

**KARAKTERISTIK *BIOCHAR* DARI SAMPAH DAUN DI LINGKUNGAN
UNIVERSITAS LAMPUNG MELALUI PROSES TOREFAKSI**

(Skripsi)

Oleh

Muhammad Ardy Yusuf

NPM 1915021003



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2023

**KARAKTERISITK *BIOCHAR* DARI SAMPAH DAUN DI LINGKUNGAN
UNIVERSITAS LAMPUNG MELALUI PROSES TOREFAKSI**

Oleh
MUHAMMAD ARDY YUSUF

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARAJANA TEKNIK**

Pada
**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2023

ABSTRAK

KARAKTERISTIK *BIOCHAR* DARI SAMPAH DAUN DI LINGKUNGAN UNIVERSITAS LAMPUNG MELALUI PROSES TOREFAKSI

Oleh

Muhammad Ardy Yusuf

Salah satu potensi biomassa di Indonesia yang dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar yaitu sampah daun kering. Biomassa merupakan bahan-bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis baik berupa produk maupun buangan yang memiliki kelemahan yaitu kadar air yang tinggi dan nilai kalor yang rendah apabila dibandingkan dengan batubara. Teknologi untuk mengurangi kelemahan biomassa adalah dengan teknologi konversi termal biomassa salah satunya dengan proses torefaksi. Penelitian ini menggunakan konversi termal biomassa yaitu torefaksi dengan variasi temperatur 250, 275, dan 300°C dengan *residence time* 30 menit menggunakan biomassa sampah daun di Lingkungan Universitas Lampung. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan reaktor torefaksi kontinu tipe tubular dengan pemanas LPG. Penelitian ini menghasilkan karakteristik bahan bakar produk torefaksi yang berbeda dari sampel mentah dan produk torefaksi untuk masing-masing temperatur. Nilai kalor pada biomassa sampah daun tertinggi pada temperatur 300°C sebesar 6121 kal/g, sedangkan nilai kalor sampel mentah dan produk torefaksi dari temperatur terendah berturut-turut 4958 kal/g, 5056 kal/g, dan 5121 kal/g. Nilai kalor produk torefaksi biomassa sampah daun pada temperatur 300°C setara dengan batubara Sub-bituminous A.

Kata Kunci: Energi Baru dan Terbarukan, EBT, Biomassa, Torefaksi, Sampah Daun.

ABSTRACT**CHARACTERISTICS OF BIOCHAR FROM LEAF WASTE IN UNIVERSITY OF LAMPUNG THROUGH TORREFACTION PROCESS**

By

Muhammad Ardy Yusuf

One of the biomass potentials in Indonesia which can be utilized as fuel is dried leaves waste. Biomass is organic material produced through photosynthesis both in the form of product or waste with the disadvantages namely high moisture content and lower calorific value compared to coal. A technology to decrease the disadvantages of biomass is biomass thermal conversion technology, one of which is the torrefaction process. This research used biomass thermal conversion namely torrefaction with temperature variations of 250, 275, and 300°C and the time residence of 30 minutes using dried leaves waste in Lampung University. The equipment used in this research was a tubular type of continuous torrefaction reactor with LPG as a heater. This research resulted in different fuel characteristics of torrefaction products from raw samples and torrefaction products for each temperature. The highest calorific value of dried leaves waste was obtained at the temperature of 300°C with 6121 cal/g, meanwhile the calorific value of raw samples and torrefaction products from the lowest temperature consecutively are 4958 cal/g, 5056 cal/g, and 5121 cal/g. The calorific value of biomass torrefaction products from dried leaves at the temperature of 300°C equals to Sub-bituminous A coal.

Keywords: Renewable Energy, EBT, Biomass, Torrefaction, Dried Leaves Waste.

Judul Skripsi

**KARAKTERISTIK BIOCHAR DARI
SAMPAH DAUN DI LINGKUNGAN
UNIVERSITAS LAMPUNG MELALUI
PROSES TOREFAKSI**

Mahasiswa

Muhammad Ardy Yusuf

Nomor Pokok Mahasiswa

1915021003

Fakultas

Teknik

MENYETUJUI

Komisi Pembimbing



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

NIP. 19710331 199903 1 003

Hadi Prayitno, S.T., M.T.

NIP. 19701104 199703 2 001

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.

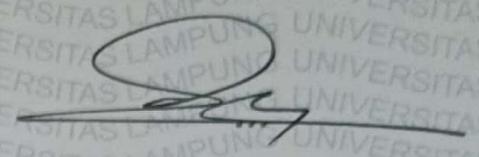
NIP. 19701104 199703 2 001

MENGESAHKAN

1. **Tim Penguji**

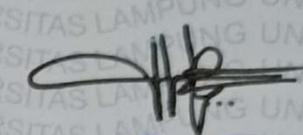
Ketua

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



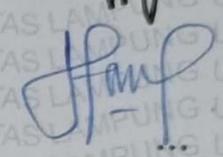
Anggota Penguji

: Hadi Prayitno, 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. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 19 Juni 2023

LEMBAR PERNYATAAN

TUGAS AKHIR INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 36 PERATURAN
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN PERATURAN REKTOR
No. 13 TAHUN 2019.

Bandar Lampung, 24 Juni 2023
Pembuat Pernyataan



Muhammad Ardy Yusuf
NPM 1915021003

MOTO

“Jangan mencari orang baik di dunia, namun jadilah salah satunya”

Muhammad Ardy Yusuf

“Jangan pergi mengikuti kemana jalan akan berujung. Buat jalanmu sendiri dan tinggalkanlah jejak”

Ralph Waldo Emerson

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullohi Wabarokatuh

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia yang telah memberikan nikmat hidup dan rezeki sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan lancar dan dalam keadaan sehat. Shalawat serta salam tak lupa penulis haturkan kepada nabi akhir zaman Rasulullah Muhammad SAW yang telah membimbing manusia dari zaman kegelapan menuju zaman yang penuh hidayah. Skripsi ini dibuat sebagai tanda selesai pelaksanaan tugas akhir. Karya tulis ini diharapkan dapat menjadi pengembangan dalam ilmu di bidang energi khususnya energi terbarukan biomassa. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Skripsi ini dapat selesai karena adanya dukungan dari beberapa pihak, oleh karena itu penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Ayahanda Edi Triyoko dan Ibunda Nur Jannah yang selalu mendampingi, mendidik, mendoakan, mendukung, dan memberikan restu penulis dapat tetap bersemangat dalam menjalankan serta menyelesaikan studi Teknik Mesin.

2. Adik penulis, Intan Nuria Hasanah yang memberikan semangat bagi penulis selama menjalankan kuliah.
3. Dr. Amrul, S.T., M.T., selaku Pembimbing I dan Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah membimbing skripsi ini.
4. Novri Tanti, S.T., M.T., selaku Ketua Prodi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
6. Dr. Harmen, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah bersedia mengoreksi serta meluruskan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
7. Hadi Prayitno, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing selama perkuliahan dan mengerjakan skripsi ini.
8. Seluruh Dosen di Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah menjadi guru dan mengajarkan dasar pengetahuan yang dibutuhkan kepada penulis.
9. Seluruh staff dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
10. Tim Torefaksi UYE, Yuda, Rifqi, Kikur, Andreas, Hafid, Almer, Alif, Ihsan, Mpung, Prengki, dan Desnal yang telah membantu dalam mengerjakan penelitian skripsi ini.
11. Meilinda Putri yang telah memberikan semangat dan motivasi dalam pelaksanaan penelitian serta pengerjaan skripsi ini hingga selesai.

12. Teman-teman Angkatan 2019 yang telah ada menemani, mendengarkan keluhan, memberikan motivasi, dan memberi dorongan semangat sejak 19 Agustus 2019 menjalin kekeluargaan.

