

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI ARANG TUNGKU BOILER
PABRIK CPO PTPN 7 LAMPUNG TENGAH DAN PEREKAT
(TAPIOKA DAN GULA) TERHADAP KUALITAS BIOBRIKET**

(Skripsi)

Oleh

**Elta Pariati
NPM 2117041070**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI KOMPOSISI ARANG TUNGKU BOILER PABRIK CPO PTPN 7 LAMPUNG TENGAH DAN PEREKAT (TAPIOKA DAN GULA) TERHADAP KUALITAS BIOBRIKET

Oleh
ELTA PARIATI

Telah dilakukan penelitian pengaruh variasi komposisi arang tungku boiler pabrik CPO PTPN 7 Lampung Tengah dan perekat (tapioka dan gula) terhadap kualitas biobriket. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi komposisi arang tungku boiler pabrik CPO (*Crude Palm Oil*) dan perekat (tapioka dan gula) terhadap kualitas biobriket yang dihasilkan. Metodologi penelitian yang digunakan terdiri dari beberapa tahap, meliputi preparasi bahan, pembuatan sampel, uji *proksimat*, uji nilai kalor, dan analisis hasil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air terendah biobriket dengan perekat tapioka sebesar 3,37% (K1) dan biobriket dengan perekat gula sebesar 4,34% (K9), kadar abu terendah biobriket dengan perekat tapioka sebesar 58,77 (K4) dan biobriket dengan perekat gula sebesar 58,59% (K6), fixed carbon tertinggi sebesar 26,75% (K3 pada biobriket dengan perekat tapioka dan 27,04% (K7) biobriket dengan perekat gula. nilai kalor tertinggi pada biobriket dengan perekat tapioka sebesar 2252,71 Kkal/Kg (K1) dan 2264,054 (K6) pada biobriket dengan perekat gula. Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa Hasil terbaik tercatat pada biobriket dengan komposisi perekat 25% tapioka (K1) dan perekat 25% gula (K6).

Kata kunci: biobriket, arang, boiler, proksimat, tapioka, gula

ABSTRACT

THE EFFECT OF COMPOSITION VARIATIONS IN CPO FACTORY BOILER CHARCOAL PTPN 7 CENTRAL LAMPUNG AND ADHESIVES (TAPIOCA AND SUGAR) ON THE QUALITY OF BIOBRIQUETTE

By
ELTA PARIATI

A study has been conducted on the effect of variations in the composition of boiler furnace charcoal at the PTPN 7 Central Lampung CPO factory and adhesives (tapioca and sugar) on the quality of biobriquettes. This study aims to determine the variations in the composition of boiler furnace charcoal at the CPO (Crude Palm Oil) factory and adhesives (tapioca and sugar) on the quality of the biobriquettes produced. The research methodology used consists of several stages, including material preparation, sample preparation, proximate testing, calorific value testing, and result analysis. The results of the study showed that the lowest water content of biobriquettes with tapioca adhesive was 3.37% (K1) and biobriquettes with sugar adhesive was 4.34% (K9), the lowest ash content of biobriquettes with tapioca adhesive was 58.77 (K4) and biobriquettes with sugar adhesive was 58.59% (K6), the highest fixed carbon was 26.75% (K3) in biobriquettes with tapioca adhesive and 27.04% (K7) in biobriquettes with sugar adhesive. The highest calorific value in biobriquettes with tapioca adhesive was 2252.71 Kkal/Kg (K1) and 2264.054 (K6) in biobriquettes with sugar adhesive. Based on the test results, it can be concluded that the best results were recorded in biobriquettes with a composition of 25% tapioca adhesive (K1) and 25% sugar adhesive (K6).

Keywords: biobriquettes, boiler, furnace, proximate, tapioca, sugar

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI ARANG TUNGKU BOILER PABRIK
CPO PTPN 7 LAMPUNG TENGAH DAN PEREKAT (TAPIOKA DAN
GULA) TERHADAP KUALITAS BIOBRIKET**

Oleh

Elta Pariati

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi

: Pengaruh Variasi Komposisi Arang Tungku Boiler Pabrik CPO PTPN 7 Lampung Tengah Dan Perekat (Tapioka Dan Gula) Terhadap Kualitas Biobriket

Nama Mahasiswa

: Elta Pariati

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2117041070

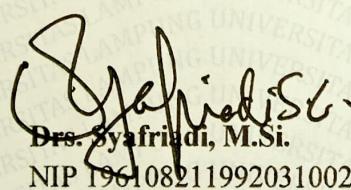
Program Studi

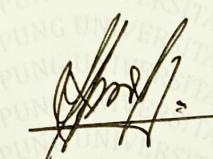
: Fisika

Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

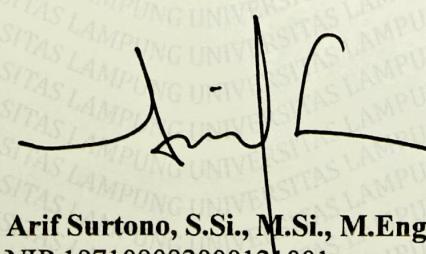



Drs. Syafridi, M.Si.
NIP 196108211992031002



Muhammad Amin, S.T., M.Si.
NIP 196906101999031004

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

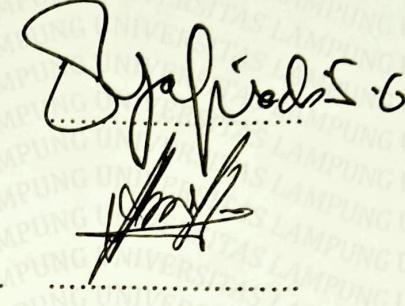

Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng
NIP 197109092000124001

MENGESAHKAN

1. Tim Pengaji

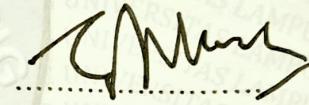
Ketua

: Drs. Syafriadi, M.Si.



Sekretaris

: Muhammad Amin, S.T., M.Si.



Pengaji Bukan

Pembimbing

: Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si.

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP. 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 5 Desember 2025

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Elta Pariati
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041070
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya dengan judul **“Pengaruh Variasi Komposisi Arang Tungku Boiler Pabrik CPO PTPN 7 Lampung Tengah Dan Perekat (Tapioka Dan Gula) Terhadap Kualitas Biobriket”** adalah hasil karya saya sendiri, baik ide, hasil maupun prosesnya. Selanjutnya saya tidak keberatan jika sebagian dan keseluruhan data didalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi dalam kepentingan publikasi atas persetujuan penulis dan sepanjang nama saya disebutkan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 5 Desember 2025
Yang Menyatakan



Elta Pariati
NPM. 2117041070

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Elta Pariati, dilahirkan di Desa Gunung Gara, Sumatera Selatan pada tanggal 19 Maret 2003. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Iliadi dan Ibu Miliati serta memiliki dua kakak bernama Septia Helisa Putri dan Nia Audina. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN Gunung Gara pada tahun 2014, SMPN Gunung Gara pada tahun 2017 dan MAN 1 Oku Baturaja pada tahun 2020. Penulis diterima di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui Jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menempuh jenjang Pendidikan S1 di Jurusan Fisika FMIPA Unila, penulis mengambil konsentrasi keilmuan bidang Fisika Energi. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi dengan menjabat sebagai anggota pengurus dana dan usaha Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) periode tahun 2023.

Tahun 2024 penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT PLN Nusantara Power UPK Sebalang, dengan judul **“Analisis Efisiensi Turbin Uap Sebagai Penggerak Generator Di PT PLN Nusantara Power UPK Sebalang Unit 1 Berkapasitas Daya 100MW”**. Penulis juga melakukan pengabdian Masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode II Universitas Lampung tahun 2024 di Desa Pelindung Jaya, Kecamatan Gunung Pelindung, Kabupaten Lampung Timur.

MOTTO

“Ditengah kesulitan terdapat kesempatan”

~Albert Einstein~

“Jangan bandingkan perjalananmu dengan orang lain,
setiap bunga mekar pada waktunya”

~Unknown~

PERSEMBAHAN

Dengan segala kerendahan hati dan rasa syukur kepada Allah SWT.

Saya persembahkan karya ini kepada:

Kedua Orang Tua

Bapak Iliadi dan Ibu Miliati

Terima kasih atas setiap pengorbanan dan kerja keras yang tiada henti.

Skripsi ini saya persembahkan sebagai wujud kecil dari perjalanan panjang yang kalian dampingi dengan segala kasih sayang, doa, dan dukungan.

Kakak Tercinta

Septia Helisa Putri dan Nia Audina

Terima kasih atas dukungan, perhatian, serta motivasi dan selalu menjadi panutan, penyemangat serta teman berbagi suka duka.

Bapak-Ibu Dosen

Terima kasih kepada seluruh dosen yang telah membimbing, mengajar, dan memberikan ilmu selama masa studi saya.

Teman-teman Fisika FMIPA Unila 2021

Almamater Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

SANWACANA

Puji dan syukur dipanjangkan kehadiran Allah SWT. Yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Komposisi Arang Tungku Boiler Pabrik CPO PTPN 7 Lampung Tengah Dan Perekat (Tapioka Dan Gula) Terhadap Kualitas Biobriket”**. Dengan selesainya penyusunan skripsi ini penulis menyadari bahwa telah banyak melibatkan orang-orang yang sangat berjasa bagi penulis. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terimakasih kepada:

1. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si. selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing, membantu dan memberikan arahan serta waktu dan motivasi yang diberikan selama penyusunan skripsi.
2. Bapak Muhammad Amin, S.T., M.Si. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penelitian sampai dengan penyelesaian skripsi.
3. Bapak Drs. Pulung Karo-karo M.Si. selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan kritik, saran, waktu serta masukan yang sangat bermanfaat selama proses ujian skripsi.
4. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Fajar Nurjaman, S.T., M.T. Selaku kepala Pusat Riset Brin yang telah memberi izin untuk melaksanakan tugas akhir kepada penulis.
6. Para staff laboratorium dan karyawan BRIN yang telah membantu penulis dalam memenuhi kebutuhan penyelesaian penelitian.
7. Bapak Iqbal Firdaus, S.Si. M.Si., Selaku Dosen Pembimbing Akademik.

8. Kedua orang tua, bapak Iliadi dan ibu Miliati, terimakasih atas segala pengorbanan, cinta, dan doa yang tiada henti. Semangat dan dukungan kalian adalah sumber kekuatan terbesar yang selalu menyertai setiap langkah perjalanan ini. Tanpa kalian, saya tidak akan sampai di titik ini. Terima kasih atas segala kasih sayang dan kesabaran yang telah diberikan.
9. Kakak tercinta septia helisa putri dan nia audina terimakasih atas setiap nasihat, dukungan, dan semangat yang selalu menjadi panutan saya.
10. Okka Putri Yanti, sahabat sekaligus saudara yang selalu menemani dengan kebersamaan, bantuan, dan dukungannya. Nabilla Aprilia Sari, teman semasa skripsi yang bersama-sama melewati setiap prosesnya. Dan Nurjanah, teman dekat semasa kuliah.
11. Teman-teman seperjuangan Jurusan Fisika angkatan 2021.

Penulis menyadari dalam penulisan Skripsi ini masih banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang lebih baik lagi untuk kedepannya. Atas segala kekurangan, penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya.

Bandar Lampung, 5 Desember 2025

Elta Pariati
NPM. 2117041070

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|----------------|
| DAFTAR GAMBAR..... | vi |
| DAFTAR TABEL..... | vii |
| | |
| I. PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| | |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Penelitian Terdahulu | 5 |
| 2.2 Dasar Teori..... | 8 |
| 2.2.1 Energi Terbarukan..... | 8 |
| 2.2.2 Pirolisis Arang Tungku Boiler Pabrik CPO | 9 |
| 2.2.3 Biokarbon..... | 11 |
| 2.2.5 Bahan Perekat Tapioka dan Gula..... | 14 |
| 2.2.6 Uji Proksimat | 17 |
| 2.2.6.1 Kadar Air (<i>Moisture Content</i>)..... | 17 |
| 2.2.6.2 Zat Terbang (<i>Volatile Matter</i>)..... | 18 |
| 2.2.6.3 Kadar Abu (<i>Ash Content</i>)..... | 19 |
| 2.2.6.4 Karbon Tetap (<i>Fixed Carbon</i>) | 20 |
| 2.2.7 Nilai Kalor (<i>Calorific Value</i>) | 21 |
| 2.2.8 Aplikasi Biobriket dalam Energi Terbarukan | 22 |
| | |
| III. METODE PENELITIAN | |
| 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian | 23 |
| 3.2 Alat dan Bahan..... | 23 |
| 3.2.1 Alat..... | 23 |
| 3.2.2 Bahan..... | 23 |
| 3.3 Metode Penelitian | 24 |
| 3.3.1 Preparasi Bahan..... | 24 |

| | |
|--|----|
| 3.3.2 Pembuatan Biobriket Arang tungku boiler pabrik CPO PTPN 7 Lampung Tengah dengan Perekat Tapioka | 25 |
| 3.3.3 Pembuatan Biobriket Arang tungku boiler pabrik CPO PTPN 7 Lampung Tengah dengan Perekat Gula | 25 |
| 3.3.4 Uji <i>Proksimat</i> | 26 |
| 3.3.4.1 <i>Moisture Content</i> (Kadar Air)..... | 26 |
| 3.3.4.2 <i>Volatile Matter</i> (Zat Terbang)..... | 27 |
| 3.3.4.3 <i>Ash Content</i> (Kadar Abu)..... | 28 |
| 3.3.4.4 <i>Fixed Carbon</i> (Karbon Terikat) | 29 |
| 3.4 Diagram Alir | 29 |

