

**KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR PADAT PRODUK TOREFAKSI
BIOMASSA KULIT KOPI MENGGUNAKAN REAKTOR
TOREFAKSI KONTINU TIPE TUBULAR**

(Skripsi)

Oleh

**RIZKI KURNIAWANSAH
NPM 1915021015**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR PADAT PRODUK TOREFAKSI BIOMASSA KULIT KOPI MENGGUNAKAN REAKTOR TOREFAKSI KONTINU TIPE TUBULAR

Oleh

Rizki Kurniawansah

Kebutuhan batu bara Indonesia terus melonjak namun sumber energi batu bara mengalami penurunan. Indonesia negara dengan kekayaan sumber energi baru terbarukan yang melimpah, namun pengembangannya belum optimal, salah satunya ialah biomassa. Kulit kopi dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar biomassa. Produksi tanaman kopi cenderung stabil bahkan meningkat dan nilai kalor yang dimiliki kulit kopi mentah cukup besar. Dengan banyaknya potensi dan besarnya nilai kalor kulit kopi, perlu dilakukan proses torefaksi untuk meningkatkan karakteristik kulit kopi agar mendekati karakteristik batu bara. Penelitian ini menggunakan konversi termal yaitu torefaksi variasi temperatur 250, 275 dan 300°C dengan waktu tinggal selama 30 menit. Peralatan yang digunakan yaitu reaktor torefaksi tipe kontinu tubular dengan pemanas LPG. Hasil penelitian ini dapat meningkatkan nilai kalor kulit kopi mentah. Nilai kalor tertinggi terdapat pada temperatur 275°C sebesar 6519 kkal/kg mengalami kenaikan sebesar 45% dari nilai kalor awal. Proses torefaksi mengurangi persentase *moisture content* dan *volatile matter*, meningkatkan persentase *fixed carbon* dan *ash*. *Mass yield* terus menurun berbanding lurus dengan kenaikan temperatur torefaksi. *Energy yield* yang tersimpan pada kulit kopi tertorefaksi terbesar pada temperatur 250°C sebesar 88,97%.

Kata Kunci: Biomassa, Torefaksi, Kulit Kopi, Nilai Kalor.

ABSTRACT**SOLID FUEL CHARACTERISTICS OF COFFE HUSK BIOMASS USING
TUBULAR TYPE CONTINOUS TOREFACTION REACTOR**

By

Rizki Kurniawansah

Indonesia's coal demand continues to soar, but coal energy sources have decreased. Indonesia is a country with abundant renewable energy sources, but its development has not been optimized, one of which is biomass. Coffee waste can be utilized as biomass fuel. Coffee plant production tends to stabilize and even increase and the calorific value of raw coffee skin is quite large. With so much potential and the high calorific value of coffee skin, it is necessary to carry out a torefaction process to improve the characteristics of coffee skin to approach the characteristics of coal. This research uses thermal conversion, namely torefaction at temperature variations of 250, 275 and 300°C with a residence time of 30 minutes. The equipment used is a tubular continuous type torefaction reactor with LPG heater. The results of this study can increase the calorific value of raw coffee skin. The highest calorific value was found at 275°C of 6519 kcal/kg, an increase of 45% from the initial calorific value. The torefaction process reduces the percentage of moisture content and volatile matter, increases the percentage of fixed carbon and ash. Mass yield continues to decrease directly proportional to the increase in torefaction temperature. The energy yield stored in the torefaction coffee husk was the largest at 250°C at 88.97%.

Keywords: Biomass, Torrefaction, Coffee Husk, Calorific Value.

**KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR PADAT PRODUK TOREFAKSI
BIOMASSA KULIT KOPI MENGGUNAKAN REAKTOR
TOREFAKSI KONTINU TIPE TUBULAR**

Oleh

**RIZKI KURNIAWANSAH
NPM 1915021015**

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Lampung**



**PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi

**KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR
PADAT PRODUK TOREFAKSI
BIOMASSA KULIT KOPI
: MENGGUNAKAN REAKTOR
TOREFAKSI KONTINU TIPE TUBULAR**

Nama Mahasiswa

: Rizki Kurniawansah

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1915021015

Program Studi

: Strata 1 (S1)

Jurusan

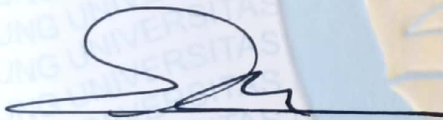
: Teknik Mesin

Fakultas

: Teknik

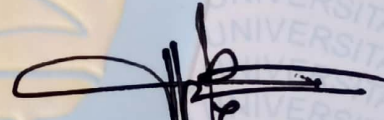
MENYETUJUI

Komisi Pembimbing



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

NIP. 19710331 199903 1 003



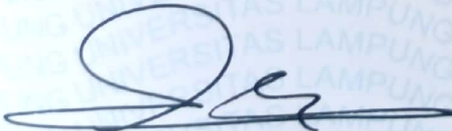
Hadi Prayitno. S.T. M.T.

NIP. 19880514 201903 1 012

MENGETAHUI

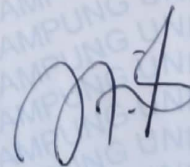
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin



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

NIP. 19710331 199903 1 003



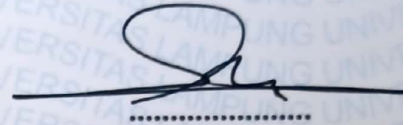
Novri Tanti. S.T. M.T.

NIP. 19701104 199703 2 001

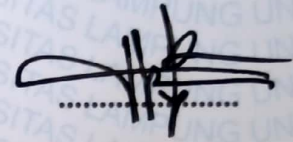
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

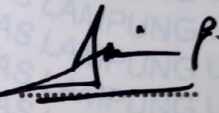
Ketua Penguji : Dr. Amrul, S.T., M.T.



Anggota Penguji : Hadi Prayitno, S.T., M.T.



Penguji Utama : Ir. A Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng., IPM



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. ✓

NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **18 Juli 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, Agustus 2023

Pembuat Pernyataan



Rizki Kurniawansah

NPM 1915021015

MOTO

“Bermanfaat atau Tergantikan”

Rizki Kurniawansah

حَسْبُنَا اللَّهُ وَنِعْمَ الْوَكِيلُ نِعْمَ الْمَوْلَى وَنِعْمَ

“Cukuplah bagi kami Allah SWT, sebaik-baiknya pelindung dan sebaik-baiknya penolong kami” (Q.S. Ali Imran: 173, An Anfal: 80)

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah S.W.T karena berkat anugerah dan rahmat-nya penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan skripsi dengan lancar dan dalam keadaan sehat. Shalawat serta salam pula tak lupa penulis hatur agungkan kepada nabi akhir zaman Rasulullah Muhammad SAW yang telah membimbing manusi dari zaman kegelapan menuju zaman yang penuh hidayah. Skripsi ini penulis buat 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. Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T.,M.Sc., selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T., selaku pembimbing I dan Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Novri Tanti, S.T., M.T., selaku Ketua Prodi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. A. Yudi Eka Risano, S.T.,M.Eng. selaku Dosen Penguji yang telah bersedia mengoreksi dan meluruskan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
6. Hadi Prayitno, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing selama perkuliahan dan mengerjakan skripsi ini.

7. Seluruh Dosen di Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah menjadi guru dan mengajarkan dasar pengetahuan yang dibutuhkan kepada penulis.
8. Seluruh staff dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
9. Kepada bapak Sudirman dan ibu Mariati Eviah selaku Orang Tua tersayang yang selalu menyemangati, mendukung dalam segi apapun, memotivasi dan mendoakan penulis setiap waktu.
10. Kepada Sesilia Maharani Putri, selaku ayuk pertama yang selalu memberikan motivasi, pembelajaran, dan semangat untuk penulis, dan selalu menyokong kebutuhan penulis selama masa kuliah.
11. Suci Elvionita dan Annisa Nur Adhiak selaku ayuk dan adik penulis yang selalu menemani, memberikan senyum dan semangat, dukungan moril maupun materil untuk penulis agar dapat lulus cepat.
12. Budak kecil squad, Dimas tanah, Andrian sesat, Herdi manajemen, Indah THP, Shaffa TIP, Fathin B.Indo yang telah membantu, menemani dan menyemangati penulis dalam menyelesaikan skripsi.
13. Pimpinan Forkom Bidikmisi/KIP-K Unila 2022, Dewi, Rani, Oka, Okta, Ajeng, Vina, Della, Diana, Dimas, Desy, Mulyati, Novita, Max, Bella, Tina, Putri yang telah membantu dan menyemangati penulis dalam menyelesaikan skripsi.
14. Seluruh tim torefaksi yang selalu menemani dan memberikan bantuan kepada penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi.
15. Semua pihak dan rekan-rekan Teknik Mesin Unila Angkatan 2019 yang telah memberikan bantuan dan dukungannya kepada penulis.
16. Kepada teman-teman pengurus dan geforba forkom bidikmisi/KIP-K Unila 2022 yang selalu menyemangati penulis dalam menyelesaikan skripsi.

