

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI BATUBARA ANTRASIT DAN
KOTORAN SAPI TERHADAP KARAKTERISTIK BRIKET DENGAN
PEREKAT TAPIOKA DAN *MOLASSES***

Skripsi

Oleh

**Nabilla Aprilia Sari
NPM 2117041036**



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

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI KOMPOSISI BATUBARA ANTRASIT DAN KOTORAN SAPI TERHADAP KARAKTERISTIK BRIKET DENGAN PEREKAT TAPIOKA DAN *MOLASSES*

Oleh

NABILLA APRILIA SARI

Telah dilakukan penelitian pengaruh variasi komposisi batubara antrasit dan kotoran sapi terhadap karakteristik briket dengan perekat tapioka dan *molasses*. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi batubara antrasit dan kotoran sapi dengan perekat tapioka dan *molasses* terhadap karakteristik briket, meliputi uji proksimat, nilai kalor, serta struktur mikro. Sampel dibuat dalam enam komposisi (K1-K6) dan dianalisis menggunakan uji kadar air, volatile matter, kadar abu, fixed carbon, serta karakterisasi XRF, XRD, FTIR, dan SEM-EDS. Hasil penelitian terlihat bahwa hanya sampel K1, yaitu komposisi 70% antrasit, 20% kotoran sapi, dan perekat tapioka 10%, yang terpenuhi syarat SNI pada parameter kadar abu dan *fixed carbon* (77,7%). Nilai kalor tertinggi juga diperoleh pada sampel K1 sebesar 4.807,97 kkal/kg, meskipun masih berada di bawah standar SNI 01-6235-2000 (≥ 5.000 kkal/kg). Karakterisasi struktur mikro terlihat bahwa penambahan kotoran sapi meningkatkan kandungan mineral oksida (SiO_2 , CaO dan K_2O) yang berpengaruh terhadap kenaikan kadar abu dan penurunan nilai kalor. Dengan demikian, briket berbasis campuran antrasit dan kotoran sapi dapat digunakan, namun kualitas terbaik ditunjukkan oleh komposisi K1 dengan perekat tapioka karena memiliki kandungan karbon lebih tinggi, abu lebih rendah, serta struktur mikro yang lebih padat dibandingkan komposisi lainnya. Optimalisasi komposisi biomassa dan pemilihan perekat dengan kandungan mineral rendah direkomendasikan agar briket dapat memenuhi standar mutu nasional.

Kata kunci: Briket, Batubara Antrasit, Kotoran Sapi, Uji Proksimat, Nilai Kalor, XRF, XRD, FTIR, SEM-EDS.

ABSTRACT

THE EFFECT OF VARIATIONS IN THE COMPOSITION OF ANTHRACITE AND COW DUNG ON THE CHARACTERISTICS OF BRIQUETTES WITH TAPIOCA AND *MOLASSES* ADHESIVES

By

NABILLA APRILIA SARI

A study on the effect of variations in the composition of anthracite and cow dung on the characteristics of briquettes with tapioca and *molasses* adhesives has been conducted. The research was carried out to determine the effects of varying compositions of anthracite coal and cow dung with tapioca and molasses binders on briquette characteristics, including proximate analysis, calorific value, and microstructural properties. Six briquette formulations (K1-K6) were prepared and evaluated through moisture content, volatile matter, ash content, fixed carbon tests, and characterized using XRF, XRD, FTIR, and SEM-EDS. The results showed that only sample K1 (70% anthracite, 20% cow dung, 10% tapioca) met the SNI requirements for ash content and fixed carbon (77.7%). The highest calorific value was also obtained from sample K1 at 4,807.97 kkal/kg, although it remained below the SNI 01-6235-2000 standard ($\geq 5,000$ kkal/kg). Microstructural analysis indicated that increasing cow dung content led to higher concentrations of oxide minerals (SiO_2 , CaO and K_2O), contributing to increased ash levels and reduced calorific values. Thus, briquettes produced from anthracite and cow dung can be utilized, but the best performance was exhibited by the K1 composition with tapioca binder due to its higher carbon content, lower ash percentage, and denser microstructure. Optimization of biomass composition and the use of low-mineral binders are recommended to achieve nationally standardized briquette quality.

Keywords: Briquettes, Anthracite Coal, Cow Dung, Proximate Analysis, Calorific Value, XRF, XRD, FTIR, SEM-EDS.

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI BATUBARA ANTRASIT DAN
KOTORAN SAPI TERHADAP KARAKTERISTIK BRIKET DENGAN
PEREKAT TAPIOKA DAN *MOLASSES***

**Oleh
Nabilla Aprilia Sari**

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 Batubara Antrasit
Dan Kotoran Sapi Terhadap Karakteristik
Briket Dengan Perekat Tapioka Dan *Molasses*

Nama Mahasiswa : Nabilla Aprilia Sari

Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041036

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Drs. Syafridi, M.Si.

NIP 196108211992031002

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

NIP 196906101999031004

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

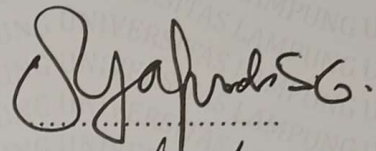
Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.

NIP 197109092000121001

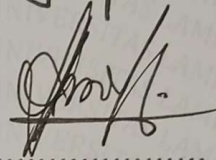
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Drs. Syafriadi, M.Si.

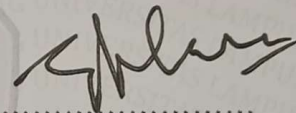


Sekretaris : Muhammad Amin, S.T., M.Si.



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. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 10 Desember 2025

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nabilla Aprilia Sari
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041036
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya dengan judul **“Pengaruh Variasi Komposisi Batubara Antrasit Dan Kotoran Sapi Terhadap Karakteristik Briket Dengan Perekat Tapioka Dan *Molasses*”** adalah hasil karya saya sendiri, baik ide, hasil maupun prosesnya. Selanjutnya saya tidak keberatan jika sebagian dan keseluruhan data didalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi dalam kepentingan publikasi atas persetujuan penulis dan sepanjang nama saya disebutkan sebelum dilakukan publikasi.

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

Bandar Lampung, 10 Desember 2025

Yang Menyatakan



Nabilla Aprilia Sari
NPM. 2117041036

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Nabilla Aprilia Sari, dilahirkan di Kartaraharja, Provinsi Lampung pada tanggal 22 April 2003. Penulis merupakan anak pertama dari lima bersaudara dari pasangan Bapak Suprojo dan Mamak Sugiarti serta memiliki adik bernama Muhammad Syanwil Dwi Saputra, Qisel Lailatuz Zahro, Afrinna Mashel Al Mahyra dan Almeera Mecca Ramadhani.

Penulis menyelesaikan Pendidikan di RA Miftahul Jannah 1 Kartaraharja pada tahun 2009, SDN 02 Kartaraharja pada tahun 2015, SMP Negeri 1 Tulang Bawang Udik pada tahun 2018, dan SMA Negeri 2 Tulang Bawang Udik pada tahun 2021. Penulis diterima di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui Jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menempuh jenjang Pendidikan S1 di Jurusan Fisika FMIPA Unila, penulis mengambil konsentrasi keilmuan bidang Fisika Energi. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi dengan menjabat sebagai anggota pengurus dana dan usaha Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) periode tahun 2023 dan anggota pengurus bidang keagamaan, sosial, dan budaya (Kaum) Rohani Islami Fakultas (Rois FMIPA) periode tahun 2022.

Tahun 2024 penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di BMKG Stasiun Klimatologi Lampung Pesawaran, dengan judul “**Analisis Pengaruh Perubahan Intensitas Radiasi Matahari Terhadap Perubahan Kelembaban Udara Di BMKG Stasiun Klimatologi Lampung**”. Penulis juga melakukan pengabdian terhadap Masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung tahun 2024 di Desa Adirejo, Kecamatan Jabung, Kabupaten Lampung Timur.

MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain).

Dan hanya kepada TUHAN mu lah engkau berharap”

~ **Q.S AL-INSYIRAH, 6-8** ~

“Minta pertolongan dengan sabar dan shalat. Sesungguhnya ALLAH bersama orang-orang yang sabar”

~ **Q.S AL-BAQARAH, 153** ~

“Setiap tetes keringat orang tuaku adalah ribuan langkahku untuk terus maju”

~**Elisa Ayuni**~

“La yukallifullahu nafsan illa wus'aha”

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan segala kerendahan hati dan rasa syukur kepada Allah SWT.

Saya persembahkan karya ini kepada:

Kedua Orang Tua

(Bapak Suprojo dan Mamak Sugiarti)

Terimakasih atas segala pengorbanan dan tulus kasih yang diberikan. Beliau memang tidak sampai merasakan pendidikan bangku perkuliahan, namun mereka mampu senantiasa memberikan yang terbaik, tak kenal lelah mendoakan serta memberikan perhatian dan dukungan hingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai meraih gelar sarjana.

*Adik Tercinta (Muhammad Syanwil Dwi Saputra, Qisel
Lailatuz Zahro, Afrinna Mashel Al Mahyra dan Almeera
Mecca Ramadhani)*

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

Bapak-Ibu Dosen

Terimakasih atas segala ilmu pengetahuan dan budi pekerti serta kesabaran dan ketabahan dalam membimbingku.

*Teman-teman Fisika FMIPA Unila 2021
Almamater Tercinta
Universitas Lampung*

SANWACANA

Puji dan syukur dipanjatkan kehadiran Allah SWT. Yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Komposisi Batubara Antrasit Dan Kotoran Sapi Terhadap Karakteristik Briket Dengan Perekat Tapioka Dan *Molasses*”**. Dengan selesainya penyusunan skripsi ini penulis menyadari bahwa telah banyak melibatkan orang-orang yang sangat berjasa bagi penulis. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terimakasih kepada:

1. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si. selaku Dosen Pembimbing I terimakasih atas bimbingan, arahan serta motivasi yang diberikan selama penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Muhammad Amin, S.T., M.Si. selaku Dosen Pembimbing II terimakasih atas bimbingannya selama penelitian sampai dengan penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Drs. Pulung Karo-karo, M.Si. selaku Dosen Penguji terimakasih atas waktu, kritik, saran dan masukan yang sangat bermanfaat selama proses ujian skripsi ini.
4. Ibu Sri Wahyu Suciati, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
5. Bapak Dr. Fajar Nurjaman, M.T. selaku Kepala Pusat Riset Brin yang telah memberi izin untuk melaksanakan tugas akhir kepada penulis.
6. Para staff dan karyawan Brin yang telah membantu penulis memenuhi kebutuhan data dari tugas akhir.
7. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika yang telah membantu dalam pengurusan semua kegiatan yang dijalankan penulis selama menjadi mahasiswa.
8. Bapak/Ibu Dosen Jurusan Fisika yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

9. Para staff dan karyawan Jurusan Fisika yang telah membantu penulis memenuhi kebutuhan administrasi berkas.
10. Cinta pertama dan panutanku, Bapak Suprojo dan pintu surgaku Mamak Sugiarti. Terimakasih telah memberikan dukungan, kasih sayang, serta doa secara moril dan materil sehingga penulis mampu menyelesaikan studinya hingga sarjana.
11. Kepada adik tercinta Muhammad Syanwil Dwi Saputra, Qisel Lailatuz Zahro, Afrinna Mashel Al Mahyra dan Almeera Mecca Ramadhani terimakasih atas segala motivasi dan dukungannya yang diberikan kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai sarjana.
12. Seluruh keluarga tercinta kakek, nenek, empat adik penulis, paman, tante dan sepupu terimakasih atas dukungan, nasehat dan doa yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan studinya sampai sarjana.
13. Teruntuk pemilik Nama Kasianto Saputra saya ucapkan terimakasih sebanyak-banyaknya karena selalu ada dan tak henti-hentinya memberikan semangat dan dukungan serta bantuan baik itu tenaga, pikiran, materi maupun moril kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
14. Kepada Elta Pariati terimakasih sudah menjadi teman seperjuangan dalam menyelesaikan skripsi bersama penulis.
15. Kepada teman-teman angkatan 2021 terimakasih atas suka dan duka yang telah kita lalui, semoga kita semua menjadi orang yang sukses.

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

Bandar Lampung, 10 Desember 2025

Nabilla Aprilia Sari
NPM. 2117041036

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
 I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
 II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Batubara Antrasit	9
2.3 Pemanfaatan Limbah Kotoran Sapi	13
2.4 Perekat Tapioka dan <i>Molasses</i>	17
2.5 Briket sebagai Bahan Bakar Alternatif	20
2.6 Uji <i>Proximate</i>	22
2.6.1 <i>Moisture Content</i> (Kadar Air).....	23
2.6.2 <i>Volatile matter</i> (Zat Terbang)	24
2.6.3 <i>Ash Content</i> (Kadar Abu).....	25
2.6.4 <i>Fixed Carbon</i> (Karbon Terikat)	26
2.7 Karakterisasi.....	27
2.7.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	28

2.7.2	<i>X-Ray Fluoresence (XRF)</i>	30
2.7.3	<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i>	32
2.7.4	<i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	33
2.8	Pemanfaatan Biomasssa Sebagai Bahan Bakar.....	34
2.9	Nilai Kalor.....	35

III. METODE PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	38
3.2	Alat dan Bahan.....	38
3.2.1	Alat.....	38
3.2.2	Bahan.....	38
3.3	Metode Penelitian.....	39
3.3.1	Preparasi Bahan.....	39
3.3.2	Pembuatan Briket Batubara Antrasit dan Kotoran Sapi.....	40
3.3.3	Uji <i>Proximate</i>	40
3.3.3.1	<i>Moisture Content</i> (Kadar Air).....	40
3.3.3.2	<i>Volatile matter</i> (Zat Terbang)	41
3.3.3.3	<i>Ash Content</i> (Kadar Abu).....	42
3.3.3.4	<i>Fixed Carbon</i> (Karbon Terikat)	43
3.3.4	Karakterisasi Briket Batubara bAntrasit dan Kotoran Sapi	43
3.4	Diagram Alir	44

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Pengaruh Variasi Komposisi Batubara Antrasit dan Kotoran Sapi Terhadap Hasil Uji Proksimat Berdasarkan Standar SNI	50
4.1.1	Uji Proksimat Bahan Baku.....	50
4.1.2	Uji Proksimat Briket Campuran Batubara dan Kotoran Sapi ..	52
4.2	Pengaruh Variasi Komposisi Batubara Antrasit dan Kotoran Sapi Terhadap Kualitas Briket Berdasarkan Uji Nilai Kalor	55
4.3	Pengaruh Variasi Komposisi dan Uji <i>Proximate pada</i> Briket Batubara Antrasit dan Kotoran Sapi.....	57

4.3.1	Hasil Karakterisasi Briket Batubara Antrasit dan Kotoran Sapi Menggunakan <i>X-Ray Fluoresence</i> (XRF)	57
4.3.2	Hasil Karakterisasi Briket Batubara Antrasit dan Kotoran Sapi Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	59
4.3.3	Hasil Karakterisasi Briket Batubara Antrasit dan Kotoran Sapi Menggunakan <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR)	63
4.3.4	Hasil Karakterisasi Briket Batubara Antrasit dan Kotoran Sapi Menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	67
4.3.4.1	Hasil Karakterisasi SEM-EDS Briket Batubara Antrasit dan Kotoran Sapi dengan Perekat Tapioka	67
4.3.4.2	Hasil Karakterisasi SEM-EDS Briket Batubara Antrasit dan Kotoran Sapi dengan Perekat <i>Molasses</i>	73

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	78
5.2	Saran.....	79

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Batubara antrasit.....	12
2. Limbah kotoran sapi.....	14
3. Skema difraksi sinar-x.....	29
4. SEM berkas elektron berenergi tinggi.....	33
5. Diagram alir pembuatan briket.....	45
6. Diagram alir uji proksimat a) kadar air bahan baku dan briket.....	46
7. Diagram alir uji proksimat b) zat terbang bahan baku dan briket.....	47
8. Diagram alir uji proksimat c) kadar abu bahan baku dan briket	47
9. Diagram alir uji proksimat d) karbon tetap bahan baku dan briket.....	48
10. Diagram alir menghitung nilai kalor bahan baku dan briket.....	48
11. Diagram alir penelitian.....	49
12. Grafik hasil karakterisasi sampel menggunakan XRD a) briket K1, b) briket K2, c) briket K4 dan d) briket K6	60
13. Grafik hasil karakterisasi sampel menggunakan FTIR a) briket K1, b) briket K2, c) briket K4 dan d) briket K6	64
14. Hasil karakterisasi briket menggunakan SEM-EDS morfologi (a) briket K1 dan (b) briket K2 pembesaran 25.000x (c) briket K1 dan (d) briket K2 penyebaran unsur kimia	68

15.	Grafik unsur kimia (a) briket K2 dan (b) briket K1 dengan EDS	70
16.	Hasil karakterisasi briket menggunakan SEM-EDS morfologi (a) briket K4 dan (b) briket K6 perbesaran 25.000x (c) briket K4 dan (d) briket K6 penyebaran unsur kimia	73
17.	Grafik unsur kimia (a) briket K6 dan (b) briket K4 dengan EDS	75

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Hasil penelitian briket kotoran sapi.....	8
2. Unsur organik batubara antrasit	10
3. Unsur mineral batubara antrasit	10
4. Spesifikasi jenis-jenis batubara	
5. Unsur organik kotoran sapi	14
6. Hasil uji proksimat kotoran sapi	16
7. Unsur mineral tapioka.....	17
8. Unsur mineral <i>molasses</i>	19
9. Komposisi briket batubara antrasit dan kotoran sapi	39
10. Hasil uji proksimat bahan baku.....	5
11. Hasil uji proksimat briket campuran batubara antrasit dan kotoran sapi	52
12. Hasil uji nilai kalor briket campuran batubara antrasit dan kotoran sapi.....	56
13. Unsur penyusun briket batubara antrasit dan kotoran sapi	58
14. Fasa dominan briket batubara antrasit dan kotoran sapi	61
15. Komposisi unsur briket K2 dan K1 dengan EDS.....	72
16. Komposisi unsur briket K6 dan K4 dengan EDS.....	77

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi yang terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan aktivitas industri menuntut adanya variasi dan efisiensi dalam pemanfaatan sumber daya energi. Bahan bakar fosil seperti batubara masih menjadi sumber energi utama di berbagai negara salah satunya termasuk Indonesia. Akan tetapi, pemanfaatan bahan bakar fosil menimbulkan tantangan lingkungan yang relevan, seperti emisi gas rumah kaca dan pencemaran udara. Oleh karena itu, pengembangan bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan, salah satunya melalui inovasi dalam pembuatan briket sebagai bahan bakar padat (Aisyah & Utomo, 2024).

