

**KARAKTERISTIK EMISI PEMBAKARAN PRODUK TOREFAKSI
LIMBAH BIOMASSA MENGGUNAKAN TUNGKU *FIXED-BED***

(Skripsi)

Oleh

FAIZAL ARROSYID



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2020

ABSTRAK

KARAKTERISTIK EMISI PEMBAKARAN PRODUK TOREFAKSI LIMBAH BIOMASSA MENGGUNAKAN TUNGKU *FIXED-BED*

oleh

Faizal Arrosyid

Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang saat ini masih dominan digunakan dalam kehidupan manusia. Kebutuhan manusia atas energi fosil yang semakin meningkat menyebabkan ketersediaan bahan bakar tersebut semakin menipis. Biomassa merupakan salah satu sumber energi terpenting dan terutama untuk negara berkembang seperti Indonesia, karena begitu pentingnya kegiatan konversi bahan bakar fosil ke bahan bakar alternatif, maka perlu dilakukan penelitian ini guna mencari sumber bahan bakar biomassa yang paling efektif. Salah satu bahan biomassa yang paling banyak dan berpotensi di Indonesia adalah kelapa sawit. Penelitian dilakukan menggunakan produk torefaksi tandan kosong kelapa sawit dengan *temperature* 200 - 300°C dan lama tinggal 30 menit, menggunakan reaktor torefaksi kontinu tipe tubular skala lab. Pada penelitian ini produk torefaksi biomassa akan dilakukan pengujian pembakaran untuk mengetahui kualitasnya. Pengujian emisi gas buang pembakaran produk torefaksi meliputi CO, NO_x, SO_x HC dan Partikulat. Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Agustus 2019 sampai bulan Februari 2020 di Laboratorium Termodinamika Teknik Mesin Universitas Lampung serta Laboratorium Terpadu Universitas Lampung dan Stasiun Krimatologi BMKG Provinsi Lampung. Pada penelitian ini kadar gas CO menurun, sedangkan untuk O₂ memiliki fenomena yang meningkat, hal tersebut terjadi karena semakin tinggi temperatur pemanasan devolatilisasi yang terjadi akan semakin besar. Karena semakin tinggi O₂ maka semakin baik dan pembakarannya menjadi lebih sempurna. Kondisi terbaik emisi O₂ di dapatkan pada produk torefaksi *temperature* 300°C dengan nilai 20,43%.

Kata Kunci : Tandan kosong kelapa sawit, Biomassa, Torefaksi, Pembakaran, Emisi

ABSTRACT

COMBUSTION EMISSION CHARACTERISTICS OF BIOMASS WASTE PRODUCTS USING FIXED-BED FURNACES

by

Faizal Arrosyid

Fossil fuels are an energy source that is currently still dominantly used in human life. The increasing human need for fossil energy causes the availability of these fuels to run low. Biomass is one of the most important energy sources and especially for developing countries like Indonesia, because of the importance of the conversion of fossil fuels to alternative fuels, this research needs to be done to find the most effective source of biomass fuel. One of the most abundant and potential biomass materials in Indonesia is oil palm. The study was conducted using oil palm empty fruit bunch extraction products with a temperature of 200 - 300 ° C and a length of stay of 30 minutes, using a laboratory scale tubular type continuous reactor. In this study biomass torefaction products will be tested for combustion to determine its quality. Examination of emission of combustion gas emission products include CO, O₂, NO_x, HC and Particulates. This research was conducted from August 2019 to February 2020 in the Laboratory of Thermodynamics Laboratory of the University of Lampung Engineering as well as the Integrated Laboratory of the University of Lampung and the BMKG Crimatology Station of Lampung Province using SNI 7926:2013. In this study CO gas levels decreased, whereas for O₂ it had an increasing phenomenon, this happened because the higher the devolatilization heating temperature that occurred the greater. Because the higher the O₂, the better and more complete combustion. The best conditions of O₂ emissions are obtained at temperature products of 300 ° C with a value of 20.43%.

Keywords : Oil palm empty fruit bunches (EFB), Biomass, Torefaction, Combustion, Emissions

**KARAKTERISTIK EMISI PEMBAKARAN PRODUK TOREFAKSI
LIMBAH BIOMASSA MENGGUNAKAN TUNGKU *FIXED-BED***

Oleh

FAIZAL ARROSYID

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2020

Judul Skripsi : **KARAKTERISTIK EMISI PEMBAKARAN
PRODUK TOREFAKSI LIMBAH BIOMASSA
MENGUNAKAN TUNGKU *FIXED-BED***

Nama Mahasiswa : **Faizal Arrosyid**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1515021007**

Program Studi : **Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**



1. Komisi Pembimbing

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

Herry Wardono, Ir., M.Sc. IPM
NIP. 19660822 199512 1 001

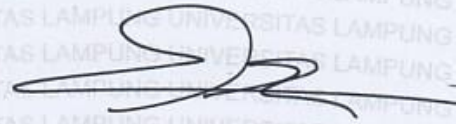
2. Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

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

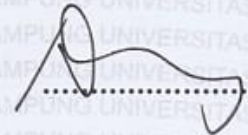
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji


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



Anggota Penguji : Herry Wardono, Ir., M.Sc. IPM.



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



2. Dekan Fakultas Teknik



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 8 Mei 2020

Riwayat Hidup

PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PERATURAN
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN
REKTOR No.3187/H26/PP/2010

Bandarlampung, Juli 2020

Penulis,



FAIZAL ARROSYID

NPM. 1515021007

Riwayat Hidup



Penulis bernama Faizal Arrosyid, lahir pada tanggal 10 Agustus 1997 di Tulang Bawang, Provinsi Lampung. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Bapak Kamsunu Widiyanto dan Ibu Saparti. Penulis bersekolah di SMAN 01 Tumijajar dan lulus pada tahun 2015.

Pada tahun yang sama penulis melanjutkan studi di Universitas Lampung program S1 Teknik Mesin melalui jalur SNMPTN. Pada Tahun 2018 penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung. Selama melaksanakan studi, penulis aktif pada beberapa kegiatan kemasiswaan seperti menjadi Kepala Divisi Kaderisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) FT 2017, Sekretaris Menteri Aksi dan Propaganda BEM Universitas Lampung 2018, Ketua Majelis Permusyawaratan Mahasiswa (MPM) Universitas Lampung 2019 dan Dewan Pembina HIMATEM FT 2019-2020.

Pada tahun 2020 penulis menyelesaikan studi S1 teknik mesin dengan skripsi yang berjudul **“Karakteristik Emisi Pembakaran Produk Torefaksi Limbah Biomassa Menggunakan Tungku *Fixed-Bed*”** dengan bimbingan Dr, Amrul, S.T., M.T. dan Ir. Herry Wardono M.Sc., IPM.

KATA INSPIRASI

“Dan hanya kepada Allah hendaknya kamu berharap”

(Q.S. Al Insyirah: 8)

“Maka nikmat Tuhan kamu yang manakah yang kamu dustakan?”

(Q.S. Ar-Rahman: 55)

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi pula kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk bagimu. Allah mengetahui sedang kamu tidak mengetahui”

(QS. Al Baqarah: 216)

“Angin tidak berhembus untuk menggoyangkan pepohonan, melainkan menguji kekuatan akarnya”

(Ali bin abi thalib)

“Lambung mereka jauh dari tempat tidur...”

(QS. As Sajdah: 16)

PERSEMBAHAN

Karya yang sederhana ini ku persembahkan kepada:

*Mamak, Bapak yang selalu menjadi orangtua terbaik dengan versinya sendiri,
akhirnya anakmu lulus juga*

*Adikku tercinta Rafa Aida yang menjadi penyemangat untuk segera
menyelesaikan studi*

Anda semua yang bertanya kapan saya lulus

SANWACANA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis ucapkan atas ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengujian Emisi Pembakaran Produk Torefaksi Limbah Biomassa”. Karya ilmiah ini merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Sarjana Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Sholawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang selalu menjadi suri tauladan bagi seluruh umat manusia.

