

**PENGARUH VARIASI UKURAN SAMPEL TONGKOL JAGUNG
PADA TOREFAKSI MENGGUNAKAN REAKTOR TOREFAKSI
KONTINU TIPE TUBULAR SISTEM *OIL JACKET***

(Skripsi)

Oleh:

**RISKY M. DESNAL
NPM. 1915021001**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2024

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI UKURAN SAMPEL TONGKOL JAGUNG PADA TOREFAKSI MENGGUNAKAN REAKTOR TOREFAKSI KONTINU TIPE TUBULAR SISTEM *OIL JACKET*

Oleh:

Risky M. Desnal

Penggunaan biomassa sebagai bahan bakar padat dapat meningkatkan ketahanan energi suatu negara dan mendorong pembangunan berkelanjutan. Namun, penggunaan biomassa harus diimbangi dengan pengelolaan sumber daya yang baik dan strategi, untuk pengembangan energi terbarukan yang berkelanjutan, menjaga kelestarian sumber daya dan mengurangi dampak lingkungan. Tongkol jagung merupakan limbah pertanian yang berpotensi untuk diolah menjadi bahan bakar alternatif karena ketersediaannya yang melimpah. Mengoptimalkan pemanfaatannya perlu dilakukan proses torefaksi untuk meningkatkan karakteristik tongkol jagung agar mendekati karakteristik batubara. Salah satu variabel dari proses torefaksi adalah ukuran dari sampel mentah. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan ukuran produk biomassa tongkol jagung berupa bongkahan, cacah, dan serbuk dengan temperatur 275°C dan waktu tinggal selama 30 menit. Peralatan yang digunakan yaitu reaktor torefaksi tipe kontinu tubular sistem *oil jacket* dengan pemanas LPG. Hasil penelitian ini dapat meningkatkan nilai kalor tongkol jagung mentah. Nilai kalor tertinggi terdapat pada ukuran cacah sebesar 6445,51 kkal/kg mengalami kenaikan sebesar 32,5% dari nilai kalor tongkol jagung mentah. 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 tongkol jagung tertorefaksi dari ketiga ukuran bongkahan, cacah, dan serbuk didapatkan yang terbesar pada ukuran cacah sebesar 83,6%.

Kata Kunci: Biomassa, Torefaksi, Tongkol Jagung, Nilai Kalor

ABSTRACT***EFFECT OF VARIATION IN CORN COB SAMPLE SIZE
IN TOREFACTION USING THE TOREFACTION REACTOR
CONTINUOUS TYPE TUBULAR SYSTEM OIL JACKET***

By:

Risky M. Desnal

The use of biomass as a solid fuel can enhance a country's energy resilience and promote sustainable development. However, biomass utilization must be balanced with good resource management and strategies for sustainable renewable energy development, maintaining resource sustainability, and reducing environmental impacts. Corn cobs are agricultural waste with potential for processing into alternative fuel due to their abundant availability. Optimizing their utilization requires torrefaction processes to enhance corn cob characteristics to approach those of coal. One variable in the torrefaction process is the size of the raw sample. This study varied the size of corn cob biomass products, including chunks, chips, and powder, at a temperature of 275°C and a residence time of 30 minutes. The equipment used was a continuous tubular torrefaction reactor system with an oil jacket heater fueled by LPG. The results of this study show an increase in the calorific value of raw corn cobs. The highest calorific value was found in the chip size at 6445.51 kcal/kg, representing a 32.5% increase from the calorific value of raw corn cobs. The torrefaction process reduced the percentage of moisture content and volatile matter; increased the percentage of fixed carbon and ash. Mass yield decreased linearly with increasing torrefaction temperature. Energy yield stored in torrefied corn cobs of all three sizes chunks, chips, and powder was highest for the chip size at 83.6%.

Key words: Biomass, Torrefaction, Corn Cobs, Calorific Value.

**PENGARUH VARIASI UKURAN SAMPEL TONGKOL JAGUNG
PADA TOREFAKSI MENGGUNAKAN REAKTOR TOREFAKSI
KONTINU TIPE TUBULAR SISTEM *OIL JACKET***

Oleh:

**RISKY M. DESNAL
NPM. 1915021001**

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

2024

Judul Skripsi : **PENGARUH VARIASI UKURAN SAMPEL
TONGKOL JAGUNG PADA TOREFAKSI
MENGUNAKAN REAKTOR TOREFAKSI
KONTINU TIPE TUBULAR SISTEM *OIL
JACKET*.**

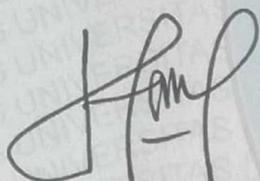
Nama Mahasiswa : Risky M. Desnal

Nomor Pokok Mahasiswa : 1915021001

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI
Komisi Pembimbing



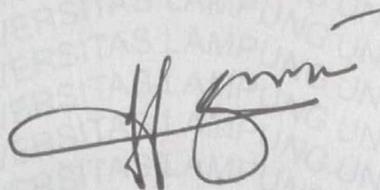
Dr. Harmen, S.T., M.T.
Nip.196906202000031001



Dr. Amrul, S.T., M.T.
Nip.197103311999031003

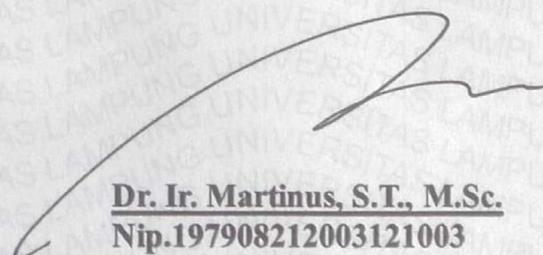
MENGETAHUI

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., PhD.
Nip.197108171998021003

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

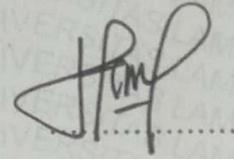


Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.
Nip.197908212003121003

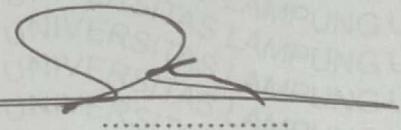
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji :

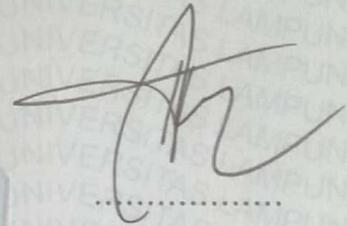
Ketua : **Dr. Harmen, S.T., M.T.**



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



Penguji Utama : **Amrizal, S.T., M.T., Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Si

Nip.1975092820061121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **07 Februari 2024**

LEMBAR PERNYATAAN

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

Bandar Lampung, 7 Februari 2024



Risky M. Desnal
Npm. 1915021001

MOTTO HIDUP

“Allah akan mengangkat derajat orang-orang yang beriman dan orang-orang yang berilmu diantara kamu sekalian”

(Q.s AL-Mujadilah;11)

“Tuntutlah Ilmu. Di saat kamu miskin, ia akan menjadi hartamu. Di saat kamu kaya, ia akan menjadi perhiasanmu”

(Luqman Al-Hakim)

“Jangan Pernah Menyerah Atau Bersiaplah Untuk kehancuran”

(Miya MLBB)

“Tidak Ada Keberhasilan Tanpa Rasa Sakit”

(Gatot Kaca MLBB)

“Keberuntungan Berpihak kepada yang berani”

(Ling MLBB)

“Guru adalah siapa saja yang mengajariku walau sehuruf. Maka, berakhlaklah pada siapapun, karena bisa jadi dia gurumu yang tidak kamu sadari”

(Husein Ja'far Al Hadar)

SANWACANA

Assalāmu ‘alaykum waraḥmatullāhi wabarakātuh.

