

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI KULIT DURIAN DAN KOTORAN
SAPI TERHADAP UJI PROKSIMAT PADA PRODUK BRIKET**

(Skripsi)

Oleh

**SABRINA ADINDA PUTRI WAHYUDI
NPM 2117041005**



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

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI KOMPOSISI KULIT DURIAN DAN KOTORAN SAPI TERHADAP UJI PROKSIMAT PADA PRODUK BRIKET

Oleh

SABRINA ADINDA PUTRI WAHYUDI

Penelitian pengaruh variasi komposisi kulit durian dan kotoran sapi terhadap uji proksimat pada produk briket telah dilakukan. Briket disiapkan dalam lima variasi komposisi (K1-K5) dengan kulit durian digunakan sebagai bahan utama, ditambah campuran kotoran sapi serta perekat tapioka. Bahan baku dikeringkan, dikarbonisasi, digiling, diayakan, dicampur, dicetakan dan dikeringkan. Sampel arang bahan baku dan briket biomassa di uji secara proksimat dan dikarakterisasi menggunakan XRF, XRD, FTIR dan SEM-EDS. Uji proksimat dilakukan untuk menentukan kandungan air, zat terbang, kadar abu, karbon tetap serta nilai kalor sebagai parameter mutu briket. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi komposisi berpengaruh terhadap kualitas briket, di mana kualitas terbaik diperoleh pada K1 (90% kulit durian : 10% perekat) dengan kandungan air 0,64%, zat terbang 21,24%, abu 23,5%, karbon tetap 54,62% dan nilai kalor tertinggi 4.255,25 kcal/kg. Pada karakterisasi sampel briket K1 senyawa K_2O dan SiO_2 teridentifikasi melalui karakterisasi XRF dan XRD, sedangkan gugus O-H, $C\equiv C$, $C=C$, C-H dan C=O terdeteksi pada spektrum FTIR. Hasil pengamatan SEM-EDS terlihat morfologi relatif padat dengan permukaan tidak rata serta retakan-retakan kecil. Pori-pori besar terlihat, sehingga struktur terlihat lebih kompak. Kualitas briket terbukti menurun dengan peningkatan proporsi kotoran sapi, yang ditandai oleh tingginya kadar abu dan rendahnya karbon tetap, sehingga nilai kalor juga turun. Secara keseluruhan, kulit durian lebih berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku utama dalam pembuatan briket biomassa sebagai bahan bakar alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan.

Kata kunci : briket, kulit durian, kotoran sapi, uji proksimat, bahan bakar alternatif.

ABSTRACT

EFFECT OF VARIATION DURIAN SKIN AND COW DUNG COMPOSITION ON PROXIMATE TEST OF BRIQUETTE PRODUCTS

By

SABRINA ADINDA PUTRI WAHYUDI

A study on the effect of variation in the composition of durian skin and cow dung on the proximate test of briquette products was conducted. Briquettes were prepared in five variations of composition (K1-K5) with durian skin used as the main ingredient, added with a mixture of cow dung and tapioca adhesive. The raw materials were dried, carbonized, grinder, sieved, mixed, molded and dried. Samples of raw material charcoal and biomass briquettes were proximate tested and characterized using XRF, XRD, FTIR and SEM-EDS. The proximate test was conducted to determine the moisture content, volatile matter, ash content, fixed carbon and caloric value as a quality parameter of the briquettes. The results showed that the variation of composition affects the quality of briquettes, was obtained in K1 (90% durian skin : 10% adhesive) with a moisture content of 0.64%, volatile matter 21.24%, ash content 23.5%, fixed carbon 54.62%, and the highest caloric value of 4,255.25 kcal/kg. In the characterization of briquette sample K1, the compounds K_2O and SiO_2 were identified through XRF and XRD characterization, while O-H, C-H, $C\equiv C$, $C=C$, C-O and C=O functional groups were detected in the FTIR spectrum. SEM-EDS observations showed a relatively dense morphology with an uneven surface and small cracks. Large pores are visible, so the structure looks more compact. The quality of the briquettes was shown to decrease with increasing proportion of cow dung, characterized by high ash content and low fixed carbon, resulting in lower caloric value. Overall, durian skin have more potential to be utilized as the main raw material in biomass briquetting as a renewable and environmentally friendly alternative fuel.

Keywords : briquettes, durian skin, cow dung, proximate test, alternative fuel.

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI KULIT DURIAN DAN KOTORAN
SAPI TERHADAP UJI PROKSIMAT PADA PRODUK BRIKET**

Oleh

SABRINA ADINDA PUTRI WAHYUDI

Skripsi

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

Pada

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



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

Judul Skripsi : Pengaruh Variasi Komposisi Kulit Durian dan Kotoran Sapi Terhadap Uji Proksimat Pada Produk Briket

Nama Mahasiswa : Sabrina Adinda Putri Wahyudi

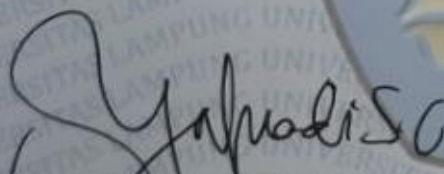
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041005

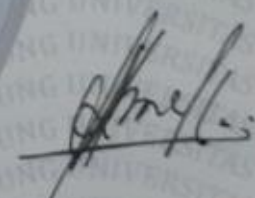
Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

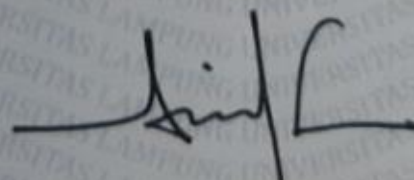


1. Komisi Pembimbing


Drs. Syafriadi, M.Si
NIP. 196108211992031002


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

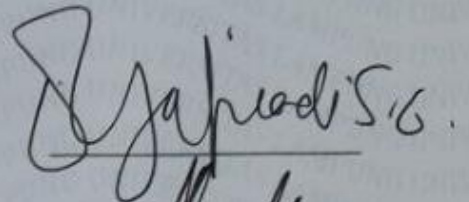
2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA


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

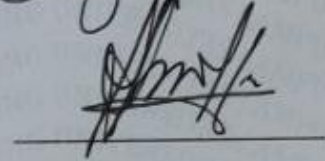
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

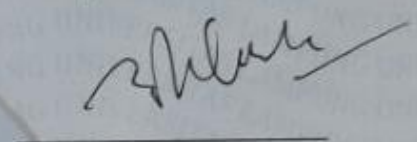
Ketua : Drs. Syafriadi, M.Si.



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 : 03 Oktober 2025

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sabrina Adinda Putri Wahyudi
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041005
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya dengan judul **“Pengaruh Variasi Komposisi Kulit Durian dan Kotoran Sapi Terhadap Uji Proksimat Pada Produk Briket”** adalah benar hasil karya sendiri, baik ide, hasil, maupun analisisnya. Selanjutnya saya tidak digunakan oleh dosen atau program studi dalam kepentingan publikasi atas persetujuan penulis dan sepanjang nama saya disebutkann dilakukann publikasi.

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

Bandar Lampung, 03 Oktober 2025



Sabrina Adinda Putri Wahyudi
NPM 2117041005

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Sabrina Adinda Putri Wahyudi, dilahirkan pada tanggal 14 Januari 2004, di Bandar Lampung. Penulis merupakan anak pertama dari Bapak Tri Wahyudi S.I.Kom dan Ibu Tri Indah Lestari.

Pendidikan yang telah ditempuh oleh penulis adalah Taman Kanak-Kanak (TK) Widya Bhakti diselesaikan pada tahun 2009, Sekolah Dasar (SD) Negeri 2 Perumnas Way Kandis diselesaikan pada tahun 2015, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 29 Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2018 dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 15 Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2021. Tahun 2021 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) di Biro Kesekretariatan dan Rumah Tangga (KRT) pada tahun 2022. Penulis pernah menjadi Kepala Biro KRT HIMAFI pada periode tahun 2023. Pada tahun 2024 penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) selama 1 bulan di PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Lampung dengan judul penelitian **“Pengukuran dan Analisa Data Radiasi Matahari di Rooftop Bagian Barat PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Lampung”**.

Pada tahun 2025 penulis melaksanakan penelitian skripsi di Pusat Riset Teknologi Mineral, Badan Riset Inovasi nasional (BRIN), Tanjung Bintang dengan judul **“Pengaruh Variasi Komposisi Kulit Durian dan Kotoran Sapi Terhadap Uji Proksimat Pada Produk Briket”**.

MOTTO

**”Angin tidak berhembus untuk menggoyangkan pepohonan,
melainkan menguji kekuatan akarnya”**

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur kepada Allah SWT, kupersembahkan karya kecil ini

kepada

Bapak Tercinta Tri Wahyudi S.I.Kom dan Ibu Tercinta Tri Indah Lestari

“Terimakasih untuk segala do’a dan usaha yang selalu diberikan kepadaku serta selalu memberikan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini”.

Keluarga Besar & Teman-Teman Terdekat

Rekan-rekan seperjuangan “FISIKA FMIPA Universitas Lampung 2021”

Serta Almamater Tercinta

“Universitas Lampung”

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas kesehatan dan rahmat-Nya sehingga skripsi berjudul **“Pengaruh Variasi Komposisi Kulit Durian dan Kotoran Sapi Terhadap Uji Proksimat Pada Produk Briket”** dapat diselesaikan. terselesaikannya skripsi ini juga tidak lepas dari dukungan berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan terima kasih dengan tulus dan hormat kepada:

1. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si. selaku Pembimbing Utama sekaligus Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, nasihat serta ilmu kepada penulis.
2. Bapak Muhammad Amin, S.T., M.Si selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan arahan, pengetahuan, serta masukan dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan skripsi ini.
3. Bapak Pulung Karo-Karo, M.Si. selaku Penguji yang telah memberikan kritik dan masukan dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
5. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
6. Seluruh Dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
7. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
8. Kedua orang tuaku tercinta Bapak Tri Wahyudi S.I.Kom dan Ibu Tri Indah Lestari yang tak hentinya memberikan kasih sayang, do'a, semangat dan dukungan tanpa henti sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
9. Adik serta keluarga besar yang setia membersamai, memberi dorongan serta menjadi penyemangat penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

10. Avino Arya Buchan yang setiap harinya tak henti memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
11. Teman-teman seperjuangan di masa putih abu, yaitu Wayan Eka, Lailatul Fitry, Putri Rera, Liana Khusnul Saputri dan seluruh teman ALO GAES yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas semangat serta dukungan yang selalu diberikan kepada penulis.
12. Teman-teman seperjuangan di bangku perkuliahan Yesha Argeta, Alissa Anggis, Etyka Dwi Mayang, Tri Aprilia, Eli Ratna, Melisa Bitha, Safira Berliananda, Dina Afrilia, Siti Nina serta seluruh pimpinan HIMAFI Periode 2023, yang selalu menemani hari-hari penulis melalui canda, tawa dan semangat yang diberikan kepada penulis.
13. Terakhir, penulis juga ingin menyampaikan terima kasih kepada diri sendiri, **Sabrina Adinda Putri Wahyudi**, atas segala perjuangan, keyakinan dan kesabaran selama ini, untuk setiap pagi, siang, sore dan malam yang dihabiskan untuk menyelesaikan skripsi ini.

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

Bandar Lampung, 03 Oktober 2025

Sabrina Adinda Putri Wahyudi

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat Penelitian	7
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Energi	8
2.2 Biomassa sebagai Sumber Energi Alternatif	9
2.3 Briket	10
2.4 Karbonisasi	12
2.5 Bahan Baku Briket	14
2.5.1 Kulit Durian.....	14
2.5.2 Kotoran Sapi.....	16
2.6 Standar Nasional Indonesia (SNI)	18
2.5.1 SNI 1683-2021	18
2.5.1 SNI 01-6235-2000	19
2.7 Uji Proksimat.....	19
2.7.1 Kandungan Air (<i>Moisture</i>)	20
2.7.2 Zat Terbang (<i>Volatile Matter</i>)	20
2.7.3 Kadar Abu (<i>Ash Content</i>)	21
2.7.4 Karbon Tetap (<i>Fixed Carbon</i>)	22
2.7.5 Nilai Kalor (<i>Caloric Value</i>).....	24
2.8 Karakterisasi	26
2.8.1 <i>X-ray Fluorescence</i> (XRF)	26
2.8.2 <i>X-ray Diffraction</i> (XRD)	27
2.8.3 <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	30
2.8.4 <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM- EDS)	31

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	33
3.2 Alat dan Bahan	33
3.2.1 Alat.....	33
3.2.2 Bahan	35
3.3 Prosedur Penelitian	35
3.3.1 Preparasi Bahan Baku	35
3.3.2 Tahap Karbonisasi/Pengarangan	36
3.3.3 Proses Pembuatan Perekat	36
3.3.4 Proses Pembuatan Briket	37
3.3.5 Prosedur Uji Proksimat	37
3.5 Karakterisasi Sampel Arang Bahan Baku dan Briket	40
3.6 Diagram Alir	40

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Variasi Komposisi Kulit Durian dan Kotoran Sapi Terhadap Kualitas Briket Berdasarkan Hasil Uji Proksimat	47
4.1.1 <i>Mass Yield</i> Arang	47
4.1.2 Uji Proksimat Bahan Baku	48
4.2 Pengaruh Variasi Komposisi Kulit Durian dan Kotoran Sapi Terhadap SNI 01-6235-2000	51
4.3 Pengaruh Variasi Komposisi Kulit Durian dan Kotoran Sapi Terhadap Nilai Kalor Briket	54
4.3.1 Hasil Karakterisasi Arang Kulit Durian dan Arang Kotoran Sapi Menggunakan <i>X-ray Fluorescence</i> (XRF)	54
4.3.2 Hasil Karakterisasi Briket K1, K3 dan K5 Menggunakan <i>X-ray Fluorescence</i> (XRF)	56
4.3.3 Hasil Karakterisasi Arang Kulit Durian dan Arang Kotoran Sapi Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	59
4.3.4 Hasil Karakterisasi Briket K1, K3 dan K5 Menggunakan <i>X-ray Diffraction</i> (XRD)	61
4.3.5 Hasil Karakterisasi Arang Kulit Durian dan Arang Kotoran Sapi Menggunakan <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR)	63
4.3.6 Hasil Karakterisasi Briket K1, K3 dan K5 Menggunakan <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR)	65
4.3.7 Hasil Karakterisasi Arang Kulit Durian dan Arang Kotoran Sapi <i>Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS)	66
4.3.8 Hasil Karakterisasi Briket K1, K3 dan K5 <i>Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS) .	70
4.3.9 Hasil Karakterisasi Sampel Menggunakan SEM-EDS Diperoleh Distribusi Ukuran Partikel Arang Kulit Durian dan Arang Kotoran Sapi.....	74

4.3.10 Hasil Karakterisasi Sampel Menggunakan SEM-EDS Diperoleh Distribusi Ukuran Partikel Briket K1, K3 dan K5	76
--	----

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	78
5.2 Saran.....	79

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Briket	11
2.2 Skema proses karbonisasi bahan organik	13
2.3 Limbah kulit durian	15
2.4 Limbah kotoran sapi	17
2.5 Alat karakterisasi XRF.....	27
2.6 Alat karakterisasi XRD	28
2.7 Skema Hukum Bragg	29
2.8 Alat karakterisasi FTIR	30
2.9 Alat karakterisasi SEM-EDS	32
3.1 Diagram alir pembuatan briket	41
3.2 Diagram alir uji proksimat a) kandungan air bahan baku dan briket	42
3.3 Diagram alir uji proksimat b) zat terbang bahan baku dan briket	43
3.4 Diagram alir uji proksimat c) kadar abu bahan baku dan briket.....	44
3.5 Diagram alir uji proksimat d) karbon tetap bahan baku dan briket	44
3.6 Diagram alir menghitung nilai kalor bahan baku dan briket	45
3.7 Diagram alir penelitian	46
4.1 Hasil a) uji proksimat briket b) nilai kalor briket	51
4.2 Hasil karakterisasi sampel arang bahan baku briket menggunakan XRD	59

4.3 Hasil karakterisasi sampel a) briket K1 b) briket K3 c) briket K5 menggunakan XRD.....	61
4.4 Hasil karakterisasi sampel arang bahan baku briket menggunakan FTIR a) arang kulit durian b) arang kotoran sapi	64
4.5 Hasil karakterisasi sampel a) briket K1 b) briket K3 c) briket K5 menggunakan FTIR	65
4.6 Hasil karakterisasi bahan baku briket a) SEM-EDS morfologi arang kulit durian b) SEM-EDS morfologi arang kotoran sapi	67
4.7 Spektrum EDS a) arang kulit durian b) arang kotoran sapi	68
4.8 Hasil karakterisasi sampel briket a) SEM-EDS morfologi briket K1 b) SEM-EDS morfologi briket K3 c) SEM-EDS morfologi briket K5.....	70
4.9 Spektrum EDS a) briket K1 b) briket K3 c) briket K5	72
4.10 Hasil distribusi ukuran partikel bahan baku a) arang kulit durian b) arang kotoran sapi	75
4.11 Distribusi ukuran partikel a) briket K1 b) briket K3 c) briket K5	77

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Standar Nasional Indonesia (SNI) 1683-2021 Mutu Arang Biomassa	18
2.2 Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-6235-2000 Briket Biomassa	19
3.1 Alat Penelitian	33
3.2 Bahan Penelitian	35
3.3 Variasi Komposisi Bahan Briket	37
4.1 Nilai <i>Mass Yield</i> Arang yang dihasilkan dari Proses Karbonisasi	47
4.2 Hasil Uji Proksimat Sampel Arang Bahan Baku Briket	48
4.3 Hasil Karakterisasi Sampel Arang Bahan Baku Menggunakan XRF.....	54
4.4 Hasil Karakterisasi Sampel Briket K1, K3 dan K5 Menggunakan XRF .	57
4.5 Fasa Arang Kulit Durian Hasil Analisis Data XRD Menggunakan <i>Software</i> HSP	60
4.6 Fasa Arang Kotoran Sapi Hasil Analisis Data XRD Menggunakan <i>Software</i> HSP	60
4.7 Fasa Briket K1 Hasil Analisis Data XRD Menggunakan <i>Software</i> HSP .	62
4.8 Fasa Briket K3 Hasil Analisis Data XRD Menggunakan <i>Software</i> HSP .	63
4.9 Fasa Briket K5 Hasil Analisis Data XRD Menggunakan <i>Software</i> HSP .	63
4.10 Komposisi Unsur Kimia Arang Kulit Durian dan Arang Kotoran Sapi .	69
4.11 Komposisi Unsur Kimia Briket K1, K3 dan K5	73

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi di Indonesia masih bergantung pada sumber daya tidak terbarukan, seperti fosil, batu bara, minyak bumi dan gas alam. Dengan berjalannya waktu, cadangan energi tersebut kian menipis karena proses pembentukannya berlangsung jutaan tahun, jauh lebih lama dibandingkan dengan kecepatan konsumsinya oleh manusia (Wang *et al.*, 2018). Ketergantungan yang terus-menerus pada energi fosil tidak hanya dianggap mengancam ketersediaannya di masa depan, tetapi juga dinilai buruk krisis lingkungan, seperti peningkatan emisi gas rumah kaca dan pencemaran udara (Yadav *et al.*, 2021). Oleh karena itu, pengembangan energi terbarukan, khususnya yang berbasis biomassa, diposisikan sebagai salah satu solusi strategis dan mendesak.

Energi biomassa dinilai sebagai salah satu solusi yang strategis dalam menghadapi krisis energi sekaligus menangani persoalan lingkungan. Salah satu bentuk pemanfaatan biomassa yang kini mulai berkembang luas adalah briket. Briket didefinisikan sebagai bahan bakar alternatif yang diproduksi secara sederhana, baik dari segi proses pembuatannya maupun penggunaan bahan bakunya. Briket juga digolongkan sebagai salah satu bahan bakar padat yang dihasilkan dari limbah organik yang melalui proses pengeringan, karbonisasi dan pemadatan, sehingga potensinya dinilai cukup besar untuk dikembangkan sebagai sumber energi (Marreiro *et al.*, 2021).

Berbagai keunggulan ditawarkan oleh briket, di antaranya bentuk yang praktis, nilai kalor tinggi, waktu pembakaran lama, serta proses pembakaran yang lebih bersih dibandingkan bahan bakar konvensional (tak terbarukan). Ketersediaan biomassa

sebagai bahan baku dinilai melimpah, sehingga potensinya untuk dikembangkan sangat besar. Berbagai jenis limbah telah digunakan sebagai bahan baku, antara lain tempurung kelapa (Ahmadu *et al.*, 2020; Madhusanka *et al.*, 2025), kulit pohon kelapa sawit (Kpalo *et al.*, 2020), limbah kulit durian dan kotoran sapi (Radityaningrum & Harnawan, 2022), tongkol jagung (Oliy & Muleta, 2020), serta limbah organik lainnya. Pemanfaatan limbah sebagai bahan bakar tidak hanya dimaksudkan untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil, tetapi juga digunakan untuk mengatasi permasalahan lingkungan akibat penumpukan limbah. Dari segi geografis, potensi besar pengembangan energi biomassa dimiliki oleh Indonesia, didukung oleh melimpahnya sumber daya pertanian dan peternakan yang tersebar di berbagai daerah (Ahmudi *et al.*, 2024; Zahro *et al.*, 2023).

Salah satu limbah peternakan yang jumlahnya sangat melimpah namun belum dimanfaatkan secara optimal adalah kotoran sapi. Apabila tidak dikelola dengan baik, kotoran ini dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti pencemaran udara dan tanah, serta meningkatkan risiko kesehatan bagi masyarakat sekitar (Manyi-Loh *et al.*, 2016). Berdasarkan penelitian Stroheim *et al.*, (2021), setiap ekor sapi rata-rata menghasilkan kotoran sekitar 20 hingga 40 kg kotoran per hari, atau jika diakumulasikan dapat mencapai 7,3 hingga 14,6 ton per tahun. Oleh karena itu, pemanfaatan kotoran sapi sebagai bahan baku pembuatan briket dipandang sebagai salah satu alternatif yang menjanjikan, tidak hanya dalam hal pengurangan limbah, tetapi juga dalam penyediaan energi terbarukan (Noorahman *et al.*, 2024; Szymajda *et al.*, 2021).

