

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI KULIT KOPI, AMPAS TEBU, DAN
PEREKAT (MOLASSES DAN TEPUNG TAPIOKA) TERHADAP
KARAKTERISTIK BIOBRIKET**

(Skripsi)

Oleh

**NURJANAH
NPM 2117041028**



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

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI KOMPOSISI KULIT KOPI, AMPAS TEBU, DAN PEREKAT (MOLASSES DAN TEPUNG TAPIOKA) TERHADAP KARAKTERISTIK BIOBRIKET

Oleh

NURJANAH

Telah dilakukan penelitian pengaruh variasi komposisi kulit kopi, ampas tebu, dan perekat (molasses dan tepung tapioka) terhadap karakteristik biobriket. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi kulit kopi, ampas tebu, dan perekat terhadap karakteristik biobriket yang dihasilkan. Bahan baku biomassa dikarbonisasi, dihaluskan, dan dicetak menjadi biobriket dengan variasi komposisi tertentu, kemudian dilakukan pengujian proksimat yang meliputi kadar air, kadar zat terbang, kadar abu, dan karbon tetap. Selanjutnya, biobriket yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), dan *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS). Kadar abu pada sebagian sampel besar karena kandungan mineral SiO_2 yang tinggi. Karbon tetap paling tinggi tercatat pada sampel NJ 2 yaitu 88,10%, disertai kadar abu paling rendah sebesar 9,85%. Analisis XRF mengidentifikasi senyawa utama seperti K_2O (44,93%), CaO , dan Fe_2O_3 yang berkontribusi terhadap kadar abu, XRD menampilkan fasa kristalin dominan berupa K_2O , CaO , Fe_2O_3 , dan P_2O_5 , hasil FTIR menunjukkan keberadaan gugus fungsi lignoselulosa ($-\text{OH}$, C-H , C=O , dan C=C). Hasil SEM-EDS menunjukkan distribusi morfologi dengan pori-pori yang bervariasi, mulai dari berongga besar hingga padat dan halus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua variasi biobriket memenuhi standar SNI 01-6235-2000, sehingga memiliki potensi efisiensi yang baik dalam proses pembakaran.

Kata kunci: biobriket, kulit kopi, ampas tebu, proksimat, karakterisasi.

ABSTRACT

THE EFFECT OF COMPOSITION VARIATIONS OF COFFEE SKIN, SUGAR CANE BAGASS, AND ADHESIVES (MOLASSES AND TAPIOCA FLOUR) ON THE CHARACTERISTICS OF BIOBRIQUETTE

By

NURJANAH

Research has been conducted on the effect of variations in the composition of coffee husks, bagasse, and binders (molasses and tapioca flour) on the characteristics of biobriquettes. This study aims to determine the effect of variations in the composition of coffee husks, bagasse, and binders on the characteristics of the resulting biobriquettes. The biomass raw materials were carbonized, pulverized, and molded into biobriquettes with specific compositional variations, then subjected to proximate testing covering moisture content, volatile matter content, ash content, and fixed carbon. Furthermore, the resulting biobriquettes were characterized using X-Ray Fluorescence (XRF), X-Ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), and Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS). The ash content in most samples was high due to the high SiO_2 mineral content. The highest fixed carbon content was recorded in sample NJ 2 at 88.10%, accompanied by the lowest ash content of 9.85%. XRF analysis identified main compounds such as K_2O (44.93%), CaO , and Fe_2O_3 , which contribute to the ash content. XRD revealed the dominant crystalline phases as K_2O , CaO , Fe_2O_3 , and P_2O_5 , while FTIR results showed the presence of lignocellulose functional groups ($-\text{OH}$, C-H , C=O , and C=C). The SEM-EDS results showed morphological distribution with varying pores, ranging from large cavities to dense and fine ones. The research results showed that all bio-briquette variations met the SNI 01-6235-2000 standard, thus having good efficiency potential in the combustion process.

Keywords: biobriquette, coffee husk, sugarcane bagasse, proximate, characterization.

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI KULIT KOPI, AMPAS TEBU, DAN
PEREKAT (MOLASSES DAN TEPUNG TAPIOKA) TERHADAP
KARAKTERISTIK BIOBRIKET**

Oleh

NURJANAH

Skripsi

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

Pada

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



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

Judul Skripsi

**Pengaruh Variasi Komposisi Kulit Kopi,
Ampas Tebu dan Perekat (Molasses dan
Tepung Tapioka) Terhadap Karakteristik
Biobriket**

Nama

Nurjanah

Nomor Pokok Mahasiswa

2117041028

Program Studi

Fisika

Fakultas

Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

Drs. Amir Supriyanto, M.Si.
NIP. 196504071991111001

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

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 197109092000121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Drs. Amir Supriyanto, M.Si.**

Sekretaris

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

Penguji Bukan
Pembimbing

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

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **10 Oktober 2025**

PERNYATAAN

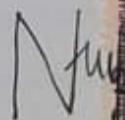
Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Nurjanah
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041028
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya dengan judul **“Pengaruh Variasi Komposisi Kulit Kopi, Ampas Tebu, dan Perekat (Molasses dan Tepung Tapioka) Terhadap Karakteristik Biobriket”** adalah benar hasil karya saya sendiri, baik ide, hasil, maupun analisisnya. Selanjutnya, saya tidak keberatan jika sebagian atau keseluruhan data di dalam skripsi digunakan oleh dosen atau program studi dalam kepentingan publikasi atas persetujuan penulis dan sepanjang nama saya disebutkan sebelum dilakukan publikasi.

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

Bandar Lampung, 10 Oktober 2025



Nurjanah
NPM. 2117041028



RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Nurjanah, dilahirkan di Menggala pada tanggal 1 Oktober 2002. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara, putri dari pasangan yang berbahagia Bapak Darsani dan Ibu Atika Mery. Penulis menempuh pendidikan di RA. Islamiyah pada tahun 2009, kemudian menempuh pendidikan di SDN 1 Menggala Kota, dengan memperoleh berbagai prestasi dan menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar pada tahun 2015. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Menggala dan menyelesaikan pendidikan pada tahun 2018. Penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Menggala dan menyelesaikan pendidikan pada tahun 2021.

Penulis melanjutkan pendidikan S1 di Universitas Lampung pada tahun 2021. Penulis berhasil diterima sebagai mahasiswa pada program studi S1 Fisika melalui jalur SNMPTN. Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung penulis aktif tergabung pada organisasi kemahasiswaan. Pada tahun 2022, penulis menjadi anggota Bidang Sosial Masyarakat Himpunan Mahasiswa Fisika FMIPA Unila.

Penulis telah melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) pada tahun 2024 dengan judul **“Analisis Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Generator Unit 1 PT. PLN Nusantara Power UPK Sebalang”**. Penulis melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode II tahun 2024 di Desa Rejomulyo, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur.

Penulis melaksanakan penelitian di Laboratorium Pusat Riset Teknologi Pertambangan-Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Tanjung Bintang dengan judul **“Pengaruh Variasi Komposisi Kulit Kopi, Ampas Tebu, dan Perekat (Molasses dan Tepung Tapioka) Terhadap Karakteristik Biobriket”**.

MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(Q.S Al Insyirah: 5-6)

“Ketika segalanya menjadi sulit, berhentilah sejenak dan lihat ke belakang dan lihat seberapa jauh kamu telah melangkah. Jangan lupa betapa berharganya itu.

Kamu adalah bunga yang paling indah, lebih dari siapapun di dunia ini”

(Kim Taehyung – BTS)

“If you open that door and go inside, this place will be waiting for you”

(BTS)



PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, Karya ini kupersembahkan kepada:

Kedua Orang Tuaku

Bapak Darsani dan Ibu Atika Mery

Kepada mereka, kupersembahkan setiap langkah perjuangan ini. Terima kasih atas pengorbanan yang tiada henti, doa yang tak pernah putus, serta cinta yang terus menjadi sumber kekuatanku.

Saudaraku

M. Hafidz dan Siti Maryam

Terima kasih telah memberikan dukungan dan doa.

Para Dosen dan Civitas Akademika

Terima kasih telah memberikan dukungan, motivasi, ilmu dan membimbing hingga dapat menyelesaikan pendidikan tingkat Universitas sebagai Sarjana.

Keluarga Besar dan Teman-teman

Terima kasih telah memberikan doa dan dukungannya selama ini.

Alamamaterku Tercinta

Universitas Lampung

SANWACANA

Alhamdulillah dengan mengucapkan puji dan syukur kehadiran Allah SWT, atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“PENGARUH VARIASI KOMPOSISI KULIT KOPI, AMPAS TEBU, DAN PEREKAT (MOLASSES DAN TEPUNG TAPIOKA) TERHADAP KARAKTERISTIK BIOBRIKET”**. Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan, semangat, dukungan dan bantuannya agar penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Ucapan terima kasih ini ditujukan kepada:

1. Bapak Drs. Amir Supriyanto, M.Si., selaku Dosen Pembimbing I atas kesediaannya memberikan bimbingan, ilmu, dan saran kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Muhammad Amin, S.T., M.Si., selaku Dosen Pembimbing II, yang telah membantu, memberikan arahan, bimbingan, dan saran untuk penulis dalam melakukan penelitian hingga penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan arahan, kritikan, saran serta dukungan kepada penulis selama mengerjakan skripsi.
4. Ibu Dr. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik.
5. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
6. Bapak Arif Surtono, S.Si., M. Eng., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
7. Bapak dan Ibu dosen serta staff Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung, atas bimbingan dan ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan.

8. Teristimewa penulis persembahkan untuk kedua orang tua tercinta penulis yakni Ayahanda Darsani dan Ibunda Atika Mery terimakasih atas setiap tetes keringat dalam setiap langkah pengorbanan dan kerja keras yang dilakukan untuk melakukan yang terbaik kepada penulis. Terima kasih yang tak terhingga atas cinta tanpa syarat, doa yang tak pernah putus, serta keyakinan yang begitu besar terhadap setiap pilihan dan mimpi-mimpi penulis.
9. Kepada cinta kasih kedua saudara kandung penulis, M. Hafidz dan Siti Maryam. Kehadiran kalian adalah pengingat bahwa dalam setiap perjuangan, ada alasan untuk terus melangkah.
10. Dhea Dwi Saputri dan Ulfha Sari WN yang selalu menemani, mendengarkan keluh kesah, serta memberikan dukungan, semangat, tenaga, pikiran, maupun bantuan kepada penulis selama delapan tahun terakhir.
11. Teman-teman dekat yaitu, Elta Pariati dan Okka Putri Yanti yang memberikan semangat serta dorongan dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Teman-teman seperjuangan jurusan Fisika angkatan 2021.
13. *Last but not least*. Terima kasih untuk Nurjanah, ya! diriku sendiri. Apresiasi sebesar-besarnya karena telah bertanggung jawab untuk menyelesaikan apa yang telah dimulai. Terima kasih karena terus berusaha dan tidak menyerah, serta senantiasa menikmati setiap prosesnya yang bisa dibilang tidak mudah. Terima kasih sudah bertahan.

Penulis menyadari sepenuhnya, bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, kendati demikian penulis telah berusaha semaksimal mungkin. Untuk itu, kritik dan saran yang bersifat membangun ke arah yang lebih baik senantiasa penulis harapkan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan dapat menambah ilmu pengetahuan bagi pembaca.

Bandar Lampung, 1 Oktober 2025
Penulis,

Nurjanah

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
 I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
 II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Biobriket.....	6
2.2 Biomassa	7
2.3 Kulit Kopi.....	8
2.4 Ampas Tebu.....	10
2.5 Tepung Tapioka.....	11
2.6 Molasses	12
2.7 Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-6235-2000	14
2.8 Uji Proksimat.....	15
2.8.1 Kadar Air (<i>Moisture Content</i>).....	15
2.8.2 Zat Terbang (<i>Volatile Matter</i>).....	16
2.8.3 Kadar Abu (<i>Ash Content</i>).....	17
2.8.4 Karbon Tetap (<i>Fixed Carbon</i>).....	17
2.9 <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	18
2.10 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	19
2.11 <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS).....	22
2.12 <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	23
 III. METODE PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan.....	25
3.2 Alat dan Bahan	25
3.3 Prosedur Kerja.....	26
3.3.1 Pengeringan Bahan Baku	26
3.3.2 Pengarangan	26
3.3.3 Penghalusan Arang.....	27

3.3.4 Pengayakan Serbuk Arang	27
3.3.5 Pembuatan Perekat	27
3.3.6 Proses Pencampuran Serbuk Arang dan Perekat.....	27
3.3.7 Proses Pembriketan	28
3.4 Perlakuan.....	28
3.5 Pengujian Biobriket	29
3.5.1 Pengujian Kadar Air (<i>Moisture Content</i>)	29
3.5.2 Pengujian Zat Terbang (<i>Volatile Mattter</i>).....	30
3.5.3 Pengujian Kadar Abu (<i>Ash Content</i>).....	31
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	32

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Variasi Komposisi Bahan (Kulit Kopi, Ampas Tebu, dan Perekat) Terhadap Karakteristik Biobriket	35
4.2 Pengaruh Variasi Komposisi Bahan Terhadap Unsur Penyusun dari Biobriket.....	38
4.3 Pengaruh Variasi Komposisi Bahan Terhadap Struktur Kristal dari Biobriket.....	40
4.4 Pengaruh Variasi Komposisi Bahan Terhadap Morfologi dan Unsur dari Biobriket.....	42
4.5 Pengaruh Variasi Komposisi Bahan Terhadap Gugus Fungsi dari Biobriket	46

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan.....	49
5.2 Saran	50

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bioriket	6
2. Kulit Kopi	9
3. Ampas Tebu	10
4. Prinsip Kerja XRF.....	19
5. Skema Hukum Bragg.....	20
6. Skema <i>X-Ray Diffraction</i>	21
7. Skema SEM	22
8. Prinsip Kerja FTIR.....	24
9. Diagram Pembuatan Biobriket.....	32
10. Diagram Alir Uji Proksimat.....	33
11. Diagram Alir Penelitian	34
12. Hasil Uji Proksimat Biobriket.....	35
13. Grafik Hasil Karakterisasi Sampel Menggunakan XRD	40
14. Hasil Karakterisasi Biobriket Menggunakan SEM-EDS	43
15. Spektrum EDS Biobriket	46
16. Grafik Hasil Karakterisasi Biobriket.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Unsur Mineral Kulit Kopi	8
2. Unsur Mineral Ampas Tebu.....	11
3. Unsur Mineral Tepung Tapioka.....	12
4. Unsur Mineral Molasses	13
5. Standar Nasional Indonesia 01-6235-2000	14
6. Alat-alat penelitian.....	25
7. Bahan-bahan penelitian.....	26
8. Variasi Komposisi Bahan dan Perekat Molasses	28
9. Variasi Komposisi Bahan dan Perekat Tepung Tapioka	28
10. Rancangan Uji Kadar Air Biobriket Perekat Molasses.....	29
11. Rancangan Uji Kadar Air Biobriket Perekat Tepung Tapioka	29
12. Rancangan Uji Kadar Zat Terbang Biobriket Perekat Molasses	30
13. Rancangan Uji Kadar Zat Terbang Biobriket Perekat Tepung Tapioka.....	30
14. Rancangan Uji Kadar Abu Biobriket Perekat Molasses	31
15. Rancangan Uji Kadar Abu Biobriket Perekat Tepung Tapioka.....	31
16. Hasil Karakterisasi Biobriket Menggunakan XRF	38
17. Fasa Dominan Biobriket	41
18. Komposisi Unsur Biobriket	46

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis energi akibat keterbatasan sumber daya fosil semakin mendorong upaya pengembangan energi terbarukan. Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari alam dan dapat digunakan kembali secara bebas, dapat diperbarui terus menerus dan tak terbatas. Teknologi hijau (*green technology*) memungkinkan pengembangan sumber energi alternatif untuk menghasilkan energi terbarukan. Sumber energi terbarukan sendiri dibentuk melalui proses alam yang berkelanjutan, konsep ini tidak akan habis (Alatas, 2024).