Briket merupakan bahan bakar padat hasil dari proses pemadatan campuran bahan-bahan organik dan anorganik yang memiliki nilai kalor. Briket memiliki beberapa keunggulan, antara lain nilai kalor yang cukup tinggi, mudah disimpan dan diangkut serta dapat dibuat dari bahan-bahan limbah atau residu yang melimpah di lingkungan sekitar, seperti limbah pertanian, limbah peternakan dan sisa hasil hutan. Bahan dasar pembuatan briket sangat beragam, mulai dari sekam padi, serbuk gergaji, tempurung kelapa hingga kotoran hewan. Bahkan batubara khususnya jenis antrasit yang memiliki kandungan karbon tinggi dan nilai kalor besar, juga sering digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan briket padat berkualitas tinggi. Namun, penggunaan batubara perlu diimbangi dengan bahan organik lain untuk mengurangi emisi dan ditingkatkan keberlanjutan, seperti limbah peternakan berupa kotoran sapi yang kaya akan unsur organik (Samudro et al., 2023).

Batubara antrasit dikenal memiliki kandungan karbon yang tinggi dan nilai kalor yang besar, namun ketersediaannya semakin terbatas dan penggunaannya dapat dihasilkan emisi yang tinggi. Batubara terbentuk dari tumbuhan yang mengalami proses pembatubaraan selama jutaan tahun melalui tekanan dan suhu tinggi. Berdasarkan tingkat metamorfosisnya, batubara diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis yaitu lignit, sub-bituminus, bituminus dan antrasit. Di antara jenis-jenis tersebut, batubara antrasit menempati peringkat tertinggi dalam hal kualitas. Batubara antrasit memiliki kandungan karbon tetap yang sangat tinggi (sekitar 86-98%), kadar air dan zat terbang yang rendah, serta nilai kalor yang besar (Shidiq et al., 2022).

Karakteristik batubara antrasit menjadi bahan bakar yang sangat efisien dan dihasilkan panas yang sangat tinggi saat melalui proses pembakaran. Selain itu, pembakaran antrasit cenderung lebih bersih dibandingkan jenis batubara lain karena dihasilkan lebih sedikit asap dan residu. Oleh karena itu, batubara antrasit sering digunakan dalam industri berat, metalurgi serta sebagai campuran dalam pembuatan briket berkualitas tinggi (Nurlaili & Wibowo, 2025).

Di sisi lain, kotoran sapi sebenarnya memiliki nilai ekonomi dan energi yang tinggi. Kandungan organik dalam kotoran sapi, seperti serat, lemak dan protein, dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku energi alternatif, baik dalam bentuk biogas maupun bahan bakar padat seperti briket biomassa. Pengolahan kotoran sapi menjadi briket merupakan salah satu cara efektif untuk mengurangi pencemaran lingkungan sekaligus menyediakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berbiaya rendah. Sebagai bahan baku briket kotoran sapi memiliki beberapa keunggulan. Selain mudah diperoleh dan melimpah di daerah pedesaan kotoran sapi juga terkandung karbon dan senyawa yang dapat dihasilkan panas saat dibakar. Penggunaan kotoran sapi sebagai bahan campuran briket juga dapat diturunkan kadar emisi dan ditingkatkan efisiensi pembakaran, terutama bila dikombinasikan dengan bahan lain yang memiliki nilai kalor tinggi seperti batubara antrasit. Salah satu sumber energi terbarukan yang potensial dan banyak tersedia di negara agraris seperti Indonesia adalah biomassa.

Biomassa merupakan bahan organik yang berasal dari makhluk hidup baik tumbuhan maupun hewan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Jenis-jenis biomassa sangat beragam di antaranya adalah limbah pertanian (seperti sekam padi, jeramidan batang jagung), limbah kehutanan (seperti serbuk gergaji dan ranting) serta limbah peternakan (seperti kotoran sapi dan ayam). Biomassa memiliki keunggulan karena dapat diperbarui, jumlahnya melimpah dan bila dikelola dengan baik dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil serta diturunkan emisi gas rumah kaca. Salah satu bentuk pemanfaatan biomassa yang berkembang pesat adalah pengolahannya menjadi briket yaitu bahan bakar padat yang dibuat dari hasil pemampatan biomassa dengan atau tanpa bahan tambahan. Briket biomassa memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, mudah disimpan dan digunakan, serta lebih bersih dibandingkan pembakaran langsung bahan mentah. Teknologi ini sangat cocok diterapkan di pedesaan dan daerah terpencil yang belum terjangkau oleh jaringan listrik atau gas (Afriyanti et al., 2020).

Dalam proses pembuatan briket, penggunaan perekat memiliki peranan penting untuk ditingkatkan kekuatan mekanik dan kestabilan bentuk briket. Tanpa perekat yang baik, partikel bahan baku sulit menyatu secara sempurna sehingga briket mudah rapuh dan hancur saat pengeringan atau pemakaian. Oleh karena itu, pemilihan jenis perekat menjadi salah satu faktor kunci dalam menentukan kualitas akhir briket. Perekat alami seperti tapioka dan *molasses* banyak digunakan karena mudah diperoleh, ramah lingkungan, serta memiliki daya rekat yang cukup baik. Tapioka terkandung pati tinggi yang mampu mengikat partikel bahan baku secara efektif saat dipanaskan, sementara *molasses* limbah cair dari industri gula tidak hanya berfungsi sebagai perekat tetapi juga menambah nilai kalor briket karena kandungan gulanya yang tinggi. Kombinasi kedua perekat ini dinilai mampu ditingkatkan kepadatan, kekuatan tekan serta efisiensi pembakaran briket. Oleh karena itu, penelitian terkait variasi penggunaan perekat alami dalam pembuatan briket berbasis bahan biomassa dan batubara menjadi penting untuk mengoptimalkan performa briket sebagai bahan bakar alternatif (Alfredo, 2020).

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi batubara antrasit dan kotoran sapi terhadap karakterisasi briket, seperti

uji proksimat (kadar air, zat terbang dan kadar abu) dan nilai kalor dengan menggunakan perekat tapioka dan *molasses*. Pendekatan kuantitatif dipilih untuk mengukur secara objektif hubungan antar variabel serta untuk memperoleh data yang dapat diuji secara karakterisasi. Melalui penelitian ini, diharapkan untuk memperoleh formulasi briket yang efisien, ekonomis dan ramah lingkungan yang dapat menjadi alternatif sumber energi terbarukan di masa depan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi batubara antrasit dan kotoran sapi dengan perekat tapioka dan *molasses* terhadap uji proksimat (kadar air, *volatile matter*, kadar abu dan *fixed carbon*) briket yang terpenuhi standar SNI?
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi batubara antrasit dan kotoran sapi terhadap nilai kalor briket yang dihasilkan?
3. Bagaimana pengaruh variasi komposisi batubara antrasit dan kotoran sapi dengan perekat tapioka dan *molasses* terhadap karakteristik struktur mikro pada briket?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi komposisi batubara antrasit dan kotoran sapi dengan perekat tapioka dan *molasses* terhadap uji proksimat (kadar air, *volatile matter*, kadar abu dan *fixed carbon*) briket yang terpenuhi standar SNI.
2. Mengetahui pengaruh variasi komposisi batubara antrasit dan kotoran sapi terhadap nilai kalor briket yang dihasilkan.
3. Mengetahui pengaruh variasi komposisi batubara antrasit dan kotoran sapi dengan perekat tapioka dan *molasses* terhadap karakteristik struktur mikro pada briket.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bahan baku menggunakan batubara antrasit dan kotoran sapi sebagai bahan utama dalam pembuatan briket.
2. Jenis perekat yang digunakan menggunakan tapioka dan *molasses*.
3. Lama kotoran sapi dikeringkan di dalam oven selama 2 jam pada suhu 70°C.
4. Variasi komposisi bahan; batubara antrasit : kotoran sapi : perekat sebesar 70% : 20% : 10%; 60% : 30% : 10%; 50% : 40% : 10%.
5. Waktu pengeringan briket 3 jam pada suhu 50°C dan 1,5 jam pada suhu 100°C.
6. Sampel ukuran diameter 2,54 cm dan tinggi 5 cm berbentuk silinder.
7. Uji proksimat briket berupa uji kadar air (*total moisture* dan *inherent moisture*), *volatile metter*, kadar abu dan *fixed carbon*.
8. Karakterisasi briket batubara antrasit dan kotoran sapi menggunakan alat *X-Ray Flourescence* (XRF), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Fourier Transform Infraret Spectroscopy* (FTIR).
9. Penelitian, uji dan karakterisasi briket batubara antrasit dan kotoran sapi ini dilakukan di Laboratorium Heat Treatment dan Laboratorium Non-Logam, Balai Pusat Riset Teknologi Pertambangan-BRIN Tanjung Bintang.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.
2. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai informasi bagi bidang industri.
3. Memanfaatkan batubara antrasit dan kotoran sapi dalam pembuatan briket.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh (Habib et al., 2025) yang berfokus pada pembuatan briket dari campuran batubara antrasit dan tempurung kelapa. Batubara antrasit dipilih karena memiliki kandungan karbon tetap (*fixed carbon*) tinggi, kadar air rendah dan nilai kalor besar. Kelemahannya terletak pada sifat fisik yang keras dan kurang reaktif, sehingga memerlukan bahan tambahan seperti arang tempurung kelapa agar pembakarannya lebih cepat dan stabil. Arang tempurung kelapa berperan sebagai bahan tambahan organik yang dapat ditingkatkan porositas dan reaktivitas pembakaran sekaligus membantu pembentukan ikatan antarpartikel saat proses pembriketan. Sementara itu, *molasses* (tetes tebu) digunakan sebagai perekat alami karena terkandung gula dan senyawa organik yang mampu mengikat partikel batubara dengan kuat setelah mengalami proses pemanasan.

Dalam penelitian ini, bahan dasar briket terdiri dari 90% batubara antrasit dan 10% serbuk arang tempurung kelapa. *Molasses* digunakan sebagai perekat dengan dua rasio pengenceran, yaitu air : *molasses* sebesar 4:1 dan 4:3. Proses pemanasan dilakukan dengan dua variasi suhu, yakni 100°C dan 120°C, serta dua variasi waktu pemanasan, yaitu 60 menit dan 90 menit. Setiap kombinasi diuji untuk melihat pengaruhnya terhadap kekuatan tekan briket menggunakan mesin uji *Universal Testing Machine* (UTM Zwick/Roell Z020). Semua hasil pengujian dibandingkan dengan standar mutu SNI 01-6235-2000 yang disyaratkan kuat tekan minimum briket bahan bakar sebesar 50 kg/cm² agar layak digunakan secara komersial.

Hasil penelitian terlihat bahwa semakin tinggi suhu pemanasan dan semakin besar perbandingan *molasses*, maka kuat tekan briket meningkat secara relevan. Kondisi terbaik diperoleh pada suhu 120°C dengan waktu 90 menit dan rasio air : *molasses* 4:3, yang dihasilkan kuat tekan sebesar 506,3 kPa atau 5,166 kg/cm². Peningkatan suhu pemanasan dipercepat proses penguapan air dan pengeringan perekat sehingga dihasilkan briket yang lebih padat dan memiliki daya ikat antarpartikel yang lebih kuat. Selain itu, rasio *molasses* yang lebih tinggi memperbanyak senyawa gula terkarbonisasi, yang berperan sebagai pengikat alami ketika dipanaskan dan terbentuk lapisan perekat yang melapisi partikel batubara dan arang.

Secara kimiawi, perekat *molasses* mengalami proses karamelisasi saat dipanaskan di atas 100°C. Reaksi ini disebabkan oleh senyawa gula sederhana (glukosa dan sukrosa) berubah menjadi polimer karbon yang lengket dan kuat. Saat *molasses* mengeras akibat panas sehingga mengikat partikel batubara dan arang tempurung kelapa menjadi satu struktur padat. Sementara itu, kehadiran arang tempurung kelapa membantu ditingkatkan pori-pori halus pada briket sehingga gas hasil pembakaran dapat keluar lebih mudah tanpa merusak struktur mekaniknya. Kombinasi ini membuat briket tidak mudah retak dan lebih tahan terhadap tekanan mekanik saat penanganan atau transportasi.

Walaupun hasil kuat tekan belum terpenuhi standar SNI (50 kg/cm²), penelitian ini diberikan kontribusi penting terhadap pengembangan formulasi briket hibrida (anorganik-organik). Artinya, briket tidak hanya berbasis batubara, tetapi juga memanfaatkan limbah biomassa seperti tempurung kelapa yang ramah lingkungan. Hal ini sejalan dengan tren energi masa depan yang menekankan pada efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan (*sustainable energi*). Penelitian ini juga terlihat bahwa kombinasi suhu tinggi dan perekat alami dapat menggantikan perekat sintetis seperti bentonit atau semen yang selama ini umum digunakan, namun cenderung ditingkatkan kadar abu dan diturunkan nilai kalor briket. Dengan perekat alami seperti *molasses*, nilai kalor tetap tinggi dan emisi karbon lebih rendah, menjadikannya solusi alternatif untuk energi rumah tangga maupun industri kecil.

Secara keseluruhan, penelitian oleh (Habib et al., 2025) berhasil dibuktikan bahwa batubara antrasit dapat dimanfaatkan bersama bahan biomassa seperti arang tempurung kelapa untuk dihasilkan briket padat yang kuat, efisien dan ramah lingkungan. Hasil penelitian ini diberikan dasar yang kuat untuk penelitian lanjutan terkait peningkatan tekanan pembriketan, optimasi komposisi bahan, serta pengujian nilai kalor dan kadar abu agar briket yang dihasilkan dapat terpenuhi standar nasional dan layak diproduksi secara berkelompok.

Penelitian yang dilakukan oleh (Daniel & Purwanata, 2018) yang berfokus pada pembuatan briket untuk mengetahui kualitas briket dari limbah ternak sapi (BILTES) dengan penambahan perekat tapioka, meliputi nilai kalor, kadar air dan kadar abu. Penelitian dilaksanakan di Kelurahan Romanglompoo, Kecamatan Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan empat perlakuan dan empat ulangan, yaitu variasi campuran kotoran sapi dan tapioka sebesar 99%:1%, 97%:3%, 95%:5% dan 93%:7%. Variasi campuran yang diuji adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil penelitian briket kotoran sapi

Kode Perlakuan	Komposisi Campuran	Nilai Kalor (kal/g)	Kadar Air (%)	Kadar Abu (g)
P1	99% kotoran sapi + 1% tapioka	479,214	66,4	28,12
P2	97% kotoran sapi + 3% tapioka	370,999	57,5	29,11
P3	95% kotoran sapi + 5% tapioka	361,708	66,4	26,30
P4	93% kotoran sapi + 7% tapioka	378,591	66,8	26,47

Berdasarkan hasil tersebut, perlakuan P1 (99% kotoran sapi + 1% tapioka) diberikan kualitas terbaik dengan nilai kalor tertinggi sebesar 479,214 kal/g, kadar air relatif sedang (66,4%) dan kadar abu cukup rendah (28,12 g). Hasil analisis statistik terlihat bahwa variasi penambahan perekat tapioka tidak diberikan pengaruh penting terhadap kualitas briket karena jumlah perekat yang digunakan masih sangat kecil. Secara umum, semakin tinggi kadar perekat, kadar air briket meningkat sehingga proses pembakaran menjadi kurang efisien dan nilai kalor

menurun. Penelitian ini membuktikan bahwa limbah kotoran sapi dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar padat alternatif (bio-briket) yang ramah lingkungan. Dengan komposisi perekat yang optimal, briket limbah ternak sapi mampu dihasilkan energi panas yang cukup tinggi dan berpotensi menjadi sumber energi terbarukan untuk masyarakat pedesaan sekaligus mengurangi pencemaran akibat limbah peternakan.

2.2 Batubara Antrasit

Batubara merupakan batuan organik yang terbentuk dari fosil tumbuhan yang memiliki warna gelap dan sudah terasosiasi oleh kandungan mineral seperti abu dan belerang. Indonesia merupakan salah satu negara dengan produksi batubara terbesar di dunia. Berdasarkan data pada tahun 2022 dari Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi tercatat cadangan batubara Indonesia sebesar 31,7 miliar ton dengan produksi mencapai 614 juta ton pada tahun 2021 atau 98,2% dari target 625 juta ton. Meskipun menjadi salah satu Negara produsen batubara terbesar di dunia, sebagian besar batubara masih banyak dimanfaatkan sebagai barang tambang ataupun sumber energi (Integrasi et al., 2024).

Antrasit merupakan jenis batubara yang terbaik dikarenakan memiliki kandungan karbon terbesar diantara jenis batubara yaitu lignit, bituminus dan antrasit. Kandungan karbon yang terdapat pada batubara antrasit dapat dimanfaatkan untuk menjadi karbon aktif yang berfungsi sebagai zat penyerap atau zat yang diserap. Karbon aktif dapat dibuat dari bahan yang terkandung karbon, seperti hewan, tumbuhan dan barang tambang termasuk batubara. Batubara sebagai barang tambang yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan menjadi karbon aktif yang melalui proses relatif mudah. Mengingat bahwa ketersediaan batubara yang melimpah yaitu, terutama antrasit yang memiliki kandungan karbon lebih tinggi dibandingkan jenis batubara yang lain. Unsur penyusun batubara antrasit dapat terlihat sebagai berikut.

Tabel 2. Unsur organik batubara antrasit (L. Wang et al., 2021)

No	Unsur	Simbol	Persentase (%)
1.	Karbon	C	96,81
2.	Hidrogen	H	1,17
3.	Oksigen	O	1,35
4.	Nitrogen	N	0,59
5.	Sulfur	S	0,08

Berdasarkan **Tabel 2.** hasil penelitian (L. Wang et al., 2021), unsur organik penyusun batubara antrasit terdiri atas karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N) dan sulfur (S). Kandungan karbon mendominasi dengan persentase sebesar 96,81% terlihat bahwa antrasit merupakan jenis batubara dengan tingkat kematangan paling tinggi dan kandungan bahan organik utama berupa karbon murni. Unsur hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur masing-masing memiliki kadar yang jauh lebih rendah, yaitu 1,17%, 1,35%, 0,59% dan 0,08%. Hal ini terlihat bahwa proses metamorfosis batubara telah berlangsung sempurna sehingga sebagian besar unsur *volatile matter* berkurang. Total keseluruhan unsur organik mencapai 100% dipastikan bahwa komponen utama batubara antrasit adalah karbon dengan sedikit kandungan unsur non-karbon yang berperan dalam sifat kimia dan reaktivitasnya.