Penulis menyadari bahwa isi skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak yang bersifat membangun dalam rangka penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung pada tanggal 04 November 2000 sebagai anak pertama, dari pasangan Bapak Edi dan Ibu Nur. Penulis menempuh Pendidikan dasar di SD NEGERI 3 RAJABASA hingga tahun 2013, lalu dilanjutkan di SMP NEGERI 22 BANDAR LAMPUNG yang diselesaikan tahun 2016 dan SMA NEGERI 5 BANDAR LAMPUNG yang diselesaikan tahun 2019, hingga pada tahun 2019 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai anggota bidang Organisasi dan Kepemimpinan (Orgapin) dan Staff BBQ di UKM Fossi Fakultas Teknik. Selain aktif dalam HIMATEM, penulis pernah menjadi bagian panitia kegiatan yang ada di Jurusan Teknik Mesin.

Penulis Pernah melakukan Kerja Praktek (KP) di **PT Komatsu Undercarriage Indonesia**, Cikarang, Bekasi, Jawa Barat tahun 2022 dengan judul laporan “**ANALISA PERUBAHAN TEGANGAN TERHADAP PROSES PRODUKSI MESIN *BILLET HEATER* 600 kW DI PT KOMATSU UNDERCARRIAGE INDONESIA**”.

Tahun 2023 penulis melakukan penelitian yang tergabung dalam tim Torefaksi dengan judul Penelitian “**KARAKTERISTIK *BIOCHAR* DARI SAMPAH DAUN DI LINGKUNGAN UNIVERSITAS LAMPUNG MELALUI PROSES TOREFAKSI**” dibawah bimbingan Dr. Amrul, S.T., M.T. dan Hadi Prayitno, S.T.,M.T.

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRAK	ii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvi
NOMENKLATUR	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	5
1.3. Batasan Masalah.....	6
1.4. Sistematika Penulisan.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1. Biomassa	8
2.2. Konversi Energi dari Biomassa.....	10
2.3. Torefaksi	13
2.4. Parameter Torefaksi	16
2.5. Karakteristik Bahan Bakar Padat	17
2.6. Kualitas Produk Torefaksi.....	20
2.7. Reaktor Torefaksi Tipe Tubular	22

III. METODOLOGI PENELITIAN.....	24
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.2. Alat dan Bahan	25
3.3. Rancangan Penelitian	28
3.4. Prosedur Pengujian Torefaksi.....	28
3.5. Parameter Penelitian.....	29
3.6. Tahapan Penelitian	30
3.7. Alur Tahapan Penelitian.....	32
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1. Perubahan Visual Produk	33
4.2. Nilai Kalor	35
4.3. Analisis <i>Proximate</i>	37
4.4. Analisis <i>Ultimate</i>	39
4.5. <i>Mass Yield</i> dan <i>Energy Yield</i>	40
4.6. Ratio O/C dan H/C	42
V. PENUTUP.....	43
5.1. Kesimpulan.....	43
5.2. Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik penurunan massa komponen lignuselulosa pada biomassa akibat pemanasan	15
Gambar 2.2 Reaktor tipe tubular jenis <i>screw reactor</i>	23
Gambar 3.1 Reaktor torefaksi kontinu tipe tubular dengan sistem pemanas <i>oil jacket</i>	25
Gambar 3.2 12 <i>Channel temperature recorder datalogger</i>	27
Gambar 3.3 Sampel sampah daun di lingkungan Universitas Lampung.....	27
Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> alur penelitian.....	32
Gambar 4.1 Sifat visual sampel mentah dan produk hasil torefaksi dengan variasi temperatur.....	34
Gambar 4.2 Grafik nilai kalor produk torefaksi.....	35
Gambar 4.3 Grafik hasil <i>proximate</i> sampel biomassa sampah daun di Lingkungan Universitas Lampung.....	37
Gambar 4.4 Grafik hasil uji <i>ultimate</i> sampel sampah daun di Lingkungan Universitas Lampung.....	39
Gambar 4.5 Grafik perolehan massa (<i>mass yield</i>).....	40
Gambar 4.6 Grafik perolehan energi (<i>energy yield</i>).....	41

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal kegiatan penelitian.....	24
Tabel 3.2 Spesifikasi reaktor torefaksi kontinu tipe tubular.....	26
Tabel 4.1 Plot klasifikasi produk torefaksi.....	36
Tabel 4.2 Rasio O/C dan Rasio H/C.....	42

NOMENKLATUR

C	Karbon
Cl	Klor
$E_{torrefied\ product}$	Nilai Kalor Produk torefaksi (kal/g)
$E_{raw\ biomass}$	Nilai Kalor Biomassa Mentah (kal/g)
EY	<i>Energy Yield</i>
FC	<i>Fixed Carbon</i>
H	Hidrogen
HHV	<i>Higher Heating Value</i> (kal/g)
LHV	<i>Low Heating Value</i> (kal/g)
MY	<i>Mass Yield</i>
N	Nitrogen
O	Oksigen
S	Sulfur
VM	<i>Volatile Matter</i>

SUBSCRIPT

adb	<i>air dry basis</i>
Ar	<i>As-received basis</i>
daf	<i>dry ash free basis</i>
db	<i>dry basis</i>
dmmf	<i>Dry, mineral-matter free</i>
f	produk torefaksi
maf	<i>moisture ash free</i>
o	biomassa mentah

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan energi fosil yang kini melonjak, menyebabkan berkurangnya persediaan cadangan energi fosil di dunia. Selama lima tahun terakhir, Indonesia telah mengalami penurunan produksi energi nasional yang disebabkan oleh penurunan cadangan bahan bakar fosil di daerah pertambangan. Hal ini sangat bertentangan dengan konsumsi energi yang terus meningkat disetiap tahunnya. Untuk itu, pemerintah merencanakan kebijakan untuk mengatur cadangan energi nasional dengan memperluas pemanfaatan energi baru dan terbarukan (Lestari, 2021).

Indonesia pada dasarnya merupakan negara yang kaya akan sumber-sumber energi terbarukan yang potensial, namun dalam pengembangannya belum cukup optimal. Energi baru terbarukan merupakan energi yang berasal dari sumber-sumber energi yang dapat diperbaharui secara kontinu, contohnya tenaga air, tenaga angin, tenaga matahari maupun tenaga dari sumber yang dapat diproduksi secara kontinu (Setyono dkk., 2019). Biomassa merupakan salah satu potensi Energi Baru dan Terbarukan (EBT) yang melimpah jumlahnya di Indonesia dengan jumlah sebesar 146,7 juta ton per tahun dan

untuk potensi biomassa yang berasal dari sampah sebesar 53,7juta ton (Parinduri, 2020).

Secara umum biomassa memiliki pengertian yakni bahan yang dapat diperoleh dari tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung dan dapat dimanfaatkan sebagai energi dalam jumlah yang cukup besar. “Secara tidak langsung” mengacu pada produk yang diperoleh melalui peternakan dan industri makanan (Herlambang dkk., 2017). Contohnya diantaranya yakni tanaman, pepohonan, limbah pertanian, rumput, limbah hutan, tinja dan juga kotoran ternak. Selain digunakan untuk pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan lainnya, biomassa digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar) terbarukan.

Sampah padat perkotaan atau *Municiple Solid Waste* (MSW) merupakan salah satu potensi sumber energi baru dan terbarukan. Perkiraan total produksi sampah di Indonesia adalah 45,5 juta ton pertahun yang umumnya mencakup sampah rumah tangga, sampah komersial, industri dan sampah di area umum lainnya. Sampah biomassa berlignuselulosa merupakan sumber energi potensial untuk energi terbarukan. Sampah biomassa juga memiliki kelemahan diantaranya dapat menyebabkan potensi menjadi sumber penyakit dan bau yang busuk. Akan tetapi apabila dalam pengolahan sampah digunakan metode yang tepat, maka dapat diperoleh bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil. Salah satu teknologi pengolahan sampah yang dapat

menghasilkan bahan bakar dengan kualitas hampir setara batubara adalah proses torefaksi (Apriyanto dkk., 2022).