Limpahan rasa sayang dan cinta sedalam-dalamnya penulis berikan kepada kedua orang tua yakni ayahanda Kamsunu Widiyanto dan ibunda Saparti yang telah 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 terima kasih kepada pihak-pihak berikut:

1. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T. selaku pembimbing utama yang telah bersedia memberikan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi.
2. Bapak Ir. Herry Wardono, M.Sc., IPM selaku pembimbing kedua sekaligus pembimbing akademik penulis yang tidak lelah untuk menasihati penulis agar segera menyelesaikan skripsi.
3. Kedua Orang Tua penulis Kamsunu Widiyanto, Saparti 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. Mas Marta selaku admin S1 yang sangat banyak membantu penulis dalam mengurus administrasi.
6. Stasiun Krimatologi BMKG Provinsi Lampung dan SMKN 5 Bandar Lampung yang telah membantu penulis dalam melaksanakan penelitian.
7. Seluruh tim penelitian torefaksi Teknik Mesin Ivan Wijaya, Alghozali Hasan, Mas Zaenal dan Mas Retno.
8. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2015 yang telah kebersamai penulis selama studi, semoga tali persaudaraan kita akan selalu terjaga selamanya.
9. Teman-teman organisasi penulis di HIMATEM FT 2017, BEM Universitas KBM UNILA 2018 dan MPM-DPM Universitas KBM UNILA 2019, yang telah mengisi waktu luang penulis dengan hal yang lebih produktif.
10. Teman-teman yang selalu bertanya kapan wisuda dan semua pihak yang telah membantu pelaksanaan skripsi.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan semua pihak dan semoga Skripsi ini bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan pada pembaca pada umumnya.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Bandarlampung, Juli 2020

Penulis,

Faizal Arrosyid

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	i
ABSTRAK	ii
ABSTARCT	iii
HALAMAN JUDUL	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN PENULIS	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
KATA INSPIRASI	ix
PERSEMBAHAN	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	5
C. Manfaat Penelitian	6
D. Batasan Masalah	6
E. Sistematika Penulisan Laporan	7

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Biomassa	9
B. Tandan Kosong Kelapa Sawit	14
C. Torefaksi	18
D. Pembakaran.....	21

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian	29
B. Alat dan Bahan	29
C. Metode Pengambilan Data	32
D. Pengujian Laboratorium	34
E. Diagram Alir Penelitian	35

BAB IV . HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Produk Torefaksi	36
B. Hasil Pengujian Emisi Produk Torefaksi	41

BAB V . PENUTUP

A. Simpulan	54
B. Saran	55

DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN**

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Potensi limbah pabrik kelapa sawit	16
Tabel 2.2 Karakteristik tandan kosong kelapa sawit	17
Tabel 2.3 Senyawa produk torefaksi	22
Tabel 4.1 Hasil emisi pembakaran produk torefaksi	41

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Diagram alur pengolahan kelapa sawit15
Gambar 2.2	Skema perubahan berat komponen biomassa19
Gambar 2.3	Mekanisme peluruhan komponen lignoselulosa20
Gambar 3.1	Tungku pembakaran30
Gambar 3.2	Temperatur <i>recorder</i>31
Gambar 3.3	Skema pengujian emisi pembakaran produk torefaksi33
Gambar 3.4	Diagram alir penelitian35
Gambar 4.1	Pelet mentah tandan kosong kelapa sawit38
Gambar 4.2	Produk torefaksi temperatur 200°C38
Gambar 4.3	Produk torefaksi temperatur 225°C39
Gambar 4.4	Produk torefaksi temperatur 250°C39
Gambar 4.5	Produk torefaksi temperatur 275°C40
Gambar 4.6	Produk torefaksi temperatur 300°C40
Gambar 4.7	Grafik kadar CO produk torefaksi42
Gambar 4.8	Grafik kadar O ₂ produk torefaksi44
Gambar 4.9	Grafik perbandingan CO dan O ₂44
Gambar 4.10	Grafik kadar HC produk torefaksi45
Gambar 4.11	Grafik kadar NO _x produk torefaksi47
Gambar 4.12	Grafik perbandingan HC dan NO _x47

Gambar 4.13	Grafik kadar partikulat produk torefaksi	49
Gambar 4.14	Filter pengujian partikulat tkks mentah	50
Gambar 4.15	Filter pengujian partikulat produk torefaksi 200°C	50
Gambar 4.16	Filter pengujian partikulat produk torefaksi 225°C	51
Gambar 4.17	Filter pengujian partikulat produk torefaksi 250°C	51
Gambar 4.18	Filter pengujian partikulat produk torefaksi 275°C	52
Gambar 4.19	Filter pengujian partikulat produk torefaksi 300°C	52

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan industri yang tumbuh dengan pesat harus didukung dengan persediaan energi yang besar dan tercukupi, terlebih lagi pada negara berkembang seperti Indonesia. Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang saat ini masih paling dominan digunakan dalam kehidupan manusia. Kebutuhan manusia atas energi fosil yang semakin meningkat menyebabkan ketersediaan bahan bakar tersebut di alam semakin menipis karena tidak sebanding laju penggunaannya dengan waktu pembentukan. Selain akibat kelangkaannya, penggunaan bahan bakar fosil dalam jumlah besar dan terus menerus dalam jangka waktu yang lama mengakibatkan masalah lingkungan yang serius dan telah menjadi perhatian dunia.

Bahan bakar fosil yang cukup familiar adalah batu bara dan produk turunan dari minyak bumi. Batu bara adalah salah satu bahan bakar fosil, yaitu batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik. Pembentuk utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatu

baraan. Unsur-unsur utama dalam batu bara yakni karbon, hydrogen dan oksigen. Berdasarkan data Direktorat Sumber Daya Energi, Mineral Dan Pertambangan Bapennas jumlah produksi batu bara Indonesia 2018 mencapai 406 juta ton. Pada 2019 Indonesia diharapkan mampu memproduksi 400 juta ton batu bara dengan 60% untuk kebutuhan dalam negeri (DMO).

Indonesia merupakan salah satu negara pengekspor batu bara terbesar di dunia, bersama Amerika Serikat, Rusia, India dan Republik Rakyat Tiongkok (Bapennas, 2019). Cadangan batu bara dunia paling besar terdapat di India, Australia, Tiongkok, Rusia dan Amerika Serikat. Amerika Serikat menduduki posisi teratas untuk cadangan batu bara terbukti 250 milyar ton, Rusia 170 milyar ton, Tiongkok dan Australia masing-masing 140 milyar ton dan India dengan 100 milyar ton. Badan perencanaan pembangunan nasional mencatat, hingga Juni 2019 cadangan batu bara Indonesia mencapai sekitar 37 miliar ton. Pada 2100 cadangan batu bara diperkirakan akan habis apabila tidak ditemukan cadangan batu bara baru. Pemerintah terus mendorong penggunaan energi baru terbarukan seperti tertuang pada Peraturan Presiden (PERPRES) No. 5 Tahun 2006 Tentang Kebijakan Energi Nasional, dan diperbarui dengan Peraturan Pemerintah No.79 Tahun 2014 Yang Mengatur Tentang Kebijakan Energi Nasional.

Biomassa merupakan salah satu sumber energi terpenting dan terutama untuk negara berkembang seperti Indonesia, karena begitu pentingnya kegiatan konversi bahan bakar fosil ke bahan bakar alternatif, maka perlu dilakukan penelitian ini guna mencari sumber bahan bakar biomassa yang paling efektif.

Salah satu bahan biomassa yang paling banyak dan berpotensi di Indonesia adalah kelapa sawit. Indonesia yang merupakan produsen dan eksporter terbesar minyak kelapa sawit (CPO) di dunia, dengan 14,03 juta hektar lahan perkebunan sawit dan memenuhi sekitar 37,8 juta ton atau 56,6% kebutuhan minyak kelapa sawit dunia pada tahun 2017. Pada tahun 2018 Indonesia tercatat memproduksi 42 juta ton dan meningkat hingga 45 juta ton pada 2019 (Ditjen perkebunan, 2018).

Biomassa perlu diberikan perlakuan agar dapat menjadi bahan bakar yang lebih baik. Salah satu perlakuan yang diberikan pada biomassa adalah torefaksi. Torefaksi adalah proses termokimia yang terjadi pada kondisi lingkungan tanpa atau sedikit sekali oksigen, dimana biomassa dipanaskan secara lambat sampai rentang temperatur 200-300°C dan ditahan selama beberapa waktu dan menghasilkan degradasi kandungan hemiselulosa dan memaksimalkan *mass* dan *energy yield* dari produk padat (Prins dkk., 2006). Produk torefaksi memiliki beberapa keuntungan diantara lain kadar air yang berkurang, kemampuan ketahanan terhadap air yang semakin baik (hydrophobia), pembakaran produk lebih bersih karna kandungan debu (ash content) yang sedikit, kadar kalor yang lebih besar karena kandungan yang tidak dibutuhkan pada saat pembakaran terurai ketika proses torefaksi (Deutmeyer, 2012).

Pada penelitian ini produk torefaksi biomassa akan dilakukan pengujian pembakaran untuk mengetahui kualitasnya. Pengujian pembakaran yang akan dilakukan adalah uji emisi gas pembakaran biomassa. Pengujian emisi gas

buang pembakaran produk torefaksi meliputi CO, O₂, NO_x, SO_x HC dan Partikulat. Emisi karbon monoksida (CO) merupakan hasil pembakaran yang tidak sempurna dan merupakan bagian dari polutan yang tidak bisa terbakar. Gas buang karbon monoksida (CO) tidak berbau, namun beracun akibat pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna. Gas CO dapat bereaksi dengan *hemoglobin* membentuk *karbonhaemoglobin* (CO-Hb) yang selanjutnya menurunkan kemampuan darah dalam membawa oksigen didalam tubuh. Gas hidrokarbon (HC) terbentuk pada pembakaran yang sangat tidak sempurna. Asapnya terdiri dari partikel-partikel karbon yang tidak terbakar. Sedangkan gas-gas hidrokarbon adalah senyawa-senyawa karbon dan hidrogen hasil pemecahan bahan organik yang belum mengalami oksida oksigen lebih lanjut. Seperti karbon monoksida, pembentukan asap dan gas-gas hidrokarbon menyebabkan rendahnya efisiensi pembakaran bahkan jauh lebih rendah dari yang diakibatkan oleh pembentukan karbon monoksida.