Tabel 3. Unsur mineral batubara antrasit (L. Wang et al., 2021)

No	Komponen Mineral	Simbol	Kandungan dalam Abu (%)
1.	Silika	SiO ₂	25,21
2.	Alumina	Al ₂ O ₃	17,33
3.	Besi (III) oksida	Fe ₂ O ₃	20,01
4.	Kalsium oksida	CaO	25,65
5.	Magnesium oksida	MgO	10,16
6	Natrium + Kalium oksida	Na ₂ O + K ₂ O	0,82

Pada **Tabel 3.** terlihat unsur mineral yang terdapat dalam batubara antrasit berdasarkan hasil analisis abu. Komponen mineral utama yang ditemukan antara lain silika (SiO₂) sebesar 25,21%, alumina (Al₂O₃) 17,33%, besi(III) oksida (Fe₂O₃) 20,01%, kalsium oksida (CaO) 25,65%, magnesium oksida (MgO) 10,16% serta natrium dan kalium oksida (Na₂O + K₂O) 0,82%. Total komposisi mineral dalam abu mencapai 100%. Kandungan silika, kalsium oksida dan besi oksida yang tinggi

terlihat bahwa mineral penyusun utama abu batubara ini berasal dari senyawa silikat, oksida logam, serta mineral karbonat yang mengalami dekomposisi selama pembakaran. Kandungan alumina dan magnesium oksida yang cukup relevan juga menambah karakteristik dasar dari abu batubara tersebut (L. Wang et al., 2021).

Secara keseluruhan, hasil analisis unsur organik dan mineral oleh (L. Wang et al., 2021) ditunjukkan bahwa batubara antrasit memiliki karakteristik dengan kandungan karbon tinggi dan kemurnian mineral yang relative kompleks. Kandungan karbon yang dominan menjadikan antrasit memiliki nilai kalor tinggi serta kestabilan termal yang baik, sedangkan kehadiran mineral seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 dan CaO berpengaruh terhadap sifat fisik abu, titik leleh serta potensi pembentukan kerak saat proses pembakaran. Kombinasi antara unsur organik dan mineral ini diberikan pemahaman penting tentang kualitas, perilaku pembakaran dan potensi pemanfaatan batubara antrasit dalam aplikasi energi dan industri.

Antrasit adalah salah satu jenis batubara dengan kadar karbon sangat tinggi dan zat terbang (*volatile matter*) rendah. Antrasit memiliki sifat seperti, keras, berkilau dan memiliki nilai kalor yang tinggi sehingga sering digunakan sebagai bahan bakar padat seperti briket. Namun, pada penggunaannya menimbulkan emisi CO_2 yang penting sehingga kurang ramah lingkungan. Dalam penelitian briket, antrasit biasanya dipadukan dengan bahan baku biomassa atau perekat organik atau inorganik agar dapat dihasilkan briket yang lebih ramah lingkungan. Antrasit memiliki karakterisasi lebih baik seperti kestabilan mekanik dan pembakaran lebih bersih serta dapat menekan biaya produksi (Liu et al., 2018).



Gambar 1. Batubara Antrasit (L. Wang et al., 2021)

Nilai uji proksimat dan nilai kalor untuk spesifikasi jenis-jenis batubara dapat terlihat pada **tabel 4.** sebagai berikut.

Tabel 4. Spesifikasi jenis-jenis batubara

Jenis Batubara	Uji Proksimat (%)				Nilai Kalor (Kkal/kg)
	Kadar Air	<i>Volatile Matter</i>	Kadar Abu	Fixed Carbon	
Antrasit	< 5	< 10	< 20	> 88	> 8.500
Lignit	< 60	< 65	< 20	> 30	> 4.500
Bituminus	< 15	< 40	< 15	> 65	> 7.500
Sub-Bituminus	< 30	< 45	< 12	> 50	> 5.800
Gambut	< 40	< 70	< 10	> 20	> 3.000

Batubara antrasit merupakan salah satu sumber energi fosil yang masih banyak dimanfaatkan di berbagai sektor, terutama industri dan rumah tangga. Berdasarkan tingkat metamorfosisnya, batubara diklasifikasikan menjadi lignit, sub-bituminus, bituminus dan antrasit. Antrasit dikenal sebagai batubara dengan kualitas tertinggi karena memiliki kandungan karbon tetap (*fixed carbon*) yang tinggi, kadar air rendah serta nilai kalor yang besar dibandingkan jenis lain. Karakteristik ini membuat antrasit banyak digunakan sebagai bahan bakar padat alternatif dalam berbagai aplikasi energi, termasuk dalam pembuatan briket biokoal (J. Wang et al., 2009). Menurut (Samudro et al., 2023) penggunaan batubara dalam pembuatan briket dapat dikombinasikan dengan biomassa lain untuk ditingkatkan sifat

lingkungan dan efisiensi energi. Mereka meneliti pengaruh ukuran partikel dan komposisi bahan terhadap kualitas briket biokoal dan menemukan bahwa batubara dengan kualitas tinggi seperti antrasit dihasilkan nilai kalor lebih baik dibanding jenis batubara lain. Kombinasi dengan biomassa juga mampu mengurangi emisi gas buang yang dihasilkan. Kualitas batubara antrasit juga sangat ditentukan oleh sifat fisik dan kimianya.

Menurut (Ilham & Suedy, 2022), kadar abu yang rendah serta kandungan sulfur yang minimal pada antrasit diberikan keuntungan dalam mengurangi pencemaran udara. Oleh karena itu, pemanfaatan antrasit dalam pembuatan briket dianggap lebih ramah lingkungan dibandingkan penggunaan batubara jenis lain yang dihasilkan polutan lebih tinggi. Meskipun antrasit memiliki kualitas tinggi, penggunaannya dalam bentuk asli seringkali kurang praktis. Oleh sebab itu, pengolahan menjadi briket padat lebih disukai karena mampu ditingkatkan densitas energi, memudahkan transportasi, serta memperbaiki kestabilan pembakaran. Menurut (Abu et al., 2024) briket dari batubara antrasit dapat berpotensi dihasilkan abu dengan kandungan silika tinggi yang dapat dimanfaatkan dalam bahan bangunan seperti mortar.

Penelitian lain oleh (Maktub et al., 2024) terlihat bahwa campuran antrasit dengan biomassa seperti tempurung kelapa dapat dihasilkan briket biokoal dengan kualitas yang lebih baik. Variasi persentase antrasit dalam campuran tersebut sangat berpengaruh terhadap nilai kalor, kadar abu dan ketahanan mekanis briket. Dengan demikian, pemanfaatan antrasit dalam campuran bahan briket dapat memperbaiki kualitas energi alternatif yang dihasilkan. Selain ditingkatkan kualitas energi penggunaan antrasit dalam campuran briket juga bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada batubara konvensional. Briket yang dihasilkan lebih padat tidak mudah hancur dan memiliki nilai kalor yang relatif stabil. Hal ini mendukung efisiensi pemanfaatan antrasit sebagai sumber energi padat.

Dengan berbagai keunggulannya, batubara antrasit menjadi pilihan penting dalam pengembangan briket sebagai energi alternatif. Karakteristik nilai kalor tinggi, kadar abu rendah, serta sifat pembakaran yang stabil menjadikannya bahan baku

utama yang ideal. Ketika dikombinasikan dengan biomassa seperti kotoran sapi serta perekat alami, briket yang dihasilkan berpotensi tidak hanya efisien tetapi juga ramah lingkungan. Oleh karena itu, penelitian mengenai variasi komposisi antrasit dan biomassa perlu terus dikembangkan guna menjawab tantangan kebutuhan energi berkelanjutan.

2.3 Pemanfaatan Limbah Kotoran Sapi

Sapi merupakan mamalia yang cukup banyak ditanakkan diseluruh wilayah Indonesia. Kotoran sapi dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi energi alternatif berupa biogas. Kotoran sapi juga dapat diupayakan untuk meminimalisir dampak lingkungan akibat limbah peternakan dan sebagai energi terbarukan yaitu briket (Fidela et al., 2024). Peternakan sapi merupakan salah satu usaha yang dikembangkan di Indonesia. Usaha ternak sapi tidak hanya dihasilkan hasil berupa daging dan susu, tetapi juga menimbulkan limbah yang dihasilkan oleh aktivitas peternakan, seperti kotoran feses, urin, sisa pakan serta air dari pembersihan tempat ternak. Limbah yang dihasilkan dari aktivitas ternak sapi yaitu mampu mempunyai potensi untuk dikembangkan menjadi berbagai macam produk yang bermanfaat. Contoh yang sederhana adalah memanfaatkan limbah peternak atau kotoran sapi dapat menjadi sumber energi dengan membuat biogas dan briket. Dengan adanya potensi ini dan ketersediaan bahan baku maka pengolahan limbah dipandang perlu untuk peningkatan kapasitas produksi dan lingkungan sekitar kandang sapi (Ktt et al., 2023).



Gambar 2. Limbah kotoran sapi (Kusumawati et al., 2025)

Kotoran sapi merupakan limbah dari hasil peternakan yang bersifat basah, dimana proses pembuangannya sering bercampur dengan urin dan air mandi dari hewan ternak tersebut. Kandungan unsur hara dalam kotoran sapi bervariasi tergantung pada keadaan produktivitas sapi seperti sapi perah, sapi potong, jenis pakan dan jumlah pakan. Namun, komposisi unsur hara yang terbesar adalah selulosa (Haryanto et al., 2023). Unsur penyusun yang terdapat pada kotoran sapi dapat terlihat sebagai berikut.

Tabel 5. Unsur organik kotoran sapi (Zhu et al., 2019)

No	Unsur	Simbol	Persentase (%)
1.	Karbon	C	66,11
2.	Hidrogen	H	5,15
3.	Oksigen	O	25,95
4.	Nitrogen	N	1,88
5.	Sulfur	S	0,91

Berdasarkan **Tabel 5.** hasil penelitian (Zhu et al., 2019), unsur organik penyusun kotoran sapi terdiri atas karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N) dan sulfur (S). Kandungan karbon terlihat nilai tertinggi yaitu 66,11% yang terlihat bahwa kotoran sapi memiliki potensi energi cukup tinggi karena kandungan karbon merupakan komponen utama dalam pembentukan senyawa organik dan sumber bahan bakar. Unsur hidrogen memiliki kadar 5,15%, oksigen 25,95%, nitrogen 1,88% dan sulfur 0,91%. Total keseluruhan unsur organik mencapai 100%. Kandungan oksigen yang cukup tinggi terlihat adanya senyawa organik kompleks

seperti karbohidrat, protein dan lemak dari sisa pencernaan hewan herbivora. Kehadiran unsur nitrogen juga penting karena berasal dari senyawa protein dan amonia, sedangkan sulfur terdapat dalam jumlah kecil dan berasal dari sisa metabolisme pakan.

Secara umum, kotoran sapi banyak ditemukan di daerah pedesaan dan selama ini sering dimanfaatkan sebagai pupuk kandang untuk menyuburkan tanaman karena terkandung unsur hara yang baik bagi tanah. Namun, jika dibiarkan menumpuk, kotoran sapi dapat menimbulkan bau tidak sedap dan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, kotoran sapi kini dimanfaatkan sebagai bahan substrat energi terbarukan melalui proses pembuatan biogas dan briket bioenergi. Kandungan karbon dan hidrogen yang cukup tinggi pada kotoran sapi mendukung pembentukan gas metana saat proses fermentasi, sedangkan kadar oksigen dan nitrogen diberikan kontribusi terhadap kestabilan proses biologis dalam penguraian bahan organik tersebut (Zhu et al., 2019).

Kotoran hewan ternak khususnya kotoran sapi yang banyak di daerah pedesaan, selama ini hanya dimanfaatkan sebagai pupuk kandang untuk menyuburkan tanaman petani dan meninggalkan bau yang tidak sedap bila terlalu banyak kotoran sapi yang tertumpuk pada kandang. Kotoran sapi adalah substrat yang dianggap paling cocok sebagai sumber pembuat gas bio karena gas metan yang terdapat dalam perut hewan mamalia herbivora. Keberadaan bakteri di dalam usus besar hewan mamalia herbivora tersebut membantu proses fermentasi sehingga proses pembentukan gas bio pada tangki pencernaan dapat dilakukan dengan keadaan lebih cepat. Namun demikian, bila kotoran tersebut akan langsung diproses dalam tangki pencernaan yang perlu dilakukan yaitu pembersihan terlebih dahulu (Sugiono et al., 2023).

Kotoran sapi merupakan salah satu limbah peternakan yang jumlahnya cukup melimpah di Indonesia. Pemanfaatan kotoran sapi biasanya hanya terbatas pada pupuk organik. Dengan berkembangnya teknologi energi alternatif kotoran sapi juga dimanfaatkan sebagai bahan briket. Penelitian oleh (Dwi Irawan, 2016) terlihat bahwa kombinasi batubara dengan kotoran sapi dihasilkan briket biokoal yang

memiliki nilai kalor cukup tinggi, meskipun lebih rendah dibandingkan dengan batubara murni. Namun demikian, campuran ini lebih ramah lingkungan karena mampu menekan emisi gas buang. Dari kotoran sapi didapatkan hasil uji proksimat yang sesuai dari penelitian (Zhu et al., 2019) dapat terlihat sebagai berikut.

Tabel 6. Hasil uji proksimat kotoran sapi (Zhu et al., 2019)

No	Parameter	Uji Proksimat (%)
1.	<i>Moisture</i> (M)	8,25
2.	<i>Volatile matter</i> (V)	42,23
3.	<i>Ash</i> (A)	6,20
4.	<i>Fixed Carbon</i> (FC)	43,32

Pada **Tabel 6.** terlihat hasil uji proksimat pada kotoran sapi, yang meliputi kandungan *moisture* (M) sebesar 8,25%, *volatile matter* (V) sebesar 42,23%, *ash* (A) sebesar 6,20% dan *fixed carbon* (FC) sebesar 43,32%. Nilai *volatile matter* yang cukup tinggi terlihat bahwa kotoran sapi terkandung banyak zat mudah menguap seperti senyawa organik ringan yang dapat terbakar pada suhu rendah. Kandungan *fixed carbon* yang tinggi terlihat adanya potensi energi yang baik setelah proses pembakaran berlangsung, sementara kadar abu yang relatif rendah terlihat bahwa residu mineral setelah pembakaran tidak terlalu banyak. Kadar air yang rendah (8,25%) terlihat bahan ini cukup kering dan siap digunakan dalam proses pembuatan briket tanpa perlu pengeringan tambahan yang berlebihan (Zhu et al., 2019).

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa berdasarkan (Zhu et al., 2019) kotoran sapi memiliki komposisi unsur organik dan karakteristik proksimat yang mendukung penggunaannya sebagai bahan baku alternatif energi biomassa. Kandungan karbon (*fixed carbon*) yang tinggi menjadikannya berpotensi sebagai sumber bahan bakar padat (briket), sedangkan kadar air dan abu yang rendah mendukung kualitas pembakaran yang lebih efisien serta dihasilkan residu yang sedikit.

2.4 Perekat Tapioka dan *Molasses*

Perekat berfungsi sebagai bahan pengikat partikel-partikel biomassa agar briket yang dihasilkan memiliki bentuk yang kompak dan tidak mudah hancur. Perekat yang digunakan pada pembuatan briket umumnya berasal dari bahan alami, seperti tapioka dan *molasses*. Tapioka digunakan sebagai bahan perekat dalam pembuatan briket limbah kotoran sapi. Fungsi dari perekat tapioka adalah untuk menyatukan partikel-partikel kotoran sapi kering agar lebih padat, mudah untuk dicetak dan tidak mudah hancur. Dalam penelitian ini, perekat tapioka dicamourke dalam berbagai komposisi, yaitu 1%, 3%, 5% dan 7% terhadap total bahan yang digunakan. Proses pencampuran dilakukan dengan cara memasak larutan tapioka hingga terbentuk gel atau lem yang kemudian dicampurkan kedalam komposisi sebelum dicetak menjadi briket. Semakin banyak perekat tapioka yang ditambahkan kadar air dalam briket meningkat. Kadar air yang tinggi akan mengurangi efisiensi pembakaran, karena sebagian energi panas digunakan untuk menguapkan air. Perekat tapioka terbukti efektif digunakan dalam pembuatan briket, meskipun dalam jumlah sedikit. Fungsi utama perekat tapioka ini bukan sebagai sumber energi, melainkan sebagai bahan pengikat agar briket lebih kokoh. Penambahan dalam jumlah sedikit sudah cukup untuk diperkuat briket, sementara menambah jumlah banyak atau berlebihan akan menurunkan kualitas energi pada briket (Suharto et al., 2018). Unsur penyusun tapioka dapat terlihat pada **Tabel 7.** sebagai berikut.

Tabel 7. Unsur mineral tapioka (Javadian et al., 2021)

No	Komposisi Tapioka	Simbol	Persentase (%)
1.	Karbon	C	44,4
2.	Hidrogen	H	6,2
3.	Oksigen	O	49,4

Tapioka merupakan pati yang diekstrak dari umbi singkong (*Manihot esculenta*) dan banyak digunakan sebagai bahan perekat alami pada pembuatan briket karena sifat kimianya yang khas. Berdasarkan **Tabel 7.** hasil penelitian dari (Javadian et al., 2021) tapioka terkandung tiga unsur utama yaitu karbon sebesar 44,4%, hidrogen sebesar 6,2% dan oksigen sebesar 49,4%. Kandungan unsur tersebut

mencerminkan bahwa tapioka tersusun atas senyawa karbohidrat $(C_6H_{10}O_5)_n$ yang didominasi oleh dua komponen utama, yaitu amilosa dan amilopektin.

Amilosa merupakan rantai lurus dari unit glukosa yang memiliki kemampuan terbentuk gel saat dipanaskan dengan air, sedangkan amilopektin berbentuk bercabang dan diberikan sifat lengket serta elastis. Kombinasi keduanya membuat tapioka memiliki daya rekat yang tinggi dan stabilitas yang baik setelah proses pengeringan (DEA, 2012). Dalam pembuatan briket sifat lengket ini sangat penting karena membantu partikel karbon (misalnya dari batubara atau bahan biomassa) menyatu terbentuk struktur briket yang padat dan tidak mudah rapuh.

Selain itu, kandungan karbon yang cukup tinggi pada tapioka juga diberikan kontribusi terhadap peningkatan nilai kalor briket, meskipun tidak sebesar bahan bakar utama seperti batubara. Namun, kandungan oksigen yang tinggi pada tapioka berpotensi diturunkan nilai kalor karena oksigen merupakan unsur oksidatif yang tidak dihasilkan energi tambahan saat pembakaran. Meski demikian, hal ini justru membantu dipercepat proses penyalaan briket sehingga briket mudah terbakar pada awal pembakaran (Javadian et al., 2021).

Secara keseluruhan, karakteristik kimia dan fisik dari tapioka menjadikannya bahan perekat alami yang ideal karena ramah lingkungan, mudah didapat, murah dan mampu ditingkatkan kekuatan mekanik briket. Dengan kandungan unsur karbon, hidrogen dan oksigen yang seimbang, tapioka tidak hanya berfungsi sebagai pengikat partikel tetapi juga diberikan kontribusi terhadap performa pembakaran briket.