Pemerintah Indonesia telah merespon tantangan ini dengan menetapkan target penggunaan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) sebesar 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 melalui Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014. Upaya ini diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menjaga ketahanan pangan. Salah satu energi alternatif yang sekarang dikembangkan adalah energi yang berasal dari bahan-bahan organik, hal ini disebabkan bahwa senyawa organik dikategorikan sebagai energi yang dapat diperbaharui (Subroto dan Prastiyo, 2013 dalam Anom dan Lombok, 2020). Meningkatkan penggunaan sumber energi alternatif seperti biomassa adalah salah satu cara untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menghadapi tantangan krisis lingkungan (Pan *et al.*, 2013 dalam Nadia Sri Aulia *et al.*, 2024). Salah satu cara yang dapat dilakukan yaitu dengan mengganti bahan bakar minyak memanfaatkan energi alternatif dari bahan organik, seperti biobriket.

Biobriket adalah bahan bakar padat yang terbuat dari kombinasi dua atau lebih sumber biomassa, yang digabungkan secara sengaja untuk meningkatkan sifat bahan biomassa dan dapat digunakan sebagai bahan bakar secara efisien (Vaish *et al.*, 2022). Penggunaan biobriket diharapkan akan menjadi suatu energi alternatif yang lebih efisien dan tidak mencemari lingkungan (Trisa *et al.*, 2019). Penggunaan limbah dari sektor pertanian dan agroindustri sebagai sumber bahan bakar alternatif telah menjadi fokus utama penelitian, dengan tujuan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan meminimalkan dampak lingkungan negatif dari pembuangan limbah. Jenis limbah organik yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku biobriket adalah kulit kopi dan ampas tebu.

Kulit kopi dan ampas tebu adalah dua jenis biomassa yang tersedia dalam jumlah besar di negara-negara penghasil kopi dan gula. Kedua jenis biomassa ini mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin, yang memungkinkan proses konversi menjadi biobriket dengan nilai kalor yang kompetitif serta sifat fisik yang memadai setelah melalui proses densifikasi atau karbonisasi (Tesfaye *et al.*, 2022). Limbah kulit kopi tidak dioptimalkan oleh masyarakat sehingga hanya menumpuk di suatu tempat atau dibakar. Pembakaran limbah pertanian seperti ini akan merusak lingkungan tempat tinggal dan berdampak buruk pada kesehatan dalam jangka waktu yang lama (Purnamasari dan Wahyuni, 2021). Limbah kulit kopi dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku biobriket karena memiliki kandungan karbon yang tinggi. Sedangkan ampas tebu adalah limbah padat yang dihasilkan dari proses penggilingan tebu dalam produksi gula. Ampas tebu sering kali hanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak atau dibiarkan menumpuk dan mencemari lingkungan. Ampas tebu memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin yang membuatnya cocok sebagai bahan baku biobriket.

Selain bahan baku utama, proses pembuatan biobriket juga membutuhkan penggunaan perekat untuk memperkuat partikel serbuk arang, sehingga menghasilkan produk padat yang kokoh dan tidak mudah hancur. Pada penelitian ini, perekat yang digunakan terdiri dari molasses dan tepung tapioka. Tepung tapioka mengandung pati yang dapat mengalami dimodifikasi baik secara fisik

maupun kimiawi untuk meningkatkan daya ikat dan ketahanan terhadap kelembapan, sehingga lebih unggul daripada perekat sintesis (Ailincal *et al.*, 2020). Menurut Asri (2013) perekat yang berasal dari tepung tapioka menghasilkan biobriket yang tidak mengeluarkan asap dan memiliki daya tahan yang baik, meskipun nilai kalorinya lebih rendah dibandingkan dengan briket yang menggunakan molase. Biobriket yang menggunakan perekat molase memiliki temperatur bara api yang tinggi dan kerapatan yang rendah, yang memberikan kekuatan tekan yang baik dan memfasilitasi proses pembakaran awal. Namun, hal ini juga menghasilkan laju pembakaran yang relatif cepat (Ismayana dan Moh Rizal Afriyanto, 2022).

Dengan memanfaatkan limbah pertanian seperti kulit kopi dan ampas tebu sebagai bahan baku biobriket, tidak hanya mengatasi permasalahan limbah, tetapi juga mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Inovasi ini berpotensi menjadi solusi berkelanjutan bagi krisis energi, sekaligus memberikan dampak positif bagi lingkungan dan ekonomi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi bahan (kulit kopi, ampas tebu dan perekat) terhadap karakteristik biobriket?
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi bahan terhadap unsur penyusun dari biobriket?
3. Bagaimana pengaruh variasi komposisi bahan terhadap struktur kristal dari biobriket?
4. Bagaimana pengaruh variasi komposisi bahan terhadap morfologi dan unsur dari biobriket?
5. Bagaimana pengaruh variasi komposisi bahan terhadap gugus fungsi dari biobriket?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh variasi komposisi bahan (kulit kopi, ampas tebu dan perekat) terhadap hasil uji karakteristik biobriket.
2. Mengetahui pengaruh variasi komposisi bahan terhadap unsur penyusun dari biobriket.
3. Mengetahui pengaruh variasi komposisi bahan terhadap struktur kristal dari biobriket.
4. Mengetahui pengaruh variasi komposisi bahan terhadap morfologi dan mengetahui unsur dari biobriket.
5. Mengetahui pengaruh variasi komposisi bahan terhadap gugus fungsi dari biobriket.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain sebagai berikut.

1. Memanfaatkan limbah kulit kopi dan ampas tebu sebagai bahan baku dalam pembuatan biobriket sebagai sumber energi alternatif yang berkelanjutan.
2. Mengurangi pencemaran lingkungan melalui pengolahan limbah organik menjadi produk yang bernilai guna.
3. Menghasilkan produk biobriket yang ramah lingkungan dan dapat digunakan sebagai alternatif bahan bakar padat.
4. Meningkatkan nilai ekonomi limbah, khususnya limbah pertanian yang sebelumnya tidak dimanfaatkan secara optimal.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan dalam rentang waktu 22 April s.d 4 Juni 2025 di Laboratorium Heat Treatment, Pusat Riset Teknologi Pertambangan, Kawasan Sains Iskandar Zulkarnain BRIN Tanjung Bintang.
2. Bahan yang digunakan limbah kulit kopi dan ampas tebu.
3. Perlakuan yang digunakan yaitu perbandingan komposisi limbah kulit kopi, ampas tebu dan perekat.
4. Menggunakan bahan perekat molasses dan tepung tapioka.
5. Variasi komposisi bahan kulit kopi, ampas tebu, dan perekat = 95:0:5, 86:9:5, 79:16:5, 73:22:5, 67:28:5, 0:95:5, 9:86:5, 16:79:5, 22:73:5, dan 28:67:5.
6. Perekat yang digunakan dibatasi pada molasses dan tepung tapioka dengan konsentrasi 5%.
7. Ukuran partikel untuk bahan pembuatan biobriket dan untuk karakterisasi ditetapkan sebesar lolos 100 mesh.
8. Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi *muffle furnace*, oven, desikator, mesin *press*, cawan porselen, mortar dan alu, *siave shaker* 100 mesh, neraca analitik, cetakan biobriket berbentuk silinder, timbangan digital, wadah klip plastik, dan penjepit besi.
9. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pengumpulan bahan baku, pengeringan bahan baku, pengarangan, penghalusan arang, pengayakan serbuk arang, pencampuran serbuk arang dan perekat, proses pembriketan, karakterisasi sampel biobriket, serta uji proksimat biobriket.
10. Uji proksimat berupa uji kadar air, uji kadar zat terbang, uji kadar abu, dan karbon tetap pada biobriket.
11. Karakterisasi sampel menggunakan alat *X-Ray Fluorescence* (XRF), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), dan *Scanning Electrone Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biobriket

Biobriket adalah bahan bakar yang dikonversi energinya melalui pembakaran langsung dan digunakan untuk pemanasan, memasak, kegiatan domestik atau industri dan baik digunakan dalam tungku pembakaran karena struktur fisiknya (Marreiro *et al.*, 2021). Sedangkan menurut Masthura (2019) bahan bakar biobriket adalah bahan bakar alternatif yang menyerupai arang dan memiliki kerapatan yang lebih tinggi. Karena mudah dibuat dan digunakan sebagai bahan baku, bahan bakar briket memiliki potensi yang cukup besar untuk dikembangkan. Biobriket yang berkualitas baik memiliki karakteristik diantaranya adalah tekstur halus, kuat atau tidak mudah pecah, aman bagi manusia dan lingkungan, serta sifat penyalaan yang baik ditandai dengan mudah menyala, waktu nyala api yang lama, menghasilkan gejala dan mempunyai nilai kalor yang tinggi (Pratama *et al.*, 2021).



Gambar 1. Biobriket (Setiani *et al.*, 2019).

Karakteristik biobriket dipengaruhi jenis biomassa, kondisi karbonisasi (suhu dan waktu), kondisi pembriketan (tekanan, jenis alat penekan) dan bahan perekat yang digunakan (Haryono *et al.*, 2021). Suhu karbonisasi dan ukuran partikel dapat

mempengaruhi kadar air, kadar abu, kadar karbon, kadar zat yang menguap dan nilai kalor. Lama waktu karbonisasi menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kualitas dari briket. Semakin lama waktu karbonisasi maka briket yang dihasilkan akan semakin baik dikarenakan kadar zat mudah menguap dan kadar air yang terkandung dalam briket akan semakin sedikit (Shafiyya *et al.*, 2022). Standar mutu kualitas briket sengan bahan utamanya kayu menggunakan SNI-6235-2000 yaitu pengujian kadar air, kadar abu, kadar karbon, kadar zat yang menguap dan nilai kalor (Shafiyya *et al.*, 2022). Kualitas briket juga dipengaruhi ukuran partikel atau *mesh*-nya yang mana semakin kecil ukuran partikel, rongga yang terbentuk lebih kecil, sehingga kerapatan partikel briket akan semakin besar dan kualitas briket akan semakin bagus dan tidak mudah hancur. Kekuatan briket yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh ukuran partikel yang mana jika rongga semakin kecil maka akan semakin kuat (Sabindo *et al.*, 2020).

2.2 Biomassa

Sumber energi merupakan segala sesuatu yang dapat menghasilkan energi, baik secara langsung maupun melalui proses konversi atau transformasi. Sumber energi juga mencakup berbagai elemen di sekitar kita yang memiliki potensi untuk menghasilkan energi dalam skala kecil maupun besar. Contoh sumber energi tersebut antara lain adalah energi matahari, tenaga air dan minyak bumi (Paul, 2023). Selain sumber-sumber energi tersebut biomassa juga menjadi alternatif energi terbarukan yang efektif.

Energi biomassa mempunyai kelebihan karena dapat diperbaharui, jumlah ketersediaan yang banyak dan energi biomassa tidak dapat menyebabkan polusi udara karena tidak mengandung sulfur serta dapat meningkatkan pemanfaatan limbah pertanian dan perkebunan (Shafiyya *et al.*, 2022). Menurut Lukman dan Meita (2023) biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis dalam bentuk produk maupun buangan. Sumber energi biomassa memiliki beberapa kelebihan, termasuk menjadi sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) dan dapat menyediakan energi secara berkesinambungan

(*sustainable*) (Lukman dan Meita Rezki Vegatama, 2023). Biomassa sebagai sumber energi terbarukan merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang paling luas digunakan di dunia saat ini. Penggunaan biomassa semakin meningkat seiring dengan kekhawatiran terhadap dampak negatif konsumsi bahan bakar fosil, seperti perubahan iklim dan pemanasan global. Biomassa terdiri dari berbagai sumber dengan komposisi kimia yang berbeda-beda. Sumber-sumber tersebut dapat diklasifikasikan berdasarkan asalnya, seperti limbah kayu, tanaman pertanian dan limbah organik lainnya (Tursi, 2019)

2.3 Kulit Kopi

Kulit kopi (*coffee husks*), yang berasal dari limbah pengolahan biji kopi, memiliki komposisi kimia yang relatif rumit, meliputi selulosa, lignin, hemiselulosa, abu, protein, lemak, serta senyawa bioaktif seperti fenolik dan kafein. Dalam penelitian Nguyen *et al.* (2023) menyatakan bahwa kulit kopi mengandung sekitar 39,2% selulosa, 12,6% hemiselulosa, 23,3% lignin (klason), dengan tambahan 2,9% lignin larut asam, 8,7% ekstraktif, serta abu sekitar 9,5%. Dan terdiri dari unsur mineral dalam bentuk oksida, seperti pada **Tabel 1** berikut.