Senyawa Nitrogen seperti Nitrogen Oksida (NO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂), yang pada umumnya dikenal dengan NO_x dan N₂O. Pengaruh gas buang Nitrogen oksida (NO_x) terhadap lingkungan adalah gas yang tidak berbau, tidak berwarna, akan tetapi beracun yang dihasilkan dari proses pembakaran. Gas NO_x dapat bergabung dengan hemoglobin dan mengganggu penyerapan oksigen dalam darah. NO₂ dapat menyebabkan iritasi di bagian tertentu paru-paru (Nukman dkk, 2007). Partikulat adalah bentuk dari padatan atau cairan dengan ukuran molekul tunggal yang lebih besar dari 0.002 µm tetapi lebih kecil dari 500 µm yang tersuspensi di atmosfer dalam keadaan normal.

Partikulat dapat berupa asap, debu dan uap yang dapat tinggal di atmosfer dalam waktu yang lama. Peningkatan kadar partikulat di udara terkait dengan bahaya kesehatan seperti penyakit jantung, fungsi dan kanker paru-paru.

Bahan bakar fosil akan habis dengan berjalannya waktu dan membutuhkan waktu yang sangat lama untuk tersedia kembali. Biomassa merupakan salah satu sumber energi alternatif yang ketersediaannya cukup melimpah, dan dengan melakukan torefaksi maka kualitas pembakaran biomassa sebagai bahan bakar akan lebih baik. Berdasarkan hal tersebut penulis tertarik untuk melakukan penelitian karakteristik emisi pembakaran produk torefaksi biomassa, sehingga diharapkan menjadi alternatif sumber energi baru yang sifatnya terbarukan guna mencegah penggunaan bahan bakar fosil yang berkelanjutan.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik emisi pembakaran biomassa sebelum dan sesudah torefaksi meliputi yaitu CO, O₂, HC, NO_x dan partikulat.

C. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan penulis dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat memahami cara kerja dan kelebihan dari pengolahan biomassa menggunakan metode torefaksi.
2. Dapat mengetahui karakteristik hasil pembakaran dari produk torefaksi.
3. Dapat mengetahui potensi pembakaran produk hasil torefaksi.

D. Batasan Masalah

Agar penelitian karakteristik emisi pembakaran produk torefaksi limbah biomassa menggunakan tungku *fixed-bed* lebih terfokus dan dapat mencapai tujuan yang telah ditetapkan, berikut adalah beberapa batasan masalah dari penelitian ini:

1. Penelitian dilakukan menggunakan produk torefaksi tandan kosong kelapa sawit dengan temperatur 200 - 300°C dan lama tinggal 30 menit, menggunakan reaktor torefaksi kontinu tipe tubular skala lab yang terdapat di jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
2. Komponen produk pembakaran yang diujikan hanya mencakup komponen-komponen utama yaitu kadar CO, O₂, HC, NO_x, dan partikulat.
3. Penelitian pegujian emisi pembakaran produk torefaksi biomassa menggunakan tungku pembakaran SNI dan Gas Analyzer.

E. Sistematika Penulisan

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

I. PENDAHULUAN

Berisi uraian latar belakang, tujuan dan batasan masalah dalam penulisan laporan serta sistematika yang digunakan penulis dalam menyusun laporannya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori-teori dasar atau literatur yang menjadi pedoman atau acuan yang berhubungan dengan penelitian ini.

III. METODE PENELITIAN

Berisi mengenai waktu dan tempat, alur atau tahapan, serta metode-metode yang digunakan oleh penulis dalam pelaksanaan penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan data-data yang diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan beserta pembahasan pengaruh berbagai parameter yang pada penelitian ini.

V. PENUTUP

Berisikan simpulan dari hasil penelitian yang diperoleh serta saran yang diperlukan untuk penelitian selanjutnya

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.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Biomassa

Biomassa terbentuk dari makhluk hidup seperti tanaman dan hewan, atau apapun yang hidup atau baru saja mati. Tidak seperti bahan bakar fosil, biomassa tidak membutuhkan jutaan tahun untuk dapat digunakan. Tanaman menggunakan cahaya matahari melalui fotosintesis untuk memproses karbon dioksida di atmosfer dan air untuk tumbuh. Hewan kemudian tumbuh dengan menerima energi dari bahan biomassa. Berbeda dari bahan bakar fosil, biomassa dapat bereproduksi, dan karena alasan inilah biomassa dikategorikan sebagai energi terbarukan. Sifatnya yang mudah diperbaharui inilah juga yang membuat banyak orang tertarik untuk menggunakannya sebagai sumber energi (Basu, 2013).

Setiap tahun, biomassa berkembang dengan jumlah yang sangat besar melalui fotosintesis dengan cara menyerap CO₂ dari lingkungan. Ketika biomassa dibakar, maka ia akan melepaskan karbon dioksida yang telah diserapnya dari lingkungan beberapa waktu yang lalu (mulai dari beberapa jam sampai beberapa tahun lalu).

Oleh sebab itu, pembakaran bahan biomassa tidak menambahkan jumlah karbon dioksida di bumi sehingga biomassa juga dapat disebut “*carbon-neutral*”). Namun pada praktiknya, biomassa akan mengalami penambahan jumlah karbon yang diterimanya selama budidaya, penggunaan pupuk/pestisida, pemanenan ataupun pengangkutan. Hal ini dapat menjadi meningkatkan jumlah karbon dioksida yang diproduksi oleh bahan bakar biomassa. Sehingga jumlah karbon tambahan yang diterima biomassa selama proses produksinya dapat menentukan klasifikasi bahan bakarnya, dari bahan bakar berkarbon rendah bahkan netral. Namun biomassa tetap menjadi perhatian karena jika dibandingkan dengan karbon yang dihasilkan oleh bahan bakar fosil, karbon tambahan dari produksi biomassa sangat kecil atau bahkan dapat diabaikan (Tajalli, 2015). Adapun tiga produk utama yang dapat dihasilkan dari biomassa adalah sebagai berikut: (Basu, 2013)

1. Bahan bakar cair

Meliputi: ethanol, biodiesel, methanol, minyak sayur dan minyak pirolisis

2. Bahan bakar gas

Meliputi: biogas (CH_4 , CO_2), *producer gas* (CO , H_2 , CH_4 , CO_2), syngas (CO , H_2) dan gas alam pengganti (CH_4)

3. Bahan bakar padat

Meliputi: arang, biomassa torefaksi, *biocoke*, *biochar*.

Proses konversi bahan mentah biomassa menjadi bahan bakar biomassa secara umum terbagi menjadi dua kategori besar, yaitu : (Basu, 2013)

1. *Biochemical Conversion*

Sesuai namanya, *biochemical conversion* adalah metode mengolah bahan biomassa menjadi bahan bakar dengan bantuan agen-agen biologis atau kimia. Disini molekul biomassa akan dipecah menjadi molekul yang lebih kecil oleh bakteri atau enzim. Proses ini memakan waktu yang jauh lebih lama dibandingkan dengan konversi termal, namun tidak memerlukan energi yang besar. Tiga metode dari *biochemical conversion* adalah sebagai berikut:

a. Pencernaan Aerobik

Disebut juga dengan proses pengomposan, adalah proses pemecahan molekul biomassa dengan kehadiran oksigen, Proses ini menggunakan banyak jenis mikroorganisme yang dapat mengakses oksigen dari udara, memproduksi karbon dioksida, panas, dan *digestate* padat.

b. Pencernaan Anaerobik

Produk utama proses ini adalah metana dan karbon dioksida dan juga residu padat. Proses ini terjadi pada lingkungan tanpa oksigen dan bantuan bakteri, sehingga bakteri akan mengambil oksigen dari bahan biomassa tersebut.

c. Fermentasi

Dalam fermentasi, bagian dari biomassa diubah menjadi gula menggunakan asam atau enzim. Gula kemudian diubah menjadi etanol ataupun bahan kimia lain dengan bantuan ragi. Lignin dari biomassa tidak dapat diubah sehingga akan tertinggal baik untuk pembakaran ataupun untuk konversi termal. Tidak seperti proses pencernaan, produk fermentasi pada umumnya adalah cairan.