Penulis sangat bersyukur kepada Allah S.W.T karena telah diberikan dan dipertemukan oleh orang-orang baik yang membantu penulis dalam proses perkuliahan untuk menyelesaikan skripsi dan semoga

Allah S.W.T membalas kebbaikannya serta selalu diberkati dan dilindungi oleh-Nya. Penulis juga menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini, dan sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatuallahi Wabarokatuh.

Bandar lampung, Agustus 2023

Rizki kurniawansah

NPM. 1915021015

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Gedung Meneng Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung pada tanggal 8 Juni 2001, penulis merupakan anak ke tiga dari empat bersaudara, dari pasangan bapak Sudirman dan ibu Mariati Eviah. Penulis memiliki saudara kandung bernama sesilia maharani putri, suci elvionita dan annisa nur adhiak, Penulis menempuh pendidikan dasar di SD NEGERI 1 GEDUNG MENENG hingga tahun 2013, lalu melanjutkan pendidikan tingkat menengah di SMP NEGERI 22 BANDAR LAMPUNG yang diselesaikan pada tahun 2013, kemudian melanjutkan ke pendidikan tingkat atas di SMK NEGERI 2 BANDAR LAMPUNG yang diselesaikan pada tahun 2019, hingga pada tahun 2019 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung melalui Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif menjadi anggota dibeberapa organisasi kampus antara lain, Staff Ahli BEM U 2020, Staff divisi Humas BIROHMAH 2021, dan Sekertaris Bidang Minat dan Bakat Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM). Pada tahun 2022 penulis diamanahkan menjadi Ketua Umum Forum Komunikasi Bidikimisi/KIP Kuliah Universitas Lampung 2022.

Penulis pernah melakukan Kerja Praktik (KP) di PT. Semen Baturaja Tbk. Ogan Komering Ilir pada tahun 2022 dengan judul laporan “**ANALISIS KEAUSAN WHEEL CHAIN PADA BUCKET TOWING TIPE 24RE03 DI PT SEMEN**

BATURAJA TBK”.

Tahun 2022 penulis tergabung dalam tim penelitian torefaksi dengan judul penelitian **”KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR PADAT PRODUK TOREFAKSI BIOMASSA KULIT KOPI MENGGUNAKAN REAKTOR TOREFAKSI KONTINU TIPE TUBULAR”**. Di bawah bimbingan Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T. dan bapak Hadi Prayitno, S.T., M.T.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Biomassa	6
2.2 Torefaksi	9
2.3 Karakteristik Bahan Bakar Padat.....	19
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1. Alat dan Bahan	25
3.2. Rancangan Penelitian.....	28
3.3. Prosedur pengujian torefaksi	29
3.4. Parameter Penelitian	30
3.5. Tahapan Penelitian.....	31
3.6. Alur Tahapan Penelitian.....	33
3.7 Tempat dan waktu penelitian	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1. Sifat Visual Produk.....	36

4.2.	Nilai Kalor	38
4.3.	Analisis <i>Proximate</i>	40
4.4.	Analisis <i>Ultimate</i>	42
4.5.	<i>Mass Yield</i> dan <i>Energy Yield</i>	44
4.6.	<i>Energy Density</i>	45
4.7.	Rasio O/C dan H/C	47
BAB V PENUTUP		50
5.1	Kesimpulan	50
5.2	Saran	48
DAFTAR PUSTAKA		52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik kulit kopi mentah.....	22
Tabel 3.1. Spesifikasi Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular.....	26
Tabel 4.1 Rasio O/C dan Rasio H/C.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Diagram Van Krevelen</i>	12
Gambar 2.2. Skema perubahan berat.....	14
Gambar 2.3. Sketsa reaktor <i>fixed bed</i>	15
Gambar 2.4. Sketsa reaktor <i>fluidized bed</i>	16
Gambar 2.5. Sketsa reaktor <i>rotary kiln</i>	16
Gambar 2.6. Grafik potensi kopi Provinsi Lampung.....	23
Gambar 3.1. Reaktor Torefaksi Kontinu.....	25
Gambar 3.2. Layout reaktor tipe tubular.....	27
Gambar 3.3. 12 <i>Channel Temperature Recorder Datalogger</i>	28
Gambar 3.4. Limbah kulit kopi.....	29
Gambar 3.5. <i>Flowchart</i> alur penelitian.....	34
Gambar 4.1. Sifat visual biomassa kulit kopi.....	37
Gambar 4.2. Grafik nilai kalor produk torefaksi.....	38
Gambar 4.3. Plot klasifikas nilai kalor kulit kopi produk torefaksi.....	39
Gambar 4.4. Grafik hasil <i>proximate</i> produk torefaksi kulit kopi.....	40
Gambar 4.5. Grafik uji <i>ultimate</i> produk torefaksi kulit kopi.....	43
Gambar 4.6. Grafik perolehan <i>mass yield</i> dan <i>energy yield</i>	44
Gambar 4.7. Grafik <i>energy density</i> produk torefaksi kulit kopi.....	46
Gambar 4.8. Diagram <i>van krevelen</i>	48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi fosil di Indonesia dan dunia terus meningkat, sementara itu sumber energi fosil terus mengalami penurunan. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) memperkirakan cadangan batu bara di Indonesia akan habis dalam waktu 65 tahun kedepan (ESDM, 2020). Indonesia merupakan salah satu negara produsen batu bara di dunia, dengan sumber daya dan cadangan yang tersebar hampir diseluruh wilayah. Pada tahun 2020, cadangan batu bara Indonesia mencapai 34.869 miliar ton (3,2%) dari cadangan batu bara dunia sebesar 1.074 miliar ton (*BP Statical review of world energy, 2021*).

Pemanfaatan batu bara berdampak terhadap laju kenaikan emisi gas rumah kaca. Pada tahun 2021, emisi CO₂ yang dihasilkan dari penggunaan batu bara mencapai 575,9 juta ton (*BP Statical review of world energy, 2021*). meningkatnya emisi CO₂ akan menyebabkan peningkatan suhu udara dan pemanasan global. Pemanasan global dalam jangka waktu tertentu akan mengakibatkan perubahan iklim.

Dampak negatif penggunaan batu bara sebagai bahan bakar dapat direduksi dengan mengoptimalkan bahan bakar biomassa. Indonesia adalah negara dengan kekayaan sumber energi baru terbarukan termasuk biomassa. Pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar belum optimal. Biomassa masih sebatas sebagai bahan bakar pendamping (*co-firing*) batu bara. Potensi biomassa di Indonesia cukup besar, sekitar 146,7 juta ton per tahun (Parinduri, 2020).

Salah satu biomassa yang berpotensi sebagai bahan bakar adalah limbah kulit kopi. Produksi tanaman kopi cenderung stabil bahkan meningkat. Limbah kulit kopi yang tidak terkelola dengan baik akan menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan. Berdasarkan data Badan pusat statistik dari tahun 2017-2021, produksi kopi di Provinsi Lampung rata-rata 113.753 ton. Limbah kulit kopi yang dihasilkan dari rata-rata produksi kopi tersebut 39.813 ton.

Pemanfaatan limbah kulit kopi sebagai bahan bakar masih dapat ditingkatkan kualitasnya. Kulit kopi mentah memiliki nilai kalor sebesar 4600 kkal/kg (Rizkiyanto, 2017). Salah satu metode konversi termal biomassa yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas sebagai bahan bakar adalah Torefaksi. Torefaksi adalah proses perlakuan panas pada temperatur 200-300°C pada tekanan atmosfer tanpa adanya oksigen. Hasil utama dari proses torefaksi berupa bahan bakar padat. Torefaksi biomassa dapat menghasilkan bahan bakar setara batu bara *sub-bituminous* (Amrul,

2018 dan Chen, 2011). Torefaksi dapat meningkatkan nilai kalor dan mengurangi persentase *moisture* limbah kulit kopi. Sehingga memiliki karakteristik bahan bakar yang dapat dijadikan alternatif dari batu bara.

Kulit kopi yang memiliki nilai kalor cukup tinggi dan produksi yang stabil berpotensi menjadi bahan bakar alternatif. Penelitian torefaksi kulit kopi perlu dilakukan untuk mengetahui kelayakannya sebagai alternatif batu bara. Untuk mengetahui karakteristik kulit kopi sebagai bahan bakar setelah di torefaksi maka perlu di uji nilai kalor, *proximate*, dan *ultimate*-nya. Setelah diuji dilakukan analisis *mass yield*, *energi yield* dan *energy density*. Hasil torefaksi kulit kopi dapat dimanfaatkan sebagai pengganti batu bara sebagai bahan bakar.