Alhamdulillahahirabbil’alamiin puji syukur kehadiran Allah SWT. atas berkat rahmat, hidayah serta karunia-Nya dan tak lupa pula sholawat serta salam selalu tcurahkan kepada Nabi besar Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan judul “Pengaruh Variasi Ukuran Pada Torefaksi Sampel Tongkol Jagung Menggunakan Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular Sistem *Oil Jacket*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Si. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., MT. Selaku Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kerja Sama, Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., PhD. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. Selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Harmen, S.T., M.T. Selaku Pembimbing pertama atas kesediaannya membimbing dan memberi masukan dalam menyelesaikan skripsi, serta memberikan banyak motivasi dan semangat kepada penulis.
6. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T. Selaku Pembimbing pendamping yang telah membimbing dan memberikan saran kepada penulis sebelum, saat, dan setelah penelitian hingga skripsi ini selesai disusun.
7. Bapak Amrizal, S.T., M.T., PhD. Selaku Pembahas atas kesediaan memberikan arahan, koreksi, saran dan kritik untuk pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi ini.

8. Bapak Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., PhD. Selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dan nasehat selama perkuliahan.
9. Bapak Hadi Prayitno, S.T., M.T. Selaku Dosen Torefaksi yang telah memberikan masukan-masukan selama proses torefaksi.
10. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis.
11. Seluruh karyawan dan Staf Jurusan Teknik Mesin khususnya Mas Marta dan Mas Salam atas bantuan-bantuannya selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
12. Kedua orang tua penulis, Bapak Nurdin dan Ibu Yulyanti yang telah memberikan kasih sayang, selalu memberikan do'a tulus ikhlas serta dukungan moril dan materil bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
13. Kedua Saudara Penulis Oky Sanjaya S.pd dan Yuliansyah S.T, terima kasih atas nasehat, doa, motivasi serta sabar menunggu penulis hingga dapat menyelesaikan studi.
14. Cintia kanisha, yang terus memberikan semangat sekaligus dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
15. Tim torefaksi dan teman-teman angkatan 2019, terima kasih atas kekeluargaanya yang telah terjalin selama ini, salam SOLIDARITY M FOREVER.
16. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT. Senantiasa membalas semua kebaikan-kebaikan yang telah kalian berikan. Akhir kata, penulis memohon maaf kepada semua pihak apabila skripsi ini masih terdapat kesalahan dan kekeliruan, semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat sebagaimana mestinya, Aamiin.

Bandar Lampung, Februari 2024



Risky M. Desnal
Npm. 1915021001

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sanggi Kecamatan Bandar Negeri Semuong, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung pada tanggal 29 Desember 2000, sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara, putra dari Bapak Nurdin dan Ibu Yulyanti.

Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Negeri 1 Sanggi, Kecamatan Bandar Negeri Semuong, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung pada tahun 2007-2013. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan menengah pertama di MTS Negeri 1 Tanggamus pada tahun 2013-2016. Penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 2 Kota Agung pada tahun 2016-2019. Pada Tahun 2019, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik (FT) Universitas Lampung (UNILA) melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan melaksanakan kuliah di perguruan tinggi hingga meraih gelar Sarjana Teknik pada tahun 2024.

Selama menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Mesin FT UNILA, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) FT UNILA sebagai Anggota Muda Baru periode 2019-2020, Anggota Bidang Kaderisai pada periode 2020–2021, dan Anggota Bidang Advokasi 2021-2022. Selain itu, penulis juga aktif dalam organisasi Eksternal Kampus Himpunan Mahasiswa Islam (HMI) sebagai Wakil Sekretaris Bidang P3A Priode 2022-2023 dan Ikatan Mahasiswa Bandar Negeri Semuong (IKAM BNS) sebagai Kepala Bidang Kajian Dan Strategis Periode 2020-2021 dan Ketua Umum Ikatan Mahasiswa Bandar Negeri Semuong Priode 2021-2022. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Bandar Kejadian, Kecamatan Wonosobo, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung, sejak bulan januari tahun 2022. Penulis melaksanakan Kerja

Praktik di PT. Bukit Asam. PLTU Unit Pelabuhan Tarahan 2x8 MW. Jl. Soerkarno Hatta KM. 15, Tarahan, Srengsem, Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung, Lampung. dengan judul laporan “**ANALISIS PENGARUH VARIASI BEBAN GENERATOR TERHADAP EFISIENSI *BOILER CIRCULATING FLUDIZED BED* (CFB) DI PT. BUKIT ASAM TBK. PLTU UNIT PELABUHAN TARAHAN 2X8 MW**” Pada tanggal 05 September- 05 Oktober tahun 2022.

Tahun 2023 penulis mulai melakukan penelitian “**PENGARUH VARIASI UKURAN SAMPEL TONGKOL JAGUNG PADA TOREFAKSI MENGGUNAKAN REAKTOR TOREFAKSI KONTINU TIPE TUBULAR SISTEM OIL JACKET**” dibawah bimbingan Bapak Dr. Harmen, S.T., M.T., selaku Pembimbing utama dan Dr. Amrul, S.T., M.T., sebagai pembimbing pendamping.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
MOTTO HIDUP	viii
SANWACANA	ix
RIWAYAT HIDUP	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Biomassa.....	6
2.2. Konversi Termal Biomassa	7
2.3. Torefaksi.....	8
2.4. Karakteristik Bahan Bakar Padat	15
2.5. Emisi Gas Buang Hasil Pembakaran.....	17
BAB III METODELOGI PENELITIAN	
3.1. Alat dan Bahan.....	19
3.2. Rancangan Penelitian	23
3.3. Prosedur Pengujian Torefaksi.....	24
3.4. Parameter Penelitian	25
3.5. Tahapan Penelitian.....	26
3.6. Alur Tahapan Penelitian	27
3.7. Tempat dan Waktu Penelitian.....	29

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Tampak Visual Biomassa	30
4.2. Nilai Kalor.....	32
4.3. Hasil <i>Analysis Proximate</i>	33
4.4. Hasil <i>Analysis Ulimite</i>	35
4.5. <i>Mass yield</i> dan <i>Energy yield</i>	37
4.6. <i>Energy Density</i>	38
4.7. Rasio O/C dan H/C.....	39
4.8. Pengaruh ukuran sampel tongkol jagung hasil torefaksi.....	41

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	44
5.2. Saran.....	45

DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN**

DAFTAR GAMBAR

Gambar:	Halaman
Gambar 2.1. Rasio O/C dan H/C Produk torefaksi tandan kosong kelapa sawit mendekati batubara	9
Gambar 2.2. <i>Psycochemical</i> biomassa saat torefaksi	11
Gambar 2.3. Reaktor Tipe Tubular Jenis <i>Screw Reactor</i>	14
Gambar 3.1. Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular dengan Sistem pemanas <i>Oil Jacket</i> dari LPG	19
Gambar 3.2. <i>12 Channel Temperature Recorder Data Logger</i>	21
Gambar 3.3. Timbangan digital	21
Gambar 3.4. Belender Grinder VS-1861	22
Gambar 3.5. Ayakan <i>40 Mesh</i>	22
Gambar 3.6. Sampel mentah tongkol jagung bongkahan, cacah, dan serbuk	23
Gambar 3.7. Diagram alur tahapan penelitian	27
Gambar 4.1. Tampak visual biomassa tongkol jagung mentah dan sudah ditorefaksi dengan variasi ukuran	31
Gambar 4.2. Grafik nilai kalor produk torefaksi tongkol jagung	32
Gambar 4.3. Plot klasifikas nilai kalor pada torefaksi tongkol jagung	33
Gambar 4.4. Grafik hasil nilai <i>proximate</i> produk torefaksi tongkol jagung	34
Gambar 4.5. Grafik uji <i>ultimate</i> produk torefaksi tongkol jagung	36
Gambar 4.6. Grafik perolehan <i>mass yield</i> dan <i>energy yield</i>	37
Gambar 4.7. Grafik <i>Energi Density</i> sampel tongkol jagung	38
Gambar 4.8. Diagram <i>Van Krevelen</i>	40

DAFTAR TABEL

Tabel:	Halaman
Tabel 3.1. Spesifikasi Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular.....	20
Tabel 4.1. Rasio O/C dan Rasio H/C.....	39

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sebagai negara agraris yang besar, Indonesia kaya akan energi biomassa. Salah satu potensi sumber energi biomassa di Indonesia adalah sisa-sisa pertanian seperti sekam padi, jerami, ampas tebu, batang, dan tongkol jagung, serta limbah pertanian atau perkebunan lainnya (Kurniawan dan Sari., 2018). Energi biomassa adalah sumber energi alternatif yang terbarukan, ramah lingkungan dan ekonomis untuk melindungi lingkungan dan mencegah risiko kesehatan (Hidayat dkk., 2020). Salah satu sumber energi terbarukan adalah biomassa. Biomassa biasanya digunakan sebagai bahan bakar padat yang memiliki nilai ekonomis rendah atau terbuang sia-sia setelah produk utamanya diambil. Biomassa diperoleh dari limbah pertanian dan kehutanan merupakan bahan yang tidak berguna tetapi dapat digunakan sebagai sumber energi bahan bakar alternatif (Anggraini dan Saad., 2020).