2. *Thermal Conversion*

Konversi termal adalah metode pengolahan bahan biomassa menjadi bahan bakar dengan memanfaatkan bantuan temperatur yang tinggi, beberapa metodenya seperti: (Basu, 2013)

a. Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi eksotermik antara oksigen dan komponen hidrokarbon dalam biomassa dan menghasilkan dua komponen stabil yaitu H₂O dan CO₂.

b. Pirolisis

Tidak seperti pembakaran, pirolisis membutuhkan lingkungan tanpa oksigen. Proses ini memecah molekul biomassa secara termal menjadi komponen gas, cair dan padat dengan pemanasan cepat biomassa diatas 300-400 °C. Pada pirolisis cepat (*fast pyrolysis*) produk utamanya adalah bahan bakar cair, dikenal dengan bio-oil, sedangkan pada pirolisis lambat (*slow pyrolysis*) produk utamanya adalah padatan dan sedikit gas.

c. Torefaksi

Torefaksi dianggap sebagai pemanfaatan yang efektif dari biomassa sebagai bahan bakar padat yang bersih dan mudah. Pada torefaksi, biomassa dipanaskan secara lambat dengan sedikit sekali sampai tanpa oksigen pada temperatur 200-300°C. Proses ini mengubah struktur dari hidrokarbon biomassa dan meningkatkan kandungan karbon dan mengurangi kandungan oksigen dan hidrogennya. Torefaksi juga meningkatkan densitas energi dan membuatnya hidrofobis. Sifat ini meningkatkan nilai komersil kayu untuk produksi dan pemindahan energi.

d. Gasifikasi

Gasifikasi mengubah bahan bakar fosil dan non-fosil (padat, cair, gas) menjadi gas-gas dan bahan kimia yang berguna. Proses ini membutuhkan medium untuk reaksi, dapat berupa gas atau air superkritis. Media gas nya dapat berupa udara, oksigen, uap subkritis atau campuran dari ketiganya. Gasifikasi juga membuang oksigen dari bahan bakar untuk meningkatkan densitas energinya.

e. Liquifaksi

Liquifaksi bahan biomassa padat menjadi bahan baakr cair dapat dilakukan melalui pirolisis, gasifikasi ataupun proses hidrotermal. Pada proses ini, biomassa dikonversi menjadi cairan berminnyak dengan menkontakkan biomassa dengan air

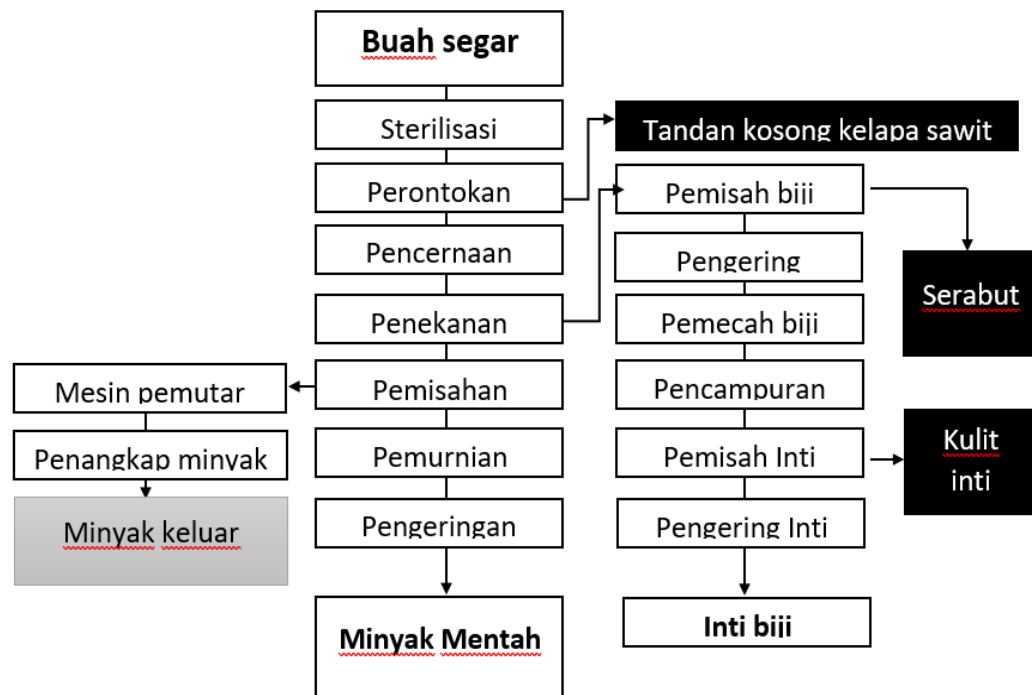
pada temperatur 300-350 °C dan tekanan 12-20 MPa selama beberapa waktu.

B. Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tanaman kelapa sawit yang memiliki nama latin *Elaeis guineensis* Jack merupakan tanaman penghasil minyak kelapa sawit (CPO) serta inti kelapa sawit dan telah menjadi salah satu primadona tanaman perkebunan yang menjadi sumber penghasil devisa non-migas bagi Indonesia. Indonesia masih dinobatkan sebagai produsen dan eksportir CPO terbesar dunia dengan produksi yang mencapai 37,8 juta ton pada akhir tahun 2017. Nilai yang setiap tahunnya terus meningkat ini diprediksi akan mencapai angka 40 juta ton atau lebih pada tahun 2020. Ini membuat potensi kelapa sawit serta produk-produknya sangat besar di Indonesia (Salmina, 2018).

Proses pengolahan tandan buah segar (TBS) kelapa sawit hingga menjadi CPO terdiri dari tahapan. Tahap pertama adalah jembatan timbang yang bertujuan untuk mengetahui berat dari TBS yang diterima oleh pabrik, kemudian melalui proses penyortiran dimana kualitas dan kematangan buah sawit harus diperiksa dengan baik, dilanjutkan dengan proses perebusan buah sawit (*sterilizer*) yang bertujuan untuk mengurangi peningkatan asam lemak bebas, mempermudah proses perontokkan buah dan menurunkan kadar air pada buah sawit, setelah ini buah sawit akan dipisahkan dari tandan sawit dengan cara dibanting dan dimasukkan ke *empty bunch conveyor*, buah kemudian dicincang didalam *digester* dan diperas dengan cara ditekan menggunakan *presser* dan

menghasilkan minyak kasar sawit atau *Crude Palm Oil* (CPO) dan ampas press. Proses terakhir adalah proses pemurnian minyak pada *clarification station* untuk memurnikan *crude oil* menjadi CPO (Latif dkk., 2014). Gambar 2.1 berikut menunjukkan diagram alur proses pengolahan kelapa sawit.



Gambar 2.1 Diagram alur pengolahan kelapa sawit (Uemura, 2011)

Pengolahan kelapa sawit menjadi CPO ini menghasilkan beberapa jenis limbah padat yang meliputi tandan kosong sawit, cangkang serta serat. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah utama dari pengolahan kelapa sawit. Dari pengolahan 1 ton TBS akan dihasilkan minyak sawit kasar (CPO) sebesar 0,21 ton (21%) dan minyak inti sawit (PKO) sebesar 0,05 ton (5%) dan sisanya adalah limbah dengan jumlah TKKS 0,23 ton (23%), serat 0,135 ton (13,5%) dan cangkang biji 0,55-0,65 ton (5,5-6,5%) (Mandiri, 2012). Selain limbah padat dihasilkan juga limbah cair. Limbah padat dan cair ini dapat diolah lagi

menjadi produk yang memiliki manfaat serta nilai ekonomi yang lebih tinggi.

Tabel 2.1. menampilkan potensi dari limbah kelapa sawit.

Tabel 2.1 Jenis, potensi dan pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit.

Jenis	Potensi per ton TBS (%)	Manfaat
Tandan Kosong	23,0	Pupuk, kompos, pulp kertas, papan artikel, energi
<i>Wet Decanter Solid</i>	4,0	Pupuk, kompos, makanan ternak
Cangkang	6,5	Arang, karbon aktif, papan partikel
Serat	13,0	Energi, pulp kertas, papan partikel
Limbah Cair	50,0	Pupuk, kompos
Air Kondensat		Air umpan boiler

Sumber: tim PT. SP (2000) cit Ditjen PPHP (2006)

Tandan kosong kelapa sawit yang merupakan 23% dari tandan buah segar, mengandung bahan lignoselulosa sebesar 55-60% dari berat kering. Dengan produksi sawit 36-38 ton tandan buah segar per tahun, maka akan dihasilkan sekitar 4,5- 5,2 ton bahan lignoselulosa. Bahan lignoselulosa terdiri dari hemiselulosa, selulosa dan lignin. Tabel 2.2 berikut ini menunjukkan karakteristik analisis *proximate* dan *ultimate* serta komposisi lignoselulosa dari tandan kosong kelapa sawit (Chang, 2014).

Tabel 2.2. Karakteristik tandan kosong kelapa sawit.