Kotoran sapi dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan briket karena kandungan kimiawinya yang tergolong baik, antara lain kandungan selulosa sebesar 12,03%, hemiselulosa sebesar 10,76%, lignin sebesar 6,33% (Fajobi *et al.*, 2022). Selulosa berperan sebagai komponen struktural utama yang dapat meningkatkan kekompakan briket melalui pembentukan jaringan serat yang kuat. Hemiselulosa berfungsi sebagai pengikat alami yang membantu mempertahankan integritas bentuk briket selama proses pembakaran, sedangkan lignin, yang bersifat termoplastis, dapat meleleh pada suhu tinggi dan berperan sebagai perekat internal

yang memperkuat ikatan antartikel biomassa (Mulky & Niemeyer, 2019). Kandungan-kandungan ini dinilai penting dalam meningkatkan daya ikat dan kualitas briket, terutama karena kandungan selulosa yang cukup tinggi membuat kotoran sapi berpotensi besar sebagai bahan baku briket (Gaberehiet *et al.*, 2025).

Selain limbah peternakan seperti kotoran sapi, limbah pertanian berupa kulit durian juga dinilai sangat berpotensi untuk dijadikan bahan baku briket. Limbah kulit durian diketahui sebagai salah satu jenis limbah organik yang ketersediaannya melimpah, terutama pada saat musim panen durian (Brunerová *et al.*, 2017). Namun, dalam praktiknya, limbah ini sering kali tidak dimanfaatkan secara optimal dan hanya dibuang begitu saja, sehingga menumpuk dan menimbulkan pencemaran lingkungan. Padahal, karakteristik kimia kulit durian telah diidentifikasi memiliki potensi yang menjanjikan sebagai bahan baku briket biomassa. Berdasarkan penelitian Chua *et al.*, (2023), kandungan senyawa organik pada kulit durian dinyatakan sangat mendukung untuk dijadikan bahan dasar pembuatan briket. Menurut penelitian Lubis *et al.*, (2018), kulit durian dikategorikan sebagai biomassa ligneselulosa dengan struktur kompleks yang terdiri dari selulosa sebesar 57-64%, hemiselulosa sebesar 30,70% dan lignin sebesar 15,60%.

Kandungan selulosa dan lignin yang tinggi pada kulit durian menjadikannya berpotensi diolah menjadi briket biomassa yang lebih bermanfaat. Pemanfaatan ini dimaksudkan untuk sekaligus mengurangi limbah lingkungan serta menyediakan sumber energi terbarukan yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan (Irhamni *et al.*, 2018). Dengan demikian limbah kulit durian diolah menjadi briket sebagai salah satu strategi yang dinilai tepat dalam mendukung transisi menuju energi berkelanjutan (Rahmawati *et al.*, 2023).

Menurut Suanggana *et al.*, (2020) kualitas dan performa briket komposisi sangat dipengaruhi oleh komposisi bahan yang digunakan dalam pembuatannya. Untuk memperoleh briket yang berkualitas, bahan tambahan berupa perekat atau binder juga digunakan dengan tujuan menyatukan partikel-partikel arang sehingga

terbentuk ikatan yang kuat. Dengan demikian briket menjadi lebih kompak, tidak mudah hancur, serta nilai kalornya dapat meningkat (Smith & Idrus, 2017).

Dalam penelitian ini, tepung tapioka dipilih sebagai bahan perekat atau *binder* dikarenakan memiliki sifat perekat alami yang tinggi dinilai mampu meningkatkan kekuatan dan kerapatan briket dibandingkan dengan tepung lainnya. Kandungan pati yang tinggi pada tapioka dimanfaatkan untuk memungkinkan partikel bahan baku briket menyatu secara sempurna, sehingga dihasilkan briket yang lebih padat, tidak mudah rapuh dan memiliki waktu bakar yang lebih lama (Haryati *et al.*, 2018; Nuwa & Prihanika, 2018). Selain itu, tepung tapioka digunakan karena sifatnya yang ramah lingkungan, mudah terurai secara alami, serta tidak menimbulkan emisi berbahaya saat pembakaran. Bahan ini juga mudah diperoleh dengan harga yang terjangkau, sehingga dianggap pilihan yang ekonomis dan efisien untuk produksi briket biomassa dalam skala rumah tangga (Alfian *et al.*, 2024; Hakika *et al.*, 2023).

Dalam penelitian ini, limbah kulit durian dan kotoran sapi dimanfaatkan dengan penambahan perekat alami berupa tepung tapioka. Pemanfaatan kedua bahan ini untuk produksi briket dilakukan tidak hanya sebagai upaya penyediaan energi alternatif, tetapi juga sebagai solusi terhadap permasalahan limbah organik yang belum tertangani secara optimal. Secara umum, kotoran sapi dari peternakan dan limbah kulit durian yang melimpah namun terbuang diolah menjadi sumber energi alternatif berbasis biomassa.

Briket yang dihasilkan diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif di wilayah yang belum terjangkau energi modern, sekaligus dijadikan inovasi ekonomis dan ramah lingkungan. Selain itu, briket ini dapat dimanfaatkan sebagai pengganti bahan bakar untuk memasak di rumah tangga (Kpalo & Zainuddin, 2020; Khusna *et al.*, 2017). Berdasarkan potensi ini, telah dilakukan berbagai penelitian yang memanfaatkan limbah organik serupa, khususnya kulit durian, sebagai bahan baku briket biomassa. Pada penelitian yang dilakukan oleh Herlina *et al.*, (2024), briket campuran kulit durian dan serabut kelapa dengan perbandingan 60:40 diperoleh dengan kandungan air sebesar 13,83%, zat terbang

1,69%, kadar abu sebesar 11,67%, karbon tetap sebesar 72,81% dan nilai kalor nya sebesar 5.284,23 kcal/kg. Sementara itu, pada penelitian Utami *et al.*, (2023), briket campuran kulit durian dan tempurung kelapa dengan perbandingan 45:50 dihasilkan dengan kandungan air 9,15%, zat terbang 5,87%, kadar abu 8,74%, karbon tetap 74,9% dan nilai kalor 5.103,87 kcal/kg.

Penelitian tersebut dijadikan acuan penting dalam penelitian ini, sekaligus menjadi parameter bahwa kualitas briket, termasuk parameter kalor, dipengaruhi secara signifikan oleh variasi komposisi bahan baku. Oleh karena itu, pengembangan briket biomassa berbasis kulit durian dan kotoran sapi dengan tambahan perekat alami tepung tapioka difokuskan dalam penelitian ini, dengan harapan standar mutu dapat terpenuhi sekaligus memberikan kontribusi pada penyediaan energi alternatif yang ramah lingkungan, berkelanjutan dan bernilai ekonomis tinggi sebagai pengganti bahan bakar fosil.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi kulit durian dan kotoran sapi terhadap kualitas briket berdasarkan hasil uji proksimat?
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi kulit durian dan kotoran sapi terhadap SNI 01-6235-2000?
3. Bagaimana pengaruh variasi komposisi kulit durian dan kotoran sapi terhadap nilai kalor briket?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh variasi komposisi kulit durian dan kotoran sapi terhadap kualitas briket berdasarkan hasil uji proksimat.
2. Mengetahui pengaruh variasi komposisi briket kulit durian dan kotoran sapi dapat memenuhi SNI 01-6235-2000.
3. Mengetahui pengaruh variasi komposisi kulit durian dan kotoran sapi terhadap nilai kalor briket.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini dilakukan dalam rentang waktu 06 Januari s.d. 06 Maret 2025, di Laboratorium *Heat Treatment* dan PP Non-Logam, Pusat Riset Teknologi Pertambangan, Kawasan Sains Iskandar Zulkarnain BRIN Tanjung Bintang, Lampung Selatan.
2. Penelitian ini dibatasi pada lima variasi komposisi briket dari kulit durian, kotoran sapi dan perekat tapioka, dengan perbandingan massa berturut turut sebesar (90:0:10, 84:8:8, 77:15:8, 72:21:7 dan 66:27:7).
3. Perekat yang digunakan adalah tepung tapioka.
4. Ukuran partikel bahan untuk pembuatan briket ditetapkan sebesar 80 *mesh*, sedangkan untuk karakterisasi, ukuran partikel disesuaikan menjadi 150 *mesh*.
5. Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi tungku karbonisasi (*muffle furnace*), lumpang dengan alu, oven SHARP, timbangan digital, saringan 80 dan 150 *mesh*, cetakan briket, mesin *press* hidrolik, cawan porselin, penjepit, desikator, *stopwatch*, *logbook*, instrumen XRF, XRD, FTIR dan SEM-EDS.
6. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pengumpulan bahan baku, pengeringan, proses karbonisasi, penumbukan, pengayakan, karakterisasi arang bahan baku, pencampuran arang dengan perekat, pengepressan dan pencetakan briket, pengeringan akhir, karakterisasi sampel briket, serta uji proksimat pada bahan baku dan variasi briket.
7. Uji proksimat untuk mengetahui kandungan air (*total moisture* dan *inherent moisture*), zat terbang (*volatile matter*), kadar abu (*ash content*) dan karbon tetap (*fixed carbon*) pada arang bahan baku maupun variasi briket.
8. Karakterisasi yang digunakan mencakup *X-Ray Fluorescence* (XRF), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS).
9. Penelitian ini dilakukan di laboratorium dengan kondisi pengujian yang tidak mempertimbangkan variabel lingkungan luar seperti kelembapan udara atau suhu ruangan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan pengalaman langsung mengenai pemanfaatan limbah organik sebagai bahan baku alternatif dalam pembuatan briket.
2. Mendorong pengembangan inovasi energi terbarukan yang berkelanjutan dan aplikatif bagi masyarakat.
3. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya tentang penghasil energi alternatif dari limbah yang belum dimanfaatkan secara maksimal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi

Energi dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu sistem atau komponen untuk digunakan dalam melakukan kerja atau menjalankan suatu proses. Definisi ini dianggap mencakup konsep yang lebih luas dibandingkan dengan pengertian energi yang biasa dipakai dalam ilmu pengetahuan (Abramovitch & Fortus, 2023; Mehling, 2017). Dalam bidang ilmu pengetahuan, energi sering dipahami sebagai sifat fisis yang dapat diukur serta dikonversikan dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Namun, dalam konteks yang lebih umum, energi dipandang sebagai potensi yang dimiliki suatu entitas untuk dijalankan dalam fungsi atau aktivitas tertentu (Rifdah *et al.*, 2018). Energi diakui sebagai elemen mendasar yang memiliki peran penting dalam kehidupan manusia. Secara global, energi tidak hanya digunakan sebagai sumber daya utama yang mendukung berbagai aktivitas, seperti transportasi, penerangan dan operasional industri tetapi dipandang sebagai indikator utama dalam penilaian tingkat pertumbuhan ekonomi suatu negara (Alshami & Sabah, 2020; Carvalho & Santos, 2023).

Ketersediaan dan pemanfaatan energi yang optimal didorong untuk menunjang pembangunan berkelanjutan, baik dalam sektor ekonomi, sosial, maupun teknologi. Dalam praktiknya, energi dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya melalui proses tertentu, yang kemudian dikenal sebagai proses konversi energi. Melalui proses ini, pemanfaatan energi dapat dilakukan secara lebih efisien dan disesuaikan dengan kebutuhan, sehingga inovasi di berbagai bidang dapat didukung (Rajagukguk, 2020). Secara umum, energi diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama, yaitu energi terbarukan (*Renewable Energy*) dan energi tidak terbarukan (*Non-Renewable Energy*). Energi terbarukan diperoleh dari sumber daya alam yang

dapat diperbarui secara alami dalam jangka waktu yang singkat, seperti biomassa, matahari, air dan angin (Voumik *et al.*, 2023). Sebaliknya, energi tidak terbarukan didefinisikan sebagai energi yang berasal dari sumber daya alam dengan ketersediaan terbatas dan membutuhkan waktu jutaan tahun untuk terbentuk kembali, seperti minyak bumi, fosil, gas alam dan batubara (Idroes *et al.*, 2024). Pada praktiknya, ketergantungan manusia terhadap energi tidak terbarukan masih terlihat pada berbagai aktivitas sehari-hari, mulai dari transportasi, industri, hingga kebutuhan rumah tangga (Tho Pesch *et al.*, 2023). Pasokan energi tidak terbarukan ini umumnya diperoleh dari bahan bakar fosil yang diketahui memberikan dampak buruk bagi lingkungan, seperti peningkatan gas rumah kaca dan pencemaran udara (Golomb, 2020; Wijayanti, 2023).

2.2 Biomassa sebagai Sumber Energi Alternatif

Peningkatan kebutuhan akan bahan bakar fosil terus didorong oleh pesatnya pertumbuhan sektor industri serta laju pertumbuhan penduduk, sehingga tercermin ketidakseimbangan antara permintaan energi fosil yang semakin meningkat dengan ketersediaannya yang kian menipis, yang kemudian dipandang sebagai isu krusial dalam sektor global (Nasution & Arifah, 2022). Sementara itu, konsumsi bahan bakar fosil dalam skala besar banyak disumbang oleh sektor transportasi, karena peran pentingnya dalam menunjang mobilitas dan distribusi, baik pada kegiatan industri maupun kehidupan sehari-hari masyarakat (Qin *et al.*, 2015).

Transportasi tidak hanya dimanfaatkan untuk mendukung pergerakan manusia dan barang, tetapi juga dijadikan tulang punggung dalam proses produksi, distribusi, serta layanan jasa, sehingga wajar apabila konsumsi energi yang sangat besar, terutama dari bahan bakar fosil, disumbangkan oleh sektor ini (Figuerola *et al.*, 2014). Apabila ketergantungan terhadap bahan bakar fosil terus berlangsung tanpa dikelola secara efektif dan berkelanjutan, serta pemanfaatan sumber energi terbarukan belum dioptimalkan, maka krisis energi dikhawatirkan akan ditimbulkan di masa mendatang. Oleh karena itu, upaya strategis dan sistematis perlu dilakukan dalam pengelolaan energi fosil, disertai dengan percepatan

pengembangan serta pemanfaatan energi alternatif yang ramah lingkungan agar keberlanjutan energi di masa depan dapat dijamin (Suhartoyo & Kristiawan, 2020). Salah satu sumber energi alternatif yang dianggap potensial adalah biomassa, yang tidak hanya tersedia melimpah secara alami tetapi juga diketahui memiliki karakteristik kimia yang mendukung penggunaannya sebagai energi terbarukan. Biomassa sendiri diketahui tersusun atas tiga komponen utama, yaitu selulosa sebesar 40-60%, hemiselulosa sebesar 20-40% dan lignin 10-25% (Waheed *et al.*, 2022), dimana masing-masing komponen dapat dimanfaatkan secara luas, baik sebagai bahan baku energi, produksi bahan kimia hijau, maupun material ramah lingkungan (Wu *et al.*, 2025).

Biomassa diketahui memiliki nilai kalor rata-rata sekitar 3.000 hingga 4.400 kcal/kg (Patil, 2019), sehingga dapat dijadikan solusi untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta menurunkan emisi karbon (Suhartoyo & Kristiawan, 2020). Salah satu pemanfaatan biomassa yang kian berkembang adalah pembuatan briket. Dengan diubah menjadi briket, biomassa dapat meningkatkan efisiensi penanganan, memperbaiki nilai kalor, menurunkan biaya transportasi dan digunakan secara fleksibel dalam berbagai aplikasi. Khususnya, briket arang dianggap lebih unggul karena pembakaran yang dihasilkan lebih bersih dan stabil, serta daya simpannya lebih lama tanpa mengalami penurunan kualitas (Widodo, 2016). Berdasarkan potensi tersebut, penelitian ini difokuskan pada pemanfaatan biomassa dari limbah pertanian lokal yang melimpah untuk diproses menjadi briket arang skala kecil sebagai alternatif pengganti arang kayu yang selama ini banyak digunakan.

2.3 Briket

Salah satu teknologi yang kini banyak dimanfaatkan adalah pembuatan briket, yang digunakan untuk mengubah biomassa menjadi bahan bakar yang lebih praktis dan ekonomis. Karakteristik biomassa sebagai bahan bakar, baik secara fisik maupun kimia, dapat ditingkatkan melalui teknologi ini, sehingga biomassa dapat dijadikan alternatif yang layak untuk menggantikan bahan bakar fosil. Kualitas briket sebagai

bahan bakar padat ditentukan oleh sifat fisik dan kimia, seperti nilai kalor, kandungan air, kuat tekan, kepadatan dan ukuran partikel (Arni *et al.*, 2014).

Briket dibuat dalam bentuk gumpalan padat dari bahan lunak yang telah mengalami pengerasan, biasanya dari limbah hasil pertanian. Secara fisik, briket memiliki karakteristik padat, keras dan kompak. Bahan alami dan limbah organik, seperti tempurung kelapa, serbuk gergaji, kayu keras (termasuk briket arang/char briquettes), limbah kulit durian, jerami, sekam padi dan bonggol jagung, digunakan untuk membuat briket biomassa (Elfirdaus *et al.*, 2024). Biomassa tersebut kemudian diproses melalui karbonisasi, yaitu pemanasan pada suhu tinggi tanpa udara (Tanui *et al.*, 2018).

Melalui proses karbonisasi, biomassa mentah diubah menjadi bahan bakar padat yang memiliki nilai kalor tinggi, efisiensi pembakaran lebih baik, serta kandungan air dan zat terbang yang lebih rendah (Handayani *et al.*, 2019; Yang *et al.*, 2017). Selain karbonisasi, bahan baku briket digiling dan diayak untuk memperoleh ukuran partikel seragam, dicampur dengan perekat seperti tepung tapioka, dicetak sesuai bentuk yang diinginkan dan dikeringkan secara alami atau menggunakan oven. Dengan proses ini, briket dihasilkan tidak hanya sebagai pengganti bahan bakar fosil, tetapi juga ramah lingkungan karena memanfaatkan limbah yang sebelumnya tidak bernilai guna (Suhartoyo dan Kristiawan, 2020).



Gambar 2.1 Briket (Saksono *et al.*, 2023).

Saat ini, energi alternatif berupa briket yang berasal dari berbagai jenis sampah organik sedang dikembangkan dan dimanfaatkan oleh beberapa negara di dunia. Pengolahan sampah organik ini terlihat memiliki potensi besar karena dapat dimanfaatkan kembali menjadi sumber energi yang bernilai guna. Selain itu, volume limbah dapat dikurangi melalui pembuatan briket dan briket dapat dijadikan sebagai alternatif sumber energi yang lebih ramah lingkungan sekaligus sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan limbah rumah tangga dan pertanian (Elfirdaus *et al.*, 2024). Inovasi semacam ini tidak hanya memberikan solusi terhadap permasalahan limbah, tetapi juga mendorong terciptanya peluang ekonomi baru di masyarakat. Dengan adanya dukungan dan partisipasi aktif dari masyarakat, roda perekonomian lokal dapat diperkuat, sekaligus kesadaran akan pentingnya energi terbarukan dapat ditingkatkan (Maidasari *et al.*, 2023).

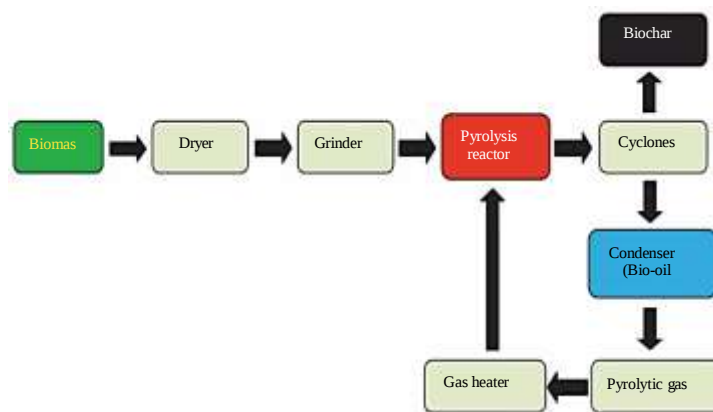
2.4 Karbonisasi

Karbonisasi merupakan salah satu metode termal yang banyak digunakan untuk mengubah biomassa padat menjadi bahan bakar berupa arang. Bahan biomassa yang umum digunakan dalam proses ini, seperti kulit durian, kayu, sekam padi dan berbagai limbah peternakan, dipanaskan pada suhu tinggi, yaitu antara 400°C hingga 600°C, dalam kondisi minim atau tanpa oksigen (Mansurov *et al.*, 2022; Sari *et al.*, 2018; Suhartoyo & Kristiawan, 2020). Kondisi tanpa oksigen ini diterapkan agar pembakaran sempurna dapat dihindari sehingga arang dapat dihasilkan, bukan hanya abu. Selama proses karbonisasi, dekomposisi termal terjadi pada biomassa tanpa kehadiran oksigen secara langsung, sehingga produk utama berupa arang (*biochar*) terbentuk, sementara uap hasil karbonisasi dan gas mudah terbakar dihasilkan sebagai produk samping.

Proses karbonisasi diawali dengan pengeringan biomassa untuk mengurangi kandungan air. Selanjutnya, biomassa dihaluskan menggunakan *grinder* agar ukuran partikelnya seragam. Biomassa yang telah dipersiapkan kemudian dimasukkan ke dalam tabung karbonisasi atau pirolisis, pemanasan dilakukan tanpa kehadiran oksigen. Dalam proses ini, senyawa zat terbang diuraikan dan arang

dihasilkan sebagai produk utama. Gas dan uap yang terbentuk dialirkan ke siklon untuk memisahkan partikel padat, kemudian dilanjutkan ke kondensor, uap diubah menjadi bio-oil. Sisa gas pirolitik digunakan kembali melalui gas heater sebagai sumber panas tambahan, sehingga sistem menjadi lebih efisien dan berkelanjutan.

Secara visual, proses ini dapat digambarkan melalui skema pada **Gambar 2.2**. Menurut Ridhuan & Suranto, (2017), karbonisasi umumnya didefinisikan sebagai proses pembuatan arang, meskipun secara teknis juga mencakup metode distilasi kering, yaitu pemanasan bahan tanpa pembakaran yang sempurna. Selama proses ini, senyawa zat terbang seperti kandungan air, hidrogen dan oksigen akan diproses sehingga terurai dan dilepaskan dalam bentuk uap atau gas, sehingga tersisa residu padat yang kaya karbon, yaitu arang. Arang ini dikenal memiliki nilai kalor tinggi dan stabilitas fisik yang lebih baik, sehingga digunakan sebagai sumber energi alternatif yang lebih efisien dibandingkan pembakaran biomassa secara langsung.



Gambar 2.2 Skema proses karbonisasi bahan organik (Beneroso *et al.*, 2017).

