

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI SERAT BATANG AREN DAN SERABUT  
KELAPA DENGAN PEREKAT TAPIOKA TERHADAP  
KARAKTERISTIK BRIKET BIOMASS**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**BAGAS PANGESTU  
NPM 2117041021**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2026**

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI SERAT BATANG AREN DAN SERABUT  
KELAPA DENGAN PEREKAT TAPIOKA TERHADAP  
KARAKTERISTIK BRIKET BIOMASS**

**Oleh**

**BAGAS PANGESTU**

**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  
2026**

## **ABSTRAK**

### **PENGARUH VARIASI KOMPOSISI SERAT BATANG AREN DAN SERABUT KELAPA DENGAN PEREKAT TAPIOKA TERHADAP KARAKTERISTIK BRIKET BIOMASS**

**Oleh**

**BAGAS PANGESTU**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi serat batang aren dan serabut kelapa dengan perekat tapioka terhadap karakteristik briket biomassa. Pemanfaatan limbah biomassa ini diharapkan dapat menjadi bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan serta memiliki nilai kalor yang baik. Proses pembuatan briket dilakukan melalui tahap karbonisasi bahan baku, penghalusan, pencampuran dengan perekat tapioka, pencetakan, dan pengeringan. Variasi komposisi bahan digunakan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat bahan bakar yang dihasilkan. Karakterisasi briket dilakukan melalui uji proksimat yang meliputi kadar air, kadar abu, zat terbang, dan karbon tetap, serta pengujian nilai kalor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan komposisi bahan berpengaruh terhadap parameter proksimat dan nilai kalor briket. Briket dengan komposisi serat batang aren yang lebih dominan cenderung memiliki kadar karbon tetap dan nilai kalor lebih tinggi, sedangkan peningkatan serabut kelapa berpengaruh terhadap kenaikan kadar abu dan zat terbang. Secara umum, kualitas briket terbaik diperoleh pada komposisi dengan kandungan serat batang aren lebih besar karena menghasilkan karakteristik pembakaran yang lebih baik. Penelitian ini menunjukkan bahwa limbah serat batang aren dan serabut kelapa berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku briket biomassa, dengan komposisi bahan yang tepat untuk memperoleh kualitas bahan bakar yang optimal.

**Kata kunci:** briket biomassa, serat batang aren, serabut kelapa, uji proksimat, nilai kalor.

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECT OF VARIATIONS IN THE COMPOSITION OF SUGAR PALM FIBER AND COCONUT FIBER WITH TAPIOCA BINDER ON THE CHARACTERISTICS OF BIOMASS BRIQUETTES**

**By**

**BAGAS PANGESTU**

This study aims to analyze the effect of compositional variations of sugar palm fiber and coconut fiber with tapioca adhesive on the characteristics of biomass briquettes. The utilization of these biomass wastes is expected to provide an environmentally friendly alternative fuel with good calorific value. The briquette production process involved carbonization of raw materials, grinding, mixing with tapioca binder, molding, and drying. Variations in material composition were applied to determine their influence on the fuel properties of the resulting briquettes. Briquette characterization was carried out through proximate analysis, including moisture content, ash content, volatile matter, and fixed carbon, as well as calorific value testing. The results showed that differences in material composition significantly affected the proximate parameters and calorific value of the briquettes. Briquettes with a higher proportion of sugar palm fiber tended to have higher fixed carbon content and calorific value, while increased coconut fiber composition contributed to higher ash and volatile matter content. Overall, the best briquette quality was obtained from compositions dominated by sugar palm fiber, as they produced better combustion characteristics. This study demonstrates that sugar palm fiber and coconut fiber wastes have strong potential as raw materials for biomass briquettes, with proper composition optimization required to achieve optimal fuel quality.

**Keywords:** biomass briquettes, palm fiber, coconut coir, proximate analysis, calorific value.

Judul Skripsi : Pengaruh Variasi Komposisi Serat Batang Aren dan Serabut Kelapa dengan Perekat Tapioka Terhadap Karakteristik Briket Biomass

Nama Mahasiswa : **Bagas Pangestu**

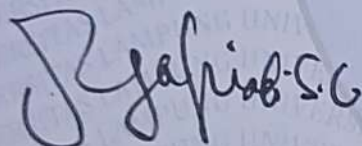
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041021

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

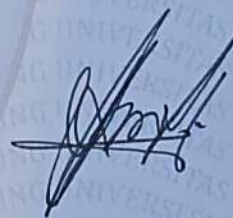
## MENYETUJUI

### 1. Komisi Pembimbing



**Drs. Syafriadi, M.Si.**

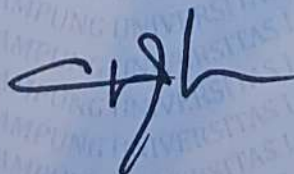
NIP : 196108211992031002



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

NIP : 196906101999031004

### 2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA



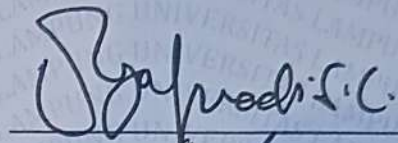
**Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.**

NIP. 199011252019032018

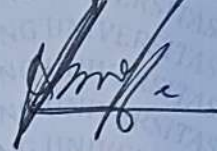
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

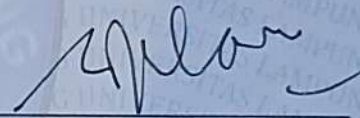
**Ketua : Drs. Syafriadi M.Si**



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



**Penguji 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. 1971100120050011002

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 07 April 2026**

## PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Bagas Pangestu

Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041021

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan bahwa skripsi berjudul "**Pengaruh Variasi Komposisi Serat Batang Aren dan Serabut Kelapa dengan Perekat Tapioka Terhadap Karakteristik Briket Biomass**" adalah murni hasil karya saya sendiri. Seluruh isi skripsi ini disusun sesuai kaidah akademik dan ketentuan penulisan ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran akademik, pemalsuan data, atau plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku termasuk pembatalan gelar akademik.

Bandar Lampung, 17 April 2026



**Bagas Pangestu**

NPM. 2117041021

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Bagas Pangestu, dilahirkan pada tanggal 07 September 2003, di Bandar Lampung. Penulis merupakan anak pertama dari Bapak Ragil Nuryanto dan Ibu Sutarti.

Pendidikan yang telah ditempuh oleh penulis adalah Sekolah Dasar (SD) Negeri 2 Labuhan Ratu diselesaikan pada tahun 2015, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Quran Darul Fattah diselesaikan pada tahun 2018 dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 13 Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2021. Tahun 2021 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) di Bidang Sains dan Teknologi (SAINTEK) pada tahun 2022. Penulis pernah menjadi Kepala Bidang SAINTEK HIMAFI pada periode tahun 2023. Pada tahun 2024 penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) selama 40 Hari di Instansi Pengolahan Limbah Radioaktif Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran BRIN Serpong dengan judul penelitian **“Kesehatan Dan Keselamatan Kerja (K3) Dengan Pemantauan Partikulat Debu Daerah Kerja Instalasi Pengelolaan Limbah Radioaktif (IPLR) – Brin Serpong”**.

Pada tahun 2025 penulis melaksanakan penelitian skripsi di Pusat Riset Teknologi Mineral, Badan Riset Inovasi nasional (BRIN), Tanjung Bintang dengan judul **“Pengaruh Variasi Komposisi Serat Batang Aren dan Serabut Kelapa dengan Perekat Tapioka Terhadap Karakteristik Briket Biomass”**.

## MOTTO

﴿١١﴾ إِنَّ اللَّهَ لَا يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّىٰ يُغَيِّرُوا مَا بِأَنْفُسِهِمْ

*“Sesungguhnya Allah tidak mengubah keadaan suatu kaum hingga mereka mengubah apa yang ada pada diri mereka.”*

(QS. Ar-Rad 11)

*“Almost is never enough”*

(Ariana Grande)

*“If you wan’t something you never had, you have to do something you never did.”*

(Penulis)

## PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala, karya ini  
kupersembahkan kepada:

Kedua Orang Tuaku

*Ragil Nuryanto dan Sutarti*

yang telah memberikan kasih sayang, doa, dukungan moral maupun materi, serta pengorbanan yang tiada henti dalam mengantarkan penulis menempuh pendidikan hingga tingkat sarjana.

## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas kesehatan dan rahmatNya sehingga skripsi berjudul **“Pengaruh Variasi Komposisi Serat Batang Aren dan Serabut Kelapa dengan Perekat Tapioka Terhadap Karakteristik Briket Biomass”** dapat diselesaikan. terselesaikannya skripsi ini juga tidak lepas dari dukungan berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan terima kasih dengan tulus dan hormat kepada:

1. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si. selaku Pembimbing Utama yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, nasihat serta ilmu kepada penulis.
2. Bapak Muhammad Amin, S.T., M.Si selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan arahan, pengetahuan, serta masukan dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan skripsi ini.
3. Bapak Pulung Karo-Karo, M.Si. selaku Penguji yang telah memberikan kritik dan masukan dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
5. Ibu Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Fajar Nurjaman, MT. selaku Kepala Pusat Riset Teknologi Mineral – BRIN.
7. Seluruh Dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
8. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung

9. Seluruh Staf Laboratorium dan Administrasi Pusat Riset Teknologi Mineral – BRIN.
10. Teman-teman Pimpinan HIMAFI Periode 2023, atas kebersamaan, dukungan, dan semangat selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung.

Penulis berdoa semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dengan pahala yang berlipat ganda serta dimudahkan setiap langkah kita, khususnya atas bantuan yang telah diberikan dalam penyelesaian skripsi ini.

Bandar Lampung, 17 April 2026  
Penulis.

Bagas Pangestu

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Biomassa .....	6
2.2 Bio-Briket.....	8
2.3 Serat Batang Aren .....	9
2.4 Serabut Kelapa .....	11
2.5 Analisis Kualitas Briket .....	12
2.6 Standar Nasional Indonesia (SNI).....	13

2.7	Uji Proksimat .....	16
2.7.1	Kandungan Air ( <i>Moisture Content</i> ).....	16
2.7.2	Zat Terbang ( <i>Volatile Matter</i> ).....	17
2.7.3	Kadar Abu ( <i>Ash Content</i> ).....	17
2.7.4	Karbon Tetap ( <i>Fixed Carbon</i> ).....	18
2.7.5	Nilai Kalor ( <i>Caloric Value</i> ).....	18
2.8	Karakterisasi Material Bio-Briket.....	19
2.8.1	<i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	20
2.8.2	<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	21
2.8.3	<i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	21
<b>III.</b>	<b>METODE PENELITIAN.....</b>	<b>22</b>
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	22
3.2	Alat dan Bahan Penelitian.....	22
3.3	Prosedur Percobaan.....	24
3.3.1.	Persiapan Alat dan Bahan: .....	24
3.3.2.	Pembuatan Briket:.....	24
3.3.3.	Pengujian Kualitas Briket: .....	25
3.4	Prosedur Pengujian .....	26
3.4.1	Kadar Air/ <i>Moisture</i> .....	26
3.4.2	Zat Terbang / <i>Volatile Matter</i> (ISO 18123).....	27
3.4.3	Kadar Abu / <i>Ash Content</i> (ISO 18122) .....	28
3.4.4	Karbon Tetap / <i>Fixed Carbon</i> .....	29
3.4.5	Nilai Kalor / <i>Caloric Value</i> .....	29
3.5	Karakterisasi Sampel Bahan Baku dan Briket .....	29

3.6	Diagram Alir.....	30
<b>IV.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>36</b>
4.1	Pengaruh Variasi Komposisi Serat Batang Aren dan Serabut Kelapa dengan Perekat Tapioka Terhadap Kualitas Briket berdasarkan Hasil Uji Proksimat .....	36
4.1.1.	Hasil Pengujian Proximat pada Bahan Baku .....	36
4.1.2.	Hasil Pengujian Proximat pada Briket .....	40
4.2	Pengaruh Variasi Komposisi Serat Batang Aren dan Serabut Kelapa dengan Perekat Tapioka terhadap Struktur Mikro Briket .....	45
4.2.1.	Hasil Karakterisasi Bahan Baku menggunakan <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) .....	45
4.2.2.	Hasil Karakterisasi Bahan Baku menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	49
4.2.3.	Hasil Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) Bahan Baku .....	51
4.2.4.	Hasil Karakterisasi Bahan Baku menggunakan <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR).....	56
4.2.5.	Hasil Karakterisasi Briket menggunakan <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)...	60
4.2.6.	Hasil Karakterisasi Briket menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	65
4.2.7.	Hasil Karakterisasi Briket menggunakan <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR) .....	68
4.2.8.	Hasil Karakterisasi Briket menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	71
<b>V.</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>78</b>
5.1	Kesimpulan .....	78
5.2	Saran.....	79
	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>80</b>

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 1.</b> Serat Batang Aren.....	10
<b>Gambar 2.</b> Serabut Kelapa.....	11
<b>Gambar 3.</b> Diagram Alir Pembuatan Briket .....	31
<b>Gambar 4.</b> Diagram Alir Uji Proksimat Kandungan Air/Moisture.....	32
<b>Gambar 5.</b> Diagram Alir Uji Proksimat Zat Terbang/Volatile Matter .....	33
<b>Gambar 6.</b> Diagram Alir Uji Proksimat Kadar Abu/Ash Content .....	33
<b>Gambar 7.</b> Diagram Alir Uji Proksimat Karbon Tetap/Fixed Carbon .....	34
<b>Gambar 8.</b> Diagram Alir Menghitung Nilai Kalor/Caloric Value .....	34
<b>Gambar 9</b> Diagram Alir Penelitian .....	35
<b>Gambar 10.</b> Grafik Proximat Bahan .....	37
<b>Gambar 11.</b> Nilai Kalor Bahan .....	37
<b>Gambar 12.</b> Grafik Proximat Biobriket .....	41
<b>Gambar 13.</b> Nilai Kalor Briket .....	41
<b>Gambar 14.</b> Pola Difraksi XRD Bahan Baku Serabut Kelapa dan Serat Batang Aren .....	50
<b>Gambar 15.</b> Hasil Karakterisasi Bahan Baku Briket a) SEM-EDS Morfologi Serat Batang Aren b) SEM-EDS Morfologi Serabut Kelapa. ....	52
<b>Gambar 16.</b> Spektrum EDS a) Serat Batang Aren b) Serabut Kelapa .....	54
<b>Gambar 17.</b> Karakterisasi FTIR Bahan Baku Serat Batang Aren dan Serabut Kelapa .....	57
<b>Gambar 18.</b> Pola Difraksi XRD Briket: a) BG1 (Rendah), b) K (Sedang), c) BG2 (Tinggi).....	66

**Gambar 19.** Karakterisasi FTIR Briket dengan Nilai Karbon Tetap Tinggi, Sedang, dan Rendah..... 69

**Gambar 20.** Hasil Karakterisasi Sampel Briket A) SEM-EDS Morfologi Briket Rendah B) SEM-EDS Morfologi Briket Sedang C) SEM-EDS Morfologi Briket Tinggi. .... 72