1.2 Rumusan masalah

Rumusan masalah dari penelitian torefaksi kulit kopi ini yaitu:

Bagaimana mengetahui karakteristik bahan bakar padat produk torefaksi kulit kopi berupa nilai kalor, *proximate analysis*, *ultimate analysis*, *mass yield* dan *energy yield* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian torefaksi kulit kopi ini yaitu:

1. Mengetahui perubahan nilai kalor pada bahan bakar padat produk torefaksi kulit kopi variasi temperatur.

2. Mengetahui *proximate analysis*, *ultimate analysis* pada bahan bakar padat produk torefaksi.
3. Mengetahui *mass yield*, *energy yield* dan *energy density* yang tersimpan pada bahan bakar padat produk torefaksi kulit kopi.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan biomassa kulit kopi yang memiliki bentuk seragam.
2. Proses torefaksi kulit kopi dilakukan menggunakan reaktor torefaksi kontinu tipe tubular dengan sistem pemanas *oil jacket*.
3. Parameter utama penelitian ini adalah variasi temperatur 250, 275, 300°C.
4. Parameter waktu tinggal selama 30 menit pada bahan bakar padat produk torefaksi biomassa kulit kopi.

1.5 Sistematika Penelitian

I. PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang masalah secara jelas, tujuan yang memaparkan diadakannya penelitian, batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini agar hasil penelitian lebih terarah, sistematika

penulisan berupa format yang dipakai pada penulisan laporan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka berisikan landasan teori yang menunjang pada penelitian dan merupakan teori-teori dasar yang meliputi: penjelasan tentang biomassa, jenis-jenis sampel kayu biomassa, torefaksi, reaktor torefaksi tipe tubular, dan karakteristik dari bahan bakar padat.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tempat dan waktu penelitian yang akan dilakukan 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.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biomassa

Secara umum biomassa merupakan bahan yang diperoleh dari tanaman secara langsung maupun tidak langsung, juga dapat dimanfaatkan sebagai energi atau bahan bakar dalam jumlah yang besar. Contoh biomassa antara lain tanaman, pohon, rumput, limbah pertanian, limbah hutan, tinja, dan kotoran ternak. Selain digunakan untuk tujuan primer bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan, dan sebagainya. Biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar), yang digunakan adalah bahan bakar biomassa yang bernilai ekonomis rendah atau merupakan limbah yang diambil produk primernya (Parinduri, 2020).

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. Berbeda dari

bahan bakar fosil, biomassa dapat bereproduksi, biomassa dikategorikan sebagai energi terbarukan. Sifatnya yang mudah diperbaharui menjadi daya tarik yang membuat banyak orang ingin untuk menggunakannya sebagai sumber energi (Basu, 2018).

Proses konversi bahan mentah biomassa menjadi bahan bakar biomassa dengan cara konversi termal, yaitu:

1. Konversi termal

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

- a. Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi eksotermik antara oksigen dan komponen hidrokarbon dalam biomassa dan menghasilkan dua komponen stabil yaitu H₂O dan CO₂ (Basu,2018).

- 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 300-650°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 (Basu, 2018).

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 hidrokarbonbiomassa dan meningkatkan kandungan karbon dan mengurangi kandungan oksigen dan hidrogennya. Torefaksi juga meningkatkan densitas energi dan membuatnya hidrofobis. Sifat ini meningkatkan nilai komersial kayu untuk produksi dan pemindahan energi.

d. Gasifikasi

Gasifikasi mengubah bahan bakar fosil atau nonfosil (padat, cair, atau gas) menjadi gas yang berguna. Untuk reaksi gasifikasi dibutuhkan media, yang bisa gas, uap, atau air subkritis atau superkritis, media gas meliputi udara, oksigen, atau campurannya (Basu, 2018).

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 berminyak dengan menghubungkan biomassa dengan air pada temperatur 300-350 °C dan tekanan 12-20 MPa selama beberapa waktu.

2.2 Torefaksi

Torefaksi merupakan proses termokimia biomassa pada suhu rendah 200°C-300°C dalam kondisi tanpa oksigen, untuk menghasilkan bahan bakar padat dengan karakteristik mendekati batu bara. Kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin pada biomassa akan terdekomposisi menyebabkan massa dari biomassa berkurang, densitas energi biomassa menjadi lebih tinggi dan warna biomassa menjadi kecokelatan (Amrul, 2018).

Pada tahun 1930-an, Torefaksi pertama kali dilakukan di Prancis (Deng, 2009), setelah itu penelitian torefaksi biomassa terus dilakukan secara luas. Torefaksi terus dikembangkan terutama aspek techno-ekonominya. Walaupun prosesnya masih dilakukan dalam *thermogravimetric analyzer* (TGA), tungku tabung skala laboratorium dan oven, torefaksi mengalami kemajuan. Penelitian torefaksi terus dilakukan dengan difokuskan pada temperatur torrefaksi, durasi torrefaksi, grindabilitas, hidrofobitas, perilaku pembakaran *bio-briquette* dan *black pellet*. Keseimbangan massa dan energi, kelembaban dan kinetika menjadi perhatian dalam pengembangan torefaksi biomassa (Chen, 2021).

Parameter yang mempengaruhi proses torefaksi diantaranya temperatur, waktu, dan tipe biomassa (Syamsiro, 2016). Suhu torefaksi yang semakin

tinggi disertai waktu torefaksi yang semakin lama mampu mengurangi kadar air pada biomassa sehingga mengakibatkan peningkatan daya tahan biomassa, selain itu beberapa kandungan/senyawa yang berpotensi memberikan pengaruh terhadap nilai kualitas biomassa mampu diminimalisir dengan proses penguapan kandungan dan senyawa tersebut saat proses torefaksi berlangsung. Biomassa dapat dihasilkan secara langsung sebagai produk atau limbah dari pengolahan hasil perkebunan atau kehutanan (Yulianto dkk., 2020).

Torefaksi akan memperbaiki sifat-sifat bahan baku dan bahan bakar dari segi nilai kalor, kadar air, sifat higroskopis dan dapat meminimalisir asap pembakaran (Susanty dkk., 2016). Proses torefaksi juga merubah biomassa dengan melepaskan zat-zat yang terkandung dalam bahan yang mudah terbakar seperti CO, metana dan bahan yang tidak terbakar seperti karbondioksida untuk memenuhi kebutuhan kalor pada saat proses torefaksi yang menggunakan reaktor pemanas (Wilén dkk., 2013).

Torefaksi biomassa dapat meningkatkan kualitas biomassa mentah sebagai bahan bakar. Parameter operasi seperti temperatur torefaksi, waktu tinggal, dan ukuran partikel sangat menentukan untuk mendapatkan hasil torefaksi yang optimal. Karakteristik torefaksi berbeda-beda untuk setiap jenis bahan yang ditorefaksi. Penentuan parameter operasi optimal dan estimasi karakteristik biomassa tertorefaksi pada kondisi operasi tertentu sangat penting untuk mendapatkan produk bahan bakar padat yang kandungan

energinya tinggi, densitas tinggi, tidak mudah menyerap air, mudah dihaluskan dan memiliki kadar abu yang rendah. Beberapa studi telah dilakukan untuk mendapatkan bahan bakar padat tertorefaksi yang setara dengan batu bara.

Torefaksi adalah *pretreatment* sebuah biomassa mentah untuk mendapatkan bahan bakar yang lebih stabil, memiliki kepadatan energi yang tinggi dan kerapuhan yang lebih tinggi dan grindabilitas. Sifat ini dapat mengatasi beberapa kekurangan yang membatasi luas pemanfaatan biomassa mentah sebagai sumber energi terbarukan, seperti kadar air yang tinggi, kepadatan energi yang rendah (*low heating value*), resistensi terhadap peluluhan, dan umur simpan pendek. Biomassa terdiri atas beberapa komponen yaitu kandungan air (*moisture content*), zat volatil (*volatil matter*), karbon tetap (*fixed carbon*), dan abu (*ash*). Parameter penting lainnya dalam biomassa adalah nilai kalor. Nilai kalor sangat tergantung pada komposisi biomassa tersebut, semakin tinggi kandungan karbon terikat maka nilai kalornya semakin tinggi (Sidabutar, 2018).