<i>Properties</i>	<i>Values (%)</i>
<i>Moisture</i>	2.40 – 14.28
<i>Proximate Analysis</i>	
<i>Volatile Matter</i>	70.03 – 83.86
<i>Fixed Carbon</i>	8.97 – 18.30
<i>Ash</i>	1.30 – 13.65
<i>Ultimate Analysis</i>	
C	43.80 – 54.76
H	4.37 – 7.46
O	38.29 – 47.76
N	0.25 – 1.21
S	0.0035 – 1.10
<i>Chemical Composition</i>	
<i>Cellulose</i>	23.7 – 65.0
<i>Hemicellulose</i>	20.58 – 33.52
<i>Lignin</i>	14.1 – 30.45
<i>Extractive</i>	3.21 – 3.70

Sumber: Siu Hua Chang (2014)

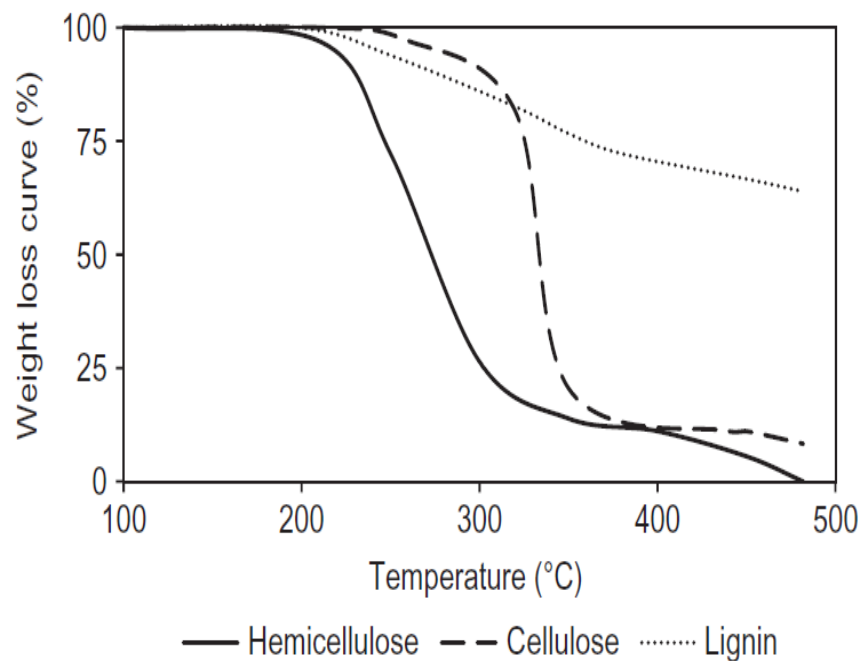
C. Torefaksi

Torefaksi berasal bahasa Perancis yang artinya memanggang/*roasting*. Secara umum torefaksi didefinisikan sebagai proses termokimia yang terjadi pada kondisi lingkungan tanpa atau sedikit sekali oksigen, dimana biomassa dipanaskan secara lambat sampai rentang temperatur tertentu dan ditahan selama beberapa waktu dan menghasilkan degradasi kandungan hemiselulosa dan memaksimalkan *mass* dan *energy yield* dari produk padatnya. Rentang suhu proses torefaksi pada umumnya berada antara 200 – 300 °C. Torefaksi diatas suhu ini akan menghasilkan devolatilisasi serta karbonisasi lanjutan pada polimer produk. Selain itu, penguraian lignin akan sangat cepat diatas 300 °C, ini akan menyebabkan produk torefaksi sulit untuk dipelet. Pemanasan diatas 300 °C juga dapat menyebabkan perengkahan termal cepat selulosa yang menghasilkan pembentukkan tar pada temperatur 300 – 320 °C (Prins dkk., 2006).

Pemanasan lambat adalah salah satu karakteristik penting dari torefaksi. Tidak seperti pada pirolisis, laju pemanasan pada torefaksi harus cukup rendah untuk dapat memaksimalkan kandungan padat dari produk. Laju pemanasan pada torefaksi umumnya tidak melebihi 50 °C/min. Laju pemanasan yang lebih tinggi akan menyebabkan peningkatan pada kandungan cairan dan mengurangi kandungan padatan dari produk torefaksi (Bergman dkk., 2005).

Dekomposisi atau penguraian termal pada biomassa terjadi melalui beberapa tahapan reaksi kimia. Pada rentang suhu 100-260 °C, hemiselulosa secara aktif

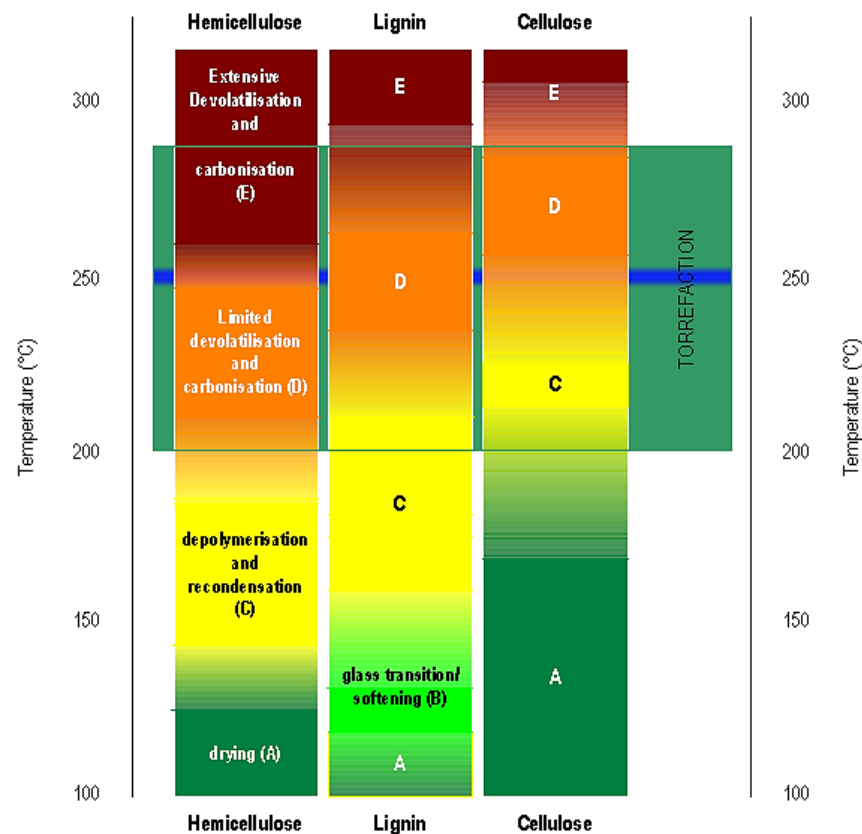
terurai, namun penguraian besar-besaran (*major degradation*) nya mulai pada temperatur diatas 200 °C. Selulosa terurai pada suhu yang sedikit lebih tinggi, yaitu diatas 275 °C, namun penguraian besar nya terjadi pada rentang suhu yang sempit, yaitu pada 270 – 350 °C. Sedangkan lignin adalah komponen lignoselulosa yang paling sulit terurai karena membutuhkan temperatur yang lebih tinggi. Lignin terurai secara berkala pada rentang suhu 250 – 500 °C, meskipun lignin sudah mengalami pelunakkan pada temperatur 80 – 90 °C (Cielkosz, 2011). Skema penurunan berat komponen lignoselulosa akibat penguraian yang dialami akibat pemanasan ditunjukkan oleh Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema perubahan berat komponen lignoselulosa pada biomassa akibat pemanasan (Cielkosz, 2011)

Selain kurva penurunan berat, berikut adalah skema mekanisme peluruhan komponen lignoselulosa pada biomassa akibat peningkatan temperatur

yang diberikan pada saat proses torefaksi berlangsung ditunjukkan oleh Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Mekanisme peluruhan komponen lignoselulosa (Akinrinola, 2014)

Temperatur torefaksi memiliki pengaruh yang paling penting pada proses torefaksi karena proses penguraian termal biomassa ditentukan oleh temperatur pemanasannya. Variasi pada temperatur torefaksi sendiri membuat proses torefaksi dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

1) Torefaksi ringan (*Light torrefaction*)

Terjadi pada rentang temperatur 220 – 240 °C atau pada 230 °C ketika hanya hemiselulosa yang terurai tanpa mempengaruhi selulosa dan lignin.

2) Torefaksi sedang (*Medium torrefaction*)

Terjadi pada temperatur 240 – 260 °C atau pada 250 °C ketika selulosa mulai terpengaruhi dan terurai.

3) Torefaksi berat (*Severe torrefaction*)

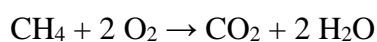
Terjadi pada 260 – 300 °C atau pada 275 °C yang dicirikan dengan penguraian lignin, selulosa juga hemiselulosa pada biomassa

D. Pembakaran

Pembakaran adalah proses oksidasi bahan bakar secara cepat yang disertai dengan produksi panas atau panas dan cahaya. Pelepasan panas dan cahaya ini ditandai dengan terbentuknya api. Pembakaran yang sempurna terjadi hanya jika terdapat pasokan oksigen yang cukup dan biasanya pembakaran dilakukan dengan udara berlebih untuk menjamin pembakaran yang sempurna. Proses pembakaran juga dapat diartikan sebagai reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen dari udara. Hasil pembakaran utama adalah karbondioksida dan uap air serta energi panas. Sedangkan hasil pembakaran yang lain adalah karbonmonoksida, abu (ash), NO_x, atau SO_x, tergantung dari jenis bahan bakarnya

pada pembakaran proses yang terjadi adalah oksidasi dengan reaksi sebagai berikut :

Karbon + Oksigen = Koarbon dioksida +panas



Senyawa biomassa yang akan dilakukakan proses pengujian emisi pembakaran produk torefaksi dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Senyawa produk torefaksi.