Tabel 1 Unsur Mineral Kulit Kopi (Cangussu *et al.*, 2021).

No.	Oksida Mineral	Kandungan (%)
1.	Kalium Oksida (K_2O)	64,50
2.	Kalsium Oksida (CaO)	12,80
3.	Magnesium Oksida (MgO)	8,20
4.	Fosfor Pentoksida (P_2O_5)	5,30
5.	Silika (SiO_2)	3,80
6.	Sulfur Trioksida (SO_3)	2,50
7.	Natrium Oksida (Na_2O)	1,20
8.	Alumina (Al_2O_3)	0,90
9.	Besi Oksida (Fe_2O_3)	0,50
10.	Mangan Oksida (MnO)	0,30

Kulit kopi merupakan limbah dari proses pengolahan biji kopi yang memiliki potensi signifikan untuk dikonversi menjadi bioenergi melalui berbagai metode. Menurut Zain *et al.*, (2020) menyatakan bahwa pirolisis campuran biomassa dari ampas kopi dan plastik *polipropylene* dapat menghasilkan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan, yang dapat membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan meminimalkan pencemaran lingkungan akibat limbah plastik.



Gambar 2. Kulit kopi (Setiantoro, 2022).

Menurut Rina Novia Yanti *et al.*, (2024) kulit kopi memiliki karakteristik yang cocok sebagai bahan baku untuk produksi biobriket. Nilai kalor yang dihasilkan dari proses karbonisasi kulit kopi dapat mendukung produksi energi terbarukan dalam skala rumah tangga maupun industri kecil (Yanti *et al.*, 2024). Penggunaan kulit kopi sebagai bahan baku briket juga memiliki dampak positif terhadap lingkungan, dengan mengurangi limbah pertanian dan emisi karbon. Briket ini dapat menjadi solusi berkelanjutan untuk pengelolaan limbah dan pengurangan jejak karbon (Santoso *et al.*, 2024). Pengembangan teknologi briket terus berlanjut, dengan fokus pada peningkatan efisiensi proses dan kualitas produk. Inovasi dalam penggunaan bahan perekat dan teknik pencetakan dapat meningkatkan sifat fisik dan energi dari briket (Aliah *et al.*, 2023).

2.4 Ampas Tebu

Ampas tebu merupakan limbah biomassa yang melimpah dari industri pengolahan tebu dan memiliki potensi besar untuk diolah menjadi briket sebagai sumber energi alternatif. Ampas tebu dapat diubah menjadi briket dengan kualitas melalui proses briket bertekanan tinggi, yang menghasilkan bahan bakar biobriket dengan nilai kalor tinggi dan kandungan abu rendah (Brunerová *et al.*, 2020). Menurut Apriani (2015) limbah ampas tebu merupakan hasil sampling dari proses ekstraksi (pemerahan) cairan tebu. Salah satu pabrik dapat memproduksi limbah ampas tebu (35% - 40%) dari massa tebu yang digiling atau dihaluskan (Apriani, 2015 dalam Setiani *et al.*, 2019).



Gambar 3. Ampas tebu (dokumentasi pribadi).

Ampas tebu memiliki kandungan utama *lignoselulosa*. Panjang seratnya berkisar antara 1,7 hingga 2 mm, sedangkan diameternya sekitar 20 mikrometer. Kandungan air dalam ampas tebu mencapai 38%, dengan kadar gula 3,3% dan serat sebanyak 47,7%. Serat pada ampas tebu tidak larut dalam air, sebagian besar terdiri dari 37,65% selulosa, 27,97% pentosan dan 22,09% lignin. Untuk menghilangkan sisa gula, ampas tebu direndam dalam alkohol 99% selama 24 jam. Pada umumnya satu pabrik gula dapat menghasilkan ampas tebu sebesar 30 – 40% dari total berat tebu yang diolah (Taufiq R *et al.*, 2023). Komposisi unsur mineral dalam bentuk oksida yang terkandung pada ampas tebu diperlihatkan pada **Tabel 2** berikut.

Tabel 2 Unsur Mineral Ampas Tebu (Chindaprasirt dan Rattanasak, 2020).

No.	Oksida Mineral	Kandungan (%)
1.	Silika (SiO ₂)	54,90
2.	Alumina (Al ₂ O ₃)	13,85
3.	Kalsium Oksida (CaO)	9,98
4.	Besi Oksida (Fe ₂ O ₃)	8,57
5.	Magnesium Oksida (MgO)	4,50
6.	Kalium Oksida (K ₂ O)	3,20
7.	Fosfor Pentoksida (P ₂ O ₅)	2,00
8.	Natrium Oksida (Na ₂ O)	1,50
9.	Sulfur Trioksida (SO ₃)	0,80
10.	Titanium Dioksida (TiO ₂)	0,50
11.	Mangan Oksida (MnO)	0,20

Penggunaan ampas tebu sebagai bahan baku briket tidak hanya membantu dalam pengelolaan limbah tetapi juga berkontribusi pada pengurangan polusi lingkungan. Briket yang terbuat dari campuran ampas tebu dan limbah organik lainnya, seperti kulit jeruk dapat menghasilkan nilai kalor yang tinggi dan kadar air yang rendah menjadikannya alternatif yang layak untuk bahan bakar fosil (Mian *et al.*, 2022). Briket yang dihasilkan dari ampas tebu menunjukkan karakteristik yang menguntungkan untuk digunakan sebagai bahan bakar, seperti ketahanan terhadap air, kekuatan kompresi yang tinggi dan nilai kalor yang memadai untuk pembakaran langsung (Sreedevi *et al.*, 2023).

2.5 Tepung Tapioka

Tepung tapioka yang diekstrak dari singkong (*Manihot esculenta*) pada dasarnya didominasi oleh kandungan karbohidrat yang sangat tinggi, sementara kadar protein, lemak, serat kasar, serta mineral (dalam bentuk abu) cenderung lebih rendah. Penelitian oleh Abimbola dan Chioma (2019) menyatakan bahwa tepung tapioka murni memiliki kadar air sekitar 7,67% hingga 10,67%, protein 1,03% hingga 30,09% (tergantung tingkat fortifikasi), lemak 0,24% hingga 9,80%, beserta abu, serat kasar (*crude fiber*), dan karbohidrat yang mencapai 35,59% hingga 88,72%, bergantung pada komposisi campuran tepung tambahan seperti kedelai dan kelapa.

Tabel 3. Unsur Mineral Tepung Tapioka (Kishida *et al.*, 2001).

No.	Mineral	Kandungan (%)
1.	Kalsium (Ca)	51,84
2.	Besi (Fe)	4,10
3.	Fosfor (P)	16,85
4.	Kalium (K)	27,21

Komposisi kimia tersebut mengindikasikan bahwa tepung tapioka pada dasarnya merupakan sumber karbohidrat (khususnya pati) yang hampir murni, dengan kadar protein dan lemak yang sangat rendah. Hal serupa juga terlihat pada kandungan mineral (yang diukur melalui abu), yang tergolong sangat minim, sehingga mencerminkan bahwa proses produksi pati tapioka efektif dalam menghilangkan sebagian besar komponen non-pati, seperti protein dan mineral (Chisté *et al.*, 2012).

Tepung tapioka digunakan sebagai perekat karena adanya kandungan pati berupa karbohidrat pada umbi singkong yang berfungsi sebagai sumber cadangan makanan. Ketika digunakan sebagai perekat, tepung tapioka memiliki daya rekat yang lebih baik dibandingkan dengan jenis tepung lainnya (Nuwa dan Prihanika, 2018). Dalam proses pembuatan briket biomassa, salah satu aspek penting yang menentukan kualitas briket adalah bahan perekat yang digunakan. Perekat adalah bahan yang mengikat dua atau lebih komponen partikel. Dalam proses pembriketan, perekat membantu pembentukan ikatan antara partikel biomassa serta dapat meningkatkan kekuatan briket (Trisa *et al.*, 2019). Dengan adanya penambahan kadar perekat yang sesuai pada pembuatan briket akan meningkatkan nilai kalor, kerapatan, ketahanan tekan, kadar air dan kadar abu pada briket. Kualitas perekat sangat berpengaruh terhadap pembuatan briket, dengan penggunaan perekat yang berkualitas tinggi untuk menghasilkan briket yang bermutu (Kale *et al.*, 2019).

2.6 Molasses

Molasses adalah produk sampingan dari proses pembuatan gula, yang dihasilkan melalui berbagai tahap kristalisasi selama produksi gula dari tebu atau bit gula. Dari segi komposisi kimianya, molasses terdiri dari campuran gula sederhana, termasuk sukrosa, glukosa, dan fruktosa. Selain itu, molasses juga mengandung jumlah kecil

protein, mineral, asam organik dan berbagai senyawa bioaktif lainnya (Jamir *et al.*, 2021). Komponen utama yang membentuk molasses terdiri atas karbon, nitrogen, fosfor, natrium, serta kalium yang mendominasi komposisinya. Penelitian oleh El-gendy *et al.* (2013) menyatakan bahwa molasses tebu mengandung sekitar 64% karbon, 6% nitrogen, 0,3% fosfor, 0,33% natrium, dan 5,5% kalium, beserta sejumlah mineral mikro lainnya. Unsur-unsur tersebut menjadikan molasses memiliki potensi tinggi sebagai media fermentas atau sumber energi pendukung dalam berbagai aplikasi industri. Komposisi unsur mineral dalam bentuk oksida yang terkandung pada molasses diperlihatkan pada **Tabel 4** berikut.

Tabel 4. Unsur Mineral Molasses (Yilmaz *et al.*, 2007).

No.	Oksida Mineral	Kandungan (%)
1.	Kalium Oksida (K_2O)	42,50
2.	Kalsium Oksida (CaO)	28,30
3.	Magnesium Oksida (MgO)	11,80
4.	Fosfor Pentoksida (P_2O_5)	7,60
5.	Silika (SiO_2)	4,20
6.	Sulfur Trioksida (SO_3)	3,50
7.	Natrium Oksida (Na_2O)	1,20
8.	Besi Oksida (Fe_2O_3)	0,50
9.	Alumina (Al_2O_3)	0,30
10.	Mangan Oksida (MnO)	0,10

Studi oleh Mućibabić *et al.* (2013) menyatakan bahwa molasses dari Filipina memuat mineral utama Na, K, Ca, Mg, serta P, yang disertai unsur mikro Fe, Cu, Zn, dan Mn. Kelimpahan mineral tersebut semakin mempertegas potensi molasses sebagai aditif atau perekat alami dalam berbagai aplikasi.

Molasses adalah bahan perekat alami yang sering digunakan sebagai komponen dalam pembuatan briket biomassa. Hal ini disebabkan oleh sifat lengketnya, kandungan air yang cukup, dan kemampuannya untuk menikat partikel bahan baku bersama-sama. Sebagai perekat, molasses memainkan peran penting dalam meningkatkan kekuatan tekan, kepadatan, dan stabilitas dimensi briket. Akibatnya, briket menjadi kurang rentan terhadap kerusakan selama penanganan dan penyimpanan (Manyuchi *et al.*, 2018). Konsentrasi molasses yang ideal sebagai perekat dapat bervariasi tergantung pada jenis dan komposisi bahan baku yang

digunakan. Secara umum, konsentrasi ini berkisar antara 5% hingga 30% dari total massa briket untuk mencapai karakteristik fisik dan mekanik yang memuaskan (Setianto *et al.*, 2023). Penambahan molasses dapat berkontribusi pada peningkatan nilai kalor dan efisiensi dalam proses pembakaran briket. Namun, pada tingkat tertentu, molasses dapat mempengaruhi kandungan air dan kandungan abu pada produk akhir. Selain itu, karena molasses merupakan produk sampingan yang mudah diperoleh dari industri gula, penggunaannya sebagai pengikat dalam briket tidak hanya meningkatkan nilai bahan limbah ini tetapi juga mendukung inisiatif pemanfaatan energi terbarukan dan pengolahan limbah yang berkelanjutan (Maulidian *et al.*, 2022).

2.7 Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-6235-2000

SNI 01-6235-2000 adalah standar kualitas nasional untuk arang kayu berbentuk briket yang ditetapkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) sebagai acuan dalam menentukan kualitas briket biomassa. Standar ini mengatur beberapa parameter mutu, antara lain kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, karbon terikat, dan nilai kalor (Rindayatno *et al.*, 2025).

Tabel 5. Standar Nasional Indonesia 01-6235-2000

No.	Parameter Mutu	SNI 01-6235-2000
1.	Kadar Air	Maksimum 8%
2.	Kadar Abu	Maksimum 8%
3.	Kadar Zat Menguap	Maksimum 15%
4.	Karbon Terikat	Minimum 77%
5.	Nilai Kalor	Minimal 5.000 kal/g

SNI 01-6235-2000 menyediakan kerangka standar bagi para peneliti dan pelaku industri untuk membandingkan kualitas briket secara konsisten. Standar ini dijadikan acuan utama dalam penelitian serta upaya komersialisasi briket arang kayu di Indonesia, guna memastikan bahwa produk yang dihasilkan memiliki kualitas yang memadai dan sesuai dengan ekspektasi pengguna bahan bakar padat. Standar ini juga menjadi patokan dalam berbagai kajian ilmiah untuk mengevaluasi apakah briket hasil produksi telah memenuhi persyaratan mutu nasional. Sejumlah

studi ilmiah sering merujuk pada SNI ini dalam menilai keberhasilan formulasi, proses pencetakan, serta pengolahan bahan baku (Purwanto dan Sofyan, 2014). Akan tetapi, kesulitan muncul ketika beberapa bahan baku, seperti biomassa tertentu, sulit diproses agar seluruh parameter dapat memenuhi standar secara bersamaan. Meskipun sebagian besar penelitian berhasil memenuhi sebagian besar persyaratan SNI, terdapat juga penelitian yang mengalami kesulitan dalam memenuhi parameter tertentu. Misalnya, penelitian tentang briket yang terbuat dari campuran arang kulit kelapa dan kulit durian menunjukkan kandungan air melebihi 8%, yang tidak sesuai dengan standar SNI untuk parameter tersebut (Iswara *et al.*, 2024).