Perbedaan mencolok antara karbonisasi dan pembakaran sempurna dapat dilihat dari hasil serta laju prosesnya. Seluruh bahan organik diubah menjadi abu berwarna keputihan dan seluruh energinya dilepaskan dalam waktu singkat saat pembakaran sempurna dilakukan. Sebaliknya, karbonisasi dijalankan secara perlahan dan terkontrol. Jika proses pemanasan dihentikan ketika bahan masih dalam kondisi membara, maka arang berwarna kehitaman yang masih menyimpan sejumlah energi dihasilkan. Arang ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan, seperti memasak, memanggang, maupun mengeringkan (Rifdah *et al.*, 2018). Lebih lanjut,

Rifdah *et al.*, (2018) juga menyatakan bahwa keunggulan dari hasil karbonisasi terletak pada karakteristik pembakarannya. Arang yang dihasilkan menghasilkan lebih sedikit asap, lebih bersih saat digunakan, serta lebih efisien sebagai bahan bakar. Keunggulan ini menjadikan arang dipandang sebagai alternatif bahan bakar yang lebih sehat dan layak digunakan dalam lingkungan rumah tangga, terutama di wilayah dengan keterbatasan akses terhadap energi modern.

Dalam konteks produksi briket, proses karbonisasi dianggap sebagai tahapan yang sangat krusial. Tahap ini tidak hanya berfungsi untuk mengubah bahan baku menjadi arang, tetapi juga berperan dalam meningkatkan kualitas bahan baku, khususnya dalam hal nilai kalor, kestabilan pembakaran, serta kemudahan penyimpanan. Oleh karena itu, karbonisasi tidak sekadar dipandang sebagai tahapan teknis, melainkan juga sebagai strategi penting dalam menciptakan bahan bakar padat alternatif yang lebih bernilai guna dan berkelanjutan.

2.5 Bahan Baku Briket

2.5.1 Kulit Durian

Limbah organik berupa kulit durian banyak dihasilkan, terutama saat musim panen tiba. Sayangnya, limbah ini sering dibuang begitu saja tanpa pengolahan yang memadai, sehingga potensi pencemaran lingkungan meningkat (Utami *et al.*, 2024). Kulit durian dikategorikan sebagai biomassa lignoselulosa dengan struktur kompleks yang terdiri dari selulosa 57-64%, hemiselulosa 30,70% dan lignin 15,60% (Lubis *et al.*, 2018). Tingginya kandungan lignoselulosa, menjadi keunggulan utama karena komponen penyusun dinding sel tanaman. Kandungan ini memiliki peran penting karena menjadi sumber utama karbon dalam proses pembakaran, yang nantinya akan memengaruhi nilai kalor briket (Obeng *et al.*, 2021).

Melalui proses karbonisasi, lignoselulosa pada bahan baku diubah menjadi karbon tetap dengan jumlah lebih besar. Selain itu, kandungan air dan zat terbang secara signifikan dikurangi, sehingga bahan bakar padat dengan sifat pembakaran yang

lebih efisien dan bersih dihasilkan (Febriani *et al.*, 2025). Kadar karbon tetap dalam bahan baku ditingkatkan, kandungan air dan zat terbang dikurangi, serta sifat pembakaran briket yang dihasilkan diperbaiki melalui proses karbonisasi. Dari sisi fisik, struktur berserat pada kulit durian mendukung pencetakan briket yang lebih padat, tidak mudah rapuh dan memiliki kekuatan mekanik lebih baik. Dengan kombinasi kandungan karbon yang tinggi dan struktur fisik yang mendukung, kulit durian dapat digunakan sebagai alternatif bahan bakar yang efisien dan ramah lingkungan (Rosmawati, 2016).



Gambar 2.3 Limbah kulit durian (dokumentasi pribadi).

Pengolahan kulit durian menjadi briket dapat diterapkan oleh masyarakat di daerah pedesaan sebagai alternatif yang sederhana, hemat biaya dan mudah dilakukan, karena teknologi yang dibutuhkan tergolong mudah diakses. Kulit durian, yang selama ini hanya dianggap sebagai sisa hasil pertanian tanpa nilai guna, dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku utama dalam pembuatan briket. Dengan proses ini, jumlah limbah organik dapat dikurangi secara signifikan, sekaligus nilai ekonomisnya sebagai sumber energi terbarukan dapat ditingkatkan. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah ini tidak hanya didukung dalam pengelolaan lingkungan yang lebih berkelanjutan, tetapi juga peluang ekonomi baru bagi masyarakat, khususnya di wilayah penghasil durian dan kawasan pertanian lainnya, dapat dibuka (Soeherman *et al.*, 2023; Haryati *et al.*, 2018; Ariani *et al.*, 2023).

2.5.2 Kotoran Sapi

Pemanfaatan kotoran sapi sebagai pupuk organik masih dianggap jauh dari nilai maksimal, karena waktu yang dibutuhkan dalam proses pembuatannya terbilang lama (Maulana *et al.*, 2025; Zakariah *et al.*, 2023). Menurut Endoh & Wantasen, (2017), salah satu kendala utama yang dihadapi dalam pemanfaatan kotoran sapi sebagai pupuk organik adalah minimnya keterampilan teknis dan terbatasnya akses terhadap teknologi yang memadai di kalangan petani. Hal ini menyebabkan proses pengolahan kotoran menjadi pupuk organik kurang efektif, sehingga hasilnya pun cenderung lebih lambat. Akibatnya, sebagian besar petani kurang diyakinkan oleh efektivitas pupuk organik, terutama karena hasil panen yang diperoleh masih kalah dibandingkan penggunaan pupuk kimia seperti urea.

Kondisi ini diperkuat oleh penelitian Asad & Ahmed (2024), yang dipaparkan bahwa pupuk kimia lebih banyak dipilih oleh petani karena dianggap lebih praktis, mudah diaplikasikan dan mampu memberikan hasil yang lebih cepat dalam meningkatkan produktivitas lahan pertanian. Akibatnya, kotoran sapi sering kali menumpuk karena pemanfaatannya belum optimal. Kotoran sapi diketahui memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, yaitu sekitar 3.200 - 4.550 kcal/kg (Maj *et al.*, 2022) dan 5.333 kcal/kg (Sahu *et al.*, 2016) serta menghasilkan gas metana dalam jumlah yang lumayan besar (Hamzah *et al.*, 2023). Gas metana ini berperan penting dalam meningkatkan nilai kalor dan mempermudah proses pembakaran briket. Kandungan ini dijelaskan bahwa kotoran sapi memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan.

Di banyak daerah peternakan, kotoran sapi biasanya dibiarkan mengering di lahan terbuka sebelum dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Namun, ketika masih dalam keadaan basah, kotoran sapi sering menimbulkan bau tidak sedap yang berpotensi membahayakan kesehatan bagi siapa pun yang menghirupnya (Silva *et al.*, 2025), serta dapat menyebabkan gangguan kesehatan dan menurunkan kenyamanan lingkungan (Symeon *et al.*, 2025). Selain menimbulkan pencemaran lingkungan, keberadaan limbah ternak yang tidak dikelola dengan baik juga dapat menimbulkan kesan negatif terhadap aktivitas peternakan. Oleh karena itu, limbah kotoran sapi

yang selama ini dianggap sebagai sumber pencemaran perlu ditangani dengan tepat agar dampak negatifnya dapat dikurangi sekaligus menciptakan peluang pemanfaatan yang bernilai ekonomi. Penanganan limbah ini dianggap penting, tidak hanya untuk menciptakan lingkungan yang lebih nyaman, tetapi juga untuk mendukung pengembangan peternakan yang berkelanjutan tanpa menimbulkan masalah bagi masyarakat sekitar (Saidi *et al.*, 2022). Kotoran sapi, sebagai limbah peternakan yang tersedia dalam jumlah besar terutama di daerah peternakan, memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan briket. Seperti yang terlihat pada **Gambar 2.4**, kotoran sapi yang dibiarkan begitu saja dapat dianggap sebagai sumber pencemaran jika tidak diolah dengan tepat.



Gambar 2.4 Limbah kotoran sapi (Purwaningsih *et al.*, 2024).

Di tengah semakin menipisnya cadangan bahan bakar serta dampak negatif penggunaannya terhadap lingkungan, briket biomassa berbasis kotoran sapi, menjadi salah satu solusi energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan (Mu'jizat *et al.*, 2023). Kotoran sapi dipilih karena memiliki kandungan kimia yang cukup baik, antara lain kandungan selulosa sebesar 12,03%, hemiselulosa sebesar 10,76%, lignin sebesar 6,33% (Fajobi *et al.*, 2022). Kotoran sapi yang selama ini dianggap sebagai limbah justru diolah menjadi sumber energi terbarukan, sehingga pencemaran lingkungan dapat dikurangi dan volume limbah organik dapat ditekan. Melalui pemanfaatan ini, penyebaran penyakit akibat penumpukan limbah dapat dicegah dan emisi gas rumah kaca yang menjadi pemicu perubahan iklim dapat diminimalkan (Sari *et al.*, 2024). Dengan demikian briket dari kotoran sapi diposisikan tidak hanya sebagai bahan bakar yang lebih bersih, tetapi juga sebagai bagian dari upaya transisi energi menuju sistem yang lebih hijau dan berkelanjutan.

2.6 Standar Nasional Indonesia (SNI)

2.6.1 SNI 1683-2021

Standar Nasional Indonesia (SNI) 1683-2021 telah ditetapkan sebagai acuan resmi dalam penilaian mutu arang kayu, khususnya pada aspek pembakaran dan efisiensi energi. Walaupun standar ini secara khusus diperuntukkan bagi arang kayu, dalam berbagai penelitian biomassa SNI 1683-2021 juga banyak digunakan sebagai referensi karena parameter-parameter yang diatur di dalamnya dianggap relevan secara luas untuk menilai kualitas bahan bakar padat berbasis karbon (Sagah *et al.*, 2024). Dalam penelitian ini, standar tersebut dijadikan pedoman untuk mengevaluasi mutu arang hasil karbonisasi kulit durian dan kotoran sapi, sebab karakteristik termal dan energi yang dicerminkan olehnya sangat relevan.

Melalu SNI 1683-2021, beberapa parameter mutu utama telah ditetapkan, yaitu kandungan air, zat terbang, kadar abu, karbon tetap dan nilai kalor sebagai indikator mutu arang (Dalimunthe & Aditya, 2024). Kelima parameter ini secara langsung dipengaruhi terhadap efisiensi pembakaran maupun potensi energi dari arang atau briket. Dengan mengacu pada standar ini, kualitas arang atau briket dari limbah biomassa seperti kulit durian dan kotoran sapi dapat dievaluasi secara objektif. Apabila hasil pengujian dinyatakan mendekati atau memenuhi batas minimal yang ditentukan, maka arang atau briket ini dapat dikategorikan sebagai bahan bakar alternatif yang layak, ramah lingkungan, serta berpotensi tinggi untuk mendukung transisi energi berkelanjutan.

Tabel 2.1 Standar Nasional Indonesia 1683-2021 Mutu Arang Biomassa

No.	Parameter Mutu	SNI 1683-2021
1.	Kandungan Air	Maksimal 10%
2.	Zat Terbang	10-17%
3.	Kadar Abu	Maksimal 4%
4.	Karbon Tetap	Minimal 79%
5.	Nilai Kalor	Minimal 5.000 kcal/kg

2.6.2 SNI 01-6235-2000

Briket biomassa dipandang sebagai salah satu alternatif bahan bakar padat yang berpotensi menggantikan bahan bakar fosil. Agar dapat digunakan secara optimal dan aman, standar mutu tertentu perlu dipenuhi oleh briket ini. Di Indonesia, acuan mutu ditetapkan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-6235-2000, yang secara khusus diperuntukkan bagi briket arang kayu (Panjaitan *et al.*, 2020). Meskipun demikian, standar ini kerap dijadikan rujukan dalam berbagai penelitian modern mengenai briket biomassa, termasuk yang berbahan dasar limbah pertanian maupun limbah organik lainnya (Anizar *et al.*, 2020). Hal ini disebabkan oleh parameter mutu dalam SNI ini yang dianggap cukup representatif untuk menilai kualitas briket berbasis biomassa secara umum. Beberapa parameter penting yang dicantumkan mencakup kandungan air, zat terbang, kadar abu dan karbon tetap.

Tabel 2.2 Standar Nasional Indonesia 01-6235-2000 Briket Biomassa

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

2.7 Uji Proksimat

Uji proksimat dianggap sebagai salah satu metode karakterisasi yang penting dalam penentuan kualitas bahan bakar briket. Pada analisis ini ditentukan empat parameter utama, yaitu kandungan air (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), kadar abu (*ash content*) serta karbon tetap (*fixed carbon*). Setiap parameter memberikan informasi spesifik mengenai performa pembakaran dan efisiensi energi dari bahan yang digunakan. Uji proksimat dilakukan mengacu pada prosedur ISO 18134 (ISO, 2017) untuk menentukan kandungan air, ISO 18123 (ISO, 2023) untuk menentukan kandungan zat terbang dan ISO 18122 (ISO, 2015) untuk menentukan kadar abu.

2.7.1 Kandungan Air (*Moisture*)

Kandungan air atau *moisture content* dianggap sebagai salah satu faktor penting yang memengaruhi kualitas bahan bakar padat seperti briket (Jayasuriya *et al.*, 2022). Secara sederhana, kandungan air didefinisikan sebagai jumlah air yang terkandung dalam suatu bahan dan biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase. Jumlah pori-pori pada bahan sering dikaitkan dengan tingginya kandungan air, karena melalui pori-pori ini air dapat diserap dan disimpan lebih banyak (Rezanezhad *et al.*, 2010). Dalam proses pembuatan briket, kualitas hasil akhir sangat ditentukan oleh kandungan airnya (Abdel *et al.*, 2023). Nilai kalor yang tinggi umumnya dihasilkan oleh briket dengan kandungan air rendah, sehingga kalor lebih besar dapat dilepaskan dan proses pembakaran berlangsung lebih efisien (Anizar *et al.*, 2020).

Sebaliknya, kesulitan penyalaan, peningkatan jumlah asap, serta penurunan suhu penyalaan dan daya bakar biasanya ditimbulkan oleh kandungan air yang tinggi (Donal *et al.*, 2022). Dalam bidang industri, khususnya pada sektor bahan bakar dan mineral, dua istilah penting terkait analisis kelembaban material dikenal luas, yaitu *total moisture* dan *inherent moisture* (Karunanithy *et al.*, 2012). *Total moisture* diartikan sebagai keseluruhan kandungan air dalam material, termasuk air di permukaan maupun yang terperangkap di dalamnya (Mahapatra, 2015). Sementara itu, *inherent moisture* dipahami sebagai kandungan air yang secara alami terikat dalam struktur internal bahan dan hanya dapat dilepaskan melalui proses pemanasan tertentu (Rivaldo Tarigan *et al.*, 2024). Secara kuantitatif, *total moisture* dan *inherent moisture* ditentukan pada **Persamaan 2.1**.

$$TM = \frac{B - C}{B - A} \times 100\% \quad 2.1$$

2.7.2 Zat Terbang (*Volatile Matter*)

Kandungan zat terbang atau *volatile matter* dikenal sebagai komponen dalam bahan yang mudah menguap selain air dan biasanya dihasilkan melalui proses dekomposisi senyawa organik. Secara kuantitatif, zat terbang ditentukan pada

Persamaan 2.1. Dalam briket arang, zat terbang dikelompokkan ke dalam senyawa-senyawa selain air, abu dan karbon yang kualitas pembakarannya dapat dipengaruhi (Deglas & Fransiska, 2020). Jika kandungan zat terbang terlalu tinggi, maka lebih banyak asap akan dihasilkan saat pembakaran, sehingga efisiensi serta kenyamanan pengguna dapat berkurang (Wu *et al.*, 2025). Kandungan zat terbang dalam briket arang dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya komposisi bahan baku yang digunakan. Apabila proses karbonisasi tidak dijalankan secara optimal, maka senyawa-senyawa ini tidak akan terurai sepenuhnya, sehingga kandungannya tetap tinggi pada produk akhir. Padahal, briket arang dengan kandungan zat terbang rendah umumnya dianggap lebih berkualitas karena pembakaran yang lebih bersih dan stabil dapat dihasilkan (Mencarelli *et al.*, 2025).

Selain itu, ukuran partikel bahan juga dianggap berperan penting. Serbuk arang dengan ukuran partikel lebih kecil cenderung menghasilkan briket dengan kandungan zat terbang lebih rendah, karena semakin kecil ukuran partikel maka semakin mudah pula senyawa zat terbang diuapkan selama proses karbonisasi (Nikiforov *et al.*, 2023). Oleh karena itu, kualitas briket arang yang ramah lingkungan dan efisien dapat dihasilkan apabila bahan baku dipilih dengan tepat dan pengelolaannya dilakukan secara optimal.

2.7.3 Kadar Abu (*Ash Content*)

Kadar abu atau *ash content* adalah residu yang tertinggal setelah pembakaran briket (Marreiro *et al.*, 2021). Abu ini umumnya tersusun dari berbagai zat mineral seperti lempung, silika, kalsium, magnesium oksida, serta unsur lain yang tidak terbakar sempurna (Maj *et al.*, 2025). Nilai ini menunjukkan bagian briket yang tidak terbakar, di mana kadar abu tinggi dapat menurunkan efisiensi pembakaran serta menyulitkan operasi dan pemeliharaan alat (Zhang *et al.*, 2020). Perhitungan nilai kadar abu ditentukan pada **Persamaan 2.2.**

$$AC = \frac{C - A}{B - A} \times 100\% \quad 2.2$$

Oleh karena itu, kualitas dan kinerja briket sebagai bahan bakar akan meningkat apabila kadar abu yang dimilikinya semakin rendah (Falemara *et al.*, 2018). Pembakaran yang lebih bersih dan efisien biasanya dihasilkan oleh briket dengan kadar abu rendah, sedangkan tingginya kadar abu dapat menyebabkan penurunan nilai kalor sehingga energi yang dihasilkan menjadi lebih sedikit (Amriansyah & Sihombing, 2021; Setyono & Yayok Suryo Purnomo, 2022).

Kadar abu dianggap sebagai salah satu parameter penting dalam penentuan kualitas briket karena sifat pembakaran yang lebih baik terlihat oleh bahan bakar dengan kandungan abu yang rendah (Liu *et al.*, 2021). Kadar abu dalam briket dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya ialah penggunaan bahan perekat yang berpotensi menyumbangkan tambahan abu dari komposisinya, serta keberadaan garam mineral yang terbentuk selama proses pengarangan. Dengan demikian kadar abu perlu dikendalikan secara optimal agar briket yang dihasilkan memiliki mutu yang baik sebagai bahan bakar alternatif (Inegbedion, 2022).

2.7.4 Karbon Tetap (*Fixed Carbon*)

Karbon (C) dalam briket biomassa umumnya tersusun dari karbon tetap (*fixed carbon*) serta unsur lain yang tidak mudah diuapkan selama proses pembakaran. Kualitas dan performa briket banyak ditentukan oleh kandungan karbon tetap. Energi kalor yang lebih besar dihasilkan apabila kadar karbon tetap lebih tinggi, sehingga proses pembakaran dapat berlangsung lebih efisien dan tahan lama (Gazali & Tang, 2021). Secara teknis, karbon tetap didefinisikan sebagai sisa karbon yang tertinggal setelah kandungan air, zat terbang dan kadar abu dihilangkan atau terbakar (Herlambang *et al.*, 2025). Karena sifatnya yang tidak mudah menguap, karbon tetap terbakar secara perlahan dan stabil, sehingga panas utama dalam pembakaran berkelanjutan sebagian besar disumbangkan olehnya. Nilai karbon tetap ditentukan pada **Persamaan 2.3**.

$$FC = 100\% - (\text{Inherent Moisture} + \text{Volatile Matter} + \text{Ash Content}) \quad 2.3$$

Sebagian kecil karbon dalam biomassa dapat diketahui mengandung isotop radioaktif, yaitu karbon-14 (^{14}C), meskipun jumlahnya sangat kecil, sekitar 1 ppm (Stuiver & Polach., 1977). Pada saat pembakaran, ^{14}C dapat dilepaskan dalam bentuk asap atau partikel halus yang berpotensi menimbulkan risiko, meskipun relatif rendah. Jika asap ini terhirup atau mengenai mata, iritasi saluran pernapasan, peradangan paru-paru, hingga gangguan kesehatan jangka panjang dapat dipicu akibat sifat radioaktifnya (Pardo *et al.*, 2024).

Risiko dari ^{14}C pada biomassa memang dianggap rendah dibandingkan sumber radioaktif dari industri, namun terhadap bahaya ini tetap perlu ditingkatkan, terutama pada pekerja yang sering terpapar asap tanpa perlindungan memadai (Yao *et al.*, 2023). Bahaya utama bukan ditimbulkan oleh radiasi eksternal, karena radiasi beta yang dipancarkan ^{14}C tidak cukup kuat untuk menembus kulit, melainkan oleh paparan internal. Jika asap yang mengandung ^{14}C masuk ke dalam tubuh, penyebarannya dapat terjadi ke seluruh jaringan, terutama terkonsentrasi di lemak dan tulang. Oleh karena itu, meskipun risikonya rendah pada pembakaran biomassa sehari-hari, paparan berulang tanpa ventilasi atau pelindung tetap dapat menimbulkan iritasi mata, gangguan pernapasan, maupun peradangan paru-paru (Talaat *et al.*, 2019).

Kadar karbon tetap telah dijadikan indikator utama dalam menilai efektivitas pembakaran bahan bakar padat (Zhao *et al.*, 2024). Nilai ini dipengaruhi oleh kandungan air, kadar abu, serta zat terbang dalam briket (Falemara *et al.*, 2018). Apabila ketiga parameter ini berada pada kadar rendah, peningkatan karbon tetap akan terjadi sehingga pembakaran berlangsung lebih stabil dan optimal (Marreiro *et al.*, 2021). Sebaliknya, apabila kandungan air, zat terbang dan abu terlalu tinggi, penurunan kadar karbon tetap akan terjadi karena banyak material hilang atau menguap saat proses pembakaran. Oleh sebab itu, keseimbangan komposisi bahan baku dan pengendalian proses produksi harus dijaga agar karbon tetap dapat dimaksimalkan (Vivek *et al.*, 2025).

2.7.5 Nilai Kalor (*Caloric Value*)

Nilai kalor atau *caloric value* bahan bakar didefinisikan sebagai jumlah energi panas maksimum yang dilepaskan per satuan massa atau volume ketika bahan bakar dibakar secara sempurna dalam kondisi terkendali melalui reaksi pembakaran total (Esteves *et al.*, 2023). Parameter ini telah digunakan secara luas sebagai salah satu indikator utama dalam penilaian kualitas bahan bakar padat, termasuk briket biomassa (Obi *et al.*, 2022). Secara umum, nilai kalor dipengaruhi oleh hasil uji proksimat, terutama kadar karbon tetap, kandungan air dan kadar abu, yang terbukti memberikan pengaruh signifikan terhadap besarnya nilai kalor (Ozyuguran & Yaman, 2016). Nilai kalor lebih besar biasanya dihasilkan oleh kadar karbon tetap yang tinggi, sedangkan kehilangan energi kalor dapat diminimalkan oleh kandungan air dan abu yang rendah. Dengan demikian nilai kalor tinggi umumnya dicapai oleh briket dengan kualitas baik karena rasio ini mendukung proses pembakaran yang efisien dan stabil.