Temperatur menjadi parameter yang penting dalam torefaksi. Temperatur yang tinggi menyebabkan pengurangan massa dan energi hasil yang besar serta peningkatan densitas energi (Chen, 2021). Temperatur memiliki dampak yang lebih kuat pada energi dan kehilangan massa daripada kadar air. Energi hasil atau kepadatan energi, semuanya tergantung pada biomassa mentah, temperatur torefaksi, waktu tinggal dan jenis reaktor dll. Massa

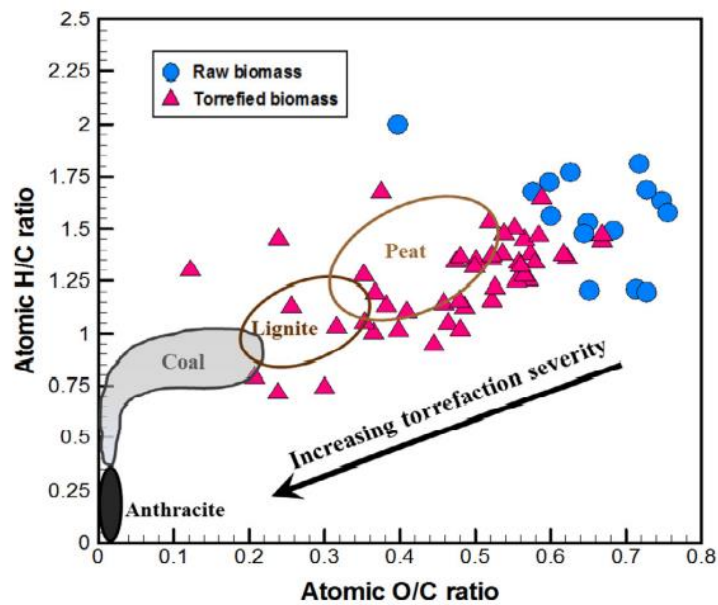
hasil, energi hasil dan kepadatan energi dapat dihitung menggunakan Persamaan (1)–(3) (Amrul, 2017).

$$\text{Mass yield} = \frac{m_{tor}}{m_{raw}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Energy yield} = \text{Mass yield} \times \frac{HHV_{tor}}{HHV_{raw}} \quad (2)$$

$$\text{Energy density} = \frac{\text{Energy yield}}{\text{Mass yield}} \quad (3)$$

Di mana m adalah massa biomassa, HHV adalah nilai panas tinggi (KJ/kg), *subscript tor* berarti biomassa tertorefaksi, dan *subscript raw* berarti biomassa mentah.



Gambar 2.1 Diagram van krevelen untuk batu bara, biomassa tertorefaksi dan tak tertorefaksi (Chen, 2021).

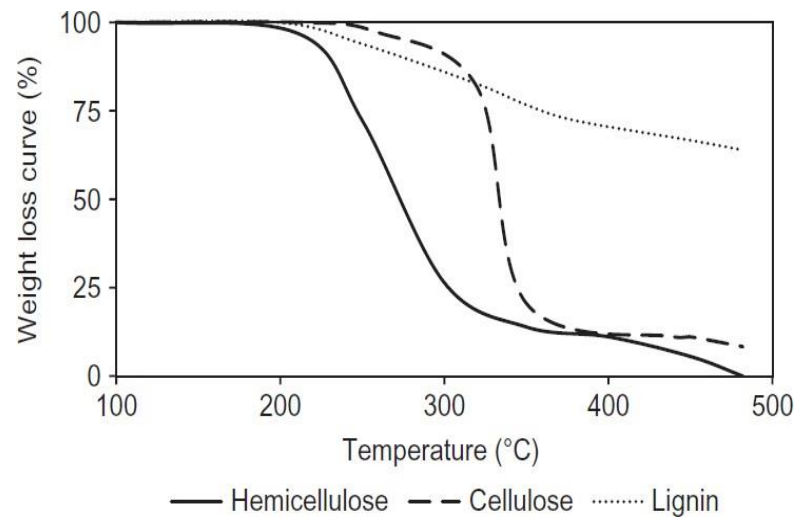
Keseimbangan penyerapan kelembaban biomassa torefaksi tergantung pada tingkat torefaksi, tergolong sangat rendah berkisar antara 1-6%. Akibatnya,

torefaksi biomassa memiliki *shelf-life* lebih panjang daripada biomassa mentah. Grindabilitas biomassa tertorefaksi membuatnya cocok untuk *co-firing* batu bara. Torefaksi memperbaiki sifat-sifat biomassa dari segi nilai kalor, kadar air, sifat higroskopis dan meminimalisir asap pembakaran proses torefaksi juga merubah biomassa dengan melepaskan zat-zat yang terkandung dalam bahan yang mudah terbakar seperti CO, metana dan bahan yang tidak terbakar seperti karbondioksida untuk memenuhi kebutuhan kalor pada saat proses torefaksi yang menggunakan teknologi reaktor pemanas (Haykiri-Acma, 2016). *Pretreatment* bahan bakar biomassa dengan torrefaksi dapat meningkatkan sifat fisik dan kimia lignoselulosa biomassa sebagai substitusi batu bara (Arias, 2008).

Kemajuan torefaksi biomassa memberikan tantangan baru yang lebih dalam penerapannya. Karakteristik bahan bakar biomassa limbah buah-buahan tertorefaksi yaitu nilai kalor, analisis *ultimate*, analisis *proximate*. Sifat torefaksi dari tiga komponen dasar biomassa (hemiselulosa, selulosa, dan lignin) dan efek temperatur torefaksi durasi terhadap hasil padatan dan volatil terus menjadi parameter penting pengembangan bahan bakar hasil torefaksi (Chen, 2021).

Penguraian termal pada biomassa terjadi melalui beberapa tahapan reaksi kimia. Pada rentang suhu 100-260°C, hemiselulosa secara aktif terurai, namun penguraian signifikannya mulai pada temperatur diatas 200°C. Selulosa terurai pada suhu yang cukup tinggi, yaitu diatas 275°C, namun

penguraian besarnya terjadi pada rentang suhu yang sedikit, yaitu pada suhu 270–350°C. Sedangkan lignin adalah komponen lignoselulosa yang paling sulit terurai karena diperlukan 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).

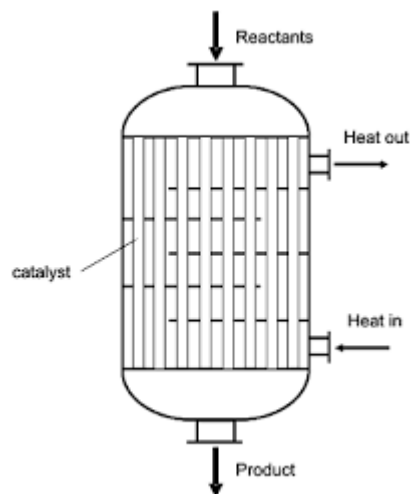
2. Jenis-Jenis reaktor torefaksi

Reaktor merupakan suatu alat proses tempat terjadinya reaksi berlangsung, baik itu reaksi kimia maupun nuklir, terjadinya perubahan bentuk suatu bahan berubah ke bentuk bahan lainnya dengan bantuan energi panas (Fariz, 2017). Studi yang dilakukan Chen dkk. (2014)

menyebutkan bahwa terdapat beberapa teknologi reaktor pemanas torefaksi, antara lain:

a. Reaktor tipe *fixed bed*

reaktor ini mempunyai karakteristik laju pemanasan yang rendah sehingga koefisien perpindahan panas yang terjadi rendah. Reaktor *fixed bed* sering digunakan untuk mengidentifikasi parameter yang mempengaruhi kadungan produk yang akan ditorefaksi/pirolisis.

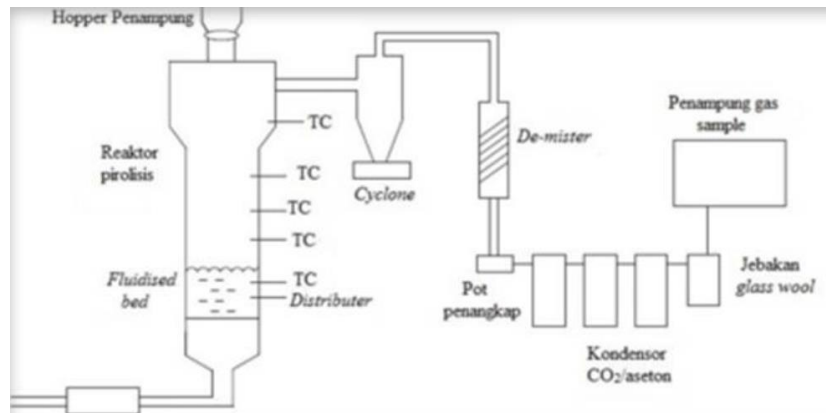


Gambar 2.3 Sketsa reaktor *fixed bed* (Chen, 2014).

b. Reaktor tipe *fluidized bed*

Reaktor *fluidized bed* memiliki tingkat pemanasan yang tinggi, namun dalam industri tipe ini jarang digunakan, karena pemisahan material, serta pemanasan dan resirkulasi eksternal yang rumit. Reaktor ini lebih sering digunakan untuk menggambarkan pengaruh temperatur dan waktu tinggal (*residence time*) biomassa dalam reaktor saat proses torefaksi maupun pirolisis berlangsung.