2.8 Uji Proksimat

Uji proksimat merupakan metode analisis dasar yang digunakan untuk mengetahui komposisi dasar dan karakteristik bahan bakar padat. Analisis ini bertujuan untuk mengukur kualitas biobriket berdasarkan parameter khusus yang terkait erat dengan performa pembakaran serta energi yang dihasilkan. Hasil uji proksimat umumnya dijadikan patokan untuk mengevaluasi kesesuaian biobriket sebagai sumber energi alternatif, sekaligus dibandingkan dengan standar kualitas yang berlaku, seperti SNI 01-6235-2000. Dengan demikian, uji proksimat memegang peran krusial dalam penelitian dan pengembangan biobriket, karena mampu menyajikan gambaran komprehensif tentang kinerja serta efisiensi biobriket saat diaplikasikan (Gobel dan Arief, 2022).

2.8.1 Kadar Air (*Moisture Content*)

Analisis kadar air dilakukan untuk mengukur jumlah air yang terkandung di dalam biobriket. Kandungan air yang masih ada di dalam biobriket merupakan air yang terperangkap di dalam partikel kulit kopi dan ampas tebu yang tidak dapat keluar secara sempurna pada saat proses pengeringan. Selain itu, ada juga air yang terperangkap dalam perekat yang digunakan (Setyono dan Yayok Suryo Purnomo, 2022). Penambahan perekat mengakibatkan peningkatan kadar air pada biobriket. Semakin tinggi jumlah perekat yang digunakan, maka semakin tinggi pula kadar air

yang dihasilkan, hal ini disebabkan oleh sifat hidroskopis dari perekat yang mengandung lignin dan selulosa (Shmulsky dan Jones, 2019).

Prosedur untuk menghitung kadar air disesuaikan dengan Standar Nasional Indonesia 01-6235-2000 yang mengatur tentang syarat mutu dan pengujian biobriket. Perhitungan kadar air dilakukan berdasarkan persamaan berikut.

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (2.1)$$

Keterangan:

a = massa awal cawan + sampel (gr);

b = massa awal cawan + sampel setelah pemanasan (gr).

Kadar air maksimal biobriket berdasarkan SNI 01-6235-2000 sebesar $\leq 8\%$. Semakin rendah kadar air karbon aktif, semakin menunjukkan bahwa sebagian besar kandungan air telah menguap selama proses aktivasi. Selain itu, hal ini juga akan meningkatkan kualitas daya serap yang dihasilkan (Rahman *et al.*, 2018).

2.8.2 Kadar Zat Terbang (*Volatile Matter*)

Kadar zat terbang ditentukan untuk mengetahui jumlah zat organik dalam bahan yang dapat menguap atau hilang saat dipanaskan pada suhu tinggi (Rahman *et al.*, 2018). Perhitungan kadar zat terbang ditentukan melalui persamaan berikut.

$$\text{Kadar Zat Terbang (\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (2.2)$$

Keterangan:

a = massa awal cawan + sampel (gr);

b = massa awal cawan + sampel setelah pemanasan (gr).

Nilai kadar zat terbang mempengaruhi kemampuan adsorpsi biobriket. Oleh karena itu, semakin rendah nilainya, semakin baik kemampuan adsorpsi dan kualitas biobriket yang dihasilkan (Rahman *et al.*, 2018). Peningkatan kandungan kadar zat terbang berbanding lurus dengan nilai kalor yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh pengaruh yang signifikan dari nilai karbon terhadap kualitas biobriket. Biobriket

yang berkualitas baik tidak akan menghasilkan asap ketika dibakar dan memiliki nyala api yang stabil (Taufiq R *et al.*, 2023).

2.8.3 Kadar Abu (*Ash Content*)

Analisis kadar abu pada biobriket dilakukan untuk mengukur jumlah residu yang tidak terbakar setelah proses pembakaran sempurna. Kadar abu yang lebih rendah pada biobriket mengindikasikan kualitas yang lebih baik. Abu adalah residu pembakaran dan dalam konteks ini adalah abu yang tersisa dari pembakaran biobriket. Unsur utama yang terdapat dalam abu adalah silika, yang memiliki dampak negatif pada nilai kalor yang dihasilkan oleh biobriket. Kadar abu biobriket dapat dipengaruhi oleh jumlah bahan anorganik dalam limbah biomassa dan tingkat perekat yang digunakan dalam proses pembriketan (Setyono dan Yayok Suryo Purnomo, 2022). Jumlah kadar abu ditentukan melalui persamaan berikut.

$$\text{Kadar Abu (\%)} = \frac{c-a}{b} \times 100\% \quad (2.3)$$

Keterangan:

a = massa awal cawan + sampel (gr);

b = massa awal cawan + sampel setelah pemanasan 7 menit (gr);

c = massa awal cawan + sampel setelah pemanasan 120 menit (gr).

Kadar abu maksimal biobriket berdasarkan SNI 01-6235-2000 sebesar 8%. Nilai kadar abu yang dihasilkan semakin kecil maka kualitas biobriket semakin baik. Kadar abu yang tinggi dapat mengurangi kemampuan biobriket dalam proses penyerapan. Hal ini disebabkan oleh residu mineral yang menempel pada permukaan biobriket sehingga pori-pori menjadi semakin tertutup (Rahman *et al.*, 2018).

2.8.4 Karbon Tetap (*Fixed Carbon*)

Karbon tetap adalah bagian karbon yang tersisa setelah penguapan air, penghilangan zat terbang dan pembakaran abu dari briket. Kandungan *fixed carbon* yang tinggi sangat diharapkan karena berperan penting dalam menghilangkan nilai kalor dan efisiensi pembakaran, sehingga biobriket dapat berfungsi lebih optimal

sebagai sumber bahan bakar alternatif (Madhusanka *et al.*, 2025). Jenis bahan baku memiliki dampak yang signifikan terhadap kandungan karbon tetap. Biobriket yang diproduksi dari limbah pertanian, seperti sekam padi, tongkol jagung, tempurung kelapa dan serbuk gergaji, menunjukkan variasi yang mencolok dalam kandungan karbon tetapnya. Sebagai contoh, briket yang terbuat dari sekam padi memiliki kandungan karbon tetap sekitar 74,45% (Inegbedio dan Ikpoza, 2022). Kadar karbon tetap dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Karbon Tetap (\%)} = 100 - (MC + VM + AC)\% \quad (2.4)$$

Keterangan:

MC = *moisture content* (kadar air);

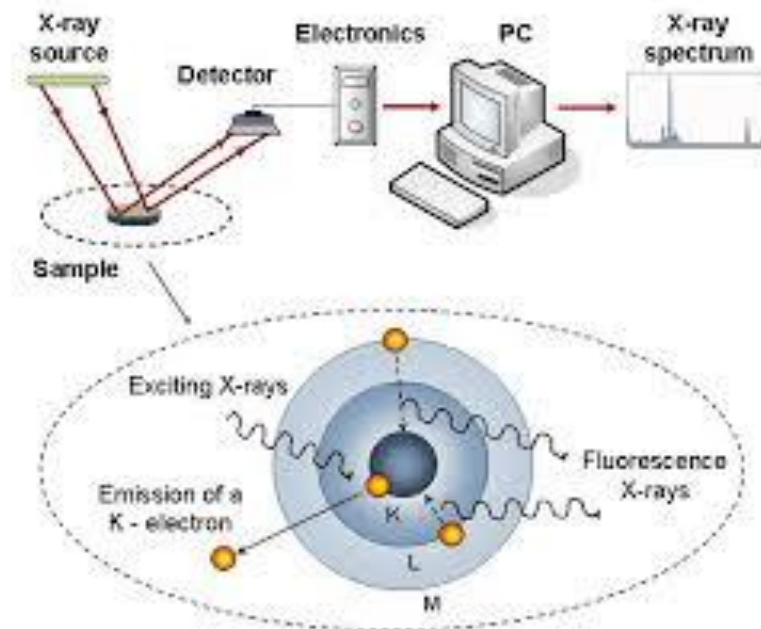
VM = *volatile matter* (kadar zat terbang);

AC = *ash content* (kadar abu).

Suhu karbonisasi secara signifikan memengaruhi kandungan zat mudah menguap dan karbon tetap dari briket yang dibuat dari serbuk gergaji pinus dan limbah cangkang kelapa, dengan kandungan karbon tetap tertinggi pada 600°C (Dewi *et al.*, 2023).

2.9 X-Ray Fluorescence (XRF)

X-Ray Fluorescence (XRF) adalah metode spektrometri non-destruktif yang digunakan untuk menganalisis elemen dengan nomor atom mulai dari 11 (natrium) hingga lebih dari 92 (uranium). Proses analisis dimulai ketika sampel terpapar sinar-X atau sinar gamma, yang mengakibatkan pelepasan elektron dari kulit dalam atom. Elektron yang terlepas ini kemudian diisi oleh elektron dari kulit terluar, sehingga menghasilkan emisi *fluoresensi* yang spesifik untuk setiap elemen. Energi yang dihasilkan dari emisi ini digunakan untuk menentukan komposisi dan konsentrasi elemen dalam sampel, dengan tingkat sensitivitas yang dapat mencapai level ppm (Oyedotun, 2018).



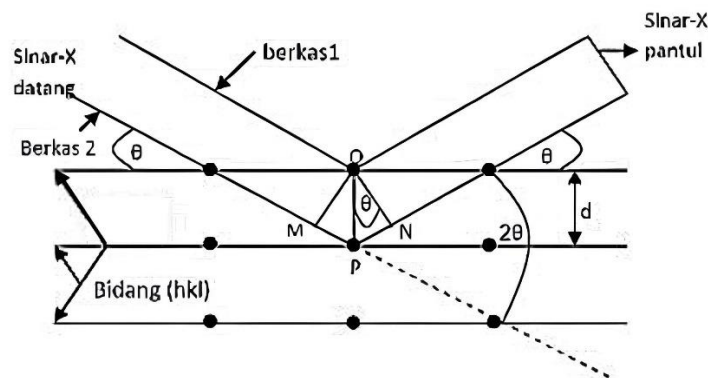
Gambar 4. Prinsip kerja XRF (Barkla, 1917).

Keunggulan utama *X-Ray Fluorescence* terletak pada kemampuan analisisnya yang cepat dan tidak merusak, serta kemampuannya untuk diaplikasikan pada berbagai macam sampel padat tanpa memerlukan persiapan khusus. Penggunaan XRF telah ditemukan di berbagai disiplin ilmu, seperti teknik kimia, geologi, lingkungan, arkeologi dan analisis kultur material, berkat fleksibilitas dan efisiensinya. Namun, XRF memiliki keterbatasan dalam mendeteksi elemen dengan nomor atom di bawah 10 dan dapat dipengaruhi oleh efek matriks serta kebutuhan kalibrasi instrumen. Kemajuan dalam teknologi XRF, termasuk mikro-XRF dan integrasi dengan metode lain, terus meningkatkan resolusi dan akurasi analisis yang dilakukan. Oleh karena itu, XRF menjadi alat yang sangat penting dalam konteks penelitian ilmiah dan juga industri modern (Gonzalez *et al.*, 2024).

2.10 *X-Ray Diffraction (XRD)*

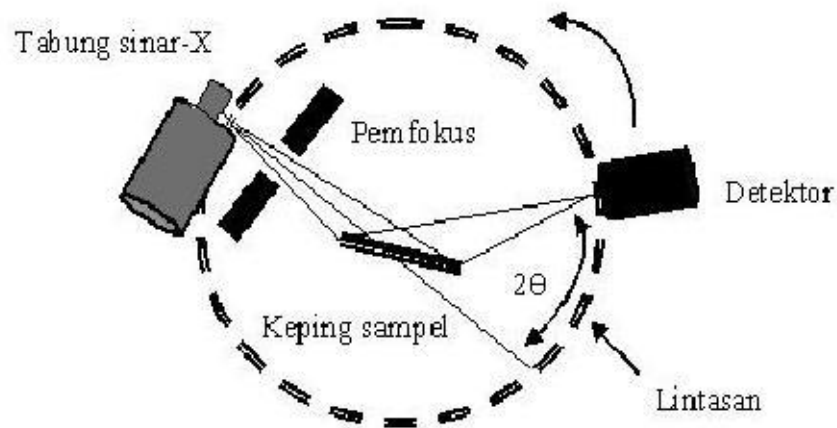
X-Ray Diffraction (XRD) adalah teknik analisis yang digunakan untuk mempelajari struktur kristal suatu bahan dengan cara memanfaatkan interaksi sinar-X dengan kisi atom dalam material tersebut. Pada dasarnya, ketika sinar-X dengan panjang gelombang yang cukup kecil mengenai permukaan kristal, sinar tersebut

dipantulkan (*scatter*) dari bidang-bidang atom yang teratur. Jika kondisi geometri memenuhi hukum Bragg, yaitu bahwa beda lintasan antar gelombang pantul dari bidang kristal yang sejajar sama dengan kelipatan bilangan bulat dari panjang gelombang sinar ($n\lambda = 2d \sin \theta$), maka akan terjadilah interferensi konstruktif yang menghasilkan puncak (*peak*) difraksi pada sudut tertentu. Dengan mengukur sudut-sudut dimana puncak-puncak muncul dan intensitasnya, dapat ditentukan jarak antar bidang atom (*interplanar spacing*), identifikasi fase kristal, ukuran kristalin (*crystallite size*), orientasi kristal, dan sifat-sifat kristal lainnya. Sinar-X pada umumnya dihasilkan oleh tabung *X-ray* yang menumbuk target logam, disaring agar monokromatik, kemudian diarahkan ke sampel, sampel yang berbentuk bubuk (*powder*) sering dipakai karena banyaknya kristal kecil dengan orientasi acak memungkinkan terdeteksinya banyak bidang difraksi (Ihwani dan Ariswan, 2022).



Gambar 5. Skema Hukum Bragg (Bragg dan Bragg, 1913).

Salah satu aspek penting dari prinsip kerja XRD adalah penggunaan geometri alat untuk memutar sampel (detektor) agar sudut sinar datang dan sudut pantul bisa bervariasi sehingga semua kemungkinan bidang kristal dapat diperhitungkan. Bila geometri Bragg-Brentano digunakan, biasanya sudut sumber sinar dan detektor bergerak sedemikian rupa bahwa detektor berada diposisi 2θ ketika sampel pada sudut θ terhadap sumber. Pola difraksi yang dihasilkan (*diffractogram*) menunjukkan serangkaian puncak yang masing-masing khas untuk bidang kristal tertentu, dan posisi serta intensitas puncak tersebut memberikan informasi struktural (Putama Mursal, 2018).