**Gambar 21.** Spektrum EDS A) Briket Rendah B) Briket Sedang C) Briket Tinggi.. 75

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 1.</b> Standar Nasional Indonesia 01-6235-2000 .....	15
<b>Tabel 2.</b> Alat Penelitian .....	22
<b>Tabel 3.</b> Bahan Penelitian.....	24
<b>Tabel 4.</b> Variasi Bahan Biobriket.....	25
<b>Tabel 5.</b> Hasil Uji Proksimat Bahan Briket .....	37
<b>Tabel 6.</b> Hasil Uji Proksimat Biobriket .....	40
<b>Tabel 7.</b> Karakterisasi XRF Bahan Baku Serat Batang Aren dan Serabut Kelapa.....	46
<b>Tabel 8.</b> Fasa Serabut Kelapa Hasil Analisis XRD .....	50
<b>Tabel 9.</b> Fasa Serat Batang Aren Hasil Analisis XRD .....	51
<b>Tabel 10.</b> Komposisi Unsur Kimia Arang Serat Batang Aren .....	55
<b>Tabel 11.</b> Komposisi Unsur Kimia Arang Serabut Kelapa .....	56
<b>Tabel 12.</b> Karakterisasi XRF Briket Rendah, Sedang, dan Tinggi .....	60
<b>Tabel 13.</b> Fasa Briket BG1 (Kadar Karbon Rendah) Hasil Analisis XRD.....	67
<b>Tabel 14.</b> Fasa Briket K (Kadar Karbon Sedang) Hasil Analisis XRD.....	67
<b>Tabel 15.</b> Fasa Briket BG2 (Kadar Karbon Tinggi) Hasil Analisis XRD .....	68
<b>Tabel 16.</b> Komposisi Unsur Briket Rendah.....	77
<b>Tabel 17.</b> Komposisi Unsur Briket Sedang .....	77
<b>Tabel 18.</b> Komposisi Unsur Briket Tinggi .....	77

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi merupakan salah satu kebutuhan fundamental bagi kelangsungan hidup manusia dan pertumbuhan ekonomi. Namun, saat ini dunia menghadapi beberapa tantangan serius terkait energi, antara lain: Keterbatasan Sumber Daya Energi Fosil, di mana sumber energi fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam yang selama ini menjadi andalan kebutuhan energi global semakin menipis (J. Zhao *et al.*, 2020). Indonesia sebagai negara berkembang dengan populasi yang terus meningkat dan pertumbuhan ekonomi yang pesat, menghadapi tantangan besar dalam memenuhi kebutuhan energinya, Dengan mempertimbangkan potensi besar dalam pengembangan energi terbarukan, Indonesia telah menyadari pentingnya melakukan transisi menuju energi terbarukan untuk mendukung pertumbuhan ekonomi hijau yang berkelanjutan (Shabrina & Rahmadhanti, 2024).

Energi fosil digunakan dalam jumlah besar di seluruh dunia, tetapi proses ekstraksi, produksi, dan pembakarannya memiliki dampak *negative* dan serius pada lingkungan, seperti dapat mencemari udara saat pembakaran, mengakibatkan kerusakan lingkungan saat eksplorasi dan pengeboran untuk mendapatkan energi fosil (Autonergi & Autonergi, 2023). Biomassa merupakan sumber energi potensial yang dapat dikembangkan sebagai sumber energi alternatif pengganti bahan bakar dari fosil. Biomassa dapat diubah menjadi briket arang yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi seperti untuk proses pengeringan dalam pengolahan karet remah dan sit asap. Briket arang biomassa atau biobriket dibuat dari arang biomassa baik berupa bagian yang memang sengaja dijadikan bahan baku briket maupun sisa atau limbah proses produksi/pengolahan agroindustri. Misalnya kayu, tempurung kelapa, arang tempurung

kelapa sawit, limbah bambu, tandan buah kosong kelapa sawit, sekam padi, dan limbah batang tembakau dapat menjadi bahan baku untuk bio-briket (Vachlepi & Suwardin, 2013).

Briket adalah bahan bakar padat yang dihasilkan melalui proses kompresi bahan organik seperti batok kelapa, bubuk kayu, atau biomassa lainnya. Biasanya pembuatan biobriket melibatkan pemadatan bahan dengan mesin atau cetakan dan diikuti dengan pengeringan untuk mengurangi kadar air dan meningkatkan kemampuan pemadatan. Bio-briket digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan efisien dibandingkan dengan bahan bakar fosil, briket juga termasuk bahan organik atau biomassa terkompresi (Azzumardi & Singgih, 2024). Briket juga adalah salah satu metode yang layak untuk mengubah biomassa residu menjadi energi terbarukan, kualitas briket tergantung pada jenis bahan baku yang digunakan dalam biomassa serta kadar air, suhu, penambahan substrat dan ukuran partikel. Itu tergantung pada keadaan. Ketika briket batu bara digunakan sebagai bahan bakar dan memiliki kapasitas yang sama dengan batu bara dan jenis bahan bakar lainnya (Mahmudati *et al.*, 2024).

Limbah serat batang aren dan bambu merupakan sumber daya yang melimpah dan memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi, termasuk sebagai bahan baku briket energi terbarukan. Dalam konteks ini, penting untuk memahami karakteristik, kegunaan, dan nilai ekonomi dari kedua jenis limbah tersebut. Seperti Batang pohon aren (*Arenga pinnata*) dikenal memiliki serat yang kuat dan tahan lama. Limbah yang dihasilkan dari pemotongan atau pengolahan batang aren sering kali terabaikan dan dibiarkan menumpuk, meskipun sebenarnya dapat dimanfaatkan secara optimal. Serat dari batang aren dapat digunakan dalam pembuatan berbagai produk, seperti mebel, kerajinan tangan, dan bahkan sebagai bahan baku briket (Sudana, 2016)(Mediacenter, 2022). Karakteristik fisik serat batang aren yang kuat menjadikannya sebagai alternatif yang baik untuk bahan baku industri. Namun, pengolahan limbah ini memerlukan teknik yang tepat karena sifatnya yang keras dan seratnya yang kadang terpilin, sehingga memerlukan alat khusus untuk memudahkan proses produksi. Dengan pengolahan yang tepat, limbah batang aren dapat memberikan

kontribusi signifikan terhadap pengurangan limbah serta meningkatkan nilai ekonomis bagi masyarakat (Sudana, 2016). Sedangkan pada Serabut kelapa dapat menjadi bahan alternatif dalam pembuatan briket karena mengandung unsur karbon yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi atau bahan bakar. Selain itu, penggunaan serabut kelapa sebagai bahan briket turut berkontribusi pada pengelolaan limbah yang lebih baik. Daur ulang serabut kelapa menjadi briket mengurangi volume limbah yang menumpuk di lingkungan, mencegah pencemaran, dan menjaga kesehatan masyarakat. Briket serabut kelapa juga memiliki potensi ekonomi yang menjanjikan. Produksi briket dapat membuka peluang usaha baru bagi masyarakat lokal, meningkatkan pendapatan, dan mendorong kemandirian energi di tingkat rumah tangga maupun industri kecil. Dengan demikian, briket serabut kelapa bukan hanya sekadar bahan bakar alternatif, tetapi juga solusi komprehensif untuk masalah lingkungan, energi, dan ekonomi (Razak, 2020). Penggunaan limbah serat batang aren dan serabut kelapa sebagai bahan baku dalam pembuatan briket menawarkan solusi berkelanjutan dalam pengelolaan limbah serta penyediaan sumber energi baru. Dengan mengoptimalkan potensi kedua jenis limbah ini, tidak hanya dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan tetapi juga meningkatkan kesejahteraan ekonomi masyarakat melalui penciptaan produk-produk bernilai tambah. Penelitian lebih lanjut mengenai teknik pengolahan dan aplikasi praktis dari limbah ini sangat diperlukan untuk memaksimalkan manfaatnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi metode pembuatan briket yang menggunakan limbah serat aren dan bambu. Dengan memahami berbagai teknik dan proses yang terlibat dalam pembuatan briket, diharapkan dapat ditemukan cara yang paling efisien dan efektif untuk menghasilkan produk yang berkualitas tinggi (Obi *et al.*, 2022).

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi serat batang aren dan serabut kelapa dengan perekat tapioka terhadap kualitas briket berdasarkan hasil uji proksimat?

2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi serat batang aren dan serabut kelapa dengan perekat tapioka terhadap struktur mikro briket?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh variasi komposisi serat batang aren dan serabut kelapa dengan perekat tapioka terhadap kualitas briket berdasarkan hasil uji proksimat
2. Mengetahui pengaruh variasi komposisi serat batang aren dan serabut kelapa dengan perekat tapioka terhadap struktur mikro briket

### 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian dilaksanakan selama periode 06 Januari hingga 06 Maret 2025, bertempat di Laboratorium *Heat Treatment* dan PP Non-Logam, Pusat Riset Teknologi Mineral - BRIN, Kawasan Sains Iskandar Zulkarnain Tanjung Bintang, Lampung Selatan.
2. Peralatan yang digunakan dalam penelitian menggunakan tungku karbonisasi (*muffle furnace*), kompor dengan bahan bakar elpiji, oven SHARP, neraca digital, ayakan 80 dan 150 *mesh*, alat pencetak briket, mesin *press* hidrolis, wadah porselin, penjepit, desikator, *stopwatch* dan *logbook*.
3. Penelitian ini menggunakan instrumen XRF, XRD, FTIR dan SEM-EDS. Untuk proses karakterisasi bahan baku dan briket
4. Penelitian difokuskan pada lima variasi komposisi briket yang berasal dari serat batang aren, serabut kelapa, dan perekat tapioka, dengan rasio massa yang menurun secara berurutan sebesar (100:0:10, 100:10:10, 100:20:10, 100:30:10 dan 100:40:10).
5. Uji proksimat untuk mengetahui kandungan air (*total moisture* dan *inherent moisture*), zat terbang (*volatile matter*), kadar abu (*ash content*) dan karbon tetap (*fixed carbon*) pada arang bahan baku dan variasi briket.

6. Karakterisasi yang digunakan mencakup *X-Ray Fluorescence (XRF)*, *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)* dan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)*.
7. Perekat yang diaplikasikan menggunakan tepung tapioka dengan konsentrasi sebesar 10%.
8. Dimensi partikel bahan untuk produksi briket ditentukan sebesar 80 *mesh*, sementara untuk tahap karakterisasi, dimensi partikel diseragamkan menjadi 150 *mesh*.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah wawasan dan keterampilan dalam bidang pengolahan limbah menjadi energi terbarukan.
2. Sebagai sumber data untuk meningkatkan penggunaan limbah dalam proses produksi energi yang lebih berkelanjutan.
3. Memberikan referensi sebagai alternatif energi yang ramah lingkungan dan mengurangi dampak negatif dari limbah.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Biomassa

Energi biomassa adalah salah satu bentuk energi terbarukan yang memanfaatkan bahan organik seperti limbah pertanian, sisa tanaman, dan sampah organik untuk menghasilkan energi. Di era modern ini, kebutuhan terhadap energi bersih dan terbarukan semakin mendesak seiring dengan meningkatnya kesadaran global akan perubahan iklim dan kerusakan lingkungan akibat penggunaan bahan bakar fosil. Biomassa tidak hanya menawarkan solusi energi yang berkelanjutan tetapi juga berpotensi mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengelola limbah organik secara efisien (Khairuna *et al.*, 2024).

Penggunaan sumber energi terbarukan dan tidak terbarukan meningkat di seluruh dunia. Selama bertahun-tahun, pertumbuhan kebutuhan energi oleh konstituen telah dieksploitasi secara efisien dari hari ke hari. Masyarakat masing-masing negara membutuhkan sumber energi alternatif untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang ramah lingkungan dan siap digunakan dalam jangka panjang. Sumber energi terbarukan seperti matahari, biomassa, angin, dan panas bumi berlimpah di alam (Sanchez *et al.*, 2022). Biomassa secara historis telah menjadi sumber bahan bakar yang murah dan mudah diakses bagi masyarakat Indonesia, tetapi ini tidak mungkin berlanjut karena ketergantungan yang tinggi menimbulkan kekhawatiran akan keberlanjutan sumber daya karena populasi manusia dan permintaan yang bersaing meningkat. Selain itu, penipisan cadangan biomassa yang tidak berkelanjutan menandakan beberapa konsekuensi negatif bagi penduduk negara ini, termasuk

meningkatnya kelangkaan energi, dan kenaikan harga bahan bakar yang tidak terjangkau (Mulindwa *et al.*, 2021).

Biomassa merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang penting. Bio-briket memberikan solusi yang sebagian besar terbuat dari limbah hijau dan bahan organik lainnya, dan biasanya digunakan untuk pembangkit listrik, panas, dan bahan bakar memasak (Sanchez *et al.*, 2022). Bahan bakar biomassa memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan batu bara, dan akibatnya kinerja yang berbeda dalam pembakaran dan emisi polutan (G. Li *et al.*, 2022).

Ketersediaan bahan baku yang melimpah, potensi energi biomassa di Indonesia sangat besar. Pemanfaatan biomassa dari limbah pertanian dan sampah organik tidak hanya membantu mengurangi volume limbah yang harus dikelola tetapi juga memberikan alternatif sumber energi yang berkelanjutan. Ini dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi karbon secara signifikan. Selain itu, pengembangan energi biomassa dapat menciptakan peluang ekonomi baru, terutama di daerah pedesaan yang memiliki akses langsung ke sumber daya biomassa. Dengan dukungan kebijakan yang tepat, seperti insentif finansial dan pengembangan infrastruktur, potensi energi biomassa dapat dioptimalkan untuk mendukung transisi Indonesia menuju ekonomi hijau yang berkelanjutan. Energi biomassa memiliki dampak lingkungan yang positif terutama dalam hal pengurangan emisi karbon dan pengelolaan limbah organik. Penggunaan biomassa sebagai sumber energi terbarukan dapat secara signifikan mengurangi emisi karbon dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar fosil. Proses pembakaran biomassa melepaskan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang setara dengan jumlah yang diserap oleh tanaman selama siklus hidupnya, sehingga netral secara karbon. Hal ini berbeda dengan bahan bakar fosil yang melepaskan karbon yang telah tersimpan selama jutaan tahun, meningkatkan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer dan berkontribusi pada perubahan iklim (Khairuna *et al.*, 2024).

## 2.2 Bio-Briket

Briket adalah bahan bakar padat yang terbuat dari pemadatan bahan organik, seperti limbah pertanian dan serbuk kayu, yang dikompresi menjadi bentuk tertentu untuk memudahkan penyimpanan dan transportasi. Proses pembuatan briket melibatkan beberapa tahap, mulai dari pengumpulan bahan baku, pengeringan, penggilingan, pengepresan, hingga pengemasan. Bahan baku yang umum digunakan untuk membuat briket termasuk sekam padi, serbuk gergaji, ampas tebu, dan limbah pertanian lainnya (Lubis, 2024). Bio-briket juga memberikan solusi yang sebagian besar terbuat dari limbah hijau dan bahan organik lainnya, dan biasanya digunakan untuk pembangkit listrik, panas, dan bahan bakar memasak. Briket adalah salah satu metode berkelanjutan untuk memberikan solusi alternatif untuk suatu sumber energi. Proses briket melibatkan kompresi suatu bahan menjadi produk padat dengan bentuk yang sesuai yang dapat digunakan sebagai bahan bakar seperti penggunaan kayu atau arang (Sanchez *et al.*, 2022).