Kalor didefinisikan sebagai bentuk energi, dengan perubahan yang setara dengan kerja. Seperti halnya tarikan gravitasi atau potensial listrik, aliran panas terjadi dari temperatur yang lebih tinggi menuju temperatur yang lebih rendah, kecuali jika kerja dilakukan pada sistem. Dalam notasi termodinamika, kalor dilambangkan dengan huruf *Q*, yang dinyatakan bernilai positif apabila diserap oleh sistem dari lingkungan dan bernilai negatif apabila dilepaskan ke lingkungan. Sama seperti kerja, jumlah kalor yang diserap atau dilepaskan ditentukan oleh jalannya proses yang dialami sistem. Secara matematis, hubungan antara jumlah kalor, massa, kalor jenis dan suhu dapat terlihat melalui **Persamaan 2.4**.

$$Q = mcT \quad 2.4$$

Pada **Persamaan 2.4**, jumlah kalor yang diterima atau dilepaskan dinyatakan dengan simbol *Q* dan diukur dalam satuan Joule (J). Massa zat dinyatakan dengan simbol *m* dalam kilogram (kg), kalor jenis terlihat oleh simbol *c* dengan satuan ($\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$), sedangkan suhu diukur dalam derajat Celcius ($^\circ C$) dan dilambangkan dengan simbol *T*.

Kapasitas kalor didefinisikan sebagai kemampuan gas yang digunakan untuk menyerap atau melepaskan kalor pada setiap kenaikan suhu. Dua macam kapasitas kalor yang dianggap penting untuk gas dapat dibedakan, yaitu :

1. Kapasitas kalor pada volume tetap (C_V), dirumuskan pada **Persamaan 2.5**.

$$C_V = \frac{Q_V}{\Delta T} \quad 2.5$$

2. Kapasitas kalor pada tekanan tetap (C_P), dirumuskan pada **Persamaan 2.6**.

$$C_P = \frac{Q_P}{\Delta T} \quad 2.6$$

Dari persamaan gas ideal, diperoleh **Persamaan 2.7**.

$$C_V - C_P = nR \quad 2.7$$

Kapasitas kalor pada tekanan tetap dilambangkan dengan C_P dan dinyatakan dalam (J/K), sedangkan kapasitas kalor pada volume tetap terlihat C_V dengan satuan yang sama. Jumlah mol gas dinyatakan dengan n , sedangkan tetapan umum gas direpresentasikan oleh R .

Nilai kalor atau *heating value*, didefinisikan sebagai ukuran energi panas yang dihasilkan dari pembakaran sampel briket dalam bomb calorimeter hingga sistem dikembalikan ke suhu lingkungan. Nilai kalor dibedakan menjadi Nilai Kalor Atas (*Highest Heating Value/HHV*) dan Nilai Kalor Bawah (*Lowest Heating Value/LHV*). HHV didefinisikan sebagai jumlah kalor yang dilepaskan dari pembakaran sempurna satu satuan massa atau volume bahan bakar pada tekanan tetap, dengan asumsi seluruh uap air hasil pembakaran dikondensasikan kembali. LHV ditetapkan sebagai nilai HHV yang dikurangi kalor laten penguapan air, baik dari kandungan awal bahan bakar maupun dari uap air yang terbentuk selama proses pembakaran.

Pada penelitian ini, nilai kalor briket dihitung berdasarkan **Persamaan 2.8** mengenai *Highest Heating Value* (HHV).

$$\text{HHV} = (0,1905 \cdot \text{VM}) + (0,2521 \cdot \text{FC}) \quad 2.8$$

Kadar karbon tetap (FC) dan kadar zat terbang (VM) dijadikan sebagai parameter, sedangkan persamaan ini dipilih karena dianggap mampu menghubungkan hasil uji proksimat dengan nilai kalor briket biomassa secara akurat.

2.8 Karakterisasi

Karakterisasi memiliki peran penting dalam penelitian briket biomassa, karena sifat fisik, kimia dan struktural dari bahan baku maupun produk akhir perlu dipahami (Nasrul *et al.*, 2020). Melalui karakterisasi, informasi mendalam mengenai komposisi unsur, struktur permukaan, gugus fungsi kimia, serta fasa mineral yang terbentuk selama proses pembuatan briket dapat diperoleh (Roman *et al.*, 2023; Hadey *et al.*, 2022). Data ini dijadikan dasar dalam penilaian kualitas dan performa briket sebagai bahan bakar alternatif. Sampel dikarakterisasi menggunakan beberapa instrumen, yaitu *X-ray Fluorescence* (XRF) untuk dianalisis komposisi unsumnya (Barkla, 1918). *X-ray Diffraction* (XRD) untuk ditentukan ukuran dan fase kristalnya (Bragg & Bragg, 1913). *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk diidentifikasi gugus fungsinya berdasarkan serapan inframerah dari ikatan kimia (Johnston, 1990). *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) untuk melihat morfologi permukaan, struktur dan komposisi unsur dalam suatu material pada skala mikroskopis dapat diamati (Von Ardenne, 1938).

2.8.1 *X-ray Fluorescence* (XRF)

X-ray Fluorescence (XRF) digunakan untuk mendeteksi unsur-unsur kimia dan senyawa oksida logam dalam suatu material berdasarkan interaksinya dengan sinar-X (Sumari *et al.*, 2020). Prinsip kerja XRF didasarkan pada identifikasi serta penghitungan sinar-X karakteristik yang dihasilkan melalui efek fotolistrik. Efek fotolistrik ditimbulkan ketika elektron dalam atom sampel terkena paparan sinar berenergi tinggi, seperti radiasi sinar-X. Apabila energi sinar ini melebihi energi ikat elektron pada kulit atom bagian dalam (orbit K, L, atau M), maka elektron akan

terlepas dari lintasan orbitnya. Kekosongan yang ditinggalkan elektron ini kemudian diisi oleh elektron dari kulit luar dan peralihan ini dipancarkan sebagai sinar-X karakteristik yang khas bagi setiap unsur (Barkla, 1918).

Dalam penerapannya, sinar-X ditembakkan ke permukaan sampel lalu energi yang dipancarkan ditangkap oleh detektor untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan. Atom-atom dalam sampel dieksitasi sehingga memancarkan sinar-X dengan energi khas yang ditentukan oleh jenis unsur yang terkandung. Energi ini ditangkap detektor, kemudian dianalisis untuk mengetahui komposisi unsur dalam sampel. Dengan teknik ini, bahan padat, cair, serbuk, maupun film tipis dapat dianalisis, baik untuk komponen utama maupun unsur jejak hingga tingkat ppm. Proses analisis dapat dilakukan dengan cepat dan umumnya hanya membutuhkan sedikit sampel atau bahkan tanpa preparasi yang rumit (Gupta, 2014).



Gambar 2.5 Alat karakterisasi XRF (Barkla, 1918).

2.8.2 *X-ray Diffraction (XRD)*

X-ray Diffraction (XRD) digunakan untuk mengidentifikasi bentuk-bentuk kristal suatu material yang disebut fasa. Melalui teknik ini, fasa-fasa yang terdapat dalam bahan serta konsentrasi masing-masing komponennya dapat ditentukan. Selain itu, tingkat keacakan dan penyimpangan struktur kristal juga dapat diukur, sekaligus dilakukan karakterisasi terhadap material kristalin. Metode ini dinilai efektif dalam mengidentifikasi mineral-mineral halus yang sulit dikenali dengan teknik lain (Wicita, 2016). Ketika sinar-X dengan panjang gelombang tertentu ditembakkan ke

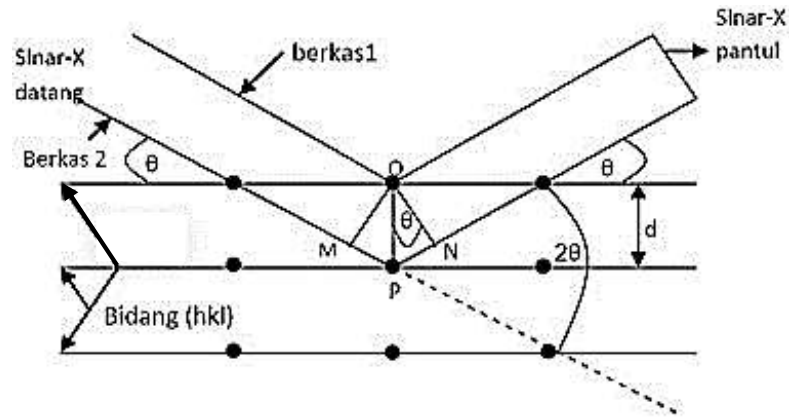
permukaan kristal pada sudut tertentu, sebagian sinar akan dihamburkan oleh bidang-bidang atom yang tersusun periodik di dalam struktur kristal. Hamburan ini kemudian membentuk pola difraksi khas, puncak-puncak intensitas dapat diamati melalui perangkat XRD (Munasir *et al.*, 2012).

Salah satu metode yang banyak digunakan adalah difraksi sinar-X serbuk (*X-ray powder diffraction*). Pada metode ini, sampel serbuk berbentuk kristalin dengan ukuran partikel 10^{-7} - 10^{-4} meter digunakan. Sampel ditempatkan pada plat kaca, kemudian disinari sinar-X yang dihasilkan dari tumbukan elektron berkecepatan tinggi dengan permukaan logam target dalam ruang vakum bertegangan tinggi.



Gambar 2.6 Alat karakterisasi XRD (Bragg & Bragg, 1913).

Pada **Gambar 2.6**, sampel ditembakkan oleh sinar-X dan didifraksikan ke berbagai arah sesuai dengan prinsip Hukum Bragg. Dalam proses ini, berkas sinar-X yang telah didifraksikan oleh kisi-kisi kristal dalam sampel ditangkap oleh detektor yang digerakkan secara teratur mengikuti perubahan sudut (Cullity, 1986). Pada sampel berbentuk serbuk, yang tersusun atas banyak kristal kecil dengan orientasi acak, selalu terdapat bagian kristal yang memenuhi kondisi difraksi sehingga pola difraksi dapat terbentuk dengan jelas.



Gambar 2.7 Skema Hukum Bragg (Bragg & Bragg, 1913).

Berdasarkan **Gambar 2.7**, terlihat bahwa sinar datang 1 menumbuk bidang (O), kemudian sinar akan menembus (O) lalu dibelokkan (N) dan dipantulkan. Begitu juga dengan sinar datang 2 akan menumbuk (P) lalu sinar dibelokkan dan dipantulkan. Dengan jarak $1O1' = \text{jarak sinar } 2P2'$, maka :

$$\lambda = MP + PN \quad 2.9$$

$$\sin \theta = \frac{MP}{OP} = \frac{MP}{d}$$

$$d \sin \theta = MP \quad 2.10$$

Karena $MP = PN$, maka

$$\lambda = 2MP \quad 2.11$$

atau

$$d \sin \theta = MP$$

$$d \sin \theta = \frac{MP}{d} \lambda$$

$$2d \sin \theta = \lambda \quad 2.12$$

Dengan d sebagai jarak antara bidang kristal dalam kristal, θ sebagai sudut difraksi, λ sebagai panjang gelombang (m).

Gambar 2.7 menampilkan skema Hukum Bragg (Bragg & Bragg, 1913). Jika sudut datang sinar serta jarak antar bidang atom terpenuhi sesuai persyaratan tertentu, interferensi konstruktif akan dihasilkan, yaitu penguatan gelombang akibat selisih lintasan yang merupakan kelipatan panjang gelombang. Puncak-puncak difraksi yang khas kemudian terbentuk dari fenomena ini. Dijelaskan oleh Bragg & Bragg (1913), bahwa proses ini tidak dipengaruhi oleh jenis kristal, melainkan ditentukan oleh interaksi antara gelombang sinar-X dengan susunan atom yang teratur. Dengan demikian intensitas dan posisi puncak difraksi lebih ditentukan oleh sifat intrinsik sinar-X serta geometri bidang kisi kristal dibandingkan oleh jenis material penyusunnya (Bragg & Bragg, 1913; Jamaluddin, 2010).

2.8.3 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) dikenal sebagai instrumentasi yang digunakan untuk memperoleh spektrum inframerah dari sampel, melalui interaksi antara radiasi inframerah dengan atom atau molekul dalam bahan. Pada prinsip kerjanya, sampel dikenai radiasi inframerah yang umumnya berasal dari molekul senyawa organik. Radiasi ini berinteraksi dengan gugus-gugus fungsi pada sampel, sehingga sebagian energinya terserap. Energi yang terserap kemudian dicatat oleh interferometer dalam bentuk sinyal interferogram. Sinyal ini selanjutnya diolah secara matematis menggunakan transformasi Fourier (FFT) hingga dihasilkan spektrum inframerah (Faturachman *et al.*, 2025).



Gambar 2.8 Alat karakterisasi FTIR (Jhonston, 1990).

Spektrum FTIR terlihat dalam bentuk grafik yang menggambarkan hubungan antara nilai transmitansi atau serapan dengan bilangan gelombang. Setiap puncak serapan pada spektrum ini dihubungkan langsung dengan frekuensi getaran spesifik dari atom maupun gugus fungsi dalam bahan, sehingga senyawa dapat diidentifikasi secara kualitatif (Maneking *et al.*, 2020). Proses pembentukan spektrum ini dilakukan secara sistematis, sebagaimana terlihat pada **Gambar 2.8**. Tahapan dimulai dari pancaran sinar inframerah yang diarahkan menuju interferometer, kemudian dilewatkan untuk berinteraksi dengan sampel, selanjutnya sinyal dideteksi oleh detektor inframerah dan akhirnya data diolah oleh komputer hingga diperoleh spektrum inframerah yang siap dianalisis.

2.8.4 Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)

Scanning Electron Microscopy (SEM) dikenal sebagai salah satu instrumen material yang banyak dimanfaatkan untuk menganalisis morfologi dan komposisi suatu material dengan resolusi tinggi, sedangkan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) digunakan untuk menganalisis unsur atau karakterisasi kimia dari sampel (Newbury & Ritchie, 2015). Melalui metode SEM-EDS, bentuk serta komposisi unsur partikel dapat ditentukan sehingga partikel berbeda dapat diidentifikasi (Pinet *et al.*, 2018). Dalam SEM, berkas elektron berenergi tinggi dipancarkan dari filamen tungsten, kemudian difokuskan oleh sistem lensa elektromagnetik hingga terbentuk titik sempit dengan diameter sekitar 0,4 hingga 0,5 nanometer.

Seperti terlihat pada **Gambar 2.9**, ketika berkas elektron diarahkan ke permukaan sampel dalam ruang hampa, interaksi antara elektron dengan atom-atom permukaan menghasilkan elektron sekunder, elektron balik (*backscattered electrons*), serta sinar-X karakteristik. Elektron sekunder yang dipancarkan ke segala arah ditangkap oleh detektor *secondary electron* (SE), kemudian sinyalnya diperkuat melalui amplifier dan divisualisasikan menjadi gambar dua dimensi pada monitor katoda, sehingga detail permukaan sampel terlihat dengan perbesaran hingga 200.000 kali (Goldstein *et al.*, 2003).

Dengan demikian informasi yang sangat detail mengenai morfologi permukaan, ukuran butir, tekstur, cacat struktural, hingga indikasi kontaminasi pada permukaan material dapat diperoleh melalui SEM. Pemindaian dilakukan dengan pengaturan lokasi melalui sistem *scanning generator* dan *scanning coils*, sehingga seluruh permukaan dapat dipetakan. Hasil gambar yang dihasilkan mampu memberikan gambaran topografi yang sangat informatif, terutama untuk analisis bahan padat seperti briket biomassa hasil karbonisasi.



Gambar 2.9 Alat karakterisasi SEM (Von Ardenne, 1938).

Menurut Abdullah dan Khairurrijal (2009), profil permukaan material dapat diamati secara efektif menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), karena citra dengan intensitas sinyal tertinggi dapat dihasilkan dari area yang dipindai. Dalam penelitian briket biomassa, struktur pori, keretakan dan tingkat homogenitas campuran bahan dapat diidentifikasi melalui penggunaan SEM. Briket dengan morfologi berpori dianggap lebih mendukung proses pembakaran, sebab difusi oksigen ke dalam material dapat dipermudah oleh struktur ini.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

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

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Alat Penelitian

No.	Nama Alat	Fungsi
1.	Tungku Karbonisasi atau <i>Muffle Furnace</i> Iwata	Alat untuk mengubah bahan organik menjadi arang melalui proses karbonisasi.
2.	Lumpang dan Alu	Lumpang, media untuk sampel sebelum dihaluskan menggunakan alu. Alu, memiliki peran vital dalam proses penghalusan sampel yang lebih kecil.
3.	Oven SHARP EO-35SL	Alat untuk menghilangkan kandungan air pada briket.
4.	Timbangan <i>Digital</i> Nankai ART 177-06	Memberikan pengukuran yang cepat, akurat dan mudah dibaca.

Tabel 3.1 (Lanjutan)

No.	Nama Alat	Fungsi
5.	Saringan 80 <i>Mesh</i> dan 150 <i>Mesh CBN Test Sieve Analysis</i>	Alat untuk memisahkan partikel berdasarkan ukurannya. Partikel dengan ukuran yang relatif besar akan tertahan diatas saringan dan ukuran yang lebih kecil dari ukuran saringan akan lolos dari saringan <i>mesh</i> .
6.	Neraca Analitik 4 <i>Digit Biobase (Electronic Analytical Balance)</i>	Untuk mengukur massa bersatuan kecil dengan tingkat ketelitian sangat tinggi dalam rentang sub-miligram.
7.	Cetakan Briket	Bentuk silinder berdiameter 1 <i>inchi</i> dengan tinggi 4 cm dan pemadat besi, digunakan untuk membentuk briket agar lebih padat, seragam dan mudah digunakan.
8.	Mesin <i>Press</i> Hidrolik 1/2 Ton Krisbow 10143805	Alat untuk memadatkan bahan bahan organik agar menjadi briket.
9.	Cawan Porselin	Sarana untuk pengujian sampel.
10.	Penjepit	Sarana untuk mengambil cawan porselin di dalam <i>furnace</i> dalam suhu tinggi.
11.	Desikator	Untuk menyimpan sampel agar tetap kering.
12.	<i>Stopwatch</i>	Untuk menghitung durasi dan <i>alarm</i> atau pengingat waktu.
13.	<i>Logbook/Buku Catatan</i> Laboratorium	Untuk mencatat hasil pengamatan dan data selama penelitian berlangsung.
14.	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> PANalytical X'Pert Powder	Instrumen untuk menentukan bentuk kristal-kristal dari suatu sampel.
15.	<i>X-ray Fluorescence (XRF)</i> Bruker S8 Tiger	Instrumen untuk menentukan komposisi dari suatu sampel.
16.	<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>	Instrumen untuk mengidentifikasi gugus fungsional dan ikatan kimia dalam suatu

Tabel 3.1 (Lanjutan)

No.	Nama Alat	Fungsi
17.	(FTIR) Invenio R 730 <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS) Thermo Scientific Quattro S	material. Instrumen untuk memvisualisasikan struktur permukaan material pada skala mikroskopis.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3.2 Bahan Penelitian

No.	Nama Bahan	Asal / Keterangan
1.	Kulit Durian	Limbah buah durian yang berasal dari pasar atau rumah tangga.
2.	Kotoran Sapi	Diambil dari peternakan lokal, bahan dikeringkan terlebih dahulu.
3.	Tepung Tapioka	Digunakan sebagai perekat atau <i>binder</i> dalam pembuatan briket.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Preparasi Bahan Baku

Kulit durian dan kotoran sapi terlebih dahulu dikeringkan dengan panas matahari selama 3 hari. Kulit durian dicacah dengan ukuran 3 cm untuk mempercepat proses pengeringan. Setelah kedua bahan baku kering, masing-masing bahan ditimbang menggunakan timbangan digital, kemudian hasil penimbangannya dicatat pada *logbook* atau buku catatan harian laboratorium.

3.3.2 Tahap Karbonisasi/Pengarangan

1. Peralatan yang akan digunakan disiapkan terlebih dahulu, salah satunya dengan *furnace* dipanaskan sebelum digunakan
2. 280 g kulit durian dan 800 g kotoran sapi dimasukkan ke dalam wadah tertutup secara bergantian, kemudian wadah ditutup dengan rapat agar tidak ada ruang masuk untuk udara.
3. Kemudian bahan baku yang telah dimasukkan ke dalam wadah tertutup tadi secara bergantian dimasukkan ke dalam *furnace* yang suhunya sudah di *setting* dengan suhu karbonisasi 500°C. Pintu *furnace* ditutup rapat untuk menjaga suhu *furnace* dapat terjaga dengan stabil. Setelah itu, pengukur waktu (*stopwatch*) diaktifkan untuk mencatat waktu karbonisasi.
4. Waktu karbonisasi disesuaikan dengan karakteristik bahan. Bahan dengan kandungan air yang tinggi akan menghasilkan asap putih yang keluar dari celah-celah pintu *furnace*.
5. Proses karbonisasi pada kulit durian dilakukan selama 40 menit dan diperoleh arang kulit durian sebesar 72 g, sedangkan kotoran sapi selama 1 jam 21 menit dan sebesar 422 g. Hasil yang diperoleh dicatat pada *logbook*.
6. Arang kulit durian dan arang kotoran sapi masing-masing digiling menggunakan lumpang dengan alu diperoleh serbuk halus. Luas permukaan partikel diperbesar agar pencampuran pada tahap pembuatan briket dapat lebih mudah dilakukan (Jaswella *et al.*, 2022). Setelah itu, arang halus diayak menggunakan saringan lolos 80 *mesh* untuk dihasilkan ukuran partikel yang seragam dan meningkatkan kepadatan dan kekuatan mekanik briket (Pang *et al.*, 2019).

3.3.3 Proses Pembuatan Perekat

1. Timbang tepung tapioka sebanyak 50 gram.
2. Kemudian campurkan tepung tapioka dengan air dengan perbandingan 1:4, kemudian diaduk hingga rata.
3. Larutan tepung tapioka kemudian dipanaskan hingga larutan mengental dan warna berubah dari yang awalnya putih menjadi bening.