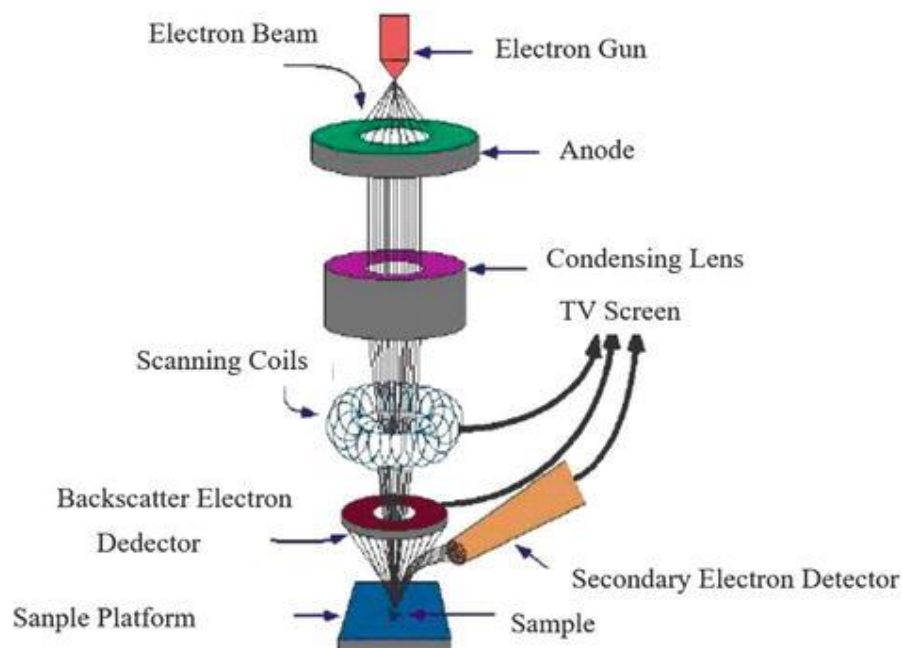


Gambar 6. Skema *X-Ray Diffraction* (Bragg dan Bragg, 1913).

Hal ini menjadikan XRD sebagai metode non-destruktif yang sangat penting dalam berbagai sektor industri. *X-Ray Diffraction* (XRD) diterapkan untuk mengidentifikasi berbagai jenis mineral dalam sampel batuan atau bijih. Metode ini mampu mendeteksi mineral dominan dan minor, bahkan dalam sampel dengan partikel yang sangat halus atau dalam campuran yang kompleks (Ali *et al.*, 2022). Analisis pola difraksi dapat memberikan informasi mengenai fasa, kemurnian sampel, ukuran kristalit, dan morfologi material. Oleh karena itu, metode *X-Ray Diffraction* (XRD) sering digunakan sebagai pelengkap teknik mikroskopi dan spektroskopi lainnya (Holder dan Schaak, 2019). *X-Ray Diffraction* (XRD) adalah metode yang dapat digunakan untuk menentukan proporsi relatif mineral dalam suatu campuran, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Beberapa teknik yang digunakan dalam analisis menggunakan XRD sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain proses preparasi sampel, pemilihan standar internal, dan metode penggilingan yang digunakan untuk menghasilkan serbuk acak (Zhou *et al.*, 2018). Tantangan utama termasuk ketidakpastian yang disebabkan oleh variasi komposisi kimia, ketidakaturan struktur, dan interstratifikasi mineral lempung. Selain itu, ada kebutuhan untuk kalibrasi instrumen yang akurat untuk menghasilkan hasil kuantitatif yang tepat. Inovasi dalam pengembangan detektor berkecepatan tinggi dan penerapan teknologi pembelajaran mesin meningkatkan kecepatan, akurasi, dan otomatisasi analisis XRD. Perkembangan ini juga berdampak pada pemodelan kandungan mineral dan kontrol proses industri secara *real-time* (Ali *et al.*, 2022).

2.11 *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM – EDS)*

Karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy (SEM – EDS)* adalah teknik analisis material yang menggabungkan gambar morfologi permukaan dengan analisis komposisi unsur lokal. Metode SEM menghasilkan gambar beresolusi tinggi yang memungkinkan pengamatan mendalam terhadap detail morfologi, ukuran dan bentuk partikel. Sementara itu, EDS berfungsi untuk mendeteksi sinar-X yang dipancarkan akibat interaksi elektron dengan sampel, untuk mengidentifikasi dan mengukur komposisi unsur yang ada (Brostrøm *et al.*, 2020).



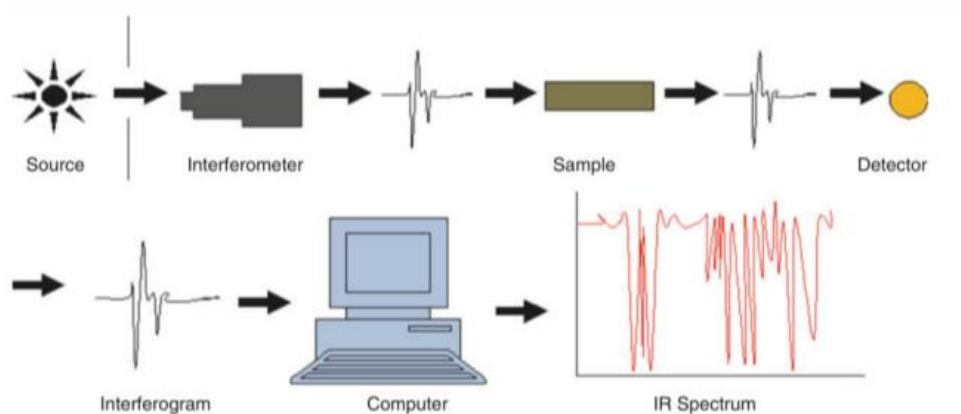
Gambar 7. Skema SEM (Ardenne, 1938).

Melalui penggunaan SEM – EDS, informasi yang berkaitan dengan distribusi spasial elemen, pemetaan elemen pada permukaan, dan klasifikasi partikel berdasarkan komposisi kimia dan morfologi, bahkan hingga ke tingkat nano, dapat diperoleh. Teknik ini sangat efisiensi untuk karakterisasi partikel yang kompleks, identifikasi sumber material dan analisis material yang peka terhadap berkas elektron. Selain itu, SEM – EDS juga banyak digunakan dalam bidang forensik, lingkungan dan industri karena kemampuannya dalam memberikan data kuantitatif

dan kualitatif secara cepat dan tidak merusak (Gul *et al.*, 2020). *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) mampu meningkatkan keakuratan analisis unsur secara signifikan, terutama karena perkembangan terkini dalam teknologi detektor dan metode pemrosesan data. EDS modern, terutama yang menggunakan detektor penyimpanan silikon (SDD), dapat mencapai tingkat akurasi dan presisi yang sebanding dengan teknik spektrometri dispersif panjang gelombang, bahkan untuk unsur mayor, minor dan jejak (Newbury dan Ritchie, 2014). Teknik EDS telah terbukti efektif dalam mengatasi masalah tumpang tindih puncak spektral, sehingga memungkinkan untuk mengidentifikasi elemen dalam campuran yang kompleks serta pada konsentrasi yang sangat rendah, bahkan dibawah 0,001 faksi massa atau 1000 ppm, dan dilakukan dalam waktu analisis yang efisien (Newbury dan Ritchie, 2019).

2.12 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) merupakan metode spektroskopi yang berfungsi untuk mengenali dan mengkarakterisasi struktur kimia suatu material melalui pola serapan inframerah yang dihasilkan oleh gugus-gugus fungsi molekul yang terkandung di dalamnya. Metode FTIR dapat mengidentifikasi frekuensi vibrasi spesifik dari ikatan kimia, sehingga setiap senyawa atau gugus fungsi memiliki “sidik jari” spektral yang khas (Pasiieczna-Patkowska *et al.*, 2025). FTIR memanfaatkan interferometer (umumnya tipe *Michelson*) untuk menghasilkan interferogram, yakni sinyal yang terbentuk dari penjumlahan seluruh sinar IR yang melintasi sampel pada berbagai vibrasi perbedaan panjang lintasan optik (*optical path difference*, OPD). Data interferogram selanjutnya dikonversi melalui proses transformasi matematis *Fourier* menjadi spektrum absorbansi atau transmisi terhadap bilangan gelombang (*wavenumber*), di mana puncak-puncaknya mencerminkan gugus fungsi khusus bagi setiap substansi. Teknik ini bersifat tidak merusak, relatif efisien waktu, serta hanya memerlukan persiapan sampel yang biasanya tidak rumit (Gong *et al.*, 2024).



Gambar 8. Prinsip kerja FTIR (Johnston, 1990).

Metode FTIR dapat diterapkan untuk mengidentifikasi kelompok fungsional utama seperti karbonat, fosfat, amida, silikat dan lainnya. Selain itu, teknik ini juga dapat digunakan untuk menganalisis perubahan struktur kimia yang terjadi akibat sintesis, degradasi, atau interaksi dengan lingkungan (Yusuf, 2023). Prinsip dasar FTIR menjelaskan bahwa setiap kelompok fungsional dalam molekul memiliki pola penyerapan inframerah yang unik. Hal ini memungkinkan identifikasi spesifik dalam bidang kimia, bahkan pada tingkat nanometer. Namun, FTIR memiliki keterbatasan dalam resolusi spasial akibat efek difraksi cahaya. Untuk mengatasi masalah ini, teknik nano-FTIR telah dikembangkan, menggabungkan FTIR dengan mikroskopi optik. Dengan pendekatan ini, karakterisasi kimia dapat dilakukan pada resolusi setinggi puluhan nanometer (Hillenbrand, 2012).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pusat Riset Teknologi Pertambangan-Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Jl. Insinyur Sutami, KM 15, Serdang, Kec. Tanjung Bintang, Kabupaten Lampung Selatan dari bulan April 2025 hingga Juni 2025.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Alat-alat Penelitian

No.	Nama	Fungsi
1.	Oven	Menurunkan kadar air yang terkandung dalam bahan baku dan mengeringkan produk.
2.	<i>Furnace</i>	Memanaskan bahan baku briket hingga berubah menjadi arang (<i>char</i>).
3.	Desikator	Mendinginkan sampel setelah pemanasan.
4.	Mesin <i>Press</i>	Membentuk dan memadatkan biobriket.
5.	Cawan Porselen	Wadah sampel bahan baku saat proses pemanasan di dalam <i>furnace</i> .
6.	Mortar dan Alu	Menghaluskan bahan baku agar menjadi partikel yang lebih kecil.
7.	<i>Siave Shaker</i>	Mengayak arang kulit kopi dan ampas tebu.
8.	Neraca Analitik	Menimbang arang bahan baku biobriket.
9.	Cetakan Briket berbentuk silinder	Mencetak campuran biobriket.
10.	Timbangan Digital	Menimbang sampel biobriket.
11.	Wadah Klip Plastik	Menampung serbuk arang kulit kopi dan ampas tebu setelah pengayakan.
12.	Penjepit Besi	Membantu memegang cawan porselen saat proses pembakaran.

Penelitian ini ditunjang dengan beberapa bahan yang digunakan. Bahan yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Bahan-bahan Penelitian

No.	Nama	Fungsi
1.	Kulit Kopi	Sebagai bahan baku pembuatan briket
2.	Ampas Tebu	Sebagai bahan baku pembuatan briket
3.	Molasses	Sebagai bahan perekat organik
4.	Tepung Tapioka	Sebagai bahan perekat dalam pembuatan briket
5.	Air	Sebagai pelarut perekat dalam pembuatan perekat briket

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Pengeringan Bahan Baku

Limbah ampas tebu yang akan digunakan terlebih dahulu melalui proses pengeringan untuk mengurangi kadar air yang ada. Setelah proses pengeringan, ampas tebu yang sudah kering kemudian dioven. Limbah ampas tebu dijemur di bawah sinar matahari selama kurang lebih 1 hari. Selanjutnya ampas tebu dikeringkan di dalam oven dengan suhu 110°C selama 2 jam hingga benar-benar kering. Sementara itu, kulit kopi tidak melalui proses pengeringan baik dengan cara dijemur maupun dioven, karena kondisi kulit kopi sudah dalam keadaan kering.

3.3.2 Pengarangan

Kulit kopi dan ampas tebu kemudian melalui proses pengarangan di dalam *furnace*. Langkah pertama yang dilakukan adalah menimbang limbah kulit kopi dan ampas tebu dengan menggunakan timbangan digital. Setelah ditimbang, bahan baku dipindahkan ke dalam cawan porselen untuk proses pemanasan di dalam *furnace* pada suhu 600°C selama 120 menit.

3.3.3 Penghalusan Arang

Setelah dingin, arang dari limbah kulit kopi dan ampas tebu kemudian dihaluskan dengan menggunakan mortar atau alat penumbuk. Proses ini bertujuan untuk memperkecil ukuran partikel sehingga memudahkan proses pengayakan.

3.3.4 Pengayakan Serbuk Arang

Untuk mendapatkan ukuran partikel serbuk arang yang diinginkan, proses pengayakan dilakukan dengan menggunakan ayakan 100 *mesh*. Serbuk arang dari kulit kopi diayak untuk memisahkan partikel-partikel halus dari arang kulit kopi yang berukuran besar. Demikian pula serbuk arang dari ampas tebu juga diayak untuk memisahkan gumpalan-gumpalan kecil yang tidak ikut hancur pada saat proses penumbukan dari serbuk arang ampas tebu, dan didapatkan serbuk arang ukuran lolos 100 *mesh*.

3.3.5 Pembuatan Perekat

Langkah selanjutnya adalah membuat perekat untuk biobriket. proses ini dimulai dengan menimbang tepung tapioka dan menyiapkan air. Setelah itu, tepung tapioka yang sudah ditimbang dimasukkan ke dalam mangkuk, lalu ditambahkan air dan diaduk menggunakan sendok. Campuran tersebut kemudian dipanaskan hingga mengental. Pengadukan terus dilakukan selama pemanasan untuk mempercepat proses penggumpalan.