Sampel	C (%)	H (%)	N (%)	O (%)	Senyawa
Mentah	42,93	5,56	2,16	49,35	CH _{1,57} O _{0,77} N _{0,04}
Torr 200°C	45,79	5,85	2,15	46,21	CH _{1,52} O _{0,76} N _{0,04}
Torr 225°C	46,60	6,09	1,33	45,98	CH _{1,56} O _{0,73} N _{0,025}
Torr 250°C	50,19	4,58	1,78	43,45	CH _{1,09} O _{0,64} N _{0,03}
Torr 275°C	52,78	5,89	1,58	39,75	CH _{1,31} O _{0,64} N _{0,02}
Torr 300°C	53,95	4,27	1,95	39,83	CH _{0,93} O _{0,56} N _{0,032}

Pembakaran akan dikatakan sempurna apabila campuran bahan bakar dan oksigen (dari udara) mempunyai perbandingan yang tepat (*stoichiometric*), hingga tidak diperoleh sisa. Bila oksigen terlalu banyak, dikatakan campuran kurus dan hasil pembakarannya menghasilkan api oksidasi. Sebaliknya, bila bahan bakarnya terlalu banyak (tidak cukup oksigen), dikatakan campuran kaya (*rich*) sehingga pembakaran ini menghasilkan api reduksi.

Persyaratan terjadinya pembakaran sempurna apabila :

1. Semua Carbon C yang terdapat di dalam bahan bakar menjadi CO₂ di dalam produk
2. Semua Hidrogen H yang terdapat dalam bahan bakar menjadi H₂O di dalam produk dan
3. Semua Sulfur S di dalam bahan bakar menjadi SO₂ di dalam produk.

Pembakaran tidak sempurna adalah pembakaran akan menghasilkan gas karbon monoksida dan air. Reaksi pembakaran tidak sempurna akan menghasilkan gas monoksida (CO) yang sangat berbahaya bagi kesehatan

manusia karena mengandung racun. Reaksi ini juga menghasilkan lebih sedikit kalor sehingga mengurangi efisiensi bahan bakar dibandingkan dengan reaksi pembakaran sempurna. Dampak pembakaran tak sempurna ialah :

1. Pembakaran tak sempurna menghasilkan lebih sedikit kalor.
2. Lebih boros akan bahan bakar.
3. Menghasilkannya gas karbon monoksida (CO) yang bersifat racun karena dapat mencemari udara.
4. Polusi udara yang dihasilkan seperti gas CO, NO_x dan SO₂.

Pengujian pembakaran dilakukan untuk mengetahui kualitas pembakaran dan juga bahan bakar. Pengujian emisi bahan bakar merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui kualitas bahan bakar. Emisi gas buang adalah sisa hasil pembakaran bahan bakar didalam mesin pembakaran dalam, mesin pembakaran luar, mesin jet yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin. Sisa hasil pembakaran berupa air (H₂O), gas CO atau disebut juga karbon monoksida yang beracun, CO₂ atau disebut juga karbon dioksida yang merupakan gas rumah kaca, NO_x senyawa nitrogen oksida, dan HC berupa senyawa Hidrat arang sebagai akibat ketidaksempurnaan proses pembakaran serta partikel lepas.

1. Emisi CO

Emisi karbon monoksida merupakan hasil pembakaran yang tidak sempurna dan merupakan bagian dari polutan yang tidak bisa terbakar. CO terbentuk karena kekurangan O₂ pada saat pembakaran. Sehingga kadar CO yang

dihasilkan dapat menjadi sebuah angka dari efisiensi pembakaran, walaupun beberapa pembelajaran menjelaskan efisiensi – efisiensi pembakaran yang semakin tinggi dengan emisi karbon monoksida yang semakin tinggi (Khandkk, 2008).

Gas buang karbon monoksida (CO) tidak berbau, tetapi beracun akibat pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna. Gas CO dapat bereaksi dengan *haemoglobin* membentuk *karbonhaemoglobin* (CO-Hb) yang selanjutnya menurunkan kemampuan darah dalam membawa oksigen. Seperseribu bagian CO dalam darah akan menyebabkan 50% haemoglobin dalam darah terikat CO (Nukman, 2007).

2. Emisi NO_x

Senyawa Nitrogen seperti Nitrogen Oksida (NO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂), yang pada umumnya dikenal dengan NO_x dan N₂O. Emisi NO_x mempunyai peran penting dalam reaksi atmosfer yang dapat membentuk partikel–partikel yang berbahaya, berpengaruh pada lapisan *ozon* dan hujan asam (Khandkk, 2008). Pengaruh gas buang *Nitrogen oksida* (NO_x) terhadap lingkungan adalah gas yang tidak berbau, tidak berwarna, tetapi beracun yang dihasilkan dari proses pembakaran. Gas NO_x dapat bergabung dengan *haemoglobin* dan mengganggu penyerapan oksigen dalam darah. NO₂ dapat menyebabkan iritasi di bagian tertentu paru-paru (Nukman dkk, 2007).

3. Emisi HC

Sama halnya dengan gas karbon monoksida, gas hidrokarbon terbentuk pada pembakaran yang sangat tidak sempurna. Asap terutama terdiri dari partikel-partikel karbon yang tidak terbakar. Sedangkan gas-gas hidrokarbon adalah senyawa-senyawa karbon dan hidrogen hasil pemecahan bahan organik batu bara yang belum mengalami oksida oksigen lebih lanjut. Seperti karbon monoksida, pembentukan asap dan gas-gas hidrokarbon menyebabkan rendahnya efisiensi pembakaran bahkan jauh lebih rendah dari yang diakibatkan oleh pembentukan karbon monoksida

4. Emisi Partikulat

Partikulat adalah bentuk dari padatan atau cairan dengan ukuran molekul tunggal yang lebih besar dari $0.002 \mu\text{m}$ tetapi lebih kecil dari $500 \mu\text{m}$ yang tersuspensi di atmosfer dalam keadaan normal. Partikulat dapat berupa asap, debu dan uap yang dapat tinggal di atmosfer dalam waktu yang lama. Partikulat merupakan jenis pencemar yang bisa bersifat primer ataupun sekunder tergantung dari aerosolnya. Partikulat terdiri dari beberapa jenis berdasarkan distribusi partikelnya, antara lain:

1. PM_{2.5} ($2.5 \mu\text{m}$)
2. PM₁₀ ($10 \mu\text{m}$)
3. PM₁₀₀ / TSP (Total Suspended Particulate) ($\leq 100 \mu\text{m}$)

Sifat kimia masing-masing partikulat berbeda-beda, akan tetapi secara fisik ukuran partikulat berkisar antara $0,0002 - 500$ mikron. Pada kisaran tersebut

partikulat mempunyai umur dalam bentuk tersuspensi di udara antara beberapa detik sampai beberapa bulan. Usia partikulat tersebut dipengaruhi oleh kecepatan pengendapan yang ditentukan dari ukuran dan densitas partikulat serta aliran (turbulensi) udara. Secara umum kenaikan diameter akan meningkatkan kecepatan pengendapan, dari hasil studi (Stoker dan Seager, 1972) menunjukkan bahwa kenaikan diameter sebanyak 10.000 akan menyebabkan kecepatan pengendapan sebesar 6 juta kalinya.

Partikulat yang berukuran 2 – 40 mikron (tergantung densitasnya) tidak bertahan pada udara dan akan segera mengendap. Partikulat yang tersuspensi secara permanen di udara juga mempunyai kecepatan pengendapan, tetapi partikulat-partikulat tersebut tetap di udara karena adanya gerakan udara. Sifat partikulat lainnya yang penting ialah kemampuannya sebagai tempat absorpsi (sorpsi secara fisik) atau kimisorpsi (sorpsi disertai dengan interaksi kimia). Sifat ini merupakan fungsi dari luas permukaan. Apabila molekul terosorpsi tersebut larut di dalam partikulat, maka keadaannya disebut absorpsi. Jenis sorpsi tersebut sangat menentukan tingkat bahaya dari partikulat. Sifat partikulat lainnya adalah sifat optiknya. Partikulat yang mempunyai diameter kurang dari 0,1 mikron berukuran sedemikian kecilnya dibandingkan dengan panjang gelombang sinar sehingga partikulat-partikulat tersebut mempengaruhi sinar seperti halnya molekul-molekul dan menyebabkan refraksi. Partikulat yang berukuran lebih besar dari 1 mikron ukurannya jauh lebih besar dari panjang gelombang sinar tampak dan merupakan objek makroskopik yang

menyebarkan sinar sesuai dengan penampang melintang partikulat tersebut. Sifat optik ini penting dalam menentukan pengaruh partikulat atmosfer terhadap radiasi dan visibilitas solar energy (BPLHD Jawa Barat, 2009).