Torefaksi adalah proses termokimia yang digunakan untuk meningkatkan nilai kalor biomassa dan mengurangi kelemahan biomassa tersebut, seperti nilai kalor dan densitas energi yang rendah, efisiensi pembakaran yang rendah, dan energi penggilingan yang tinggi. Efisiensi pembakaran rendah dan energi penggilingan tinggi. Penyanraian memiliki potensi besar untuk meningkatkan daya saing biomassa sebagai sumber energi yang dapat diregenerasi dengan proses termal menggunakan gas inert atau nitrogen pada suhu rendah sekitar 200–300°C. Keuntungan dari proses ini adalah nilai kalor tinggi, O/C tinggi, rasio atom H/C tinggi, kadar air rendah, dan tahan air atau hidrofobitas (Thaim dan Rasid., 2016).

Di Indonesia, jagung merupakan salah satu tanaman pangan yang cukup penting dan luas. Selain dimanfaatkan sebagai bahan pangan, jagung juga memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai bahan bakar padat biomassa. Potensi ini dapat dimanfaatkan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang semakin langka dan mahal, dan membantu mengurangi tekanan terhadap hutan dan lingkungan (Kurniawan dan Sari, 2018). Tongkol jagung merupakan limbah pertanian yang berpotensi untuk diolah menjadi bahan bakar alternatif karena ketersediaannya yang melimpah namun belum optimal pemanfaatannya (Suherman dkk., 2016).

Menurut Kementerian Pertanian, potensi peningkatan produksi jagung dalam negeri cukup besar. Salah satunya adalah pemanfaatan lahan kering yang tidak optimal. Hanya 19 persen lahan yang telah digunakan sejauh ini. Berdasarkan data perkiraan Kementerian Pertanian dan BPS, Januari hingga Desember 2021 luas panen jagung nasional mencapai 4,15 juta hektar dengan hasil bersih 15,79 juta ton dan kadar air 14% (BPS., 2021). Menurut *Food and Agriculture Organization* (FAO), produksi jagung Indonesia akan mencapai 22,5 juta ton pada tahun 2020. Dibandingkan dengan 22,58 juta ton pada tahun sebelumnya, angka ini turun 0,38%.

Pengembangan penggunaan jagung sebagai bahan bakar padat biomassa di Indonesia memiliki beberapa keuntungan, dimana keuntungan tersebut antara lain dapat membuka lapangan kerja baru dan meningkatkan perekonomian lokal. Selain itu, penggunaan bahan bakar padat biomassa dari limbah tanaman jagung dapat membantu mengurangi polusi udara karena emisi yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar solar (Putra dan Setyawan, 2019). Namun, pengembangan penggunaan jagung sebagai bahan bakar padat biomassa di Indonesia masih perlu diupayakan lebih lanjut. Diperlukan peningkatan teknologi pengolahan dan pembakaran yang efisien, serta pengaturan kebijakan yang mendukung penggunaan bahan bakar padat *alternative*, untuk mengoptimalkan penggunaan jagung sebagai bahan bakar padat biomassa (Suherman dkk., 2016).

Dari pengamatan lapangan, biomassa merupakan sumber energi alternatif yang cukup melimpah, dan melalui torefaksi kualitas biomassa yang dibakar sebagai bahan bakar akan lebih baik. Berdasarkan hal tersebut, penulis tertarik untuk mempelajari pengaruh ukuran bahan bakar padat melalui proses torefaksi biomassa sampel tongkol jagung dengan memvariasikan ukuran sampel tongkol jagung berupa ukuran bongkahan, cacah, dan serbuk, sehingga menjanjikan sebagai alternatif sumber energi baru terbarukan, untuk mencegah penggunaan bahan bakar fosil yang berkelanjutan.

1.2. Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang di atas, maka pokok permasalahan yang diambil dari penelitian ini adalah bagaimana mengetahui pengaruh variasi ukuran sampel tongkol jagung terhadap bahan bakar padat produk torefaksi dengan variasi ukuran bongkahan, cacah dan serbuk, berupa nilai kalor, *proximate analysis*, *ultimate analysis*, *mass yield*, *energy yield* dan *energy density* ?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian torefaksi tongkol jagung dengan variasi ukuran bongkahan, cacah dan serbuk adalah sebagai berikut:

- 1) Mengetahui perubahan nilai kalor pada bahan bakar padat produk torefaksi tongkol jagung variasi ukuran.
- 2) Mengetahui hasil *proximate analysis*, *ultimate analysis* pada bahan bakar padat produk torefaksi tongkol jagung.
- 3) Mengetahui nilai *mass yield*, *energy yield*, dan *energy density* yang tersimpan pada bahan bakar padat produk torefaksi tongkol jagung.

1.4. Batasan Masalah

Agar penelitian pengaruh ukuran pembakaran produk torefaksi lebih terfokus dan dapat mencapai tujuan yang telah ditetapkan, berikut adalah beberapa batasan masalah dari penelitian ini:

- 1) Penelitian ini menggunakan biomassa tongkol jagung dengan ukuran atau bentuk yang berbeda.
- 2) Proses torefaksi tongkol jagung dilakukan menggunakan reaktor torefaksi kontinu tipe tubular dengan sistem pemanas *oil jacket*.
- 3) Parameter utama penelitian ini adalah variasi ukuran bongkahan, cacah dan serbuk dengan temperatur yang sama sebesar 275°C.
- 4) Parameter waktu tinggal selama 30 menit pada bahan bakar padat produk torefaksi biomassa tongkol jagung.

1.5. Sistematika Penulisan

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

I. PENDAHULUAN

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

II. TINJAUAN PUSTAKA

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

III. METODE PENELITIAN

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

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

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

V. PENUTUP

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

DAFTAR PUSTAKA

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

LAMPIRAN

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biomassa

Secara umum biomassa merupakan bahan yang diperoleh dari tanaman secara langsung maupun tidak langsung, biomassa 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). Bahan bakar biomassa yang digunakan umumnya bernilai ekonomis rendah atau merupakan limbah yang diambil produk primernya (Parinduri, 2020).

Penggunaan global biomassa sebagai bahan bakar padat meningkat dari 56,3 *exajoule* (EJ) pada tahun 2000 menjadi 65,7 EJ pada tahun 2018, menurut laporan Badan Energi Internasional (IEA). Peningkatan ini disebabkan meningkatnya penggunaan biomassa di sektor energi, terutama di negara-negara berkembang dengan keterbatasan akses bahan bakar fosil (IEA 2020). Penggunaan biomassa sebagai bahan bakar padat dapat meningkatkan ketahanan energi dan mendorong pembangunan berkelanjutan. Namun, penggunaan biomassa harus diimbangi dengan pengelolaan sumber daya yang baik dan strategi. Agar pengembangan energi terbarukan yang berkelanjutan dapat menjaga kelestarian sumber daya, mengurangi dampak pencemaran lingkungan sehingga dapat meningkatkan ketahanan energi dan mendorong pembangunan berkelanjutan (Sahoo dan Mahapatra, 2019).