3.3.6 Proses Pencampuran Serbuk Arang dan Perekat

Langkah selanjutnya adalah mencampurkan serbuk arang sesuai komposisi pada **Tabel 8** dan **9** yang telah ditentukan dengan perekat, kemudian aduk hingga tercampur rata. Proses pengadukan campuran dilakukan dengan menggunakan sendok untuk memastikan pencampuran yang merata.

3.3.7 Proses Pembriketan

Proses pembentukan biobriket dilakukan dengan menggunakan mesin press. Adonan biobriket dicetak menjadi bentuk silinder dengan menggunakan cetakan yang telah disiapkan. Setelah dicetak, adonan biobriket dikeluarkan dari cetakan. Selanjutnya, biobriket yang telah dicetak dikerigkan dalam oven pada suhu 110°C selama 5 jam.

3.4 Perlakuan

Perlakuan dalam penelitian biobriket mengkomposisikan antara bahan baku dan perekat. Tujuan dari perlakuan ini adalah menentukan komposisi terbaik antara bahan baku dan perekat. Pencampuran antara bahan baku dan perekat seperti pada **Tabel 8** dan **Tabel 9** berikut.

Tabel 8. Variasi Komposisi Bahan dan Perekat Molasses

Komposisi	Kulit Kopi (%)	Ampas Tebu (%)	Perekat (%)
K1	95	0	5
K2	86	9	5
K3	79	16	5
K4	73	22	5
K5	67	28	5

Tabel 9. Variasi Komposisi Bahan dan Perekat Tepung Tapioka

Komposisi	Kulit Kopi (%)	Ampas Tebu (%)	Perekat (%)
K1	0	95	5
K2	9	86	5
K3	16	79	5
K4	22	73	5
K5	28	67	5

3.5 Pengujian Biobriket

Uji pada produk biobriket pada penelitian ini yaitu uji proksimat.

3.5.1 Pengujian Kadar Air (*Moisture Content*)

Pengujian kadar air briket melalui tahapan sebagai berikut.

1. Sampel briket disiapkan untuk dilakukan pengujian.
2. Cawan porselen ditimbang menggunakan neraca analitik untuk mengetahui massa awalnya.
3. Sampel briket diletakkan di dalam cawan porselen sebanyak 1 gram.
4. Cawan porselen yang berisi spesimen briket dimasukkan ke dalam oven pada temperatur 100°C selama 120 menit.
5. Setelah proses pengovenan selesai, cawan porselen dikeluarkan dari oven dan didinginkan di dalam desikator selama ± 45 menit.
6. Setelah didinginkan, cawan porselen berisi spesimen ditimbang untuk memperoleh massa spesimen setelah pemanasan.
7. Nilai kadar air dapat dihitung dengan persamaan (2.1).

Rancangan dari data yang akan diperoleh disajikan pada tabel berikut.

Tabel 10. Rancangan Uji Kadar Air Biobriket Perekat Molasses

Komposisi	Cawan + Sampel (gram)	Cawan + Sampel Setelah Pemanasan (gram)	Kadar Air (%)
K1			
K2			
K3			
K4			
K5			

Tabel 11. Rancangan Uji Kadar Air Biobriket Perekat Tepung Tapioka

Komposisi	Cawan + Sampel (gram)	Cawan + Sampel Setelah Pemanasan (gram)	Kadar Air (%)
K1			
K2			
K3			
K4			
K5			

3.5.2 Pengujian Kadar Zat Terbang (*Volatile Matter*)

Pengujian kadar zat terbang briket melalui tahapan sebagai berikut.

1. Cawan porselen berisi spesimen yang telah di oven selama 120 menit ditimbang menggunakan neraca analitik.
2. Suhu *furnace* dipastikan telah berada pada temperatur 700°C sebelum sampel dimasukkan.
3. Cawan porselen yang berisi spesimen briket dimasukkan ke dalam *furnace*.
4. Setelah 7 menit cawan dikeluarkan dan didinginkan di dalam desikator selama ± 45 menit.
5. Cawan porselen berisi spesimen ditimbang.
6. Nilai kadar zat terbang dapat dihitung dengan persamaan (2.2).

Rancangan dari data yang akan diperoleh disajikan pada tabel berikut.

Tabel 12. Rancangan Uji Kadar Zat Terbang Biobriket Perekat Molasses

Komposisi	Cawan + Sampel (gram)	Cawan + Sampel Setelah Pemanasan (gram)	Kadar Zat Terbang (%)
K1			
K2			
K3			
K4			
K5			

Tabel 13. Rancangan Uji Kadar Zat Terbang Biobriket Perekat Tepung Tapioka

Komposisi	Cawan + Sampel (gram)	Cawan + Sampel Setelah Pemanasan (gram)	Kadar Zat Terbang (%)
K1			
K2			
K3			
K4			
K5			

3.5.3 Pengujian Kadar Abu (*Ash Content*)

Pengujian kadar abu briket melalui tahapan sebagai berikut.

1. Cawan porselen berisi spesimen yang telah di *furnace* selama 7 menit ditimbang menggunakan neraca analitik.
2. Setelah itu cawan porselen dimasukkan pada *furnace* dalam temperatur 700°C selama 120 menit.
3. Cawan yang dipanaskan kemudian didinginkan selama ± 45 menit di dalam desikator.
4. Cawan porselen berisi spesimen ditimbang.
5. Nilai kadar abu dapat dihitung dengan persamaan (2.3).

Rancangan dari data yang akan diperoleh disajikan pada tabel berikut.

Tabel 14. Rancangan Uji Kadar Abu Biobriket Perekat Molasses

Komposisi	Cawan Kosong (gram)	Cawan + Sampel Setelah Pemanasan (gram)	Cawan + Abu (gram)	Kadar Abu (%)
K1				
K2				
K3				
K4				
K5				

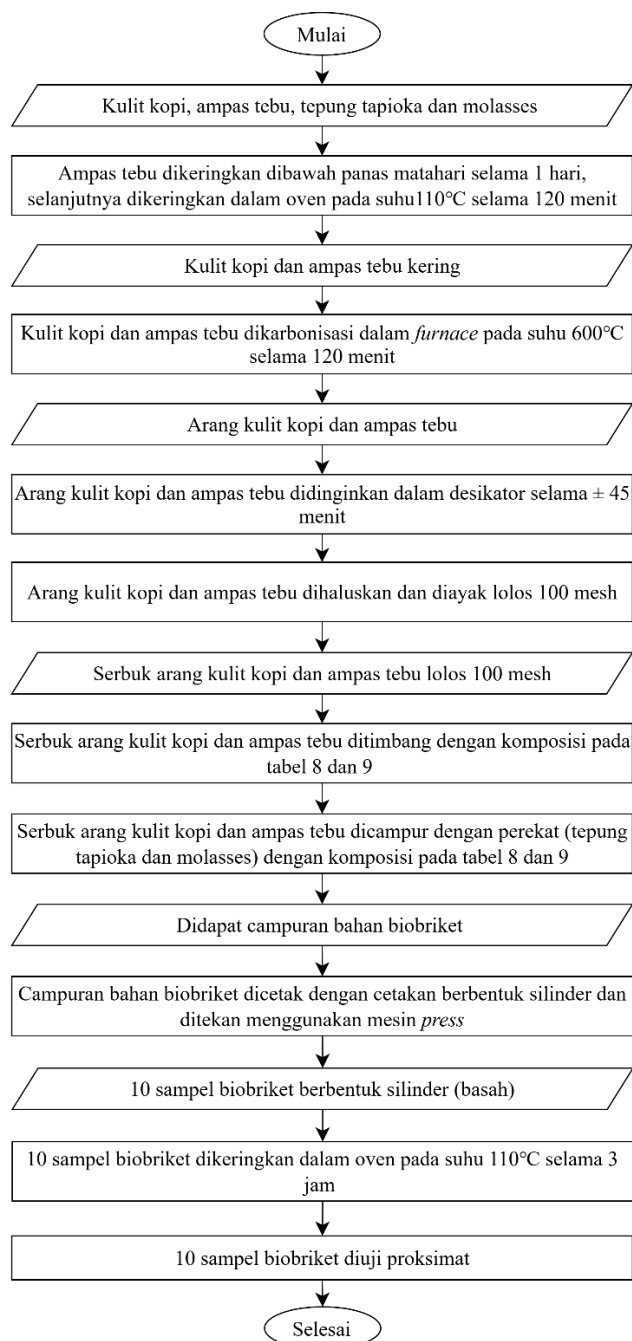
Tabel 15. Rancangan Uji Kadar Abu Biobriket Perekat Tepung Tapioka

Komposisi	Cawan Kosong (gram)	Cawan + Sampel Setelah Pemanasan (gram)	Cawan + Abu (gram)	Kadar Abu (%)
K1				
K2				
K3				
K4				
K5				

3.6 Diagram Alir Penelitian

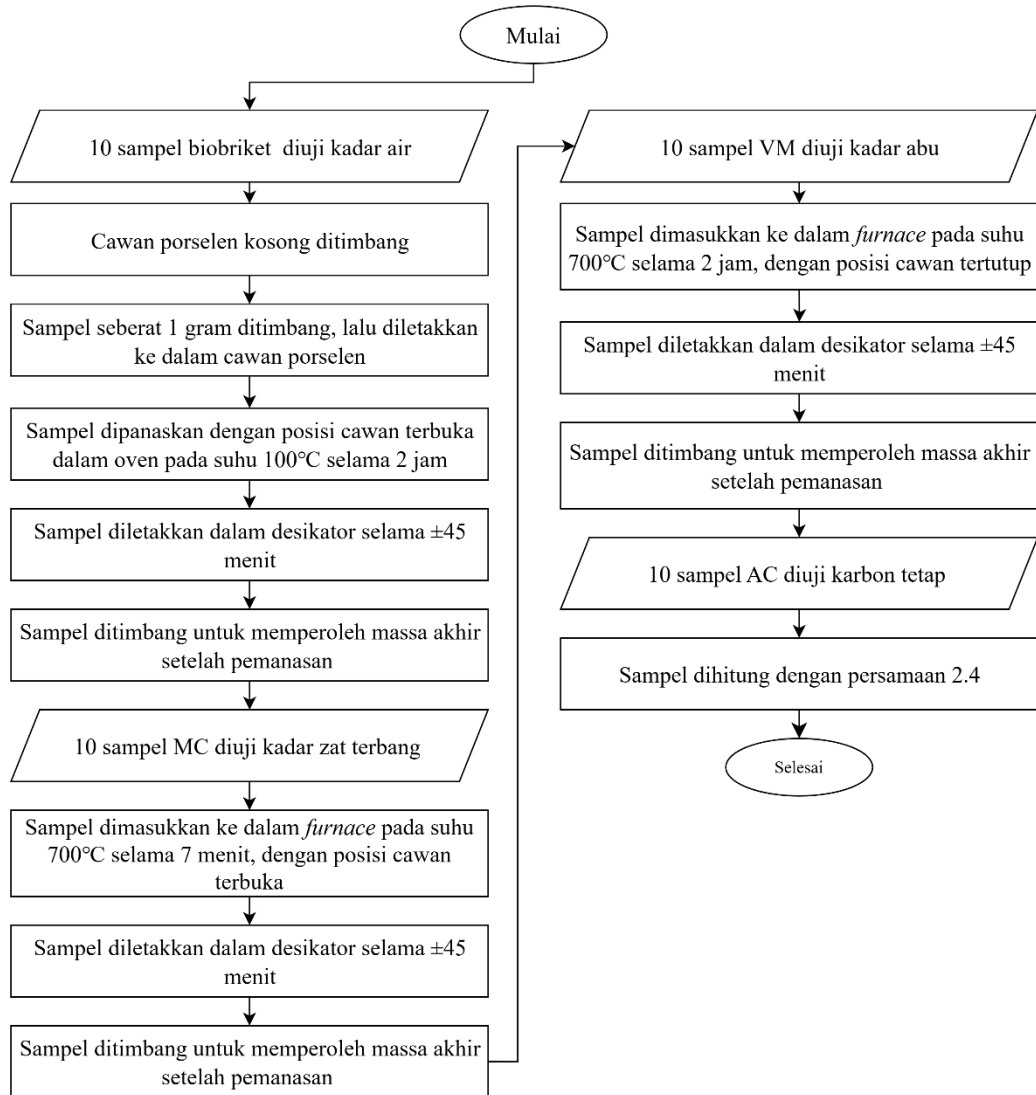
Diagram alir tentang pembuatan biobriket menggunakan kulit kopi dan ampas tebu akan digunakan untuk mengetahui gambaran umum kegiatan penelitian dan proses yang akan dilakukan dapat dilihat pada **Gambar 9, 10, dan 11**.