Dampak dari partikulat meliputi antara lain:

a) Dampak Terhadap Material

Partikulat-partikulat yang terdapat di udara dapat mengakibatkan berbagai kerusakan pada berbagai bahan. Jenis dan tingkat kerusakan yang dihasilkan oleh partikulat dipengaruhi oleh komposisi kimia dan sifat fisik partikulat tersebut. Kerusakan pasif terjadi jika partikulat menempel atau mengendap pada bahan-bahan yang terbuat dari tanah sehingga harus sering dibersihkan. Proses pembersihan sering mengakibatkan cacat pada permukaan benda-benda dari tanah tersebut. Kerusakan kimia terjadi jika partikulat yang menempel bersifat korosif atau partikulat tersebut membawa komponen lain yang bersifat korosif. Logam biasanya tahan terhadap korosi di dalam udara kering atau di udara bersih yang hanya mengandung sedikit air. Partikulat dapat merangsang korosi, terutama dengan adanya komponen yang mengandung partikel hidroskopik atau sulfur. Fungsi partikulat dalam merangsang kecepatan korosi adalah karena partikulat dapat berfungsi sebagai inti dimana uap air dapat mengalami kondensasi, sehingga gas yang diserap oleh partikulat akan terlarut di dalam droplet air yang terbentuk. Polutan partikulat juga dapat merusak bahan bangunan yang terbuat dari tanah, cat, dan tekstil. (Wark and Warner, 1981)

b) Dampak terhadap tubuh

Beberapa partikulat terjadi secara alami, seperti yang berasal dari gunung berapi, badai pasir, dan kebakaran hutan. Kegiatan manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil pada kendaraan, pembangkit listrik dan berbagai industri juga menghasilkan sejumlah besar partikulat. Pembakaran batu bara di negara berkembang adalah metode utama untuk pemanasan rumah dan memasok energi. Rata-rata di seluruh dunia, aerosol antropogenik (yang dibuat oleh aktivitas manusia) mencapai sekitar 10 persen dari total jumlah aerosol di atmosfer kita. Peningkatan kadar partikel halus di udara terkait dengan bahaya kesehatan seperti penyakit jantung, fungsi paru-paru dan kanker paru-paru.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun tempat dan waktu pelaksanaan penelitian yang direncanakan oleh penulis adalah sebagai berikut:

1. Tempat Penelitian

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Termodinamika Teknik Mesin Universitas Lampung serta Laboratorium Terpadu Universitas Lampung dan Stasiun Krimatologi BMKG Provinsi Lampung.

2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama enam bulan dari Agustus 2019 sampai dengan bulan Februari 2020.

B. Alat dan Bahan

Berikut adalah alat dan bahan yang akan digunakan penulis dalam penelitian pengujian emisi pembakaran produk torrefaksi limbah biomassa:

1. Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian pengujian emisi pembakaran produk torefaksi limbah biomassa adalah sebagai berikut:

a. Timbangan Digital

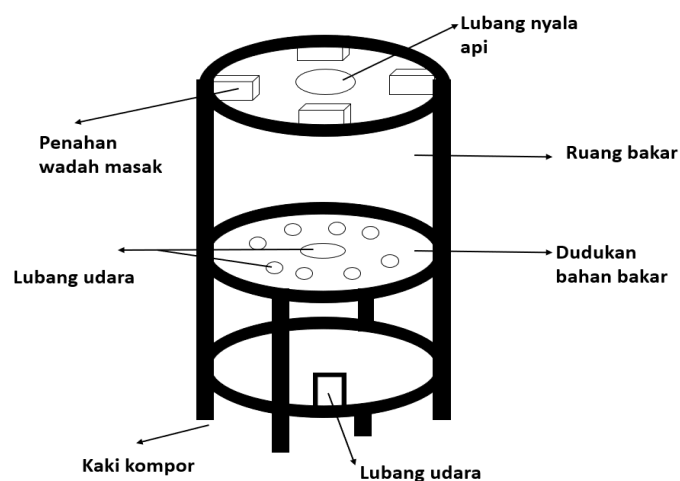
Timbangan digunakan untuk memudahkan penulis menentukan massa produk torefaksi biomassa yang akan dilakukan pengujian pembakaran.

b. Gas Analyzer

Gas Analyzer digunakan untuk mengukur kadar emisi pembakaran produk torefaksi.

c. Tungku Pembakaran

Tungku pembakaran berfungsi tempat pembakaran sehingga bahan bakar dapat digunakan untuk memanaskan sesuatu. Contoh tungku pembakaran seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Tungku pembakaran berfungsi tempat pembakaran bahan bakar (produk torefaksi).

d. *Temperatur Recorder*

Temperatur Recorder berfungsi mencatat temperatur pembakaran yang sedang terjadi. Contoh *Temperatur Recorder* yang akan digunakan seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Temperatur recorder* berfungsi mencatat temperatur pembakaran yang sedang terjadi.

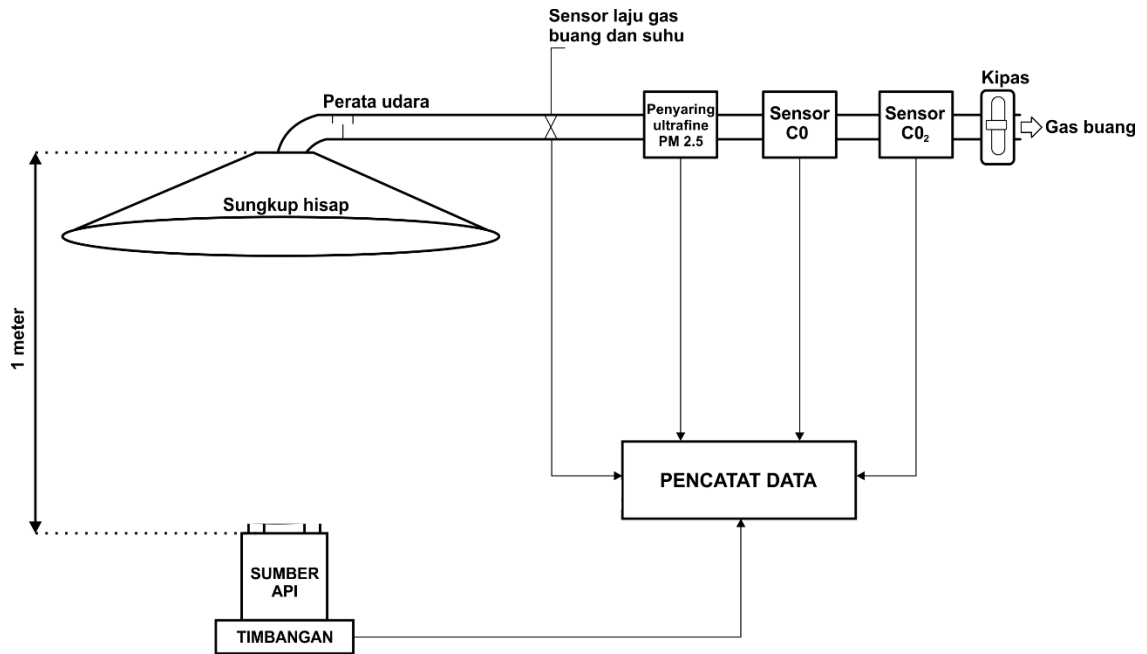
2. Bahan

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu pelet tandan kosong kelapa sawit. Limbah tandan kosong kelapa sawit yang telah dibersihkan dan dikeringkan kemudian digiling dihaluskan dipelet untuk kemudian siap dimasukkan kedalam reaktor untuk di torefaksi.

C. Metode Pengambilan Data

Adapun tahapan pengujian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan bahan biomassa yang akan di torefaksi.
2. Melakukan treatment pada biomassa yang akan di torefaksi.
3. Melakukan torefaksi pada biomassa menggunakan reaktor torefaksi kontinu tipe tubular.
4. Mempersiapkan alat pengujian pembakaran produk torefaksi biomassa, seperti gas analyzer, tungku pembakaran.
5. Meletakkan tungku pembakaran diatas timbangan dan dibawah sangkup hisap penangkap gas emisi pembakaran.
6. Menimbang produk torefaksi biomassa dengan ukuran 500 gr yang akan dilakukan pengujian pembakaran.
7. Memasukkan bahan bakar (500 gr produk torefaksi) kedalam tungku pembakaran.
8. Membakar produk torefaksi biomassa dan mengukur waktu yang dibutuhkan agar produk torefaksi biomassa dapat terbakar.
9. Melihat hasil pengujian pembakaran produk torefaksi biomassa pada layer gas analyzer.
10. Mencetak data pengujian pembakaran produk torefaksi biomassa pada gas analyzer
11. Melakukan pengulangan pengujian pembakaran produk torefaksi biomassa pada sampel yang berbeda. Adapun skema pengujian emisi pembakaran dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Sekema pengujian emisi embakaran produk torefaksi.

12. Melakukan persiapan untuk pengujian partikulat dengan mempersiapkan alat yang akan digunakan.
13. Melakukan kalibrasi pada alat timbangan digital.
14. Menggunakan sarung tangan agar tetap steril dan tak terkontaminasi dengan hal-hal yang tidak diinginkan.
15. Melakukan penimbangan awal pada filter partikulat dan mencatatnya.
16. Menimbang produk torefaksi biomassa dengan ukuran 500 gr yang akan dilakukan pengujian partikulat.
17. Memasukkan bahan bakar (500 gr produk torefaksi) kedalam tungku pembakaran.
18. Memasang filter partikulat pada alat penghisap partikulat pm 100.
19. Memasukkan produk torefaksi kedalam kompor biomassa.
20. Menghidupkan kompor biomassa yang telah berisi produk torefaksi

21. Menghidupkan alat penghisap partikulat dengan menekan tombol ON pada *power control*.
22. Menunggu selama beberapa waktu sehingga produk torefaksi habis terbakar (menjadi abu).
23. Mematikan alat penghisap partikulat dengan menekan tombol OFF pada *power control*.
24. Melepaskan filter partikulat dari alat penghisap partikulat,
25. Melakukan penimbangan massa akhir filter partikulat setelah dilakukan pengujian,
26. Melakukan pengurangan massa akhir dengan massa awal untuk mengetahui massa partikulat yang terkumpul dan mencatat kedalam tabel pengamatan
27. Melakukan pengulangan untuk produk torefaksi yang lain.