3.3.4 Proses Pembuatan Briket

Variasi komposisi briket disesuaikan dengan variasi yang terlihat pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3.3 Variasi Komposisi Bahan Briket

Kode	Arang Kulit Durian (%)	Arang Kotoran Sapi (%)	Perekat (%)
K1	90	0	10
K2	84	8	8
K3	77	15	8
K4	72	21	7
K5	66	27	7

1. Arang kulit durian dan arang kotoran sapi dicampur dengan perekat tapioka basah.
2. Campuran homogen dicetak menggunakan cetakan berbentuk silinder dengan diameter 1 *inch* dan tinggi 4 cm lalu ditekan alat *press* manual hidrolik ½ ton.
3. 5 sampel briket yang telah dicetak kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C selama 2 jam.
4. 5 sampel briket biomassa siap diuji.

3.3.5 Prosedur Uji Proksimat

Uji proksimat dilakukan pada dua sampel arang bahan baku dan lima sampel briket untuk mengevaluasi kandungan air (*total moisture* dan *inherent moisture*), zat terbang, kadar abu, karbon tetap dan nilai kalor briket. Sebelum dilakukan pengujian, seluruh sampel digiling halus menggunakan lumpang dengan alu.

Pengujian mengacu pada standar *International Organization for Standardization* (ISO). ISO 18134 untuk prosedur uji proksimat kandungan air, ISO 18123 untuk zat terbang dan ISO 18122 untuk kadar abu. penggunaan sampel terpisah untuk setiap pengujian, penelitian ini menggunakan satu sampel yang sama secara berurutan sebagai bentuk penyederhanaan dengan penanganan yang tetap hati-hati.

1. Kandungan Air/Moisture (ISO 18134)

Pengujian kandungan air terdiri atas dua bagian, yaitu *total moisture* dan *inherent moisture*.

a. *Total Moisture*

Cara kerja :

1. Cawan porselen kosong (A) dan sampel sebanyak 1 gram ditimbang menggunakan neraca analitik dengan ketelitian empat *digit*.
2. Sampel dimasukkan ke dalam cawan dan diperoleh massa (B).
3. Hasil penimbangan dicatat pada *logbook*.
4. Cawan + sampel kemudian dioven dengan keadaan terbuka dengan suhu 110°C selama 2 jam.
5. Setelah proses pemanasan selesai, cawan + sampel dikeluarkan dari oven, ditutup kembali dan didinginkan dalam desikator selama 1 jam.
6. Cawan + sampel ditimbang dan diperoleh massa (C). Nilai (A), (B) dan (C) dianalisis menggunakan **Persamaan 2.1** dan didapat hasil nilai *total moisture*. Hasil analisis dicatat pada *logbook*.

Keterangan **Persamaan 2.1**

A : Cawan Kosong

B : Cawan + Sampel Awal

C : Cawan + Sampel Setelah Pemanasan

b. *Inherent Moisture* (ISO 18134)

Cara kerja :

1. Sampel *total moisture* di lanjutkan untuk proses *inherent moisture*, dengan cara dioven kembali dengan keadaan terbuka pada suhu 110°C selama 1 jam.
2. Setelah pemanasan, cawan + sampel dikeluarkan dari oven ditutup kembali lalu didinginkan dalam desikator selama 1 jam.
3. Cawan + sampel ditimbang dan dianalisis menggunakan **Persamaan 2.1** dan didapat hasil nilai *inherent moisture*. Hasil analisis dicatat pada *logbook*.

2. Zat Terbang/*Volatile Matter* (ISO 18123)

Cara kerja :

1. Sampel *inherent moisture* dipanaskan di dalam *muffle furnace* pada suhu 850°C selama 7 menit dengan keadaan cawan tertutup.
2. Waktu pemanasan dicatat menggunakan *stopwatch*.
3. Setelah pemanasan selesai, cawan + sampel dikeluarkan menggunakan penjepit lalu didinginkan dalam desikator selama 1 jam.
4. ditimbang dan hasil penimbangan dicatat.
5. Cawan + sampel ditimbang dan dianalisis menggunakan **Persamaan 2.1** dan didapat hasil nilai *volatile matter*. Hasil analisis dicatat pada *logbook*.

3. Kadar Abu/*Ash Content* (ISO 18122)

Cara kerja :

1. Sampel *volatile matter* kembali dipanaskan di dalam *muffle furnace* pada suhu 650°C selama 2 jam dalam keadaan cawan terbuka. Waktu pemanasan dicatat menggunakan *stopwatch*.
2. Setelah proses pemanasan selesai, cawan dikeluarkan menggunakan penjepit, ditutup kembali dan diletakkan dalam desikator selama 1 jam.
3. Cawan + sampel ditimbang dan dianalisis menggunakan **Persamaan 2.2** dan didapat hasil nilai *ash content*. Hasil analisis dicatat pada *logbook*.

Keterangan **Persamaan 2.2**

A : Cawan

B : Cawan + Sampel Awal

C : Cawan + Sampel Setelah Pemanasan

4. Karbon Tetap/*Fixed Carbon*

Cara kerja :

Analisis nilai *fixed carbon* dengan cara mengurangi nilai kandungan air (*inherent moisture*), zat terbang dan kadar abu dari 100%. Perhitungannya menggunakan **Persamaan 2.3**.

5. Nilai Kalor/*Caloric Value*

Analisis nilai kalor ditentukan pada **Persamaan 2.8**.

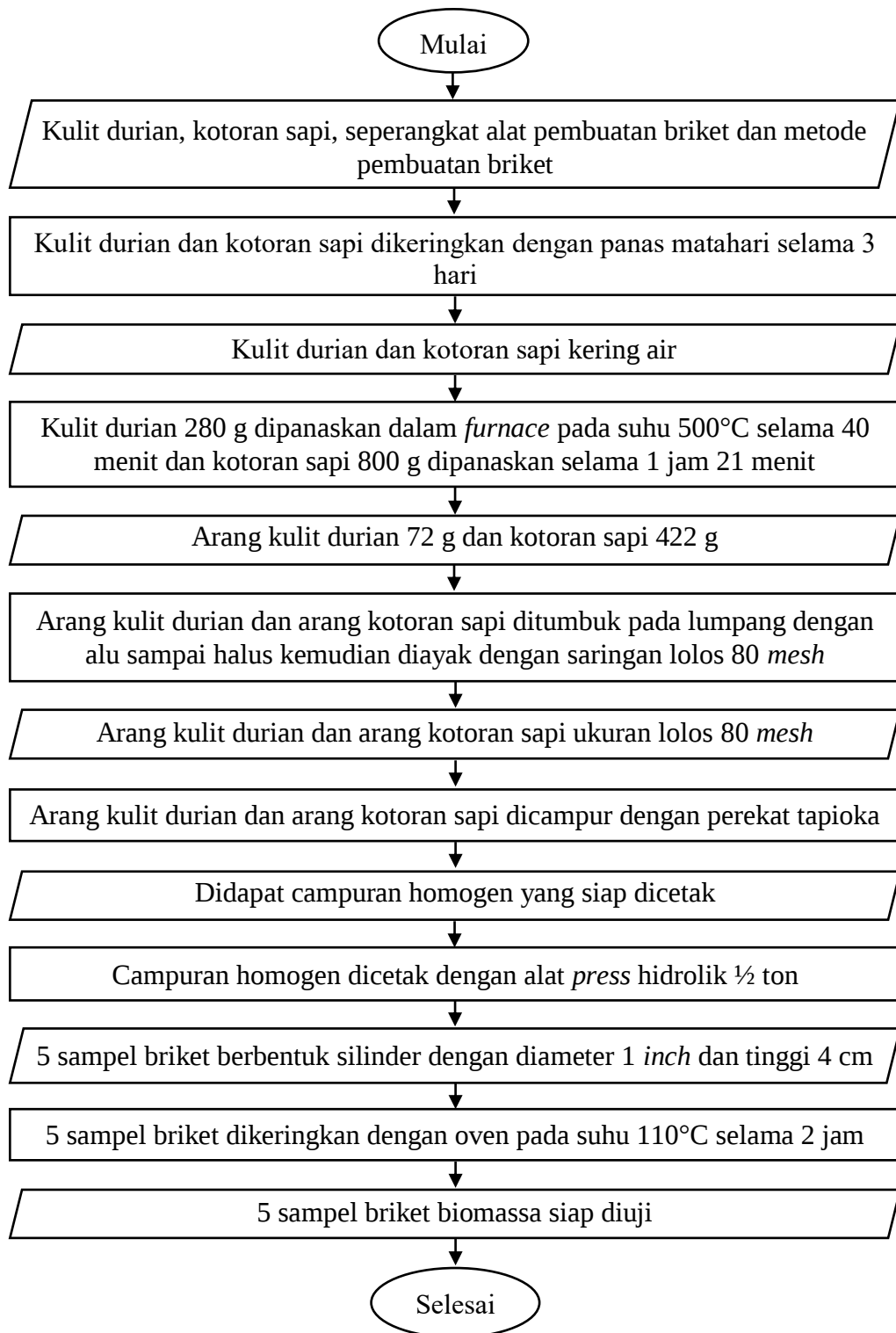
3.5 Karakterisasi Sampel Arang Bahan Baku dan Briket

Dua sampel arang bahan baku dan tiga sampel briket untuk karakterisasi, berdasarkan hasil uji proksimat dengan kadar karbon tetap tertinggi K1, sedang K3 dan terendah K5. Sebelum proses karakterisasi, sampel digiling halus kemudian diayak menggunakan ayakan dengan ukuran lolos 150 *mesh*. Karakterisasi dilakukan menggunakan instrumen XRF Bruker S8 Tiger untuk menganalisis komposisi unsur dari suatu sampel (Barkla, 1918), XRD X'Pert Powder untuk menentukan ukuran struktur kristal dan fase kristal (Bragg & Bragg 1913), FTIR Invenio R 730 untuk mengidentifikasi gugus fungsi dalam senyawa organik berdasarkan serapan inframerah dari ikatan kimia (Johnston, 1990) dan SEM EDS Quattro S untuk melihat morfologi permukaan dan struktur dalam suatu material pada skala mikroskopis (Von Ardenne, 1938).

3.6 Diagram Alir

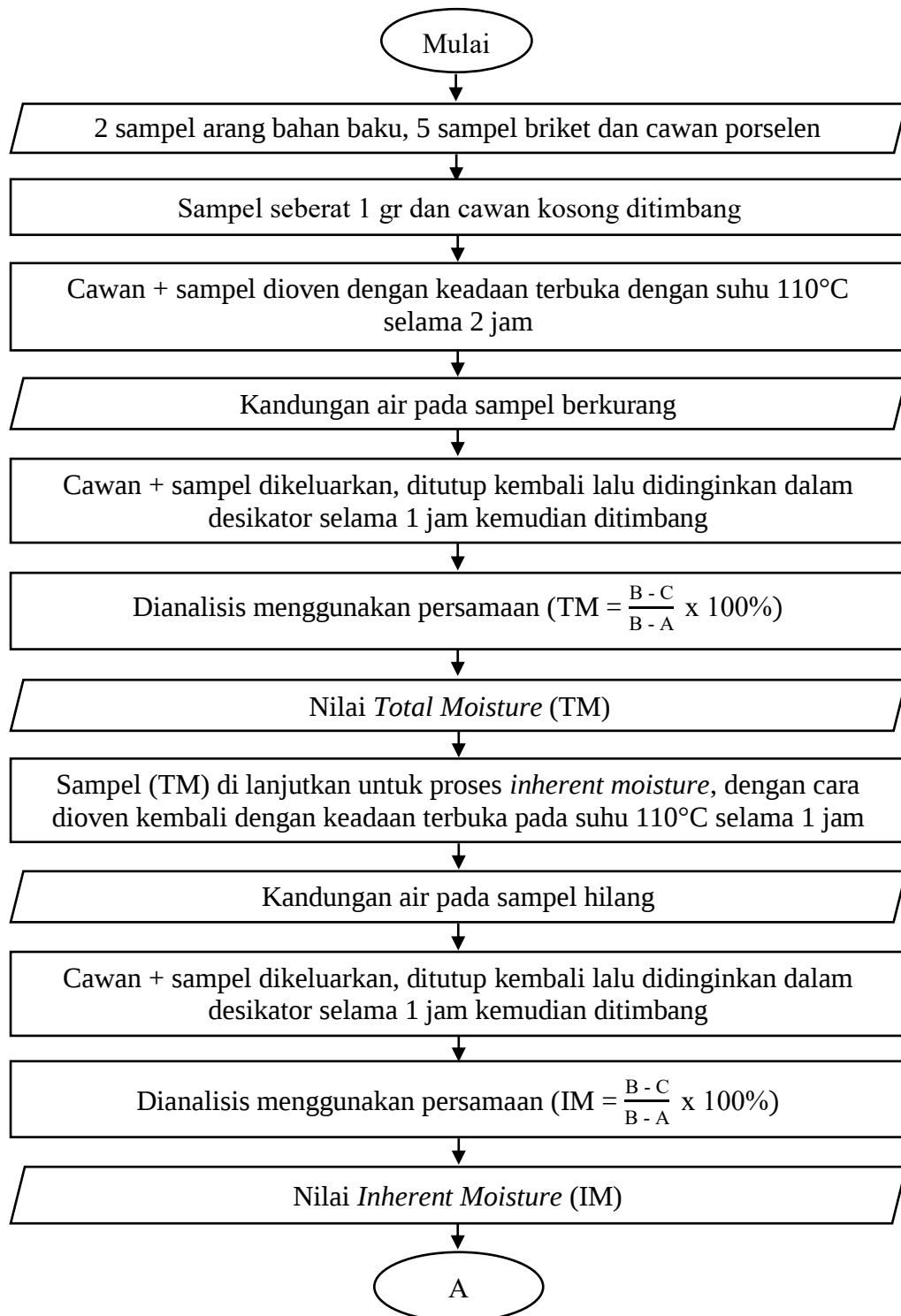
Proses pembuatan briket dari arang kulit durian dan arang kotoran sapi dengan tambahan perekat tepung tapioka dilakukan melalui beberapa tahapan utama. Tahapan ini terlihat secara visual dalam bentuk diagram alir pada **Gambar 3.1** hingga **Gambar 3.7**. Setiap diagram menampilkan urutan proses mulai dari persiapan bahan baku, proses karbonisasi, pencampuran bahan dengan perekat, hingga pencetakan briket dan pengujian proksimat. Diagram alir pada **Gambar 3.7** terlihat menggambarkan keseluruhan alur penelitian.

1. Diagram Alir Pembuatan Briket



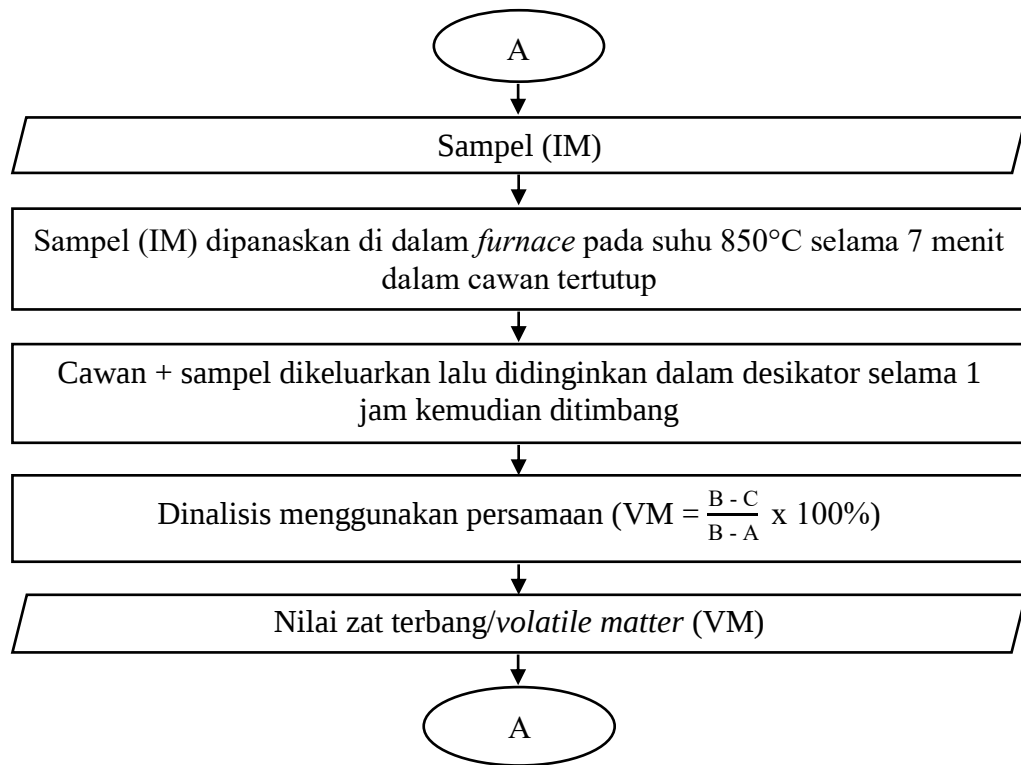
Gambar 3.1 Diagram alir pembuatan briket.

2.1 Diagram Alir Uji Proksimat Kandungan Air/Moisture



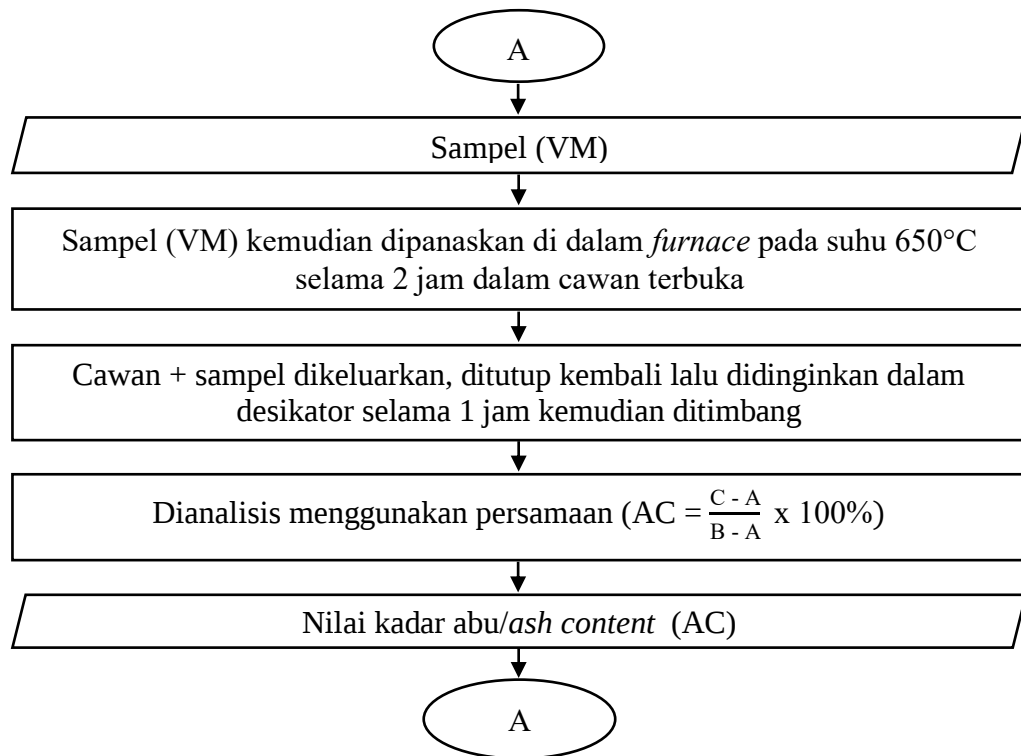
Gambar 3.2 Diagram alir uji proksimat a) kandungan air bahan baku dan briket.

2.2 Diagram Alir Uji Proksimat Zat Terbang/Volatile Matter



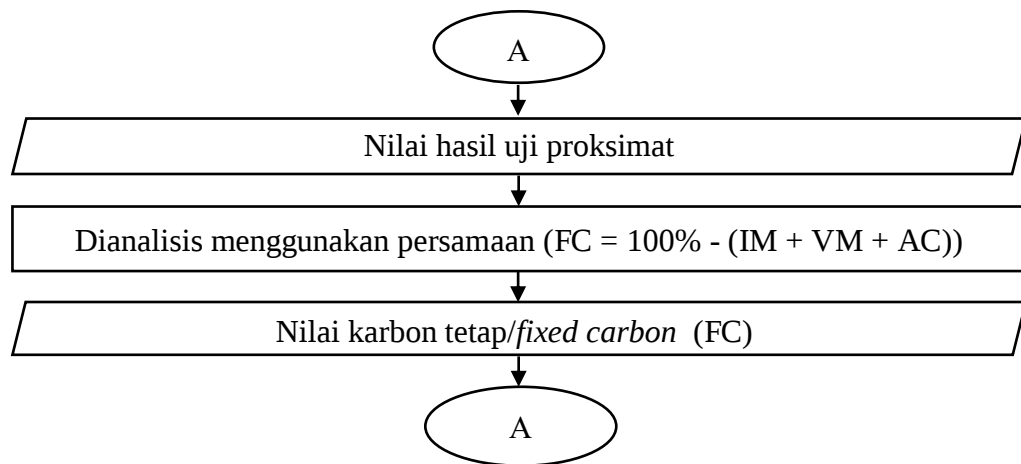
Gambar 3.3 Diagram alir uji proksimat b) zat terbang bahan baku dan briket.

2.3 Diagram Alir Uji Proksimat Kadar Abu/Ash Content



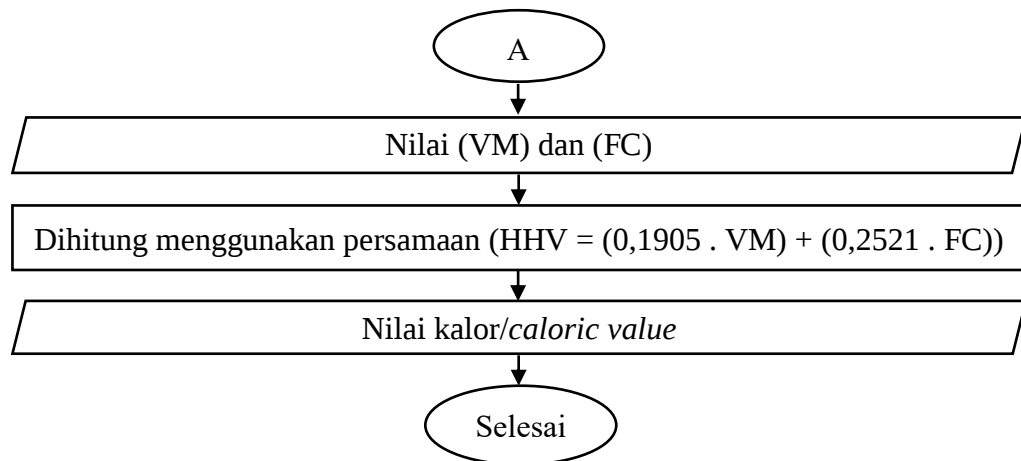
Gambar 3.4 Diagram alir uji proksimat c) kadar abu bahan baku dan briket.