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

| | |
|---|----|
| 4.1 Pengaruh Variasi Komposisi Arang tungku Boiler Pabrik CPO PTPN 7 Lampung Tengah Terhadap Hasil Uji Proksimat Berdasarkan Standar SNI..... | 36 |
| 4.1.1 Uji Proksimat Bahan Baku..... | 36 |
| 4.1.2 Uji Proksimat Biobriket | 38 |
| 4.2 Pengaruh Variasi Komposisi Arang Tungku Boiler Pabrik CPO PTPN 7 Lampung Tengah Terhadap kualitas Biobriket Berdasarkan Uji Nilai Kalor | 41 |
| 4.3 Hubungan Uji Proksimat dan Nilai Kalor Biobriket pada Berbagai Variasi Komposisi..... | 44 |
| 4.3.1 Hubungan Nilai Kalor terhadap Kadar Air Biobriket | 45 |
| 4.3.2 Hubungan Nilai Kalor terhadap <i>Volatile Matter</i> Biobriket..... | 46 |
| 4.3.3 Hubungan Nilai Kalor terhadap Kadar Abu Biobriket | 48 |
| 4.3.4 Hubungan Nilai Kalor terhadap <i>Fixed Carbon</i> Biobriket..... | 50 |

V. KESIMPULAN DAN SARAN

| | |
|----------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan | 53 |
| 5.2 Saran..... | 54 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|---|----------------|
| 1. Analisa kadar air | 6 |
| 2. Analisa <i>volatile matter</i> | 7 |
| 3. Analisa kadar air | 7 |
| 4. Biobriket..... | 13 |
| 5. Diagram alir pembuatan biobriket | 30 |
| 6. Diagram alir uji proksimat a) kadar air bahan baku dan biobriket | 31 |
| 7. Diagram alir uji proksimat b) zat terbang bahan baku dan biobriket..... | 32 |
| 8. Diagram alir uji proksimat c) kadar abu bahan baku dan biobriket..... | 33 |
| 9. Diagram alir uji proksimat d) karbon tetap bahan baku dan biobriket | 33 |
| 10. Diagram alir menghitung nilai kalor bahan baku dan biobriket | 34 |
| 11. Diagram alir penelitian..... | 35 |
| 12. Hasil uji nilai kalor (a) biobriket dengan perekat tapioka (b) biobriket perekat gula | 43 |
| 13. Grafik hubungan nilai kalor terhadap kadar air (a) biobriket dengan perekat tapioka dan (b) biobriket dengan perekat gula | 45 |
| 14. Grafik hubungan nilai kalor terhadap <i>volatile matter</i> (a) biobriket dengan perekat tapioka dan (b) biobriket dengan perekat gula | 47 |
| 15. Grafik hubungan nilai kalor terhadap kadar abu (a) biobriket dengan perekat tapioka dan (b) biobriket dengan perekat gula | 49 |
| 16. Grafik hubungan nilai kalor terhadap <i>fixed carbon</i> (a) biobriket dengan perekat tapioka dan (b) biobriket dengan perekat gula...51 | |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|---|----------------|
| 1. Unsur mineral biokarbon..... | 11 |
| 2. Persyaratan biobriket SNI 01-6235-2000 (BSN, 2000) | 14 |
| 3. Unsur mineral tapioka | 15 |
| 4. Unsur mineral gula..... | 16 |
| 5. Komposisi pembuatan biobriket | 24 |
| 6. Hasil uji <i>proksimat</i> bahan baku biobriket | 36 |
| 7. Hasil uji proksimat biobriket arang tungku boiler pabrik CPO PTPN 7 lampung tengah dengan perekat tapioka | 38 |
| 8. Hasil uji proksimat biobriket arang tungku boiler pabrik CPO PTPN 7 lampung tengah dengan perekat gula | 39 |
| 9. Hasil uji nilai kalor biobriket dengan perekat tapioka | 41 |
| 10. Hasil uji nilai kalor biobriket dengan perekat gula | 41 |

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era modern ini, tantangan utama dalam bidang energi adalah meningkatnya permintaan akan sumber daya alam yang semakin terbatas, khususnya energi fosil yang masih menjadi sumber energi utama dunia. Energi fosil menjadi salah satu sumber emisi karbon dioksida terbesar yang berdampak negatif terhadap lingkungan dan iklim global. Menanggapi hal tersebut, pemerintah Indonesia telah menetapkan kebijakan untuk memanfaatkan sumber energi baru dan terbarukan guna mendukung kemandirian energi serta mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang semakin menipis sekaligus memenuhi komitmen pengurangan emisi. Salah satu langkah strategis adalah pemanfaatan limbah yang berasal dari limbah tungku boiler sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar alternatif seperti biobriket. Arang tungku boiler merupakan hasil sisa pembakaran di boiler industri, yang masih mengandung karbon yang potensial untuk diolah menjadi. Indonesia sendiri merupakan salah satu produsen minyak sawit mentah (CPO) terbesar di dunia. Industri kelapa sawit menghasilkan arang tungku boiler seperti tandan kosong, cangkang, dan serabut yang jumlahnya sangat besar. Arang tungku boiler tersebut sebagian besar belum dimanfaatkan secara optimal dan sering dibakar atau dibuang, yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan (Harahap *et al.*, 2024).

Arang tungku boiler merupakan bahan karbon padat yang dihasilkan dari biomassa melalui proses pirolisis, yaitu proses pemanasan bahan organik tanpa kehadiran oksigen atau dengan oksigen terbatas yang mengubah biomassa menjadi *biochar* (Tetra *et al.*, 2024). Pemanfaatan arang tungku boiler pabrik

CPO sebagai bahan baku Biobriket tidak hanya dapat mengatasi permasalahan lingkungan akibat limbah industri, tetapi juga menghasilkan bahan bakar padat yang ramah lingkungan dengan nilai kalor yang kompetitif. (Harahap *et al.*, 2024). Biomassa berasal dari berbagai jenis limbah, seperti limbah pertanian, limbah kehutanan, limbah organik dan kotoran hewan. Pasokan biomassa dapat dipenuhi dalam bentuk biobriket (Muis & Haviz., 2023). Komposisi utama biomassa terdiri atas bahan organik kompleks yang terdiri atas karbohidrat, lemak, protein dan mineral serta komponen utama biomassa terdiri atas selulosa dan lignin (Saptadi., 2022). Prinsip dasar biomassa adalah mengubah sisa-sisa material biologis tersebut menjadi bentuk lain yang bisa digunakan sebagai sumber energi (Parinduri & Parinduri, 2020). Energi biomassa memiliki manfaat yang besar karena selain dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif, juga berfungsi untuk mengurangi polusi lingkungan yang disebabkan oleh limbah yang semakin meningkat setiap tahunnya (Adipratama., 2021).

Biobriket adalah bahan bakar padat yang berasal dari bahan baku yang dapat di perbaharui secara terus menerus karena terbuat dari campuran biomassa (Iriany *et al.*, 2023). Kualitas Biobriket dipengaruhi oleh komposisi bahan, kadar air dan proses pembuatan. Bahan perekat yang digunakan pada pelitian ini yaitu dengan perekat tapioka dan gula. Tapioka memiliki kandungan pati yang tinggi, sehingga cocok digunakan sebagai perekat pada biobriket (Haryanti *et al.*, 2023). Gula sering digunakan dalam pembuatan perekat karena sifat viskositas dan daya rekatnya yang dapat mempengaruhi kekuatan fisik perekat. Gula berperan sebagai bahan perekat alami yang dapat meningkatkan adhesi antar permukaan. Proses pembuatan Biobriket meliputi beberapa tahapan penting mulai dari pengumpulan arang tungku boiler pabrik CPO PTPN 7 Lampung Tengah, pengolahan karbonisasi, pencampuran dengan perekat, hingga pencetakan dan pengeringan.

Pada penelitian ini, akan dieksplorasi pengaruh variasi komposisi dari arang tungku boiler pabrik CPO PTPN 7 Lampung Tengah, dan perekat (tapioka dan gula) terhadap kualitas fisik dan kimia Biobriket yang dihasilkan berdasarkan SNI. Parameter yang dianalisis meliputi nilai kalor, kadar air, kadar abu, dan zat terbang biobriket. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna

dalam menentukan komposisi optimal perekat untuk memaksimalkan kualitas biobriket dari arang tungku boiler CPO PTPN 7 Lampung Tengah. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berfokus pada pembuatan biobriket sebagai bahan bakar alternatif, tetapi juga memberikan kontribusi signifikan dalam pengelolaan limbah padat industri serta mendukung keberlanjutan energi nasional. Pemanfaatan arang tungku boiler menjadi biobriket diharapkan membantu mengurangi pencemaran lingkungan serta menambah portofolio energi terbarukan yang ramah lingkungan dan ekonomis.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi arang tungku boiler pabrik CPO PTPN 7 Lampung Tengah dengan perekat tapioka dan gula terhadap uji proksimat (kadar air, kadar abu, *volatile matter*, dan *fixed carbon*) biobriket yang memenuhi standar SNI?
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi arang tungku boiler pabrik CPO PTPN 7 Lampung Tengah terhadap nilai kalor biobriket yang dihasilkan?
3. Bagaimana hubungan antara uji proksimat (kadar air, kadar abu, *volatile matter*, dan *fixed carbon*) terhadap nilai kalor biobriket pada berbagai variasi komposisi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi komposisi arang tungku boiler pabrik CPO dengan perekat tapioka dan gula terhadap uji proksimat (kadar air, kadar abu, *volatile matter*, dan *fixed carbon*) biobriket yang memenuhi standar SNI.
2. Mengetahui pengaruh variasi komposisi arang tungku boiler pabrik CPO terhadap nilai kalor biobriket yang dihasilkan.

3. Mengetahui hubungan antara uji proksimat (kadar air, kadar abu, *volatile matter*, dan *fixed carbon*) terhadap nilai kalor biobriket pada berbagai variasi komposisi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Bahan baku menggunakan arang tungku boiler pabrik CPO PTPN 7 Lampung Tengah, merupakan hasil pembakaran biomassa yang terdiri dari campuran cangkang sawit dan tandang kosong sawit sebagai bahan baku utama dalam pembuatan biobriket.
2. Jenis perekat yang digunakan menggunakan tepung tapioka dan gula.
3. Variasi komposisi bahan arang tungku boiler pabrik CPO PTPN 7 : perekat, 75% : 25%, 76% : 24%, 77% : 23%, 78% : 22%, 79% : 21%.
4. Waktu pengeringan biobriket 3 jam pada suhu 70°C.
5. Uji *proksimat* biobriket berupa uji kadar air, *volatile matter*, kadar abu, dan *fixed carbon*.
6. Penelitian dilakukan di Laboratorium Heat Treatment dan Laboratorium Non-Logam, di Pusat Riset Teknologi Pertambangan-BRIN Tanjung Bintang.

1.5 Manfaat Penelitian

manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Memanfaatkan arang tungku boiler pabrik CPO PTPN 7 Lampung Tengah dalam pembuatan biobriket.
2. Memberikan data ilmiah mengenai uji proksimat dan nilai kalor biobriket.
3. Menyediakan data mengenai nilai kalor biobriket berdasarkan variasi komposisi bahan dan perekat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

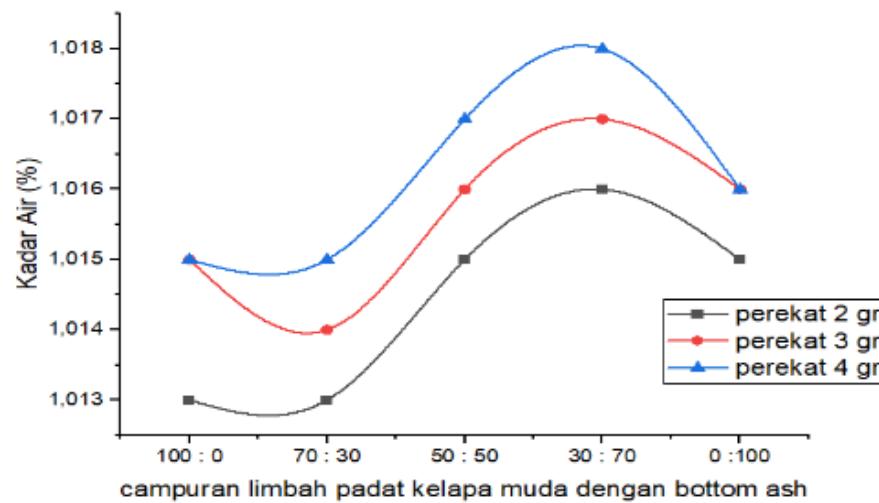
2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh (Rismayani & Tayibnapis., 2011) ini berfokus pada pembuatan biobriket dari campuran limbah *bottom ash* boiler industri tekstil dengan limbah sabut kelapa yang melimpah di Indonesia. *Bottom ash* dipilih karena memiliki nilai kalor tinggi sekitar 3255 Kkal/Kg, meskipun butirannya sangat halus sehingga sulit digunakan langsung sebagai bahan bakar. Sabut kelapa dipadukan sebagai bahan bakar sekaligus perekat alami berkat sifat adhesif yang dimilikinya, sehingga menghilangkan kebutuhan akan perekat kimia seperti kanji atau tanah liat. Biobriket dibuat dengan perbandingan *bottom ash* dan sabut kelapa 1:1 menggunakan mesin press dengan variasi tekanan hingga 156,8 kg/cm². Hasil uji proksimat terlihat *bottom ash* mengandung kadar air 5%, abu 52%, volatil 4%, karbon 39%, sulfur 0,46%, sedangkan sabut kelapa memiliki kadar air 12%, abu 3%, volatil 68%, karbon 17%, dan sulfur 0,12%. Campuran 1:1 menghasilkan biobriket dengan nilai kalor sebesar 3735 kal/g dan kuat tekan 55 kg/cm², dengan sifat elastis yang baik sehingga tidak mudah pecah saat digunakan.