D. Pengujian Laboratorium

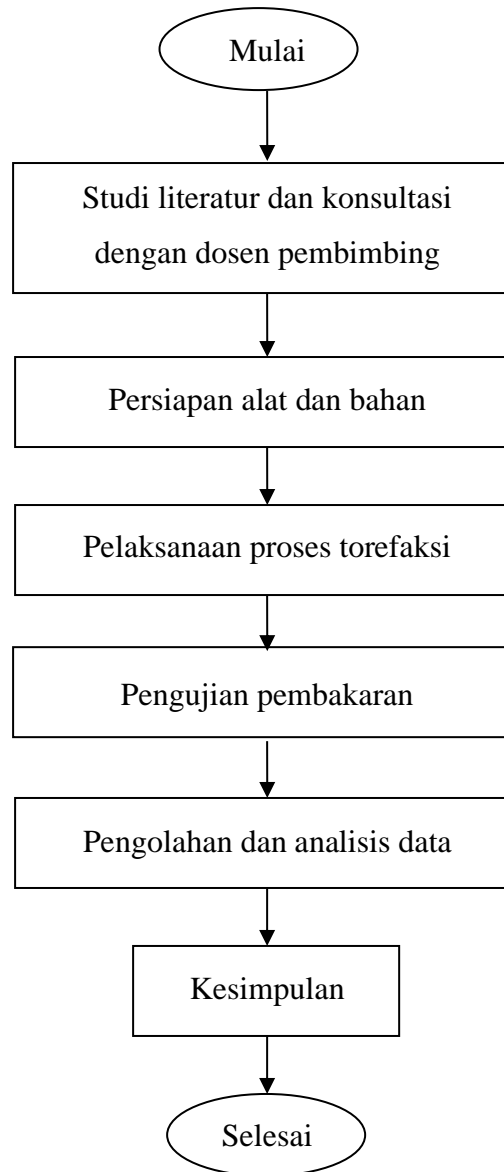
Pengujian laboratorium dilakukan untuk mengetahui komponen penyusun dari sampel produk padat yang diperoleh. Pada produk padatan hasil torefaksi akan dilakukan pengujian Emisi.

1. Pengujian Emisi

Pengujian emisi untuk menganalisa dan mengetahui tingkat konsentrasi dari nilai CO, O₂, HC, NO_x, dan partikulat yang mengikat berubah didalam zat gas. Pengujian ini juga dapat dilakukan untuk mengetahui perubahan kandungan gas berlebih.

E. Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian yang dilakukan oleh penulis secara garis besar digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3.3 dibawah ini:



Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian

BAB V

PENUTUP

A. Simpulan

Adapun simpulan yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian karakteristik emisi pembakaran produk torefaksi limbah biomassa menggunakan tungku fixed-bed, kadar emisi pembakaran produk torefaksi mengalami penurunan pada CO, NO_x, HC dan partikulat, sedangkan untuk O₂ mengalami peningkatan. Menurunnya kadar CO, NO_x, HC dan partikulat serta meningkatnya kadar O₂ menunjukkan kualitas pembakaran bahan bakar menjadi lebih baik. Emisi produk terbaik pada temperature 300°C dengan CO, NO_x, HC dan partikulat masih aman karena berada dibawah ambang batas yang diizinkan, yakni 1% untuk CO, 200 ppm untuk HC, 100 ppm untuk NO_x, 65gr/m³ untuk partikulat.

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian karakteristik emisi pembakaran produk torefaksi limbah biomassa menggunakan tungku fixed-bed, sebaiknya penelitian ini dapat dilanjutkan oleh pihak lain, menggunakan bahan yang berbeda atau pengujian emisi tambahan lainnya. Sebaiknya saat melakukan pengujian pada saat yang bersamaan, sehingga pengaruh lingkungan dapat dikatakan sama. Perlu dilakukan pengujian SO_x pada bahan bakar produk torefaksi limbah biomassa. Perlu adanya pengukuran temperatur pembakaran bahan bakar produk torefaksi limbah biomassa.

DAFTAR PUSTAKA

Akinrinola, F.S., 2014. “Torrefaction and Combustion Properties of some Nigerian Biomass”. School of Chemical and Process Engineering, University of Leeds.

Basu, Prabir, 2013.”Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction : Practical Design and Theory (Second Edition)”.

Bergman, P.C.A., Kiel, J.H.A., 2005. “Torrefaction for Biomass Upgrading”. Fourteenth European Biomass Conference and Exhibition, Paris.

Bapennas, 2019. “Kajian Ketercapaian Target DMO Batu Bara Sebesar 60% Produksi Nasional Tahun 2019” Jakarta.

BPLHD Jabar. 2009. <http://www.bplhdjabar.go.id/index.php/bidang-pengendalian/subid-pemantauan-pencemaran/191-pencemaran-udara-oleh-partikulat> Jawa Barat.

Chang, Siu Hua, 2014. "An Overview of Empty Fruit Bunch from Oil Palm as Feedstock for Bio-Oil Production". Faculty of Chemical Engineering, Universiti Teknologi MARA (UTM) Malaysia, Pematang Pauh, Penang, Malaysia.

Cielkosz, D., Wallace, R., 2011. "Review: torrefaction for bioenergy feedstock production". Biofuels Bioproducts and Biorefining.

Deutmeyer. 2012, "Torrefaction Technologies and Initiatives for Improving Biomass Feedstock Specifications: Possible Effect of Torrefaction on Biomass Trade". IEA Bioenergy.

Ditjen Perkebunan. 2019. "Statistik Perkebunan Kelapa Sawit Indonesia 2017-2019". Jakarta.

Ebenezer, dkk. 2006. "Pengaruh Bahan Bakar Transportasi terhadap Pencemaran Udara dan Solusinya". Universitas Gajah Mada.

Fardani. 2014. "Analisis Besaran Emisi Kendaraan Truk Menggunakan Program IVEM Pada Ruas Jala Artreri di Kota Makassar". Makassar.

Khan, A.A; De Jong, W; Jansens, P.J; Spliethoff, H. 2008, "*Biomass Combustion in Fluidized Bed Boilers: Potential Problems and Remedies*".

Latif, Marina. Dkk., 2014. “Pengolahan Kelapa Sawit Menjadi CPO dan KPO”.
Politeknik Pertanian Negeri Pangkep.

Mandiri, 2012. “Manual Pelatihan Teknologi Energi Terbarukan”. Balai Besar
Industri Hasil Perkebunan, Jakarta.

Medic, dkk. 2012. “*Investigation Of Torrefaction Process Parameters And
Characterization Of Torrefied Biomass*”. Iowa State University.

Nukman, dkk. 2007. “*Clean Coal Technology : Pengurangan Kadar Abu dan
Sulfur dari Batu bara dengan Metode Aglomerasi Air – Minyak
Sawit*”. Internasional Seminar On Green Technology and
Engineering. Malahayati University.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup. 2006. No 5 tahun 2006 Tentang Ambang
Batas Emisi Gas Buang Kendaraan. Indonesia.

Peraturan Pemerintah No.79 Tahun 2014 Tentang Pembaruan atas Peraturan
Presiden No. 5 Tahun 2006 Tentang Kebijakan Energi Nasional.
Indonesia.

Prins., M.J., Kryztof, J.P., Janssen, F.J.J.G., 2006. “More Efficient Biomass
Gasification via Torrefaction”. Department of Chemical Engineering

and Chemistry, Eindhoven University of Technology, The Netherlands.

Prins, M.J., Ptasinski, K.J., Jansen, F.J.J.G., 2006. "Torrefaction of wood. Part 2. Analysis of Products". J. Department of Chemical Engineering and Chemistry, Eindhoven University of Technology, The Netherlands.

SNI 7923:2013. 2013. "Kinerja Tungku Biomassa". Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

Salmina, 2018. "Studi Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Oleh Masyarakat di Jorong Koto Sawah Nagari Ujung Gading Kecamatan Lembah Melintang". Program studi Pendidikan Geografi STKIP PGRI Sumatera Barat.

Stoker, H. S. and Seager, S.L. 1972. "*Environmental Chemistry: Air and Water Pollution*". Glenview". Illinois: Scott Foresman.

Tumuluru Jaya Shankar, J Richard Hess, Shahab Sokhasanj, Christoper T Wright. 2011. A review on biomass torrefaction proses and product properties for energy applications. Industrial Biotechnology.

Uemura, Y., Omar, W.N., Tsutsui, T., Yusup, S.B., 2011. "Torrefaction of Oil Palm Wastes". Department of Chemical Engineering, Kagoshima University, Japan.

Wark, Kenneth and Warner, Cecil F. 1981. "*Air Pollution Its Origin and Control, Second Edition*". New York: Harper & Row Publishers.