2.4 Diagram Alir Uji Proksimat Karbon Tetap/Fixed Carbon



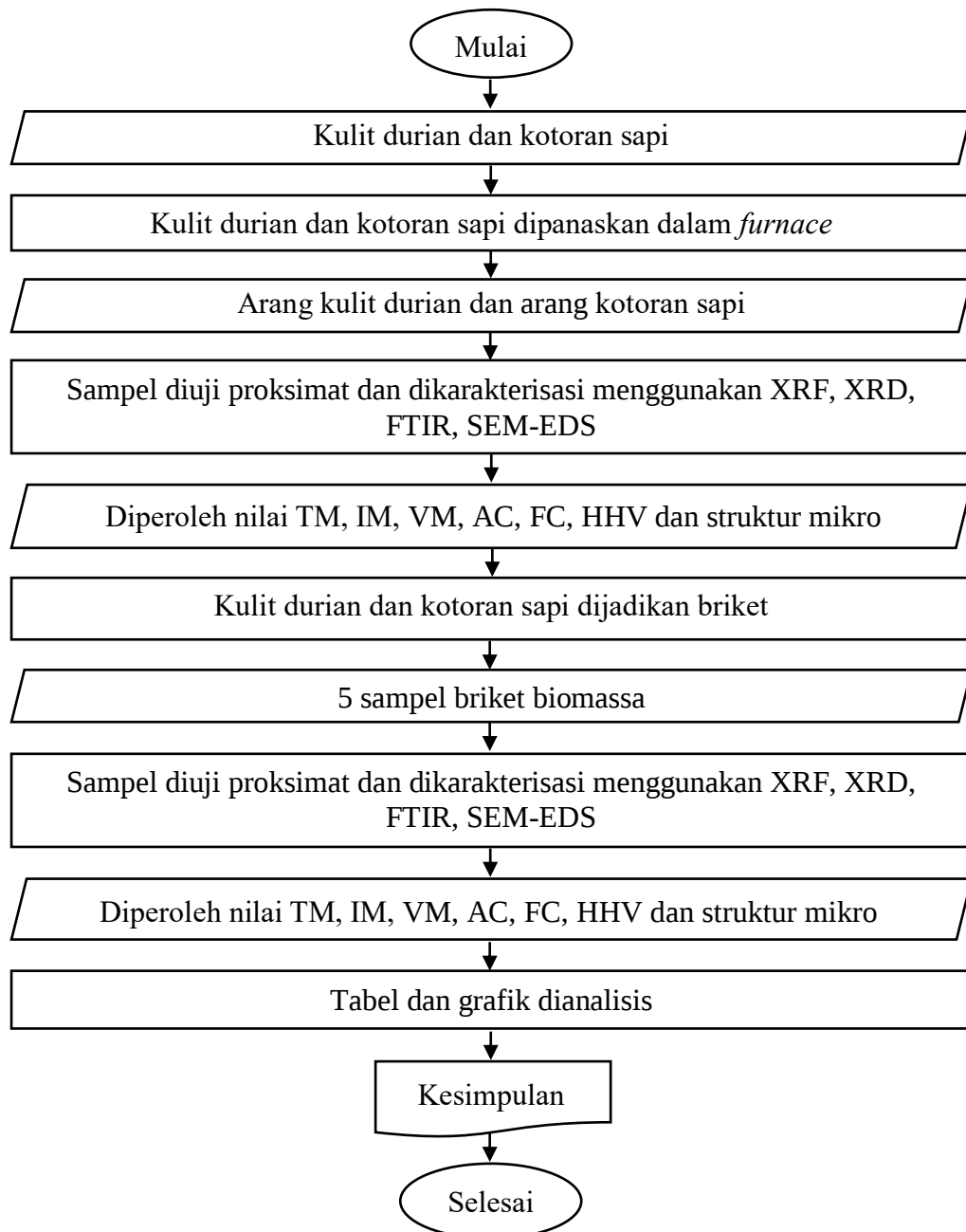
Gambar 3.5 Diagram alir uji proksimat d) karbon tetap bahan baku dan briket.

2.5 Diagram Alir Menghitung Nilai Kalor/*Caloric Value*



Gambar 3.6 Diagram alir menghitung nilai kalor bahan baku dan briket.

3. Diagram Alir Penelitian

**Gambar 3.7** Diagram alir penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Hasil penelitian terlihat bahwa variasi komposisi kulit durian dan kotoran sapi berpengaruh terhadap kualitas briket. Briket K1 (90% : 0 : 10%) memiliki kualitas mendekati SNI 01-6235-2000 dengan kandungan air 0,64%, zat terbang 21,24%, kadar abu 23,5%, karbon tetap 54,62%. Pada K2 (84% : 8% : 8%) kandungan air menurun 0,41% dengan zat terbang 20,23%, kadar abu menjadi 27,99% dan karbon tetap 51,38%. K3 (77% : 15% : 8%) terlihat kandungan air terendah 0,25%, zat terbang 20,53%, kadar abu 28,23% dan karbon tetap 50,99%. K4 (72% : 21% : 7%) memiliki kandungan air 0,17%, zat terbang 22,41%, kadar abu 31,17% dan karbon tetap 46,24%. Sementara itu, K5 (66% : 27% : 7%) memiliki kandungan air tertinggi, yaitu 1,00 %, zat terbang 24,06%, kadar abu 31,04% dan karbon tetap terendah 43,90%.
2. Sampel briket K1 terlihat sebagai briket dengan kualitas mendekati SNI 01-6235-2000. Namun, dari empat parameter SNI yang dipersyaratkan (kandungan air 8%, zat terbang 15%, kadar abu 8% dan karbon tetap 77%) hanya kandungan air yang memenuhi standar, sedangkan parameter lainnya masih berada di luar batas SNI.
3. Keunggulan briket K1 juga diperkuat oleh nilai sebesar 4.255,25 kcal/kg, diikuti oleh K2 sebesar 4.013,03 kcal/kg, K3 sebesar 4.042,13 kcal/kg, K4 sebesar 3.803,90 kcal/kg dan K5 sebesar 3.738,67 kcal/kg. Peningkatan proporsi arang kotoran sapi terbukti menurunkan nilai kalor briket. Meskipun performa terbaik dicapai oleh K1, nilai kalor seluruh sampel briket tetap berada di bawah standar SNI 01-6235-2000 sebesar minimal 5.000 kcal/kg.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk menghasilkan briket dengan kualitas terbaik, disarankan menggunakan komposisi kulit durian murni tanpa campuran kotoran sapi, atau menggunakan limbah biomassa lain seperti tempurung kelapa agar menghasilkan nilai karbon tetap yang tinggi.
2. Briket yang dihasilkan sebaiknya dilakukan uji lanjutan seperti uji nyala, uji tekan dan uji kalor menggunakan alat Bomb Kalorimeter pada briket agar aplikasinya sebagai bahan bakar alternatif dapat diuji dalam skala rumah tangga atau industri kecil secara langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel Aal, A. M., Ibrahim, O. H., Al-Farga, A., & El Saeidy, E. A. 2023. Impact of biomass moisture content on the physical properties of briquettes produced from recycled ficus nitida pruning residuals. *Sustainability*. Vol. 15. No. 15. Hal. 1-17. <https://doi.org/10.3390/su151511762>
- Abdullah, M. dan Khairurrijal. 2009. Review: Karakterisasi Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*. Vol. 2. No. 1. Hal. 1-9.
- Abramovitch, S., & Fortus, D. 2023. Conceptualization of energy by practicing scientists: Do researchers from different disciplines grasp energy as a crosscutting concept. *Education Sciences*. Vol. 13. No. 12. Hal. 1-13. <https://doi.org/10.3390/educsci13121179>
- 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*. Vol. 11. No. 1. Hal. 547. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79510-9>
- Ahmadu, U., Tanko, J., Umar, S., & Muazu, A. 2020. Characterization of rice husk and coconut shell briquette as an alternative solid fuel. *Advanced Energy Conversion Materials*. Vol. 2. No. 1. Hal. 1-12. <https://doi.org/10.37256/aecm.212021608>
- Ahmudi, A., Garniwa, I., Hudaya, C., Nur, S. M., & Sugiyono, A. 2024. Multi-regional analysis of biomass agriculture waste potential and bio-pellet development for electricity in Indonesia. In *AIP Conference Proceedings*. Vol. 3080. No. 1. Hal. 1-12. <https://doi.org/10.1063/5.0203364>
- Alfian, D., Saputra, K., Muhyi, A., & Silitonga, D. 2024. Analysis of Biomass Briquettes Made from Bagasse Using Tapioca Starch Adhesive with Drying Temperature Variations. *Jurnal Rekayasa Mesin*. Vol. 19. No. 1. Hal. 65-76. <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>
- Alshami, M. A., & Sabah, A. 2020. The strategic importance of energy consumption to economic growth: Evidence from the UAE. *International Journal of Energy Economics and Policy*. Vol. 10. No. 1. Hal. 114-119. <https://doi.org/10.32479/ijeep.8289>

- Alshuiael, S. M., & Al-Ghouti, M. A. 2020. Multivariate analysis for FTIR in understanding treatment of used cooking oil using activated carbon prepared from olive stone. *Plos one*. Vol. 15. No. 5. Hal 1-25.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232997>
- Amaliyah, D. M. 2014. Pemanfaatan limbah kulit durian (*Durio zibethinus*) dan kulit cempedak (*Artocarpus integer*) sebagai edible film. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*. Vol. 6. No. 1. Hal 27-34.
- Amir, D., Nasaruddin, R. R., Yousefi, M., Mastuli, M. S., Sulaiman, S., Alam, M. Z., & Engliman, N. S. 2024. Investigating the synthesis parameters of durian skin-based activated carbon and the effects of silver nanocatalysts on its recyclability in methylene blue removal. *Discover Nano*. Vol. 19. No. 1. Hal. 32. <https://doi.org/10.1186/s11671-024-03974-1>
- Amriansyah, M. A., & Sihombing, F. M. H. 2021. Study of ash and total moisture effects on calorific value in coal seam at west Banko field, PT. Bukit Asam, Tbk., Tanjung Enim, South Sumatra. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 830. No. 1. Hal 1-8.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/830/1/012044>
- Anizar, H., Sribudiani, E., & Somadona, S. 2020. Pengaruh Bahan Perekat Tapioka Dan Sagu Terhadap Kualitas Briket Arang Kulit Buah Nipah. *Perennial*. Vol. 16. No. 1. Hal. 11–17. <http://dx.doi.org/10.24259/perennial.v16i1.9159>.
- Ariani, I. K., Anifah, E. M., Harfadli, M. M. A., Sholikah, U., & Hawani, I. N. 2023. Valorization of durian peel waste and sewage sludge as bio-briquette. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 1239. No. 1 Hal. 1-12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1239/1/012018>
- Arni, Labania, H. M., & Nismayanti, A. 2014. Studi Uji Karakteristik Fisis Briket Bioarang sebagai Sumber Energi Alternatif. *Jurnal of Natural Science*. Vol. 3. Hal. 89–98.
- Asad, M., & Ahmed, S. Y. 2024. Utilizing Biofertilizer for achieving sustainable agriculture and rural development strategy towards Vision 2040, Oman. *Sustainability*. Vol. 16. No. 10. Hal. 1-16.
<https://doi.org/10.3390/su16104015>
- Barkla, C. G. 1918. IX. Bakerian lecture. On X-rays and the theory of radiation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*. Vol. 217. No. 549-560. Hal. 315-360.

- Bazenet, R. A., Hidayat, W., Ridjayanti, S. M., Riniarti, M., Banuwa, I. S., Haryanto, A., & Hasanudin, U. 2021. The effect of adhesive content on the characteristics of rubber wood (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) charcoal briquettes. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. Vol. 10. No. 3. Hal. 283-295. <http://dx.doi.org/10.23960/jtep-l.v10.i3.283-295>
- Behazin, E., Ogunsona, E., Rodriguez-Urbe, A., Mohanty, A. K., Misra, M., & Anyia, A. O. (2016). Mechanical, chemical, and physical properties of wood and perennial grass biochars for possible composite application. *BioResources*. Vol. 11. No. 1. Hal. 1334-1348. <https://doi.org/10.15376/biores.11.1.1334-1348>
- Beneroso, D., Monti, T., Kostas, E. T., & Robinson, J. 2017. Microwave pyrolysis of biomass for bio-oil production: scalable processing concepts. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 316. Hal. 481-498.
- Bira, G. F., Tahuk, P. K., & Mau, Y. J. 2020. The Effect Using of Different Cows Manure Levels and Rice Husk on the Quality of Bioarang Briquettes Produced. *Journal of Tropical Animal Science and Technology*. Vol. 2. No. 2. Hal. 26-36. <https://doi.org/10.32938/jtast.v2i2.604>
- Bragg, W. H., & Bragg, W. L. 1913. The reflection of X-rays by crystals. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*. Vol. 88. No. 605. Hal. 428-438.
- Brunerová, A., Roubík, H., Brožek, M., Herák, D., Šleger, V., & Mazancová, J. 2017. Potential of tropical fruit waste biomass for production of bio-briquette fuel: Using Indonesia as an example. *Energies*. Vol. 10. No. 12. Hal. 1-22. <https://doi.org/10.3390/en10122119>
- Budiyanto, M. A. K. 2011. Tipologi pendayagunaan kotoran sapi dalam upaya mendukung pertanian organik di Desa Summersari Kecamatan Poncokusumo Kabupaten Malang. *Jurnal Gamma*. Vol. 7. No. 1. Hal. 1-8. <http://ejournal.umm.ac.id/index.php/gamma/article/view/1420>
- Carvalho, L., & Santos, M. R. 2023. The role of the energy sector in contributing to sustainability development goals: A text mining analysis of literature. *Energies*. Vol. 17. No. 1. Hal. 1-14. <https://doi.org/10.3390/en17010208>
- Chen, X., Du, Z., Liu, D., Wang, L., Pan, C., Wei, Z., & Zhao, R. 2022. Biochar mitigates the biotoxicity of heavy metals in livestock manure during composting. *Biochar*. Vol. 4. No. 1. Hal 1-13. <https://doi.org/10.1007/s42773-022-00174-x>

- Chua, J. Y., Pen, K. M., Poi, J. V., Ooi, K. M., & Yee, K. F. 2023. Upcycling of Biomass Waste From Durian Industry for Green and Sustainable Applications: An Analysis Review in the Malaysia Context. *Energy Nexus*. Vol. 10. Hal. 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100203>
- Cullity, B.D. 1986. Elements of X-Ray Diffraction. *Journal of Scientific Quotations*. Vol. 3. Hal. 92-194.
- Dalimunthe, Y. K., & Aditya, I. D. 2024. Mechanical Properties, Calorific Value, Proximate, and Thermal Analysis of Briquettes Made from Palm Oil Shell and LDPE with Varying Amounts of Adhesive. *Philippine Journal of Science*. Vol. 153. No. 5. Hal. 1968-1983. <https://doi.org/10.5829/ije.2025.38.08b.20>
- Daosukho, S., Kongkeaw, A., & Oengeaw, U. 2012. The Development of Durian Shell Biochar as a Nutrition Enrichment Medium for Agricultural Purpose: Part 1 Chemical and Physical Characterization. *Bull Appl*. Vol. 1. No. 1. Hal. 136. <https://doi.org/10.60136/bas.v1.2012.189>
- Deglas, W., & Fransiska, F. 2020. Analisis perbandingan bahan dan jumlah perekat terhadap briket tempurung kelapa dan ampas tebu. *Teknologi Pangan : Media Informasi Dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian*. Vol. 11. No. 1. Hal. 72–78. <https://doi.org/10.35891/tp.v11i1.1899>.
- Donal, Hasan, H., Winarno, A., Nugroho, W., & Devy, S. D. 2022. Studi pencampuran batubara kualitas rendah dengan arang gergaji kayu sengon pada proses pembuatan briket. *Journal Transformation of Mandalika*. Vol. 2. No. 9. Hal. 271–283. <http://ojs.cahayamandalika.com/index.php/jtm/issue/archive>
- Efelina, V., Naubnome, V., & Sari, D. A. 2018. Biobriket Limbah Kulit Durian Dengan Pencelupan Pada Minyak Jelantah. *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*. Vol. 1. No. 2. Hal. 37. <http://e-journal.unipma.ac.id/index.php/cheesa>
- Elfirdaus, R., Santoso, R. Z., Nugroho, A. A., & Widayoko, A. 2024. Pembuatan Briket Dari Kulit Kopi Sebagai Bahan Bakar Alternatif Ramah Lingkungan. *Jurnal Integrasi Sains dan Qur'an (JISQu)*. Vol. 3. No. 02. Hal. 276-281.
- Endoh, E. K., & Wantasen, E. 2017. Effort to Increase Cattle Farmers Capacity in Application of Compact Organic Fertilizer Technology (Case Study on Farmer Group Lembah Pamuli North Minahasa Regency). *International Journal Of Research Granthaalayah*. Vol. 5. No. 8. Hal. 185-190. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v5.i8.2017.2208>

- Esteves, B., Sen, U., & Pereira, H. 2023. Influence of chemical composition on heating value of biomass: A review and bibliometric analysis. *Energies*. Vol. 16. No. 10. hal 1-17. <https://doi.org/10.3390/en16104226>
- Faijah, F., Fadilah, R., & Nurmila, N. 2020. Comparison of Tapioca Flour and Sago in The Manufacture of Nipah Rind (*Nypafruticans*) Briquettes. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*. Vol. 6. No. 2. Hal. 1-9. <http://eprints.unm.ac.id/id/eprint/18013>
- Fajobi, M. O., Lasode, O. A., Adeleke, A. A., Ikubanni, P. P., & Balogun, A. O. 2022. Investigation of physicochemical characteristics of selected lignocellulose biomass. *Scientific Reports*, Vol. 12. No. 1. Hal. 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07061-2>
- Falemara, B. C., Joshua, V. I., Aina, O. O., & Nuhu, R. D. 2018. Performance evaluation of the physical and combustion properties of briquettes produced from agro-wastes and wood residues. *Recycling*. Vol. 3. No. 3. Hal 1-13. <https://doi.org/10.3390/recycling3030037>
- Faturachman, G. F., Ramanda, A. A., Maharani, S., Latif, L. A., Belo, G. A. G., & Al Ayubi, S. G. 2025. Application of Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) for Quantitative Analysis of Pharmaceutical Compounds. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Education*. Vol. 5. No. 1. Hal. 27-33. <https://doi.org/10.37311/ijpe.v5i1.23309>
- Febriyanto, P., Jerry, J., Satria, A. W., & Devianto, H. 2019. Pembuatan dan karakterisasi karbon aktif berbahan baku limbah kulit durian sebagai elektroda superkapasitor. *Jurnal Integrasi Proses*. Vol. 8. No. 1. Hal. 19-24. <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip>
- Figuerola, M., Lah, O., Fulton, L. M., McKinnon, A., & Tiwari, G. 2014. Energy for transport. *Annual Review of Environment and Resources*. Vol. 39. No. 1. Hal. 295-325.
- Gan, Q., Dong, B., Xu, J., & Peng, S. 2025. Effect of heating temperature on pore structure of briquette coal using SEM, NMR, N₂CH₄ adsorption-desorption analyses. *Scientific Reports*. Vol. 15. No. 1. Hal. 1-16. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-90353-0>
- Gani, R., Novianty, I., & Nurahma, A. 2023. Pemanfaatan Arang Aktif Dari Kulit Durian Otong (*Durio Zibethinus*) Sebagai Adsorben Minyak Jelantah. *Saintistikom*. Vol. 1. No. 1. Hal. 49-57. <https://journal.uin-alaudidin.ac.id/index.php/saintiskom>
- Garg, P., Roche, T., Eden, M., Matz, J., Oakes, J. M., Bellini, C., & Gollner, M. J. 2021. Effect of moisture content and fuel type on emissions from vegetation using a steady state combustion apparatus. *International journal of wildland fire*. Vol. 3. No. 1. Hal. 14-23. <https://doi.org/10.1071/WF20118>

- Gazali, A., & Tang, M. 2021. Uji Kualitas Briket Arang Buah Pinus Hasil Pirolisis Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Seminar Nasional Ilmu Terapan*. Vol. 5. No. 1. Hal. 1–17.
- Goldstein, J., & Dale, E. (2003). Newbury. *DE, Joy, DC, Lyman, CE, Echlin, P., Lifshin, E., Sawyer, L. and Michael, JR.*
- Gunamantha, I. M., & Widana, G. A. B. 2018. Characterization the potential of biochar from cow and pig manure for geoecology application. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 131. Hal. 1-6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/131/1/012055>
- Gunamantha, M., Parwata, I. P., Widana, I. G. A. B., & Oviantari, M. V. 2022. The Advantages and Disadvantages of Livestock Manure and its Biochar as a Solid Fuel and Soil Amendment. *Indonesian Journal of Environmental Management and Sustainability*. Vol. 6. No. 4. Hal. 119-129. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/131/1/012055>
- Gupta, A. K. 2014. Total Reflection X-Ray Fluorescence Spectroscopy Working Principles. *International Journal Of Core Engineering &Management (IJCEM)*. Vol. 1. No. 5. Hal. 36-55.
- Hadey, C., Allouch, M., Alami, M., Boukhelifi, F., & Loulidi, I. 2022. Preparation and characterization of biochars obtained from biomasses for combustible briquette applications. *The Scientific World Journal*. Vol. 2022. No. 1. Hal 1-13. <https://doi.org/10.1155/2022/2554475>
- Hamzah, A. F. A., Hamzah, M. H., Man, H. C., Jamali, N. S., Siajam, S. I., & Ismail, M. H. 2023. Effect of organic loading on anaerobic digestion of cow dung: Methane production and kinetic study. *Heliyon*. Vol. 9. No. 6. Hal. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16791>
- Hakika, D. C., Jamilatun, S., Zahira, S., Setyarini, R., Rahayu, A., & Ardiansyah, R. S. 2023. Combustion quality analysis of bio-briquettes from mixture of coconut shell waste and coal with tapioca flour adhesive. *Indonesian Journal of Chemical Engineering*. Vol. 1. No. 1. Hal. 1-10. <https://doi.org/10.26555/ijce.v1i1.452>
- Handayani, H. E., Ningsih, Y. B., & Meriansyah, M. S. 2019. Effects of carbonization duration on the characteristics of bio-coal briquettes (coal and cane waste). In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 478. Hal. 1-11. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/478/1/012027>
- Haryati, S., & Putri, R. W. 2018. Torrefaction of Durian peel and bagasse for bio-briquette as an alternative solid fuel. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 334. No. 1. Hal. 1-6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/334/1/012008>

- Herlambang, A., Boangmanalu, I. L., Tursida, F., Budiman, A., Kusuma, H. D., & Saputra, A. 2025. Production and Characterization of Bio-Briquettes Derived from Torrefied Cocoa Pod Husk and Durian Peel. *Natural and Life Sciences Communications*. Vol. 24. No. 2. Hal. 1-16. <https://cmuj.cmu.ac.th>
- Herlina, N., Rahayu, S. A., Sari, Y. A., & Monica, H. 2024. Utilization of durian peel waste and young coconut waste into biobriquettes as a renewable energy source. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 1352. No. 1. Hal 1-13. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1352/1/012014>
- Hirunpraditkoon, S., Intharit, S., Srisumran, S., & Wongvirojtana, P. 2014. Combustion properties of briquette charcoal from durian peel. *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 666. Hal. 41-45. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.666.41>
- Hospodarova, V., Singovszka, E., & Stevulova, N. (2018). Characterization of cellulosic fibers by FTIR spectroscopy for their further implementation to building materials. *American journal of analytical chemistry*. Vol. 9. No. 6. Hal. 303-310. <https://doi.org/10.4236/ajac.2018.96023>
- Idroes, G. M., Hardi, I., Rahman, M. H., Afjal, M., Noviandy, T. R., & Idroes, R. 2024. The dynamic impact of non-renewable and renewable energy on carbon dioxide emissions and ecological footprint in Indonesia. *Carbon Research*. Vol. 3. No. 1. Hal. 1-21. <https://doi.org/10.1007/s44246-024-00117-0>
- Inegbedion, F. 2022. Estimation of the moisture content, volatile matter, ash content, fixed carbon and calorific values of saw dust briquettes. *MANAS Journal of Engineering*. Vol. 10. No. 1. Hal. 17-20.
- International Organization for Standardization. 2015. ISO 18122: 2015 Solid Biofuels Determination of Ash Content.
- International Organization for Standardization. 2017. ISO 18134-2: 2017 Solid Biofuels Determination of Moisture Content Oven Dry Method Part 2: Total Moisture Simplified Method.
- ISO, E. 2023. 18123: 2023; Solid Biofuels Determination of Volatile Matter. *ISO: Geneva, Switzerland*.
- Irhamni, I., Saudah, S., Diana, D., Ernilasari, E., Suzanni, M. A., & Hakim, L. 2018. Perbandingan karakteristik mutu biobriket kulit durian dan jenis briket arang berdasarkan persentase volatile matter. *Jurnal Serambi Engineering*. Vol. 3. No. 2. Hal 358-364.
- Jamaluddin, K. 2010. *X-Ray Diffractions*. Makalah Fisika Material. Universitas Haluoleo. Kendari. Hal. 12.