Bio-briket bersifat terbarukan, sumber daya yang tidak terbatas, bersih, hemat biaya, dan energi netral karbon karena Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang dilepaskan dari pembakaran diserap kembali oleh tanaman (Shuma & Madyira, 2017). Proses pembuatan briket melibatkan beberapa tahap, mulai dari pengumpulan bahan baku, pengeringan, penggilingan, pengepresan, hingga pengemasan. Bahan baku yang umum digunakan untuk membuat briket termasuk sekam padi, serbuk gergaji, ampas tebu, dan limbah pertanian lainnya. Proses pembuatan briket dimulai dengan penghancuran bahan baku menjadi serbuk halus. Selanjutnya, serbuk tersebut dikeringkan untuk mengurangi kadar air, yang penting untuk meningkatkan nilai kalor dan efisiensi pembakaran. Setelah itu, serbuk yang telah kering akan dikepres menggunakan mesin pengepres untuk membentuk briket padat. Proses terakhir adalah pendinginan dan pengemasan briket yang siap dipasarkan. Briket sebagai sumber energi alternatif menawarkan solusi berkelanjutan dalam menghadapi tantangan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Dengan proses pembuatan yang efisien dan keunggulan lingkungan yang signifikan, briket dapat menjadi pilihan utama dalam transisi menuju energi

terbarukan. Pemanfaatan limbah organik untuk produksi briket tidak hanya mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan tetapi juga meningkatkan nilai ekonomis bagi masyarakat melalui penciptaan produk-produk bernilai tambah (Masyrurroh & Rahmawati, 2022).

Bio-briket juga merupakan proses meningkatkan kepadatan biomassa melalui penggunaan pemadatan partikel lepas asli dengan penerapan gaya mekanis. Di antara keuntungan dari bio-briket termasuk menciptakan ikatan di dalam partikel untuk membentuk bahan bakar padat, mengurangi kadar air biomassa, meningkatkan nilai kalori bersih per satuan volume karena penghilangan bahan yang mudah menguap, menghasilkan ukuran yang seragam dan bahan bakar berkualitas, memudahkan transportasi dan penyimpanan, dan membantu mengatasi masalah pembuangan residu (Gürdil & Demirel, 2018). Beberapa produksi briket menggunakan satu jenis biomassa dalam pemrosesan sementara yang lain menggunakan kombinasi dua atau lebih biomassa untuk memanfaatkan keunikan individu sehingga menghasilkan daya terbakar yang lebih baik, karakteristik fisik dan kimia yang lebih baik, dan briket yang tahan lama (Okot, 2019).

Secara umum, diperkirakan bahwa teknologi pembakaran bersama merupakan pilihan energi yang bersih, berkelanjutan, dan terbarukan, dan dapat mengurangi emisi polutan gas, PM 2.5 dan bahan kimia beracun, yang mengarah pada kualitas udara yang signifikan dan manfaat kesehatan oleh karena itu, produksi bio-briket dengan proses penghancuran, pemisahan, pencampuran dan pemadatan sebelum pembakaran dapat menjadi pilihan yang praktis dan berkelanjutan (G. Li *et al.*, 2023).

### **2.3 Serat Batang Aren**

Briket adalah bahan bakar padat yang berfungsi sebagai sumber energi alternatif untuk bahan bakar minyak. Proses produksi briket melibatkan bahan baku karbonisasi, yang kemudian dicetak di bawah tekanan tertentu. Proses ini dapat dilakukan dengan atau tanpa perekat atau aditif lainnya. Bahan baku utama untuk briket biasanya adalah bubuk dengan ukuran partikel kecil seperti bubuk arang ringan, serbuk gergaji, sekam

padi, limbah pertanian, limbah hutan, residu atau arang. Briket memiliki bentuk tertentu dan dihasilkan melalui teknik pengepresan tertentu. Mereka sering menggunakan perekat sebagai agen pengeras. Briket dapat dianggap sebagai solusi hemat biaya dan ramah lingkungan sebagai bahan bakar alternatif untuk menggantikan penggunaan bahan bakar minyak dengan cara yang lebih berkelanjutan (Mardhiyah *et al.*, 2024).



**Gambar 1.** Serat Batang Aren

Serat dari batang aren dan serabut kelapa merupakan sumber daya melimpah yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan dalam berbagai keperluan, termasuk sebagai bahan baku briket energi terbarukan. Oleh karena itu, penting untuk memahami karakteristik, manfaat, dan nilai ekonomis dari kedua jenis limbah ini. Batang pohon aren (*Arenga pinnata*), misalnya, dikenal memiliki serat yang kuat dan tahan lama. Limbah hasil pemotongan atau pengolahan batang aren sering kali diabaikan dan dibiarkan menumpuk, padahal dapat dimanfaatkan secara optimal. Serat dari batang aren ini berpotensi digunakan dalam pembuatan produk seperti mebel, kerajinan tangan, dan juga sebagai bahan baku briket (Sudana, 2016). Serat batang aren juga merupakan bahan baku yang potensial. Limbah dari pemrosesan serat batang aren dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas briket. Penelitian menunjukkan

bahwa kombinasi serat batang aren dengan bambu dapat menghasilkan briket dengan karakteristik yang baik, termasuk daya bakar yang optimal (Hastiawan *et al.*, 2018).

#### 2.4 Serabut Kelapa

Kebutuhan energi dunia terus meningkat setiap tahunnya, sementara ketersediaan sumber energi fosil semakin menipis. Oleh sebab itu, diperlukan sumber energi alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Salah satu energi alternatif yang berkembang adalah biomassa, yang merupakan bahan organik yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi panas, listrik, maupun bahan bakar. Briket memiliki beberapa keunggulan antara lain bentuk yang seragam, densitas energi tinggi, emisi lebih bersih, dan mudah dalam penyimpanan serta transportasi. Briket dapat dibuat dari berbagai limbah biomassa seperti serbuk gergaji, ampas tebu, tempurung kelapa, sekam padi, dan serabut kelapa (Azzumardi & Singgih, 2024).



**Gambar 2.** Serabut Kelapa

Serabut kelapa (cocofiber) adalah bagian dari kelapa yang terdiri atas jaringan serat yang diperoleh dari kulit luar kelapa. Limbah ini seringkali tidak dimanfaatkan secara optimal, padahal memiliki karakteristik yang cocok sebagai bahan baku energi.

Komposisi Kimia Serabut Kelapa menurut Wahyudi, dan Sujana (2022):

- Selulosa: 43–45%
- Lignin: 44–46%
- Hemiselulosa: 0,15–0,25%

- Kadar air alami: 8–10%

Pembuatan briket dari serabut kelapa melibatkan beberapa tahap penting, yaitu pengeringan, karbonisasi, penghalusan, pencampuran, pencetakan, dan pengeringan akhir. Pada tahap pengeringan, serabut kelapa dikeringkan untuk menurunkan kadar air hingga di bawah 10%, karena kadar air yang tinggi dapat menurunkan efisiensi karbonisasi dan pembentukan briket. Proses karbonisasi dilakukan dengan membakar serabut kelapa secara tidak sempurna pada suhu sekitar 300–500°C, menghasilkan arang dengan kandungan karbon tinggi. Selanjutnya, arang yang diperoleh dihaluskan hingga berbentuk serbuk halus agar mudah dicampurkan dengan perekat alami, biasanya berupa tepung kanji atau pati dengan konsentrasi 5–10% dari berat serbuk. Setelah tercampur rata, adonan briket dicetak menggunakan alat press, kemudian dikeringkan hingga briket menjadi keras dan siap digunakan (Wahyudi & Sujana, 2022).

## 2.5 Analisis Kualitas Briket

Tahapan pengambilan data biobriket adalah tahap melakukan uji karakteristik briket untuk mengidentifikasi apakah briket yang dihasilkan berkualitas bagus yang sesuai dengan SNI. Langkah langkah pengujian yang dilakukan meliputi, nilai kalor kadar air, dan kadar abu (Fallo *et al.*, 2024). Sifat-sifat penting dari briket yang mempengaruhi kualitas bahan bakar adalah sifat fisik dan kimia seperti kadar air, kadar abu, kadar zat yang hilang pada pemanasan 950°C dan nilai kalor. Mutu briket juga dipengaruhi oleh keberadaan perekat dalam briket baik jumlah maupun jenis perekat serta cara pengujian yang digunakan (Febriani *et al.*, 2022).. Standar yang digunakan dalam pembuatan briket di Indonesia umumnya mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI), khususnya SNI 01-6235-2000. Standar ini menetapkan berbagai parameter kualitas untuk briket, termasuk nilai kalor, kadar air, dan komposisi bahan baku. Parameter Kualitas Briket Menurut SNI yaitu:

1. Nilai Kalor: Briket harus memiliki nilai kalor minimum 5000 kal/g untuk dianggap memenuhi standar. Misalnya, briket yang terbuat dari kulit buah langsung

menunjukkan nilai kalor tertinggi mencapai 5558 kal/g, sedangkan briket dari campuran batubara dan arang tempurung kelapa dapat mencapai nilai kalor hingga 6605 kal/g.

2. Kadar Air: Kadar air dalam briket juga menjadi faktor penting. Briket yang dihasilkan dari limbah pertanian seperti jerami padi dan kotoran sapi memiliki kadar air bervariasi, dengan yang terbaik mencapai sekitar 5,6%.
3. Kadar Abu dan Zat Mudah Menguap: Kadar abu dan zat mudah menguap juga diukur untuk menentukan efisiensi pembakaran briket. Misalnya, kadar abu pada briket dari sampah daun adalah sekitar 8,02%.
4. Tekstur dan Densitas: Densitas briket juga dinilai; misalnya, briket dari daun matoa menunjukkan densitas sekitar 0,56 g/cm<sup>3</sup>.

Proses pembuatan umumnya melibatkan langkah-langkah seperti karbonisasi, penghalusan, pencampuran dengan perekat (seperti tapioka atau limbah cair CPO), pencetakan, dan pengeringan. Setiap langkah harus dilakukan dengan hati-hati untuk memastikan bahwa produk akhir memenuhi standar kualitas yang ditetapkan.

Dengan mengikuti standar ini, diharapkan produksi briket di Indonesia dapat berkontribusi pada pengurangan penggunaan bahan bakar fosil dan memanfaatkan sumber daya lokal secara lebih efisien (Olugbade *et al.*, 2019).

## **2.6 Standar Nasional Indonesia (SNI)**

Bio-briket merupakan bahan bakar padat yang dihasilkan dari biomassa melalui proses pengarangan atau tanpa pengarangan yang kemudian dipadatkan menggunakan tekanan tertentu dengan atau tanpa bahan perekat. Bio-briket dikembangkan sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, mudah diperoleh, dan dapat memanfaatkan limbah biomassa seperti tempurung kelapa, serbuk kayu, sekam padi, kulit kopi, dan limbah pertanian lainnya. Penggunaan bio-briket diharapkan mampu mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil sekaligus menekan pencemaran lingkungan akibat limbah biomassa yang tidak termanfaatkan secara optimal (Bamisaye *et al.*, 2024). Dalam rangka menjamin mutu dan kelayakan bio-briket sebagai bahan bakar, pemerintah Indonesia melalui Badan Standardisasi Nasional

(BSN) menetapkan Standar Nasional Indonesia SNI 01-6235-2000 tentang briket arang. Standar ini menjadi acuan utama dalam penilaian kualitas briket biomassa di Indonesia, baik untuk keperluan penelitian maupun aplikasi komersial. Penerapan standar ini bertujuan untuk menghasilkan bio-briket yang aman digunakan, memiliki efisiensi pembakaran yang baik, serta memenuhi kebutuhan energi secara optimal (Bamisaye *et al.*, 2024a).

SNI 01-6235-2000 menetapkan beberapa parameter mutu utama yang harus dipenuhi oleh bio-briket. Parameter tersebut meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat mudah menguap (*volatile matter*), dan nilai kalor. Kadar air maksimum yang diizinkan adalah sebesar 8%, karena kadar air yang tinggi dapat menurunkan efisiensi pembakaran dan memperbesar energi yang terbuang untuk penguapan air. Kadar abu juga dibatasi maksimal 8%, sebab kandungan abu yang tinggi dapat menurunkan nilai kalor dan menyebabkan residu pembakaran yang berlebihan. Selain itu, nilai kalor bio-briket menurut standar ini harus minimal 5000 kal/g atau setara dengan 20,93 MJ/kg, yang menunjukkan kemampuan bio-briket dalam menghasilkan energi panas selama proses pembakaran.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa mutu bio-briket sangat dipengaruhi oleh jenis bahan baku yang digunakan. Biomassa dengan kandungan lignin tinggi, seperti tempurung kelapa dan kayu keras, umumnya menghasilkan bio-briket dengan nilai kalor yang lebih tinggi dan kadar abu yang lebih rendah dibandingkan biomassa yang kaya mineral seperti sekam padi (Demisu & Muluye, 2024). Selain jenis bahan baku, ukuran partikel juga berperan penting dalam menentukan kualitas bio-briket. Partikel yang lebih halus cenderung menghasilkan briket dengan kerapatan yang lebih baik, sehingga meningkatkan kekuatan mekanik dan kestabilan pembakaran. Penggunaan bahan perekat turut memengaruhi karakteristik bio-briket. Perekat organik seperti tepung tapioka, sagu, atau pati sering digunakan karena mudah diperoleh dan ramah lingkungan. Namun, penambahan perekat dalam jumlah berlebihan dapat meningkatkan kadar abu dan menurunkan nilai kalor bio-briket (Hasibuan *et al.*, 2025). Oleh karena itu, proporsi perekat perlu dioptimalkan agar bio-briket yang dihasilkan

tetap memenuhi persyaratan SNI 01-6235-2000. Umumnya, penggunaan perekat sebesar 5–10% dari total massa bahan dianggap cukup untuk menghasilkan bio-briket yang kuat dan berkualitas.

Proses pengarangan atau pirolisis juga berpengaruh terhadap mutu bio-briket. Suhu dan waktu pengarangan menentukan kadar zat mudah menguap dan kandungan karbon tetap dalam bio-briket. Pengarangan pada suhu yang terlalu rendah dapat menghasilkan briket dengan volatile matter tinggi, sedangkan suhu yang terlalu tinggi dapat meningkatkan kadar abu dan menurunkan rendemen. Oleh karena itu, pengendalian kondisi proses sangat penting untuk menghasilkan bio-briket yang sesuai dengan standar mutu (Demisu & Muluye, 2024).

Berdasarkan berbagai hasil penelitian, bio-briket yang dibuat dari biomassa lokal dengan proses dan formulasi yang tepat umumnya mampu memenuhi persyaratan SNI 01-6235-2000, khususnya pada parameter kadar air, kadar abu, dan nilai kalor. Namun, masih terdapat variasi hasil yang cukup besar akibat perbedaan bahan baku, metode produksi, dan kondisi pengujian. Hal ini menunjukkan perlunya penelitian lanjutan untuk mengoptimalkan proses pembuatan bio-briket agar kualitas yang dihasilkan lebih konsisten dan sesuai dengan standar nasional (Bamisaye *et al.*, 2024b).

Dengan demikian, SNI 01-6235-2000 berperan penting sebagai pedoman dalam pengembangan dan evaluasi kualitas bio-briket di Indonesia. Standar ini tidak hanya membantu peneliti dalam menilai kelayakan produk bio-briket, tetapi juga mendukung upaya pemanfaatan energi terbarukan berbasis biomassa secara berkelanjutan.