Di Universitas Lampung sendiri sudah terdapat Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) untuk mengelola sampah. Di Lingkungan Universitas Lampung dapat menghasilkan sampah hingga 10,33 m³ dalam sehari. Sampah-sampah tersebut berupa daun-daun kering, sampah plastik dan sisa-sisa makanan. Daun-daun kering dan sisa-sisa makanan diolah menjadi pupuk kompos sedangkan untuk sampah plastik dicacah dan dikeringkan. Namun, untuk memproses daun-daun kering serta sisa-sisa makan menjadi pupuk kompos membutuhkan waktu yang tidak singkat dan masih banyak yang belum dimanfaatkan secara optimal. Ada banyak *treatment* yang dapat dilakukan untuk mengolah biomassa sampah daun-daun kering tersebut, salah satunya yakni proses termal. Proses termal sangatlah cocok untuk memanfaatkan biomassa secara masal. Proses termal ada berbagai macam diantaranya pembakaran, gasifikasi, pirolisis, dan torefaksi. Namun untuk biomassa daun-daun kering dapat dijadikan sebagai bahan bakar padat yang berkualitas dengan dilakukannya proses torefaksi.

Torefaksi adalah proses perlakuan panas pada temperatur 200-300°C pada tekanan atmosfer tanpa adanya oksigen. Hasil utama dari proses torefaksi menghasilkan padatan dan gas. Torefaksi pada sampah ataupun limbah biomassa dapat menghasilkan bahan bakar padat dengan kualitas nilai kalor

hampir setara dengan batu bara *Sub-bituminous Coal A*, *Sub-bituminous Coal B*, *Sub-bituminous Coal C* (Amrul dkk., 2019).

Torefaksi pada temperatur 200°C-300°C secara optimal, dapat menghasilkan produk torefaksi yang memiliki nilai kalor yang tinggi dibandingkan dengan produk biomassa mentah. Hal ini terjadi dikarenakan penurunan kadar air, peningkatan kandungan karbon dan hilangnya zat volatil seperti air, asam asetat dan *fenol* selama torefaksi. Peningkatan kandungan karbon terjadi karena hemiselulosa serta sebagian selulosa dan lignin terdekomposisi. Dekomposisi termal terhadap hemiselulosa menjadikan zat volatil akan menyebabkan kadar O/C dan H/C mengalami penurunan sehingga meningkatkan kadar karbon pada produk torefaksi (Suastika, 2019).

Dalam salah satu penelitian tentang torefaksi sampah campuran biomassa yang ditulis oleh (Apriyanto dkk., 2018), temperatur dalam proses torefaksi relatif rendah yaitu antara 200-300°C untuk waktu tinggal atau *residence time* selama 30-60 menit dengan teknologi yang sederhana dan biaya investasi relatif rendah, akan tetapi memiliki efisiensi konversi energi yang tinggi hingga 90%. Dalam penelitiannya menggunakan biomassa sampah kota dengan variasi temperatur kerja dari reaktor antara lain 225, 250, 275, 300, dan 325°C. Dalam penelitian ini menghasilkan peningkatan nilai kalor dan juga presentase *Fixed Carbon*. Peningkatan presentase *Fixed Carbon* dari biomassa mentah 42,6% naik hingga 54,94%. Hal ini menunjukkan bahwa torefaksi merupakan salah satu

metode yang tepat digunakan untuk meningkatkan kualitas dari produk bahan bakar dari biomassa mentah.

Biomassa akibat proses torefaksi menunjukkan sifat hidrofobik, karena hemiselulosa yang bersifat hidrofilik mengalami dekomposisi. Torefaksi juga meningkatkan kandungan karbon, yang menyebabkan meningkatnya energi dari biomassa produk torefaksi. Karena adanya karakteristik yang meningkat pada biomassa, nilai kandungan karbon dan nilai kalor biomassa yang ditorefaksi sebagai bahan bakar, secara signifikan lebih tinggi dari pada biomassa mentah (Hidayat, 2020).

Berdasarkan uraian di atas, tujuan umum dari penelitian torefaksi yang dilakukan adalah untuk mendapatkan kualitas dari hasil produk torefaksi berupa *calorific value*, nilai *proximate*, nilai *ultimate*, *mass yield*, dan *energy yield* untuk sampel yang sama dengan tiga variasi temperatur yakni 250, 275, dan 300°C. Penelitian ini menggunakan jenis biomassa yakni sampah daun kering berjenis dan berbentuk tidak seragam yang berada di lingkungan Universitas Lampung.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui karakteristik *biochar* dari sampel sampah daun kering di lingkungan Universitas Lampung melalui proses torefaksi berupa:

1. Nilai kalor, *proximate analysis* (karbon tetap, kadar air, zat volatil, kadar abu) dan *ultimate analysis* (kadar karbon, kadar hidrogen, kadar nitrogen, kadar oksigen).
2. *Mass yield* dan *energy yield*.

1.3. Batasan Masalah

Penelitian ini terdapat beberapa batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Sampel biomassa sampah daun berbentuk dan berjenis tidak seragam yang ada di lingkungan Universitas Lampung.
2. Reaktor yang digunakan adalah reaktor torefaksi kontinu tipe tubular sistem *oil jacket* dengan sumber pemanas LPG.
3. Variasi temperatur torefaksi dilakukan dengan 3 temperatur yaitu sekitar 250, 275, dan 300°C.
4. *Residence time* yang digunakan dalam proses torefaksi selama 30 menit.

1.4. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang masalah, tujuan diadakannya penelitian ini, batasan masalah yang diberikan agar hasil penelitian lebih terarah, dan sistematika penulisan berupa format yang dipakai pada penulisan laporan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada tinjauan pustaka berisikan landasan-landasan teori yang dijadikan acuan dan menunjang pada penelitian ini dan juga merupakan teori-teori dasar yang meliputi: penjelasan tentang biomassa, torefaksi, karakteristik bahan bakar padat, dan reaktor tipe tubular

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisikan tempat dan waktu penelitian yang akan dilaksanakan, alat dan bahan yang digunakan, serta alur tahapan pelaksanaan penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang hasil penelitian dan pembahasan analisis data-data yang telah didapatkan saat maupun setelah pengujian.

V. SIMPULAN DAN SARAN

Berisikan simpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dan saran yang diberikan oleh peneliti.

DAFTAR PUSTAKA

Memuat referensi yang digunakan penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir.

LAMPIRAN

Berisikan perlengkapan laporan penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biomassa

Biomassa merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang berasal dari material organik yang dihasilkan dari proses fotosintesis (Thya Rani dkk., 2020). Biomassa adalah bahan-bahan organik yang dihasilkan melalui suatu proses fotosintesis, baik berupa produk maupun buangan. Contohnya diantaranya yakni tanaman, pepohonan, limbah pertanian, rumput, limbah hutan, tinja dan juga kotoran ternak. Selain digunakan untuk pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan lainnya, biomassa digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar) terbarukan.

Sumber energi biomassa memiliki kelebihan diantaranya merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga sumber energi dapat disediakan secara berkesinambungan (*sustainable*) (Parinduri, 2020). Saat ini, biomassa telah menjadi sumber energi yang penting di dunia. Biomassa memiliki potensi untuk dijadikan salah satu sumber energi dimasa mendatang dan modernisasi untuk pengembangan energi berkelanjutan dimasa depan (Papilo dkk., 2015).

Biomassa setiap tahunnya berkembang dengan jumlah yang sangat besar melalui proses fotosintesis dengan menyerap CO_2 dari lingkungan. Ketika biomassa dilakukan proses pembakaran, maka biomassa akan melakukan pelepasan karbon dioksida yang telah diserapnya dari lingkungan beberapa waktu yang lalu (mulai dari beberapa jam hingga beberapa tahun lalu). Oleh sebab itu, pembakaran biomassa tidak menambahkan jumlah karbon dioksida di bumi sehingga biomassa juga dapat disebut “*carbon-neutral*”. Namun pada kenyataannya, biomassa mengalami penambahan jumlah karbon melalui penggunaan pupuk pestisida selama pembudidayaannya. Hal ini dapat menjadi peningkatan 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 dari produksi biomassa sangatlah kecil atau bahkan dapat diabaikan (Tajalli, 2015). Berikut merupakan produk utama hasil produksi biomassa adalah: (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), gas alam pengganti (CH_4) dan syngas (CO , H_2)).
3. Bahan bakar padat (meliputi: arang, biomassa torefaksi, *biochar*, *biocoke*).

2.2. Konversi Energi dari Biomassa

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

2.2.1. *Biochemikal Conversion*

Sesuai namanya, *biochemikal 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 *biochemikal 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.