- Jaswella, R. W. A., Sudding, S., & Ramdani, R. 2022. Pengaruh ukuran partikel terhadap kualitas briket arang tempurung kelapa. *Chem. J. Ilm. Kim. dan Pendidik. Kim.* Vol. 23. No. 1. Hal. 7.
- Javier-Astete, R., Jimenez-Davalos, J., & Zolla, G. 2021. Determination of hemicellulose, cellulose, holocellulose and lignin content using FTIR in *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) K. Schum. and *Guazuma crinita* Lam. *PLoS One*. Vol. 16. No. 10. Hal 1-12.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256559>
- Jayasuriya, W. J., Mulky, T. C., & Niemeyer, K. E. 2022. Smouldering combustion in cellulose and hemicellulose mixtures: Examining the roles of density, fuel composition, oxygen concentration, and moisture content. *Combustion Theory and Modelling*. Vol. 26. No. 5. Hal. 831-855.
<https://doi.org/10.1080/13647830.2022.2071170>
- Johnston, S. F. 1990. The evolution of FTIR technology. *Chemistry in Britain*. Vol. 26. Hal. 573-579.
- Kallayalert, Y., Kongsri, W., Pratummasoot, N., & Busabok, C. 2023. Microstructure and Elements of Activated Carbon from Durian Peel. *Journal of Physics and General Science*. Vol. 7. No. 2. Hal. 1-9.
- Karunanithy, C., Wang, Y., Muthukumarappan, K., & Pugalendhi, S. 2012. Physiochemical characterization of briquettes made from different feedstocks. *Biotechnology research international*. Vol. 2012. No. 1. Hal. 1-12. <https://doi.org/10.1155/2012/165202>
- Kaur, L., Singh, J., Ashok, A., & Kumar, V. 2024. Design expert based optimization of the pyrolysis process for the production of cattle dung bio-oil and properties characterization. *Scientific Reports*. Vol. 14. No. 1. Hal. 1-14.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-57843-z>
- Khusna, A., Rahayu, N. S., Utami, S. W., & Lusi, N. 2017. IbM Pemanfatan Teknologi Tepat Guna Pembuatan Briket Limbah Kotoran Ternak Ruminansia. *J-Dinamika : Jurnal Pengabdian Masyarakat*. Vol. 2. No. 1. Hal. 35–38. <https://doi.org/10.25047/j-dinamika.v2i1.450>.
- Kiyasudeen, S. K., bin Ibrahim, M. H., & Ismail, S. A. 2015. Characterization of fresh cattle wastes using proximate, microbial, and spectroscopic principles. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science*. Vol. 15. No. 8. Hal. 1-8.
<https://doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2015.15.8.235>
- Kpalo, S. Y., & Zainuddin, M. F. 2020. Briquettes from agricultural residues; an alternative clean and sustainable fuel for domestic cooking in Nasarawa State, Nigeria. *Energy and power*. Vol. 10. No. 2. Hal. 40-47.
<https://doi.org/10.5923/j.ep.20201002.03>

- Kpalo, S. Y., Zainuddin, M. F., Manaf, L. A., & Roslan, A. M. 2020. Production and characterization of hybrid briquettes from corncobs and oil palm trunk bark under a low pressure densification technique. *Sustainability*. Vol. 12. No. 6. Hal. 1-16. <https://doi.org/10.3390/su12062468>
- Kukwa, R. E., Iortyom, B. O., & Adah, C. A. 2025. Comparative characterization of biochar obtained from cow dung and poultry litter. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. Vol. 14. No. 3. Hal. 1700-1709. <https://doi.org/10.57647/ijrowa-2chr-d623>
- Kumar, R., Singh, P., Singh, A., Sameer, M., Khodwe, A. S. 2024. Production of Porous Biochar from Cowdung and its Application. *International Journal of Science and Research Technology*. Vol. 9. No. 4. Hal. 2855-2861. <https://doi.org/10.38124/ijisrt/IJISRT24APR2455>
- Liu, J., Jiang, X., Cai, H., & Gao, F. 2021. Study of combustion characteristics and kinetics of agriculture briquette using thermogravimetric analysis. *ACS omega*. Vol. 6. No. 24. Hal 15827-15833. <http://pubs.acs.org/journal/acsodf>
- Lohri, C. R., Sweeney, D., & Rajabu, H. 2015. *Carbonizing Urban Biowaste for Low-Cost Char Production in Developing Countries*. Eawag : Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. Swiss. <https://www.researchgate.net/publication/271822779>
- Lubis, R., Saragih, S. W., Wirjosentono, B., & Eddyanto, E. 2018. Characterization of durian rinds fiber (*Durio zubinthinus*, murr) from North Sumatera. In *AIP Conference Proceedings*. Vol. 2049. No. 1. Hal 1-8.) <https://doi.org/10.1063/1.5082474>
- Lv, P., Perre, P., & Almeida, G. 2015. TGA-FTIR analysis of torrefaction of lignocellulosic components (cellulose, xylan, lignin) in isothermal conditions over a wide range of time durations. *BioResources*. Vol. 10. No. 3. Hal. 4239-4251.
- Madhusanka, L., Nilmalgoda, H., Wijethunga, I., Ampitiyawatta, A., & Koswattage, K. 2025. Agri-Eco Energy: Evaluating Non-Edible Binders in Coconut Shell Biochar and Cinnamon Sawdust Briquettes for Sustainable Fuel Production. *AgriEngineering*. Vol. 7. No. 5. Hal. 1-20. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7050132>
- Mahapatra, D. 2015. A Review on Steam Coal Analysis Moisture. *American International Journal of Research in Science, Technology, Engineering & Mathematics*. Vol. 13. No. 2. Hal. 143-152. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30688.38406>
- Maidasari, T., Prakoso, L. Y., & Murtiana, S. 2023. Renewable Energy As A Green Economy Stimulus In Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*. Vol. 4. No. 3. Hal. 183-191. <https://doi.org/10.14710/jebt.2023.18496>

- Maj, I. 2022. Significance and challenges of poultry litter and cattle manure as sustainable fuels: A review. *Energies*. Vol. 15. No. 23. Hal. 1-17. <https://doi.org/10.3390/en15238981>
- Maj, I., Niesporek, K., Płaza, P., Maier, J., & Łój, P. 2025. Biomass Ash: A Review of Chemical Compositions and Management Trends. *Sustainability*. Vol. 17. No. 11. Hal. 1-23. <https://doi.org/10.3390/su17114925>
- Maneking, E., Sangian, H. F., & Tongkukut, S. H. J. 2020. Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik Berbahan Dasar Biomassa dengan Plasticizer Gliserol. *Jurnal Mipa*. Vol. 9. No. 1. Hal. 23-27. <https://doi.org/10.35799/jmuo.9.1.2020.27420>
- Mangalla, L. K., Sisworo, R. R., & Pagiling, L. 2023. Perbaikan Kualitas Energi Biomassa Kayu Jati Menggunakan Torefaksi Microwave Untuk Produksi Bioarang. *TEKNIK*. Vol. 44. No. 1. Hal. 15-22. <https://doi.org/0.14710/teknik.v44i1.48278>
- Mansurov, Z. A., Smagulova, G. T., Sultanov, F. R., Kaidar, B. B., Insepov, Z., & Imash, A. A. 2022. Production of activated and Graphene-Like Carbon Materials from rice husk. *arXiv preprint arXiv:2210.08352*. Hal. 1-24. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2210.08352>
- Manyi-Loh, C. E., Mamphweli, S. N., Meyer, E. L., Makaka, G., Simon, M., & Okoh, A. I. 2016. An overview of the control of bacterial pathogens in cattle manure. *International journal of environmental research and public health*. Vol. 13. No. 9. Hal. 1-27. <https://doi.org/10.3390/ijerph13090843>
- Marreiro, H. M., Peruchi, R. S., Lopes, R. M., Andersen, S. L., Eliziário, S. A., & Rotella Junior, P. 2021. Empirical studies on biomass briquette production: A literature review. *Energies*. Vol. 14. No. 24. Hal. 1-40. <https://doi.org/10.3390/en14248320>
- Maulana, A., Purnamasari, R. T., Arifin, A. Z., & Hidayanto, F. 2025. Effectiveness Test of Cow Manure Composting Method on The Quality of Cow Manure. *Journal of Applied Plant Technology*. Vol. 4. No. 1. Hal. 1-10. <https://doi.org/10.30742/q36jnz39>
- Maulina, W., Kusumaningtyas, R., Rachmawati, Z., Arkundato, A., Rohman, L., & Purwandari, E. 2019. Carbonization process of water hyacinth as an alternative renewable energy material for biomass cook stoves applications. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 239. No. 1. Hal. 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/239/1/012035>

- Maulinda, L., Husin, H., Arahman, N., Rosnelly, C. M., Syukri, M., Nurhazanah, & Ahmadi. 2023. The influence of pyrolysis time and temperature on the composition and properties of bio-oil prepared from tanjong leaves (*Mimusops elengi*). *Sustainability*. Vol. 15. No. 18. Hal. 1-17. <https://doi.org/10.3390/su151813851>
- Mehling, H. 2017. What is energy, and why is it conserved? A review, analysis, and suggested explanation and definition. *Education in Energy Basics and Energy Technology*. Hal. 1-18.
- Melsasail, L., Warouw, V. R. C., & Kamag, Y. E. (2018). Analisis kandungan unsur hara pada kotoran sapi di daerah dataran tinggi dan dataran rendah. *In Cocos*. Vol. 10. No. 8. Hal. 1-14. <https://doi.org/10.35791/cocos.v2i6.26095>
- Mencarelli, A., Greco, R., & Grigolato, S. 2025. Grilling and air pollution: how charcoal quality affects emissions. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11869-025-01737-0>
- Mirawati, B., Effendi, I., & Muslihin, A. 2020. Analisis kandungan air biobriket dari limbah baglog jamur tiram dengan penambahan kotoran sapi. *Jurnal Ilmu Sosial dan Pendidikan*. Vol. 4. No. 4. Hal. 175-179.
- Mitan, N. M. M., Azmi, A. H., Nur Fathiah, M. N., & Se, S. M. 2015. Binder application in durian peels briquette as a solid biofuel. *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 761. Hal. 494-498. <https://doi.org/doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.761.494>
- Mu'jizat, P., Dunggio, S., Sakir, S., & Zohrahayaty, Z. 2023. Pengembangan Usaha Briket Dari Tongkol Jagung Di Desa Butu Kecamatan Tilong Kabila Kabupaten Bonebolango Provinsi Gorontalo. *Empiris Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*. Vol. 1. No. 1. Hal. 15–20. <https://doi.org/10.59713/ejppm.v1i1.662>.
- Mukome, F. N., Zhang, X., Silva, L. C., Six, J., & Parikh, S. J. 2013. Use of chemical and physical characteristics to investigate trends in biochar feedstocks. *Journal of agricultural and food chemistry*. Vol. 61. No. 9. Hal 2196-2204. <https://doi.org/10.1021/jf3049142>
- Mulky, T. C., & Niemeyer, K. E. 2019. Computational study of the effects of density, fuel content, and moisture content on smoldering propagation of cellulose and hemicellulose mixtures. *Proceedings of the Combustion Institute*. Vol. 37. No. 3. Hal. 4091-4098. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2018.06.164>
- Munasir, M., Triwikantoro, T., Zainuri, M., & Darminto, D. 2012. Uji XRD dan XRF pada bahan mineral (batuan dan pasir) sebagai sumber material cerdas (CaCO_3 dan SiO_2). *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*. Vol. 2. No. 1. Hal. 20-29. <https://doi.org/10.26740/jpfa.v2n1.p20-29>

- Mustain, A., Sindhuwati, C., Wibowo, A. A., Estelita, A. S., & Rohmah, N. L. 2021. Pembuatan Briket Campuran Arang Ampas Tebu dan Tempurung Kelapa sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*. Vol. 5. No. 2. Hal. 100–106. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v5i2.183>.
- Mutolib, A., Rahmat, A., Triwisesa, E., Hidayat, H., Hariadi, H., Kurniawan, K., ... & Sukanto, S. 2023. Biochar from agricultural waste for soil amendment candidate under different pyrolysis temperatures. *Indonesian Journal of Science and Technology*. Vol. 8. No. 2. Hal. 243-258. <https://doi.org/10.17509/ijost.v8i2.55193>
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. 2019. How to read and interpret FTIR spectroscopy of organic material. *Indonesian Journal of Science and Technology*. Vol. 4. No. 1. Hal 97-118. <http://dx.doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>
- Nasrul, Z. A., Maulinda, L., Darma, F., & Meriatna, M. 2020. Pengaruh komposisi briket biomassa kulit jagung terhadap karakteristik briket. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. Vol. 9. No. 2. Hal. 35-42. <https://doi.org/10.29103/jtku.v9i2.3668>
- Nasution, L., & Arifah, R. 2022. *Pengembangan Energi Alternatif dengan Briket Arang Melalui Pemanfaatan Sampah Organik*. Vol. 1. Hal. 3.
- Newbury, D. E., & Ritchie, N. W. 2015. Performing elemental microanalysis with high accuracy and high precision by scanning electron microscopy/silicon drift detector energy-dispersive X-ray spectrometry (SEM/SDD-EDS). *Journal of materials science*. Vol. 50. No. 2. Hal. 493-518. <https://doi.org/10.1007/s10853-014-8685-2>
- Nuwa, N., & Prihanika, P. 2018. Tepung Tapioka Sebagai Perekat Dalam Pembuatan Arang Briket. *PengabdianMu: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*. Vol. 3. No. 1. Hal. 34–38. <https://doi.org/10.33084/pengabdianmu.v3i1.26>
- Nzihou, A., Stanmore, B., & Sharrock, P. 2013. A review of catalysts for the gasification of biomass char, with some reference to coal. *Energy*. Vol. 58. Hal 305-317. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2013.05.057>
- Obeng, A. K., Premjet, D., & Premjet, S. 2021. Improved glucose recovery from durian peel by alkaline-catalyzed steam pretreatment. *PeerJ*, 9, e12026. Hal. 1-21. <https://doi.org/10.7717/peerj.12026>
- Obi, O. F., Pecenka, R., & Clifford, M. J. 2022. A review of biomass briquette binders and quality parameters. *Energies*. Vol. 15. No. 7. Hal. 1-22. <https://doi.org/10.3390/en15072426>

- Oliy, G. B., & Muleta, D. T. 2020. Characterization and determination of briquette fuel prepared from five variety of corn cob. *Int. J. Sustain. Energy*. Vol. 3. Hal. 59-64. <https://doi.org/10.11648/j.ijsg>
- Ozyuguran, A., & Yaman, S. 2017. Prediction of calorific value of biomass from proximate analysis. *Energy Procedia*. Vol. 107. Hal. 130-136. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.149>
- Panjaitan, R., Jaya, A., Supriyati, W., & Antang, E. U. 2020. Chemical Properties of Charcoal Briquette with Composition Types of Gerunggang (*Cratogeomys Arborescens*) and Tumih (*Combretocarpus Rotundatus*) Wood from Tropical Peatlands. *Journal of Tropical Peatlands*. Vol. 10. No. 2. Hal. 17-22. <https://doi.org/10.52850/jtpupr.v10i2.2071>
- Pang, L., Yang, Y., Wu, L., Wang, F., & Meng, H. 2019. Effect of particle sizes on the physical and mechanical properties of briquettes. *Energies*. Vol. 12. No. 19. Hal. 1-16. <https://doi.org/10.3390/en12193618>
- Pardo, M., Li, C., Zimmermann, R., & Rudich, Y. 2024. Health impacts of biomass burning aerosols: Relation to oxidative stress and inflammation. *Aerosol Science and Technology*. Vol. 58. No. 10. Hal. 1093-1113. <https://doi.org/10.1080/02786826.2024.2379551>
- Patil, G. 2019. The possibility study of briquetting agricultural wastes for alternative energy. *Indonesian Journal of Forestry Research*. Vol. 6. No. 2. Hal. 133-139. <https://doi.org/10.20886/ijfr.2019.6.2.133-139>
- Piarpuezán Enríquez, M. A., Zapata Hidalgo, D. R., & Pantoja-Suarez, F. 2025. Characterization of Briquettes from Potato Stalk Residues for Sustainable Solid Biofuel Production. *Processes*. Vol. 13. No. 6. Hal 1-17. <https://doi.org/10.3390/pr13061851>
- Pinet, S., Lartiges, B., Martinez, J. M., & Ouillon, S. 2018. A SEM-based method to determine the mineralogical composition and the particle size distribution of suspended sediment. *International journal of sediment research*. Vol. 34. No. 2. Hal. 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2018.10.005>
- Pu, Y., Jin, N., Xiong, Y., Chen, J., Liu, R., Tang, J., & Abomohra, A. 2024. Performance of Bioenergy Production from Durian Shell Wastes Coupled with Dye Wastewater Treatment. *Water*. Vol. 16. No. 18. Hal. 2688. <https://doi.org/10.3390/w16182688>
- Purwaningsih, P., Saragih, E. W., & Santoso, B. 2024. Diseminasi Pemanfaatan Limbah Pelepah Kelapa Sawit dan Kotoran Sapi menjadi Briket Arang sebagai Bahan Bakar Alternatif di Kampung Majemus Distrik Masni Kabupaten Manokwari. *Jurnal ABDINUS: Jurnal Pengabdian Nusantara*. Vol. 8. No. 1. Hal. 172–183. <https://doi.org/10.29407/ja.v8i1.19031>

- Pusparizkita, Y. M., Hidayatullah, A. F., Anwar, N. F., Junaidi, J., & Sudarno, S. 2022. Effect of drying duration on the water content of durian peel waste for bio pellet. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 1098. No. 1. Hal 1-6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1098/1/012052>
- Putri, R. E., & Andasuryani, A. 2017. Studi mutu briket arang dengan bahan baku limbah biomassa. *Jurnal teknologi pertanian andalas*. Vol. 21. No. 2. Hal. 143-151. <https://doi.org/10.25077/jtpa.21.2.143-151.2017>
- Prakongkep, N., Gilkes, R. J., & Wiriyakitnatekul, W. 2014. Agronomic benefits of durian shell biochar. *Journal of Metals, Materials and Minerals*. Vol. 24. No. 1. Hal. 7-11. <https://doi.org/10.14456/jmmm.2014.2>
- Qi, L., Zhou, X., Peng, X., Chen, X., Wang, Z., & Dai, J. (2022). A study on the pore structure and fractal characteristics of briquettes with different compression loads. *Sustainability*. Vol. 14. No. 19. Hal. 1-14. <https://doi.org/10.3390/su141912148>
- Qin, Y., Curmi, E., Kopec, G. M., Allwood, J. M., & Richards, K. S. 2015. China's energy-water nexus—assessment of the energy sector's compliance with the “3 Red Lines” industrial water policy. *Energy Policy*. No. 82. Hal. 131-143. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.03.013>
- Radityaningrum, A., & Harnawan, B. 2022. Characteristics of Biobriquette from Cow Manure with Durian Bark. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. Vol. 23. No. 2. Hal. 222–228.
- Rahmawati, S., Santoso, T., Sangkota, V. D., & Abram, P. H. 2023. The utilization of durian peels (*Durio zibethinus*) for the manufacturing of charcoal briquettes as alternative fuel. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Journal of Natural Resources and Environmental Management*. Vol. 13. No. 1. Hal. 76-87. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.13.1.76–87>
- Rajagukguk, J. R. 2020. Studi Kelayakan Desain Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Sebagai Sumber Energi Listrik 200 MW. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*. Vol. 5. No. 1. Hal. 51–61. <https://doi.org/10.33084/mitl.v5i1.1371>.
- Rajput, N. A., Laghari, M., & Soothar, R. K. 2024. Enhanced phosphorus and potassium recovery through co-pyrolysis of nutrient-rich biomass feedstocks for engineered biochar production. *Bioresource Technology Reports*. Vol. 26. Hal. 1-27. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2024.101818>
- Rampe, M. J., & Tiwow, V. A. 2018. Fabrication and characterization of activated carbon from charcoal coconut shell Minahasa, Indonesia. In *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1028. No. 1. Hal. 2-6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1028/1/012033>