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).

2.2. Konversi Termal Biomassa

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

1) Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi eksotermik antara oksigen dan komponen hidrokarbon dalam biomassa dan menghasilkan dua komponen stabil yaitu H_2O dan CO_2 (Basu, 2018).

2) 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 di atas $300-650^{\circ}C$. 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).

3) Torefaksi

Torefaksi dianggap sebagai pemanfaatan yang efektif dari biomassa sebagai bahan bakar padat yang bersih dan mudah. Pada torefaksi,

biomassa dipanaskan secara lambat dengan sedikit sekali sampai tanpa oksigen pada temperatur 200-300°C. Proses ini mengubah struktur dari hidrokarbon biomassa dan meningkatkan kandungan karbon dan mengurangi kandungan oksigen dan hidrogennya. Torefaksi juga meningkatkan densitas energi dan membuatnya hidrofobis. Sifat ini meningkatkan nilai komersil kayu untuk produksi dan pemindahan energi.

4) Gasifikasi

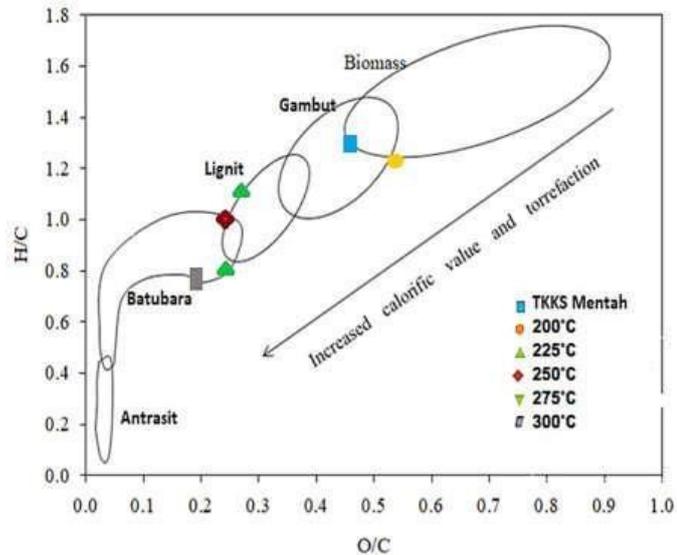
Gasifikasi mengubah bahan bakar fosil atau nonfosil (padat, cair, atau gas) menjadi gas yang berguna. Untuk reaksi gasifikasi dibutuhkan media, yang bisa gas, uap, atau air subkritis atau superkritis, media gas meliputi udara, oksigen, atau campurannya (Basu, 2018).

5) 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.

2.3. Torefaksi

Torefaksi merupakan salah satu proses termokimia yang saat ini tengah banyak digunakan untuk meningkatkan nilai kalor dari biomassa dan menurunkan kelemahan dari biomassa tersebut seperti rendahnya nilai kalor dan densitas energi, efisiensi pembakaran rendah dan energi penggilingan yang tinggi. Torefaksi umumnya dilakukan pada rentang suhu 200-300 °C dengan penahanan suhu 30-60 menit pada kondisi *inert* dan tekanan sesuai atmosfer lingkungan (Suastika dkk., 2019). Pada Gambar 2.1 berikut merupakan perolehan rasio O/C dan H/C produk torefaksi tandan kosong kelapa sawit mendekati batubara yang dilakukan oleh (Wahyudi dkk., 2020)



Gambar 2.1 Rasio O/C dan H/C produk torefaksi tandan kosong kelapa sawit mendekati batubara (Wahyudi., dkk 2020).

Pada Gambar 2.1. ini sesuai dengan teori yang mengatakan bahwa semakin kecil perbandingan O/C dan H/C maka intensitas energi yang terkandung dalam biomassa akan semakin besar. Selain itu dengan perbandingan O/C dan H/C yang lebih kecil dari biomassa yang tidak di torefaksi akan menyebabkan produk padatan hasil torefaksi memiliki nilai kalor per massa yang lebih tinggi, semakin kecil nilai O/C maka biomassa dipastikan memiliki nilai kalor yang tinggi, begitu sebaliknya jika nilai O/C besar maka nilai kalor yang terdapat pada biomassa kecil, sedangkan jika semakin kecil nilai H/C maka biomassa memiliki sifat yang semakin lunak (Wahyudi dkk., 2020).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Schmidt dkk., 2017), torefaksi dapat meningkatkan nilai kalor biomassa hingga 20-30%, sementara emisi karbon dan buangan gas dapat berkurang hingga 90%. Selain itu, penerapan torefaksi dapat meningkatkan keberlanjutan sumber daya dan mengurangi dampak lingkungan dari penggunaan bahan bakar fosil. Pemanasan biomassa dalam proses torefaksi dapat meningkatkan kualitas bahan bakar padat yang dihasilkan.

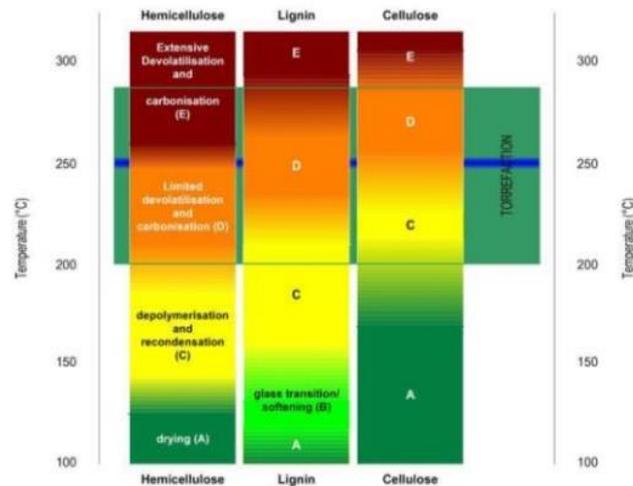
1) Mekanisme Torefaksi

Tahapan awal torefaksi adalah pemanasan yang bertujuan untuk menghilangkan kadar air pada permukaan biomassa (*surface moisture*). Air akan lepas dari ikatan dengan reaksi kimia (*inherent moisture*). Air tersebut dihasilkan dari proses termokondensasi pada temperatur 160°C. Reaksi eksotermik akan terjadi pada temperatur 180-270°C, dan hemiselulosa mulai terdekomposisi. Proses dekomposisi menghancurkan ikatan rantai pada polimer hemiselulosa, gugus hidroksil (OH-) dan beberapa gugus lainnya. Proses dekomposisi ini akan menyebabkan perubahan warna pada biomassa dan lepasnya air, CO₂, asam asetat, fenol, dan *volatile matter* lainnya. Pada temperatur di atas 280°C produksi CO₂, asam asetat, fenol, dan hidrokarbon akan meningkat, keseluruhan proses akan menjadi eksotermik. Pada akhir proses torefaksi akan terbentuk padatan yang memiliki struktur polimer yang lebih pendek dan lebih sederhana dibandingkan sebelum ditorefaksi (Apriyanto dkk., 2019).