**Tabel 1.** Standar Nasional Indonesia 01-6235-2000

No.	Parameter Mutu	SNI 01-6235-2000
1.	Kandungan Air	Maksimal 8%
2.	Zat Terbang	Maksimal 15%
3.	Kadar Abu	Maksimal 8%
4.	Karbon Tetap	Minimal 77%
5.	Kalor	Minimal 5.000 kcal/kg

## 2.7 Uji Proksimat

Uji proksimat merupakan salah satu metode analisis dasar yang paling umum digunakan untuk mengevaluasi karakteristik bahan bakar padat, termasuk bio-briket berbasis biomassa. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui komposisi utama bahan bakar yang terdiri atas kandungan air, zat terbang (*volatile matter*), kadar abu, dan karbon tetap (*fixed carbon*). Selain itu, nilai kalor sering dikaitkan dengan hasil uji proksimat karena mencerminkan kemampuan bahan bakar dalam menghasilkan energi panas selama proses pembakaran (Onifade *et al.*, 2022). Informasi yang diperoleh dari uji proksimat sangat penting dalam menentukan mutu, efisiensi pembakaran, serta kesesuaian bio-briket terhadap standar mutu yang berlaku, seperti Standar Nasional Indonesia.

Pada bio-briket, khususnya yang berasal dari biomassa lignoselulosa seperti serat batang aren dan serabut kelapa, hasil uji proksimat sangat dipengaruhi oleh jenis bahan baku, proses pengarangan, ukuran partikel, serta penggunaan bahan perekat. Biomassa dengan kandungan karbon tinggi dan kadar abu rendah umumnya menghasilkan bio-briket dengan performa pembakaran yang lebih baik (Demisu & Muluye, 2024). Oleh karena itu, uji proksimat sering digunakan sebagai parameter awal untuk menilai kelayakan bio-briket sebagai bahan bakar alternatif.

### 2.7.1 Kandungan Air (*Moisture Content*)

Kandungan air merupakan salah satu parameter penting dalam uji proksimat karena berpengaruh langsung terhadap efisiensi pembakaran bio-briket. Kandungan air menunjukkan jumlah air yang terkandung dalam bahan bakar sebelum proses pembakaran. Semakin tinggi kandungan air, semakin besar energi yang dibutuhkan untuk menguapkan air tersebut, sehingga energi panas yang dihasilkan menjadi berkurang. Bio-briket dengan kandungan air yang tinggi juga cenderung sulit dinyalakan dan menghasilkan asap lebih banyak (Saeed *et al.*, 2021).

Pada bio-briket biomassa, kandungan air dipengaruhi oleh sifat higroskopis bahan baku, proses pengeringan, serta kondisi penyimpanan. Biomassa berserat seperti serat

batang aren dan serabut kelapa memiliki kemampuan menyerap air yang cukup tinggi, sehingga proses pengeringan yang optimal sangat diperlukan. Umumnya, bio-briket yang baik memiliki kandungan air rendah agar proses pembakaran berlangsung lebih stabil dan efisien (Saeed *et al.*, 2021).

### **2.7.2 Zat Terbang (*Volatile Matter*)**

Zat terbang atau volatile matter adalah komponen bahan bakar yang mudah menguap ketika dipanaskan pada suhu tinggi tanpa adanya udara. Komponen ini terdiri atas gas-gas mudah terbakar seperti hidrogen, metana, dan senyawa hidrokarbon lainnya. Kandungan zat terbang yang tinggi menyebabkan bio-briket mudah menyala, namun pembakaran cenderung berlangsung cepat dan kurang stabil (Kantorek *et al.*, 2019).

Pada bio-briket hasil pengarangan, kandungan zat terbang biasanya lebih rendah dibandingkan biomassa mentah karena sebagian besar senyawa volatil telah terlepas selama proses pirolisis. Nilai zat terbang yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna dan menghasilkan asap, sedangkan nilai yang terlalu rendah dapat menyulitkan proses penyalaan. Oleh karena itu, kadar zat terbang yang seimbang diperlukan untuk menghasilkan bio-briket dengan karakteristik pembakaran yang baik (Lane *et al.*, 2020).

### **2.7.3 Kadar Abu (*Ash Content*)**

Kadar abu menunjukkan jumlah residu anorganik yang tersisa setelah bahan bakar dibakar secara sempurna. Abu merupakan komponen yang tidak menghasilkan energi, sehingga semakin tinggi kadar abu, semakin rendah efisiensi bahan bakar. Selain itu, kadar abu yang tinggi dapat menyebabkan penumpukan residu pada tungku pembakaran dan menurunkan kinerja peralatan (Nguyen *et al.*, 2025).

Kadar abu pada bio-briket sangat dipengaruhi oleh jenis biomassa yang digunakan. Biomassa dengan kandungan mineral tinggi cenderung menghasilkan kadar abu yang lebih besar. Pada bio-briket berbahan serat batang aren dan serabut kelapa, kadar abu umumnya relatif rendah hingga sedang, tergantung pada tingkat kemurnian bahan dan

proses pengolahan. Oleh karena itu, pengendalian kadar abu menjadi penting agar bio-briket yang dihasilkan memenuhi standar mutu dan memiliki performa pembakaran yang baik (Lane *et al.*, 2020).

#### **2.7.4 Karbon Tetap (*Fixed Carbon*)**

Karbon tetap merupakan fraksi karbon padat yang tersisa setelah kandungan air dan zat terbang dihilangkan dari bahan bakar. Karbon tetap berperan sebagai sumber utama energi selama tahap pembakaran arang, karena menghasilkan panas secara bertahap dan stabil. Nilai karbon tetap yang tinggi menunjukkan kualitas bahan bakar yang baik dan waktu pembakaran yang lebih lama (Rodriguez Correa *et al.*, 2019).

Pada bio-briket biomassa, kandungan karbon tetap dipengaruhi oleh proses pengurangan dan jenis bahan baku. Biomassa dengan kandungan lignin tinggi, seperti serabut kelapa dan serat batang aren, berpotensi menghasilkan karbon tetap yang relatif tinggi setelah proses pirolisis. Karbon tetap biasanya dihitung secara tidak langsung dari hasil uji proksimat lainnya, sehingga menjadi parameter penting dalam analisis mutu bio-briket (Correa *et al.*, 2019).

#### **2.7.5 Nilai Kalor (*Caloric Value*)**

Nilai kalor merupakan parameter yang menunjukkan jumlah energi panas yang dihasilkan dari pembakaran sejumlah massa bahan bakar. Nilai kalor menjadi indikator utama dalam menilai potensi bio-briket sebagai sumber energi. Semakin tinggi nilai kalor, semakin besar energi yang dapat dihasilkan oleh bio-briket tersebut (Onifade *et al.*, 2022).

Nilai kalor bio-briket sangat dipengaruhi oleh kandungan karbon tetap, kadar air, dan kadar abu. Bio-briket dengan kandungan karbon tetap tinggi serta kadar air dan abu yang rendah umumnya memiliki nilai kalor yang tinggi. Biomassa seperti serabut kelapa dikenal memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, sehingga berpotensi menghasilkan bio-briket berkualitas baik. Oleh karena itu, pengujian nilai kalor menjadi pelengkap penting dari uji proksimat dalam mengevaluasi kelayakan bio-briket sebagai bahan bakar alternatif (Lubwama *et al.*, 2022).

Pada penelitian ini, nilai kalor briket dihitung berdasarkan **Persamaan 2.1** mengenai *Highest Heating Value* (HHV).

$$\text{HHV} = (0,1905 \cdot \text{VM}) + (0,2521 \cdot \text{FC}) \quad 2.1$$

Kadar karbon tetap (FC) dan kadar zat terbang (VM). Persamaan ini merupakan persamaan empiris yang digunakan untuk mengestimasi nilai kalor atas (*Higher Heating Value*) berdasarkan hasil uji proksimat. Persamaan ini diperoleh dari analisis regresi linear terhadap data eksperimen berbagai bahan bakar padat, di mana nilai kalor diukur menggunakan kalorimeter dan dikorelasikan dengan kandungan zat terbang (*volatile matter*) serta karbon tetap (*fixed carbon*). Koefisien pada persamaan tersebut menunjukkan kontribusi relatif masing-masing komponen terhadap energi pembakaran, dengan karbon tetap memberikan kontribusi energi yang lebih besar dibandingkan zat terbang. Persamaan ini banyak digunakan dalam penelitian biomassa sebagai metode estimasi nilai kalor ketika pengujian kalorimeter tidak tersedia, meskipun hasilnya bersifat pendekatan dan memerlukan validasi eksperimental.

## 2.8 Karakterisasi Material Bio-Briket

Karakterisasi material merupakan tahapan penting dalam penelitian bahan, termasuk bio-briket berbasis biomassa, untuk memahami sifat fisik, kimia, dan struktural dari bahan yang diteliti. Melalui karakterisasi, dapat diketahui komposisi unsur, struktur kristal, gugus fungsi, serta morfologi permukaan bahan, yang semuanya berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran, kestabilan termal, dan kualitas bio-briket. Pada biomassa lignoselulosa seperti serat batang aren dan serabut kelapa, proses pengolahan seperti pengarangan dan pemadatan dapat menyebabkan perubahan sifat material, sehingga diperlukan metode karakterisasi yang komprehensif untuk mengevaluasi perubahan tersebut (Ayaa *et al.*, 2025).

Berbagai teknik karakterisasi digunakan untuk menganalisis bio-briket, antara lain *X-Ray Fluorescence* (XRF), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Masing-masing metode memiliki prinsip kerja dan informasi yang dihasilkan berbeda, namun saling

melengkapi dalam memberikan gambaran menyeluruh mengenai sifat material bio-briket.

### **2.8.1 X-Ray Fluorescence (XRF)**

*X-Ray Fluorescence* (XRF) merupakan teknik analisis yang digunakan untuk menentukan komposisi unsur suatu material, khususnya unsur anorganik dan mineral. Prinsip kerja XRF didasarkan pada pemancaran sinar-X sekunder (fluoresensi) yang dihasilkan ketika suatu material disinari sinar-X berenergi tinggi. Setiap unsur memiliki energi fluoresensi khas, sehingga kandungan unsur dalam sampel dapat diidentifikasi dan dikuantifikasi (Mutalib *et al.*, 2017).

Dalam penelitian bio-briket, analisis XRF sangat berguna untuk mengetahui kandungan unsur anorganik seperti silika (Si), kalsium (Ca), kalium (K), magnesium (Mg), dan besi (Fe), yang berkontribusi terhadap kadar abu hasil pembakaran. Kandungan unsur mineral yang tinggi umumnya berhubungan dengan kadar abu yang tinggi dan dapat menurunkan nilai kalor bio-briket. Oleh karena itu, hasil analisis XRF dapat digunakan untuk menjelaskan perbedaan kadar abu dan performa pembakaran bio-briket berbahan biomassa yang berbeda (Mutalib *et al.*, 2017).

### **2.8.1 X-Ray Diffraction (XRD)**

*X-Ray Diffraction* (XRD) digunakan untuk menganalisis struktur kristal dan fase material dalam suatu sampel. Teknik ini bekerja berdasarkan difraksi sinar-X oleh bidang kristal dalam material, yang menghasilkan pola difraksi khas sesuai dengan susunan atom dan fase kristalnya. Pola difraksi tersebut kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi fase kristalin yang terdapat dalam material (Holder & Schaak, 2019).

Pada bio-briket biomassa, analisis XRD umumnya digunakan untuk mengidentifikasi fase kristalin dari komponen anorganik seperti silika atau senyawa oksida yang terbentuk selama proses pengarangan. Selain itu, XRD juga dapat digunakan untuk mengamati tingkat kristalinitas karbon, khususnya pada bio-briket berbasis arang. Tingkat kristalinitas ini berpengaruh terhadap stabilitas termal dan karakteristik pembakaran bahan bakar padat (Holder & Schaak, 2019).

### **2.8.2 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)***

*Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)* merupakan metode karakterisasi yang digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi kimia dalam suatu material berdasarkan penyerapan radiasi inframerah. Setiap ikatan kimia memiliki frekuensi vibrasi tertentu, sehingga spektrum FTIR dapat digunakan untuk menentukan jenis gugus fungsi yang terdapat dalam sampel (Khan, 2018).

Dalam konteks bio-briket berbahan biomassa, FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi khas lignoselulosa, seperti gugus hidroksil ( $-OH$ ), karbonil ( $C=O$ ), metil dan metilena ( $C-H$ ), serta ikatan eter ( $C-O-C$ ). Perubahan intensitas atau hilangnya puncak tertentu pada spektrum FTIR setelah proses pengarangan menunjukkan terjadinya degradasi komponen selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Informasi ini penting untuk memahami perubahan kimia yang terjadi selama proses pembuatan bio-briket (Khan, 2018).

### **2.8.3 *Scanning Electron Microscopy (SEM)***

*Scanning Electron Microscopy (SEM)* merupakan teknik pencitraan yang digunakan untuk mengamati morfologi permukaan dan struktur mikro suatu material dengan perbesaran tinggi. SEM bekerja dengan memindai permukaan sampel menggunakan berkas elektron, sehingga menghasilkan citra detail yang menunjukkan bentuk, ukuran pori, dan tekstur permukaan material (Akhtar *et al.*, 2018).

Pada bio-briket, analisis SEM digunakan untuk mengamati struktur pori, tingkat kerapatan, serta distribusi partikel dalam briket. Morfologi permukaan yang padat dan pori yang terdistribusi merata umumnya berkaitan dengan kekuatan mekanik yang baik dan laju pembakaran yang lebih stabil. Selain itu, SEM dapat menunjukkan perbedaan struktur antara bio-briket sebelum dan sesudah proses pengarangan atau antara bio-briket dengan komposisi bahan baku yang berbeda (Akhtar *et al.*, 2018).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 06 Januari 2025 s.d. 06 Maret 2025 di Laboratorium Heat Treatment dan PP Non-Logam, Pusat Riset Teknologi Mineral - BRIN, Kawasan Sains Iskandar Zulkarnain Tanjung Bintang, Lampung Selatan, yang berada di Jalan Insinyur Sutami No. KM 15, Serdang, Kecamatan Tanjung Bintang, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung.

#### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian antara lain sebagai berikut.

**Tabel 2.** Alat Penelitian

No.	Alat	Fungsi
1.	Oven SHARP EO-35SL	Oven berfungsi untuk mengeringkan briket yang telah dicetak. Proses pengeringan ini penting untuk mengurangi kadar air dalam briket, sehingga meningkatkan kualitas dan daya bakar produk akhir.
2.	Beaker Glass	Beaker glass digunakan untuk mengukur dan mencampur bahan cair, seperti perekat atau bahan tambahan lainnya.
3.	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRF) PANalytical Epsilon3 <sup>XLE</sup>	Alat ini digunakan untuk analisis komposisi kimia dari bahan baku dan produk briket. Dengan XRF, peneliti dapat mengetahui kandungan mineral dan unsur-unsur lain yang ada,

No.	Alat	Fungsi
4.	<i>X-Ray Fluorescence</i> (XRD) PANalytical X'Pert <sup>3</sup> Powder	XRD digunakan untuk menentukan struktur kristal dari bahan baku atau produk briket. Informasi ini penting untuk memahami sifat fisik dan kimia dari briket yang dihasilkan.
5.	<i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) EDS Quattro S	SEM berfungsi untuk mempelajari morfologi permukaan dari briket pada tingkat mikroskopis. Dengan menggunakan SEM, peneliti dapat melihat tekstur dan struktur mikro dari briket, yang dapat mempengaruhi karakteristik pembakaran.
6.	<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR) Invenio R 730	FTIR digunakan untuk menganalisis ikatan kimia dalam bahan baku dan produk briket. Dengan FTIR, peneliti dapat memahami interaksi antara komponen dalam campuran.
7.	Timbangan Digital	Timbangan digital berfungsi untuk menimbang bahan baku dengan akurat sebelum proses pencampuran.
8.	Saringan 150 <i>mesh</i> , dan 80 <i>mesh</i>	Saringan ini digunakan untuk memisahkan partikel berdasarkan ukuran selama proses penyaringan bubuk arang.
9.	Mesin <i>Press</i> Hidrolik 12 Ton Krisbow 10143805	Alat <i>press</i> digunakan untuk melakukan proses pencetakan briket.
10.	Cawan Porselen	Cawan porselen digunakan untuk menampung sampel selama analisis laboratorium atau saat melakukan pengujian sifat fisik dan kimia dari briket.
11.	<i>Muffle Furnance</i>	<i>Muffle Furnance</i> adalah alat yang dapat digunakan dalam pembuatan briket untuk melakukan proses karbonisasi.

Bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain sebagai berikut

**Tabel 3.** Bahan Penelitian

No.	Bahan	Fungsi
1.	Serat Batang Aren	Serat batang aren merupakan bahan baku utama dalam pembuatan briket. Limbah ini memiliki kandungan energi yang cukup tinggi dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber biomassa. Serat Batang Aren ini didapatkan di Tanjung Bintang, Lampung Selatan.
2.	Serabut Kelapa	Serabut Kelapa digunakan sebagai tambahan dalam campuran briket untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan produk akhir. Serabut Kelapa memiliki sifat yang ringan namun kuat, sehingga dapat meningkatkan kerapatan briket. Serabut Kelapa ini didapatkan di salah satu pasar di Bandar Lampung.
3.	Tapioka	Tapioka berfungsi sebagai perekat dalam pembuatan briket. Sebagai bahan pengikat alami, tapioka membantu menyatukan partikel-partikel serat batang aren dan bambu selama proses pencetakan.

### 3.3 Prosedur Percobaan

Proses pembuatan briket dari serat batang aren dan serabut kelapa dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

#### 3.3.1. Persiapan Alat dan Bahan:

Bahan baku serat batang aren dan serabut kelapa dikumpulkan dari sumber lokal. Bahan harus dalam kondisi kering untuk menghindari kelembaban yang berlebihan.

#### 3.3.2. Pembuatan Briket:

1. Proses pengarangan dilakukan menggunakan *Muffle Furnance* pada suhu 500°C selama 2 jam untuk mengubah bahan baku menjadi bioarang.

2. Setelah proses pengarangan, bioarang yang dihasilkan ditumbuk hingga halus menggunakan lumping dan alu. Penggerusan bertujuan untuk mendapatkan ukuran partikel yang seragam.
3. Bioarang yang telah digerus kemudian diayak dengan ukuran *mesh* 80 untuk memisahkan partikel halus dari yang lebih besar.
4. Campurkan bioarang dengan bahan perekat dengan perbandingan yang sudah ditentukan pada Tabel 4, lalu aduk hingga merata dengan ditambah sedikit air.

**Tabel 4.** Variasi Bahan Biobriket

No.	Serat Batang Aren (% Massa)	Serabut Kelapa (% Massa)	Tapioka (% Massa)
K1	100%	0%	10%
K2	100%	10%	10%
K3	100%	20%	10%
K4	100%	30%	10%
K5	100%	40%	10%

5. Adonan yang telah tercampur dimasukkan ke dalam cetakan briket dan ditekan menggunakan Alat Press.
6. Briket yang telah dicetak kemudian dikeringkan di dalam oven suhu 70°C dengan waktu 2 jam untuk mengurangi kadar air.

### 3.3.3. Pengujian Kualitas Briket:

5. Setelah pengeringan, dilakukan pengujian terhadap briket untuk mengetahui kadar air, kadar abu, zat terbang dan nilai karbon menggunakan metode standar ISO
6. Mengumpulkan data yang telah diuji, dalam konteks pembuatan briket pada langkah sebelumnya
7. Mengolah data yang telah dikumpulkan dengan menggunakan metode statistik atau analisis kualitatif. Lalu mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas briket, seperti komposisi bahan baku, ukuran partikel, dan metode pembuatan (Yirijor & Bere, 2024).

### 3.4 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian mengacu pada standar *International Organization for Standardization* (ISO), yaitu ISO 18134 untuk pengujian kadar air, ISO 18123 untuk pengujian zat terbang, dan ISO 18122 untuk pengujian kadar abu. Walaupun standar tersebut menganjurkan penggunaan sampel yang berbeda untuk tiap jenis pengujian, penelitian ini menggunakan satu sampel yang sama secara berurutan sebagai bentuk efisiensi, dengan tetap memperhatikan kehati-hatian dalam penanganannya. Selain pada briket, pengujian proksimat juga dilakukan terhadap bahan baku arang hasil karbonisasi Serat Batang Aren dan Serabut Kelapa. Sebelum pengujian dilakukan, seluruh sampel digiling halus untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam.

#### 3.4.1 Kadar Air/*Moisture*

Pengujian kadar air terdiri atas dua jenis, yaitu *total Moisture* dan *inherent moisture*.

##### a. *Total Moisture* (ISO 18134)

Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut:

1. Cawan porselen kosong (A) serta sampel sebanyak 1 gram ditimbang dengan neraca analitik yang memiliki ketelitian empat digit.
2. Sampel ditempatkan ke dalam cawan hingga diperoleh massa total (B).
3. Hasil penimbangan dicatat pada buku catatan laboratorium.
4. Cawan yang berisi sampel kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan kondisi terbuka dan dipanaskan pada suhu 110°C selama dua jam.
5. Setelah pemanasan selesai, cawan dikeluarkan dari oven dan disimpan dalam desikator selama satu jam sebelum dilakukan penimbangan kembali.
6. Sampel ditimbang kembali untuk memperoleh massa akhir (C). Nilai massa dari cawan kosong (A), cawan dengan sampel sebelum pemanasan (B), dan cawan dengan sampel setelah pemanasan (C) kemudian digunakan untuk menghitung kadar air total (*total moisture*) menggunakan **Persamaan 3.1** berikut:

$$TM = \frac{B-C}{B-A} \times 100\% \quad 3.1$$

**Keterangan:**

A: Cawan kosong

B : Cawan + sampel sebelum pemanasan

C : Cawan + sampel setelah pemanasan

**b. *Inherent Moisture* (ISO 18134)**

Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut:

1. Sampel yang telah melalui pengujian *total Moisture* dipanaskan kembali dalam oven pada suhu 110°C selama 1 jam.
2. Setelah proses pemanasan selesai, oven dibuka dan cawan dikeluarkan. Selanjutnya, cawan ditutup dan diletakkan di dalam desikator selama 1 jam untuk mencegah penyerapan uap air dari udara.
3. Setelah dingin, cawan ditimbang kembali, dan hasilnya dicatat untuk menghitung kadar air terikat (*inherent moisture*) menggunakan **Persamaan 3.2**.

$$IM = \frac{B-C}{B-A} \times 100\% \quad 3.2$$

**Keterangan:**

A : Cawan kosong

B : Cawan + sampel sebelum pemanasan

C : Cawan + sampel setelah pemanasan

**3.4.2 *Zat Terbang / Volatile Matter* (ISO 18123)**

Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut:

1. Sampel hasil pengujian *inherent Moisture* dipanaskan kembali di dalam *muffle furnace* pada suhu 850°C selama 7 menit, dengan kondisi cawan tertutup.
2. Lama waktu pemanasan dicatat menggunakan *stopwatch* untuk memastikan ketepatan durasi perlakuan panas.

3. Setelah proses pemanasan selesai, cawan dikeluarkan dengan menggunakan penjepit logam, kemudian dimasukkan ke dalam desikator selama 1 jam agar mencapai suhu ruang. Setelah itu, cawan ditimbang dan hasil penimbangan dicatat dengan cermat.
4. Nilai kadar zat terbang (*volatile matter*) dihitung menggunakan **Persamaan 3.3**.

$$VM = \frac{B-C}{B-A} \times 100\% \quad 3.3$$

**Keterangan:**

A : Cawan kosong

B : Cawan + sampel sebelum pemanasan

C : Cawan + sampel setelah pemanasan

**3.4.3 Kadar Abu / Ash Content (ISO 18122)**

Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut:

1. Sampel hasil uji *volatile matter* yang terdapat di dalam cawan dipanaskan kembali menggunakan *muffle furnace* pada suhu 650°C selama 2 jam dalam kondisi cawan terbuka. Waktu pemanasan dicatat dengan menggunakan *stopwatch* untuk memastikan ketepatan waktu perlakuan.
2. Setelah proses pemanasan selesai, cawan diambil dengan penjepit logam, kemudian ditutup dan ditempatkan dalam desikator selama 1 jam agar suhunya stabil. Setelah itu, cawan ditimbang kembali dan hasilnya dicatat untuk menghitung kadar abu (*ash content*) menggunakan **Persamaan 3.4** berikut:

$$AC = \frac{C-A}{B-A} \times 100\% \quad 3.4$$

**Keterangan:**

A : Cawan kosong

B : Cawan + sampel sebelum pemanasan

C : Cawan + sampel setelah pemanasan

#### 3.4.4 Karbon Tetap / *Fixed Carbon*

Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut:

Analisis kadar karbon tetap (*fixed carbon*) dilakukan dengan cara mengurangkan total persentase kadar air (*inherent moisture*), zat terbang (*volatile matter*), dan kadar abu (*ash content*) dari 100%. Nilai *fixed carbon* dihitung menggunakan **Persamaan 3.5** berikut:

$$FC = 100\% - (IM + VM + AC) \quad 3.5$$

#### Keterangan:

IM : *Inherent Moisture*

VM : *Volatile Matter*

AC : *Ash Content*

#### 3.4.5 Nilai Kalor / *Caloric Value*

Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut:

Analisis nilai kalor (*caloric value*) dilakukan dengan mengurangkan total kandungan air (*inherent moisture*), zat terbang (*volatile matter*), serta kadar abu (*ash content*) dari 100%, *Highest Heating Value* (HHV). Perhitungan dilakukan berdasarkan **Persamaan 3.6** berikut:

$$HHV = (0,1905 \cdot VM) + (0,2521 \cdot FC) \quad 3.6$$

### 3.5 Karakterisasi Sampel Bahan Baku dan Briket

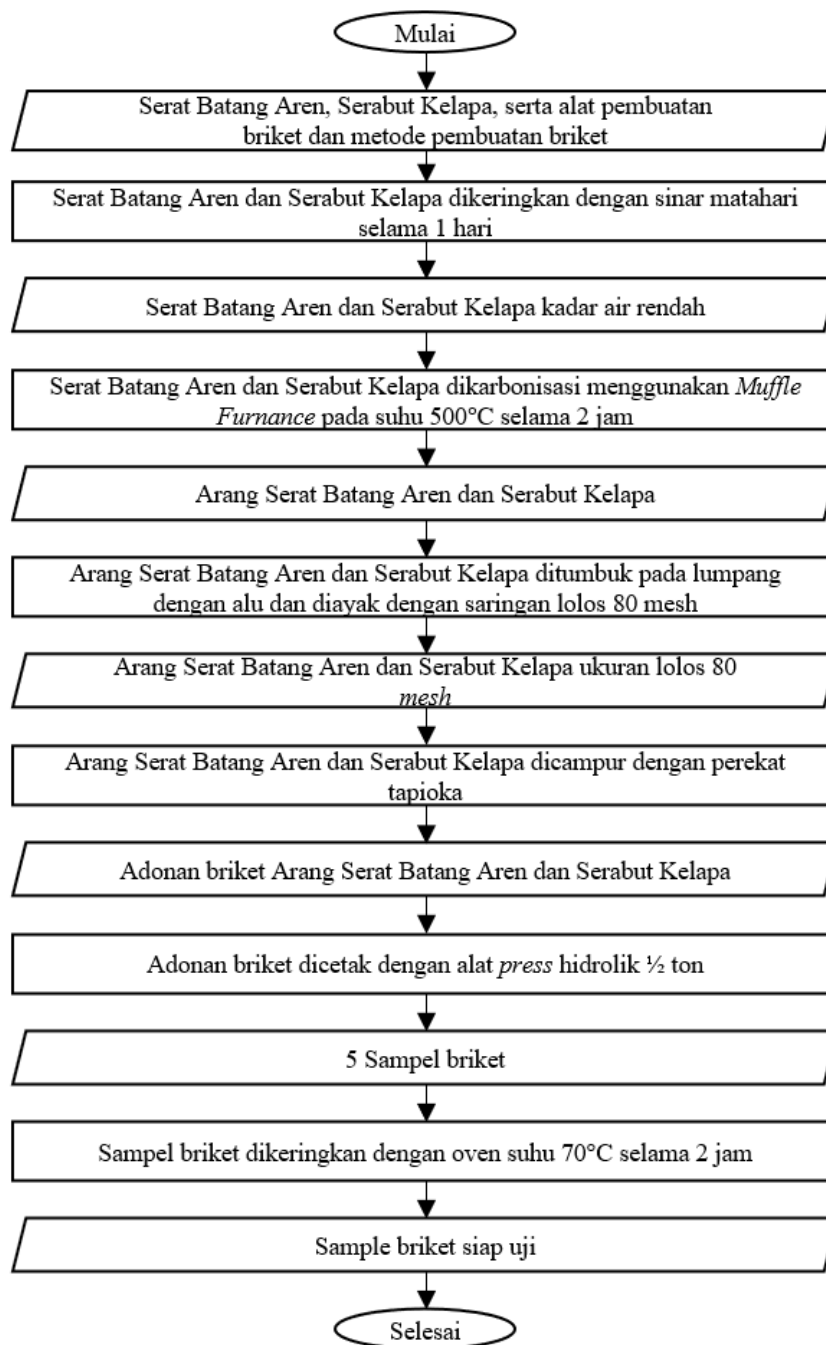
Pada sampel bahan baku dan sampel briket dipilih untuk proses karakterisasi, berdasarkan hasil uji proksimat yang menunjukkan bahwa sampel K1 memiliki kandungan karbon tetap tertinggi, dan K4 terendah. Sebelum dilakukan karakterisasi, seluruh sampel digiling hingga halus dan diayak menggunakan saringan berukuran 150 *mesh*. Proses karakterisasi dilakukan dengan beberapa instrumen, yaitu XRF *Bruker S8*

*Tiger* untuk menganalisis komposisi unsur, XRD *X'Pert Powder* untuk menentukan ukuran serta fase kristal, FTIR Invenio R 730 guna mengidentifikasi gugus fungsi senyawa organik berdasarkan serapan inframerah ikatan kimia, serta SEM EDS Quattro S untuk mengamati morfologi permukaan dan struktur internal material pada skala mikroskopis.