Studi ini menyatakan bahwa pemanfaatan limbah *bottom ash* sebagai biobriket didukung oleh ketersediaan bahan yang melimpah serta nilai kalori yang memadai, namun disarankan untuk penelitian lanjutan guna meningkatkan nilai kalor dan kuat tekan agar sesuai standar industri batu bara konvensional yang lebih tinggi. Upaya optimalisasi seperti karbonisasi sabut kelapa pada suhu tertentu atau penambahan bahan pengikat dan modifikasi campuran bahan baku perlu dilakukan untuk menaikkan performa bio-biobriket. Dengan demikian,

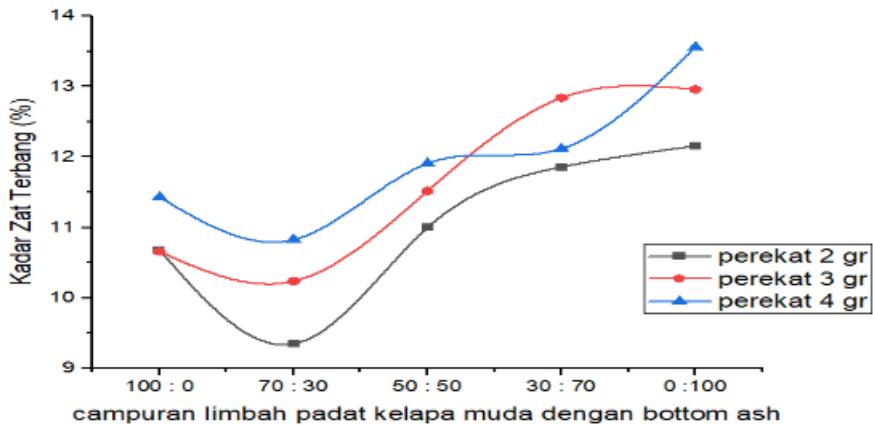
produk ini dapat menjadi solusi energi terbarukan yang ekonomis, efisien, dan berkelanjutan untuk industri, khususnya dalam penggunaan boiler di sektor tekstil dan industri lainnya yang ramah lingkungan serta dapat mengurangi ketergantungan bahan bakar fosil. Pengembangan lebih lanjut juga diharapkan dapat meningkatkan daya saing biobriketini di pasar energi alternatif.

Penelitian yang dilakukan oleh (Harahap *et al.*, 2024) ini berfokus pada pembuatan biobriket dari campuran limbah padat kelapa muda (sabut dan tempurung) dan *bottom ash* (abu boiler pabrik kelapa sawit) menggunakan perekat getah karet. Tujuan penelitian adalah mengkaji uji biobriket seperti analisis proksimat, nilai kalor, dan laju pembakaran. Proses pembuatan melibatkan karbonisasi limbah dengan ukuran mesh 80 dan berbagai komposisi campuran limbah kelapa muda dan *bottom ash* (100:0, 70:30, 50:50, 30:70, 0:100) serta kadar perekat getah karet 2, 3, dan 4 gram. Hasil uji proksimat yang didapatkan yaitu, kandungan kadar air (*inherent moisture*) dapat dilihat pada **Gambar 1**.



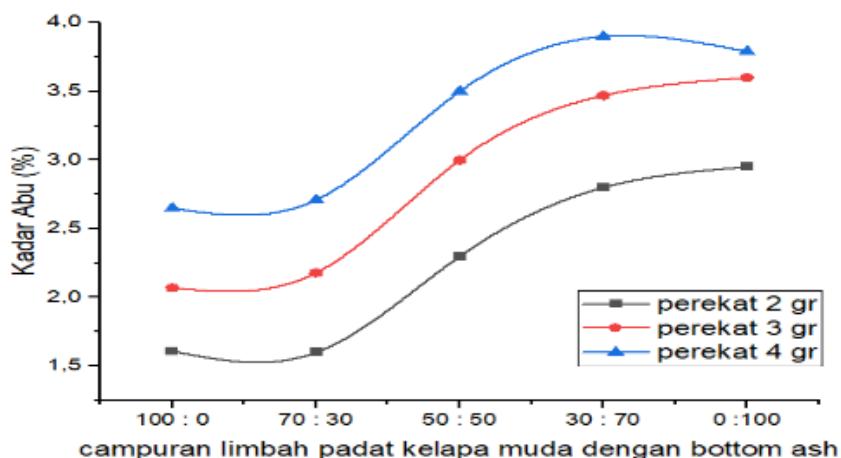
Gambar 1. Analisa kadar air (Harahap *et al.*, 2024)

Pada **Gambar 1** terlihat hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa semakin rendah kadar air, semakin tinggi nilai kalor. Sebaliknya, semakin tinggi kadar air maka semakin rendah nilai kalornya. Kandungan *volatile matter* yang dihasilkan dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Analisa *Volatile Matter* (Harahap *et al.*, 2024)

Pada **Gambar 2** terlihat hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa biobriket campuran limbah padat kelapa muda dengan *bottom ash* menunjukkan kadar zat terbang terendah sebesar 9,35% pada campuran dengan perbandingan 70 gram limbah kelapa muda dan 30 gram *bottom ash* menggunakan 2 gram perekat. Kandungan kadar abu yang dihasilkan dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Analisa kadar air (Harahap *et al.*, 2024)

Pada **Gambar 3** terlihat hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa semakin rendah kadar perekat maka akan semakin rendah kadar abu yang diperoleh. Hasil terbaik didapat pada komposisi 70:30 dengan 2 gram perekat, menghasilkan kadar air 1,024%, kadar abu 1,10%, zat terbang 10,83%, karbon terikat 88,54%, laju pembakaran 0,196 gram/menit, dan nilai kalor 7255,73 kalori/gram. Biobriket ini memenuhi standar SNI (kadar air dan abu <8%, *volatile matter* <15%, *fixed carbon*

>77%, dan nilai kalor minimal 5000 Kkal/g). Penelitian menekankan pentingnya pemanfaatan limbah kelapa muda dan *bottom ash* sebagai sumber energi terbarukan yang ekonomis dan ramah lingkungan, sekaligus mendukung pengurangan limbah industri. Disarankan penelitian lanjutan untuk meningkatkan uji fisik dan nilai kalor agar biobriket dapat menjadi alternatif pengganti bahan bakar fosil di industri.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Energi Terbarukan

Energi diperlukan untuk aktivitas manusia, khususnya dalam perekonomian, rumah tangga, industri, bisnis, dan transportasi. Sebagian besar pasokan energi global diperoleh dari bahan bakar fosil yang merupakan sumber daya tidak terbarukan. Oleh sebab itu, diperlukan pemasokan energi alternatif selain minyak dan batu bara. Energi Baru dan Energi Terbarukan (EBT) merupakan salah satu sumber alternatif untuk penyediaan energi, karena selain berdampak rendah terhadap kerusakan lingkungan, juga memastikan keberlanjutan energi di masa depan (Setyono *et al.*, 2019). Energi terbarukan biasanya merujuk kepada sumber energi seperti solar, angin, dan air (Siagian *et al.*, 2023). Penggunaan dan pengembangan energi terbarukan adalah alternatif serta solusi untuk melestarikan lingkungan, menghemat energi berbasis fosil (minyak dan gas bumi), serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan seperti pencemaran udara, peningkatan suhu udara, dan penipisan lapisan ozon (Gumelar *et al.*, 2019).

Beberapa sumber energi terbarukan meliputi energi listrik dari tenaga surya, energi listrik dari biomassa, energi listrik dari pengelolaan sampah yang terbagi menjadi dua kategori yaitu sampah organik dan non-organik, serta energi listrik dari mikro hidro (Setyono *et al.*, 2019). Energi listrik dari biomassa adalah material organik yang diperoleh melalui proses fotosintesis, baik yang berupa hasil maupun limbah. Contoh biomassa termasuk tanaman, pohon, rerumputan, ubi, sisa pertanian, sisa hutan, feses, dan kotoran hewan (Parinduri & Parinduri., 2020). Teknologi yang digunakan untuk menghasilkan energi dari biomassa meliputi pembakaran

(*combustion*), gasifikasi, digester anaerob, dan biofuel cair (*liquid biofuel*) (Setyono *et al.*, 2019).

Pemanfaatan biomassa untuk penghasil panas secara langsung dilakukan dengan cara membakar biomassa yang menghasilkan panas, kemudian panas tersebut diubah menjadi energi listrik melalui turbin dan generator. Panas dari pembakaran biomassa akan memproduksi uap di dalam boiler. Uap akan dialirkan ke dalam turbin sehingga dapat memproduksi rotasi dan menggerakkan generator. Putaran turbin diubah menjadi energi listrik melalui magnet dalam generator (Parinduri & Parinduri., 2020).

Teknologi pengubahan biomassa menjadi bahan bakar dapat dikategorikan menjadi tiga jenis yaitu pembakaran langsung, konversi termokimia, dan konversi biokimia (Parinduri & Parinduri., 2020). Pemanfaatan energi biomassa meliputi Biobriket dan gasifikasi. Bioriket merupakan metode yang digunakan untuk mengubah sumber energi biomassa menjadi bentuk biomassa lainnya dengan cara memadatkan sehingga wujudnya menjadi lebih teratur. Gasifikasi biomassa adalah proses mengubah bahan selulosa di dalam reaktor gasifikasi (gasifier) menjadi bahan bakar (Parinduri & Arfah., 2019). Kelebihan dari energi biomassa yaitu sangat mudah untuk mendapatkan bahan dasar, jumlah limbah dapat dikurangi dan mengurangi pengaruh Gas rumah kaca pada suhu permukaan bumi, memiliki sumber yang selalu baru, dan teknologi pengolahan yang tidak terlalu rumit (Sulasminingsih *et al.*, 2023).

2.2.2 Pirolisis Arang Tungku Boiler Pabrik CPO

Pirolisis adalah proses dekomposisi termal material organik yang berbasis karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi, biasanya antara 300 hingga 700°C, di lingkungan yang kekurangan atau tanpa oksigen. Proses ini menyebabkan pemutusan ikatan kimia dalam material organik sehingga menghasilkan tiga produk utama: produk padat berupa biochar (biokarbon), produk cair seperti bio-oil, dan produk gas yang disebut syngas atau gas pirolisis. Berbeda dengan insinerasi yang melibatkan pembakaran dengan oksigen, pirolisis berlangsung

dalam kondisi anaerobik sehingga tidak terjadi pembakaran sempurna. Perbedaan lain dengan gasifikasi adalah pirolisis dilakukan tanpa atau dengan oksigen minimal, sedangkan gasifikasi memerlukan oksigen terbatas atau uap air. Kondisi tanpa oksigen ini merupakan prinsip utama yang membedakan pirolisis dari proses termal lainnya dalam mengubah biomassa menjadi produk energi dan bahan kimia bernilai.(Masrida & Kartika., 2025).

Tahap utama dalam teknologi pirolisis adalah proses ketika bahan organik mulai terurai secara kimia setelah mencapai suhu tertentu, menghasilkan beberapa produk seperti bio-oil (minyak pirolisis), gas pirolitik, dan residu padat berupa char (biokarbon). Proses ini berlangsung dalam kondisi anaerobik, artinya tanpa kehadiran oksigen, sehingga tidak terjadi pembakaran. Secara fisika, reaksi ini menggambarkan konversi bentuk energi, di mana energi kimia yang tersimpan dalam struktur molekul biomassa diubah menjadi energi panas dan kemudian dikonversi menjadi energi dalam bentuk bahan bakar baru, seperti bio-oil dan gas. Meskipun terjadi perubahan bentuk energi, hukum kekekalan energi tetap berlaku, di mana jumlah energi total dalam sistem tidak berubah, hanya berubah bentuk menjadi energi lain yang lebih berguna (Qolbi *et al.*, 2025). Dalam penelitian (Sugiarto *et al.*, 2024) mengembangkan reaktor pirolisis *self-sufficient* yang dapat meningkatkan efisiensi energi dengan memanfaatkan gas hasil pirolisis sebagai bahan bakar internal, menghasilkan biochar dengan kandungan karbon tetap sekitar 70%. Produk biochar tersebut memiliki struktur berpori yang meningkatkan retensi air dan kesuburan tanah, sekaligus mengurangi limbah serta ketergantungan pada bahan bakar fosil. Penelitian ini menunjukkan bahwa pengendalian suhu dan tekanan dapat mempertahankan kualitas biochar secara konsisten dan efisien energi dalam mengolah limbah organik. Dengan demikian pemanfaatkan limbah padat boiler melalui proses pirolisis, industri dapat mengubah limbah yang selama ini menjadi beban lingkungan menjadi sumber energi alternatif yang ekonomis dan ramah lingkungan. Proses ini tidak hanya membantu mengatasi masalah limbah industri, tetapi juga mendukung upaya transisi energi menuju sumber energi terbarukan dengan menawarkan produk berkualitas yang memiliki nilai tambah lingkungan dan ekonomi (Sugiarto *et al.*, 2024).

2.2.3 Biokarbon

Biokarbon adalah material karbon yang dihasilkan melalui proses pirolisis atau karbonisasi biomassa. Biokarbon memiliki permukaan yang luas dan kapasitas adsorpsi yang tinggi, sehingga banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti penyimpanan energi, adsorben, dan bahan bakar alternatif (Tetra *et al.*, 2024). Menurut Sarwono (2016), biokarbon dapat digunakan sebagai cara menyimpan karbon dan meningkatkan kualitas tanah, sehingga membantu mencegah pemanasan global dengan mengurangi emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida. Menggunakan biokarbon dari limbah bahan organik harapan dapat mengurangi konsentrasi karbon dioksida di atmosfer sekaligus meningkatkan kondisi tanah untuk pertanian yang berkelanjutan (Sarwono., 2016). Unsur penyusun biokarbon dari limbah boiler dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Unsur mineral biokarbon (Wijitkosum & Jiwnok., 2019)

| Unsur Mineral | Percentase (%) |
|--------------------|----------------|
| Karbon (C) | 45,0 |
| Hidrogen (H) | 6,0 |
| Oksigen (O) | 35,0 |
| Nitrogen (N) | 2,0 |
| Sulfur (S) | 0,5 |
| Abu (<i>Ash</i>) | 9,5 |
| Mineral lainnya | 2,0 |

Biokarbon merupakan hasil dari proses pirolisis, memiliki sifat fisik, kimia, dan biologis yang berbeda dibandingkan bahan asalnya. Sifat-sifat ini dapat memengaruhi kondisi tanah. Penggunaan biokarbon dalam bidang pertanian semakin diminati karena kemampuannya untuk meningkatkan kesuburan tanah, meningkatkan kemampuan tanah menyimpan air, mengurangi erosi tanah akibat hujan atau angin, serta secara keseluruhan meningkatkan layanan lingkungan (Evizal & Prasmatiwi., 2023). Biokarbon memiliki beberapa manfaat penting dalam bidang pertanian, salah satunya adalah meningkatkan kemampuan tanah

untuk menahan dan menukar ion-ion penting, yaitu kapasitas tukar kation. Selain itu, biokarbon juga mampu menyimpan dan mengikat unsur hara (Kusman *et al.*, 2024).