Konsep dari torefaksi adalah menghilangkan volatil dan mengkarbonisasi polimer biomassa pada temperatur 200-300°C. Akan tetapi, dekomposisi polimer biomassa secara sempurna tidak selalu terjadi pada suhu torefaksi 200-300°C. Setiap polimer terdegradasi pada temperatur yang berbeda (Rasid dkk., 2019) menjabarkan rentang temperatur dari polimer biomassa mengalami dekomposisi yakni:

- a) Hemisellulosa: 225-300°C
- b) Sellulosa: 305-375°C
- c) Lignin: 250-500°C

Perubahan termokimia biomassa saat torefaksi terbagi menjadi lima tahapan yang dijelaskan pada Gambar 2.2 oleh Bergman pada buku (Basu, 2018), yaitu sebagai berikut:



Gambar 2.2. *Psychochemical* biomassa saat torefaksi
(Bergman dalam Basu, 2018)

Adapun penjelasan dari (Gambar 2.2) di atas sebagai berikut:

- a) *Regime A* (50-120°C), tahap ini merupakan tahap pengeringan non-reaktif, dimana pada tahap ini biomassa kehilangan kadar air tetapi tidak ada perubahan dalam komposisi kimianya.
- b) *Regime B* (120-150°C), tahap ini lignin pada biomassa mengalami pelunakan.
- c) *Regime C* (150-200°C), tahap ini disebut dengan pengeringan reaktif yang menghasilkan perubahan struktur biomassa. Perubahan struktur tidak dapat diperoleh kembali setelah dilakukan pendinginan. Tahapan ini mulai melakukan pemutusan ikatan karbon hidrogen dengan karbon dan hemiselulosa mengalami depolimerisasi. Tahap ini menghasilkan ikatan polimer yang lebih pendek dengan struktur yang padat.
- d) *Regime D* (200-250°C), tahap ini dan tahapan berikutnya merupakan rentang torefaksi untuk kandungan hemiselulosa. Devolatilisasi dan karbonisasi terbatas pada struktur padatan regime C terjadi pada tahapan ini. Regime D menghasilkan pemecahan sebagian besar ikatan antar hidrogen, CC, dan CO sehingga membentuk cairan yang terkondensasi dan gas yang tidak dapat terkondensasi.

- e) *Regime E* (250-300°C), ini merupakan bagian tertinggi dari proses torefaksi. Dekomposisi menyeluruh dari hemiselulosa menjadi zat volatil dan produk padat terjadi pada tahap ini. Lignin dan Selulosa mengalami devolatilisasi dan karbonisasi dengan jumlah terbatas. Struktur pada sel biomassa mengalami kerapuhan dan tidak berserat.

2) Kualitas Produk Torefaksi

Kualitas produk torefaksi tidak hanya dengan berkurang massa produk torefaksi. Pengurangan massa yang terlalu ekstrim dapat juga menurunkan kepadatan energi dari produk torefaksi. Menurut Basu (2018), kualitas produk torefaksi diidentifikasi dengan beberapa parameter yaitu:

- 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* dapat dihitung menggunakan persamaan :

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

Di mana m adalah massa biomassa, *subscript tor* adalah biomassa tertorefaksi, dan *subscript raw* berarti biomassa mentah.

- b) *Energy Yield* (EY) merupakan fraksi energi dalam biomassa produk torefaksi. *Energy yield* menentukan komponen energi yang tetap berada dalam biomassa setelah komponen tanpa hilang selama torefaksi. *Energy yield* memberikan nilai kuantitatif dari energi pada biomassa setelah torefaksi, didefinisikan sebagai:

$$\text{Energy Yield (EY)} = \frac{HHV_{torrefied\ product}}{HHV_{raw\ biomass}} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Energy yield dapat dihitung dalam bentuk nilai kalor biomassa sebelum dan sesudah torefaksi, HHV adalah nilai panas tinggi (KJ/kg), *subscript tor* berarti biomassa tertorefaksi, dan *subscript raw* berarti biomassa mentah.

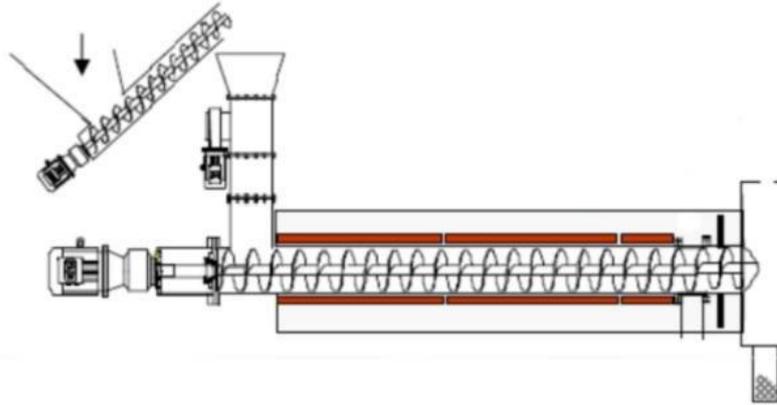
c) *Energy Density* merupakan parameter lain dari produk torefaksi. Parameter ini memberikan jumlah energi yang dilepaskan ketika satuan massa produk dibakar. *Energy density* dikenal dengan istilah nilai kalor atau HHV (*Highest Heating Value*). *Energy Density* dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$Energy\ Density = \frac{Energy\ Yield}{Mass\ Yield} \dots\dots\dots(3)$$

3) Jenis Reaktor Torefaksi Tipe Tubular

Reaktor torefaksi jenis tubular merupakan jenis reaktor berbentuk tabung dengan dinding tetap dan yang bergerak adalah material di dalam reaktor tersebut. Reaktor tubular umumnya dipanaskan dengan sistem panas eksternal, dan dalam beberapa penelitian bahan baku di dalam material bergerak dengan sistem *screw conveyor*, reaktor bujur sangkar yang material digerakan dengan sistem vibro *fluidiser*, atau tabung dengan *inner mixer*. Keuntungan dari reaktor ini meliputi; reaktor berjalan secara kontinyu, reaktor bebas dari kebocoran, permukaan perpindahan panas yang lebih besar, dan sintetik gas yang mudah bereformasi. Reaktor tipe ini mudah untuk dirancang jika koefisien perpindahan panas nya diketahui karena sederhana dan *safety*.

Ciri khas dari reaktor tubular adalah *screw conveyor* reaktor dengan operasional dan biaya konstruksi yang rendah. Untuk desain ini, kecepatan sekrup dapat bervariasi dari 0,5–25 rpm, dengan demikian *residence time* reaktor dapat diubah. Sistem reaktor ini berguna untuk termal yang baik dan *catalytic cracking* dari limbah plastik. Untuk skala kecil dan menengah, reaktor tubular bisa kompetitif. Suhu operasi tergantung pada pilihan produk. Skema torefaksi tipe tubular jenis *screw reactor* bisa dilihat pada Gambar 2.3 berikut ini:



Gambar 2.3. Reaktor Tipe Tubular Jenis *Screw Reactor*
(Cremers & Sebnem, 2015)

4) Parameter Torefaksi

Adapun Parameter yang mempengaruhi proses torefaksi adalah sebagai berikut:

- a) Temperatur, temperatur torefaksi memiliki pengaruh terbesar pada torefaksi karena tingkat degradasi termal biomassa. Temperatur yang lebih 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. Biomassa kayu memiliki kandungan hemiselulosa yang berbeda-beda berdasarkan jenis kayu, yaitu kayu lunak dan kayu keras. Kayu keras melepaskan sebagian besar asam asetat dan air, sedangkan kayu lunak melepaskan sebagian besar asam format selama torefaksi. Karena kayu keras mengalami kehilangan massa yang lebih tinggi pada torefaksi tanpa banyak berpengaruh pada kehilangan energi dibandingkan dengan kayu lunak.
- 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 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 terdekomposisi secara termal biomassa dengan ukuran yang sangat kecil dibandingkan dengan ukuran biomassa yang besar (Medic dkk., 2012).