1) Diagram Pembuatan Biobriket



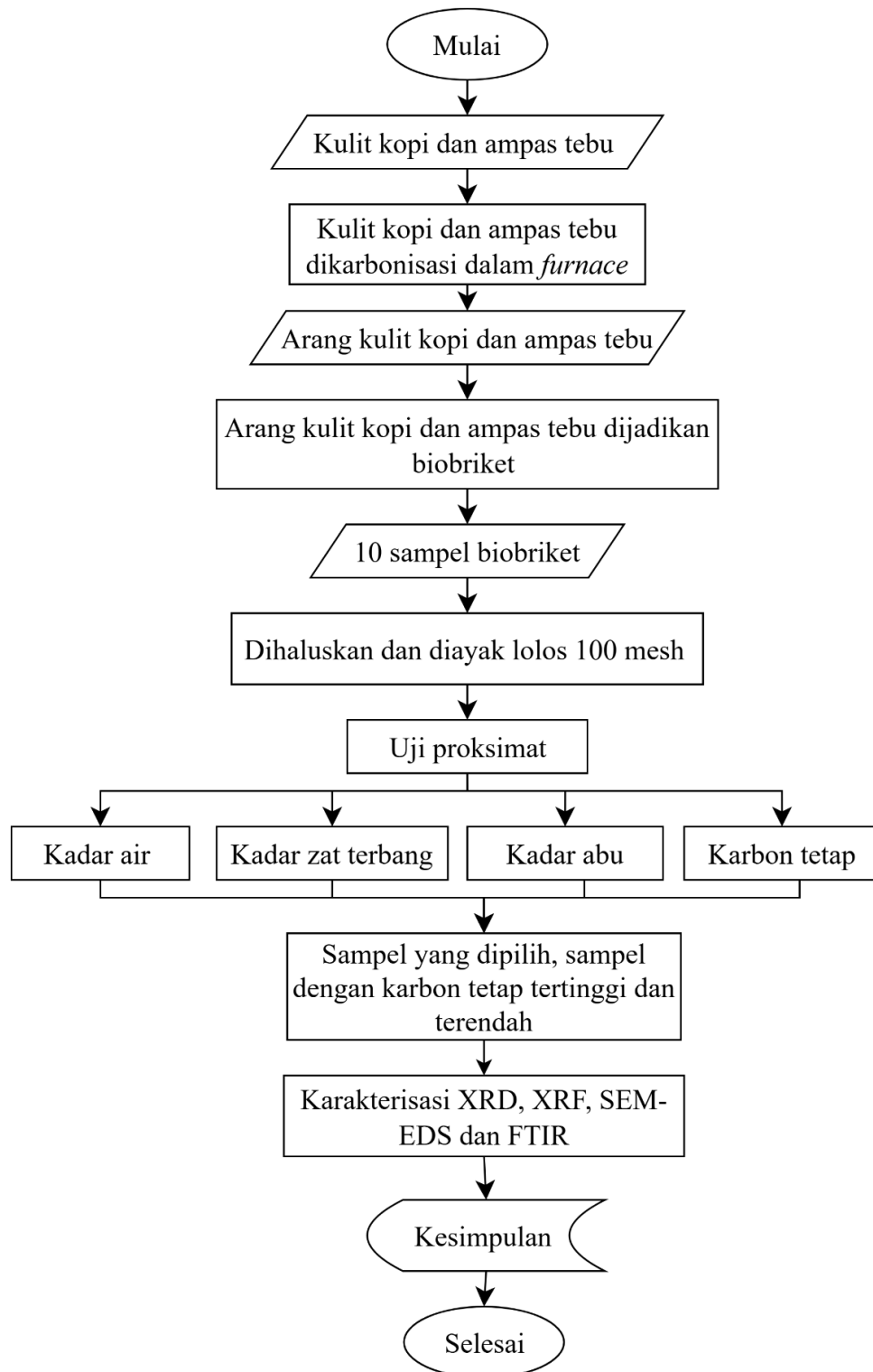
Gambar 9. Diagram pembuatan biobriket

2) Diagram Alir Uji Proksimat



Gambar 10. Diagram alir uji proksimat

3) Diagram Alir Penelitian

**Gambar 11.** Diagram alir penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Komposisi kulit kopi, ampas tebu, dan perekat (molasses dan tepung tapioka) berpengaruh terhadap karakteristik biobriket. Kadar abu relatif dipengaruhi oleh kandungan mineral dari bahan baku dan perekat, sementara kadar karbon tetap cenderung meningkat seiring dengan kombinasi komposisi yang optimal. Sampel K3 (16% kulit kopi) memiliki nilai karbon tetap tertinggi sebesar 88,10% dan sampel K3 (16% ampas tebu) terlihat performa terbaik dengan nilai karbon tetap sebesar 84,60%. Nilai karbon tetap yang tinggi terlihat bahwa proses karbonisasi berlangsung optimal. Sampel NJ 2 (K3 tepung tapioka) terlihat kualitas terbaik menurut SNI dengan karbon tetap tertinggi sebesar 88,10% dan kadar abu terendah sebesar 9,85%.
2. Hasil karakterisasi sampel menggunakan alat *X-Ray Fluorescence* (XRF) terlihat bahwa senyawa dominan dalam biobriket adalah K_2O , CaO , dan Fe_2O_3 . Senyawa K_2O merupakan unsur terbanyak dengan persentase mencapai 44,93%, yang terlihat tingginya kandungan mineral dari bahan baku kulit kopi. Variasi komposisi bahan baku menghasilkan perbedaan persentase senyawa oksida, yang mempengaruhi kadar abu serta kestabilan termal biobriket.
3. Hasil karakterisasi sampel menggunakan alat *X-Ray Diffraction* (XRD) terlihat adanya fasa kristalin utama berupa K_2O , CaO , Fe_2O_3 , dan P_2O_5 yang terbentuk dari sisa abu biobriket. Intensitas puncak difraksi dipengaruhi oleh komposisi bahan baku, di mana semakin tinggi kadar mineral (khususnya K_2O dan CaO), semakin kuat struktur kristal yang terbentuk pada biobriket.

4. Hasil karakterisasi sampel menggunakan alat FTIR terlihat adanya gugus fungsi utama lignoselulosa seperti -OH, C-H, C=O, dan C=C. Perbedaan intensitas pita terlihat variasi komposisi mempengaruhi senyawa organik setelah proses karbonisasi. Kondisi tersebut diindikasikan bahwa struktur lignin, selulosa, dan hemiselulosa masih bertahan serta berkontribusi pada pembentukan karbon tetap.
5. Hasil karakterisasi sampel menggunakan alat SEM – EDS terlihat permukaan biobriket dengan pori-pori yang bervariasi, mulai dari berongga besar hingga padat dan halus. Analisis EDS terlihat unsur-unsur utama seperti C, O, K, Ca, dan Mg terdeteksi merata, keberadaan mineral anorganik ini berpengaruh terhadap pembentukan abu dan stabilitas struktur biobriket.

5.2 Saran

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

1. Penelitian lebih lanjut disarankan untuk mengeksplorasi persentase perekat yang lebih bervariasi, untuk mengetahui pengaruh terhadap durasi pembakaran biobriket.
2. Penelitian lebih lanjut disarankan untuk menambahkan uji nilai kalor dan kekuatan mekanik agar karakteristik biobriket dapat dievaluasi secara menyeluruh sebagai bahan bakar alternatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Abimbola, N., & Chioma, A. (2019). Nutritional Composition and Sensory Evaluation of Tapioca Fortified with Soy-Coconut Flour. *Food Science and Quality Management*, 92(1999), 36–41.
- Acquah, G. E., Via, B. K., Fasina, O. O., & Eckhardt, L. G. (2016). Rapid Quantitative Analysis of Forest Biomass Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Partial Least Squares Regression. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2016, 1–11.
- Ailincai, D., Mititelu-Tartau, L., & Marin, L. (2020). Citryl-imine-PEG-ylated chitosan hydrogels – Promising materials for drug delivery applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 162, 1323–1337.
- Alatas, M. (2024). Energi Baru Terbarukan & Konversi Energi (Ebtke), Sejarah Kincir Air & Turbin Air. In *Penerbit Tahta Media*.
- Ali, A., Chiang, Y. W., & M, S. R. (2022). X-ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization : A Review for Engineers of the Fundamentals , Applications , and Research Directions. *Minerals*, 12, 205.
- 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.
- Anom, I. D. K., & Lombok, J. Z. (2020). Karakterisasi Asap Cair Hasil Pirolisis Sampah Kantong Plastik sebagai Bahan Bakar Bensin. *Fullerene Journal of Chemistry*, 5(2), 96.
- Apriani, A. (2015). *Uji Kualitas Biobriket Ampas Tebu dan Sekam Padi Sebagai Bahan Bakar Alternatif*.
- Barkla, C. G. (1917). IX. Bakerian lecture. On X-rays and the theory of radiation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character.*, 217(549–560), 315–360.
- Bragg, W. H., & Bragg, W. L. (1913). The Reflection of X-rays by Crystals. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 88(605), 428–438.

- Brostrøm, A., Kling, K. I., Hougaard, K. S., & Mølhave, K. (2020). Complex Aerosol Characterization by Scanning Electron Microscopy Coupled with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy. *Scientific Reports*, 10(1), 1–15.
- Brunerová, A., Roubík, H., Brožek, M., Dung, D. Van, Phung, L. D., Hasanudin, U., Iryani, D. A., & Herák, D. (2020). Briquetting of sugarcane bagasse as a proper waste management technology in Vietnam. *Waste Management and Research*, 38(11), 1239–1250.
- Budiarti, G. I., Sya'bani, I., & Alfarid, M. A. (2021). Pengaruh Pengeringan terhadap Kadar Air dan Kualitas Bolu dari Tepung Sorgum (*Sorghum bicolor* L.). *Fluida*, 14(2), 73–79.
- Budiawan, L., Susilo, B., & Hendrawan, Y. (2014). Pembuatan Dan Karakterisasi Briket Bioarang Dengan Variasi Komposisi Kulit Kopi Preparation and characterization of bio charcoal briquettes from sawdust and coffee shell with variation of composition coffee shell. *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*, 2(2), 152–160.
- Cangussu, L. B., Melo, J. C., Franca, A. S., & Oliveira, L. S. (2021). Chemical characterization of coffee husks, a by-product of *coffea arabica* production. *Foods*, 10(12).
- Carvalho, V. H. M., Rocha, M. B. S., Dutra, E. J. V., & Acchar, W. (2017). BENEFICIATION OF COFFEE HUSK ASHES TO BE USED AS FLUX IN. In *Brazil*.
- Chandana, S. N., Al-Ostoot, F. H., Eissa Mohammed, Y. H., Al-Ramadneh, T. N., Akhileshwari, P., Khanum, S. A., Sridhar, M. A., & Lakshminarayana, B. N. (2021). Synthesis, structural characterization, and DFT studies of anti-cancer drug N-(2-Aminophenyl)-2-(4-bromophenoxy)acetamide. *Heliyon*, 7(3).
- Chindaprasirt, P., & Rattanasak, U. (2020). Eco-production of silica from sugarcane bagasse ash for use as a photochromic pigment filler. *Scientific Reports*, 10(1), 1–8.
- Chisté, R. C., Silva, P. A., Lopes, A. S., & da Silva Pena, R. (2012). Advancing green sustainability: A comprehensive review of biomass briquette integration for coal-based energy frameworks. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(4), 870–874.
- Demirbas, A. (2002). Relationships between heating value and lignin, moisture, ash and extractive contents of biomass fuels. *Energy Exploration and Exploitation*, 20(1), 105–111.
- Dewi, R. P., Sumardi, S., & Isnanto, R. (2023). Analysis of Fixed Carbon and Volatile Matter Briquettes of Pine Sawdust and Coconut Shell Waste. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 14(3), 901–907.

- El-gendy, N. S., Madian, H. R., & Amr, S. S. A. (2013). Design and Optimization of a Process for Sugarcane Molasses Fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* Using Response Surface Methodology. *International Journal of Microbiology*, 2013(0), 9.
- Gobel, A. P., & Arief, A. T. (2022). Pengaruh Karbonisasi Terhadap Karakteristik Tempurung Kelapa Berdasarkan Uji Proksimat Dan Nilai Kalor. *Jurnal Mineral, Energi, Dan Lingkungan*, 5(1), 48.
- Gong, Y., Chen, X., & Wu, W. (2024). Application of fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy in sample preparation: Material characterization and mechanism investigation. *Advances in Sample Preparation*, 11(April), 100122.
- Gonzalez, M. F., Saadatkah, N., & Patience, G. S. (2024). Experimental methods in chemical engineering: X-ray fluorescence-XRF. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 102.
- Gul, I., Khan, S. M., Mehmood, T., Ahmad, Z., Badshah, H., & Shah, H. (2020). Characterization of Cobalt Oxide and Calcium-Aluminum Oxide nano-catalyst through Scanning Electron Microscopy, X-ray diffraction, and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy. *Microscopy Research and Technique*, 83(9), 1124–1131.
- Hadey, C., Allouch, M., Alami, M., Boukhelifi, F., & Loulidi, I. (2022). Preparation and Characterization of Biochars Obtained from Biomasses for Combustible Briquette Applications. *Scientific World Journal*, 2022.
- Harlina, A. C., Ropiudin, R., & Ritonga, A. M. (2021). Effect of Molasses Adhesive Levels and Drying Time on the Quality of Biobriquettes from Coconut Shell and Rice Husk. *Journal of Agricultural and Biosystem Engineering Research*, 2(2), 19.
- Haryono, H., Rahayu, I., & Deawati, Y. (2021). Pengaruh Suhu Karbonisasi terhadap Kualitas Briket dari Tongkol Jagung dengan Limbah Plastik Polietilen Terephtalat sebagai Bahan Pengikat. *Jurnal Teknotan*, 14(2), 49.
- Hillenbrand, R. (2012). Nano-FTIR Absorption Spectroscopy of Molecular Fingerprints at 20 nm Spatial Resolution. *Nano Letters*, 12(8), 3973–3978.
- Holder, C. F., & Schaak, R. E. (2019). Tutorial on Powder X-ray Diffraction for Characterizing Nanoscale Materials. *ACS Nano*, 13(7), 7359–7365.
- Ihwani, S. A., & Ariswan. (2022). PENGARUH FRAKSI-X SELENIUM PADA STRUKTUR DAN PARAMETER KISI Pb(S,Se) MASIF PREPARASI TEKNIK BRIDGMAN. *Jurnal Ilmu Fisika Dan Terapannya*, 9(2), 1–13.

- Inegbedio, F., & Ikpoza, E. (2022). Estimation of the moisture content, volatile matter, ash content, fixed carbon and calorific values of saw dust briquettes. *MANAS Journal of Engineering*, 10(1), 17–20.
- Ismayana, A., & Moh Rizal Afriyanto, dan. (2022). the Effects of Adhesive Type and Concentration in the Manufacturing of Filter Cake Briquettes As an Alternative Fuel. *J. Tek. Ind. Pert*, 186(3), 186–193.
- Iswara, M. A. I., Mustain, A., Mufid, M., & Prayitno, P. (2024). Studi Literatur Karakteristik Briket Dengan Perbedaan Rasio Campuran Arang Tempurung Kelapa Dan Biomassa Lainnya. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 10(1), 56–69.
- Jamir, L., Kumar, V., Bhasin, J. K., & Kumar, S. (2021). Composition , valorization and therapeutical potential of molasses : a critical Composition , valorization and therapeutical potential of molasses : a critical review Lemnaro Jamir , Vikas Kumar , Jasleen Kaur , Satish Kumar & Harminder Singh. *Environmental Technology Reviews*, March.
- Johnston, S. F. (1990). The evolution of FTIR technology. *Chemistry in Britain*, 26, 573–579.
- Kale, J., Mula, Y. R., Iskandar, T., & Abrina, S. P. (2019). Optimalisasi Proses Pembuatan Briket Arang Bambu Dengan Menggunakan Perekat Organik. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan Dan Infrastruktur (SENTIKUIN)*, 2, 1–7.
- Kishida, T., Nakai, Y., & Ebihara, K. (2001). Hydroxypropyl-distarch phosphate from tapioca starch reduces zinc and iron absorption, but not calcium and magnesium absorption, in rats. *Journal of Nutrition*, 131(2), 294–300.
- Lancha, J. P., Colin, J., Almeida, G., & Perré, P. (2020). In situ measurements of viscoelastic properties of biomass during hydrothermal treatment to assess the kinetics of chemical alterations. *Bioresource Technology*, 315, 1–41.
- Lukman, & Meita Rezki Vegetama. (2023). Konsentrasi Perekat Organik pada Biobriket Berbahan BakuLimbah Serbuk Kayu. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(3), 15844–15853.
- Madhusanka, L., Nilmalgoda, H., Wijethunga, I., Ampitiyawatta, A., & Koswattage, K. (2025). Agri-Eco Energy: Evaluating Non-Edible Binders in Coconut Shell Biochar and Cinnamon Sawdust Briquettes for Sustainable Fuel Production. *AgriEngineering*, 7(5), 1–20.
- Manyuchi, M. M., Mbohwa, C., & Muzenda, E. (2018). South African Journal of Chemical Engineering Value addition of coal fi nes and sawdust to briquettes using molasses as a binder. *South African Journal of Chemical Engineering*, 26(April), 70–73.