Molasses digunakan sebagai bahan perekat alami pada pembuatan briket. *Molasses* dipilih sebagai perekat dikarenakan sifatnya lengket dan mampu menyatukan partikel karbon menjadi satu kesatuan briket. *Molasses* berperan sebagai memperbaiki kekuatan fisik briket agar tidak mudah pecah saat pengeringan maupun pembakaran. Dalam penelitian ini, tanpa *molasses* briket cenderung rapuh. Dengan penambahan perekat *molasses*, briket menjadi lebih padat meskipun masih ditemukan kelemahan dari segi sifat kimia, seperti kadar air dan kadar abu. Penggunaan perekat *molasses* sebagai perekat dalam penelitian terbukti dapat

mencetak briket yang lebih kokoh. Namun, perekat *molasses* memiliki kelemahan adalah kadar air dan kadar abu yang cukup tinggi serta nilai kalor yang belum terpenuhi standar mutu SNI (Ulma et al., 2021). Unsur penyusun *molasses* dapat terlihat pada **Tabel 8.** sebagai berikut.

Tabel 8. Unsur mineral *molasses* (Teclu et al., 2009)

No	Komposisi <i>Molasses</i>	Simbol	Persentase (%)
1.	Karbon	C	42,5
2.	Hidrogen	H	6,5
3.	Oksigen	O	51,0

Molasses merupakan cairan kental berwarna gelap yang merupakan hasil samping dari proses kristalisasi gula tebu. Berdasarkan penelitian (Teclu et al., 2009) dapat terlihat pada **Tabel 8.** komposisi utama unsur mineral dalam *molasses* adalah karbon (42,5%), hidrogen (6,5%) dan oksigen (51,0%). Kandungan karbon dalam *molasses* sangat penting karena berperan sebagai sumber energi utama dan dipengaruhi nilai kalor jika digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Hidrogen dalam jumlah sedang berkontribusi pada proses pembakaran sedangkan kadar oksigen yang cukup tinggi terlihat bahwa *molasses* memiliki kandungan air tinggi yang dapat dipengaruhi efisiensi pembakaran dan nilai kalor suatu produk berbasis *molasses*. Dengan mengetahui susunan unsur utama ini, para peneliti dan industri dapat mempertimbangkan karakteristik kimia *molasses* untuk berbagai aplikasi, termasuk sebagai bahan perekat dalam pembuatan briket biomassa dan bahan baku fermentasi industri.

2.5 Briket sebagai Bahan Bakar Alternatif

Briket biomassa merupakan hasil dari proses densifikasi material organik seperti residu pertanian, peternakan, limbah industri, maupun kotoran hewan. Biomassa pada umumnya berbentuk longgar dengan densitas energi rendah, sehingga sulit ditangani dan kurang efisiensi sebagai bahan bakar langsung. Melalui proses pemadatan, biomassa diubah menjadi briket dengan bentuk silinder, kubus, atau persegi panjang yang lebih mudah dalam penyimpanan dan penggunaan.

Penambahan perekat sering dilakukan untuk ditingkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan briket. Briket biomassa berperan penting dalam energi terbarukan karena mampu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, menekan emisi serta memanfaatkan limbah organik yang melimpah. Selain itu, briket biomassa memiliki sifat pembakaran yang baik dan dapat digunakan untuk kebutuhan rumah tangga maupun industri (Liu et al., 2018).

Briket adalah bahan bakar padat yang dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif yang mempunyai bentuk tertentu. Kandungan air pada pembriketan antara (10 – 20)% berat. Ukuran briket bervariasi dari (20 – 100) gram. Pemilihan proses pembriketan harus mengacu pada pemasaran agar dicapai nilai jual dan ekonomisnya. Pembriketan juga bertujuan untuk memperoleh suatu bahan bakar berkualitas yang dapat digunakan untuk sumber energi pengganti. Faktor-faktor yang dipengaruhi sifat briket arang yaitu, jenis bahan bakar atau berat jenis serbuk, kehalusan, suhu karbonisasi dan tekanan pada saat melakukan pencetakan. Briket yang baik adalah briket yang permukaannya halus dan tidak meninggalkan bekas hitam pada tangan (Dharma, 2013). Briket merupakan bahan bakar padat yang dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif yang memiliki bentuk tertentu. Briket dapat dibuat dari bahan apa saja asalkan dapat diarangkan. Namun, bahan yang paling baik untuk menjadi briket adalah bahan yang memiliki nilai kalor tinggi dan kadar air yang rendah. Manfaat briket dalam kehidupan sehari-hari adalah untuk mengurangi ketergantungan pemakaian pada gas elpiji dan minyak tanah. Untuk membuat briket yang kuat dan tidak mudah pecah dibutuhkan tekanan yang tinggi agar kualitas briket lebih baik (Wijianti et al., 2017).

Briket adalah salah satu cara yang digunakan untuk merubah sumber energi biomassa ke bentuk biomassa lain dengan cara dipadatkan sehingga bentuknya menjadi lebih teratur. Briket yang terkenal adalah bariket yang terbuat dari batubara namun tidak hanya batubara yang bisa dibuat menjadi briket. Contoh biomassa lain yang dibuat menjadi briket adalah sekam, arang sekam, serbuk gergaji, serbuk kayu, kotoran hewan dan limbah-limbah biomassa lainnya. Pembuatan briket tidak terlalu sulit, alat yang digunakan juga tidak rumit (Parinduri & Parinduri, 2020).

Produksi briket memiliki potensi untuk menciptakan peluang kerja baru bagi masyarakat setempat yang dapat terlibat aktif dalam berbagai aktivitas, mulai dari pengumpulan bahan baku hingga pemasaran dan penjualan produk briket. Keterlibatan ini tidak hanya diberikan kesempatan untuk memperoleh penghasilan, tetapi juga membantu mengurangi tingkat pengangguran di daerah pedesaan, sekaligus untuk ditingkatkan keterampilan dan pengetahuan masyarakat dalam bidang produksi dan bisnis. Dengan belajar dan berlatih pada pembuatan briket, mereka dapat mengembangkan kemampuan yang dapat bermanfaat untuk usaha lain di masa yang akan datang, sehingga pada inisiatif ini diberikan manfaat ekonomi yang penting dan berkontribusi pada pengembangan sumber daya manusia yang lebih baik (Tamrin et al., 2024).

Bio-briket adalah salah satu alternatif bahan bakar yang dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar minyak. Sebagai sumber energi biomassa, arang briket bersifat *biodegradable* dan ramah lingkungan. Bahan dasar untuk pembuatan arang briket berasal dari berbagai limbah pertanian, perkebunan dan rumah tangga. Bio-briket memiliki beberapa manfaat, seperti dapat menghemat cadangan bahan bakar fosil yang semakin menipis dan tidak terkandung bahan kimia berbahaya yang dapat dihasilkan gas yang beracun. Bio-briket berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca dan mendukung upaya pengurangan perubahan iklim. Penggunaan briket juga dapat ditingkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya energi terbarukan dan praktik ramah lingkungan. Kualitas karbon briket bervariasi dengan banyak briket memiliki kandungan karbon yang rendah membuat penggunaan briket kurang berkelanjutan dan efisien seiring waktu. Sementara itu, briket arang umumnya memiliki kandungan karbon lebih tinggi (Nurdiansyah et al., 2024).

Briket adalah bahan bakar padat yang dibuat dari pemampatan partikel biomassa maupun batubara dengan atau tanpa perekat. Tujuan utama pembuatan briket adalah ditingkatkan densitas energi dan mempermudah transportasi serta penyimpanan. Briket adalah bahan bakar yang memiliki potensial dan dapat diandalkan untuk rumah tangga. Briket juga mampu menyuplai energi dalam jangka panjang. Briket dapat didefinisikan sebagai bahan bakar yang berwujud padat dan berasal dari sisa-

sisanya bahan organik yang mengalami proses pemberian tekanan yang tinggi dengan daya tekan tertentu. Briket juga dapat digunakan sebagai pengganti penggunaan kayu bakar yang mulai meningkat konsumsinya sehingga dapat berpotensi merusak ekologi hutan (Masyruroh & Rahmawati, 2022).

2.6 Uji *Proximate*

Uji proksimat adalah metode analisis standar yang digunakan untuk mengetahui komposisi dasar bahan bakar padat seperti batubara, biomassa dan briket. Analisis *proximate* dilakukan untuk menentukan kadar air (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), kadar abu (*ash*) dan karbon padat (*fixed carbon*). Analisis *proximate* terlihat bahwa persen berat dari *fixed carbon*, bahan mudah menguap, abu dan bahan yang mudah menguap secara langsung yang berperan terhadap nilai panas batubara. Kandungan bahan yang mudah menguap yang tinggi terlihat bahwa mudahnya pada penyalaan bahan bakar. Kadar abu merupakan hal penting dalam perancangan *grate* tungku, volum pembakaran, peralatan dalam kendali populasi dan sistem *handling* abu pada tungku. *Fixed carbon* bertindak sebagai pembangkit utama panas selama proses pembakaran. Untuk menentukan kualitas batubara dapat dilakukan dengan analisa kimia pada batubara yang diantaranya berupa analisis *proximate* dan analisis ultimat (Sepfitrah, 2016).

Uji *proximate* adalah metode analisis dasar untuk menilai kualitas batubara melalui pengukuran kadar air (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), kadar abu (*ash*) dan zat padat (*fixed carbon*). Uji ini yang bertujuan untuk mengetahui komposisi pembakaran batubara sehingga dapat memperkirakan nilai kalor, efisiensi pembakaran serta potensi masalah seperti pada pembentukan abu atau kecenderungan pada proses batubara yang terbakar dengan sendirinya akibat terjadinya reaksi oksidasi. Kualitas pada batubara terbaik ditunjukkan oleh kadar air dan abu yang rendah. *Volatile matter* seimbang serta nilai *fixed carbon* yang tinggi. Karena pada kondisi tersebut dapat dihasilkan nilai kalor yang lebih besar dan efisiensi pada proses pembakaran yang lebih baik (Kurniawan et al., 2020).

2.6.1 *Moisture Content (Kadar Air)*

Kadar air merupakan salah satu parameter dalam menentukan kualitas briket arang. Semakin tinggi kadar air akan menyebabkan kualitas briket arang menurun karena jumlah nilai kalor digunakan untuk penguapan air, diturunkan titik nyala serta memperlambat proses pembakaran dan menambah volume gas buang. Hasil kadar air yang sesuai dengan nilai standar mutu SNI 01-6235-2000 tentang briket arang, kadar air yang dihasilkan maksimal 8% (Jaswella et al., 2022).

Cara penentuan kadar air yaitu dengan krus kosong terlebih dahulu ditentukan bobot kosongnya di dalam oven selama 30 menit pada suhu 105°C dan didinginkan dalam eksikator hingga bobotnya konstan. Kemudian sampel briket dimasukkan ke krus sebanyak 1 buah (± 7 gram). Sampel dimasukkan ke dalam oven yang telah diatur suhunya sebesar 105°C selama 6 jam. Krus dikeluarkan dari oven dan didinginkan dalam eksikator kemudian ditimbang hingga bobotnya tetap (Maryono et al., 2013). Kadar air dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Kadar air (MC\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

a = bobot cawan kosong + bobot sampel sebelum pemanasan (gram)

b = bobot cawan kosong + bobot sampel setelah pemanasan (gram).

Kandungan air adalah kandungan yang ada pada bahan bakar padat. Kandungan air dapat dipengaruhi penyalaan dan temperature pembakaran. Kandungan air yang tinggi dapat mempersulit penyalaan dan diturunkan suhu saat pembakaran. Kandungan air yang rendah memudahkan pengapian dan ditingkatkan suhu pada saat pembakaran. Kelembaban pada bahan bakar datang dalam dua bentuk, yaitu air bebas dan terikat. Air bebas yang mengisi pori-pori bahan bakar. Ruang permukaan struktur bahan bakar dapat menampung air terikat. Kadar air yang dihasilkan dapat menentukan kualitas pada briket. Semakin rendah kadar air yang ada, maka semakin tinggi nilai kalornya (Rahmanita, 2024). Perhitungan kadar air dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut ini.

$$Kadar\ air\ (MC\%) = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

a = berat sebelum dikeringkan atau berat awal (g)

b = berat setelah dikeringkan atau berat akhir (g).

2.6.2 *Volatile matter* (Zat Terbang)

Volatile matter atau kadar zat terbang berpengaruh terhadap pembakaran briket. Banyak zat terbang yang terkandung dalam briket membuat briket semakin mudah terbakar dan menyala pada saat pembakaran. *Volatile matter* adalah zat yang dapat menguap sebagai hasil perubahan komposisi senyawa-senyawa yang masih ada dalam kandungan briket selain air. Tingginya kadar zat terbang yang berada didalam briket akan menyebabkan briket memiliki banyak asap saat briket dinyatakan. Kandungan zat terbang yang tinggi mempunyai beberapa keuntungan diantaranya, pada penyalan dan pembakaran yang lebih mudah. Selain keuntungan pada kadar zat terbang memiliki kelemahan yaitu kadar karbon terikat yang rendah. Sifat pembakaran dapat ditentukan oleh kadar zat terbang, semakin tinggi kadar zat terbang maka semakin mudah pula bahan baku untuk menyala dan terbakar. Dengan demikian, laju pembakaran akan semakin cepat (Rahmanita, 2024).

Cara penentuan kadar zat terbang atau yang hilang pada suhu 950°C briket yaitu cawan kosong beserta tutupnya terlebih dahulu dipijarkan di dalam tanur selama 30 menit dan didinginkan di dalam eksikator. Kemudian ditimbang dengan teliti sebanyak 1 gram sampel ke dalam cawan kosong tersebut. Cawan selanjutnya ditutup dan dimasukkan ke dalam tanur dengan suhu 950°C selama 7 menit. Penelitian kadar zat yang hilang pada suhu 950°C dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan (Maryono et al., 2013). Kadar zat yang hilang pada suhu 950°C dapat dihitung sesuai standar mutu SNI 06-3730-1995 dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Volatile\ matter\ (VM\%) = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

a = bobot sampel awal (gram)

b = bobot sampel setelah pemanasan (gram).

Menurut SNI 01-6235-2000 tentang briket arang, kadar zat terbang (*volatile matter*) merupakan salah satu parameter penting yang menentukan mutu dan karakteristik pembakaran briket. Zat terbang adalah fraksi bahan yang akan menguap pada saat briket dipanaskan tanpa kehadiran oksigendan terdiri dari senyawa organik volatil seperti gas, uap air serta senyawa karbon ringan. Dalam standar SNI tersebut, batas maksimum kadar zat terbang pada briket arang adalah $\leq 15\%$. Nilai ini ditetapkan agar briket memiliki keseimbangan antara kemudahan menyala dan efisiensi pembakaran. Jika kadar zat terbang terlalu tinggi briket akan dihasilkan asap berlebih dan pembakaran menjadi tidak sempurna, sedangkan jika terlalu rendah maka briket akan sulit menyala (Muhamadin et al., 2024).

2.6.3 *Ash Content (Kadar Abu)*

Abu adalah zat anorganik sebagai berat yang tinggal apabila briket dibakar secara sempurna. Briket dengan kandungan abu tinggi sangat tidak menguntungkan karena akan terbentuk kerak. Abu pada briket adalah sisa zat anorganik berupa seperti silica, kalsium, magnesium, kalium dan besi yang tertinggal setelah proses pembakaran berlangsung sempurna. Kandungan abu sangat dipengaruhi oleh jenis bahan baku yang digunakan dalam pembuatan briket, misalnya yang digunakan bahan batubara umumnya memiliki kadar abu lebih tinggi dibandingkan dengan biomassa. Sementara biomassa seperti kotoran sapi, sekam padi atau serbuk kayu juga menyumbang mineral alami yang dihasilkan abu (Allo et al., 2018).

Kadar abu merupakan indikator yang memiliki tujuan untuk mengetahui jumlah abu yang dihasilkan setelah pembakaran. Abu yang termasuk komponen tidak diinginkan pada pembakaran. Abu juga tidak dapat bereaksi dan terbakar sehingga hanya menumpuk atau terbang bersamaan dengan gas. Kadar abu yang tinggi akan terbentuk endapan atau kerak mineral pada proses pembakaran, sehingga mengakibatkan tungku kotor, korosi serta kualitas pembakaran menurun. Kadar abu

yang rendah akan dihasilkan bahan bakar yang berkualitas baik. Jika dibandingkan dengan nilai kadar abu SNI 01-6235-2000 yaitu 8% maka hal ini terlihat bahwa briket di sintesis jauh dari standar mutu briket yang ada di Indonesia (Afrianah et al., 2023).

Penentuan kadar abu pada penelitian (A et al., 2024) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Kadar abu (ASH\%)} = \frac{c-a}{b-a} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

a = massa cawan kosong (g)

b = massa cawan kosong + sampel (g)

c = massa cawan kosong + sampel setelah pemanasan (g).

2.6.4 *Fixed Carbon* (Kadar Karbon Terikat)

Kadar karbon terikat merupakan komponen yang apabila terbakar akan terbentuk gas. Kadar karbon terikat adalah kandungan karbon tetap yang terdapat pada briket berupa arang (*chur*). Dengan banyaknya kadar karbon tergantung pada kandungan selulosa dalam kayu. Kadar karbon terikat dalam briket dipengaruhi oleh karbon terikat yang akan semakin tinggi. Karena karbon adalah komponen penyusun selulosa. Tingginya pada nilai kalor juga disebabkan oleh besarnya kandungan nilai karbon terikat pada bahan baku (Rahmanita, 2024). *Fixed carbon* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Fixed carbon (FC\%)} = 100\% - (IM\% + VM\% + ASH\%) \quad (5)$$

Keterangan:

IM = kadar air

VM = *volatile matter*

ASH = kadar abu.

Tata cara penentuan kandungan karbon terikat mengacu pada nilai Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-6235-2000 tentang persyaratan mutu dan pengujian karbon. Karbon terikat adalah fraksi karbon yang terikat di dalam ruang selain fraksi air, zat menguap dan abu. Dengan memperkirakan hasil dari kadar zat menguap dengan kadar abu yang didapat dari setiap sampel sesuai dengan rumus karbon terikat. Pengujian kadar karbon terikat dilakukan untuk mengetahui pengaruh presentase bahan baku dalam setiap arang, karena nilainya tergantung pada kandungan abu dan kandungan *volatile matter* dari arang briket tersebut. Penentuan kadar karbon terikat mengacu pada standar nasional (SNI) 01-6235-2000 tentang persyaratan mutu dan pengujian karbon dengan nilai tidak lebih dari 77% (Wardana, 2022).