Pemanfaatan limbah biomassa industri dan pertanian sebagai bahan baku biokarbon juga telah banyak diteliti. Produksi biokarbon yang didukung oleh pemanfaatan limbah organik memiliki potensi signifikan dalam mitigasi perubahan iklim dengan cara meningkatkan kandungan karbon dalam tanah, mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK), serta memperbaiki kualitas lingkungan. Biochar yang dihasilkan dari limbah organik tidak hanya berfungsi sebagai media penyimpan karbon, tetapi juga dapat meningkatkan produktivitas tanah dan menekan degradasi lahan. Upaya ini sejalan dengan kebijakan energi bersih di Indonesia yang menargetkan peningkatan kapasitas energi terbarukan guna mengurangi emisi karbon secara signifikan hingga tahun 2025 dan seterusnya, sehingga produksi biokarbon dari limbah organik bisa menjadi bagian penting dalam strategi pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan dan pengurangan jejak karbon nasional (Istiqomah *et al.*, 2025).

2.2.4 Pengertian Biobriket

Biobriket adalah bahan bakar padat yang berfungsi sebagai sumber energi alternatif pengganti bahan bakar minyak. Proses pembuatannya melalui karbonisasi bahan baku, yang kemudian dicetak dengan tekanan tertentu baik menggunakan bahan pengikat (binder) maupun tanpa bahan pengikat tambahan lainnya. Bahan utama dalam pembuatan biobriket umumnya berukuran partikel kecil berbentuk serbuk yang berasal dari berbagai limbah biomassa, seperti serbuk batubara, serbuk gergaji, sekam, limbah kehutanan, dan arang biomassa hasil pertanian. Biobriket yang dibuat dari arang biomassa ini biasa disebut Biobriket, yang dapat berasal dari bagian tanaman yang sengaja digunakan sebagai bahan baku maupun sisa atau limbah proses produksi agroindustri (Rifdah *et al.*, 2018).

Produksi biobriket merupakan salah satu praktik pengelolaan limbah yang penting terutama di negara-negara berkembang. Pemanfaatan limbah pertanian dan agroindustri untuk pembuatan biobriket memberikan solusi berkelanjutan dalam

mengurangi limbah dan menyediakan sumber energi alternatif. Limbah-limbah pertanian seperti sekam padi, bongkol jagung, daun, dan limbah kayu setelah proses gergaji sering digunakan sebagai bahan baku biobriket. Proses pembuatan biobriket meliputi beberapa tahapan, yaitu devolatilisasi (pengarangan bahan baku menjadi arang), penggilingan arang menjadi serbuk halus, pencampuran bahan dengan perekat seperti tepung kanji, pencetakan menggunakan mesin atau cetakan manual, serta pengeringan dan pengemasan biobriket yang telah jadi (Faizah *et al.*, 2022).

Teknologi pembuatan biobriket bervariasi mulai dari pengepresan piston, pengepresan sekrup, hingga pengepresan manual dengan cetakan logam. Biobriket memiliki beberapa uji ideal seperti tekstur halus, tidak mudah pecah, keras, aman bagi manusia dan lingkungan, serta memiliki sifat penyalakan yang baik seperti mudah menyala, waktu nyala yang cukup lama, sedikit asap dan cepat hilang, serta nilai kalor yang tinggi. Biobriket memiliki keuntungan teknis dan ekonomis sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan karena mengurangi emisi asap dibandingkan bahan bakar fosil dan meningkatkan efisiensi pemanfaatan limbah biomassa (Arachchige., 2021). Dengan demikian, produksi biobriket bukan hanya sebagai alternatif sumber energi, melainkan juga sebagai solusi pengelolaan limbah yang efektif di sektor pertanian dan industri, memberikan dampak positif bagi lingkungan dan keberlanjutan energi.



Gambar 4. Biobriket (Cutari, 2023)

Pada **Gambar 4** merupakan bentuk biobriket yang sudah dicetak. Kualitas biobriket dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, pertama, kadar air rendah akan menghasilkan

biobriket yang mudah terbakar dan biobriket dengan kadar air yang tinggi akan menyebabkan nilai kalor menurun. Kedua, kadar abu yang mengacu pada jumlah abu yang tersisa setelah bahan baku biobriket terbakar. Ketiga, kadar kalor biobriket. Dimensi biobriket berpengaruh terhadap kadar abu dan daya bakar biobriket, sedangkan ukuran partikel berpengaruh terhadap kadar air, kadar abu serta daya bakar biobriket. Baik dimensi dan ukuran partikel sama-sama tidak berpengaruh terhadap indeks kehancuran biobriket (Zuhri & Mikhralunnisa., 2023). Produk biobriket mengikuti standar SNI 01-6235-2000 sebagai dasar dalam penentuan spesifikasi produk biobriket.

Tabel 2. Persyaratan biobriket SNI 01-6235-2000 (BSN, 2000)

| No | Jenis | Konsentrasi (%) |
|----|-----------------|-----------------------------|
| 1 | Moisture | $\leq 8\%$ |
| 2 | Volatile Matter | $\leq 15\%$ |
| 3 | Ash Content | $\leq 8\%$ |
| 4 | Fixed Carbon | $\geq 77\%$ |
| 5 | Nilai Kalor | $\geq 5000 \text{ Kkal/Kg}$ |

2.2.5 Bahan Perekat Tapioka dan Gula

Perekat adalah suatu zat atau bahan yang memiliki kemampuan untuk mengikat dua benda melalui ikatan permukaan. Beberapa istilah lain dari perekat yang memiliki kekhususan meliputi *glue*, *mucilage*, *paste*, dan *cement*. *Glue* merupakan perekat yang terbuat dari protein hewani seperti kulit, kuku, urat, otot, dan tulang yang digunakan dalam industri kayu. *Mucilage* adalah perekat yang dipersiapkan dari getah dan air yang diperuntukkan terutama untuk perekat kertas. *Paste* adalah perekat pati (*starch*) yang dibuat dari pemanasan campuran pati dan air dan dipertahankan dalam bentuk pasta. *Cement* adalah istilah yang digunakan untuk perekat yang bahan dasarnya karet dan mengeras melalui pelepasan pelarut (Almu *et al.*, 2014). Komposisi bahan perekat (perbandingan bahan perekat yang digunakan), metode pembuatan biobriket, perekat yang digunakan, dan kualitas biobriket yang dihasilkan adalah beberapa faktor yang dapat mempengaruhi mutu atau kualitas biobriket. Menurut para ahli, kualitas didefinisikan sebagai kualitas

atau sifat (Badia & Gunawan., 2024). salah satu Jenis perekat untuk pembuatan biobriket adalah tepung tapioka.

Tepung tapioka berasal dari umbi ketela pohon yang dibuat menjadi tepung, tapioka berasal sering digunakan sebagai bahan untuk pembuatan kue-kue dan aneka masakan. Proses pembuatannya melibatkan beberapa tahap, seperti pencucian, pemanasan, dan pengeringan untuk menghasilkan tepung berwarna putih dengan tekstur halus. Pemanfaatan tepung tapioka sebagai bahan perekat karena zat pati yang terdapat dalam bentuk karbohidrat pada umbi ketela pohon yang berfungsi sebagai cadangan makanan. Tapioka apabila dibuat sebagai bahan perekat mempunyai daya rekat yang tinggi dibandingkan dengan tepung lainnya (Nuwa & Prihanika., 2018). Unsur penyusun tapioka dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Unsur mineral tapioka (Javadian *et al.*, 2021)

| No. | Unsur Mineral | Percentase (%) |
|-----|---------------|----------------|
| 1. | Karbon (C) | 44,4 |
| 2. | Hidrogen (H) | 6,2 |
| 3. | Oksigen (O) | 49,3 |
| 4. | Mineral lain | 0,1 |

Tapioka merupakan pati yang tersusun dari polimer glukosa dengan rumus kimia dasar $(C_6H_{10}O_5)_n$. Tapioka memiliki dua komponen utama yaitu amilosa dan amilopektin yang keduanya merupakan rangkaian molekul glukosa yang terikat melalui ikatan glikosidik. Berbeda dengan gula sukrosa yang merupakan disakarida sederhana, tapioka adalah polisakarida atau karbohidrat kompleks yang berfungsi sebagai sumber energi, namun rendah protein, vitamin, dan mineral (Javadian *et al.*, 2021). Konsentrasi perekat tapioka dalam pembuatan biobriket berpengaruh nyata terhadap kerapatan, *shatter resistance index*, dan laju pembakaran biobriket. Semakin rendah konsentrasi perekat tapioka yang digunakan cenderung meningkatkan kerapatan, kekuatan tekan, dan *shatter resistance index*. Serta menurunkan laju pembakaran biobriket (Prayoga & Tamrin., 2023). Menurut penelitian (Jannah *et al.*, 2022). terlihat bahwa jenis bahan perekat memberikan pengaruh yang berbeda terhadap nilai kalor dan laju pembakaran biobriket. Dimana

nilai kalor tertinggi pada biobriket dengan perekat tepung tapioka persentase 10% yaitu sebesar 5771,85 kalori dengan nilai laju pembakaran sebesar 1,97 gr/menit. Persentase bahan perekat berpengaruh signifikan terhadap nilai kalor dan laju pembakaran biobriket; penambahannya cenderung meningkatkan laju pembakaran. Unsur penyusun gula dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Unsur mineral gula (Ridhani *et al.*, 2021)

| No. | Unsur Mineral | Percentase (%) |
|-----|---------------|----------------|
| 1. | Karbon (C) | 42,2 |
| 2. | Hidrogen (H) | 6,5 |
| 3. | Oksigen (O) | 51,2 |
| 4. | Mineral lain | 0,1 |

Gula (sukrosa) dengan rumus molekul $C_{12}H_{22}O_{11}$ tersusun dari tiga unsur kimia yaitu karbon (C) sebesar 42,2%, hidrogen (H) sebesar 6,5%, dan oksigen (O) sebesar 51,3% dengan total massa molekul relatif 342g/mol. Oksigen merupakan unsur dominan yang membentuk lebih dari setengah massa sukrosa karena membentuk banyak gugus hidroksil (-OH), sementara karbon membentuk kerangka dasar rmolekul, dan hidrogen memiliki kontribusi terkecil meskipun jumlah atomnya paling banyak (Ridhani *et al.*, 2021). Gula sering digunakan dalam pembuatan perekat karena sifat viskositas dan daya rekatnya yang dapat mempengaruhi kekuatan fisik perekat. Gula berperan sebagai bahan perekat alami yang dapat meningkatkan adhesi antar permukaan dalam berbagai aplikasi industri (Alfian *et al.*, 2025). Gula sebagai perekat alami telah diamati efektifitasnya tidak hanya pada bidang media maupun industri konstruksi, tetapi juga dalam bidang pertanian dan lingkungan sebagai perekat bahan perekat organik atau atraktan untuk mengendalikan hama secara mekanis. Hal ini memperluas pemahaman tentang multifungsi gula sebagai perekat yang ekonomis dan ramah lingkungan (Fitriani *et al.*, 2023)

2.2.6 Uji Proksimat

Uji proksimat merupakan metode analisis penting dalam evaluasi kualitas biobriket, yang mengukur parameter seperti kadar air (*moisture content*), kadar abu (*ash content*), kadar zat terbang (*volatile matter*), dan karbon tetap (*fixed carbon*). Parameter ini menggambarkan efisiensi energi, kelayakan produk, dan kecocokan dengan standar mutu seperti SNI. Misalnya, dalam penelitian tentang Biobriket campuran kulit durian, tongkol jagung, dan tulang ikan pengujian proksimat mencakup semua parameter tersebut serta nilai kalor untuk menilai mutu keseluruhan produk (Novitrie *et al.*, 2023). Analisis proksimat membantu dalam membandingkan kualitas berbagai jenis biobriket. Contohnya, sebuah studi pada biobriket batubara dan biobriket biomassa menunjukkan hasil uji proksimat yang mencakup semua komponen dasar seperti kadar air, kadar abu, *volatile matter*, dan *fixed carbon* (Tambaria & Serli., 2019). Ini menegaskan bahwa analisis proksimat adalah tolak ukur utama dalam penilaian mutu biobriket bahan bakar padat. Analisis proksimat meliputi uji kadar abu Kadar Air (*Moisture Content*), Kadar Abu (*Ash Content*), Zat Terbang (*Volatile Matter*), Karbon Tetap (*Fixed Carbon*), dan Nilai Kalor (*Calorific Value*).