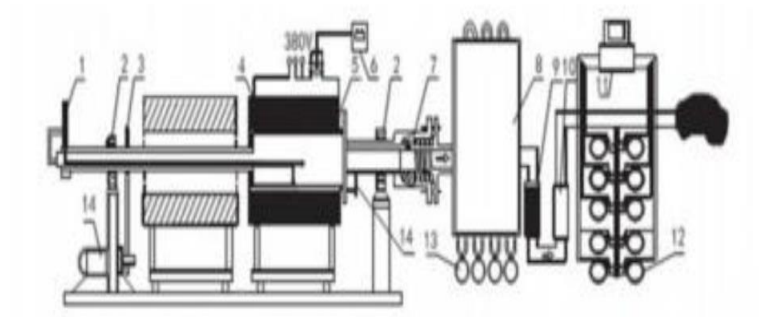
Meskipun reaktor *fluidized bed* telah banyak digunakan dalam penelitian laboratorium.



Gambar 2.4 Sketsa reaktor *fluidized bed* (Chen, 2014).

c. Reaktor tipe *rotary kiln*

Reaktor tipe *rotary kiln* memiliki efisiensi yang lebih tinggi dari pada reaktor *fixed bed*. Putaran yang lambat dari tempat pembakaran (*kiln*) memungkinkan pencampuran yang baik dari material dalam reaktor. Reaktor ini mulai banyak digunakan dalam pirolisis/torefaksi secara konvensional. Karena Dalam beberapa penelitian tingkat pemanasan yang terjadi tidak lebih tinggi dari 100°C/menit dan *residence time* hingga 1 jam, hal ini disebabkan selama proses torefaksi hanya dinding luar yang mengangkut panas dari luar untuk bahan.



Gambar 2.5 Sketsa reaktor *rotary kiln* (Chen, 2014).

3. Parameter Torefaksi

Parameter-parameter yang mempengaruhi proses torefaksi adalah sebagai berikut.

- a. Temperatur, temperatur memiliki pengaruh terbesar pada proses torefaksi, karena tingkat degradasi termal biomassa. Temperatur yang tinggi memberikan massa dan energi yang lebih rendah tetapi produk memiliki kepadatan energi yang lebih tinggi. Fraksi karbon tetap dalam sampel mengalami peningkatan sedangkan hidrogen dan oksigen menurun seiring dengan meningkatnya temperatur torefaksi.
- b. Tingkat Pemanasan & *Residence time*, laju pemanasan yang lambat merupakan salah satu karakteristik torefaksi yang menjadikan pembeda dari pirolisis yang dipanaskan secara cepat. Laju pemanasan yang lambat mengartikan bahwa biomassa dipanaskan dengan waktu yang lebih lama. Durasi waktu torefaksi pada temperatur torefaksi disebut dengan “*Residence time*”. *Residence*

time yang lebih lama memberikan hasil massa yang lebih rendah dan kepadatan energi yang lebih tinggi. Pengaruh *residence time* pada produk torefaksi, tidak terlalu dominan seperti temperatur torefaksi.

- c. Jenis Biomassa, parameter lain yang mempengaruhi hasil torefaksi adalah jenis biomassa. Biomassa memiliki kandungan hemiselulosa yang berbeda-beda. Biomassa kulit kopi memiliki kandungan hemiselulosa yang dapat dimanfaatkan menjadi biomassa, di mana kulit kopi dapat kehilangan massa namun tidak berpengaruh dalam kehilangan energi.
- d. Ukuran Sampel, ukuran partikel atau potongan biomassa merupakan parameter lain yang dapat mempengaruhi hasil torefaksi. Efek ini mungkin tidak menonjol untuk ukuran partikel yang halus, tetapi dapat diukur untuk ukuran yang besar. Ukuran dan bentuk partikel atau ukuran sampel biomassa akan mempengaruhi laju perpindahan panas dari bagian luar biomassa hingga ke bagian dalamnya. Temperatur dan *residence time* yang sama dengan ukuran partikel yang besar dan partikel yang kecil, proses torefaksi lebih mudah merata dan terdekomposisi secara termal biomassa dengan ukuran yang sangat kecil dibandingkan dengan ukuran biomassa yang besar (Medic, 2012).

2.3 Karakteristik Bahan Bakar Padat

Parameter yang menjadi landasan dari karakteristik bahan bakar padat yaitu parameter komponen sebagai penyusun batu bara. Dalam mendapatkan komponen penyusun dari batu bara digunakan dua jenis analisis yaitu *proximate analysis* dan *ultimate analysis*.

1. *Proximate Analysis*

Analisis *Proximate* dilaksanakan untuk mendapatkan data berupa karbon tetap (*fixed carbon*), *moisture*, *zat volatile*, dan kadar abu. Analisis nilai *proximate* dilaksanakan dengan menggunakan *thermografimetric analyzer* (TGA) mengikuti prosedur the JIS (Japan Industrial Standar) method. Pengamatan dengan menggunakan TGA dilaksanakan dengan menghitung perubahan berat sampel terhadap waktu dan temperature, yaitu *moisture content* (MC), *volatile meter* (VM), *Fix carbon* (FC), dan abu (ASH) (Amrul dkk.,2020).

Volatile Matter (VM) adalah banyaknya zat yang hilang bila sampel batu bara dipanaskan pada suhu dan waktu yang telah ditentukan (setelah dikoreksi oleh kadar *moisture*). Suhnya adalah 900°C, dengan waktu pemanasan tujuh menit tepat (Sukandarrumidi, 2006). Untuk *Fixed Carbon* (FC) didefinisikan sebagai material sisa setelah berkurangnya *moisture*, *volatile matter* dan ash (Sukandarrumidi, 2006). FC menyatakan banyaknya karbon yang terdapat dalam material sisa setelah *volatile matter* dihilangkan. FC ini mewakili sisa

penguraian dari komponen organik batu bara ditambah sedikit senyawa nitrogen, belerang, hidrogen dan mungkin oksigen yang terserap atau bersatu secara kimiawi.

Fixed Carbon ditentukan dengan perhitungan: 100% dikurangi persentase moisture, VM, dan ash (adb). Data *Fixed Carbon* digunakan dalam mengklasifikasikan batu bara, pembakaran, dan karbonisasi batu bara. *Fixed Carbon* kemungkinan membawa pula sedikit presentase nitrogen, belerang, hidrogen, dan mungkin pula oksigen sebagai zat terabsorpsi atau bergabung secara kimia. *Fixed Carbon* merupakan ukuran dan padatan yang dapat terbakar yang masih berada dalam peralatan pembakaran setelah zat-zat mudah menguap yang ada dalam batu bara keluar. Ini adalah salah satu nilai yang digunakan di dalam perhitungan efisiensi peralatan pembakaran.

2. *Ultimate Analysis*

Analysis ultimate dilaksanakan untuk menganalisis nilai komponen yang terkandung di dalam sampel bahan baku setelah torefaksi dilaksanakan untuk menghitung komponen kimia dilaksanakan dengan menggunakan instrument elemental analyzer. Komposisi elemen kimia atau nilai *ultimate* yaitu nilai carbon (C), hydrogen (H), dan oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S) yang didapatkan dari pengukuran selanjutnya digunakan untuk mencari nilai kalor HHV dan LHV, energy yield, mass

yield, analisis Hydrophobic, analisis Torgas, analisis uji Pembakaran (emisi) (Amrul dkk.,2020).

3. Nilai Kalor

Nilai kalor adalah suatu sifat bahan bakar yang menyatakan kandungan energi pada bahan bakar tersebut. Korelasi untuk perhitungan nilai kalor berdasar komposisi dasar telah diberikan oleh beberapa peneliti, diantaranya disajikan dengan dasar hubungan dan asumsi. Kebanyakan hubungan tersebut ditujukan untuk batu bara (Channiwala, 2002).

Nilai kalor bahan bakar adalah besarnya panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar padat. Nilai kalor terdiri atas *High Heating Value* (HHV) dan *Lower Heating Value* (LHV). HHV didefinisikan sebagai 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 juga biasa disebut dengan *Gross Calorific Value*.

Bahan bakar alternatif selain hasil tambang sangat perlu dikembangkan. Bahan bakar tersebut adalah biomassa antara lain limbah pertanian, limbah peternakan dan sampah. Salah satu sifat yang sangat penting dari suatu bahan bakar adalah nilai kalor. Penentuan nilai kalor suatu bahan bakar dapat dilakukan dengan pengujian maupun dengan perkiraan

berdasar komposisi dasar bahan bakar tersebut. Perlu dilakukan pengujian untuk korelasi-korelasi yang sesuai diterapkan pada biomassa.

2.4 Kulit Kopi

Biomassa menjadi salah satu sumber energi yang menjanjikan, sebagai energi alternatif ketergantungan kita terhadap energi fosil. Salah satu biomassa yang tersedia melimpah berasal dari hasil perkebunan yaitu tanaman kopi. Pada proses pengolahan kopi pada umumnya menghasilkan 35% kulit kopi dan 65% biji kopi. Kulit kopi memiliki komposisi dalam bentuk mentah ditunjukkan pada Tabel 2.1.