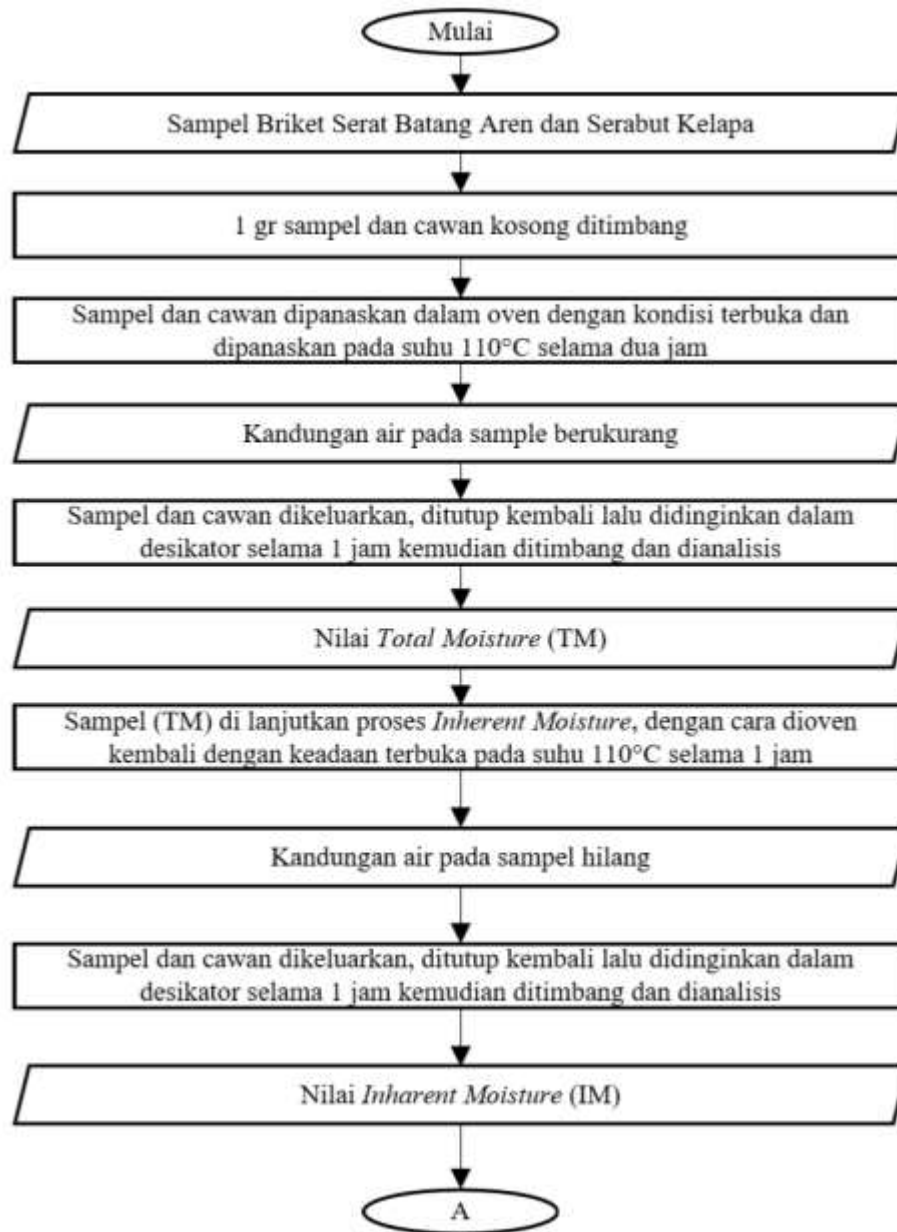
### **3.6 Diagram Alir**

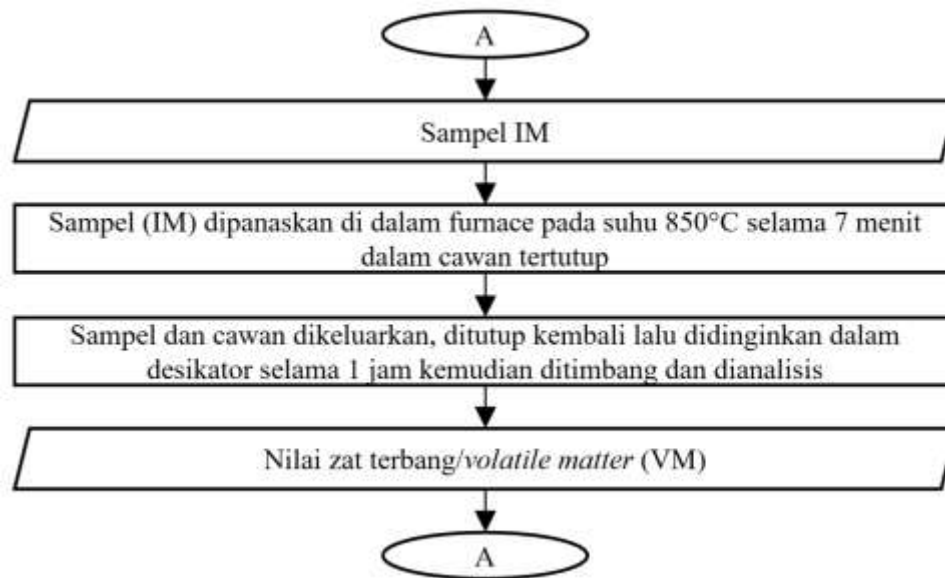
Proses pembuatan briket dari serat batang aren dan serabut kelapa dengan tambahan perekat tepung tapioka dilakukan melalui beberapa tahapan utama. Untuk mempermudah pemahaman, tahapan-tahapan tersebut ditampilkan secara visual dalam bentuk diagram alir berikut. Setiap diagram menunjukkan urutan proses, mulai dari persiapan bahan baku, tahap karbonisasi, pencampuran bahan dengan perekat, proses pencetakan briket, hingga pengujian proksimat. diagram ini bertujuan agar pembaca dapat memperoleh gambaran menyeluruh mengenai rangkaian tahapan penelitian yang telah dilakukan.

## 1. Diagram Alir Pembuatan Briket

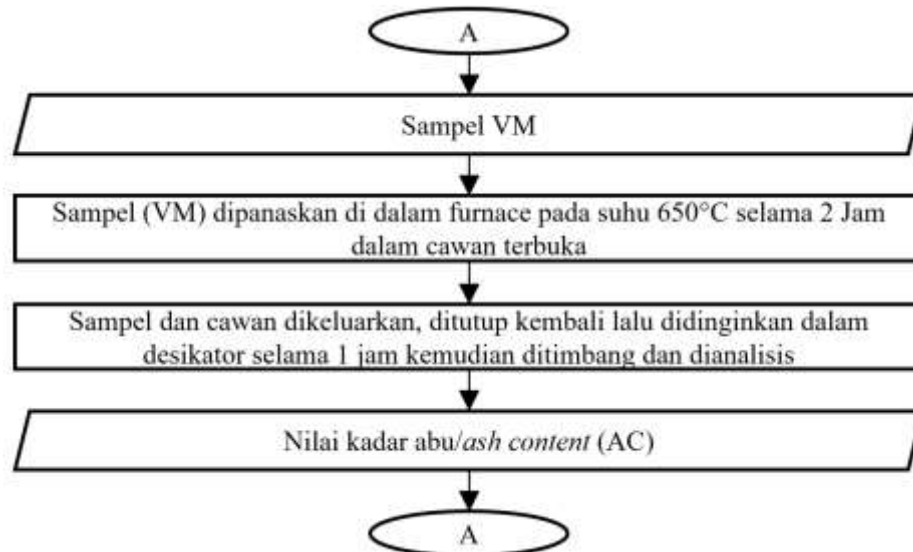


Gambar 3. Diagram Alir Pembuatan Briket

2. Diagram Alir Uji Proksimat Kandungan Air/*Moisture***Gambar 4.** Diagram Alir Uji Proksimat Kandungan Air/*Moisture*

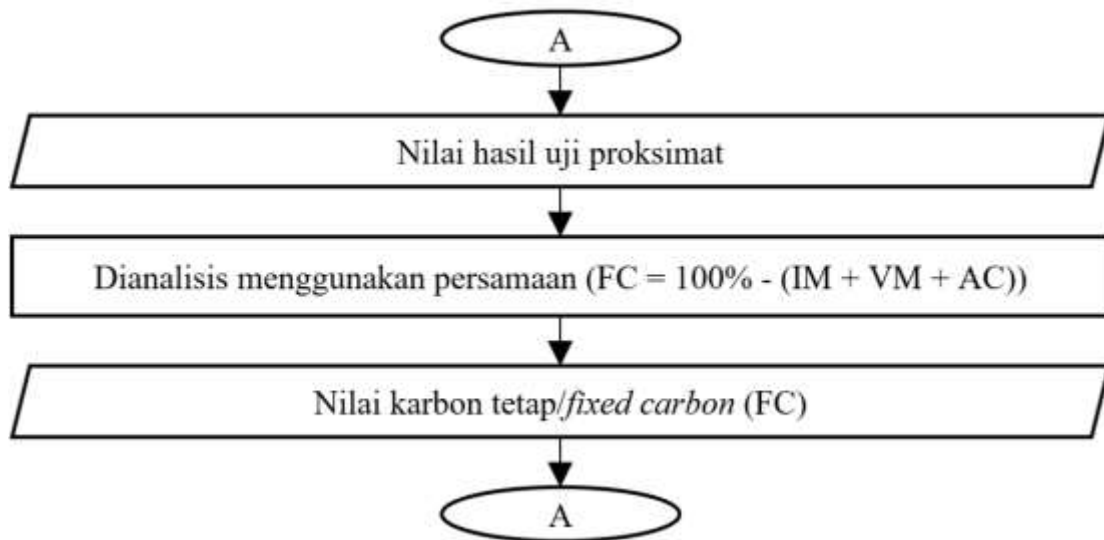
3. Diagram Alir Uji Proksimat Zat Terbang/*Volatile Matter*

**Gambar 5.** Diagram Alir Uji Proksimat Zat Terbang/*Volatile Matter*

4. Diagram Alir Uji Proksimat Kadar Abu/*Ash Content*

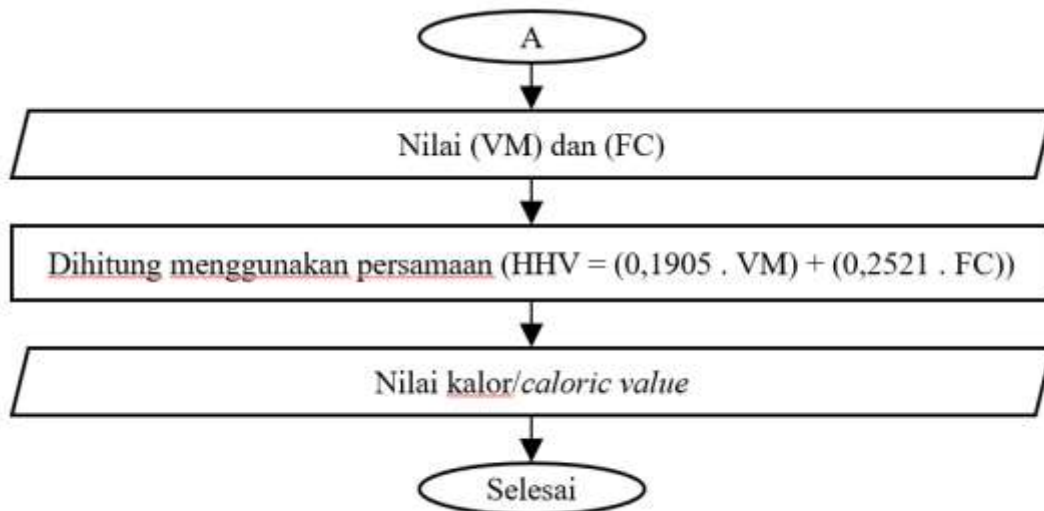
**Gambar 6.** Diagram Alir Uji Proksimat Kadar Abu/*Ash Content*

5. Diagram Alir Uji Proksimat Karbon Tetap/*Fixed Carbon*



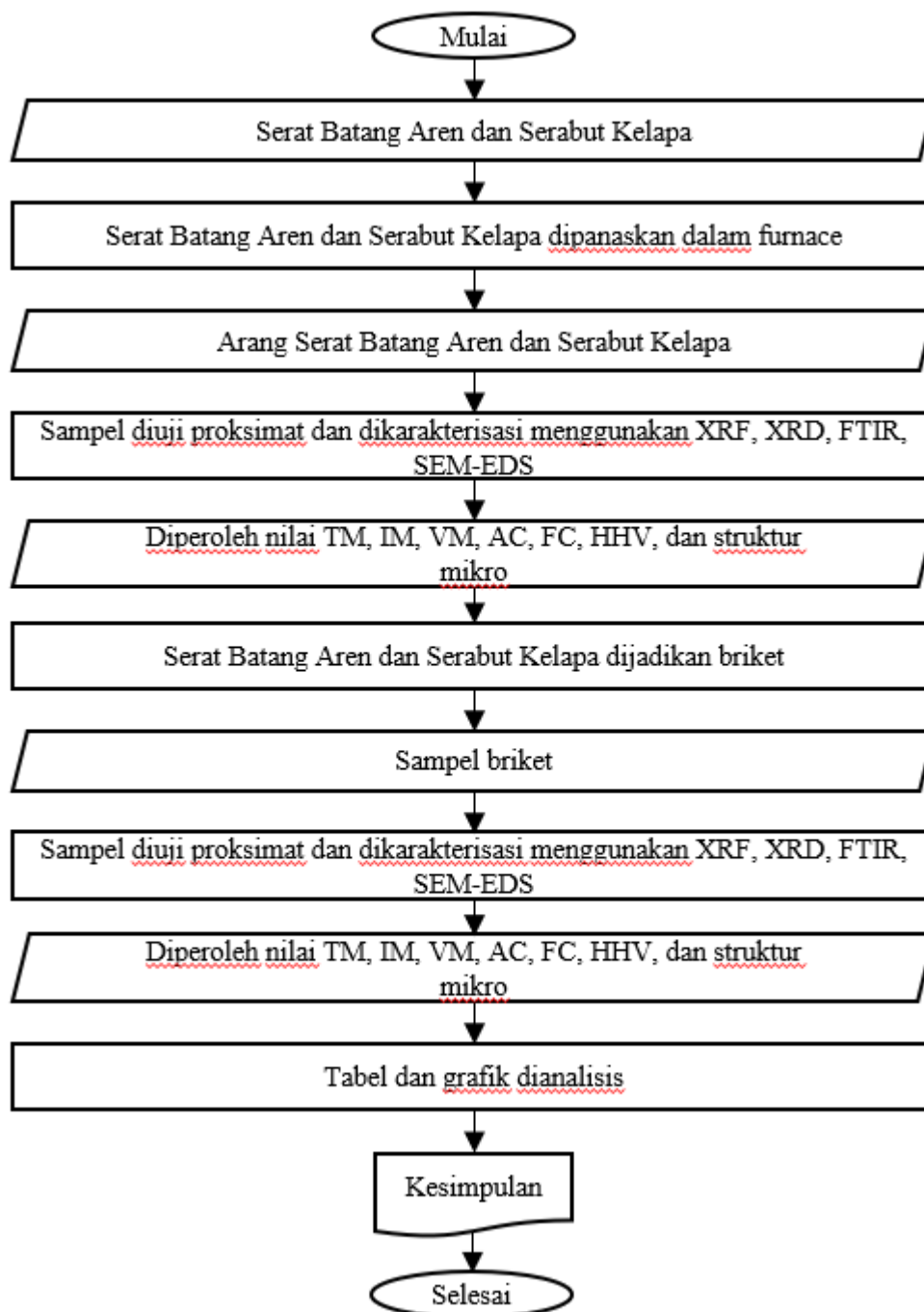
**Gambar 7.** Diagram Alir Uji Proksimat Karbon Tetap/*Fixed Carbon*

6. Diagram Alir Menghitung Nilai Kalor/*Caloric Value*



**Gambar 8.**Diagram Alir Menghitung Nilai Kalor/*Caloric Value*

## 7. Diagram Alir Penelitian



Gambar 9 Diagram Alir Penelitian

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Hasil uji proksimat terhadap biobriket menunjukkan bahwa kualitas briket dipengaruhi oleh variasi komposisi serat batang aren dan serabut kelapa dengan perekat tapioka, Hal ini menunjukkan bahwa jika komposisi serat batang aren ditambah serabut kelapa akan menurunkan kadar karbon tetap dan nilai kalor. Biobriket dengan kualitas terbaik dengan komposisi serat batang aren 100%, yaitu sampel K1. Nilai kadar air pada sampel telah memenuhi standar briket yang telah ditetapkan, sehingga sampel dengan komposisi serat batang aren 100% dinilai paling layak digunakan sebagai bahan bakar alternatif dibandingkan variasi lainnya karena memiliki nilai kalor tertinggi dan kadar karbon tetap paling besar, serta kadar air paling rendah.
2. Variasi komposisi serat batang aren dan serabut kelapa memengaruhi karakteristik briket berdasarkan hasil karakterisasi material. Jika digunakan serat batang aren tanpa penambahan serabut kelapa, maka briket cenderung memiliki kandungan karbon yang lebih dominan dan struktur yang lebih stabil, selaras dengan nilai karbon tetap yang lebih tinggi serta morfologi yang lebih padat. Sebaliknya, jika penambahan serabut kelapa ditingkatkan, maka kandungan unsur mineral dan kadar abu meningkat, disertai struktur permukaan yang lebih berpori dan masih tampaknya gugus fungsi khas biomassa.