2.2.6.1 Kadar Air (*Moisture Content*)

Analisis kadar air dilakukan untuk mengetahui jumlah air yang terkandung di dalam biobriket. Kadar air sangat berperan penting dalam kualitas biobriket yang dihasilkan, karena semakin rendahnya kadar air yang diperoleh maka kualitas biobriket yang dihasilkan akan semakin baik. Tinggi rendahnya kadar air dapat dipengaruhi oleh jumlah perekat yang ditambahkan karena perekat mengandung kadar air yang tinggi atau masih lembab (Deglas & Fransiska., 2020). Tekanan saat pembuatan biobriket berpengaruh terhadap kadar air yang tertinggal di dalam biobriket. Tekanan tinggi dapat menyebabkan air terjebak di pori-pori sehingga sulit keluar saat pengeringan, menghasilkan kadar air biobriket yang lebih tinggi. Kadar air bagus untuk mutu biobriket sebaiknya di bawah 8% sesuai standar mutu biobriket SNI. Kadar air yang tinggi menyebabkan biobriket sulit dinyalakan, mudah menghasilkan asap, serta menurunkan efisiensi pembakaran (Ulma *et al.*,

2021). Rumus untuk menghitung kadar air biobriket menurut (SNI 01-6235-2000) yang digunakan dalam berbagai penelitian adalah.

$$Kadar\ air\ (MC) = \frac{a - b}{a} \times 100\ \%$$

Keterangan:

a = Berat sebelum dikeringkan atau berat awal (g)

b = Berat sesudah dikeringkan atau berat akhir (g)

2.2.6.2 Zat Terbang (*Volatile Matter*)

Uji *volatile matter* pada biobriket bertujuan untuk mengetahui jumlah zat yang mudah menguap saat bahan dipanaskan tanpa adanya oksigen. *Volatile matter* terdiri dari senyawa organik yang terurai menjadi gas atau uap, misalnya karbon monoksidan metana, hidrogen, dan senyawa hidrokarbon lainnya. Kadar zat terbang ini penting karena berhubungan langsung dengan mudah tidaknya beriket menyala saat dibakar (Tambaria & Serli., 2019). Kadar *volatile* yang terlalu tinggi menyebabkan pembakaran lebih cepat habis, menghasilkan sisa banyak, dan menurunkan efisiensi panas. Sebaliknya, kadar *volatile* yang terlalu rendah akan membuat biobriket sulit dinyalakan. Oleh karena itu, kadar *volatile matter* yang ideal harus berada dalam rentang tertentu agar biobriket mudah menyala namun tetap memberikan pembakaran stabil (Fazira *et al.*, 2023)

Kadar *volatile matter* yang ideal harus berada di antara rentang tertentu agar biobriket mudah menyala namun tetap memberikan pembakaran yang stabil dan efisien. Untuk biobriket biomassa seperti batok kelapa, kadar *volatile matter* biasanya berkisar antara 12-18% dengan kualitas pembakaran yang baik, yaitu menghasilkan sedikit asap dan polutan (Wati & Supriyono., 2025). Secara keseluruhan, pengujian *volatile matter* merupakan salah satu parameter penting dalam karakterisasi mutu biobriket karena mempengaruhi performa pembakaran, efisiensi energi, dan dampak lingkungan dari penggunaan biobriket tersebut. Optimalisasi kadar *volatile matter* membantu mengembangkan biobriket dengan pembakaran yang bersih, efisien, dan mudah dinyalakan. Untung menghitung

kadar abu, dapat digunakan rumus berikut. Untung menghitung *Volatile Matter*, dapat digunakan rumus berikut.

$$VM = \frac{a - b}{a} \times 100\%$$

Keterangan:

a = Massa sampel awal (g)

b = Massa sampel setelah pemanasan (g)

2.2.6.3 Kadar Abu (*Ash Content*)

Kadar abu pada biobriket merupakan sisa mineral anorganik yang tidak terbakar setelah proses pembakaran sempurna pada suhu tinggi. Abu ini umumnya berasal dari kandungan mineral alami pada bahan baku seperti silika, kalsium, kalium, magnesium, maupun dari tambahan perekat yang digunakan. semakin tinggi kadar abu, maka kualitas biobriket menurun karena dapat mengurangi nilai kalor, menimbulkan kerak pada tungku, serta menurunkan efisiensi pembakaran (Fazira *et al.*, 2023). Pengukuran kadar abu pada biobriket dilakukan untuk mengetahui jumlah material tak terbakar yang tersisa setelah pembakaran total. Kadar abu yang tinggi dapat mengganggu proses pembakaran dan merusak peralatan, sedangkan kadar abu rendah menandakan kualitas biobriket yang lebih baik. Selain itu, kadar abu yang rendah juga berkontribusi pada nilai kalor yang lebih tinggi dan pembakaran yang lebih efisien. Jadi, kadar abu menjadi parameter penting dalam menentukan mutu biobriket (Setyono & Purnomo., 2022).

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 01-6235-2000), kadar abu biobriket diperbolehkan maksimal 8%, sehingga kadar abu yang melebihi batas tersebut dianggap tidak memenuhi standar mutu. Hal ini dikarenakan kadar abu yang rendah akan menghasilkan panas yang lebih besar, sehingga meningkatkan efisiensi pembakaran biobriket (Sigiro *et al.*, 2024). Penelitian menunjukkan bahwa kadar abu biobriket yang rendah berkisar antara 2,86%, yang dipengaruhi oleh jenis bahan baku dan perekat yang digunakan. Kadar abu yang rendah ini menunjukkan kualitas biobriket yang baik dengan pembakaran lebih efisien dan dampak

lingkungan yang minim. (Iswara *et al.*, 2024). Untuk menghitung kadar abu, dapat digunakan rumus berikut.

$$AC = \frac{b - a}{c} \times 100\%$$

Keterangan:

a = Massa cawan kosong (g)

b = Massa cawan dan abu (g)

c = Massa cawan dan biobriket (g)

2.2.6.4 Karbon Tetap (*Fixed Carbon*)

Karbon Tetap (*Fixed Carbon*) merupakan fraksi karbon (C) yang terikan didalam biobriket selain fraksi air, zat menguap, dan abu. Karbon tetap bertindak sebagai pembangkit utama panas selama proses pembakaran biobriket. kandungan karbon tetap pada biobriket dipengaruhi oleh jenis bahan baku, proses karbonisasi, kadar air, kadar abu, serta kadar zat terbang yang mudah menguap. Bahan baku dengan kepadatan tinggi dan kandungan lignin yang tinggi menghasilkan kadar karbon tetap yang lebih baik sehingga meningkatkan kualitas biobriket (Titarsole & Maail, 2021). Menurut SNI 01-6235-2000, nilai *fixed carbon* yang baik untuk biobriket adalah minimal 77%. Semakin tinggi kandungan *fixed carbon*, semakin besar energi panas yang dapat dihasilkan. Kandungan *fixed carbon* yang rendah menunjukkan banyaknya zat pengotor atau komponen non-karbon seperti abu dan air, sehingga nilai kalor biobriket menjadi rendah (Wardani & Ariani., 2023).

Kadar karbon tetap yang tinggi berbanding terbaik dengan kadar zat mudah menguap (*volatile matter*). Kadar karbon tetap yang tinggi biasanya diikuti dengan kadar zat menguap yang lebih rendah, yang mengindikasikan efisiensi pembakaran dan kualitas biobriket yang lebih baik. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa variasi ukur partikel biobriket dan tekanan pencetakan dapat mempengaruhi kadar karbon yang optimal dan tekanan yang tepat memberikan kadar karbon tetap yang lebih tinggi sehingga meningkatkan nilai kalor biobriket (Dewi *et al.*, 2020). Hal ini menegaskan pentingnya proses produksi yang optimal untuk menghasilkan

biobriket berkualitas tinggi. Untung menghitung kadar karnon tetap, dapat digunakan rumus berikut.

$$FC(\%) = 100\% - (IM + VM + AC)$$

Keterangan:

IM = *Moisture Inherent (%)*

VM = *Volatile Matter (%)*

AC = Kadar Abu (%)

2.2.7 Nilai Kalor (*Calorific Value*)

Nilai kalor adalah jumlah energi panas maksimum yang dilepaskan atau ditimbulkan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna per satuan massa atau volume bahan bakar tersebut. Nilai kalor diperoleh dari biobriket dengan data laboratorium menggunakan kalorimeter (Aljarwi *et al.*, 2020). Mutu biobriket arang yang baik ditentukan oleh tingginya nilai kalor yang dimilikinya. Semakin besar nilai kalor yang diperoleh dari biobriket tersebut, maka semakin tinggi pula kualitas biobriket itu sendiri. Berdasarkan standar SNI No 01-6235-2000, nilai kalor minimum yang harus dimiliki oleh biobriket adalah sebesar 5000 kalori per gram (cal/g) (Harahap & Jumiati., 2022). Nilai kalor di pengaruhi oleh beberapa faktor seperti kadar air, kadar abu, kadar zat terbang yang terkandung di dalamnya. Selain itu, proses karbonisasi juga memiliki pengaruh besar terhadap besarnya nilai kalor yang dihasilkan. Oleh karena itu, bahan bau yang digunakan, ukuran partikel bahan baku, serta kondisi proses karbonisasi sangat menentukan besaran nilai kalor dari biobriket yang di produksi. Jadi, mutu biobriket arang sangat tergantung pada nilai kalor yang besar yang dipengaruhi oleh kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, bahan baku, ukuran partikel, dan proses karbonisasi (Adipratama *et al.*, 2021).

2.2.8 Aplikasi Biobriket dalam Energi Terbarukan

Aplikasi biobriket dalam sumber energi terbarukan menjadi salah satu solusi penting dalam mengatasi keterbatasan energi fosil serta dampaknya terhadap lingkungan. Berdasarkan jurnal internasional karya Sondakh dan tim tahun 2022, biobriket yang dibuat dari limbah biomassa seperti tempurung kelapa, sabut kelapa, sekam padi, dan tongkol jagung memiliki sifat fisik dan kimia yang cocok digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan. Biobriket ini memiliki kadar air yang rendah, masa pembakaran yang tahan lama, dan nilai kalor yang cukup tinggi, sehingga menjadi sumber energi terbarukan yang potensial untuk kebutuhan rumah tangga serta industri ringan. Memanfaatkan limbah biomassa sebagai bahan dasar biobriket dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan membantu mengurangi emisi gas rumah kaca (Sondakh *et al.*, 2022).

Selain itu, penelitian terbaru oleh Wu (2025) menunjukkan bahwa biobriket biomassa yang diproduksi dengan proses karbonisasi yang benar tidak hanya memiliki kandungan kalor yang tinggi, tetapi juga mengeluarkan emisi yang lebih sedikit dibandingkan bahan bakar biasa. Biobriket ini bisa digunakan di berbagai bidang, mulai dari kebutuhan rumah tangga, industri kecil hingga pembangkit listrik skala kecil. Hal ini juga berkontribusi pada upaya global untuk menggunakan energi terbarukan dan mencapai target pengurangan emisi karbon. Dengan demikian, penggunaan biobriket tidak hanya praktis dan hemat biaya, tetapi juga penting dalam menjaga lingkungan yang berkelanjutan serta mengatasi perubahan iklim (Wu *et al.*, 2025).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli samapi dengan bulan Agustus 2025. Penelitian ini dilakukan di Pusat Riset Teknologi Pertambangan-Badan Riset dan Inovasi Nasional (PRTP-BRIN), Jl. Insinyur Sutami, KM 15, Serdang, Kec. Tanjung Bintang, Kabupaten Lampung Tengah.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari: oven, cawan porselen, saringan 40 mesh, *furnace*, neraca analitik, timbangan digital, cetakan, penjepit, mortar dan alu. Alat uji kuat tekan yang digunakan adalah *Universal Testing Machines (UTM) Type Krisbow*.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut; arang tungku boiler pabrik CPO PTPN 7 Lampung Tengah, air, tepung tapioka, dan gula.

3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan diantaranya preparasi bahan, pembuatan sampel, uji *Proksimat*, dan uji nilai kalor.

3.3.1 Preparasi Bahan

Tahapan preparasi yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Bahan-bahan yang disiapkan adalah arang tungku boiler pabrik CPO PTPN 7 Lampung Tengah, air, tepung tapioka, dan gula.
2. Arang tungku boiler pabrik CPO dikeringkan dengan alat oven selama 2 jam dengan suhu 70°C, setelah kering disaring menggunakan saringan ukuran lolos 40 mesh.
3. Bahan-bahan ditimbang menggunakan timbangan digital (sesuai variasi komposisi pada **Tabel 5**).

Tabel 5 Komposisi pembuatan biobriket

| Kode Sampel | Komposisi Bahan Baku (%) | | |
|-------------|---------------------------------------|---------|------|
| | Arang Tungku Boiler Pabrik CPO PTPN 7 | Tapioka | Gula |
| K1 | 75 | 25 | - |
| K2 | 76 | 24 | - |
| K3 | 77 | 23 | - |
| K4 | 78 | 22 | - |
| K5 | 79 | 21 | - |
| K6 | 75 | - | 25 |
| K7 | 76 | - | 24 |
| K8 | 77 | - | 23 |
| K9 | 78 | - | 22 |
| K10 | 79 | - | 21 |

3.3.2 Pembuatan Biobriket Arang tungku boiler pabrik CPO PTPN 7 Lampung Tengah dengan Perekat Tapioka

Tahapan pembuatan biobriket Arang tungku boiler pabrik CPO adalah sebagai berikut.

1. Tepung tapioka sebanyak 100 gram dicampurkan dengan 500 gram air dalam panci, kemudian dipanaskan menggunakan kompor sambil diaduk hingga larutan mengental dan membentuk perekat yang siap digunakan.
2. Arang tungku boiler pabrik CPO dan perekat dimasukkan ke dalam wadah mangkok sesuai dengan variasi komposisi yang digunakan, kemudian diaduk hingga tercampur rata.
3. Cetakan biobriket diolesi dengan oli agar bahan yang dicetak tidak lengket saat dikeluarkan.
4. Campuran bahan biobriket dimasukkan ke dalam cetakan pipa silinder kemudian di padatkan menggunakan alat press *Universal Testing Machines* (UTM) *Type Krisbow*.
5. Setelah di press biobriket dikeluarkan dari cetakan.
6. Biobriket dikeringkan dalam oven pada suhu 70°C Selama 3 jam hingga kering.
7. Didapatkan produk biobriket Arang tungku boiler pabrik CPO dengan perekat tepung tapioka.

3.3.3 Pembuatan Biobriket Arang tungku boiler pabrik CPO PTPN 7 Lampung Tengah dengan Perekat Gula

Tahapan pembuatan biobriket Arang tungku boiler pabrik CPO adalah sebagai berikut.

1. Gula sebanyak 100 gram dicampurkan dengan 500 gram air dalam panci, kemudian dipanaskan menggunakan kompor sambil diaduk hingga larutan dan membentuk perekat yang siap digunakan.
2. Arang tungku boiler pabrik CPO dan perekat dimasukkan ke dalam wadah

mangkok sesuai dengan variasi komposisi yang digunakan, kemudian diaduk hingga tercampur rata.

3. Cetakan biobriket di olesi dengan oli agar bahan yang dicetak tidak lengket saat dikeluarkan.
4. Campuran bahan biobriket dimasukkan ke dalam cetakan pipa silinder kemudian di padatkan menggunakan alat press *Universal Testing Machines* (UTM) *Type Krisbow*.
5. Setelah di press biobriket dikeluarkan dari cetakan.
6. Biobriket dikeringkan dalam oven pada suhu 70°C Selama 3-4 jam hingga kering.
7. Didapatkan produk biobriket Arang tungku boiler pabrik CPO dengan perekat Gula.

3.3.4 Uji Proksimat

Tahap pelaksanaan uji *proksimat* dalam penelitian ini sebagai berikut:

3.3.4.1 Moisture Content (Kadar Air)

Uji kadar air pada sampel dilakukan untuk mengatahui persentase air dalam suatu produk biobriket. Uji kadar air yang dilakukan terdiri dari uji *moisture* total dan *moisture inherent*. *Moisture* total adalah jumlah seluruh kadar air dalam bahan, mencakup air di permukaan dan didalam struktur bahan. Sedangkan *moisture inherent* adalah air yang tertahan di dalam struktur bahan setelah air permukaan dihilangkan (Tarigan *et al.*, 2024). Prosedur pengujian kadar air adalah sebagai berikut.