2.7 Karakterisasi

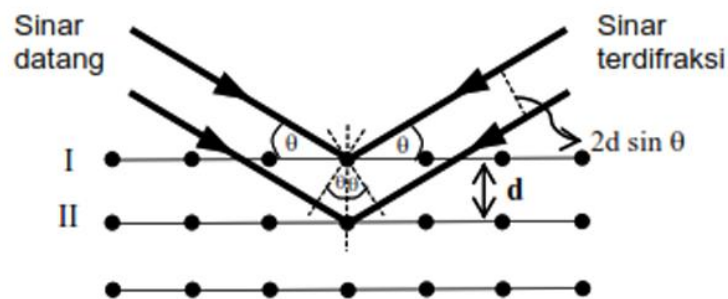
Sinar-X adalah radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang sekitar 1\AA , sebanding dengan ukuran atom. Sifat ini menjadikan sinar-X sangat efektif untuk menembus material dan berinteraksi langsung dengan susunan atomnya. Penemuan sinar-X memungkinkan ilmuwan meneliti struktur kristal pada tingkat atomik, sehingga sinar ini digunakan secara luas dalam ilmu material, kimia, fisika untuk mempelajari sifat dasar material. Dalam karakterisasi material, sinar-X dihasilkan pola difraksi ketika mengenai kisi kristal. Mayoritas sinar-X mengalami interferensi destruktif, namun pada sudut tertentu terjadi interferensi konstruktif yang terbentuk pola difraksi. Fenomena ini dapat dijelaskan melalui hukum Bragg yang menghubungkan panjang gelombang pada sinar-X, jarak antar bidang atom dan sudut datang. Pola difraksi ini menjadi “sidik jari” yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin suatu material. Pemanfaatan pada sinar-X tidak hanya terbatas pada identifikasi material tetapi juga pada analisis mendalam seperti ukuran kristalit, parameter kisi, kepadatan dan porositas. Dengan memanfaatkan interaksi sinar-X, para peneliti dapat menghubungkan sifat mikrostruktur dengan sifat makro material. Hal ini dapat membuat sinar-X menjadi alat penting untuk memahami bagaimana perubahan komposisi, substitusi ion atau perlakuan panas dipengaruhi sifat material (Ghatage & Kanitkar, 2019).

Dalam penelitian material maju, sinar-X digunakan sebagai alat utama untuk mempelajari sifat kristal suatu material. Difraksi sinar-X adalah metode non-destruktif yang mampu mengidentifikasi bentuk kristal dan struktur internal tanpa merusak sampel. Sinar-X memiliki panjang gelombang yang sesuai dengan jarak antar atom, sehingga sangat tepat untuk menganalisis kristalinitas, dimensi partikel, serta parameter kisi kristal. Prinsip kerja sinar-X dalam karakterisasi material didasarkan pada fenomena hamburan elastis. Saat sinar-X mengenai kisi periodik, gelombang yang dihasilkan dapat mengalami interferensi konstruktif sehingga terbentuk pola difraksi. Pola ini digunakan untuk membandingkan sampel dengan database standar internasional, seperti JCPDS atau ICDD sehingga material dapat diidentifikasi secara akurat. Hal ini yang sangat berguna untuk menentukan komposisi mineral, termasuk pada yang sulit dianalisis dengan metode lain. Terdapat kelebihan utama dari sinar-X adalah pada kemampuannya yang diberikan informasi mendalam tentang sifat kristalin suatu material dari berbagai bidang, mulai dari geologi, kimia, arkeologi hingga kedokteran (Muttaqin, 2023).

2.7.1 *X-Ray Diffraction (XRD)*

Difraksi sinar-X merupakan metode analisa yang memanfaatkan interaksi antara sinar-X dengan atom yang tersusun dalam sebuah sistem kristal. Untuk dapat memahami prinsip dari difraksi sinar-X dalam analisa kualitatif maupun kuantitatif. *X-Ray Diffraction* adalah alat karakterisasi yang digunakan untuk mengetahui senyawa kristal yang terbentuk. Teknik XRD dapat digunakan untuk menganalisis struktur kristal karena setiap unsur atau senyawa memiliki pola tertentu. Apabila dalam analisis ini pada pola difraksi unsur diketahui, maka unsur tersebut dapat ditentukan. Metode difraksi sinar-X merupakan metode analisis kualitatif yang sangat penting karena kristalinitas dari material pola difraksi serbuk yang karakteristik. Oleh karena itu, metode ini disebut juga dengan metode sidik jari serbuk (*powder fingerprint method*). Penyebab utama yang dihasilkan bentuk pola-pola difraksi serbuk tersebut, yaitu ukuran dan bentuk dari setiap selnya serta nomor atom dan posisi atom-atom di dalam sel (Chen, 2016).

Difraksi sinar-X oleh atom-atom yang tersusun di dalam kristal akan dihasilkan pola yang berbeda tergantung pada konfigurasi yang dibentuk oleh atom-atom dalam kristal. Prinsip XRD yaitu didasarkan pada difraksi sinar-X, hamburan cahaya dengan panjang gelombang λ saat melewati kisi Kristal dengan sudut datang θ dan jarak antar bidang kristal sebesar d ditunjukkan pada **Gambar 3**. Data yang diperoleh dari metode karakterisasi XRD adalah sudut hamburan (sudut Bragg) dan intensitas. Berdasarkan teori difraksi, sedangkan intensitas cahaya difraksi bergantung dari beberapa banyak kisi kristal yang memiliki orientasi yang sama.



Gambar 3. Skema difraksi sinar-X (Alfarisa et al., 2018)

Ada tiga informasi yang perlu diperhatikan untuk mengidentifikasi fase-fase dalam suatu bahan yakni posisi sudut difraksi maksimum, intensitas puncak dan distribusi intensitas sebagai fungsi dari sudut difraksi. Puncak-puncak pola difraksi sinar-X berhubungan dengan jarak antar bidang. Syarat terjadinya difraksi harus terpenuhi Hukum *Bragg*.

$$2d \sin \theta = n \lambda \quad (1)$$

dengan :

d = jarak antar bidang dalam kristal

θ = sudut difraksi

n = orde difraksi (0,1,2,3,...)

λ = panjang gelombang

Jika atom-atom tersusun dengan periodik dalam kristal, gelombang terdifraksi akan terdoro dari interferensi maksimum tajam (*peak*) (Chen, 2016).

2.7.2 *X-Ray Fluorescence (XRF)*

X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan salah satu metode karakterisasi material yang digunakan untuk mengetahui komposisi untus dalam suatu sampel. Teknik ini bekerja dengan memanfaatkan interaksi sinar-X dengan atom dalam material, sehingga dapat mendeteksi unsur-unsur penyusun dalam bentuk oksida maupun unsur murni. Prinsip kerja XRF didasarkan pada fenomena *fluerosence* sinar-X. Ketika sinar-X mengenai atom maka elektron dari kulit dalam akan tereksitasi dan digantikan oleh elektron dari kulit luar. Proses transisi ini dihasilkan pancaran sinar-X sekunder dengan energi spesifik yang kemudian diukur untuk mengidentifikasi unsur yang tergantung dalam sampel. XRF umumnya diguinakan untuk menganalisis kualitatif maupun kuantitatif. Keunggulan utama metode XRF adalah kemampuannya dalam menganalisis berbagai jenis sampel, baik padat maupun bubuk yang tanpa memerlukan persiapan yang rumit. Dalam konteks penelitian material energi maupun briket biomassa-batubara, XRF sangat penting karena mampu terlihat kandungan oksida seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO dan K_2O . Unsur-unsur tersebut yang dipengaruhi kualitas pembakaran, nilai kalor, serta sifat mekanik briket. Hasil XRF biasanya ditampilkan dalam bentuk tabel yang terlihat perseb berat masing-masing senyawa oksida. XRF sering dipadukan dengan metode karakterisasi lain seperti XRD, FTIR dan SEM untuk diberikan gambaran komprehensif mengenai struktur Kristal, gugus fungsi serta morfologi sampel (Fluorescence, 2021).

Perkembangan XRF modern ditandai dengan hadirnya pemindai inti, seperti AVAATECH dan ITRAX yang mampu melakukan analisis resolusi tinggi hingga skala milimetrik. Alat ini dapat mengukur elemen dari Aluminium ($Z=13$) hingga Uranium ($Z=92$) dengan sensitivitas deteksi hingga beberapa ppm, tergantung pada waktu akuisisi dan kondisi pengukuran. Dalam penelitian sedimen laut dan danau, XRF digunakan untuk merekam perubahan iklim, peristiwa geologi (banjir, tsunami, letusan gunung berapi) hingga aktivitas antropogenik seperti polusi.

Unsur-unsur tertentu seperti Fe, Ti, Ca dan Sr digunakan sebagai proksi untuk mengetahui proses pelapukan, produktivitas biologis, hingga kondisi redoks lingkungan. Data XRF juga berguna dalam studi kemostratigrafi, yaitu stratigrafi berbasis komposisi kimia. Variasi geokimia dalam lapisan sedimen bisa dijadikan penanda korelasi antar inti atau catatan lingkungan. Sebagai contoh, lapisan turbidit dapat diidentifikasi dari perbedaan konsentrasi unsur-unsur tertentu sehingga asal dan mekanisme pembentukannya dapat ditentukan.

Dalam bidang forensik, XRF terbukti mampu merekam polusi antropogenik. Misalnya, penelitian di Augusta Bay, Italia menggunakan pemindai inti ITRAX berhasil terlihat jejak pencemaran merkuri akibat aktivitas industri sejak tahun 1950-an. Data XRF ini kemudian divalidasi dengan WD-XRF konvensional dan hasilnya konsisten ditegaskan keandalan metode ini. Optimasi pengaturan instrumen, seperti pemilihan tabung sinar-X (Mo, Cr, Rh, atau Cu), arus, tegangan serta waktu hitung sangat menentukan kualitas hasil XRF. Normalisasi dengan radiasi hamburan Compton juga sering dipakai untuk mengurangi pengaruh eksternal, terutama pada sedimen dengan kadar air tinggi. Meski demikian, XRF juga memiliki keterbatasan. Kualitas data bisa dipengaruhi oleh faktor fisik sampel, seperti kadar air, ukuran butir, heterogenitas sedimen hingga kondisi penyimpanan inti. Oleh karena itu, penelitian-penelitian mutakhir juga membahas strategi kalibrasi, normalisasi data serta penggunaan rasio log elemen untuk ditingkatkan validitas hasil (Fluorescence, 2021).

2.7.3 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) adalah suatu teknik analisis spektroskopi yang memanfaatkan sinar inframerah untuk mempelajari struktur molekul suatu sampel. Prinsip dasarnya adalah setiap molekul akan menyerap radiasi inframerah pada panjang gelombang tertentu sesuai dengan jenis ikatan kimia dan gugus fungsional yang dimilikinya. Ketika sinar inframerah mengenai sampel, ikatan-ikatan dalam molekul akan bergetar (vibrasi) baik berupa regangan (stretching) maupun tekukan (bending). Hasil interaksi ini dihasilkan spektrum FTIR yang berupa grafik absorbansi terhadap bilangan gelombang (cm^{-1}).

Spektrum tersebut merupakan “sidik jari” kimia yang unik untuk setiap bahan. Keunggulan FTIR adalah analisisnya cepat, akurat, non-destruktif (tidak merusak sampel) dan mampu mendeteksi berbagai gugus fungsi dalam bahan organik maupun anorganik. Karena sifatnya yang detail, FTIR banyak digunakan untuk identifikasi, autentikasi, kontrol kualitas hingga deteksi kontaminasi dalam berbagai bidang seperti pangan, farmasi, kimia dan kesehatan (Sari et al., 2023)

FTIR bekerja dengan memancarkan sinar inframerah ke sampel. Sinar ini akan melewati interferometer yang dihasilkan interferogram, kemudian melalui proses *Fourier Transform* sinyal tersebut diubah menjadi spektrum inframerah. Spektrum yang dihasilkan menampilkan puncak-puncak pada bilangan gelombang tertentu, di mana setiap puncak mewakili gugus fungsi tertentu. Misalnya:

3700–3000 cm^{-1} → regangan O-H atau N-H.

2900–2800 cm^{-1} → regangan C-H alifatik.

1700–1600 cm^{-1} → regangan C=O atau C=C.

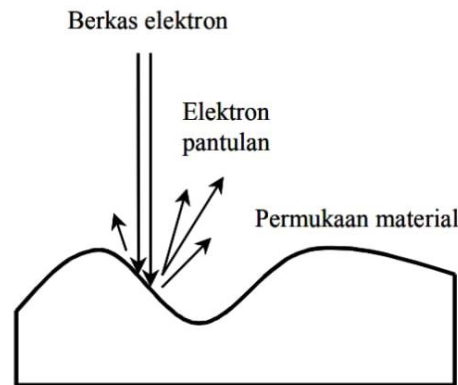
1200–1000 cm^{-1} → ikatan C-O atau C-N.

Dengan pola serapan tersebut, FTIR dapat digunakan untuk menilai kandungan senyawa, memverifikasi keaslian hingga membedakan bahan yang tampak serupa secara fisik (Sari et al., 2023).

2.7.4 *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan profil permukaan benda. Prinsip kerja SEM adalah dapat menembakkan permukaan benda dengan berkas elektron berenergi tinggi seperti diilustrasikan pada **Gambar 4**. Permukaan benda yang dikenai oleh berkas akan memantulkan kembali ke berkas tersebut atau dihasilkan elektron sekunder ke segala arah. Detektor di dalam SEM dapat mendeteksi elektron yang dipantulkan dan menentukan lokasi berkas yang di pantulkan dengan intensitas tertinggi. Arah tersebut memberi informasi profil

permukaan benda seperti seberapa landai dan kemana arah kemiringan (Abdullah & Khairurrijal, 2009).



Gambar 4. SEM berkas elektron berenergi tinggi (Abdullah & Khairurrijal, 2009)

SEM memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada mikroskop optik. Hal ini disebabkan oleh panjang gelombang de Broglie yang dimiliki elektron lebih pendek daripada gelombang optik. Makin kecil panjang gelombang yang digunakan maka makin tinggi resolusi mikroskop. Panjang gelombang de Broglie elektron adalah $\lambda = h/p$, dengan h konstanta Plank dan p adalah momentum elektron. Momentum elektron dapat ditentukan dari energi kinetik melalui hubungan $K = p^2/2m$, dengan K energi kinetik elektron dan m adalah massanya. Dalam SEM, berkas elektron yang keluar dari filamen panas lalu dipercepat pada potensial tinggi V . Akibat dari percepatan tersebut akhirnya elektron memiliki energi kinetik $K = eV$. Dengan demikian kita dapat menulis momentum elektron sebagai $= \sqrt{2meV}$ dan panjang gelombang de Broglie $= h / \sqrt{2meV}$. Umumnya tegangan yang digunakan adalah puluhan kilovolt. Sebagai ilustrasi, misalkan SEM dioperasikan pada tegangan 20 kV maka panjang gelombang de Broglie elektron sekitar 9×10^{-12} m. Syarat agar SEM dapat dihasilkan citra yang tajam adalah dengan permukaan benda harus bersifat sebagai pemantul elektron atau melepaskan elektron sekunder ketika ditembak dengan berkas elektron. Material yang memiliki sifat seperti itu adalah logam (Abdullah & Khairurrijal, 2009).

2.8 Pemanfaatan Biomassa Sebagai Bahan Bakar

Potensi biomassa di Indonesia yang bisa digunakan sebagai sumber energi jumlahnya sangat melimpah, potensi biomassa Indonesia sebesar 146,7 juta ton per tahun. Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain yaitu tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Selain dapat digunakan untuk bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi. Biomassa umum yang digunakan sebagai bahan bakar adalah yang memiliki nilai ekonomis rendah bisa juga limbah yang sudah diambil produk primernya. Prinsip dasar pada biomassa, tanaman akan menyerap energi dari matahari melalui proses fotosintesis dengan memanfaatkan air dan unsur hara dari dalam tanah serta CO_2 dari atmosfer yang akan dihasilkan bahan organik untuk diperkuat jaringan dan terbentuk daun, bunga dan buah. Pada saat biomassa diubah menjadi energi CO_2 akan dilepaskan ke atmosfer. Siklus CO_2 akan menjadi lebih pendek dibandingkan dengan yang dihasilkan dari pembakaran minyak bumi atau gas alam (Parinduri & Parinduri, 2020).

Biomassa sebagai energi yang dihasilkan dari transformasi bahan-bahan biologis memiliki peranan yang cukup besar bagi kehidupan. Namun, masih banyak masyarakat yang tidak mempedulikan energi biomassa karena sudah terbiasa menggunakan energi fosil (Adnan Zufar Haqiqi, 2024). Biomassa merupakan bahan-bahan organik dari jasad berupa limbah pertanian, tumbuh-tumbuhan dan hewan. Penggunaan biomassa sebagai energi alternatif sangat efektif sebagai pengganti energi fosil dalam rangka menciptakan energi yang ramah lingkungan. Biomassa juga dapat digunakan sebagai sumber energi untuk pengeringan. Biomassa dari limbah hewan seperti kotoran sapi dan kuda dapat digunakan sebagai energi alternatif untuk keperluan sehari-hari. Biomassa kotoran sapi dihasilkan kalor 4000 kal/g. biomassa juga efektif digunakan yaitu dengan melewati proses konversi energi (Suartika, 2017).

Biomassa merupakan sumber energi potensial yang dapat dikembangkan sebagai sumber energi alternatif pengganti dari bahan bakar fosil. Biomassa juga dapat

diubah menjadi briket arang yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi seperti untuk proses pengeringan. Briket arang atau bio-arang dapat dibuat dari arang biomassa berupa bahan yang dijadikan bahan baku briket maupun sisa atau limbah proses produksi (Rifdah et al., 2018). Biomassa merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan dalam terpenuhi kebutuhan energi global. Biomassa terdiri dari bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, termasuk pada limbah pertanian, sisa-sisa pengolahan industri dan material lainnya (Addriani & Razi, 2024).

2.9 Nilai Kalor

Pembakaran merupakan oksidasi yang dihasilkan panas dengan cepat dan terjadi terutama pada tahap gas, kecuali pembakaran karbon terikat pada tahap padat. Nilai kalor sangat penting dalam produksi briket karena untuk menentukan nilai panas yang dihasilkan oleh briket. Semakin tinggi nilai kalor yang dihasilkan, maka semakin tinggi pula kualitas briket yang dihasilkan. Semakin tinggi berat jenis bahan bakar, maka semakin besar pula nilai kalor yang dihasilkan (Rahmanita, 2024). Nilai kalor adalah jumlah energi panas maksimum yang ditimbulkan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna persatuan massa atau volume bahan bakar tersebut. Nilai kalor adalah energi panas yang dihasilkan melalui pembakaran sempurna dari briket. Faktor yang dipengaruhi nilai kalor ini dikarenakan tekanan semakin besar yang dapat menyebabkan nilai densitas dari briket semakin tinggi dan kadar air dari briket semakin berkurang dan transfer panas pada briket akan lebih cepat. Kerapatan dari briket akan dipengaruhi nilai kalor, semakin tinggi kerapatan dari briket maka semakin tinggi pula nilai kalor yang dihasilkan (Aljarwi et al., 2020).

Nilai kalor atas atau *highest heating value* (HHV) dan komposisi biomassa padat merupakan sifat penting yang dapat menentukan pada kandungan energi dan menentukan dalam penggunaan energi bersih dan efisiensi suatu bahan bakar. ada berbagai korelasi untuk memprediksi HHV umumnya dari analisis ultimat bahan bakar. Pada analisis *proximate* mengukur nilai HHV dan menghitung nilai HHV

estimasi yang sesuai dengan korelasi termodinamika yang ada biomassa padat (Hernowo et al., 2017).

