. *Water Sci, Technol*.
- Hu, Z., Wang, X., Wang, Y., Tan, H. 2014. *Segmented Kinetic Investigation On Condensed KCl Sulfation In SO₂/O₂/H₂O at 523K-1023K*. *Energi and Fuels*.
- Jurczyk, M., Mikus, M., & Dziedzic, K. 2014. *Flue Gas Cleaning in Municipal Waste-To-Energy Plants-Part II. Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, 1309-1321.
- Kementrian ESDM. 2021. Cadangan Batubara Masih 38,84 Miliar Ton, Teknologi Bersih Pengelolaannya Terus Didorong. Jakarta.
- Koppejan, J. 2016. *The Handbook of Biomass Combustion and Cofiring Edited by Sjaak van Loo and Jaap Koppejan*. Januari.
- Mahreni, M., Mitha, P. 2019. Pencucian Batu bara. Yogyakarta: LPPM UPN Veteran Yogyakarta.
- McAllister, S., Chen, Y.J., Pello, F.C.A. 2011. *Fundamentals of Combustion Processes*. New York: Springer.
- McKendry, Peter. 2002. *Energy Production from Biomass (part 1): Overview of Biomass*. Colchester: Elsevier.
- Muller, B., & Tillman D. 2009. *Combustion Engineering Issues For Solid Fuel Systems*.

- Nelson, L.W. 1977. *Design, Fabrication, and Testing of a Pulverized Fuel Combustion Facility*. Kansas State University.
- Nordgen, Daniel. *Experimental Studies of Pulverized Biomass Combustion*. Luleå University of Technology.
- Oil World. 2017. *Oil World Database December 2017*. ISTA Mielke GmbH, Germany.
- Samlawi, A. K. 2017. Teknik Pembakaran. Banjarbaru: Universtas Lambung Mangkurat.
- Saptoadi, Harwin. 2011. Bahan Bakar Padat Dari Bumi Indonesia Untuk Kemandirian dan Kesejahteraan Bangsa. Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sepfitrah. 2016. Analisis Proximate Kualitas Batu bara Hasil Tambang di Riau. Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru.
- Shaddix, C. R., & Molina, A. 2011. *Fundamental Investigation of NO_x Formation During Oxy-Fuel Combustion of Pulverized Coal*. *Combustion Institute*, 33(2), 1723-1730.
- Suyitno, Istanto, Tri. 2005. Simulasi CFD Pembakaran *Non-Premixed* Serbuk Biomass Kayu Jati. Fakultas Teknik Industri, Universitas Kristen Petra.
- Talayansa, L. 2017. Analisis Emisi SO₂ Hasil Pembakaran Batu Bara. *Jurnal Geomine*.
- Wahyudi, R., Amrul, A., & Irsyad, M. 2020. Karakteristik Bahan Bakar Padat Produk Torefaksi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Turbular. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional dan teknologi*, 20(2), 1-8.

Xiaohan, Ren., Rui, Sun., Xiaoxiao, Meng., Nikita, Vorobiev., Martin, Schiemann., Yiannis, A, L. 2017. *Carbon, Sulfur and Nitrogen Oxide Emissions From Combustion of Pulverized Raw and Torrefied Biomass. Journal of Fuel.*

Xue, Z., Zhong, Z., Lai, X. 2020. *Investigation On Gous Pollutants Emissions During Co-Combustion of Coal and Wheat Straw In A Fluidized Bed Combustor. Chemosphere.*