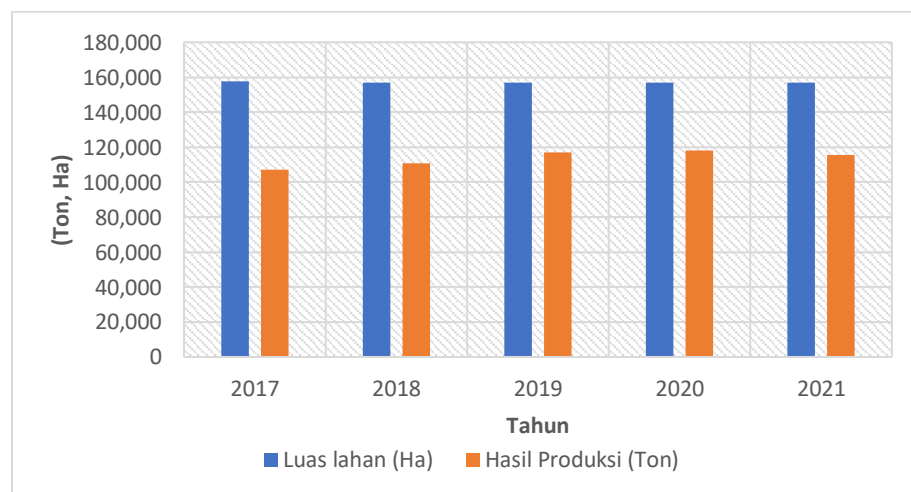
Tabel 2.1 Karakteristik kulit kopi mentah (Priambodo dkk., 2021)

Analisis	Parameter	Persentase (%)
<i>proximate</i>	<i>Moisture</i>	23,35
	<i>Fix Carbon</i>	13,6
	<i>Ash Content</i>	4,83
	<i>Volatile Matter</i>	58,77
Ultimat	Carbon (C)	34,22
	Hidrogen (H)	6,46
	Nitrogen (N)	1,93
	Sulfur (S)	0,0

Potensi limbah yang melimpah harus dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi terbarukan untuk menunjang keberlangsungan energi fosil yang saat

ini semakin menipis, dengan adanya pemanfaatan limbah buah-buahan untuk dijadikan biomassa makan akan dapat membantu mengurangi kelangkaan fosil yang saat ini hampir habis. Dan hasil torefaksi ini pula ramah lingkungan.

Biomassa menjadi salah satu sumber energi yang dapat dikembangkan dan menjanjikan untuk mensubstitusi ketergantungan manusia terhadap energi yang berasal dari fosil. Proses pengolahan kopi dapat menghasilkan 45,61 kulit kopi yang dapat di torefaksi menjadi biomassa. Saat ini kulit kopi hanya dianggap menjadi limbah dan dimanfaatkan hanya sebagai pupuk dan pakan ternak saja.



Gambar 2.6 Grafik potensi kopi Provinsi Lampung 2017-2021

(BPS,2022).

Kulit kopi adalah limbah pertanian yang pemanfaatannya belum optimal. Kulit kopi memiliki nilai kalor yang tinggi, kadar air dan kandungan sulfur yang cukup rendah. Berdasarkan badan pusat statistik dari tahun 2017-2021,

provinsi Lampung memproduksi kopi dengan rata-rata produksi 113.753 ton. Ini produksi kopi di Provinsi Lampung cukup besar dan menghasilkan limbah kulit kopi yang besar pula. Dari total 113.753 ton maka akan menghasilkan 39.813 ton limbah kulit kopi yang dapat di manfaatkan untuk ditorefaksi dan menghasilkan biomassa yang dapat dijadikan energi pengganti fosil.

Saat ini kulit kopi hanya dianggap sebagai limbah yang dibuang atau sekedar digunakan sebagai pupuk tanaman dan pakan ternak. Limbah buah kopi yang tidak terkelola dengan baik akan menimbulkan berbagai dampak buruk bagi lingkungan yang akan berpengaruh bagi kesehatan dan akan menyebabkan polusi pada lingkungan. Kulit kopi merupakan limbah pertanian yang pemanfaatannya belum optimal (Djafar, 2008).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari alat utama dan alat pendukung seperti pada gambar 3.1.

1. Reaktor torefaksi kontinu tipe tubular dengan sistem pemanas *oil Jacket*

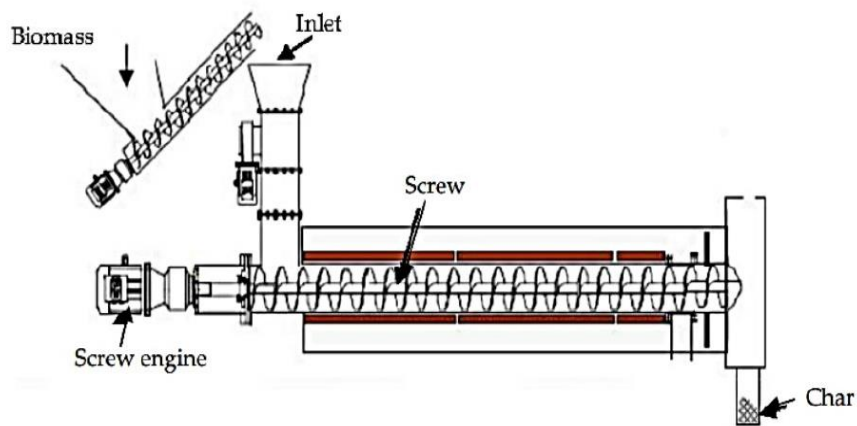


Gambar 3.1 Reaktor torefaksi kontinu tipe tubular dengan sistem pemanas *oil jacket* dari LPG.

Alat utama yang digunakan yaitu: Reaktor Torefaksi dan Peralatan Pendukung. Reaktor yang digunakan adalah tipe tubular dengan sistem pemanas *oil jacket* lengkap dengan 1 unit tabung LPG 12 Kg berikut selang dan regulator, 7 unit termokopel, 1 unit termokopel recorder, 1 unit pompa air berikut selang untuk mengalirkan air sebagai proses pendinginan material produk melalui *cooling char*, 1 unit pematik api, 1 unit timbangan digital, 1 set kabel terminal dan MCB, 1 unit stopwatch dan sarung tangan. Reaktor torefaksi kontinu tipe tubular dengan sistem pemanas *oil jacket* memiliki spesifikasi lengkap seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi reaktor torefaksi kontinu tipe tubular

▪ Reaktor	
○ Diameter Screw	: 195 mm
○ Diameter tabung dalam	: 203,2 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
○ Rasio gear Reducer	: 2 unit @ 1 : 60
▪ Medium Pemanas	
○ Jenis medium pemanas	: <i>Heat Trasfer 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>Liquified 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>



Gambar 3.2 *Layout reaktor tipe tubular.*

2. 12 Channel temperature recorder datalogger

12 Channel temperatur recorder datalogger ditunjukkan pada Gambar 3.3 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 3.3 *12 Channel temperature recorder datalogger.*

3. Limbah kulit kopi

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu limbah kulit kopi ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Limbah kulit kopi.

3.2. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan kulit kopi. Dimana kulit kopi dilakukan perlakuan torefaksi dengan menggunakan tiga variasi temperatur 250°C, 275°C dan 300°C dengan *residence time* adalah 30 menit. Massa dari kulit kopi mentah adalah 1000g. Rancangan penelitian ini dengan mengamati beberapa parameter seperti nilai kalor, *ultimate* dan *proximate*. Berikut merupakan tampilan rancangan penelitian.

3.3. Prosedur pengujian torefaksi

Berikut ini merupakan tahapan proses torefaksi dan pengujian pada biomassa kulit kopi yang akan dilakukan, yaitu:

1. Mempersiapkan bahan atau biomassa kulit kopi yang sudah dicacah sebesar 1000g menggunakan timbangan digital.
2. Mengeringkan kembali biomassa kulit kopi dengan bantuan cahaya matahari.
3. Mempersiapkan alat yang diawali dengan menghubungkan kabel motor penggerak dan pompa air dengan terminal listrik serta menghubungkan regulator gas dengan tabung LPG 12kg dan letakan pada wadah berisi air sirkulasi *cooling char*.
4. Menghidupkan motor penggerak *screw conveyor*, kemudian melakukan *running* pada mesin reaktor untuk mengeluarkan sisa-sisa hasil torefaksi biomassa sebelumnya selama 30 menit.
5. Menyalakan *temperature recorder* dan melakukan kalibrasi dengan cara menghubungkan *temperature recorder* dengan termokopel, kemudian sentuhkan ujung termokopel dengan air dingin dan air hangat lalu menjaga temperatur yang tampilkan pada layar *temperature recorder* hingga stabil.
6. Menghubungkan *temperature recorder* dengan termokopel yang ada pada reaktor untuk membaca temperatur pada setiap bagian reaktor setelah melakukan kalibrasi.
7. Membuka katup gas untuk mengalirkan gas ke saluran *burner* yang ada di sekitar dinding *oil jacket*.
8. Menyalakan api pada saluran *burner* menggunakan pematik api.