2.2.2. *Thermal Conversion*

Konversi termal adalah metode pengolahan bahan biomassa menjadi bahan bakar dengan memanfaatkan bantuan temperatur yang tinggi, beberapa metodenya seperti: (Basu, 2018)

a. Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi eksotermik antara oksigen dan komponen hidrokarbon dalam biomassa dan menghasilkan dua komponen stabil yaitu H_2O dan CO_2 .

b. 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.

c. 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.

d. Torefaksi

Torefaksi dianggap sebagai pemanfaatan yang efektif dari biomassa sebagai bahan bakar padat yang bersih. Pada torefaksi, biomassa dipanaskan secara perlahan dengan sedikit sekali hingga 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.

e. Liquifaksi

Liquifaksi bahan biomassa padat menjadi bahan bakar 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.

2.3. Torefaksi

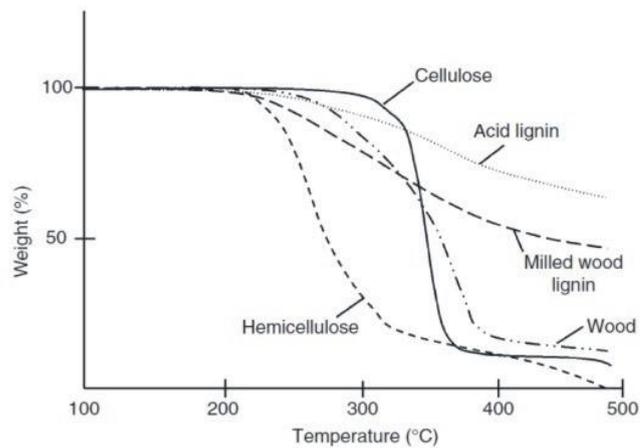
Torefaksi adalah proses pemanasan secara perlahan tanpa adanya oksigen atau kedap udara pada temperatur 200-300°C, untuk menghasilkan bahan bakar padat dengan karakteristik mendekati batubara. Pada biomassa, kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin akan terdekomposisi sehingga menyebabkan massa dari biomassa berkurang, densitas energi biomassa bertambah dan warna biomassa berubah menjadi kecokelatan (Basu, 2018).

Torefaksi, atau pirolisis temperatur rendah adalah *pretreatment* sebuah biomassa mentah untuk mendapatkan bahan bakar yang lebih stabil, memiliki kepadatan energi yang tinggi dan kerapuhan yang lebih tinggi serta grindabilitas. Sifat ini dapat mengatasi beberapa kekurangan yang membatasi luas pemanfaatan biomassa mentah sebagai sumber energi terbarukan, seperti kadar air yang tinggi, kerapatan energi yang rendah (yaitu, *low heating value*), resistensi terhadap peluluhan, tingginya harga transportasi dan umur simpan pendek. Biomassa mentah akan menyerap kelembaban lagi jika disimpan untuk jangka waktu yang panjang, karena sifat hidrofilik, dan mungkin membusuk. Sebaliknya, torefaksi biomassa adalah hidrofobik.

Pemanasan lambat adalah salah satu karakteristik penting dari proses torefaksi. Laju pemanasan pada proses torefaksi harus cukup renggang dibandingkan dengan pirolisis. Hal tersebut dilakukan untuk dapat memaksimalkan kandungan padat dari produk torefaksi. Laju pemanasan pada proses torefaksi

umumnya tidak melebihi 50°C/min. Apabila laju pemanasan lebih tinggi, akan menyebabkan peningkatan pada kandungan cairan dan juga dapat mengurangi kandungan padatan dari produk torefaksi. Produk dari reaksi torefaksi dapat diklasifikasikan menurut keadaannya pada tekanan atmosfer dan temperatur kamar. Kandungan dari proses torefaksi yang utama adalah padatan (dalam bentuk arang, struktur gula asli dan abu) dan senyawa volatil yang terdiri dari senyawa yang terkondensasi (terutama air, partikel-partikel dan juga lemak/minyak (Pestaño dan Jose, 2016).

Penguraian termal atau dekomposisi pada biomassa terjadi melalui beberapa tahapan reaksi kimia. Pada rentang temperatur 100-260°C, hemiselulosa secara aktif terurai, namun penguraian besar-besaran (*major degradation*) nya mulai pada temperatur diatas 200°C. Selulosa terurai pada temperatur yang sedikit lebih tinggi yakni diatas 275°C, namun penguraian besarnya terjadi pada rentang temperatur yang sempit yakni pada 275-350°C. Sedangkan lignin merupakan komponen lignoselulosa yang paling sulit terurai sehingga membutuhkan temperatur yang lebih tinggi agar terurai. Lignin terurai secara berkala pada rentang temperatur 250-500°C, meskipun lignin sudah mengalami pelunakkan pada *temperature* 80-90°C. Berikut merupakan grafik penurunan massa komponen lignoselulosa akibat penguraian yang dialami ketika dilakukan pemanasan ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Grafik penurunan massa komponen lignuselulosa pada biomassa akibat pemanasan.

(Basu, 2018)

Parameter yang dapat mempengaruhi proses torefaksi adalah waktu, temperatur, ukuran biomassa dan tipe biomassa. Semakin tinggi temperatur torefaksi disertai waktu yang semakin lama, mampu mengurangi kadar air pada biomassa sehingga mengakibatkan peningkatan daya tahan biomassa (Syamsiro, 2016). Temperatur pada proses torefaksi sangatlah penting karena proses penguraian termal biomassa ditentukan oleh temperatur pemanasannya. Variasi pada temperatur torefaksi dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Torefaksi ringan (*Light torrefaction*)

Torefaksi ringan terjadi pada kisaran temperatur 220-240°C atau ketika hanya hemiselulosa yang terurai tanpa mempengaruhi selulosa dan lignin.

2. Torefaksi sedang (*Medium torrefaction*)

Torefaksi sedang terjadi pada temperatur 240-260°C atau ketika selulosa mulai terpengaruhi dan terurai.

3. Torefaksi berat (*Severe torrefaction*)

Torefaksi berat terjadi pada temperatur 260-300°C atau yang dicirikan dengan penguraian lignin, selulosa juga hemiselulosa pada biomassa.

2.4. Parameter Torefaksi

Torefaksi memiliki beberapa parameter yang dapat mempengaruhi hasil dan proses dari torefaksi diantaranya sebagai berikut.

2.4.1. Temperatur

Temperatur torefaksi memiliki pengaruh terbesar pada proses torefaksi karena tingkat degradasi termal biomassa. Temperatur yang lebih tinggi menghasilkan produk dengan massa dan energi yang lebih rendah tetapi memiliki kepadatan energi yang lebih tinggi. Fraksi *fixed carbon* dalam sampel mengalami peningkatan sedangkan hidrogen dan oksigen menurun seiring dengan meningkatnya temperatur torefaksi.

2.4.2. Tingkat Pemanasan dan *Residence Time*

Laju pemanasan yang lambat merupakan salah satu karakteristik torefaksi yang menjadi pembeda dari pirolisis yang dipanaskan dengan cepat. Durasi waktu torefaksi pada proses torefaksi disebut dengan "*Residence time*". *Residence time* yang lebih lama memberikan hasil massa yang lebih rendah serta kepadatan energi yang lebih tinggi. Pengaruh *residence time* pada produk torefaksi tidak terlalu dominan seperti temperatur torefaksi.

2.4.3. Ukuran Sampel

Ukuran partikel merupakan salah satu parameter yang dapat mempengaruhi hasil torefaksi. Efek ini mungkin tidak menonjol untuk ukuran partikel yang halus, tetapi dapat terlihat hasilnya untuk ukuran yang besar. Ukuran dan bentuk sampel biomassa akan mempengaruhi laju perpindahan panas dari bagian luar biomassa ke bagian dalam biomassa. Temperatur dan *residence time* yang sama dengan ukuran partikel yang besar dan partikel yang kecil, proses torefaksi lebih mudah terdekomposisi secara termal biomassa dengan ukuran yang sangat kecil dibandingkan dengan ukuran biomassa yang besar.