2.4. Karakteristik Bahan Bakar Padat

Parameter yang menjadi landasan dari karakteristik bahan bakar padabiomassa diantaranya yaitu *Proximate nalysis*, *ultimate analysi*, dan nilai kalor.

a) *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 batubara dipanaskan pada suhu dan waktu yang telah ditentukan setelah dikoreksi oleh kadar *moisture*. Suhunya adalah 900°C, dengan waktu pemanasan tujuh menit tepat. Untuk *Fixed Carbon* (FC) didefinisikan sebagai material sisa setelah berkurangnya *Moisture*, *Volatile Matter* dan *Ash* (Sukandarrumidi, 2006). *Fixed Carbon* (FC) menyatakan banyaknya karbon yang terdapat dalam material sisa setelah *Volatile Matter* dihilangkan. *Fixed Carbon* (FC) ini mewakili sisa penguraian dari komponen organik batubara ditambah sedikit senyawa nitrogen, belerang, hidrogen dan mungkin oksigen yang terserap atau bersatu secara kimiawi. *Fixed Carbon* ditentukan dengan perhitungan: 100% dikurangi Persentase *Moisture*, *Volatile Matter*, dan *Ash*. Data *Fixed Carbon* digunakan untuk mengklasifikasikan batubara, pembakaran, dan karbonisasi batubara. *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 batubara keluar. Ini adalah salah satu nilai yang digunakan di dalam perhitungan efisiensi peralatan pembakaran.

b) *Ultimate Analysis*

Analisis *ultimate* dilaksanakan untuk menganalisis nilai komponen yang terkandung di dalam sampel bahan baku setelah torefaksi dilaksanakan untuk menghitung komponen kimia dengan menggunakan *instrument elemental analyzer*. Komposisi elemen kimia atau nilai ultimate yaitu nilai karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S) yang didapatkan dari pengukuran selanjutnya *yield*, analisis Hydrophobic, analisis Torgas, dan analisis uji pembakaran (emisi) (Amrul dkk., 2020).

c) 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 batubara. 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.

2.5. Emisi Gas Buang Hasil Pembakaran

Proses torefaksi biomassa dapat menghasilkan berbagai emisi termasuk gas-gas rumah kaca dan senyawa-senyawa organik volatil. Proses torefaksi biomassa pada suhu tinggi dengan sedikit atau tanpa oksigen untuk menghasilkan *biochar* atau bahan bakar biomassa yang lebih stabil. Emisi gas buang dari proses torefaksi dapat bervariasi tergantung pada jenis biomassa yang digunakan, kondisi operasional, dan parameter lainnya. Beberapa emisi gas yang umumnya terkait dengan torefaksi biomassa meliputi sebagai berikut :

a) Karbon Monoksida (CO)

Terbentuk akibat dekomposisi termal biomassa dalam kondisi oksigen terbatas.

b) Metana (CH₄)

Metana dihasilkan sebagai produk sampingan reaksi termal biomassa, terutama dalam kondisi tanpa oksigen.

c) Hidrokarbon Volatil (VOCs)

Senyawa organik volatil seperti benzene, toluene, dan xylenes dapat terbentuk selama proses pemanasan biomassa.

d) Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon Dioksida dihasilkan sebagai hasil pembakaran sebagian biomassa selama proses torefaksi.

e) Nitrogen Oksida (NO_x)

Nitrogen Oksida terbentuk dari reaksi nitrogen dalam biomassa dengan oksigen pada suhu tinggi.

f) Partikulat atau Aerosol

Partikulat kecil dapat terbentuk dari zat padat yang terdapat dalam biomassa, seperti lignin, selama proses termal.

g) Hidrogen (H₂)

Hidrogen dapat dihasilkan dari dekomposisi hidrokarbon atau reaksi kimia tertentu.

Torefaksi biomassa, meskipun dapat menghasilkan produk yang lebih stabil dan berenergi tinggi, juga dapat menghasilkan emisi gas yang berpotensi memberikan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Penting untuk dicatat bahwa jenis biomassa yang digunakan dan parameter proses torefaksi dapat mempengaruhi jenis dan jumlah emisi yang dihasilkan.

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1. Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini terdapat alat utama dan alat pendukung seperti pada tampilan Gambar 3.1 berikut ini

1. Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular dengan Sistem Pemanas *Oil Jacket* dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1. Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular dengan Sistem pemanas *Oil Jacket* dari LPG

Alat utama yang digunakan antara lain: reaktor torefaksi tipe tubular, pemantik api, tabung LPG 12 kg, regulator LPG, *thermocouple* tipe K, 12 *Channel Temperature Recorder Datalogger*. Sedangkan untuk alat pendukung yang digunakan adalah timbangan digital, kamera, laptop, plastik

kedap udara, dan kabel listrik. Reaktor torefaksi kontinu tipe tubular dengan system pemanas *oil jacket* memiliki spesifikasi lengkap seperti pada table 3.1 berikut ini :

Tabel 3.1. Spesifikasi Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular

Spesifikasi	Komponen	Ukuran / Jenis
Reaktor	Diameter <i>screw</i>	: 195 mm
	Diameter tabung dalam	: 203,2 mm
	Diameter tabung luar	: 254 mm
	Panjang <i>reactor</i>	: 1600 mm
	Tinggi <i>reactor</i>	: 1700 mm
	Jarak <i>pitch</i>	: 100 mm
	Diameter poros	: 50 mm
	Kecepatan putar	: 0,5 rpm
	Kapasitas maksimum	: 5 kg/jam
Sistem Penggerak	<i>Electromotor</i>	: 2 unit (2 Hp dan 0,5 Hp)
	<i>Ratio gear reducer</i>	: 2 unit (1 : 60)
Medium Pemanas	Jenis medium pemanas	: <i>Heat Transfer Oil CarfloTM AF</i>
	Merk medium pemanas	: Petro Canada
	Temperatur maksimum	: 375 °c
	Tekanan kerja	: 1 atm
Sistem Pembakaran	Ruang bakar	: Horizontal Burner
	Bahan bakar	: <i>Liquefied Petroleum Gas (LPG)</i>
Sistem Kontrol Temperatur	Sensor Temperatur	: <i>Thermocouple</i> Tipe K
Sistem Pendingin <i>Char</i>	Sistem sirkulasi air	: <i>Water Pump</i>

2. 12 Channel temperatur Recorder Datalogger

12 Channel Temperatur Recorder Datalogger merupakan alat ukur temperatur yang dapat merekam data *sampling* sebanyak 1 sampai 3600 detik dengan keluaran data *excell* secara otomatis. Alat instrumen 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. Pada Gambar 3.2 berikut ini merupakan gambar dari 12 Channel Temperatur Recorder Datalogger



Gambar 3.2. 12 Channel Temperature Recorder Data Logger

3. Timbangan digital

Timbangan digital berfungsi untuk mengukur berat massa sebelum dan sesudah torefaksi, dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3. Timbangan digital

4. Blender Grinder VS-1861

Blender Grinder VS-1861 berfungsi untuk menghaluskan sampel tongkol jagung menjadi ukuran serbuk dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4. Blender *Grinder VS-1861*

5. Saringan ukuran 40 *mesh*

Saringan yang berukuran 40 *mesh* berfungsi untuk menyortir atau menyaring sampel tongkol jagung yang sudah di haluskan menggunakan Blender Grinder VS-1861, dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5. Ayakan 40 *mesh*

6. Sampel

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tongkol jagung dengan variasi ukuran bongkahan, cacah, dan serbuk. Pada variasi ukuran bongkahan, panjang dan diameter sampel berukuran sebesar 2 cm, kemudian pada variasi ukuran cacah sebesar $\frac{1}{4}$ ukuran dari variasi ukuran bongkahan, dan untuk variasi ukuran serbuk sebesar 40 *mesh*. Tujuan dari variasi ukuran sampel biomassa adalah untuk mencari nilai kalor, *analysis proximate*, *analysis ultimate*, *mass yield*, dan *energy yield* yang terbaik dari ketiga variasi ukuran yang didapatkan dari hasil uji laboratorium. Gambar 3.6 berikut merupakan gambar sampel biomassa tongkol jagung mentah dengan variasi ukuran cacah dan serbuk adalah sebagai berikut:



Bongkahan

Cacah

Serbuk

Gambar 3.6 Sampel mentah tongkol jagung bongkahan, cacah dan serbuk

3.2. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sampel tongkol jagung. Sampel dilakukan perlakuan torefaksi variasi ukuran berupa bongkahan, cacah dan serbuk, dengan waktu tinggal (*residence time*) 30 menit. Massa dari masing-masing sampel mentah adalah 500 gram. Rancangan penelitian ini dengan mengamati beberapa parameter seperti nilai kalor, *ultimate*, *proximate*, *mass yield* dan *energy yield*.