1. Cawan ditimbang menggunakan neraca analitik.
2. Sampel biobriket dimasukkan kedalam cawan kosong dan ditimbang sebanyak 1 gram.
3. Sampel dipanaskan dalam oven dengan cawan terbuka pada suhu 100°C Selama 2 jam.
4. Sampel dikeluarkan dan diletakkan kedalam desikator selama 1 jam untuk

didinginkan.

5. Sampel ditimbang dan dianalisis untuk menghasilkan nilai *moisture* total (TM).
6. Sampel dipanaskan kembali menggunakan oven dengan cawan terbuka pada suhu 100°C Selama 1 jam.
7. Sampel diletakkan kedalam desikator selama 1 jam untuk didinginkan.
8. Sampel ditimbang dan menghasilkan nilai *moisture Inherent* (IM).

Nilai *moisture* total dan *moisture inherent* dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$Kadar air (MC\%) = \frac{a - b}{a} \times 100 \%$$

Keterangan:

a = Berat sebelum dikeringkan atau berat awal (g)

b = Berat sesudah dikeringkan atau berat akhir (g)

3.3.4.2 *Volatile Matter* (Zat Terbang)

Volatile Matter pada biobriket yaitu uji zat terbang. *Volatile matter* dilakukan untuk bahan yang menguap saat dipanaskan tanpa oksigen. Kandungan *volatile matter* ini penting karena mempengaruhi efisiensi pembakaran serta jumlah asap yang dihasilkan. Prosedur pengujian *volatile matter* sebagai berikut:

1. Sisa sampel dari tahap uji *Moisture Inherent* digunakan untuk tahap uji *Volatile Matter*.
2. *Furnace* dipanaskan hingga mencapai suhu 800°C.
3. Sampel dibakar kedalam *Furnace* dengan cawan tertutup selama 7 menit.
4. Sampel diletakkan kedalam desikator menggunakan penjepit selama 1 jam untuk didinginkan.
5. Sampel ditimbang dan menghasilkan nilai *Volatile Matter*.

Nilai *Volatile Matter* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$VM = \frac{a - b}{a} \times 100\%$$

Keterangan:

a = Massa sampel awal (g)

b = Massa sampel setelah pemanasan (g)

3.3.4.3 *Ash Content (Kadar Abu)*

Pengujian kadar abu (*ash content*) dilakukan untuk mengetahui jumlah mineral yang tersisa pada produk biobriket setelah suatu sampel dibakar dengan sempurna. Prosedur pengujian kadar abu (*ash content*) sebagai berikut:

1. Sisa sampel dari tahap uji *Volatile Matter* digunakan untuk tahap uji *ash content*.
2. *Furnace* dipanaskan hingga mencapai suhu 700°C.
3. Sampel dibakar kedalam *Furnace* dengan cawan terbuka selama 2 jam.
4. Sampel diletakkan kedalam desikator menggunakan penjepit selama 1 jam untuk didinginkan.
5. *Furnace* dimatikan dan didiamkan selama 15 menit dalam keadaan pintu terbuka.
6. Sampel diletakkan kedalam desikator menggunakan penjepit selama 1 jam untuk didinginkan.
7. Sampel ditimbang dan menghasilkan nilai *ash content*.

Nilai *ash content* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$AC = \frac{b - a}{c} \times 100\%$$

Keterangan:

a = Massa cawan kosong (g)

b = Massa cawan dan abu (g)

c = Massa cawan dan biobriket (g)

3.3.4.4 *Fixed Carbon* (Karbon Terikat)

Fixed carbon atau karbon terikat adalah jumlah karbon dalam bahan padat setelah semua zat mudah menguap, kadar air, dan abu dihilangkan. *fixed carbon* mencerminkan kandungan karbon yang tersisa dan berkontribusi terhadap nilai kalor bahan bakar seperti biobriket. Semakin tinggi kadar *fixed carbon*, semakin tinggi nilai kalor dan kualitas bahan bakar tersebut. Kadar karbon terikat dihitung dari 100% dikurangi dengan penjumlahan kadar air, kadar abu, dan kadar menguap (Rusman *et al.*, 2023). Nilai *fixed carbon* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$FC(\%) = 100\% - (IM + VM + AC)$$

Keterangan:

IM = *Moisture Inherent (%)*

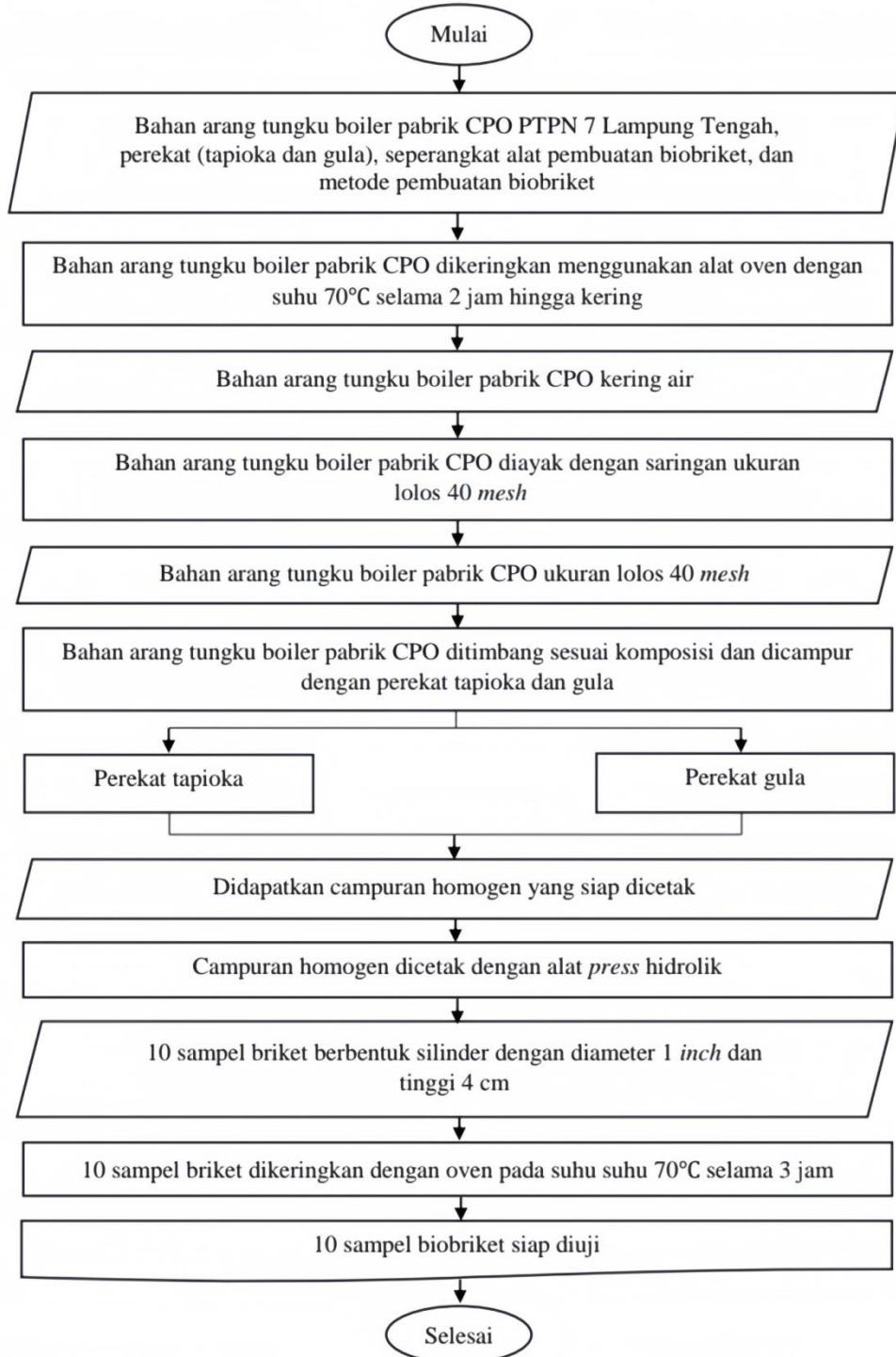
VM = *Volatile Matter (%)*

AC = Kadar Abu (%)

3.4 Diagram Alir

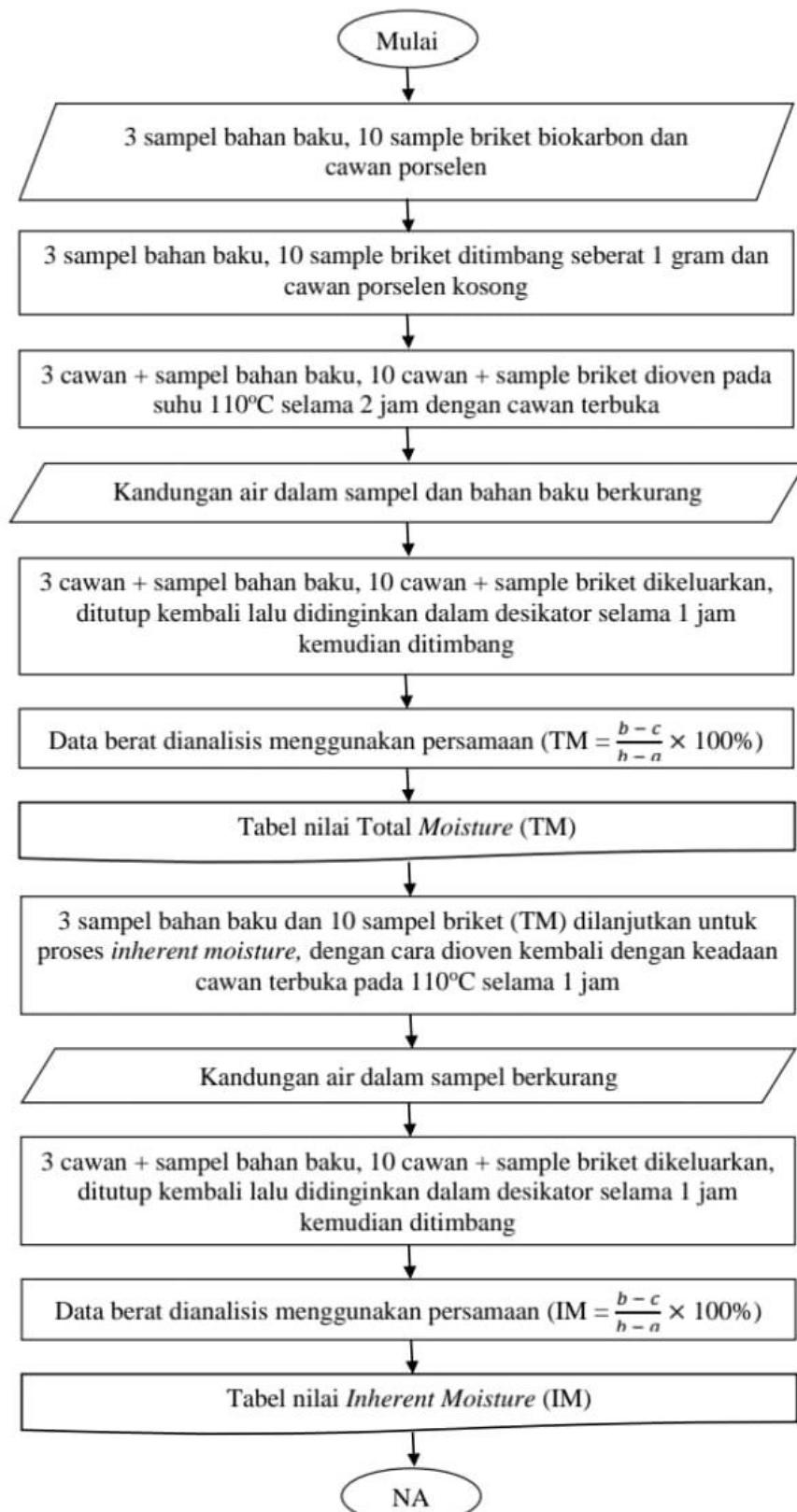
Diagram alir yang akan dilakukan adalah preparasi bahan, pembuatan sampel, uji *proksimat* (kadar air, *volatile matter*, kadar abu, *fixed carbon*, dan nilai kalor).