2.4.4. Jenis Biomassa

Biomassa memiliki kandungan hemiselulosa yang berbeda-beda. Biomassa kayu memiliki kandungan hemiselulosa berdasarkan jenis kayu diantaranya kayu lunak dan kayu keras. Kayu keras melepaskan sebagian besar asam asetat dan air, sedangkan kayu lunak melepaskan sebagian besar asam format selama proses torefaksi. Kayu keras mengalami kehilangan massa yang lebih tinggi pada proses torefaksi tanpa banyak berpengaruh pada kehilangan energi dibandingkan dengan kayu lunak.

2.5. Karakteristik Bahan Bakar Padat

Pada karakteristik bahan bakar padat memiliki parameter-parameter komponen yang menjadi acuan berdasarkan penyusun batubara. Untuk mendapatkan

komponen penyusun batubara tersebut digunakan dua macam analisis, yaitu analisis *proximate* dan analisis *ultimate*.

2.5.1. Nilai kalor

Nilai kalor dari suatu bahan bakar adalah besarnya panas yang dapat dihasilkan dari pembakaran bahan bakar padat. Nilai kalor terdiri dari dua macam, yaitu *High Heating Value* (HHV) dan *Lower Heating Value* (LHV). HHV merupakan panas yang dilepaskan oleh satuan massa atau volume bahan bakar pada temperatur awal 25°C setelah dibakar habis dan sisa pembakaran kembali ke temperatur 25°C. Panas ini juga termasuk panas laten dari penguapan air. HHV biasa disebut juga dengan *Gross Calorific Value*.

Lower Heating Value (LHV) merupakan jumlah panas yang dilepaskan dengan pembakaran total dalam jumlah tertentu. LHV berbeda dengan HHV dimana pada LHV tidak melibatkan panas laten dari penguapan air pada pemanasannya. LHV disebut juga dengan nilai kalor bersih atau *Nett Calorific Value*. Nilai kalor bahan bakar padat produk torefaksi mengacu pada klasifikasi dari batubara berdasarkan standar ASTM D-388. (Basu, 2013).

2.5.2. Analisis *proximate*

Analisis *proximate* merupakan salah satu analisis untuk mengetahui komponen penyusun bahan bakar padat seperti nilai kandungan karbon tetap, *volatile matter*, kandungan air, dan abu.

- a. Karbon Tetap (*Fixed Carbon*) adalah karbon tetap yang ditemukan

setelah pelepasan zat volatil. Karbon ini juga berbeda dari karbon lainnya, karena adanya unsur karbon yang menghilang selama proses penguapan kemudian membentuk ikatan hidrokarbon bersama zat volatil. Karbon tetap merupakan penyumbang terbesar dari nilai kalor pada bahan bakar padat.

- b. Zat Volatil (*Volatile Matter*) merupakan komponen dalam bahan bakar padat selain air yang terlepas ketika bahan bakar dilakukan pemanasan dengan kondisi *innert* atau tanpa oksigen. Zat volatil ini merupakan hidrokarbon siklik, alifatik maupun aromatik. Zat volatil menghasilkan kalor dalam proses pembakaran namun tidak sebesar nilai karbon tetap.
- c. Kandungan air (*Moisture Content*) dalam bahan bakar padat terbagi menjadi dua jenis, yaitu *surface moisture* dan *inherent moisture*. *Surface moisture* merupakan kandungan air yang terdapat pada bagian permukaan dari bahan bakar padat, sedangkan *inherent moisture* merupakan kandungan air yang terdapat pada pori-pori bahan bakar padat. *Surface moisture* lebih mudah untuk dihilangkan dibandingkan dengan *inherent moisture*. Gabungan dari kedua jenis kandungan air ini disebut dengan *total moisture*.
- d. Abu (*Ash*) merupakan kandungan yang terdiri mineral dalam bahan bakar padat dalam bentuk unsur dan oksida. Mineral yang terkandung dalam abu berupa silika, natrium, magnesium, dan oksida.

2.5.3. Analisis *ultimate*

Analisis *ultimate* merupakan salah satu analisis untuk mengetahui parameter penyusun bahan bakar padat seperti kadar karbon (C), kadar hidrogen (H), kadar nitrogen (N), kadar oksigen (O), dan total sulfur (S) dan unsur lainnya. Analisis *ultimate* dilakukan menurut standar D3176. Sedangkan analisis *proximate* dilakukan menurut standar D3172 (Wahyudi dkk., 2020).

Unsur utama yang membentuk batubara adalah karbon, hidrogen, dan oksigen, sedangkan belerang dan nitrogen hanya sebagai bahan pembentuk lainnya. Kadar unsur hydrogen dan oksigen pada biomassa digunakan untuk memperkirakan nilai kalor bersih (*Net Calorific Value*) dari data nilai kalor kotor (*Gross Calorific Value*). Analisis *ultimate* digunakan untuk pengelompokan kelas dari batubara, dikarenakan dari analisis *ultimate* dapat menentukan kualitas dari suatu batubara tersebut (Kurniawan dkk., 2020).

2.6. Kualitas Produk Torefaksi

Kualitas produk torefaksi tidak hanya dilihat dari menurunnya massa produk torefaksi, karena dari penurunan massa belum tentu kepadatan energi mengalami peningkatan. Penurunan massa yang terlalu ekstrim dapat juga menurunkan kepadatan energi dari produk torefaksi. Menurut Tumuluru pada tahun 2011 produk torefaksi dari biomassa kayu idealnya menghasilkan 82% wt

produk padatan (*char*). Kualitas produk torefaksi diidentifikasi dengan beberapa parameter yaitu (Basu, 2013):

- a. *Mass yield* (MY) merupakan fraksi massa asli biomassa yang akan tersisa dari hasil torefaksi. *Mass yield* ditentukan dengan dua perlakuan yaitu kehilangan massa karena pengeringan dan karena torefaksi. *Mass yield* akibat torefaksi didefinisikan dengan fraksi dari komponen organik asli biomassa yang diubah menjadi arang, dan harus ditentukan dengan kondisi “*dry ash free*” (daf). Sedangkan untuk produk torefaksi dari biomassa yang kandungan anorganiknya yang tinggi sehingga jumlah total padatan mencakup abu, maka pada kondisi “*dry base*” (db). Selain dua kondisi tersebut, terdapat kondisi ketiga yang menentukan kondisi material secara menyeluruh “*as-received*” (ar).

$$MY_{daf} = \frac{mf_{daf}}{m_o} \quad (1)$$

$$MY_{db} = \frac{mf_{db}}{m_o} \quad (2)$$

$$MY_{ar} = \frac{mf_{ar}}{m_o} \quad (3)$$

Dimana:

MY_{daf} : *Mass yield* “*dry ash free*”

MY_{db} : *Mass yield* “*dry based*”

MY_{ar} : *Mass yield* “*as-received*”

mf_{daf} : Massa total biomassa tertorefaksi “*dry ash free*”

mf_{db} : Massa total biomassa tertorefaksi “*dry based*”

mf_{ar} : Massa total biomassa tertorefaksi “*as-received*”

m_o : Massa total biomassa mentah

- b. *Energy density* merupakan parameter lainnya dari proses torefaksi. *Energy density* ini memberikan jumlah energi yang dilepaskan ketika satuan massa produk dibakar. *Energy density* biasa disebut juga dengan nilai kalor.