## 5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memanfaatkan serat batang aren lebih lanjut dengan menambah komposisi limbah biomassa lain atau dengan komposisi murni serat batang aren untuk mendapatkan nilai karbon tetap lebih baik.
2. Menggunakan jumlah sampel yang lebih banyak sehingga data yang diperoleh menjadi lebih representatif dan hasil analisis memiliki Tingkat keakuratan yang lebih tinggi.
3. Perlu dilakukan variasi kadar perekat tapioka untuk mengetahui pengaruhnya terhadap karakteristik biobriket, khususnya terhadap kualitas pembakaran dan kestabilan struktur briket.
4. Memastikan bahan dalam kondisi yang bersih dan kering tanpa ada tanah atau mineral lain yang tercampur sebelum melakukan proses karbonisasi.
5. Menambahkan pengujian massa jenis dan porositas guna memperoleh karakteristik material yang lebih lengkap serta mendukung analisis hasil penelitian secara mendalam.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adamczyk, J., Smółka-Danielowska, D., Krzątała, A., & Krzykowski, T. (2024). Chemical and mineral composition of bottom ash from agri-food biomass produced under low combustion conditions. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 21(4), 4025–4036. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05255-3>
- Adeleke, A. A., Odusote, J. K., Ikubanni, P. P., Orhadahwe, T. A., Lasode, O. A., Ammasi, A., & Kumar, K. (2021). Ash analyses of bio-coal briquettes produced using blended binder. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79510-9>
- Ajimotokan, H. A., Ehindero, A. O., Ajao, K. S., Adeleke, A. A., Ikubanni, P. P., & Shuaib-Babata, Y. L. (2019). Combustion characteristics of fuel briquettes made from charcoal particles and sawdust agglomerates. *Scientific African*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00202>
- Akhtar, K., Khan, S. A., Khan, S. B., & Asiri, A. M. (2018). Scanning Electron Microscopy: Principle and Applications in Nanomaterials Characterization. In S. K. Sharma (Ed.), *Handbook of Materials Characterization* (pp. 113–145). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92955-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92955-2_4)
- Aliah, H., Winarti, I., Iman, R. N., Setiawan, A., Safarina, R., & Sawitri, A. (2023). Influence of Sieve Size on Calorific Value and Proximate Properties of Bio-Briquette Composites. *Journal of Ecological Engineering*, 24(7), 25–34. <https://doi.org/10.12911/22998993/163309>

- Alterary, S. S., & Marei, N. H. (2021). Fly ash properties, characterization, and applications: A review. In *Journal of King Saud University - Science* (Vol. 33, Issue 6). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101536>
- An, Y., Raman, V., Tang, Q., Shi, H., Sim, J., Chang, J., Magnotti, G., & Johansson, B. (2019). Combustion stability study of partially premixed combustion with low-octane fuel at low engine load conditions. *Applied Energy*, 235, 56–67. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.086>
- Anis, S., Fitriyana, D. F., Bahatmaka, A., Anwar, M. C., Ramadhan, A. Z., Anam, F. C., Permana, R. A., Hakim, A. J., Da Silva Guterres, N. F., & Da Silva, M. de S. (2024). Effect of Adhesive Type on the Quality of Coconut Shell Charcoal Briquettes Prepared by the Screw Extruder Machine. *Journal of Renewable Materials*, 12(2), 381–396. <https://doi.org/10.32604/jrm.2023.047128>
- Aransiola, E. F., Oyewusi, T. F., Osunbitan, J. A., & Ogunjimi, L. A. O. (2019). Effect of binder type, binder concentration and compacting pressure on some physical properties of carbonized corncob briquette. *Energy Reports*, 5, 909–918. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.07.011>
- Autonergi, D., & Autonergi, D. (2023). *Efek Negatif Energi Fosil Terhadap Lingkungan*.
- Ayaa, F., Oyedotun, K., Lubwama, M., Iwarere, S. A., Daramola, M. O., & Kirabira, J. B. (2025). Production and Characterization of Densified Briquettes From Nanocomposite Biochar-Cellulose Nanocrystal (Biochar-CNC) Reinforced with Polyvinyl Alcohol (PVA). *Waste and Biomass Valorization*, 16(5), 2075–2095. <https://doi.org/10.1007/s12649-025-03005-9>
- Azzumardi, N., & Singgih, M. L. (2024). Risk Management to Identify and Analyze Risks in Bio-briquette Production Operational Activities. *Department of Industrial and Systems Engineering, Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering (Institut Teknologi Sepuluh Nopember)*, 4(3), 293–304. [https://doi.org/10.2991/978-94-6463-566-9\\_19](https://doi.org/10.2991/978-94-6463-566-9_19)

- Bamisaye, A., Ige, A. R., Adegoke, K. A., Adegoke, I. A., Bamidele, M. O., Adeleke, O., Idowu, M. A., & Maxakato, N. W. (2024a). H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-treated and raw watermelon waste bio-briquettes: Comparative, eco-friendly and machine learning studies. *Fuel*, 358, 129936. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.129936>
- Bamisaye, A., Ige, A. R., Adegoke, K. A., Adegoke, I. A., Bamidele, M. O., Adeleke, O., Idowu, M. A., & Maxakato, N. W. (2024b). H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-treated and raw watermelon waste bio-briquettes: Comparative, eco-friendly and machine learning studies. *Fuel*, 358, 129936. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.129936>
- Bichang'a, D. O., Oladele, I. O., Alabi, O. O., Aramide, F. O., Oluseye, O., Borisade, S. G., Githinji, D. N., & Ojemaye, M. O. (2024). Comparative property investigation of raw and treated coconut shell biomass for potential polymer composite application. *Heliyon*, 10(23). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40704>
- Cavusoglu, I., Yilmaz, E., & Yilmaz, A. O. (2021). Sodium silicate effect on setting properties, strength behavior and microstructure of cemented coal fly ash backfill. *Powder Technology*, 384, 17–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.02.013>
- Cholilie, I. A., & Zuari, L. (2021). Pengaruh Variasi Jenis Perekat terhadap Kualitas Biobriket Berbahan Serabut dan Tandan Buah Lontar (*Borassus flabellifer* L.). *Agro Bali : Agricultural Journal*, 4(3), 391–402. <https://doi.org/10.37637/ab.v4i3.774>
- Dallinger, D., Gutmann, B., & Kappe, C. O. (2020). The Concept of Chemical Generators: On-Site On-Demand Production of Hazardous Reagents in Continuous Flow. *Accounts of Chemical Research*, 53(7), 1330–1341. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.0c00199>

- Demisu, D. G., & Muluye, A. B. (2024). Factors affecting the quality and performance of bio-briquette produced from biomasses via thermo-physical processes: synthesis. *International Journal of Energy and Water Resources*, 8(3), 371–384. <https://doi.org/10.1007/s42108-023-00268-7>
- Dong, T., Hao, Z., Zhang, Y., & Zhang, Y. (2022). Mechanistic insights into the chemical structural changes of lignite on potential formation of the polycyclic aromatic hydrocarbons. *Chemosphere*, 307, 135916. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135916>
- Fallo, G., Riwu, D. B. N., & Koehuan, V. A. (2024). Analisis Kualitas Briket Berbahan Dasar Cangkang Kemiri. *Jurnal Teknik Mesin*, 11, 48–52. <http://ejurnal.undana.ac.id/index.php/LJTMU>
- Febriani, S. D. A., Kusuma, F. W., Rahmanto, D. E., & Prasetyo, D. (2022). ANALISIS KUALITAS BRIKET ARANG KULIT KACANG TANAH DENGAN PEREKAT BIJI NANGKA. *Jurnal Teknik Terapan*, 3(2), 42–46.
- Guo, J. P., Liu, F. J., Bie, L. L., Si, X. G., Li, Y. H., Song, P., Liu, N., Zhao, Y. P., Huang, Z. X., Cao, J. P., & Wei, X. Y. (2022). Selective cleavage of C–O bond in lignin and lignin model compounds over iron/nitrogen co-doped carbon supported Ni catalyst. *Fuel*, 316. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123338>
- Gürdil, G., & Demirel, B. (2018). Effect of Particle Size on Surface Smoothness of Bio-Briquettes Produced from Agricultural Residues. *Manufacturing Technology*, 18(5), 742–747. <https://doi.org/10.21062/ujep/170.2018/a/1213-2489/mt/18/5/742>
- Hammel, S. C., Schlünssen, V., Hope, D., Dereviankin, M., Sandau, C. D., Hougaard, K. S., Meyer, H. W., Kines, P., Jensen, K. A., & Frederiksen, M. (2024). Lower chlorinated PCBs accumulate in demolition workers while working on a contaminated worksite. *Environment International*, 193, 109076. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.109076>

- Hansted, A. L. S., Cacuro, T. A., Nakashima, G. T., Costa, V. E., Yamamoto, H., & Yamaji, F. M. (2018). Use of a lignocellulosic residue as solid fuel: The effect of ash content in the energy potential. *Industrial Crops and Products*, *116*, 209–214. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.042>
- Hasibuan, R., Hidayati, J., Misran, E., Samosir, R. N., Sitohang, A. J., Pramananda, V., & Fazillah, R. (2025). Characteristics of bio-briquettes from candlenut shells as a renewable energy: Selection of adhesive type, adhesive concentration, and biochar particle size. *Journal of Ecological Engineering*, *26*(10), 316–327. <https://doi.org/10.12911/22998993/204924>
- Hassan, N. E., & Rashid, H. A. (2024). Review of Toxic Gases and Their Impact on Human Health. *Jabirian Journal of Biointerface Research in Pharmaceutics and Applied Chemistry*, *1*(4), 7–12. <https://doi.org/10.55559/jjbrpac.v1i4.398>
- Hastiawan, I., Haryono, Ernawati, E., Noviyanti, A. R., Eddy, D., & Yuliyati, Y. B. (2018). PEMBUATAN BRIKET DARI LIMBAH BAMBU DENGAN MEMAKAI ADHESIVE PET PLASTIK DI DESA CILAYUNG, JATINANGOR. *Jurnal Aplikasi Ipteks Untuk Masyarakat*, *7*(3), 154–156.
- Hinckley, E.-L. S., Crawford, J. T., Fakhraei, H., & Driscoll, C. T. (2020). A shift in sulfur-cycle manipulation from atmospheric emissions to agricultural additions. *Nature Geoscience*, *13*(9), 597–604. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0620-3>
- Holder, C. F., & Schaak, R. E. (2019). Tutorial on Powder *X-Ray Diffraction* for Characterizing Nanoscale Materials. *ACS Nano*, *13*(7), 7359–7365. <https://doi.org/10.1021/acsnano.9b05157>
- Idziak, K., Czakiert, T., Krzywanski, J., Zylka, A., Kozłowska, M., & Nowak, W. (2020). Safety and environmental reasons for the use of Ni-, Co-, Cu-, Mn- and Fe-based oxygen carriers in CLC/CLOU applications: An overview. *Fuel*, *268*. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117245>

- Islam, T., Shikder, A. A. R., Hossen, M. S., Uddin, M. M., Hossain, M. T., & Bashar, M. M. (2025). Nature-Derived Flame Retardant for Cotton Fabrics with Green Coconut Shells. *ACS Chemical Health and Safety*, 32(1), 57–65. <https://doi.org/10.1021/acs.chas.4c00050>
- Jerzak, W., & Kuźnia, M. (2021). Examination of inorganic gaseous species and condensed phases during coconut husk combustion based on thermodynamic equilibrium predictions. *Renewable Energy*, 167, 497–507. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.105>
- Kamseu, E., Ngouloure, Z. N. M., Tiogning-Djiogue, L. K., Andreola, F., Nait-Ali, B., Rossignol, S., & Leonelli, C. (2023). Enhancing hygroscopic capacities of metakaolin based porous insulating geopolymers: Comparative effects of calcium silicate and sodium polyacrylate. *Journal of Building Engineering*, 67, 106020. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106020>
- Kanazawa, S., Yamada, Y., & Sato, S. (2021). Infrared spectroscopy of graphene nanoribbons and aromatic compounds with sp<sup>3</sup>C–H (methyl or methylene groups). *Journal of Materials Science*, 56(21), 12285–12314. <https://doi.org/10.1007/s10853-021-06001-1>
- Kantorek, M., Jesionek, K., Polesek-Karczewska, S., Ziółkowski, P., & Badur, J. (2019). Thermal utilization of meat and bone meals. Performance analysis in terms of drying process, pyrolysis and kinetics of volatiles combustion. *Fuel*, 254. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.05.131>
- Kebede, T., Berhe, D. T., & Zergaw, Y. (2022). Combustion Characteristics of Briquette Fuel Produced from Biomass Residues and Binding Materials. *Journal of Energy*, 2022, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2022/4222205>
- Khairuna, Ulfia, Maryam, Ikhbar, S., Rahmi, & Rusmina, C. (2024). Optimalisasi Energi Biomassa: Solusi Energi Terbarukan untuk Ekonomi Hijau dengan Tinjauan Finansial dan Lingkungan. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(3), 10284–10291.