3.3. Prosedur Pengujian Torefaksi

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

1. Mempersiapkan bahan atau biomassa tongkol jagung dengan variasi ukuran berupa bongkahan, cacah dan serbuk. Masing-masing sebanyak 500g mentah menggunakan timbangan digital.
2. 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*.
3. Menghidupkan motor penggerak *screw conveyor*, kemudian melakukan running pada mesin reaktor untuk mengeluarkan sisa-sisa hasil torefaksi biomassa sebelumnya selama 30 menit.
4. 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 ditampilkan pada layar *temperature recorder* hingga stabil.
5. Menghubungkan *temperature recorder* dengan termokopel yang ada pada reaktor untuk membaca temperatur pada setiap bagian reaktor setelah melakukan kalibrasi.
6. Membuka katup gas untuk mengalirkan gas ke saluran *burner* yang ada di sekitar dinding *oil jacket*.
7. Menyalakan api pada saluran *burner* menggunakan pematik api.
8. Mengatur besar bukaan katup saluran gas agar temperatur pada T1, T2, dan T3 mencapai 275°C, kemudian tunggu selama 15 menit sampai temperatur T1, T2, dan T3 stabil.
9. Memasukan tongkol jagung dengan variasi ukuran bongkahan secara bertahap dengan massa sebesar 50gr hingga mencapai 500g mentah dengan interval waktu 1 menit guna meminimalisir tersangkutnya biomassa tongkol jagung di dalam reaktor ketika sudah mencapai temperatur reaktor yang diinginkan.

10. Mengeluarkan biomassa tongkol jagung setelah melewati *residence time* selama 30 menit dengan cara mendorong pendorong pada *cooling char*, kemudian membuka katup pembuka pada *cooling char*.
11. Mengukur kembali massa tongkol jagung yang sudah mengalami torefaksi menggunakan timbangan digital untuk mengetahui perbandingan massa tongkol jagung sebelum mengalami torefaksi dan setelah mengalami torefaksi.
12. Mengulangi kembali proses 9-12 dengan massa yang sama namun pada variasi ukuran cacah dan serbuk.
13. Menyisihkan biomassa tongkol jagung hasil proses torefaksi dari setiap variasi ukuran serta biomassa tongkol jagung mentah untuk dilakukan pengujian nilai kalor, *analisis ultimate*, dan *proximate*.

3.4. Parameter Penelitian

Penelitian ini menggunakan parameter utama torefaksi yaitu variasi ukuran, parameter utama digunakan untuk mendapatkan parameter ukuran yang optimal pada proses torefaksi sampel tongkol jagung. Biomassa yang digunakan adalah tongkol jagung dengan variasi ukuran bongkahan, cacah dan serbuk. 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 ukuran. Penelitian ini juga mencakup seberapa jauh proses torefaksi dapat meningkatkan kualitas sifat-sifat pembakaran dari sampel- sampel pada kondisi *as-received* dengan perhitungan perolehan massa, MY (*mass yield*) dan perolehan energinya, EY (*energy yield*).