$$\text{Energy density} = \frac{EY}{MY}$$

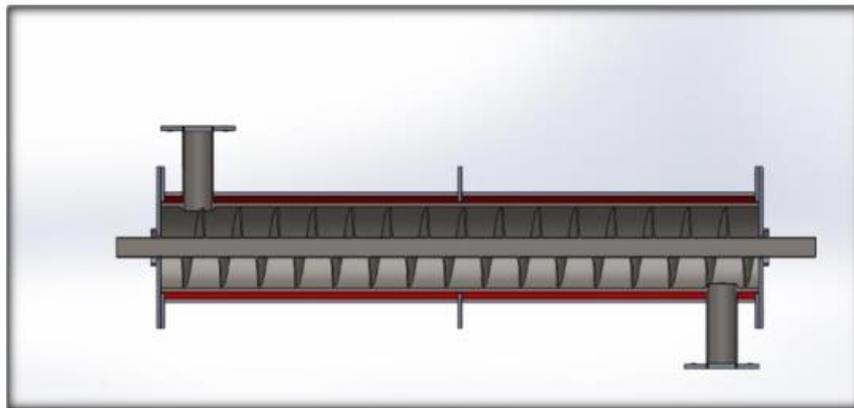
- c. *Energy yield* (EY) adalah fraksi energi dalam sebuah biomassa produk torefaksi. Parameter ini menentukan komponen energi yang tetap berada dalam biomassa selama proses torefaksi. Setelah proses torefaksi dilakukan, *energy yield* memberikan nilai kuantitatif dari energi pada biomassa. *Energy yield* dapat dihitung dalam bentuk nilai kalor biomassa sebelum dan sesudah torefaksi:

$$EY = MY \times \frac{HHV_f}{HHV_o}$$

2.7. Reaktor Torefaksi Tipe Tubular

Reaktor torefaksi tipe tubular merupakan jenis reaktor yang memiliki bentuk tabung dengan dinding tetap dan yang bergerak adalah material di dalam reaktor tersebut. Reaktor tipe tubular umumnya dipanaskan dengan menggunakan sistem panas eksternal dan dalam beberapa penelitian bahan baku di dalam material bergerak dengan sistem *screw conveyor*, reaktor bujur sangkar yang materialnya digerakan dengan sistem *vibrofluidiser* atau tabung dengan *inner mixer*. Ciri khas dari reaktor tipe tubular ini adalah *screw conveyor* dengan operasional dan biaya konstruksi yang rendah. Untuk

desainnya, kecepatan sekrup dapat bervariasi dari 0,5-25 rpm, dengan demikian *residence time* dari reaktor dapat diubah. Keuntungan dari reaktor tipe tubular meliputi; reaktor berajalan secara kontinu, reaktor bebas dari kebocoran, permukaan perpindahan panas yang lebih besar dan sintetik gas yang mudah bereformasi. Karena reaktor ini bentuknya sederhana dan *safety*, reaktor ini mudah untuk dirancang jika koefisien perpindahan panasnya diketahui. Skema torefaksi tipe tubular jenis *screw reactor* ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Reaktor tipe tubular jenis *screw reactor*.

(Cremers, M., dan Sebnem, 2015)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Berikut merupakan tempat dan waktu penelitian yang akan dilakukan oleh penulis antara lain:

3.1.1. Tempat penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan di Laboratorium Termodinamika Jurusan Teknik Mesin, TPST Universitas Lampung dan bekerja sama dengan Laboratorium Jurusan Teknik Kimia serta Laboratorium Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Universitas Lampung.

3.1.2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam jangka waktu yang diperkirakan sesuai pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Jadwal kegiatan penelitian.

Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei				Juni			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur	■	■	■	■	■															
Persiapan Alat					■	■	■	■												
Pengujian Torefaksi									■	■	■	■								
Pengujian Laboratorium												■	■	■	■	■				
Pembuatan Laporan Akhir														■	■	■	■	■	■	■

3.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdapat alat utama dan alat pendukung diantaranya sebagai berikut:

1. Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular dengan Sistem Pemanas *Oil Jacket*



Gambar 3.1 Reaktor torefaksi kontinu tipe tubular dengan sistem pemanas *oil jacket*.

Alat utama yang digunakan pada penelitian kali ini antara lain: reaktor torefaksi tipe tubular seperti pada Gambar 3.1, pemantik api, tabung LPG 12 kg, regulator LPG, *thermocouple* tipe K, 12 *Channel Temperature Recorder Datalogger*. Sedangkan alat pendukung yang digunakan pada penelitian kali ini antara lain: timbangan digital, laptop, *stopwatch*, kamera,

plastik kedap udara, dan kabel listrik. Reaktor torefaksi kontinu tipe tubular dengan sistem pemanas *oil jacket* memiliki spesifikasi lengkap seperti pada Tabel 3.2.

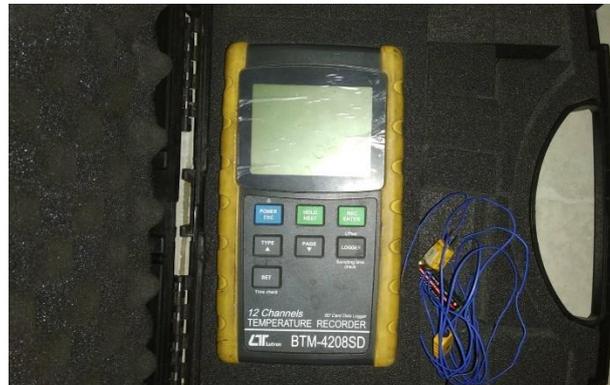
Tabel 3.2 Spesifikasi reaktor torefaksi kontinu tipe tubular.

▪ Reaktor	
• Diameter screw	: 195 mm
• Diameter tabung dalam	: 203,1 mm
• Diameter tabung luar	: 254,0 mm
• Panjang reaktor	: 1600 mm
• Tinggi reaktor	: 1700 mm
• Jarak pitch	: 100 mm
• Diameter poros	: 50 mm
• Kecepatan putar	: 0,5 rpm
• Kapasitas maksimum	: 5 kg/jam
▪ Sistem Penggerak	
• Electromotor	: 2 unit @ 2 dan 0,5 Hp
• Ratio gear reducer	: 2 unit @ 1 : 60
▪ Medium Pemanas	
• Jenis medium pemanas	: <i>Heat transfer oil cafloTMAF</i>
• Merk medium pemanas	: <i>Petro canada</i>
• Temperatur maksimum	: 375°C
• Tekanan kerja	: 1 atm
▪ Sistem Pembakaran	
• Ruang bakar	: <i>Horizontal burner</i>
• Bahan bakar	: <i>Liquefied Petroleum Gas (LPG)</i>
▪ Sistem Kontrol Temperatur	
• Sensor temperatur	: <i>Thermocouple tipe K</i>
▪ Sistem Pendingin Cooling Char	
• Sistem sirkulasi air	: <i>Water pump</i>

2. *Temperature Recorder Datalogger*

Temperature Recorder Datalogger memiliki bentuk dan tampilan seperti pada Gambar 3.2, memiliki fungsi sebagai alat ukur temperatur yang dapat

merekam data sampling sebanyak 1 sampai 3600 detik dengan keluaran data excel secara otomatis. Alat instrument dapat terhubung dengan 12 *channel thermocouple probe* tipe J/T/E/R/S dengan resolusi 0,1°C/1°C, 0,1°F/1°F.



Gambar 3.2 *Temperature recorder datalogger* yang digunakan dalam penelitian kali ini.

3. Sampel Sampah Daun

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampah daun di lingkungan Universitas Lampung, seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Sampel sampah daun di Lingkungan Universitas Lampung.

3.3. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sampel sampah daun dengan jenis dan bentuk yang tidak beragam di lingkungan Universitas Lampung. Sampel dilakukan perlakuan torefaksi dengan tiga variasi temperatur diantaranya 250, 275, dan 300°C dengan *residence time* adalah 30 menit. Massa sampel dari masing-masing temperatur adalah 1 kg, sehingga total massa sampah daun untuk penelitian ini adalah 3 kg. Rancangan penelitian ini dengan mengamati beberapa parameter diantaranya nilai kalor, nilai *proximate*, dan nilai *ultimate*.

3.4. Prosedur Pengujian Torefaksi

Prosedur pengujian torefaksi pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan seluruh alat yang akan digunakan baik alat utama maupun alat pendukung.
2. Mempersiapkan bahan sampel sampah daun kering.
3. Menghubungkan tabung LPG 12 kg ke regulator dan meletakkan tabung LPG 12 kg ke dalam baskom berisi air sirkulasi *cooling char*.
4. Menghubungkan pompa air sirkulasi ke *cooling char* melalui selang
5. Memasang seluruh *thermocouple* yang ada pada reaktor dan *cooling char* ke *temperature recorder datalogger*.