Kalor adalah energi yang dipindahkan melintasi batas suatu sistem yang disebabkan oleh perbedaan temperatur antara suatu sistem dan lingkungannya. Nilai kalor pada bahan bakar dapat diketahui dengan menggunakan kalorimeter. Bahan bakar yang akan diuji pada nilai kalornya dibakar menggunakan kumparan kawat yang dialiri dengan arus listrik dalam bilik yang disebut dengan bom dan ditenamkan di dalam air. Bahan bakar yang bereaksi dengan oksigen akan dihasilkan kalor, hal ini yang menyebabkan suhu kalorimeter naik. Untuk menjaga agar panas yang dihasilkan dari reaksi bahan bakar dengan oksigen tidak dapat menyebar ke lingkungan luar muka kalorimeter yang dilapisi oleh bahan yang bersifat isolator (Ridhuan & Suranto, 2017).

Nilai kalor bahan bakar adalah jumlah energi panas maksimum yang dilepaskan saat suatu bahan bakar mengalami pembakaran sempurna. Nilai ini diukur per satuan massa atau volume bahan bakar. Analisis nilai kalor dilakukan untuk mendapatkan data energi panas yang dilepaskan melalui proses pembakaran. Terdapat dua jenis nilai kalor yaitu nilai kalor atas (NKA) dan nilai kalor bawah (NKB). Nilai kalor atas (NKA) adalah kalor yang dihasilkan dari pembakaran yang sempurna pada bahan bakar padat atau cair dalam satuan berat atau gas dalam satuan volume. Dalam pengukuran NKA, air yang dihasilkan dari proses pembakaran dapat diasumsikan mengembun dan kembali ke wujud cair. Sedangkan nilai kalor bawah (NKB) sama dengan NKA namun dikurangi kalor yang dibutuhkan oleh air. Air ini mencakup air yang sudah terkandung dalam bahan bakar dan air yang terbentuk dari proses pembakaran (Almu et al., 2014).

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-6235-2000 tentang briket arang spesifikasi mutu, nilai kalor merupakan salah satu parameter utama yang menentukan kualitas briket sebagai bahan bakar padat. Nilai kalor terlihat jumlah energi panas (dalam satuan kalori atau joule) yang dihasilkan dari pembakaran sempurna sejumlah tertentu bahan bakar. Dalam standar SNI tersebut, nilai kalor minimum yang disyaratkan untuk briket arang adalah 5000 kal/gram atau setara dengan 20,9 MJ/kg. Nilai ini digunakan sebagai acuan untuk memastikan bahwa

briket memiliki kapasitas energi yang cukup tinggi agar efisien digunakan sebagai sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil (Muhamadin et al., 2024).

Secara umum, nilai kalor yang tinggi terlihat kandungan karbon terikat (*fixed carbon*) yang besar dan kadar air serta zat terbang yang rendah. Briket dengan nilai kalor sesuai atau melebihi standar SNI umumnya memiliki proses karbonisasi yang baik dan struktur karbon yang padat. Sebaliknya, apabila nilai kalor rendah hal itu dapat disebabkan oleh masih tingginya kadar air, abu atau bahan organik yang tidak terkarbonisasi sempurna.

Dalam penelitian (Muhamadin et al., 2024) yang dianalisis menggunakan standar SNI ini, nilai kalor briket hasil campuran limbah organik dan non-organik tercatat sebesar 6.783,37 kal/gram, yang berarti melampaui batas minimum SNI 01-6235-2000 (≥ 5000 kal/gram). Nilai ini terlihat bahwa briket tersebut memiliki kualitas yang baik dan dapat digunakan secara efisien sebagai bahan bakar alternatif. Nilai kalor tinggi tersebut juga terlihat bahwa proses pirolisis atau karbonisasi bahan baku telah berhasil ditingkatkan kadar karbon tetap serta diturunkan kandungan air dan zat terbang.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan April 2025 sampai dengan Juni 2025 di Laboratorium Heat Treatment dan Laboratorium Non-Logam, Balai Pusat Riset Teknologi Pertambangan-BRIN Tanjung Bintang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari; oven, pengaduk, saringan 100 mesh, furnace, neraca analitik, timbangan digital, cetakan silinder ukuran diameter 2,52 cm tinggi 5 cm, cawan porselin, jepitan, mangkok, mortar, alu, desikator dan alat *press* yaitu *Universal Testing Machines (UTM) type* Krisbow. Alat karakterisasi yang digunakan terdiri dari; *X-Ray Fluorescence (XRF)*, *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Scanning Electron Microscope (SEM)* dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian kali ini sebagai berikut; batubara antrasit, kotoran sapi, air, tapioka dan *molasses*.

3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan diantaranya preparasi bahan, pembuatan sampel, uji proksimat dan uji kalor serta karakterisasi (XRD, XRF, FTIR dan SEM). Langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

3.3.1 Preparasi Bahan

Tahapan preparasi yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Bahan-bahan yang disiapkan adalah batubara antrasit, kotoran sapi, air, tapioka dan *molasses*.
2. Batubara antrasit dihaluskan dengan alat mortar dan alu, lalu setelah halus disaring menggunakan saringan 100 mesh.
3. Kotoran sapi dikeringkan di dalam oven selama 2 jam pada suhu 70°C.
4. Setelah kotoran sapi kering dihaluskan dengan alat mortar dan alu. Kemudian disaring menggunakan saringan 100 mesh.
5. Bahan-bahan ditimbang menggunakan timbangan digital (sesuai variasi komposisi pada **Tabel 9**).

Tabel 9. Komposisi briket batubara antrasit dan kotoran sapi

Nama Bahan	Komposisi Bahan (%)					
	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Antrasit	70	60	50	70	60	50
Kotoran sapi	20	30	40	20	30	40
Tapioka	10	10	10	-	-	-
(perekat)						
<i>Molasses</i>	-	-	-	10	10	10
(perekat)						

3.3.2 Pembuatan Briket Batubara Antrasit dan Kotoran Sapi

Tahapan pembuatan briket antrasit dan kotoran sapi adalah sebagai berikut:

1. Tapioka dan air dicampurkan ke dalam panci dan dipanaskan di atas kompor hingga mengental.
2. Batubara antrasit, kotoran sapi dan perekat dimasukkan ke dalam wadah mangkok sesuai variasi komposisi diaduk selama 5 menit hingga tercampur merata.
3. Cetakan briket di olesi dengan oli agar bahan yang dicetak tidak lengket saat dikeluarkan.
4. Campuran bahan briket dimasukkan ke dalam cetakan pipa berbentuk silinder dengan ukuran diameter 2,52 cm dan tinggi 5 cm kemudian dipadatkan menggunakan tumbukan besi dalam cetakan dan dipres dengan alat *Universal Testing Machines (UTM) type* Krisbow.
5. Setelah dipres briket dikeluarkan dari cetakan.
6. Briket dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 3 jam dan suhu 100°C selama 1,5 jam.
7. Didapatkan produk briket.

3.3.3 Uji Proksimat

Tahap pelaksanaan uji proksimat dalam penelitian ini sebagai berikut:

3.3.3.1 Moisture Content (Kadar Air)

Uji kadar air pada sampel briket yaitu uji kandungan air. Uji kadar air pada sampel dilakukan untuk menentukan presentase air dalam suatu bahan. Prosedur pengujian kadar air sebagai berikut:

1. Cawan di timbang ke dalam neraca analitik.
2. Sampel ditimbang seberat 1 g dan diletakkan ke dalam cawan.

3. Sampel dipanaskan dengan cawan terbuka dalam oven dengan suhu 100°C selama 2 jam.
4. Sampel diletakkan ke dalam desikator selama 1 jam hingga dingin.
5. Sampel ditimbang hasil ini dihasilkan nilai total *moisture*.
6. Sampel total *moisture* dioven kembali dengan keadaan cawan terbuka pada suhu 100 °C selama 1 jam.
7. Sampel diletakkan ke dalam desikator selama 1 jam hingga dingin.
8. Sampel ditimbang hasil ini dihasilkan nilai *inherent moisture*

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

$$\text{Moisture Content (MC dan IM\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan:

a = berat sebelum dikeringkan atau berat awal (g)

b = berat setelah dikeringkan atau berat akhir (g).

3.3.3.2 *Volatile matter* (Zat Terbang)

Volatile matter pada sampel briket yaitu uji zat terbang. *Volatile matter* pada sampel dilakukan untuk bahan yang menguap saat dipanaskan tanpa oksigen. Prosedur pengujian *volatile matter* sebagai berikut:

1. Sisa sampel dari tahap *inherent moisture* akan digunakan untuk tahap uji *volatile matter*.
2. *Furnace* dipanaskan mencapai suhu 700°C.
3. Sampel dibakar dengan cawan tertutup ke dalam *furnace* selama 7 menit.
4. Sampel diletakkan ke dalam desikator menggunakan penjepit panjang selama 45 menit.
5. Sampel ditimbang, hasil ini dihasilkan nilai *volatile matter*.

Nilai *volatile matter* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Volatile matter (VM\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (8)$$

Keterangan:

a = bobot sampel awal (gram)

b = bobot sampel setelah pemanasan (gram).

3.3.3.3 *Ash Content* (Kadar Abu)

Ash content pada sampel briket yaitu uji kadar abu suatu bahan. *Ash content* pada sampel dilakukan untuk mengetahui jumlah mineral yang tersisa setelah bahan organik dalam suatu sampel dibakar sempurna. Prosedur pengujian *ash content* sebagai berikut:

1. Sisa sampel dari tahap *volatile matter* akan digunakan untuk tahap uji *ash content*.
2. *Furnace* dipanaskan mencapai suhu 700°C.
3. Sampel dibakar dengan cawan terbuka ke dalam *furnace* selama 2 jam.
4. *Furnace* dimatikan dan didiamkan selama 15 menit dalam keadaan pintu terbuka.
5. Sampel kemudian dikeluarkan dari *furnace* menggunakan penjepit panjang.
6. Sampel diletakkan ke dalam desikator selama 1 jam.
7. Sampel ditimbang, hasil ini dihasilkan nilai *ash content*.

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

$$\text{Kadar Abu (ASH\%)} = \frac{c-a}{b-a} \times 100\% \quad (9)$$

Keterangan:

a = massa cawan kosong (g)

b = massa cawan kosong + sampel (g)

c = massa cawan kosong + sampel setelah pemanasan (g).

3.3.3.4 *Fixed Carbon* (Karbon Terikat)

Fixed carbon adalah persentase karbon padat yang tersisa dalam sampel batubara. *Fixed carbon* pada sampel briket yaitu uji jumlah karbon yang tersisa. *Fixed carbon* pada sampel dilakukan untuk mengetahui jumlah karbon yang tersisa setelah penguapan air dan zat terbang dalam proses pembakaran. Prosedur yang dilakukan yaitu menghitung *fixed carbon* mengurangi 100% dengan presentase *inherent moisture* (kadar air), *volatile matter* (zat terbang) dan *ash content* (kadar abu) yang telah di hitung. Nilai yang dihasilkan *fixed carbon* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Fixed Carbon (FC\%)} = 100\% - (\text{IM\%} + \text{VM\%} + \text{ASH\%}) \quad (10)$$

Keterangan:

IM = kadar air

VM = *volatile matter*

ASH = kadar abu.

3.3.4 Karakterisasi Briket Batubara Antrasit dan Kotoran Sapi

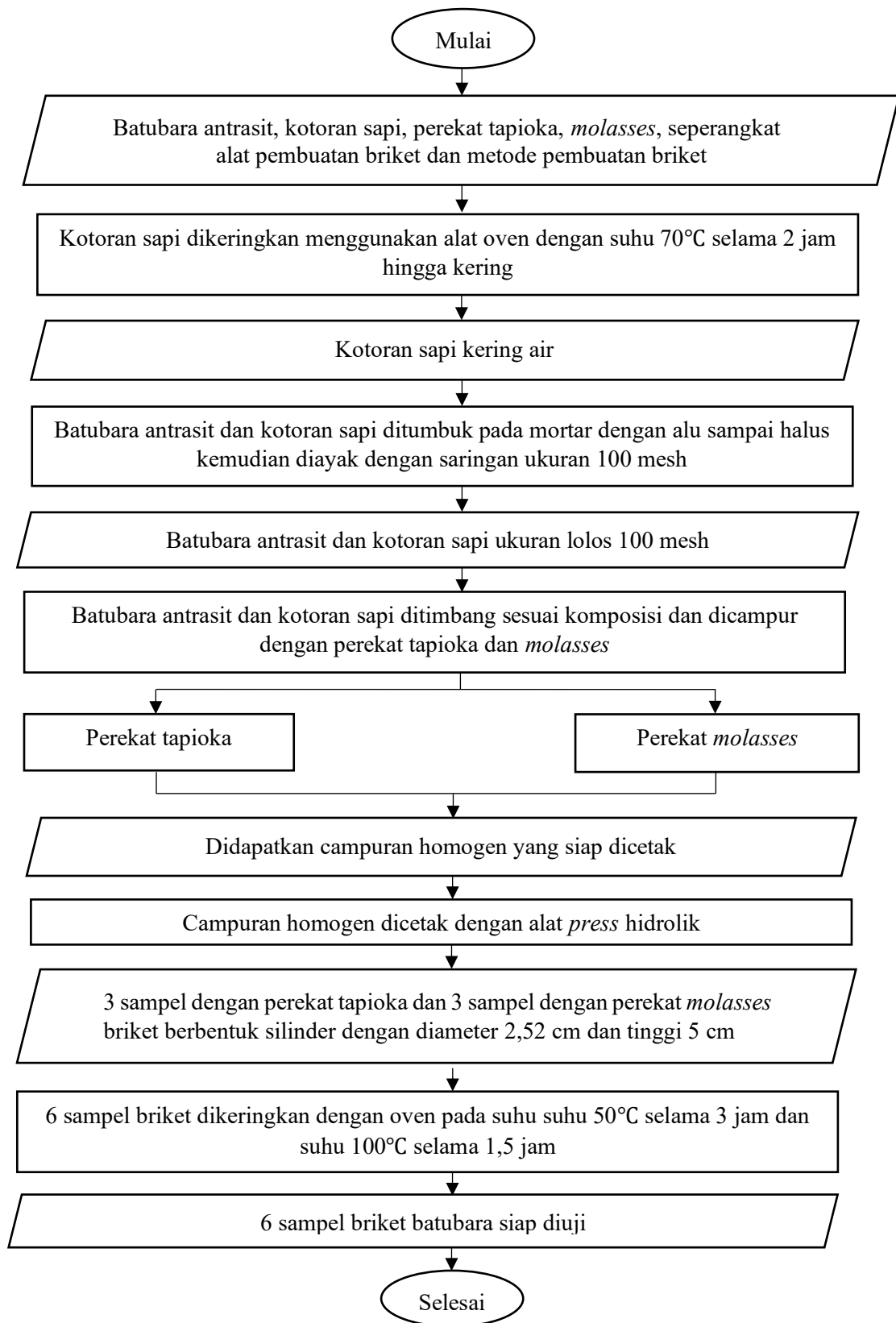
Karakterisasi sampel briket batubara antrasit dan kotoran sapi menggunakan XRD, XRF, SEM dan FTIR. Tahapan karakterisasi sampel briket batubara antrasit dan kotoran sapi sebagai berikut:

1. Sampel dihancurkan dan dihaluskan menggunakan mortar dan alu.
2. Sampel ditimbang menggunakan timbangan digital sebanyak 2 g.
3. Sampel yang telah ditimbang dikarakterisasi XRD, XRF, SEM dan FTIR.

3.4 Diagram Alir

Diagram alir yang akan dilakukan adalah preparasi bahan, pembuatan sampel, uji proksimate karakterisasi menggunakan XRD, XRF, SEM dan FTIR. Adapun diagram alir yang dilakukan sebagai berikut:

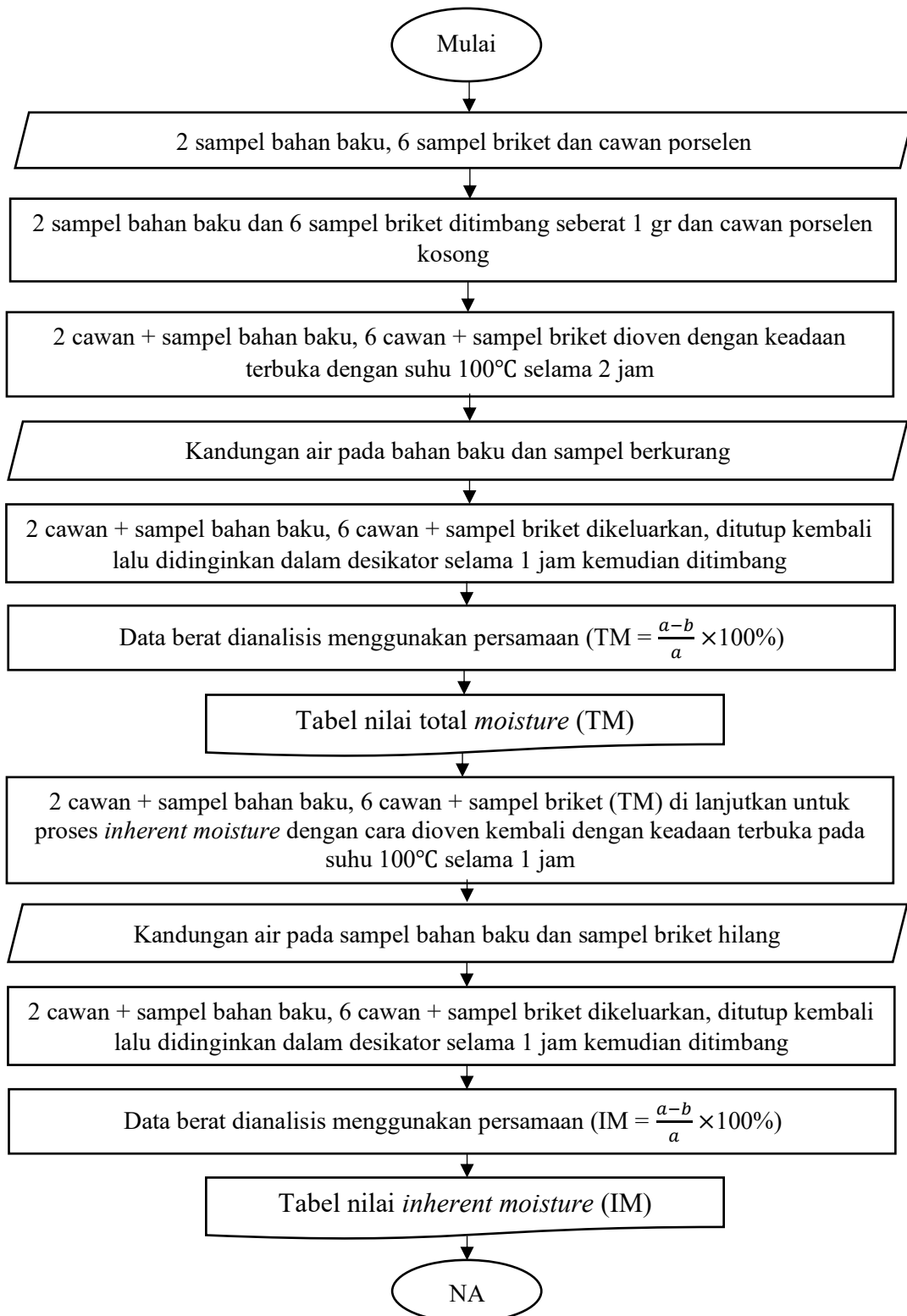
1. Diagram Alir Pembuatan Briket



Gambar 5. Diagram alir pembuatan briket

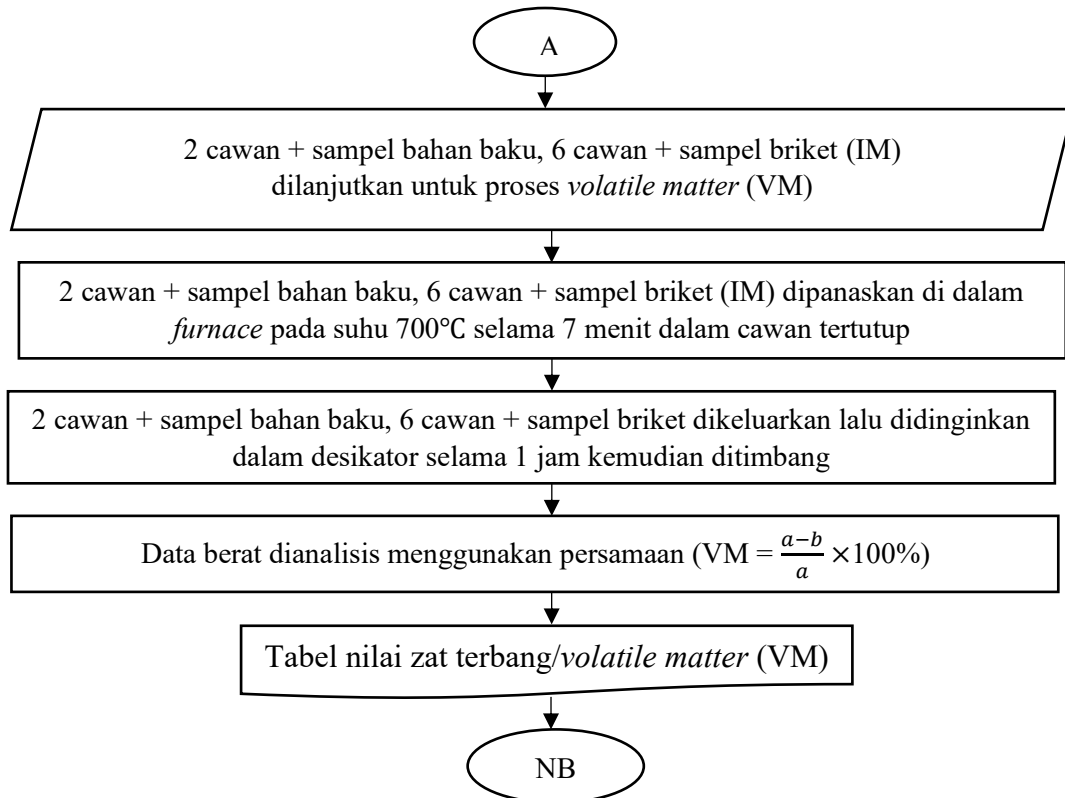
2. Diagram Alir Uji Proksimat

2.1 Diagram Alir Uji Proksimat Kandungan Air/Moisture



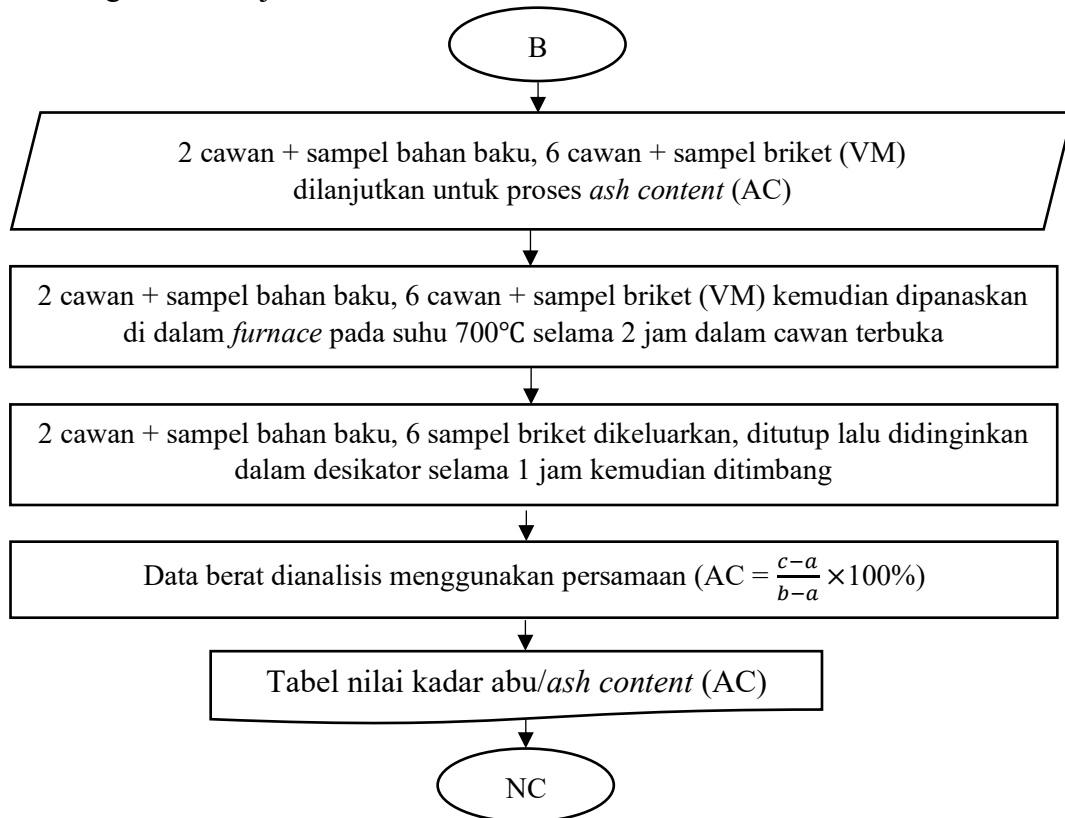
Gambar 6. Diagram alir uji proksimat a) kandungan air bahan baku dan briket

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



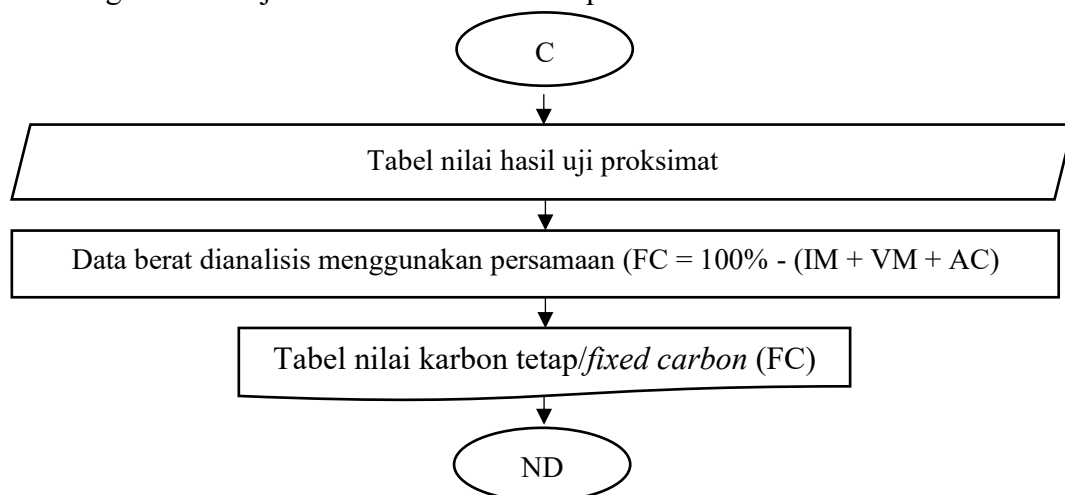
Gambar 7. Diagram alir uji proksimat b) zat terbang bahan baku dan briket

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



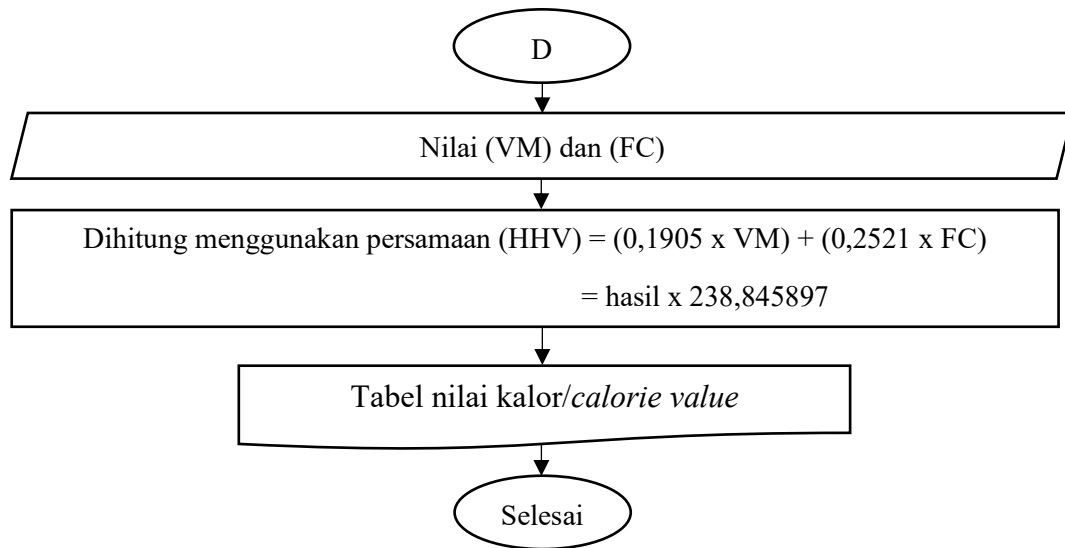
Gambar 8. Diagram alir uji proksimat c) kadar abu bahan baku dan briket

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



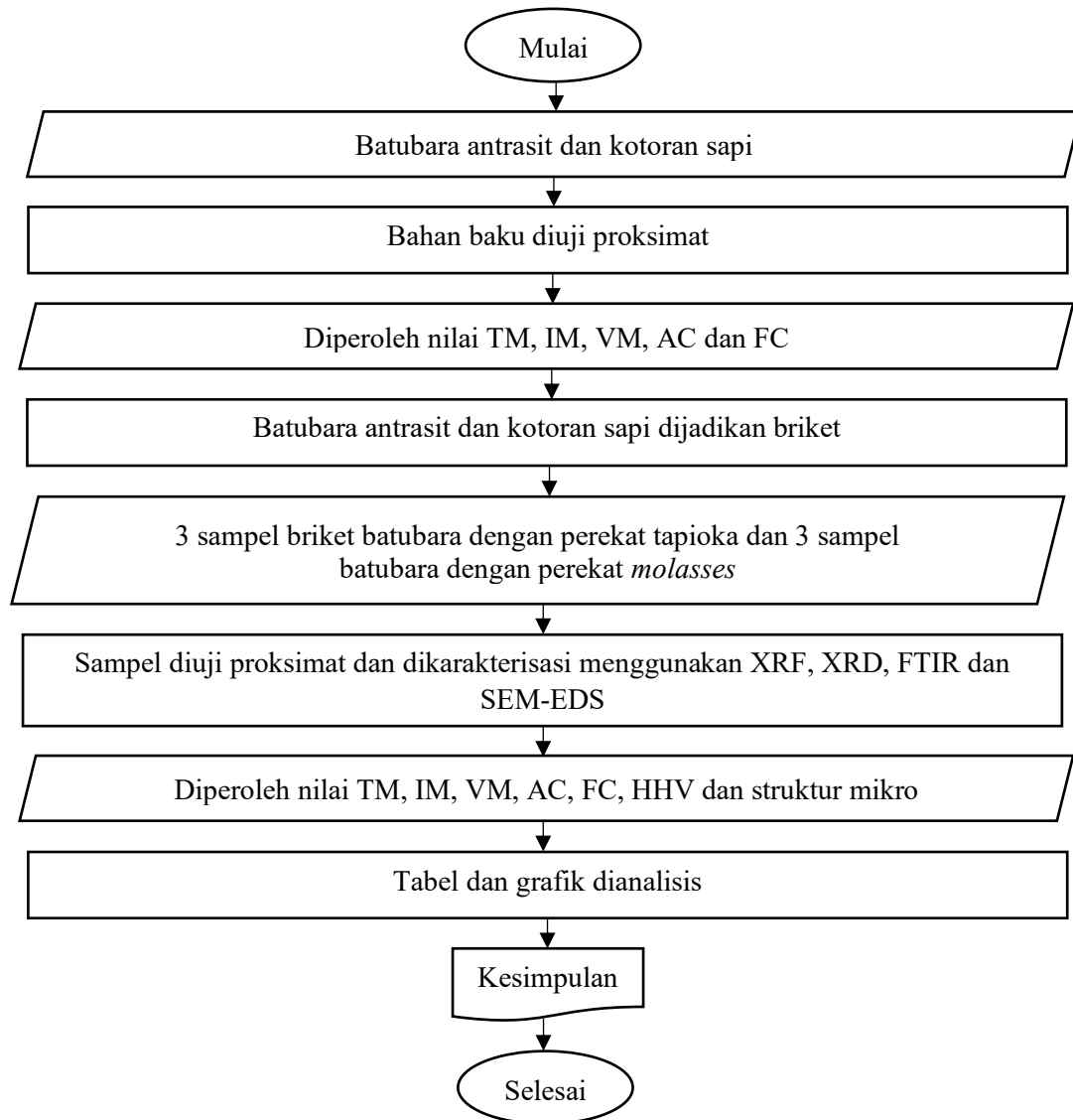
Gambar 9. Diagram alir uji proksimat d) karbon tetap bahan baku dan briket

2.5 Diagram Alir Menghitung Nilai Kalor/*Calorie Value*



Gambar 10. Diagram alir menghitung nilai kalor briket

3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 11. Diagram alir penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil uji proksimat batubara antrasit dan kotoran sapi dapat digunakan sebagai bahan briket. Komposisi terbaik briket terdapat pada sampel K1 dengan 70% antrasit dan 20% kotoran sapi berperekat tapioka. Hasil uji proksimat pada sampel K1 memenuhi SNI 01-6235-2000 dengan nilai total *moisture* sebesar 0,31%, *volatile matter* sebesar 2,81%, *ash* sebesar 19,44% dan *fixed carbon* sebesar 77,7%.
2. Hasil uji nilai kalor briket dengan perekat tapioka terlihat nilai tertinggi pada sampel K1 sebesar 4.807,97 kkal/kg, sedangkan briket dengan perekat *molasses* dihasilkan nilai tertinggi pada sampel K4 sebesar 4.628,83 kkal/kg. Briket tetap dapat digunakan karena kotoran sapi memiliki kandungan karbon yang mendukung proses pembakaran. Hasil nilai kalor keseluruhan komposisi mendekati standar SNI 01-6235-2000.
3. Berdasarkan hasil karakterisasi XRF tingginya mineral oksida berhubungan dengan meningkatnya kadar abu. Briket dengan perekat tapioka dihasilkan kandungan SiO_2 dan Fe_2O_3 yang lebih rendah sehingga kadar abu lebih kecil dan nilai kalor lebih baik. Sementara itu, briket dengan perekat *molasses* meningkatkan kandungan CaO dan K_2O yang dapat mengakibatkan kenaikan kadar abu dan menurunkan kualitas pembakaran.
4. Hasil karakterisasi XRD terlihat fase yang terbentuk terdiri dari SiO_2 dan Fe_2O_3 yang berasal dari sisa abu yang dihasilkan. Briket banyak mengandung mineral silika (SiO_2) dan besi oksida (Fe_2O_3). Pada sampel K1, kandungan mineralnya lebih sedikit sehingga abunya rendah dan pembakarannya lebih baik. Sedangkan pada K2, K4 dan K6 mineral oksida yang muncul lebih banyak dari

K1 sehingga abunya meningkat dan nilai kalor briket menurun.

5. Hasil karakterisasi FTIR teridentifikasi gugus fungsi organik yang terlihat keberadaan senyawa karbon dan oksida. Semakin kecil puncak O-H dan C-H maka semakin tinggi *fixed carbon* dan semakin baik kualitas pembakaran. Briket sampel K6 memiliki tingkat karbonisasi paling optimal, sedangkan sampel briket K1 masih memiliki kandungan organik yang tinggi.
6. Hasil karakterisasi SEM-EDS terlihat bahwa briket dengan perekat tapioka (K1 dan K2) memiliki struktur permukaan lebih padat dan pori lebih kecil, sehingga kadar abu lebih rendah. Sebaliknya, briket dengan perekat *molasses* (K4 dan K6) memiliki permukaan lebih berongga sehingga kadar abu meningkat dan nilai kalor menurun.

5.2 Saran

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

1. Perlu dilakukan perlakuan pendahuluan pada kotoran sapi untuk diturunkan kadar abu.
2. Penelitian lebih lanjut sebaiknya mencoba variasi perekat lain serta melakukan uji emisi gas buang agar briket yang dihasilkan lebih ramah lingkungan.
3. Uji coba skala lapangan diperlukan untuk memastikan performa briket dalam penggunaan nyata serta menemukan komposisi optimal antara antrasit dan biomassa.