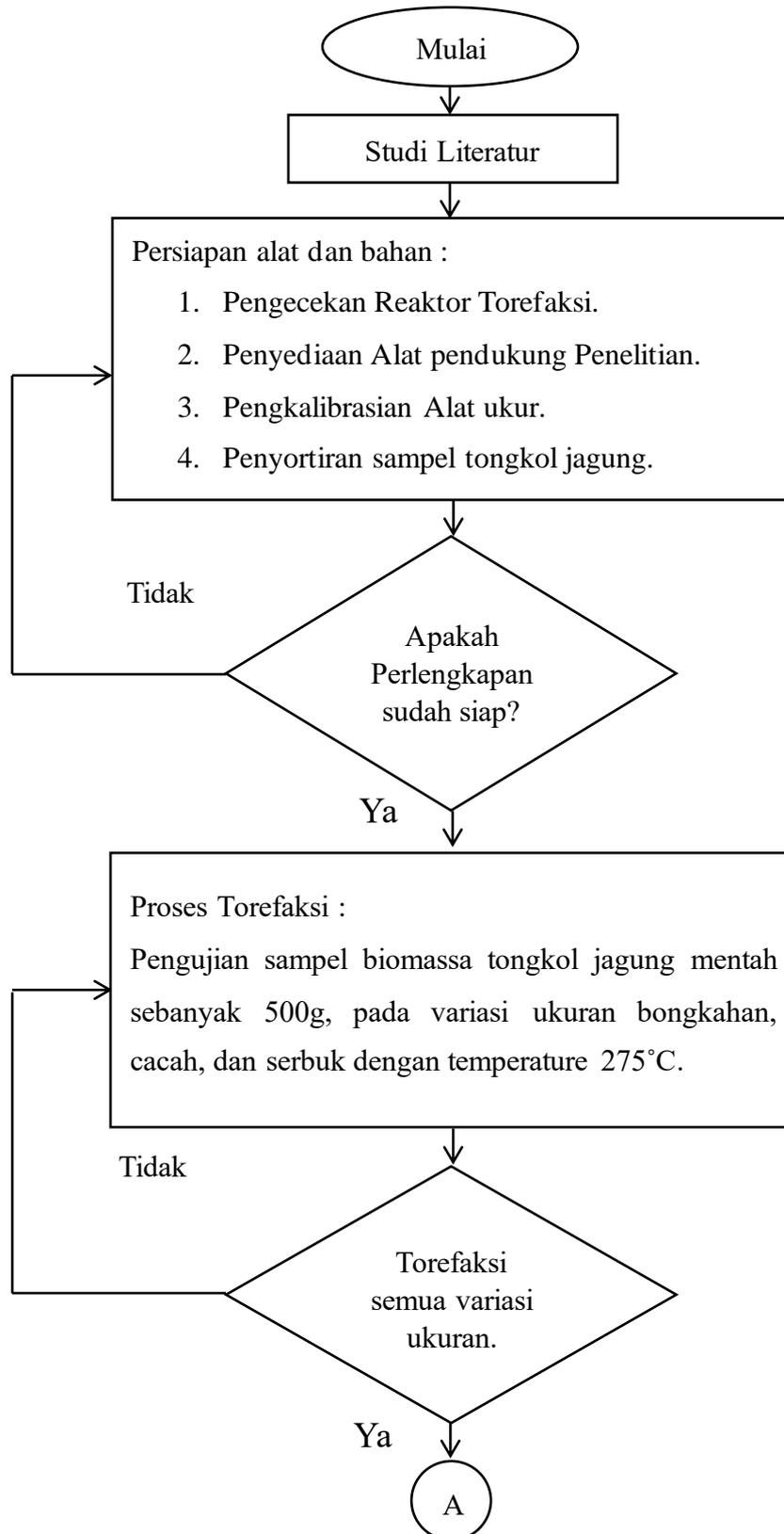
3.5. Tahapan Penelitian

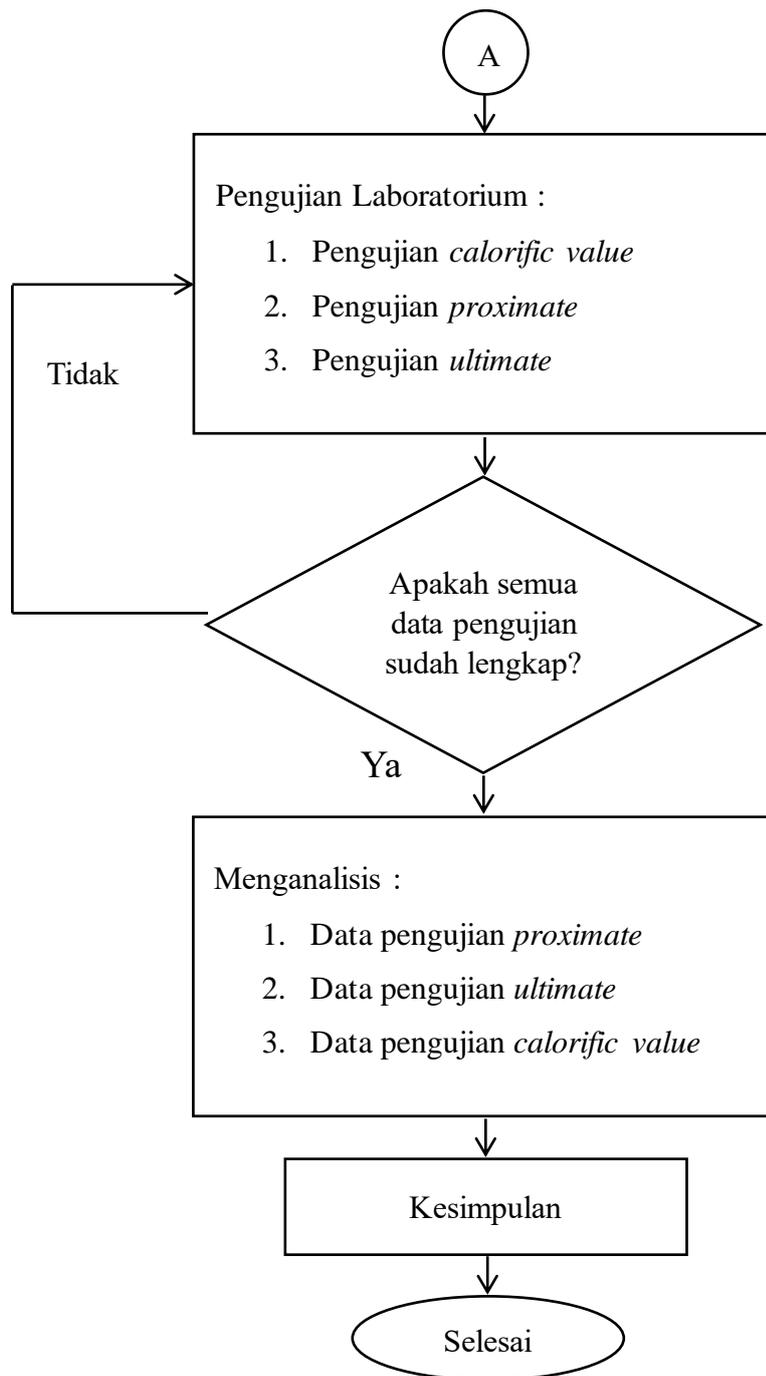
Adapun tahapan-tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur: dimulai dengan mempelajari tentang torefaksi, biomassa, reaktor torefaksi, mekanisme torefaksi, dan karakteristik bahan bakar padat.
2. Persiapan Alat torefaksi: persiapan perlengkapan alat-alat utama reaktor serta alat pendukung reaktor torefaksi, seperti melakukan pengecatan ulang reaktor, penggantian komponen yang rusak seperti termokopel, karburator dan selang gas, pergantian *hooper* serta membeli peralatan pendukung seperti timbangan, wadah produk dan lain-lain.
3. Proses Torefaksi: Pada tahap ini dilakukan pengujian dengan menguji seluruh sampel yang ada dengan variasi ukuran berupa ukuran bongkahan, cacah dan serbuk.
4. Pengujian Laboratorium: setelah seluruh sampel dilakukan torefaksi dan didapatkan produk hasil torefaksi, selanjutnya dilakukan pengujian laboratorium tahap dimana dengan mengirimkan sampel mentah dan sampel produk hasil torefaksi setiap temperatur untuk dilakukan pengujian *Moisture Content*, *Proximate*, *pengujian Ultimate*, dan *Calorific Value*.
5. 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*.
6. 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 dari penelitian ini :





Gambar 3.7. Diagram alur tahapan penelitian

3.7. Tempat dan waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan juli 2023 sampai dengan bulan September 2023. Lokasi penelitian dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, dimana tempat dilakukannya proses Torefaksi. Kemudian untuk mencari nilai kalor dan analisis *proximate* berupa *moisture content*, *volatile metter*, *ash*, dan *fixed carbon* dilakukan uji laboratorium di Laboratorium Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung, sedangkan untuk mencari nilai dari analisis *ultimate* nya berupa Carbon (C), Hidrogen (H), Nitrogen (N), dan Oksigen (O) dilaksanakan di Laboratorium Teknik Hasil Pertanian (THP) Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Proses torefaksi menggunakan variasi ukuran dengan temperatur 275°C dapat meningkatkan nilai kalor tongkol jagung. Nilai kalor tertinggi diperoleh pada variasi ukuran cacah yaitu sebesar 6445.51 kkal/kg, atau mengalami peningkatan sebesar 32,5% dari nilai kalor mentah.
2. Proses torefaksi tongkol jagung menurunkan kandungan *moisture content* dan *volatile matter*, sementara kandungan *fixed carbon* dan *ash* meningkat. Kandungan *fixed carbon* tertinggi diperoleh sebesar 36,36% pada ukuran serbuk. Kandungan atom carbon (C) mengalami kenaikan sebesar 46,69% pada ukuran cacah, sedangkan atom hidrogen (H) Nitrogen (N), dan oksigen (O) mengalami penurunan berturut-turut: Hidrogen 0,69%, Nitrogen sebesar 0,94 dan oksigen sebesar 36,14% dari tongkol jagung mentah.
3. Kandungan energi tertinggi untuk proses torefaksi diperoleh pada ukuran cacah yakni *mass yield* sebesar 56,4%, *energy yield* sebesar 83,6%, dan *energy density* sebesar 1,48 kJ/kg.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan penulis pada penelitian kali ini ialah 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 terhadap pengaruh *residance time* dan temperatur terhadap proses torefaksi dengan variasi ukuran yang berbeda.
3. 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, 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”
- Anggraini, D dan Saad, R. 2020. Implementasi Teknologi Gasifikasi Biomassa sebagai Energi Alternatif di Indonesia. *Jurnal Rekayasa Proses*, 14(1), 1-7.
- Badan Energi Internasional. (2020). *Energi Terbarukan 2020: Analisis dan perkiraan hingga 2025*. IEA.
- 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 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*.
- Chen W. H., Kuo PC, 2011, “*Torrefaction and co-torrefaction characterization of hemicellulose, cellulose and lignin as well as torrefaction of some basic constituents in biomass*”.
- Hidayat T., Kurniawan ASW, dan Wicaksono AS. (2020). Pemanfaatan Biomassa sebagai Sumber Energi Alternatif. *Jurnal Riset Energi*, 3(2), 129-138.
- Kurniawan, TA, dan Sari, RK (2018). Karakteristik jagung sebagai sumber bahan

- bakar biomassa. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 7(1), 46-54.
- 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., dan Parinduri, T. (2020). “Konversi biomassa sebagai sumber energi terbarukan”. *JET (Journal of Electrical Technology)*, 5(2), 88-92.
- Putra, DPE, dan Setyawan, D. (2019). Pembuatan briket arang tempurung kelapa dan tongkol jagung sebagai bahan bakar alternatif. *Prosiding Seminar Nasional Riset dan Inovasi Terapan*, 1(1), 131-1.
- 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*”.
- Sahoo, B., dan Mahapatra, SS (2019). Kajian pemanfaatan biomassa dari industri beras sebagai sumber energi terbarukan. *Ulasan Energi Terbarukan dan Berkelanjutan*, 103, 41-47.
- Suastika, K. G., Karelius, K., Dirgantara, M., dan Rumbang, N. (2019). “Proses Torefaksi Untuk Meningkatkan Nilai Kalor Cangkang Sawit dengan Metode COMB”. *Risalah Fisika*, 3(2), 47-50.
- Sukandarrumidi, 2006. “Batu bara dan Pemanfaatannya”Mada University Press.Cetakan, Ke-1, Yogyakarta.
- Thaim T., dan Rasid R.A. (2016).“*Improvement Empty Fruit Bunch Properties through Torrefaction*” *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 10 114-12’
- Wahyudi, R., & Irsyad, M. (2020). Karakteristik Bahan Bakar Padat Produ Torefaksi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular.(20)