6. Menghidupkan motor penggerak screw conveyor dengan cara menghubungkan kabel listrik pada reaktor ke terminal, lalu tekan tombol “on” pada reaktor.
 7. Menyalakan api burner dengan mengatur katup pada regulator LPG dan katup pada reaktor.
 8. Menunggu temperatur T_1 , T_2 , T_3 mencapai temperatur yang diinginkan
 9. Menjaga temperatur T_1 , T_2 , T_3 apabila sudah mencapai temperatur yang diinginkan supaya tetap stabil dengan mengatur katup pada regulator LPG dan tunggu 10-15 menit sampai temperatur stabil.
 10. Memasukkan sampel sampah daun mentah ke dalam reaktor melalui hooper dan menunggu sampel keluar dengan *residence time* 30 menit.
 11. Mendorong pendorong besi pada *cooling char*, setelah melewati *residence time* dan membuka katup pengeluaran pada *cooling char*.
 12. Ulangi langkah 8 – 11 untuk variasi temperatur 250, 275, dan 300°C.
- Catatan : menjaga temperatur torefaksi dengan mengatur bukaan katup pada regulator.

3.5. Parameter Penelitian

Parameter utama penelitian yang digunakan dalam penelitian torefaksi ini adalah variasi temperatur. Hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik terbaik dari proses torefaksi dengan menggunakan reaktor kontinu tipe tubular. Pada parameter utama digunakan untuk mendapatkan parameter temperatur yang optimal pada proses torefaksi dengan ukuran sampel yang tidak seragam.

Biomassa yang digunakan adalah sampah daun dengan jenis dan ukuran yang tidak seragam di Lingkungan Universitas Lampung.

Analisis yang dilakukan pada penelitian kali ini yakni untuk mengetahui karakteristik dari produk bahan bakar padat hasil torefaksi berupa nilai *proximate* dan nilai *ultimate*. Selain itu juga dilakukan pengujian terhadap nilai kalor pembakaran dari sampel mentah serta hasil torefaksi untuk mengetahui besar nilai persatuan massa dari masing-masing temperatur. Pada penelitian ini juga mencakup seberapa jauh proses torefaksi dapat meningkatkan kualitas sifat-sifat pembakaran dari sampel pada kondisi *as-received* dengan perhitungan massa, *ym* (*mass yield*) dan perolehan energinya, *ye* (*energy yield*).

3.6. Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

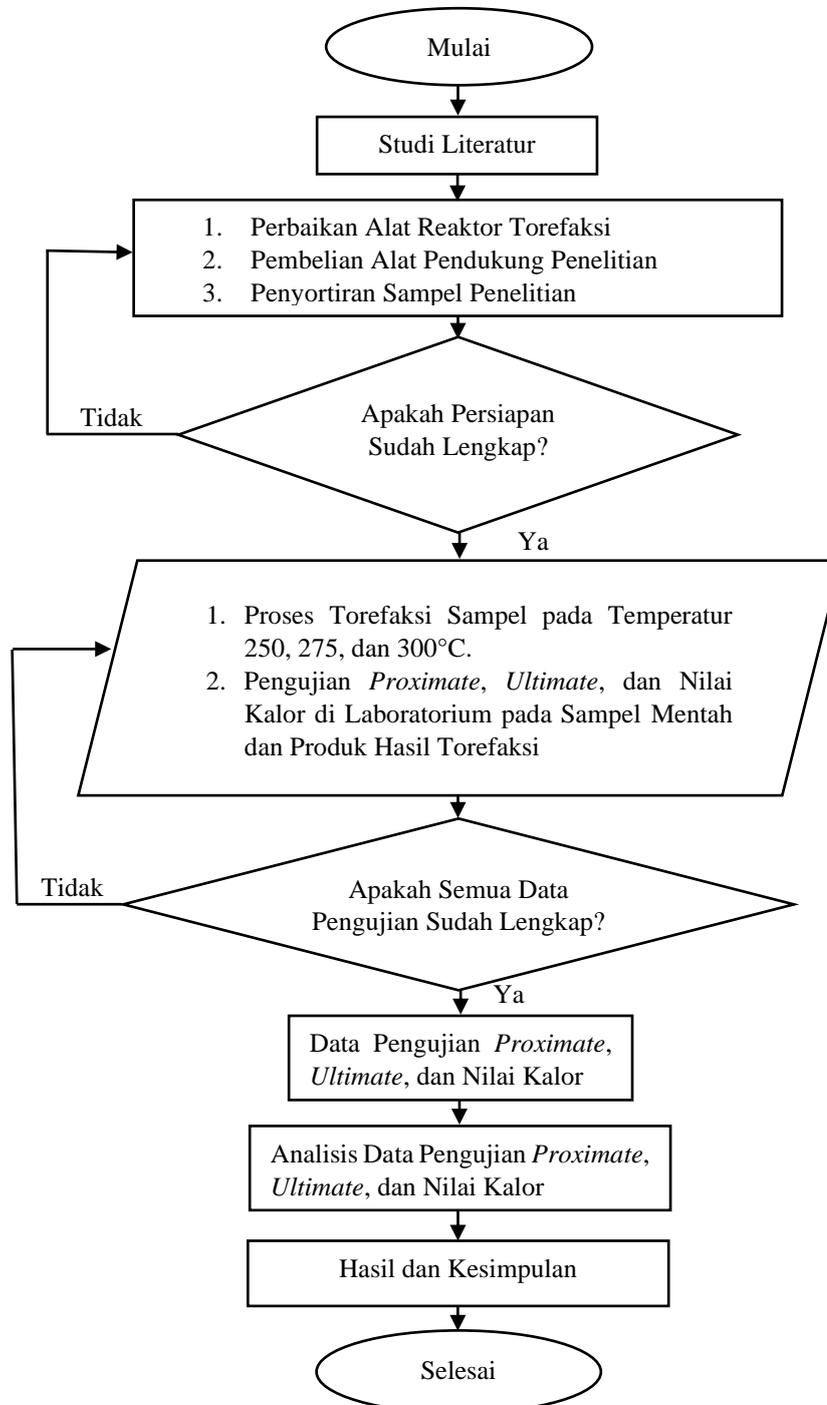
1. Studi Literatur: Tahapan pertama yang dilakukan pada penelitian kali ini adalah studi literatur dari berbagai sumber jurnal maupun buku tentang biomassa, torefaksi, reaktor torefaksi, mekanisme torefaksi, karakteristik bahan bakar padat, rancang bangun reaktor, potensi biomassa terhadap sumber energi alternatif.
2. Persiapan Alat Torefaksi: Pada tahapan kedua yakni dilakukan persiapan alat torefaksi, baik itu alat utama maupun pendukung diantaranya yakni melakukan perbaikan dan pergantian terhadap komponen-komponen yang

rusak pada reaktor seperti perpak, termokopel serta membeli peralatan pendukung seperti pompa air, baterai timbangan, wadah sampel dan lain-lain.

3. Proses Torefaksi: Pada tahapan ini dilakukan pengujian dengan sampel sampah daun dengan variasi temperatur torefaksi yang digunakan adalah 250, 275, dan 300°C.
4. Pengujian Laboratorium: Setelah dilakukan pengujian torefaksi pada sampel dengan seluruh temperatur, dilakukan pengujian laboratorium dengan mengirimkan sampel mentah dan hasil produk torefaksi ke laboratorium untuk dilakukan pengujian *Calorific Value*, *Moisture Content*, *Proximate*, dan *Ultimate*.
5. Analisis Hasil Seluruh Pengujian: Setelah semua data terkumpul, tahap selanjutnya adalah menganalisis hasil seluruh data pengujian dari hasil laboratorium. Analisis data meliputi analisis *proximate*, analisis *ultimate* dan *Calorific Value*.
6. Kesimpulan: Langkah terakhir dari penelitian ini adalah membuat kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan dituangkan dalam bentuk laporan tugas akhir.