1. Diagram Alir Pembuatan Biobriket



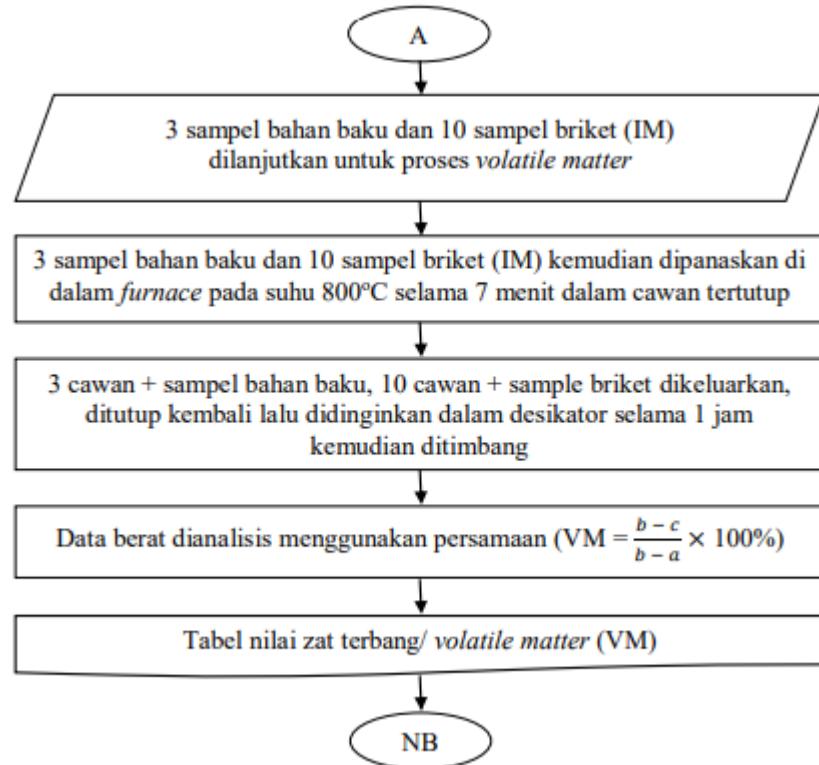
Gambar 5. Diagram alir pembuatan biobriket

2.1 Diagram Alir Uji Proksimat Kandungan Air/ *Moisture*



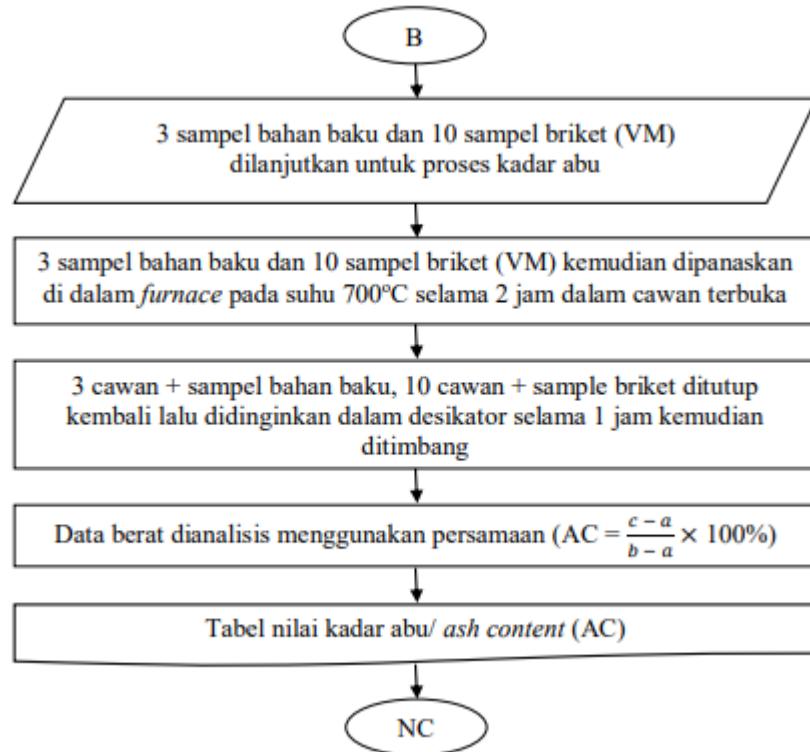
Gambar 6. Diagram alir uji proksimat a) kadar air bahan baku dan biobriket

2.2 Diagram Alir Uji Proksimat Zat Terbang/ *Volatile Matter*



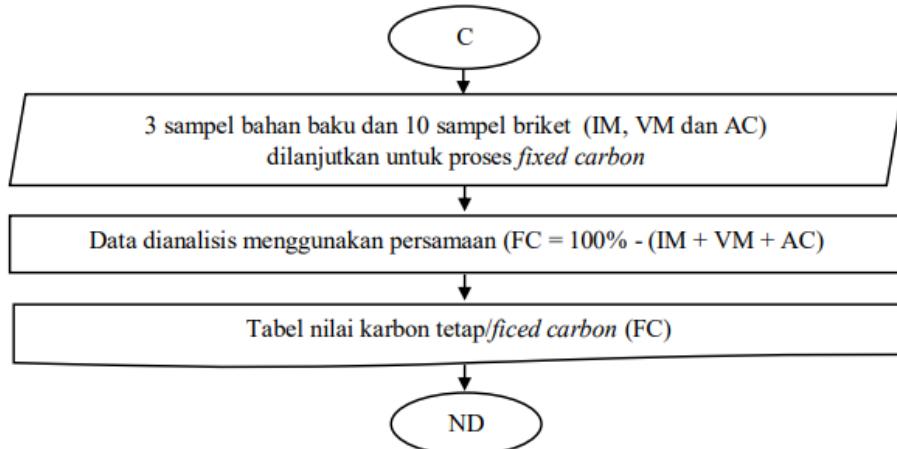
Gambar 7. Diagram alir uji proksimat b) zat terbang bahan baku dan biobriket

2.3 Diagram Alir Uji Proksimat Kadar Abu/ *Ash Content*



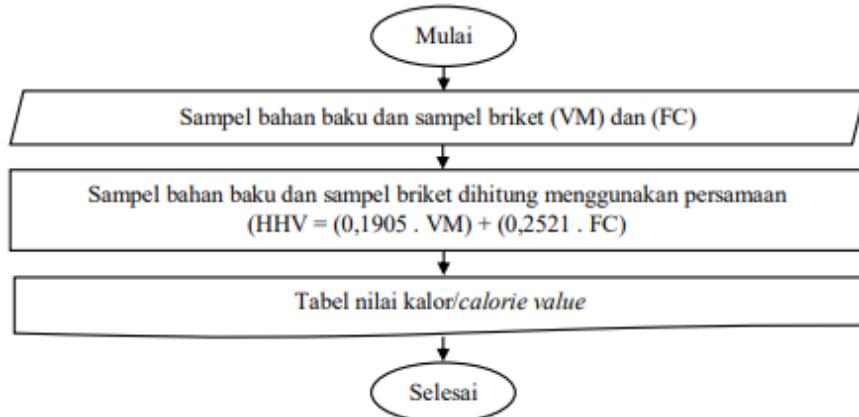
Gambar 8. Diagram alir uji proksimat c) kadar abu bahan baku dan biobriket

2.4 Diagram Alir Uji Proksimat Karbon Tetap/ *Fixed Carbon*



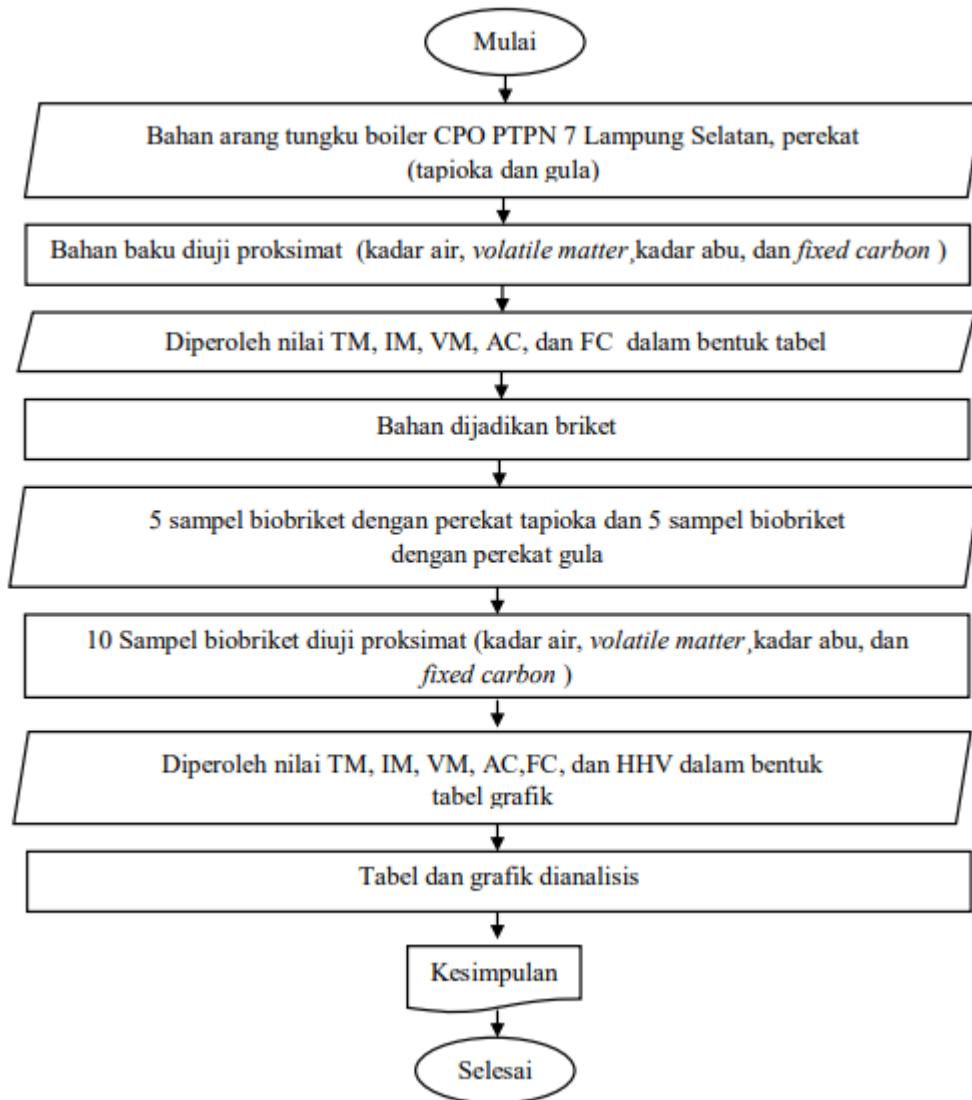
Gambar 9. Diagram alir uji proksimat d) karbon tetap bahan baku dan biobriket

2.5 Diagram Alir Perhitungan Nilai Kalor/ *Caloric Value*



Gambar 10. Diagram alir menghitung nilai kalor bahan baku dan biobriket

3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 11. Diagram alir penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil uji proksimat biobriket secara keseluruhan terlihat bahwa kandungan kadar air rendah, zat terbang tinggi, kadar abu tinggi dan karbon terikat relatif rendah. Kondisi ini dipengaruhi oleh konsentrasi arang tungku boiler kisaran 75-79%. Namun arang tersebut masih dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan biobriket selanjutnya.
2. Hasil uji nilai kalor biobriket secara keseluruhan terlihat bahwa nilai kalor biobriket dengan perekat tapioka dan gula relatif rendah dengan kisaran 1956,63 Kkal/Kg hingga 2264,05 Kkal/Kg. Hasil terbaik tercatat pada biobriket sampel K1 dengan komposisi perekat 25% tapioka dan sampel K6 perekat 25% gula. Biobriket dengan perekat tapioka memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan biobriket dengan perekat gula karena nilai kalor biobriket dengan perekat tapioka tercatat lebih stabil dan kadar air lebih rendah.
3. Hubungan antara hasil uji proksimat/*fixed carbon* dengan nilai kalor biobriket terlihat adanya korelasi berbanding lurus. Semakin tinggi nilai *fixed carbon* maka semakin tinggi pula nilai kalor yang dihasilkan.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka saran untuk penelitian seanjutnya, yaitu:

1. Fokus pada pengurangan kadar abu pada produk biobriket, misalnya dengan metode penambahan campuran bahan baku yang memiliki kadar abu rendah.
2. Perbaikan metode pencampuran dan teknik pencetakan biobriket dapat diteliti untuk menghasilkan biobriket dengan densitas dan homogenitas yang optimal, sehingga mempengaruhi nilai kalor dan efisiensi pembakaran secara positif.
3. Penambahan campuran bahan baku lain yang memiliki nilai kalor tinggi seperti tempurung kelapa, serbuk kayu dan lainnya dapat diterapkan untuk meningkatkan nilai kalor dan efisiensi pembakaran biobriket hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abimayu, R., Zuhdi, F. M., Billah, M., Karaman, N., & Pujiastuti, C. (2024). Biobriket Arang dari Limbah Tempurung Kemiri dan Serbuk Gergajian Kayu Sengon dengan Perekat Arpus (Gum Resin) Menggunakan Proses Karbonisasi. *G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan*, 8(1), 186–195.
- Adipratama, M. R., Setiawan, R., & Fauji, N. (2021). Hasil Pengujian Proksimasi Dan Gas Buang Pada Biobriket Campuran Limbah Serutan Kayu, Sekam Padi Dan Bulu Ayam. *Jurnal Teknik Mesin*, 14(1), 33–39.
- Alfian, D. G. C., Juhensen, J., Paundra, F., & Silitonga, D. J. (2025). Pengaruh Variasi Perekat Terhadap Uji Bakar Biobriket Cangkang Kelapa Sawit. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 11(1), 80.
- Aljarwi, M. A., Pangga, D., & Ahzan, S. (2020). Uji Laju Pembakaran Dan Nilai Kalor Biobriket Wafer Sekam Padi Dengan Variasi Tekanan. *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi Dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 6(2), 200.
- Almu, M. A., Syahrul, & Padang, Y. A. (2014). Analisa Nilai Kalor Dan Laju Pembakaran Pada Biobriket. *Dinamika Teknik Mesin*, 4(2), 117–122.
- Arachchige, U. S. P. R. (2021). Briquettes Production as an Alternative Fuel. *Nature Environment and Pollution Technology*, 20(4), 1661–1668.
- Badia, B. A., & Gunawan, Y. (2024). *ARANG PELEPAH SAGU Analysis Of Combustion Rate In Sagu Charcoal Brickets*. 6(1), 4–7.
- Cutari, E. (2023). *Kegunaan Biobriket Arang Sebagai Bahan Bakar*. <https://www.fl-country.com/kegunaan-biobriket-arang/>
- Deglas, W., & Fransiska, F. (2020). Analisis perbandingan bahan dan jumlah perekat terhadap biobriket tempurung kelapa dan ampas tebu. *Teknologi Pangan : Media Informasi Dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian*, 11(1), 72–78.
- Dewi, R. P., Saputra, T. J., & Purnomo, S. J. (2020). Uji Kandungan *Fixed Carbon* dan *Volatile Matter* Biobriket Arang Dengan Variasi Ukuran Partikel Arang tungku boiler pabrik CPO . *Prosding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan Dan Infrastruktur (SENTIKUIN)*, 3, 2–5.