- Marreiro, H. M. P., Peruchi, R. S., Lopes, R. M. B. P., Andersen, S. L. F., Eliziário, S. A., & Junior, P. R. (2021). Empirical Studies on Biomass Briquette Production : *Energies*, 14, 8320.
- Masthura, M. (2019). Analisis Fisis dan Laju Pembakaran Briket Bioarang Dari Bahan Pelepah Pisang. *Elkawanie*, 5(1), 58.
- Maulidian, O., Wahyuni, P. N., Pujiastuti, C., Widodo, L. U., Edahwati, L., Surabaya, K., & Timur, J. (2022). STUDY OF INCREASING THE CALORIFIC VALUE OF BLOTONG BRICKETS WITH THE ADDITIONS OF BANANA MIDRIB AND. *Jurnal Teknik Kimia*, 16(2), 101–106.
- Mian, N., Sari, I., & Hanitanoyo, T. S. (2022). MAKING BRIQUETTES FROM ORANGE SKIN WASTE AND SUGARCANE BAGASS USING PYROLYSIS METHOD The availability of domestic raw materials is gradually. *Eduvest-Journal of Universal Studies*, 2(3), 511–522.
- Morais, E. G. de, Silva, C. A., Gao, S., Melo, L. C. A., Benevenuto, P. A. N., Lago, B. C., Teodoro, J. C., & Guilherme, L. R. G. (2025). Rapid Adsorption of Ammonium on Coffee Husk and Chicken Manure-Derived Biochars: Mechanisms Unveiled by Chemical Speciation, Physical, and Spectroscopic Approaches. *Sustainability (Switzerland)*, 17(4), 1–16.
- Mučibabić, R. J., Grbić, J., Filipčev, B., Šimurina, O., & Kuljanin, T. (2013). Mineralne materije u melasi šećerne repe. *Journal of Engineering & Processing Management*, 5(1), 81–88.
- Mukherjee, A., Okolie, J. A., Niu, C., & Dalai, A. K. (2022). Experimental and Modeling Studies of Torrefaction of Spent Coffee Grounds and Coffee Husk: Effects on Surface Chemistry and Carbon Dioxide Capture Performance. *ACS Omega*, 7(1), 638–653.
- Mulana, F., Muhammad, S., Nurmaida, A. L., & Sukma, W. A. (2018). Pengaktifan Kulit Asam Jawa dengan Campuran Asam Sitrat dan Asam Tartarat untuk Penyerapan Ion Logam Cd (II). *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 13(2), 135–143.
- Nadia Sri Aulia, N., Hamdi, & Yendri Sudiar, N. (2024). Analisis Pemanfaatan Biobriket Dari Limbah Kulit Kopi Sebagai Basis Pengembangan Energi Terbarukan. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Renewable Energy (Jamere)*, 4(2), 1–9. <https://journal.isas.or.id/index.php/JAMERE>
- Newbury, D. E., & Ritchie, N. W. M. (2014). Performing elemental microanalysis with high accuracy and high precision by scanning electron microscopy/silicon drift detector energy-dispersive X-ray spectrometry (SEM/SDD-EDS). *Journal of Materials Science*, 50(2), 493–518.

- Newbury, D. E., & Ritchie, N. W. M. (2019). Electron-Excited X-ray Microanalysis by Energy Dispersive Spectrometry at 50: Analytical Accuracy, Precision, Trace Sensitivity, and Quantitative Compositional Mapping. In *Microscopy and Microanalysis* (pp. 1075–1105).
- Nguyen, D. Van, Duong, C. T. T., Vu, C. N. M., Nguyen, H. M., Pham, T. T., Tran-Thuy, T.-M., & Nguyen, L. Q. (2023). Data on chemical composition of coffee husks and lignin microparticles as their extracted product. *Data in Brief*, 51, 109781.
- Nuwa, & Prihanika. (2018). Tepung Tapioka Perekat Dalam Pembuatan Arang Briket. *PengabdianMu*, 3(1), 34–38.
- Oyebamiji, O. O., Olaleru, A. S., Oyeleke, R. B., & Ofodile, L. N. (2025). Evaluation and characterization of biochar and briquettes from agricultural wastes for sustainable energy production. *Waste Management Bulletin*, 3(3), 100198.
- Oyedotun, T. D. T. (2018). X-ray fluorescence (XRF) in the investigation of the composition of earth materials: a review and an overview. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 2(2), 148–154.
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Phillips, O. L., & Jackson, R. B. (2013). The structure, distribution, and biomass of the world's forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 44, 593–622.
- Pasieczna-Patkowska, S., Cichy, M., & Flieger, J. (2025). Application of Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy in Characterization of Green Synthesized Nanoparticles. *Molecules*, 30(3), 1–36.
- Paul, W. (2023). Transisi Sumber Energi Bersih Terbarukan (EBT) Dalam Kelangsungan Ekonomi Di Indonesia. *Jurnal Al-Amar (JAA)*, 4(1), 23–35.
- Pratama, Suwandi, & Qurthobi, A. (2021). Pengaruh Suhu Sintesis terhadap Nilai Kalor Briket Ampas Kopi. *Proceeding of Engineering*, 6.
- Purnamasari, R. T., & Wahyuni, H. (2021). Pendayagunaan Limbah Bunga Potong Krisan Dampak dari Pandemi Covid-19 untuk Pembuatan Pupuk Organik di Kota Surabaya. *JAPI (Jurnal Akses Pengabdian Indonesia)*, 6(1), 39–44.
- Purwanto, D., & Sofyan. (2014). Pengaruh Suhu dan Waktu Pengarangan terhadap Kualitas Briket Arang dari Limbah Tempurung Kelapa Sawit. *Jurnal Litbang Industri*, 4(1), 29–38.
- Putama Mursal, I. L. (2018). Karakterisasi Xrd Dan Sem Pada Material Nanopartikel Serta Peran Material Nanopartikel Dalam Drug Delivery System. *Pharma Xplore : Jurnal Ilmiah Farmasi*, 3(2), 214–221.

- Rahman, A., Aziz, R., Indrawati, A., & Usman, M. (2018). Utilization of Several Types of Activated Charcoal as Absorbent of Heavy Metal Cadmium (Cd) in Medan City Drainage Sediment Soil as Planting Media. *Agrotekma Jurnal Agroteknologi Dan Ilmu Pertanian*, 1(1), 42–54.
- Rindayatno, Kurniawan Joan, Irvin Dayadi, Agus Nur Fahmi, & Muhammad Rosyid Ridho. (2025). The Effect of Charcoal Composition from Candlenut Shells (*Aleurites Moluccana*) and Rubber Fruit Shells (*Hevea Brasiliensis*) on the Quality of Charcoal Briquettes. *International Journal of Scientific Multidisciplinary Research*, 3(4), 583–594.
- Ryu, C., Yang, Y. Bin, Khor, A., Yates, N. E., Sharifi, V. N., & Swithenbank, J. (2006). Effect of fuel properties on biomass combustion: Part I. Experiments - Fuel type, equivalence ratio and particle size. *Fuel*, 85(7–8), 1039–1046.
- Sabindo, L. O., Kadir, K., & Hasbi, M. (2020). Pengaruh Variasi Ukuran Mesh Terhadap Nilai Kalor Briket Arang Tempurung Kelapa. *Enthalpy : Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 5(1), 1.
- Santoso, R. Z., Elfirdaus, R., Nugroho, A. A., & Widayoko, A. (2024). PEMBUATAN BRIKET DARI KULIT KOPI SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF RAMAH LINGKUNGAN. *Jurnal Integrasi Sains Dan Qur'an (JISQu)*, 3(2), 276–281.
- Setiani, V., Setiawan, A., Dhani, M. R., & Maulidya, R. D. (2019). Analisis Proximate Briket Tempurung Kelapa dan Ampas Tebu. *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 16(2), 91.
- Setianto, M. M., Safitri, N. R., Waluyo, J., Setianto, M. M., Safitri, N. R., Pranolo, S. H., & Susanti, A. D. (2023). Characterization of Biochar Briquettes from Coconut Shell with the Effect of Binder : Molasses , Cow Manure and Horse Manure Characterization of Biochar Briquettes from Coconut Shell with the Effect of Binder : Molasses , Cow Manure and Horse Manure. *Evergreen*, 10(1), 539–545.
- Setiantoro, D. W. (2022). KARAKTERISTIK NILAI KALOR, KADAR AIR, KADAR ABU, MASSA JENIS DAN KUAT TEKAN BRIKET KULIT KOPI DAN SEKAM PADI DENGAN VARIASI PEREKAT MOLASE (pp. 356–363).
- Setyono, M. Y. P., & Yayok Suryo Purnomo. (2022). Analisis Kadar Air dan Kadar Abu Briket Lumpur IPAL dan Fly Ash dengan Penambahan Serbuk Gergaji Kayu. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(6), 696–703.
- Shafiyya, J. V. A., Kusumasari, H. S., Praharsiwi, I. M., & Mujiburohman, M. (2022). Pengaruh Kondisi Operasi dan Jenis Perekat Terhadap Karakteristik Briket Ampas Teh. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(3), 249–258.

- Shmulsky, R., & Jones, P. D. (2019). Forest Products and Wood Science An Introduction. In *wiley* (pp. 1–482).
- Sreedevi, P., Madhava, M., & Rao, P. V. K. J. (2023). EVALUATING THE BIO-ENERGY POTENTIAL OF SUGARCANE BIO-. *Pollution Research*, 42(1), 59–65.
- Subroto, & Prastiyo, D. (2013). *Unjuk Kerja Tungku Gasifikasi Dengan Bahan Bakar Sekam Padi Melalui Pengaturan Kecepatan Udara Pembakaran*. Media Mesin: Majalah Teknik Mesin.
- Taufiq R, D., Styana, U. I. F., & Hidayah, H. I. (2023). CHARACTERISTICS OF BAGASSE BIOBRIQUETS PT . MADUBARU PG MADUKISMO YOGYAKARTA. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 23(1), 1–7.
- Tesfaye, A., Workie, F., & Kumar, V. S. (2022). Production and Characterization of Coffee Husk Fuel Briquettes as an Alternative Energy Source. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022, 13.
- Trisa, A., Nuriana, W., & Mustafa. (2019). Pengaruh Variasi Tekanan Terhadap Densitas, Kadar Air Dan Laju Pembakaran Pada Briket Pelepah Kelapa. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan VII*, 424–426.
- Tursi, A. (2019). A review on biomass: Importance, chemistry, classification, and conversion. *Biofuel Research Journal*, 6(2), 962–979.
- Vaish, S., Kaur, G., Sharma, N. K., & Gakkhar, N. (2022). Estimation for Potential of Agricultural Biomass Sources as Projections of Bio-Briquettes in Indian Context. *Sustainability (Switzerland)*, 14(9).
- Veiga, T. R. L. A., Lima, J. T., Dessimoni, A. L. de A., Pego, M. F. F., Soares, J. R., & Trugilho, P. F. (2017). Caracterização de diferentes biomassas vegetais para produção de biocarvões. *Cerne*, 23(4), 529–536.
- Verayana, Paputungan, M., & Iyabu, H. (2018). Effect of HCl and H3PO4 activators on the characteristics (pore morphology) of activated coconut shell charcoal and adsorption tests on lead (Pb) metal. *Jurnal Entropi*, 13(1), 67–75.
- Wu, M., Wei, K., Jiang, J., Xu, B. Bin, & Ge, S. (2025). Advancing green sustainability: A comprehensive review of biomass briquette integration for coal-based energy frameworks. *International Journal of Coal Science and Technology*, 12(1).
- Yanti, R. N., Pari, G., Dinata, M., Al Amady, M. R., & Suryanti. (2024). Sifat Arang Empat Jenis Kayu Cepat Tumbuh Di Provinsi Riau Sebagai Bahan Baku Bioenergi (Bio Briket). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 42(1), 39–48.

- Yilmaz, Y., Çelik, I., & Isik, F. (2007). Mineral composition and total phenolic content of pomegranate molasses. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 5(3–4), 102–104.
- Yusuf, M. O. (2023). Bond Characterization in Cementitious Material Binders Using Fourier-Transform Infrared Spectroscopy. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(5).
- Zain, L. I., Wijayanto, S., & Saputra, T. W. (2023). Pirolisis Campuran Biomassa Limbah Ampas Kopi Dan Limbah Plastik Polypropylene. *NOZEL Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 05(1), 42–55.
- Zhang, P., Liao, W., Kumar, A., & Zhang, Q. (2020). Characterization of Sugarcane Bagasse Ash as a Potential Supplementary Cementitious Material : Comparison with Coal Combustion Fly Ash. *Journal of Cleaner Production*, 277.
- Zhou, X., Liu, D., Bu, H., Deng, L., Liu, H., Yuan, P., Du, P., & Song, H. (2018). XRD-based quantitative analysis of clay minerals using reference intensity ratios, mineral intensity factors, Rietveld, and full pattern summation methods: A critical review. *Solid Earth Sciences*, 3(1), 16–29.