3.7. Alur Tahapan Penelitian

Berikut merupakan *flowchart* dari penelitian ini:



Gambar 3.4. *Flowchart* alur penelitian.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Proses torefaksi dengan variasi temperatur 250, 275, dan 300°C menghasilkan produk torefaksi dengan nilai kalor yang meningkat disetiap kenaikan temperatur. Nilai kalor sampel biomassa sampah daun di Lingkungan Universitas Lampung diperoleh nilai kalor terendah pada sampel mentah sebesar 4958 kal/g, sedangkan nilai tertinggi pada produk torefaksi temperatur 300°C sebesar 6121 kal/g. Nilai kalor dari sampel mentah dan produk torefaksi dari temperatur terendah berturut-turut adalah 4958 kal/g, 5056 kal/g, 5121 kal/g, dan 6121 kal/g.
2. Proses torefaksi sampel biomassa sampah daun dengan variasi temperatur 250, 275, dan 300°C mendapatkan hasil uji *proximate* dari masing-masing temperatur. Proses torefaksi mengakibatkan penurunan presentase VM dan kenaikan presentase FC seiring dengan peningkatan variasi temperatur. Penurunan presentase VM terbesar pada temperatur 250°C ke 275°C yakni sebesar 20,39% dan kenaikan presentase FC terbesar pada temperatur 250°C ke 275°C yakni sebesar 12,66%. Presentase ash mengalami kenaikan terus-menerus dari tiap-tiap variasi temperatur. Kenaikan

presentase ash terbesar pada temperatur 250°C ke 275°C yakni sebesar 6,38%. Pada presentase MC mengalami peningkatan pada temperatur 250°C dan 275°C, akan tetapi mengalami penurunan presentase pada temperatur 300°C.

3. Proses torefaksi sampel biomassa sampah daun mempengaruhi hasil pengujian *ultimate*. Peningkatan temperatur torefaksi menyebabkan turunnya rasio H/C dan meningkatnya rasio O/C pada produk torefaksi temperatur 275°C sehingga nilai kalor produk torefaksi mengalami peningkatan.
4. Proses torefaksi mempengaruhi perolahan massa (*mass yield*) dan energi (*energy yield*). Peningkatan temperatur torefaksi mengakibatkan penurunan *mass yield* dan *energy yield* untuk produk torefaksi sampel biomassa sampah daun yang berbeda dimasing-masing temperatur. *Mass yield* pada temperatur 250, 275, dan 300°C berturut-turut sebesar 74,20%, 73,10%, dan 70,40%. Dan untuk *energy yield* pada temperatur 250, 275, dan 300°C berturut-turut sebesar 79,88%, 75,50% dan 86,90%.

5.2. Saran

Saran yang dapat diambil setelah memperhatikan dan melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut terkait uji laboratorium untuk total sulfur supaya tidak ada kesalahan pada analisis pengujian *ultimate*,

terkait kandungan atau komposisi pada sampel mentah dan produk torefaksi.

2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait dilakukan variasi *residence time* dengan variasi temperatur torefaksi yang sama untuk mengetahui kualitas produk torefaksi yang dihasilkan.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait preparasi sampel biomassa sampah daun menjadi ukuran yang seragam dengan cara dijadikan briket, untuk mengetahui kualitas bahan bakar produk torefaksi yang dihasilkan.
4. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait proses torefaksi tanpa adanya oksigen, dikarenakan pada reaktor kontinu torefaksi tipe tubular masih terdapat oksigen yang masuk ketika memasukkan sampel biomassa ke dalam *hopper* sehingga hasil bahan bakar produk torefaksi lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Amrul. (2014). Pemanfaatan Sampah Menjadi Bahan Bakar Padat Setara Batubara melalui Proses Torefaksi [Disertasi]. Institut Teknologi Bandung.
- Amrul, A., Triyadi, D., & Gandidi, I. M. (2019). Simulasi Proses Torefaksi Sampah Sistem Kontinu Menggunakan Software Aspen Plus. *Mechanikal*, 10(1), 19. <https://doi.org/10.23960/mech.v10.i1.201904>
- Apriyanto, A. (2020). Torefaksi Kontinu Munciple Solid Waste (MSW) Pada Screw Conveyor Reaktor Dengan Sistem Pemanas Heat Transfer Oil. 05(01), 35–44.
- Apriyanto, A., Hamzah, A., & Nafis, A. (2018). Rancang Bangun dan Analsis Unjuk Kerja Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular Dengan Sistem Pemanas Oil Jacket. *Mechanikal*, 9(2), 54. <https://doi.org/10.23960/mech.v9.i2.201809>
- Apriyanto, A., Tohirin, M. (2022). Kaji Eksperimental Konversi Biomassa Sampah Menjadi Bahan Bakar Terbarukan Menggunakan Proses Torefaksi. *Teknika Sains*, 7(1), 43.
- Basu, P. (2013). Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practikal Design and Theory. In *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practikal Design and Theory*. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-07564-6>
- Basu, P. (2018). Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practikal Design and Theory. In *An Automated Irrigation System Using Arduino Microcontroller* (Vol. 1908, Issue January).
- Cremers, M., & Sebnem, M. (2015). Status overview of torrefaction technologies A review of the commercialisation status of biomass torrefaction Executive Summary.

- Herlambang, S., Rina, S., Santoso, P., & Sutiono, H. T. (2017). Biomassa sebagai Sumber Energi Masa Depan. Buku Ajar, 1–51.
- Hidayat, W., Rani, I. T., Yulianto, T., Febryano, I. G., Iryani, D. A., Hasanudin, U., Lee, S., Kim, S., Yoo, J., & Haryanto, A. (2020). Peningkatan Kualitas Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit melalui Torefaksi Menggunakan Reaktor *Counter-Flow Multi Baffle (COMB)*. *Jurnal Rekayasa Proses*, 14(2), 182. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.59172>
- Kurniawan, I., Aryansyah., Huda, A. (2020). Analisis Kualitas Batubara sebagai Penentu Faktor Swabakar.
- Lestari, V. P. (2021). Ringkasan Permasalahan Dan Tantangan Program Peningkatan Kontribusi Energi Baru dan Terbarukan Dalam Bauran Energi Nasional. *Pusat Kajian Akuntabilitas Keuangan Negara*.
- Maryenti, R., Komalasari., Helwani, Z. (2017). Pembuatan Bahan Bakar Padat dari Pelepah Sawit Menggunakan Proses Torefaksi Pada Variasi Suhu Waktu Torefaksi.
- Medic, D., Darr, M., Shah, A., Potter, B., & Zimmerman, J. (2012). *Effects of torrefaction process parameters on biomass feedstock upgrading*. *Fuel*, 91(1), 147–154. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.07.019>
- Parinduri, L., & Parinduri, T. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. 5(2).
- Pestaño, L. D. B., & Jose, W. I. (2016). Production of Solid Fuel by Torrefaction Using Coconut Leaves as Renewable Biomass. 5(3), 187–197. <https://doi.org/10.14710/ijred.5.3.187-197>
- Rasid, R. A., Chin, T. M., Ismail, M., & Rahman, N. N. U. A. (2019). *Effect of Torrefaction Temperature, Residence Time and Particle Size on the Properties of Torrefied Food Waste*. *Indonesian Journal of Chemistry*, 19(3), 753. <https://doi.org/10.22146/ijc.39718>.

- Setyono, J., Hari Mardiansjah, F., Febrina Kusumo Astuti, M., ProfHSoedarto, J. S., Tembalang, K., & Semarang Jurnal Riptek, K. (2019). Potensi Pengembangan Energi Baru Dan Energi Terbarukan Di Kota Semarang. *Jurnal Riptek*, 13(2), 177–186. <http://riptek.semarangkota.go.id>
- Silalahi, C. A. (2020). *Biopellet Torefaksi Kayu Kaliandra (Kalliandra kalothyrsus)* [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor.
- Suastika, K. G. (2019). Proses Torefaksi Untuk Meningkatkan Nilai Kalor Cangkang Sawit dengan Metode COMB. *Risalah Fisika*, 3(2), 47–50. <https://doi.org/10.35895/rf.v3i2.159>
- Syamsiro, M. (2019). Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Padat Biomassa Dengan Proses Densifikasi Dan Torrefaksi. 1(April 2016), 7–13.
- Tajalli, A. (2015). Panduan Penilaian Potensi Biomassa Sebagai Sumber Energi Alternatif di Indonesia. Penabulu Alliance.
- Thya Rani, I., Hidayat, W., Gumay Febryano, I., Agustina Iryani, D., Haryanto, A., & Hasanudin, U. (2020). Pengaruh Torefaksi Terhadap Sifat Kimia Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit Effect of Torrefaction on the Chemical Properties of Empty Fruit Bunch Pellets. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 9(1), 63–70. <http://dx.doi.org/10.23960/jtep-1.v9.i1.63-70>
- Wahyudi, R., & Irsyad, M. (2020). Karakteristik Bahan Bakar Padat Produk Torefaksi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular. 20(2).