- Diana, Z., & Mikhrarunnisa. (2023). Uji Karakteristi Biobriket Berbahan Baku Tempurung Kelapa dengan Perekat Tepung Kanji Berdasarkan Variasi Ukuran Partikel dan Dimensi. *Jurnal Teknologi Pangan Dan Ilmu Pertanian*, 1(3), 53–70.
- Djola, W. I., Prasetyo, D. M., Salsabila, N. P., Sadir, M., & Hidayati, E. (2025). Characteristics of Briquettes Made from Plastic Waste, Plastic-Coconut Shell Blends, and Plastic-Corn Cob Composites. *Jurnal Pijar Mipa*, 20(3), 408–414.
- Evizal, R., & Prasmatiwi, F. E. (2023). Biochar: Pemanfaatan dan Aplikasi Praktis. *Jurnal Agrotropika*, 22(1), 1.
- Faizah, M., Rizky, A., Zamroni, A., & Khasan, U. (2022). Pembuatan Biobriket sebagai Salah Satu Upaya Pemanfaatan Limbah Pertanian Bonggol Jagung di Desa Tampingmojo. *Jumat Pertanian: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(2), 65–68.
- Fazira, N. A., Masthura, & Jumiati, E. (2023). *JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya Pengaruh Penurunan Nilai Kadar Abu Terhadap Nilai Kadar Zat*. 10, 120–126.
- Fitriani, D., Anwar, K., & Hendawati, H. (2023). Efektivitas Fermentasi Gula Pasir Sebagai Atrakta Perangkap Nyamuk Aedes Aegypti. *Jurnal Sanitasi Lingkungan*, 3(2).
- Giyanto, & Hamdi, M. W. (2020). Making Of Charcoal Biobricets Based On Palm Oil Empty Bunch And Sugar Cane As A Environmentally Environmental Energy Source. *Jurnal Agro Fabrica*, 2(1), 1–6.
- Gumelar, B. W., Widiastuti, I., & Wijayanto, D. S. (2019). Pembelajaran Energi Terbarukan Untuk Sekolah Dasar Studi Kasus Di Kabupaten Klaten. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Dan Kejuruan*, 11(1), 16.
- Harahap, H., Ibrahim, I., Ginting, Z., Kurniawan, E., & Muhammad. (2024). Pembuatan Biobriket Dari Campuran Limbah Padat Kelapa Muda (Cocos Nucifera L) Dan Bottom Ash (Abu Boiler Pabrik Kelapa Sawit) Menggunakan Perekat Getah Karet. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 4(2), 192–205.
- Harahap, N. S., & Jumiati, E. (2022). Analisis Sifat Fisika dan Kimia terhadap Pembuatan Biobriket Arang Limbah Biji Salak dengan Variasi Perekat Tepung Tapioka dan Tepung Sagu. *Jurnal Fisika Unand*, 12(1), 116–124.
- Haryanti, N. H., Annisa, N., Suryajaya, & Surini. (2023). Alternative Energy of Biomass Briquettes from Alaban Wood and Rubber Seed Shells with Rubber Sap Adhesive and Dyeing Used Cooking Oil. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 20(1), 12.
- Hijriah, Sariman, S., & Rura, M. L. (2021). Pengaruh Arang tungku boiler pabrik CPO Biobriket Terhadap Kuat. *Jurnal Simetrik*, 11(2), 469–473.

- Iriany, Hasibuan, R., Novita, D., & Ummah, M. U. (2023). Effect of Raw Material Composition and Particle Size on the Quality Biobriquettes from Rubber Fruit Shells and. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 12(1), 1–8.
- Istiqomah, Damris, M., & Hasibuan, M. H. E. (2025). Meningkatkan Literasi Siswa Tentang Mitigasi Gas Rumah KacaMelalui Proyek Pembuatan Biochar Dari Limbah OrganikSekolah di SMP Negeri 7 Muaro Jambi. *Jurnal Ilmiah Biologi*, 13(2), 1000–1010.
- Iswara, M. A. I., Mustain, A., Mufid, M., & Prayitno, P. (2024). Studi Literatur Uji Biobriket Dengan Perbedaan Rasio Campuran Arang Tempurung Kelapa Dan Biomassa Lainnya. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 10(1), 56–69.
- Jannah, B. L., Pangga, D., & Ahzan, S. (2022). Pengaruh Jenis dan Persentase Bahan Perekat Biobriket Berbahan Dasar Kulit Durian terhadap Nilai Kalor dan Laju Pembakaran. *Lensa: Jurnal Kependidikan Fisika*, 10(1), 16.
- Javadian, N., Mohammadi Nafchi, A., & Bolandi, M. (2021). The effects of dual modification on functional, microstructural, and thermal properties of tapioca starch. *Food Science and Nutrition*, 9(10), 5467–5476.
- Kusman, H., Mulyati, & Suwardji. (2024). The Use of Biochard for Improving Soil Quality and Environmental Services. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(4), 147–156.
- Kusyanto, Handayani, R., & Kurniawan, A. (2022). Pembuatan Biobriket Dari Campuran Kulit Kacang Tanah. *Jurnal Teknik Kimia Vokasional*, 2(2), 59–65.
- Masrida, R., & Kartika, W. (2025). Potensi Konversi Limbah Organik dengan Metode Pirolisis Menjadi Biochar, Syngas dan Bio-Oil: Tinjauan Literatur Sistematis. *Journal of Engineering Environment Energy and Science*, 4(2), 79–88.
- Muhamadin, R. C., Ningtyas, A. H. P., Pahlawan, I. A., Hidayatullah, R. A., Hidayat, & Mariansyah, P. N. (2023). Pengolahan Limbah Sampah Organik Dan Non-Organik Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *JUSTI (Jurnal Sistem Dan Teknik Industri)*, 4(3), 383.
- Muis, L., & Haviz, M. (2023). Pengaruh Penambahan Tempurung Kelapa untuk Meningkatkan Nilai Kalor Biobriket dari Kulit Pisang dan Penggunaan Getah Karet Sebagai Perekat. *Jurnal Engineering*, 5(2), 1–10.
- Napitupulu, R., Pratama, R. J., & Dharta, Y. (2025). Analisis Pengaruh Konsentrasi Perekat Tepung Tapioka terhadap Pengurangan Kadar Abu pada Biobriket Tempurung Kelapa. *Jurnal Teknologi*, 25(1), 20.
- Novitrie, N. A., Setiani, V., & Camalia, A. D. (2023). The Effect of Composition, Pyrolysis Temperature and Adhesive Concentration on the Proximate Content and Calorific Value of Biobriquettes from Durian Skin, Corn husk and Fish Bones Waste. *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 20(3), 727–739.

- Nuwa, & Prihanika. (2018). Tepung Tapioka Sebagai Perekat Dalam Pembuatan Arang Biobriket. *PengabdianMu: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(1), 34–38.
- Parinduri, L., & Arfah, M. (2019). Pendekatan Energi Dalam Pengelolaan Limbah Pabrik Kelapa Sawit Studi Kasus PT. Perkebunan Nusantara IV Kebun Adolina. *Journal of Electrical Technology*, 4(2), 85–92.
- Parinduri, L., & Parinduri, T. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Journal of Electrical Technology*, 5(2), 88–92.
- Pratiwi, V. D., & Mukhaimin, I. (2021). Pengaruh Suhu dan Jenis Perekat Terhadap Kualitas Biobriket dari Ampas Kopi dengan Metode Torefaksi. *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*, 4(1), 39.
- Prayoga, M. I. D., & Tamrin. (2023). Utilization of Bagasse Waste into Bio-coal Briquettes Using Tapioca Adhesive. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, 2(4), 12.
- Qolbi, R. N., Safiq, D., Sudarti, & Mahmudi, K. (2025). *Analisis Konsep Fisika pada Teknologi 'PIROLISIS' untuk Pengolahan Limbah Tandan*. 11, 167–186.
- Ridhani, M. A., Vidyaningrum, I. P., Akmala, N. N., Fatihaturisa, R., Azzahro, S., & Aini, N. (2021). Potensi Penambahan Berbagai Jenis Gula Terhadap Sifat Sensori Dan Fisikokimia Roti Manis: Review. *Pasundan Food Technology Journal*, 8(3), 61–68.
- Ridhuan, K., Irawan, D., & Inthifawzi, R. (2019). Pyrolysis Combustion Process with Biomass Type and Characteristics of The Liquid Smoke Produced. *Turbo*, 8(1), 69–78.
- Rifdah, Herawati, N., & Dubron, F. (2018). Pembuatan Biobriket Dari Limbah Tongkol Jagung Pedagang Jagung Rebus Dan Rumah Tangga Sebagai Bahan Bakar Energi Terbarukan Dengan Proses Karbonisasi. *Jurnal Distilasi*, 2(2), 39.
- Rismayani, S., & Tayibnapis, A. S. (2011). Pembuatan Biobriket Dari Limbah Sabut Kelapa Dan Bottom Ash. *Arena Tekstil*, 26(1), 47–54.
- Rusman, L. O., Lestari, L., Raharjo, S., Usman, I., & Chrismiwahdani, D. (2023). Pengaruh Temperatur Aktivasi Terhadap Kualitas Biobriket Arang Aktif Sekam Padi. *Journal Online of Physics*, 8(3), 39–46.
- Samodra, A. E. B., Fitriyana, D. F., anis, S., manalu, J., Imran, A. I., Siregar, J. P., & Cionita, T. (2025). The Effect of KNO₃ Addition on the Properties of Coconut Shell Charcoal Briquettes. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 14(1), 23–32.
- Saptadi, N. T. S., Chyan, P., & Widjaja, V. M. (2022). Desain Model Klasifikasi

- Sampah Organik Menjadi Bahan Baku Biobriket Biomassa Menggunakan Metode Deep Learning. *JIKO (Jurnal Informatika Dan Komputer)*, 6(2), 160.
- Sarwono, R. (2016). *Biochar Sebagai Penyimpan Karbon , Perbaikan Sifat Tanah , dan Mencegah Pemanasan Global : Tinjauan Biochar As Carbon Sequestration and Soil Amendment , to Avoid Global Warming : A Review*. Pusat Penelitian Kimia - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia namun W. 18(June), 79–90.
- Setyono, J. S., Mardiansjah, F. H., & Astuti, M. F. K. (2019). Potensi Pengembangan Energi Baru dan Energi Terbarukan di Kota Semarang. *Jurnal Riptek*, 13(2), 177–186.
- Setyono, M. Y. P., & Purnomo, Y. S. (2022). Analisis Kadar Air dan Kadar Abu Biobriket Lumpur IPAL dan Fly Ash dengan Penambahan Serbuk Gergaji Kayu. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(6), 696–703.
- Siagian, P., Suleman, N., Asrim, J. S. P., Tambi, Prihatini, S. E. W. W. O. Z., Budirohmi, A., & Armus, R. (2023). Energi Baru Terbarukan Sebagai Energi Alternatif. In *Yayasan Kita Menulis*.
- Sigiro, M., Alexander, I. J., Marbun, J., & Silitonga, S. (2024). Analisis Nilai Kalor, Kadar Abu Dan Kadar Air Biobriket Kulit Pisang. *Jurnal Ilmu Pendidikan Indonesia*, 12(3), 172–182.
- Sondakh, R. C., Hayatudin, & Ernawati. (2022). Perbandingan Biomassa Pertanian Sebagai Energi Terbarukan Biobriket Arang. *Jurnal Ilmiah Giga*, 25(1), 45.
- Sugiarto, T., Sartohadi, J., Pulungan, N. A. H. J., Ngadisih, Praharto, Y., & Hidayati, N. (2024). Inovasi Reaktor Pirolisis Produksi Biochar Berbahan Baku Organic Waste Slurry Dari Sampah Perkotaan Terpilah Dengan Kontrol Tekanan. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 7(1), 180–191.
- Suryaningsih, S., & Pahleva, Di. R. (2021). Analisis Kualitas Biobriket Tandan Kosong Dan Cangkang Kelapa Sawit dengan Penambahan Limbah Plastik Low Density Polythelene (LDPE) sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 10(01), 27.
- Syukri, M., Maisarah, Rangkuti, U. I. P., Rahimah, Harahap, A. K. T., & Nurhidayat, T. (2024). *The Effect of Particle Size Variations on Bio-Briquettes from Palm Fronds and Empty Fruit Bunches*. 13(2), 146–153.
- Tambaria, T. N., & Serli, B. F. Y. (2019). Kajian Analisis Proksimat pada Biobriket Batubara dan Biobriket Biomassa. *Jurnal Geosains Dan Teknologi*, 2(2), 77.
- Tarigan, R. R., Tanggara, D. N., Ganang, N. M. A., Putrawiyanta, I. P., & Iashania, Y. (2024). Analisis Pengaruh *Inherent Moisture* dan *Total Moisture* terhadap Nilai Kalori Batubara pada Stockpile PT. Berau Coal Kalimantan Timur. *Jurnal Global Ilmiah*, 1(11), 768–773.

- Tetra, O. N., Kamiko, A. J. A., & Chairunnisa, P. N. Y. (2024). Sintesis Batang Jagung Yang Didoping Nitrogen Sebagai Elektroda Kapasitor Elektrokimia Synthesis Of N-Doped Corn Stalk Biocarbon As An Electrochemical. *Departemen Kimia , Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam , Universitas Andalas Kampus. 12(2)*, 71–75.
- Titarsole, J., & Maail, R. S. (2021). Analisa Kualitas Biobriket Arang (Studi Kasus Tanaman Bambu Di Hutan Pendidikan Desa Honitetu Kabupaten Seram Bagian Barat). *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*, 5(1), 40–55.
- Ulma, Z., Handayani, M., Putri, A. N. R., & Ivana, C. F. (2021). Pengaruh Penekanan Terhadap Kadar Air , Kadar Abu , dan Nilai Kalor Biobriket Dari Sludge Biogas Kotoran Sapi. *JPPL (Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan)*, 3(02), 81–86.
- Wardani, F. K., & Ariani. (2023). Studi Uji Biobriket Campuran Used Carbon Dan Sludge Industri Bioteknologi Dengan Analisa Proksimat Dan Nilai Kalor. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 9(4), 606–615.
- Wati, D. A. R., & Supriyono, T. (2025). Analisis kandungan volatile matter pada biobriket batok kelapa dengan metode gravimetri untuk optimasi kualitas pembakaran. *KOLECER Scientific Journal of Mechanical Engineering*, 1(1), 37–44.
- Wu, M., Wei, K., Jiang, J., Xu, B. Bin, & Ge, S. (2025). Advancing green sustainability: A comprehensive review of biomass briquette integration for coal-based energy frameworks. *International Journal of Coal Science and Technology*, 12(1).
- Wijitkosum, S., & Jiwnok, P. Elemental Composition of Biochar Obtained from Agricultural Waste for Soil Amendment and Carbon Sequestration. *Applied Sciences*, 9(19).