9. Mengatur besar bukaan katup saluran gas agar temperatur pada T1, T2, dan T3 mencapai 250°C, kemudian tunggu selama 15 menit sampai temperatur T1, T2, dan T3 stabil.
10. Memasukan kulit kopi secara bertahap dengan massa sebesar 100gr hingga mencapai 300g dengan interval waktu 1 menit guna meminimalisir tersangkutnya kulit kopi di dalam reaktor ketika sudah mencapai temperatur reaktor yang diinginkan.
11. Mengeluarkan kulit kopi setelah melewati *residence time* selama 30 menit dengan cara mendorong pendorong pada *cooling char*, kemudian membuka katup pembuka pada cooling char.
12. Mengukur kembali massa kulit kopi yang sudah mengalami torefaksi menggunakan timbangan digital untuk mengetahui perbandingan massa kulit kopi sebelum mengalami torefaksi dan setelah mengalami torefaksi.
13. Mengulangi kembali proses 9-12 dengan massa yang sama namun pada variasi temperatur 275°C dan 300°C.
14. Menyisihkan kulit kopi hasil proses torefaksi dari setiap variasi temperatur serta kulit kopi mentah untuk dilakukan pengujian nilai kalor, analisis *ultimate*, dan *proximate*.

3.4. Parameter Penelitian

Parameter penelitian menggunakan variabel tetap dan variabel berubah. Hal ini dilakukan untuk dapat mengetahui kondisi proses torefaksi terbaik dengan menggunakan reaktor kontinu tipe tubular. Penelitian ini

menggunakan parameter utama torefaksi yaitu variasi temperatur, parameter utama digunakan untuk mendapatkan parameter temperatur optimal pada proses torefaksi sampel chip. Biomassa yang digunakan adalah kulit kopi yang berukuran kecil.

Analisis yang dilakukan pada penelitian ini untuk mengetahui karakteristik bahan bakar yang diperoleh dari torefaksi adalah pengujian analisis *ultimate* dan analisis *proximate*. Selain itu, dilakukan pengujian nilai kalor pembakaran untuk menunjukkan besar nilai per satuan massa dari masing-masing temperatur. Penelitian ini juga mencangkup seberapa jauh proses torefaksi dapat meningkatkan kualitas sifat-sifat pembakaran dari sampel-sampel pada kondisi *as-received* dengan perhitungan perolehan massa, *ym* (*mass yield*) dan perolehan energinya, *ye* (*energy yield*).

3.5. Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut

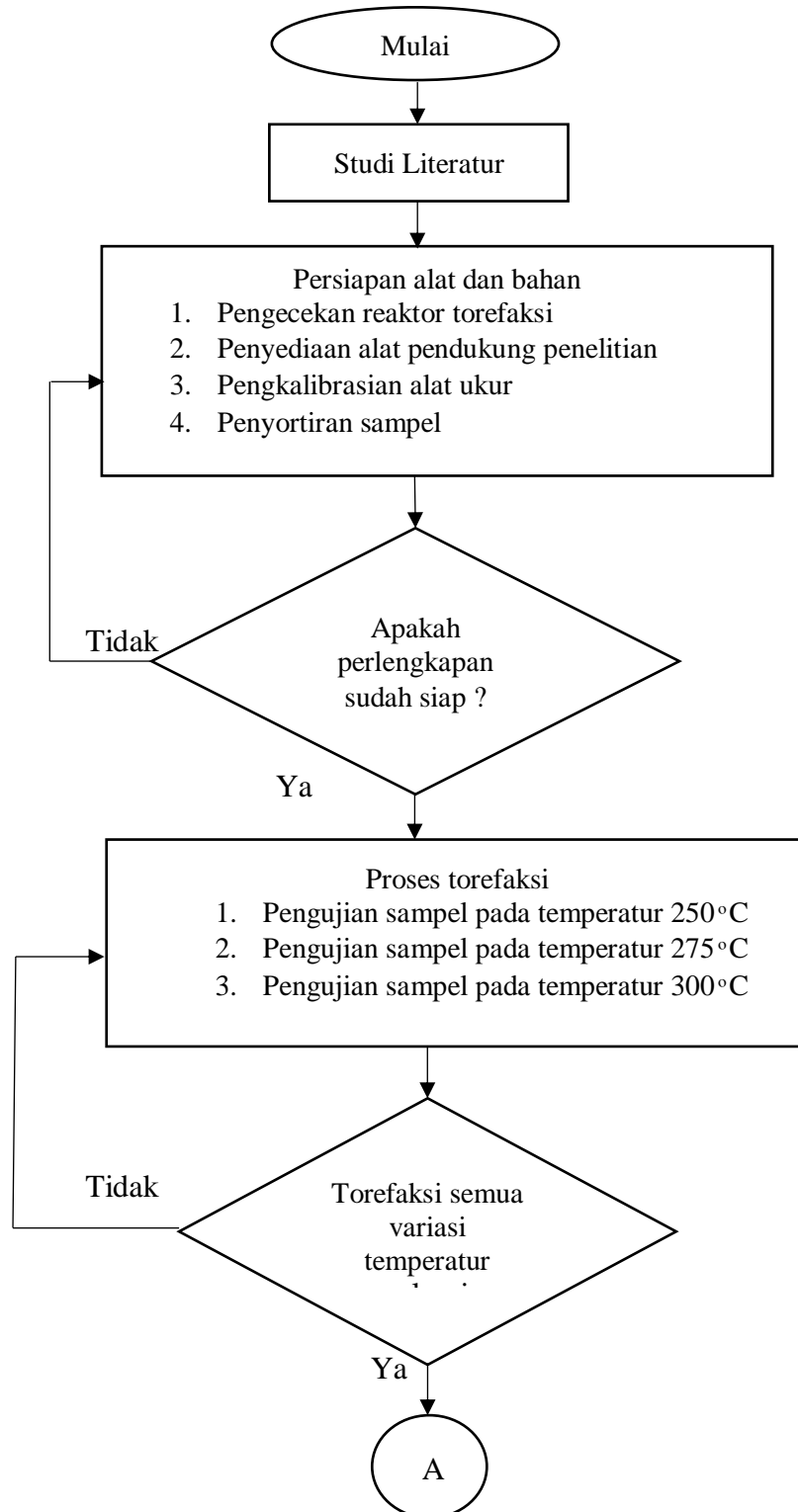
- Studi Literatur: tahapan pertama dalam penelitian ini adalah studi literatur. Dengan mempelajari jurnal, karya tulis tentang torefaksi, biomassa, reaktor torefaksi, mekanisme torefaksi, dan karakteristik bahan bakar padat.
- Persiapan alat torefaksi: persiapan perlengkapan alat-alat utama reaktor dan alat pendukung reaktor torefaksi, dengan melakukan mengganti komponen yang rusak seperti termokopel, karburator dan selang gas,

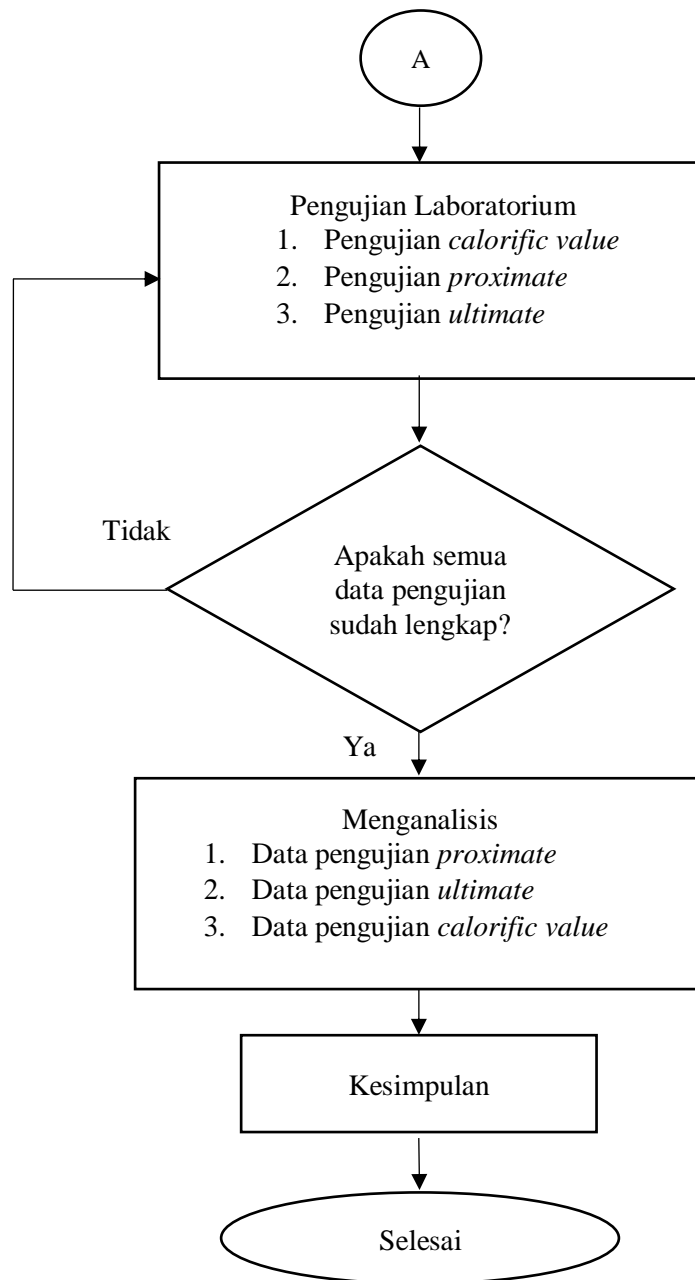
pergantian *hooper* serta membeli peralatan pendukung seperti timbangan, pemantik, sarung tangan dan lain-lain.