- Khan Shahid Ali and Khan, S. B. and K. L. U. and F. A. and A. K. and A. A. M. (2018). *Fourier Transform Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Application in Functional Groups and Nanomaterials Characterization*. In S. K. Sharma (Ed.), *Handbook of Materials Characterization* (pp. 317–344). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92955-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92955-2_9)
- Kipngetch, P., Kiplimo, R., Tanui, J. K., & Chisale, P. (2023a). Effects of carbonization on the combustion of rice husks briquettes in a fixed bed. *Cleaner Engineering and Technology*, *13*, 100608. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100608>
- Kipngetch, P., Kiplimo, R., Tanui, J. K., & Chisale, P. (2023b). Effects of carbonization on the combustion of rice husks briquettes in a fixed bed. *Cleaner Engineering and Technology*, *13*, 100608. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100608>
- Kirkok, S. K., Kibet, J. K., Kinyanjui, T. K., & Okanga, F. I. (2020). A review of persistent organic pollutants: dioxins, furans, and their associated nitrogenated analogues. In *SN Applied Sciences* (Vol. 2, Issue 10). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03551-y>
- Kongprasert, N., Wangphanich, P., & Jutilartavorn, A. (2019). Charcoal briquettes from Madan wood waste as an alternative energy in Thailand. *Procedia Manufacturing*, *30*, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.019>
- Kuswa, F. M., Putra, H. P., Prabowo, Darmawan, A., Aziz, M., & Hariana, H. (2024). Investigation of the combustion and ash deposition characteristics of oil palm waste biomasses. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *14*(19), 24375–24395. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04418-z>
- Lane, D. J., Jokiniemi, J., Heimonen, M., Peräniemi, S., Kinnunen, N. M., Koponen, H., Lähde, A., Karhunen, T., Nivajärvi, T., Shurpali, N., & Sippula, O. (2020). Thermal treatment of municipal solid waste incineration fly ash: Impact of gas

- atmosphere on the volatility of major, minor, and trace elements. *Waste Management*, *114*, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.06.035>
- Lestari, L., Raharjo, S., Sudiana, N., Rusman, L., & Sulastri, N. (2025). Effect of microwave power level and processing time on the quality of palm shell charcoal (*Elaeis guineensis* Jacq.) briquettes. *Journal of the Serbian Chemical Society*, *90*(9), 1069–1087. <https://doi.org/10.2298/jsc2408300551>
- Li, G., Hu, R., Hao, Y., Yang, T., Li, L., Luo, Z., Xie, L., Zhao, N., Liu, C., Sun, C., & Shen, G. (2023). CO<sub>2</sub> and air pollutant emissions from bio-coal briquettes. *Environmental Technology and Innovation*, *29*. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102975>
- Li, G., Yang, T., Xiao, W., Wu, J., Xu, F., Li, L., Gao, F., & Huang, Z. (2022). Sustainable Environmental Assessment of Waste-to-Energy Practices: Co-Pyrolysis of Food Waste and Discarded Meal Boxes. *Foods*, *11*(23), 1–15. <https://doi.org/10.3390/foods11233840>
- Li, J., Fan, S., Zhang, X., Chen, Z., Qiao, Y., Yuan, Z., Zeng, L., & Li, Z. (2022). Physicochemical structure, combustion characteristics and SiO<sub>2</sub> properties of entrained flow gasification ash. *Energy*, *251*, 123930. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123930>
- Liang, W., Wang, G., Ning, X., Zhang, J., Li, Y., & Jiang, C. (2020). Effect of CaO mineral change on coal ash melting characteristics. *Journal of the Energy Institute*, *93*(2), 642–648. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.joei.2019.06.001>
- Liu, J., Wu, P., Sun, P., Ji, Q., Zhang, Q., & Wang, P. (2021). Effects of iron-based fuel borne catalyst addition on combustion, in-cylinder soot distribution and exhaust emission characteristics in a common-rail diesel engine. *Fuel*, *290*, 120096. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.120096>

- Lopes, F. C. R., & Tannous, K. (2020). Coconut fiber pyrolysis decomposition kinetics applying single- and multi-step reaction models. *Thermochimica Acta*, 691. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2020.178714>
- Lubis, H. U. (2024). *Mengapa Briket Dapat Dijadikan Energi Alternatif?*
- Lubwama, M., Yiga, V. A., & Lubwama, H. N. (2022). Effects and interactions of the agricultural waste residues and binder type on physical properties and calorific values of carbonized briquettes. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12(11), 4979–4999. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01001-8>
- Maharani, F., Kurniawan, E., & Ginting, Z. (2022). PEMBUATAN BRIKET DARI ARANG SERBUK GERGAJI KAYU DENGAN PEREKAT TEPUNG SINGKONG SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF. In *Jurnal Teknologi Kimia Unimal* (Vol. 11, Issue 2).
- Mahmudati, R., Rahmadani, M., Setiadi, T., Oktaviandri, R., Habibullah, M. A., Indhi, K., & Islami, C. (2024). BRIKET SEKAM PADI SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF DI DESA BANDINGAN, BAWANG BANJARNEGARA. *SOROT (Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat)*, 3(1), 81–86. <https://doi.org/10.32699>
- Mardhiyah, A., Jamilulchal, M., Yonanda, A., & Ana, D. A. (2024). OPTIMISING BRIQUETTE CHARACTERISTICS BASED ON THE RATIO OF BAMBOO AND COCONUT FIBRE UNDER CONVENTIONAL METHOD. *Journal of Sustainable Technology and Applied Science (JSTAS)*, 5(1), 1–5.
- Masyruroh, A., & Rahmawati, I. (2022). PEMBUATAN BRIKET ARANG DARI SERBUK KAYU SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF. *Jurnal ABDIKARYA*, 4(2686–6447), 95–99.
- Mediacenter. (2022). *Manfaatkan Pohon Aren Untuk Dukung Perekonomian Masyarakat.*

- Mulindwa, P., Egesa, D., Osinde, A., & Nyanzi, E. (2021). Production of Fuel Briquettes from Bamboo and Agricultural Residue as an Alternative to Charcoal. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 11(03), 105–117. <https://doi.org/10.4236/jsbs.2021.113008>
- Mutalib, M., Rahman, M. A., Othman, M. H. D., Ismail, A. F., & Jaafar, J. (2017). Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy-Dispersive X-Ray (EDX) Spectroscopy. In *Membrane Characterization* (pp. 161–179). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63776-5.00009-7>
- Nguyen, D. N., Le, T. T. T., Ngo, S. H., & Nguyen, V. D. (2025). Effect of Coconut Fiber Content on the Properties of Unfired Building Bricks Incorporating Thermal Power Plant Ashes. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 69(2), 599–610. <https://doi.org/10.3311/PPci.38299>
- Nikiema, J., Asamoah, B., Egblewogbe, M. N. Y. H., Akomea-Agyin, J., Cofie, O. O., Hughes, A. F., Gebreyesus, G., Asiedu, K. Z., & Njenga, M. (2022). Impact of material composition and food waste decomposition on characteristics of fuel briquettes. *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200095>
- Nindyapuspa, A., Dermawan, D., Pramestyawati, T. N., Firmansyah, B. W., & Pakpahan, A. B. (2025). Analisis Kadar Air, Abu, dan Fixed Carbon pada Biobriket Sludge IPAL dengan Metode Karbonisasi 6000C. *Jurnal Teknologi Maritim*, 8(1), 49–58. <https://doi.org/10.35991/jtm.v8i1.41>
- Obi, O. F., Pecenka, R., & Clifford, M. J. (2022). A Review of Biomass Briquette Binders and Quality Parameters. In *Energies* (Vol. 15, Issue 7). MDPI. <https://doi.org/10.3390/en15072426>
- Okot, D. K. (2019). *Briquetting and Torrefaction of Agricultural Residues for Energy Production*.

- Oliaei, E., Berthold, F., Berglund, L. A., & Lindström, T. (2021). Eco-Friendly High-Strength Composites Based on Hot-Pressed Lignocellulose Microfibrils or Fibers. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 9(4), 1899–1910. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c08498>
- Olugbade, T., Ojo, O., & Mohammed, T. (2019). Influence of Binders on Combustion Properties of Biomass Briquettes: A Recent Review. *BioEnergy Research*, 12(2), 241–259. <https://doi.org/10.1007/s12155-019-09973-w>
- Onifade, M., Lawal, A. I., Aladejare, A. E., Bada, S., & Idris, M. A. (2022). Prediction of gross calorific value of solid fuels from their proximate analysis using soft computing and regression analysis. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 42(4), 1170–1184. <https://doi.org/10.1080/19392699.2019.1695605>
- Ossei-Bremang, R. N., Adjei, E. A., & Kemausuor, F. (2023). Multivariate decisions: Modelling waste-based charcoal briquette formulation process. *Bioresource Technology Reports*, 22, 101483. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101483>
- Pehlivan, T., Özdemir, H., Altınçekiç, T. G., & Faruk Öksüzömer, M. A. (2024). Oxy-CO<sub>2</sub> reforming of methane on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, CeO<sub>2</sub> and ZrO<sub>2</sub> supported Ni catalysts prepared by deposition-precipitation method. *International Journal of Hydrogen Energy*, 96, 703–710. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.11.392>
- Razak, A. H. (2020). *Yuk, Bikin Briket dari Limbah Sabut Kelapa*. PT. Aksara Solopos.
- Ribeiro, C. M. G., da Silva, L. V., Gonçalves, J. D., Pinho, L. D., Sanches, M. E. M., de Barros, R. F., & Salles, M. O. (2025). Advances in carbon-based electrodes: characterization of screen-printed and laser-induced graphene techniques. *Journal of Solid State Electrochemistry*. <https://doi.org/10.1007/s10008-025-06400-3>
- Rizwan, M., Leghari, A., Kumar, A., Laghari, A., Mansoor, A., Nawaz, M. A., & Zhou, X. (2025). Controlled hydrothermal carbonization of wood-derived lignin-rich

- lignocellulose: Redefining pyrolytic pathways to tailored biochar and hydrogen-enriched syngas. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 192, 107342. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaap.2025.107342>
- Robl, T. (2017). Ash beneficiation, quality, and standard criteria. In *Coal Combustion Products (CCPs): Characteristics, Utilization and Beneficiation* (pp. 217–224). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100945-1.00008-3>
- Rodriguez Correa, C., Hehr, T., Voglhuber-Slavinsky, A., Rauscher, Y., & Kruse, A. (2019). Pyrolysis vs. hydrothermal carbonization: Understanding the effect of biomass structural components and inorganic compounds on the char properties. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 140, 137–147. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaap.2019.03.007>
- Sachdev, D., Gupta, S., Bhullar, N. K., & Verma, G. (2025). Recent Progress on the Correlation Between Hydrophobicity and the Water Absorption of Different Materials. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 35(7), 5261–5286. <https://doi.org/10.1007/s10904-024-03586-3>
- Saeed, A. A. H., Harun, N. Y., Bilad, M. R., Afzal, M. T., Parvez, A. M., Roslan, F. A. S., Rahim, S. A., Vinayagam, V. D., & Afolabi, H. K. (2021). Moisture content impact on properties of briquette produced from rice husk waste. *Sustainability (Switzerland)*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/su13063069>
- Sanchez, P. D. C., Aspe, M. M. T., & Sindol, K. N. (2022). An Overview on the Production of Bio-briquettes from Agricultural Wastes: Methods, Processes, and Quality. *Journal of Agricultural and Food Engineering*, 3(1), 1–17. <https://doi.org/10.37865/jafe.2022.0036>
- Sekine, Y., Motokawa, R., Kozai, N., Ohnuki, T., Matsumura, D., Tsuji, T., Kawasaki, R., & Akiyoshi, K. (2017). Calcium-deficient Hydroxyapatite as a Potential Sorbent for Strontium. *Scientific Reports*, 7(1), 2064. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02269-z>

- Shabrina, & Rahmadhanti, F. (2024). Mendorong Program Pertumbuhan Ekonomi Hijau (Green Growth Economy) Melalui Transisi Energi Terbarukan Di Indonesia. *Inovasi Makro Ekonomi*, 6(3), 220–225.
- Shuma, R., & Madyira, D. M. (2017). Production of Loose Biomass Briquettes from Agricultural and Forestry Residues. *Procedia Manufacturing*, 7, 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2016.12.026>
- Solayman, M., Islam, M. A., Paul, S., Ali, Y., Khalil, M. I., Alam, N., & Gan, S. H. (2016). Physicochemical Properties, Minerals, Trace Elements, and Heavy Metals in Honey of Different Origins: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 219–233. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12182>
- Sudana, W. (2016). STRATEGI PENGOLAHAN LIMBAH BATANG POHON AREN (ARENGA PINNATA) MENJADI PRODUK MEBEL. *Institut Seni Indonesia Surakarta*, 66–69.
- Sun, L., Zhang, C., Wang, G., Huang, Q., & Shi, Q. (2022). Research on the evolution of pore and fracture structures during spontaneous combustion of coal based on CT 3D reconstruction. *Energy*, 260, 125033. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125033>
- Szydelko, A., Ferens, W., & Rybak, W. (2020). The effect of mineral additives on the process of chlorine bonding during combustion and co-combustion of Solid Recovered Fuels. *Waste Management*, 102, 624–634. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.032>
- Szydelko, A., Ferens, W., & Rybak, W. (2022). Effects of calcium, sodium and potassium on ash fusion temperatures of solid recovered fuels (SRF). *Waste Management*, 150, 161–173. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.06.032>

- Vachlepi, A., & Suwardin, D. (2013). PENGGUNAAN BIOBRIKET SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF DALAM PENGERINGAN KARET ALAM. *Warta Perkaretan*, 32(2), 65–73.
- Vesel, A., Zaplotnik, R., Primc, G., & Mozetič, M. (2023). Evolution of surface functional groups and aromatic ring degradation upon treatment of polystyrene with hydroxyl radicals. *Polymer Degradation and Stability*, 218, 110582. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2023.110582>
- Wahyudi, M. E., & Sujana, W. (2022). *Analisa Kadar Air dan Nilai Kalor Terhadap Briket Bonggol Jagung dan Serabut Kelapa*. 3(1), 48–53.
- Wang, H., Shao, Y., Mei, S., Lu, Y., Zhang, M., Sun, J., Matyjaszewski, K., Antonietti, M., & Yuan, J. (2020). Polymer-Derived Heteroatom-Doped Porous Carbon Materials. *Chemical Reviews*, 120(17), 9363–9419. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.0c00080>
- Wang, Z., Shi, S., Huang, S., Tang, J., Du, T., Cheng, X., Huang, R., & Chen, J. Y. (2018). Effects of water content on evaporation and combustion characteristics of water emulsified diesel spray. *Applied Energy*, 226, 397–407. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.06.023>
- Waqas, M., El Kasmi, A., Wu, L.-N., Fahad Arshad, M., Qin, W., & Tian, Z.-Y. (2021). Catalytic combustion of CO over Cu-doped iron oxides: CO<sub>2</sub> effects on activity. *Fuel*, 289, 119760. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119760>
- Yirijor, J., & Bere, A. A. T. (2024). Production and characterization of coconut shell charcoal-based bio-briquettes as an alternative energy source for rural communities. *Heliyon*, 10(16). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35717>
- Zhang, H., Hao, Z., Li, J., Yang, X., Wang, Z., Liu, Z., Huang, J., Zhang, Y., & Fang, Y. (2021). Effect of coal ash additive on potassium fixation and melting behaviors of the mixture under simulated biomass gasification condition. *Renewable Energy*, 168, 806–814. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.12.107>

- Zhang, S., Chen, W., Zhao, Y., Ding, L., Pan, X., Du, B., Shen, H., Gong, C., Yang, W., Yang, K., & Chen, X. (2022). Designing multi-aromatic ring epoxy composites to integrate high insulation and high heat resistance performances by electron-induced effect. *Composites Part B: Engineering*, *243*, 110107. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2022.110107>
- Zhao, J., Li, B., Wei, X., Zhang, Y., & Li, T. (2020). Slagging characteristics caused by alkali and alkaline earth metals during municipal solid waste and sewage sludge co-incineration. *Energy*, *202*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117773>
- Zhao, Y., Luan, X., Gao, H., Cheng, G., Wang, X., & Dong, C. (2025). Effect of SiO<sub>2</sub>/CaO on viscosity, structure and phase transition of biomass ash slag by experimental study, thermodynamic analysis and MD simulations. *Chemical Engineering Research and Design*, *221*, 461–471. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cherd.2025.08.025>