DAFTAR PUSTAKA

- A, I. ., Hernawati, H., Broto, P. E., Sahara, S., & Rani, S. R. A. R. (2024). Optimization of Bio-Briquettes As an Alternative Fuel Solution Through the Combination of Cocoa Fruit Peel, Peel of Banana (*Musa Paradisiaca* L.) and Tapioca Flour. *Journal Online of Physics*, 9(2), 37–43.
- Abdullah, M., & Khairurrijal, K. (2009). Review: Karakterisasi Nanomaterial. *J. Nano Saintek*, 2(1), 1–9.
- Abu, P., Batubara, B., Tangga, R., & Bahan, S. (2024). *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering Pemanfaatan Abu Briket Batubara Rumah Tangga Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Pasir dalam Pembuatan Mortar Utilization of Ash of Household Coal Briquette as a Substitute for Some Sand in Making Mortar*.
- Addriani, R., & Razi, P. (2024). Systematic Literature Review: Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8, 47482–47490.
- Adeleke, A. A., Odusote, J. K., Ikubanni, P. P., Olabisi, A. S., & Nzerem, P. (2022). Briquetting of subbituminous coal and torrefied biomass using bentonite as inorganic binder. *Scientific Reports*, 1–11.
- 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), 1–10.
- Adnan Zufar Haqiqi. (2024). Penggunaan Biomassa sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik di Wilayah Pedesaan. *Journal of Optimization System and Ergonomy Implementation*, 1(1), 42–51.
<https://doi.org/10.54378/joseon.v1i1.6766>
- Afrianah, N., Ruslan, R., Suryadi, H. R., Amir, I., Irsyad, A., Jasruddin, & Nurhayati. (2023). Pengaruh Temperatur Karbonisasi Terhadap Karakteristik Briket Berbasis Arang Sekam Padi Dan Tempurung Kelapa. *JFT: Jurnal Fisika Dan Terapannya*, 9(2), 138–147.
- Afriyanti, Y., Sasana, H., & Jalunggono, G. (2020). Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Konsumsi Energi Terbarukan Di Indonesia. *DINAMIC: Directory Journal of Economic*, 2(3), 865–884.
- Aisyah, S., & Utomo, W. B. (2024). *Pengaruh Pencucian Batu Bara Terhadap Kualitas Batu Bara di PT. Sucofindo Cabang Tarakan Effect of Coal Washing on Coal Quality at PT Sucofindo Tarakan Branch*. 44–53.
- Alfarisa, S., Rifai, D. A., & Toruan, P. L. (2018). Studi Difraksi Sinar-X Struktur

- Nano Seng Oksida (ZnO). *Risalah Fisika*, 2(2), 53–57.
- Alfredo, T. (2020). Pembuatan Prototipe Alat Pencucian Batubara Dengan Metode Flotasi. *Jurnal Bina Tambang*, 6(2), 265–275.
- Aljarwi, M. A., Pangga, D., & Ahzan, S. (2020). Uji Laju Pembakaran Dan Nilai Kalor Briket Wafer Sekam Padi Dengan Variasi Tekanan. *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi Dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 6(2), 200.
- Allo, J. S. T., Setiawan, A., & Sanjaya, A. S. (2018). Pemanfaatan Sekam Padi untuk Pembuatan Biobriket Menggunakan Metode Pirolisa. *Jurnal Chemurgy*, 2(1), 17.
- Almu, M. A., Syahrul, S., & Padang, Y. A. (2014). ANALISA NILAI KALOR DAN LAJU PEMBAKARAN PADA BRIKET CAMPURAN BIJI NYAMPLUNG (*Calophyllum Inophyllum*) DAN ABU SEKAM PADI. *Dinamika Teknik Mesin*, 4(2), 117–122.
- Carnaje, N. P., Talagon, R. B., Peralta, J. P., Shah, K., & Paz-Ferreiro, J. (2018). Development and characterisation of charcoal briquettes from water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)-molasses blend. *PLoS ONE*, 13(11), 1–14.
- Chen, Q. (2016). Collective model of chiral and wobbling modes in nuclei. In *Scientia Sinica: Physica, Mechanica et Astronomica* (Vol. 46, Issue 1).
- Daniel, N., & Purwanata. (2018). Kajian Pembuatan Briket Limbah Ternak Sapi (Biltes) Dengan Perekat Tepung Tapioka. *Jurnal Triton*, 9(2), 133–141.
- DEA, D. I. Y. (2012). PEMBUATAN PATI TINGGI AMILOSA SECARA ENZIMATIS DARI PATI UBI KAYU (*Manihot esculenta*) DAN APLIKASINYA UNTUK PEMBUATAN MALTOSA. *El-Hayah: Jurnal Biologi*, 1(1), 14–24.
- Dewi, R. P., Saputra, T. J., & Pur, S. J. (2020). Uji Kandungan Fixed Carbon dan Volatile Matter Briket Arang Dengan Variasi Ukuran Partikel Serbuk Arang. *Prosding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan Dan Infrastruktur (SENTIKUIN)*, 3, 2–5.
- Dharma, U. S. (2013). *Untung Surya Dharma TURBO ISSN*. 2(2), 17–22.
- Dimara, P. A., & Auri, A. (2023). Jurnal Sylva Lestari. *Jurnal Sylva Lestari*, 11(1), 79–97.
- Dwi Irawan, E. S. (2016). *The Effect Of Em4 (Effective Microorganisms) On Biogas Production Using Cow Manure As Raw Material*. *Turbo Vol* 5, 5(1), 44–49.
- Engineering, C. (2021). *Journal of the Nigerian Society of Chemical Engineers*, 36 (2), 2021 THERMAL AND EMISSION CHARACTERISTICS OF CARBONISED AND UNCARBONISED RICE HUSK BRIQUETTE , A COMPARATIVE APPROACH. 36(2).
- Enweremadu, M. A. W. O. A. A. C. C. (2023). Influence of feedstock mixtures on the fuel characteristics of blended cornhusk , cassava peels , and sawdust

- briquettes. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(17), 16211–16226.
- Fachruzzaki, F., Halim, H., & Lestari, R. (2022). Pengaruh Campuran Sekam Padi pada Briket Batubara. *Jurnal GEOSAPTA*, 8(1), 15.
- Fidela, W., Ahda, Y., Zhafira, Febriani, Y., Azzahra, Y., P. Ningky, Y., T. Berlian, Regina, K. Sari, J., Ayu, D., D. N. Putri, D., & Fajrina, S. (2024). Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas Sebagai Upaya Pengendalian Limbah Peternakan. *Jurnal Ekologi, Masyarakat Dan Sains*, 5(2), 186–192.
- Fluorescence, M. X. (2021). *Karakterisasi Material Mikro X-Ray Fluorescence Fitria Hidayanti*.
- Gan, Q., Dong, B., Xu, J., & Peng, S. (2025). Effect of heating temperature on pore structure of briquette coal using SEM, NMR, N₂/CH₄ adsorption-desorption analyses. *Scientific Reports*, 15(1), 1–16.
- Ghatage, D. A. K., & Kanitkar, P. S. G. (2019). Characterization of Materials by X-Ray Diffraction. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 8(11), 156–159.
- Habib, P., Aziz, A., Wahyudie, I. A., Manufaktur, P., & Bangka, N. (2025). *Pengaruh Kombinasi Briket Batubara Antrasit Dan Serbuk Arang Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Dengan Variasi Parameter Proses*. 03(2).
- Haryanto, A., Putri, L. R., Suharyatun, S., & Telaumbanuwa, M. (2023). *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering Penambahan Arang Batok Kelapa pada Produksi Biogas Campuran Kotoran Ayam dan Kotoran Sapi Addition of Coconut Shell Biochar on the Biogas Production from a Mixture of Chicken Manure and Cow Manure*. 2(1), 98–108.
- Hasan, A., Wulandari, F. T., & Ningsih, R. V. (2025). *PENGARUH ARANG*. 7(1), 1–4.
- Hernowo, P., Nia, A., Mahardika, A. P., & Yendranis, S. (2017). Pengukuran Nilai Kalor Biomasa Bahan Baku Biofuel. *Jurnal Teknologi*, 6(2), 1–5.
- Ilham, M. F., & Suedy, S. W. A. (2022). Effect of Cofiring Using Sawdust on Steam Coal Power Plant Heat Rate Value. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(2), 121–127.
- Inna, S., Abazeh, B., & Richard, K. (2024). The effect of co-combustion of cattle manure and sawdust on energy recovered. *Thermal Science and Engineering*, 7(2), 5943.
- Integrasi, J., Vol, P., Batu, A., & Kunci, K. (2024). *JURNAL INTEGRASI PROSES SINTESIS KARBON AKTIF DARI SHORT FLAMING COAL LOKAL INDONESIA DENGAN AKTIVATOR KOH SEBAGAI ADSORBEN Izam Arrazhi *, Yonathan Juanto , Retno Dewati , Sani Sani Teknik Kimia , Faku*. 13(2), 86–91.
- Jaswella, R. W. A., Sudding, S., & Ramdani, R. (2022). Pengaruh Ukuran Partikel terhadap Kualitas Briket Arang Tempurung Kelapa. *Chemica: Jurnal Ilmiah*

- Javadian, N., Mohammadi Nafchi, A., & Bolandi, M. (2021). The effects of dual modification on functional, microstructural, and thermal properties of tapioca starch. *Food Science and Nutrition*, 9(10), 5467–5476.
- Khan, A. U., Muhammad, Q., Jan, U., Abas, M., Muhammad, K., Ali, Q. M., & Zimon, D. (2023). Utilization of Biowaste for Sustainable Production of Coal Briquettes. *Energies*.
- Khan, A. U., Saleem, M., Abas, M., Ullah, Z., Muhammad, K., Anjum, F., Sharif, A., & Getachew, M. T. (2025). Evaluating Coal– *Jatropha curcas* Composite Briquettes as Sustainable Fuel Alternatives . *International Journal of Energy Research*, 2025(1).
- Ktt, D. I., Lestari, S., & Pandeyan, D. (2023). *Zero waste farming*. 1–8.
- Kurniawan, I., Aryansyah, A., & Huda, adri. (2020). Analisis Kualitas Batubara sebagai Penentu Faktor Swabakar. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*, 1(1), 219–229.
- Kusumawati, Y., Gunawan, T., Zetra, Y., Burhan, P., Rahmawati, Z., Fadlan, A., Nugraheni, Z. V., Utomo, W. P., Fansuri, H., Widiastuti, N., & Putri, O. K. (2025). Pembuatan Biobriket dari Kotoran Sapi di kampung Sanan Blimbing Malang. *Sewagati*, 9(4), 918–926.
- Liu, Z., Zhang, Z., Choi, S. K., & Lu, Y. (2018). Surface properties and pore structure of anthracite, bituminous coal and lignite. *Energies*, 11(6).
- Maj, I., Kalisz, S., Szymajda, A., Łaska, G., & Gołombek, K. (2021). The influence of cow dung and mixed straw ashes on steel corrosion. *Renewable Energy*, 177, 1198–1211.
- Maktub, Z. A., Sugianti, C., & Wibowo, S. A. (2024). Pengaruh Variasi Persentase Campuran Arang Tempurung Kelapa dengan Batubara dalam Pembuatan Briket Biocoal Terhadap Sifat Fisik dan Laju Pembakaran. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, 3(4), 500.
- Maryono, Dan, S., & Rahmawati. (2013). Pembuatan dan Analisis Mutu Briket Arang Tempurung Kelapa Ditinjau dari Kadar Kanji Preparation and Quality Analysis of Coconut Shell Charcoal Briquette Observed by Starch Concentration. *Jurnal Chemica*, 74-83, 14, 74–83.
- Masyuroh, A., & Rahmawati, I. (2022). Pembuatan Briket Arang Dari Serbuk Kayu Sebagai Sumber Energi Alternatif. *ABDIKARYA: Jurnal Pengabdian Dan Pemberdayaan Masyarakat*, 4(1), 95–103.
- Meng, Q. M., Li, J. X., Chun, T. J., He, X. F., Wei, R. F., Wang, P., & Long, H. M. (2017). Effects of Treated Cow Dung Addition on the Strength of Carbon-Bearing Iron Ore Pellets. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017.
- Muhamadin, R. C., Ningtyas, A. H. P., Pahlawan, I. A., Hidayatullah, R. A., Hidayat, H., & Mariansyah, P. N. (2024). Pengolahan Limbah Sampah

- Organik Dan Non-Organik Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *JUSTI (Jurnal Sistem Dan Teknik Industri)*, 4(3), 383.
- Muttaqin, R. (2023). Pengembangan Buku Panduan Teknik Karakterisasi Material : X-ray Diffractometer (XRD) Panalytical Xpert3 Powder. *Indonesian Journal of Laboratory*, 1(1), 9.
- Nganko, J. M., Koffi, E. P. M., Toure, A. O., Gbaha, P., Tiogue, C. T., Ndiaye, B., Ba, K., & Benjamin Yao, K. (2025). Comparative assessment of pollutant emissions between biofuel briquettes and charcoal: implications for domestic cooking fuel selection. *Carbon Research*, 4(1).
- Nurdiansyah, N., Setyani, M., Sespira, D., Anggiriani, F., Aqbal, J., Erlangga, M. B., Pratiwi, M. M. A., Meilani, D., Andri, R. Z., Triansyah, R. P., & Saputra, Y. (2024). Inovasi Teknologi Briket Solusi Cerdas Untuk Pengelolaan Limbah Dan Energi Berkelanjutan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bangsa*, 2(7), 2774–2780.
- Nurlaili, J., & Wibowo, R. C. (2025). Penentuan Kualitas Batubara dengan Menggunakan Analisis Proksimat dan Perbandingannya dengan Nilai Kalor di Daerah Pertambangan Banko, Sumatera Selatan. *Jurnal Teknologi Dan Inovasi Industri (JTII)*, 6(1), 1–8.
- Parinduri, L., & Parinduri, T. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan [Biomass Conversion as a Renewable Energy Source]. *Journal of Electrical Technology*, 5(2), 88–92.
- Rahman, N. A., Anggorowati, D. A., Rastini, F. E. K., Mustiadi, L., & Ajiza, M. (2021). *Characteristics of briquettes from bagasse charcoal using XRD and FTIR analysis Characteristics of Briquettes from Bagasse Charcoal Using XRD and FTIR Analysis*. 050003(December).
- Rahmanita, R. E. (2024). *Bio Briket Non Perekat Kotoran Sapi Dan Arang Batok Kelapa*.
- Ridhuan, K., & Suranto, J. (2017). Perbandingan Pembakaran Pirolisis Dan Karbonisasi Pada Biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalori. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 5(1), 50–56.
- Rifdah, R., Herawati, N., & Dubron, F. (2018). Pembuatan Biobriket Dari Limbah Tongkol Jagung Pedagang Jagung Rebus Dan Rumah Tangga Sebagai Bahan Bakar Energi Terbarukan Dengan Proses Karbonisasi. *Jurnal Distilasi*, 2(2), 39.
- Samudro, P. A., Asmara, S., & Kuncoro, S. (2023). Pengaruh Perbedaan Komposisi dan Ukuran Partikel Batang Singkong dan Batubara Terhadap Kualitas Bahan Bakar Briket Biocoal. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, 2(2), 270.
- Sari, P. A. Y., Royani, I., & Koriyanti, E. (2023). Analisis Moleculary Imprinted Polymer (MIP) Nano Melamin (C₃H₆N₆) Sebagai Material Sensor. *Jurnal Penelitian Sains*, 24(3), 154.

- Sepfitrah. (2016). Analisis Proximate Hasil Tambang di Riau (Studi Kasus Logas, Selensen dan Pangkalan Lesung). *Jurnal Sainstek STT Pekanbaru*, 4(1), 18–26.
- Shidiq, G. A., Promkaew, S., & Faikhamta, C. (2022). Trends of competencies in teacher education from 2015 to 2020: A Systematic Review Analysis. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 43(1), 257–264.
- Solinas, S., Piccaluga, G., Morales, M. P., & Serna, C. J. (2001). SOL-GEL FORMATION OF $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ NANOCOMPOSITES. *Acta Mater*, 49, 2805–2811.
- Suartika, I. G. B. S. dan I. M. (2017). Konversi Energi Biomassa Kotoran Sapi Melalui Rancangan Biodegester Untuk Rumah Tangga. *Jurnal Logic*, 17(3), 164–166.
- Sugiono, S., Wargo, W., & Marwendi, R. O. (2023). Pemanfaatan Limbah Ternak Sapi Sebagai Biogas Renewable Energy. *Zabags International Journal Of Engagement*, 1(1), 1–7.
- Suharto, B., Tunggul, A. S., & Sunarsih. (2018). The Quality of Briquettes Manure of Cow For Concentration Adhesive Tapioca and Drying Temperature. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 41–42.
- Tamrin, M. M., Rusmulyadi, R., Dunggio, S., & Abdussamad, S. (2024). Peran Briket Limbah Batok Kelapa dalam Meningkatkan Kesejahteraan Ekonomi Masyarakat Desa. *Empiris Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, 2(1), 08–18.
- Teclu, D., Tivchev, G., Laing, M., & Wallis, M. (2009). Determination of the elemental composition of molasses and its suitability as carbon source for growth of sulphate-reducing bacteria. *Journal of Hazardous Materials*, 161(2–3), 1157–1165.
- Thliza, B. A., Abdulrahman, F. I., Akan, J. C., Chellube, Z. M., & Kime, B. (2020). *Determination of Compressive Strength and Combustibility Potential of Agricultural Waste Briquette*. 29(1), 30–46.
- Trubetskaya, A., Leahy, J. J., Yazhenskikh, E., Müller, M., Layden, P., Johnson, R., Ståhl, K., & Monaghan, R. F. D. (2019). *Characterization of woodstove briquettes from torrefied biomass and coal*. 171.
- Ulma, Z., Handayani, M., Putri, A. N. R., & Ivana, C. F. (2021). Pengaruh Penekanan Terhadap Kadar Air, Kadar Abu, dan Nilai Kalor Briket Dari Sludge Biogas Kotoran Sapi. *JPPL (Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan)*, 3(02), 81–86.
- Vitikka, O., Iljana, M., Heikkilä, A., Tkalenko, I., Koriuchev, N., Shehovsov, D., & Fabritius, T. (2024). *Effect of Biocarbon Addition on Metallurgical Properties of Mill Scale-Based Auger Pressing Briquettes*. 64(6), 964–977.
- Wang, J., Dai, Y., & Gao, L. (2009). Exergy analyses and parametric optimizations for different cogeneration power plants in cement industry.

Applied Energy. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.09.001>

- Wang, L., Qiu, T., Guo, Z., Shen, X., Yang, J., & Wang, Y. (2021). Changes and Migration of Coal-Derived Minerals on the Graphitization Process of Anthracite. *ACS Omega*, 6(1), 180–187.
- Wang, X., He, X., & Wang, X. (2023). FTIR Analysis of the Functional Group Composition of Coal Tar Residue Extracts and Extractive Residues. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(8).
- Wardana, A. W. (2022). Perbandingan Physical Properties Arang Tempurung Kelapa, Arang Kayu Meranti Dan Cangkang Biji Kopi. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(1), 58.
- Wardani, F. K., & Ariani, A. (2023). Studi Karakteristik Briket Campuran Used Carbon Dan Sludge Industri Bioteknologi Dengan Analisa Proksimat Dan Nilai Kalor. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 9(4), 606–615.
- Wijianti, E. S., Setiawan, Y., & Wisastra, H. (2017). Briket Arang Berbahan Campuran Ampas Daging Buah Kelapa dan Tongkol Jagung. *Machine; Jurnal Teknik Mesin*, 3(1), 30–35.
- Zhu, Y., Yi, B., Yuan, Q., Cao, H., & Yan, S. (2019). Combustion characteristics of cattle manure and pulverized coal co-firing under oxy-fuel atmosphere in non-isothermal and isothermal conditions. *BioResources*, 13(3), 6465–6479.