- Proses Torefaksi: Pada tahap ini dilakukan pengujian dengan menguji seluruh kulit kopi yang ada dengan beberapa variasi temperatur torefaksi sebesar 250°C, 275°C, dan 300°C.
- Pengujian Laboratorium: setelah kulit kopi dilakukan proses torefaksi dan didapatkan produk hasil torefaksi, kemudian dilakukan pengujian laboratorium dimana kulit kopi mentah dikirim dan produk hasil torefaksi setiap temperatur untuk dilakukan pengujian *Moisture Content*, *Proximate*, pengujian *Ultimate*, dan *Calorific Value*.
- Analisis Hasil Seluruh Pengujian: setelah semua data telah terkumpul, tahapan selanjutnya adalah menganalisis hasil seluruh data pengujian dari hasil laboratorium. Analisis data meliputi analisis *proximate*, analisis *ultimate* dan *Calorific Value*.
- Kesimpulan: Langkah terakhir dari penelitian ini adalah membuat kesimpulan dari hasil penelitian dan dituangkan dalam bentuk laporan tugas akhir.

3.6. Alur Tahapan Penelitian

Berikut merupakan *flowchart* alur penelitian ini





Gambar 3.5 Diagram alur tahapan penelitian.

3.7 Tempat dan waktu penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan di Laboratorium terpadu teknik mesin, tempat pembuangan sampah terpadu (TPST) Universitas Lampung dan bekerja sama dengan Laboratorium Pengujian Pusat Penelitian jurusan teknik kimia fakultas teknik Universitas Lampung, dan laboratorium penelitian jurusan teknologi hasil pertanian (THP). Waktu penelitian dilaksanakan dari bulan februari hingga mei 2023.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Proses torefaksi menggunakan variasi temperatur 250°C, 275°C, dan 300°C dapat meningkatkan nilai kalor kulit kopi. Nilai kalor tertinggi diperoleh pada temperatur 275°C yaitu sebesar 6519 kkal/kg, atau mengalami peningkatan sebesar 45% dari nilai kalor mentah.
2. Proses torefaksi kulit kopi menurunkan kandungan *moisture content* dan *volatile matter*, sementara kandungan *fixed carbon* dan *ash* meningkat. Kandungan fixed carbon tertinggi diperoleh sebesar 35,66% pada temperatur 300°C. Kandungan atom carbon (C) dan nitrogen (N) mengalami kenaikan sedangkan atom hidrogen (H) dan oksigen (O) mengalami penurunan.
3. Kandungan energi tertinggi untuk proses torefaksi kulit kopi diperoleh pada temperatur 275°C, yakni *mass yield* sebesar 51,8%, *energy yield* sebesar 75,11%, dan *energy density* sebesar 1,45 kJ/kg.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan penulis pada penelitian kali ini ialah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukannya pengujian terhadap lignoselulosa untuk mengetahui fenomena perubahan yang terjadi.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh *residance time* terhadap proses torefaksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Amrul, Agus A., Sanjaya I., and Amrizal, 2018, "Experimental Study on Waste Biomass Torrefaction Using a Continuous Tubular Reactor".
- Amrul, Wahyudi R, Irsyad M, 2020. "Karakteristik bahan bakar padat produk torefaksi limbah tandan kosong kelapa sawit menggunakan reaktor torefaksi kontinu tipe tubular".
- Basu, Prabir, 2013. "Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory (Second Edition)".
- Basu, P. (2018). Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction Practical Design and Theory. In R. Zanol (Ed.), Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction (Third). Academic press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812992-0/00014-5>.
- Bridgeman TG, Jones JM, Williams A, Waldron DJ, 2010. "An investigation of the grindability of two torrefied energy crops"..
- Chen Q, Zhou JS, Liu BJ, Mei QF, Luo ZY, 2011. "Influence of torrefaction pretreatment on biomass gasification technology".
- Chen W. H., Lin B. J., Lin H. C. Y. Y., Chu Y. S., Ubando A. T., Show P. L., Ong, Chang J. S., Ho S. H., Culaba A. B., Pétrissans A., Mathieu Pétrissans M, 2021. "Progress in biomass torrefaction: Principles, applications and challenges. Progress in Energy and Combustion Science 82".

- Chen WH, Kuo PC, 2011, "Torrefaction and co-torrefaction characterization of hemicellulose, cellulose and lignin as well as torrefaction of some basic constituents in biomass".
- Cielkosz, D., Wallace, R., 2011. "Review: torrefaction for bioenergy feedstock production". *Biofuels Bioproducts and Biorefining*.
- Deng J, Wang GJ, Kuang JH, Zhang YL, Luo YH, 2009, "Pretreatment of agricultural residues for co-gasification via torrefaction", *J Anal Appl Pyrolysis*.
- Djafar Z, 2008, "Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi Sebagai Bahan Bakar Brikdkkternatif," *Buletin Penelitian*, vol.V, no.1, pp. 13-22.
- Esdm 2021. Keputusan Menteri ESDM No 188.K/HK.02/MEM.L/2021
- Gul S, Ramzan N, Hanif MA, Bano S. Kinetic, 2017, "volatile release modeling and optimization of torrefaction". *J Anal Appl Pyrolysis*.
- Haykiri-Acma H, Yaman S, Kucukbayrak S. Ieee, 2016, "Combustion characteristics of torrefied biomass materials to generate power. The 4th Ieee international conference on Smart energy grid Engineering (Sege)".
- Idris, Siti Shawalliah., Zailan, Muhammad Izwadi., Azron, Nabihah., dan Rahman, Norazah Abd. 2021. "*Sustainable Green Charcoal Briquette from Food Waste via Microwave Pyrolysis Technique: Influence of Type and Concentration of Binders on Chemical and Physical Characteristics*", *Int. Journal of Renewable Energy Development*.
- Niu, dkk. 2019." *Biomass torrefaction: properties, applications, challenges, and economy*". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

- Ong, H. C., Yu, K. L., Chen, W. H., Pillejera, M. K., Bi, X., Tran, K. Q., ... & Pétrissans, M. (2021). Variation of lignocellulosic biomass structure fr̀om torrefaction: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 152, 111698.
- Priambodo, dkk. 2020."Kajian Komposisi Lignin dan Selulosa dari Limbah Kayu dari Dekortisasi Rami dan Cangkang Kulit Kopi Untuk Proses Garisifikasi Downdraft". *Jurnal energi dan lingkungan* vol 16, No 1.
- Rasid, Abdul., Thaim, Mohd., Ismail, W., 2019. "Biomass Gasification of Oil Palm Fronds (OPF) and *Koompassia Malaccanesis* (Kempas) In an Entrained Flow Gasifier : A Performance Study".
- Sukandarrumidi, 2006, "Batu bara dan Pemanfaatannya". Penerbit Gadjah Mada University Press.Cetakan, Ke-1, Yogyakarta.
- Tumuluru, S., Cristopher T., Richad Hess,. Kenney. 2011. "A Review of Biomass Densification System to Develop Uniform Feedstock Commodities For Bioenergy Application". Idaho National Laboratory, Idahi Falls, ID, USA.
- Whardana Indra, Eka Ruriani, Ahmad nafi, 2019, "Karakteristik Kulit Kopi Robusta Hasil Samping Pengolahan Metode Kering Dari Perkebunan Kopi rakyat di Jawa Timur". Universitas Jember, Jember.
- Yulianto, T., Febryano, I. G., Iryani, D. A., Haryanto, A., Hasanudin, U., & Hidayat, W. (2020). Perubahan Sifat Fisis Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit Hasil Torefaksi. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 9(2), 104-111.