- Rezanezhad, F., Quinton, W. L., Price, J. S., Elliot, T. R., Elrick, D., & Shook, K. R. 2010. Influence of pore size and geometry on peat unsaturated hydraulic conductivity computed from 3D computed tomography image analysis. *Hydrological processes*. Vol. 24. No. 21. Hal. 2983-2994. <https://doi.org/10.1002/hyp.7709>
- Ridhuan, K., & Suranto, J. 2017. Perbandingan Pembakaran Pirolisis Dan Karbonisasi Pada Biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalori. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*. Vol. 5. No. 1. Hal. 50–56. <https://doi.org/10.24127/trb.v5i1.119>.
- 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*. Vol. 2. No. 2. Hal. 39. <https://doi.org/10.32502/jd.v2i2.1202>.
- Rivaldo Tarigan, R., NSP Tanggara, D., Mare Apui Ganang, N., Putu Putrawiyanta, I., & Iashania, Y. 2024. Analisis Pengaruh Inherent Moisture dan Total Moisture terhadap Nilai Kalori Batubara pada Stockpile PT. Berau Coal Kalimantan Timur. *Jurnal Global Ilmiah*. Vol. 1. No. 11. Hal. 768–773. <https://doi.org/10.55324/jgi.v1i11.114>.
- Robiana, A., Nahar, M. Y., & Harahap, H. 2016. Pemanfaatan Gliserin dari Residu Gliserin Sebagai Plasticizer untuk Pembuatan Bioplastik dengan Bahan Baku Pati Bonggol Pisang. *Jurnal Teknik Kimia USU*. Vol. 5. No. 4. Hal. 26–32. <https://doi.org/10.32734/jtk.v5i4.1551>
- Roman, K., Rzdokiewicz, W., & Hryniewicz, M. 2023. Analysis of forest biomass wood briquette structure according to different tests of density. *Energies*. Vol. 16. No. 6. Hal. 1-14. <https://doi.org/10.3390/en16062850>
- Rosmawati, T. 2016. Pemanfaatan limbah kulit durian sebagai bahan baku briket dan pestisida nabati. *BIOSEL (Biology Science and Education): Jurnal Penelitian Science dan Pendidikan*. Vol. 5. No. 2. Hal. 159-170. <https://doi.org/10.33477/bs.v5i2.496>
- Sahu, P. K., Chakradhari, S., Dewangan, S., & Patel, K. S. 2016. Combustion characteristics of animal manures. *Journal of Environmental Protection*. Vol. 7. No. 06. Hal. 951-960. <https://doi.org/10.4236/jep.2016.76084>
- Saidi, D., Maryana, M., & Widiarti, I. W. 2022. Pengelolaan Limbah Ternak Sapi: Mengatasi masalah limbah ternak sapi dengan mengolahnya menjadi biogas dan pupuk organik.
- Saksono, A. Y., Yuniarti, T., & Saepudin, S. 2023. Pengelolaan Pemanfaatan Arang Tempurung Kelapa Menjadi Briket Sederhana. *Ikra-Ith Abdimas*. Vol. 6. No. 2. Hal. 154–160. <https://doi.org/10.37817/ikra-ithabdimas.v6i2.2421>.

- Sanaa, E. 2011. Carbonization of Cow Dung and Characterization of the Char. *Jurnal Asosiasi Karbon Kayu*. Vol. 7. No. 2. Hal. 68-75.
https://doi.org/10.32143/wcr.7.2_68
- Sari, S. P., Permana, I., Hutabarat, A. L. R., Sari, D., Nurtanti, I., Azis, A. R., & Vertygo, S. 2024. *Pengelolaan Pengelolaan Limbah Peternakan*. Get Press Indonesia. Padang. Hal. 63.
- Sharma, T., & Ratner, A. 2021. Analysis and characterization of metallic nodules on biochar from single-stage downdraft gasification. *Processes*. Vol. 9. No. 3 Hal. 1-18. <https://doi.org/10.3390/pr9030533>
- Shiferaw, Y., Tedla, A., Melese, C., Mengistu, A., Debay, B., Selamawi, Y., & Awai, N. 2017. Preparation and evaluation of clean briquettes from disposed wood wastes. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. Vol. 39. No. 20. Hal. 2015-2024.
<https://doi.org/10.1080/15567036.2017.1399175>
- Shin, H., Chun, D., Cho, I. R., Hanif, M. A., Kang, S. S., Kwac, L. K., & Kim, Y. S. 2024. Systematic Characterization of Cow Manure Biochar and Its Effect on *Salicornia herbacea* L. Growth. *Sustainability*. Vol. 16. No. 8, Hal 1-14.
<https://doi.org/10.3390/su16083396>
- Setyono, M. Y. P., & Yayok Suryo Purnomo. 2022. Analisis Kandungan air dan Kadar Abu Briket Lumpur IPAL dan Fly Ash dengan Penambahan Serbuk Gergaji Kayu. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*. Vol. 1. No. 6. Hal. 696–703. <https://doi.org/10.55123/insologi.v1i6.1047>.
- Sidauruk, L., Sembiring, T., Humaidi, S., Rianna, M., & Sianturi, H. A. 2024. Comprehensive Analysis of Dry Material Content, Moisture Content, and FTIR Spectroscopy in Durian Peel. In *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 2733, No. 1. Hal . 1-7.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/2733/1/012018>
- Silva, M. J., Zainol, I., Tanoeiro, J. R., Sitowski, A., Major, I., Murphy, E. J., & Fehrenbach, G. W. 2025. Livestock Slurry and Sustainable Pasture Management: Microbial Roles, Environmental Impacts, and Regulatory Perspectives in Ireland and Europe. *Microorganisms*. Vol. 13. No. 4. Hal. 1-29. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13040788>
- Smith, H., & Idrus, S. 2017. Pengaruh Penggunaan Perekat Sagu dan Tapioka Terhadap Karakteristik Briket dari Biomassa Limbah Penyulingan Minyak Kayu Putih di Maluku. *Majalah BIAM*. Vol. 13. No. 2. Hal. 21-32.
<http://dx.doi.org/10.29360/mb.v13i2.3546>.

- Soeherman, G. P., Putri, P. G., Joen, D. A. Z., Indrawan, I., & Pratiwi, N. 2023. Characterization of Biobriquette from Carbonized Durian Peel Using Coconut Shell as the Binder. *AJARCDE (Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment)*. Vol. 7 No. 3. Hal. 129-135. <https://doi.org/10.29165/ajarcde.v7i3.347>
- Stroheim, E. V., & Hoag, D. L. K. 2021. Valuing Cattle Manure as an Agricultural Resource for Efficiency and Environmental Sustainability. *Sustainability*. Vol. 13. No. 16. Hal. 1-19. <https://doi.org/10.3390/su13169375>
- Stuiver, M., & Polach, H. A. 1977. Discussion reporting of ^{14}C data. *Radiocarbon*, Vol. 19. No. 3. Hal. 355-363. <https://doi.org/10.1017/S0033822200003672>
- Suanggana, D., Djafar, A., & Gunawan, G. 2020. Analisis Pemanfaatan Energi Biogas Dari Campuran Limbah Kotoran Sapi Dan Kulit Durian Sebagai Energi Alternatif. *Jurnal Teknologi Terpadu*. Vol. 2. Hal. 119–125.
- Suhartoyo, S. S., & Kristiawan, Y. 2020. Pemanfaatan Limbah Biomassa Menjadi Sumber Energi Alternatif. *Jurnal Crankshaft*. Vol. 3. No. 2. Hal. 23–28. <https://doi.org/10.24176/crankshaft.v3i2.5208>.
- Sumari, S., Prakasa, Y. F., Asrori, M. R., & Baharintasari, D. R. 2020. Analisis Kandungan Mineral Pasir Pantai Bajul Mati Kabupaten Malang Menggunakan XRF dan XRD. *Fullerene Journal of Chemistry*. Vol. 5. No. 2. Hal. 58-62. <https://doi.org/10.37033/fjc.v5i2.154>
- Symeon, G. K., Akamati, K., Dotas, V., Karatosidi, D., Bizelis, I., & Laliotis, G. P. 2025. Manure management as a potential mitigation tool to eliminate greenhouse gas emissions in livestock systems. *Sustainability*. Vol. 23. No. 2. Hal. 1-27. <https://doi.org/10.3390/su17020586>
- Szymajda, A., Łaska, G., & Joka, M. 2021. Assessment of cow dung pellets as a renewable solid fuel in direct combustion technologies. *Energies*. Vol. 14. No. 4. Hal. 1-15. <https://doi.org/10.3390/en14041192>
- Talaat, K., Xi, J., Baldez, P., & Hecht, A. 2019. Radiation dosimetry of inhaled radioactive aerosols: CFPD and MCNP transport simulations of radionuclides in the lung. *Scientific reports*. Vol. 9. No. 1. Hal. 1-21.
- Tanui, J. K., Kioni, P. N., Kariuki, P. N., & Ngugi, J. M. 2018. Influence of processing conditions on the quality of briquettes produced by recycling charcoal dust. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. Vol. 9. No. 3. Hal. 341-350. <https://doi.org/10.1007/s40095-018-0275-7>

- Tsapou, E. A., Sinanoglou, V. J., Ntourtoglou, G., & Koussissi, E. 2024. Emphasizing the potential of attenuated total reflectance–fourier transform infrared (ATR-FTIR) spectroscopy combined with chemometrics, for classification of Greek grape marc spirits. *Beverages*. Vol. 10. No. 2. Hal 1-14. <https://doi.org/10.3390/beverages10020042>
- Tho Pesch, G., Einarsdóttir, A. K., Dillman, K. J., & Heinonen, J. 2023. Energy consumption and human well-being: a systematic review. *Energies*. Vol. 16. No. 18. Hal. 1-22. <https://doi.org/10.3390/en16186494>
- Utami, G. S., Ningsih, E., & Kusumaningrum, D. 2023. Proximate Analysis of Durian Bark Briquettes and Coconut Shells with Starch Adhesive Based on SNI 01-6235-2000. *Jurnal Teknologi dan Manajemen*. Vol. 4. No. 2. Hal. 146-151. <https://doi.org/10.31284/j.jtm.2023.v4i2.4641>
- Utami, I. S., Rusdiana, D., Nahadi, N., Suwarma, I. R., Guntara, Y., Amida, N., & Oktarisa, Y. 2024. How to Make Biomass Briquettes with Their Characteristics Analysis. *Indonesian Journal of Science and Technology*. Vol. 9. No. 3. Hal. 585-610. <https://doi.org/10.17509/ijost.v9i3.72170>
- Vivek, C. P., Rochak, P. V., Suresh, P. S., & Kiran, K. R. R. 2019. Comparison study on fuel briquettes made of eco-friendly materials for alternate source of energy. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 577. No. 1. Hal. 1-8. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/577/1/012183>
- Von Ardenne, M. 1938. Das Elektronen-Rastermikroskop: Theoretische Grundlagen. *Zeitschrift für Physik*. Vol. 109. No. 9. Hal 553-572.
- Voumik, L. C., Islam, M. A., Ray, S., Mohamed Yusop, N. Y., & Ridzuan, A. R. 2023. CO2 emissions from renewable and non-renewable electricity generation sources in the G7 countries: static and dynamic panel assessment. *Energies*. Vol. 16. No. 3. Hal. 1-14. <https://doi.org/10.3390/en16031044>
- Waheed, M. A., Akogun, O. A., & Enweremadu, C. C. 2022. An overview of torrefied bioresource briquettes: quality-influencing parameters, enhancement through torrefaction and applications. *Bioresources and Bioprocessing*. Vol. 9. No. 1. Hal. 1-18. <https://doi.org/10.1186/s40643-022-00608-1>
- Wang, S., Luo, K., Hu, C., Sun, L., & Fan, J. 2018. Impact of operating parameters on biomass gasification in a fluidized bed reactor: An Eulerian-Lagrangian approach. *Powder Technology*. Vol. 333. Hal. 304–316. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.04.027>.

- Wang, Z. Y., Wang, S., Dai, N. N., Xiao, Y., Zhou, Y., Tian, W. C., & Wei, W. T. 2025. Carbon-carbon triple bond cleavage and reconstitution to achieve aryl amidation using nitrous acid esters. *Nature Communications*. Vol. 16. No. 1. Hal 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56370-3>
- Wicita, P. S. 2016. X Ray Diffraction (XRD)-Kristalografi Sinar X. *Makalah*. Universitas Padjajaran. Bandung.
- Widodo, A. A. 2016. Pengaruh Tekanan Terhadap Karakteristik Briket Bioarang Dari Sampah Kebun Campuran Dan Kulit Kacang Tanah Dengan Tambahan Minyak Jelantah. *Skripsi*. Hal. 5–16. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/2461>.
- Wijayanti, M. D. 2023. *Energi Panas Bumi*. Bumi Aksara. Hal. 15.
- Wu, M., Wei, K., Jiang, J., Xu, B. B., & Ge, S. 2025. Advancing green sustainability: A comprehensive review of biomass briquette integration for coal-based energy frameworks. *International Journal of Coal Science & Technology*. Vol. 12. No. 1. Hal. 1-26. <https://doi.org/10.1007/s40789-025-00779-0>
- Wystalska, K., Malińska, K., Sobik-Szołtysek, J., Drózd, D., & Meers, E. 2023. Properties of poultry-manure-derived biochar for peat substitution in growing media. *Materials*. Vol. 16. No. 19. Hal. 1-18. <https://doi.org/10.3390/ma16196392>
- Xiaoping, R., Fang, L., Xintong, T., & Xiaoting, S. 2021. Study on slagging characteristics and prevention of biomass briquette. In E3S Web of Conferences. *EDP Sciences*. Vol. 248. Hal 1-4. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124801006>
- Yadav, G., Mathimani, T., Sekar, M., Sindhu, R., & Pugazhendhi, A. 2021. Strategic evaluation of limiting factors affecting algal growth—an approach to waste mitigation and carbon dioxide sequestration. *Science of the Total Environment*. Vol. 796. Hal. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149049>
- Yang, X., Wang, H., Strong, P. J., Xu, S., Liu, S., Lu, K., & Chen, X. 2017. Thermal properties of biochars derived from waste biomass generated by agricultural and forestry sectors. *Energies*. Vol. 10. No. 4. Hal. 1-12. <https://doi.org/10.3390/en10040469>
- Yao, W., Zhao, Y., Chen, R., Wang, M., Song, W., & Yu, D. 2023. Emissions of toxic substances from biomass burning: a review of methods and technical influencing factors. *Processes*. Vol. 11. No. 3. Hal 1-16. <https://doi.org/10.3390/pr11030853>

- Yi, B., Zhang, L., Mao, Z., Huang, F., & Zheng, C. 2014. Effect of the particle size on combustion characteristics of pulverized coal in an O₂/CO₂ atmosphere. *Fuel Processing Technology*. Vol. 128. Hal. 17-27.
<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.06.025>
- Yoshimoto, S., Luthfi, N., Nakano, K., Fukushima, T., & Takisawa, K. 2023. Effects of potassium on hydrothermal carbonization of sorghum bagasse. *Bioresources and Bioprocessing*. Vol. 10. No. 1. Hal. 1-8.
<https://doi.org/10.1186/s40643-023-00645-4>
- Zahro, F., Budiyanto, M., & Ilhami, F. B. 2023. Potensi Biomassa Gasifikasi: Alternatif Berkelanjutan Dalam Menghasilkan Energi Listrik Untuk Masa Depan. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*. Vol. 25. No. 2. Hal. 103–115. <https://doi.org/10.24912/tesla.v25i2.23804>.
- Zhang, H., Yu, C., Luo, Z., & Li, Y. A. 2020. Investigation of ash deposition dynamic process in an industrial biomass CFB boiler burning high-alkali and low-chlorine fuel. *Energies*. Vol. 13. No. 5. Hal. 1-11.
<https://doi.org/10.3390/en13051092>
- Zhao, C., Chen, H., Wu, X., & Shan, R. 2023. Exploiting the waste biomass of durian shell as a heterogeneous catalyst for biodiesel production at room temperature. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Vol. 20. No. 3. Hal 1-10. <https://doi.org/10.3390/ijerph20031760>
- Zhao, J., Li, R., Song, J., Lu, S., & Shu, C. M. 2024. Effect of oxygen concentration on the heat release behaviour of bituminous coal over the complete spontaneous combustion process. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Vol. 149. No. 18. Hal. 10227-10240.
<https://doi.org/10.1007/s10973-024-13185-6>

LAMPIRAN

L.1 PERHITUNGAN NILAI MASS YIELD BAHAN BAKU

$$\text{Mass Yield} = \frac{b}{a} \times 100\% \quad (\text{L.1})$$

Keterangan :

a = Massa Sebelum Karbonisasi

b = Massa Setelah Karbonisasi

$$\begin{aligned} \text{Mass Yield Kulit Durian} &= \frac{b}{a} \times 100\% \\ &= \frac{72}{280} \times 100\% \\ &= 25,71\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mass Yield Kotoran Sapi} &= \frac{b}{a} \times 100\% \\ &= \frac{422}{800} \times 100\% \\ &= 52,75\% \end{aligned}$$

Tabel L.1 Nilai *Mass Yield* Arang yang dihasilkan Setelah Proses Karbonisasi

Bahan	M Awal (g)	M Akhir (g)	Mass Yield (%)
Kulit Durian	280	72	25,71
Kotoran Sapi	800	422	52,75



Gambar L.1 a) kulit durian sebelum karbonisasi b) kulit durian sesudah karbonisasi.



Gambar L.2 a) kotoran sapi sebelum karbonisasi b) kotoran sapi sesudah karbonisasi.

L.2 PERHITUNGAN UJI PROKSIMAT

Rumus Uji Proksimat

$$\text{Moisture dan Volatile} = \frac{B - C}{B - A} \times 100\% \quad (\text{L.2.1})$$

Keterangan

A : Cawan

B : Cawan + Sampel Awal

C : Cawan + Sampel Setelah Pemanasan

$$\text{Ash Content} = \frac{C - A}{B - A} \times 100\% \quad (\text{L.2.2})$$

Keterangan

A : Cawan

B : Cawan + Sampel Awal

C : Cawan + Sampel Setelah Pemanasan

$$\text{Fixed Carbon} = 100\% - (\text{Inherent} + \text{Zat Terbang} + \text{Kadar Abu}) \quad (\text{L. 2.3})$$

Tabel L.2 Perhitungan Uji Proksimat Bahan Baku dan Briket

No.	Nama	Perhitungan
1.	Arang Kulit Durian	Cawan Kosong : 28,8083 gr Sampel Awal : 1,0011 gr MT : 29,7324 gr MI : 29,6969 gr VM : 29,5163 gr Ash : 28,9941 gr • <i>Total Moisture</i> $= \frac{B - C}{B - A} \times 100\%$$= \frac{29,8094 - 29,7324}{29,8094 - 28,8083} \times 100\%$$= 7,69\%$ • <i>Inherent Moisture</i> $= \frac{B - C}{B - A} \times 100\%$$= \frac{29,7324 - 29,6969}{29,7324 - 28,8083} \times 100\%$$= 3,84\%$ • <i>Volatile Matter</i> $= \frac{B - C}{B - A} \times 100\%$

		$= \frac{29,6969 - 29,5163}{29,6969 - 28,8083} \times 100\%$ $= \mathbf{20,32\%}$ • <i>Ash Content</i> $= \frac{C - A}{B - A} \times 100\%$ $= \frac{28,9941 - 28,8083}{29,1563 - 28,8083} \times 100\%$ $= \mathbf{26,24\%}$ • <i>Fixed carbon</i> $= 100\% - (\%IM + \%VM + \%AC)$ $= 100\% - (3,84 + 20,32 + 26,24)$ $= \mathbf{49,59\%}$
2.	Arang Kotoran Sapi	Cawan Kosong : 30,5096 gr Sampel Awal : 1,0004 gr MT : 31,4589 gr MI : 31,4556 VM : 31,2943 gr Ash : 30,9180 gr • <i>Total Moisture</i> $= \frac{31,5100 - 31,4589}{31,5100 - 30,5096} \times 100\%$ $= \mathbf{5,10\%}$ • <i>Inherent Moisture</i> $= \frac{31,4589 - 31,4556}{31,4589 - 30,5096} \times 100\%$ $= \mathbf{0,35\%}$ • <i>Volatile Matter</i> $= \frac{31,4556 - 31,2943}{31,4556 - 30,5096} \times 100\%$ $= \mathbf{16,95\%}$ • <i>Ash Content</i> $= \frac{30,9180 - 30,5096}{31,2943 - 30,5096} \times 100\%$ $= \mathbf{51,98\%}$ • <i>Fixed carbon</i> $= 100\% - (0,34 + 16,94 + 51,97)$ $= \mathbf{30,73\%}$
3.	Briket K1	Cawan Kosong : 30,8007 gr Sampel Awal : 1,0773 gr MT : 31,7381 gr MI : 31,7321 gr VM : 31,5342 gr

		Ash : 30,9731 gr • <i>Total Moisture</i> $= \frac{31,8780 - 31,7381}{31,8780 - 30,8007} \times 100\%$ = 12,99% • <i>Inherent Moisture</i> $= \frac{31,7381 - 31,7321}{31,7381 - 30,8007} \times 100\%$ = 0,64% • <i>Volatile Matter</i> $= \frac{31,7321 - 31,5342}{31,7321 - 30,8007} \times 100\%$ = 21,25% • <i>Ash Content</i> $= \frac{30,9731 - 30,8007}{31,5342 - 30,8007} \times 100\%$ = 23,50% • <i>Fixed carbon</i> $= 100\% - (0,64 + 21,24 + 23,5)$ = 54,61%
4.	Briket K2	Cawan Kosong : 35,3080 gr Sampel Awal : 1,0678 gr MT : 36,2690 gr MI : 36,2651 gr VM : 36,0715 gr Ash : 35,5217 gr • <i>Total Moisture</i> $= \frac{36,3758 - 36,2690}{36,3758 - 35,3080} \times 100\%$ = 10% • <i>Inherent Moisture</i> $= \frac{36,2690 - 36,2651}{36,2690 - 35,3080} \times 100\%$ = 0,41% • <i>Volatile Matter</i> $= \frac{36,2651 - 36,0715}{36,2651 - 35,3080} \times 100\%$ = 20,23% • <i>Ash Content</i> $= \frac{35,5217 - 35,3080}{36,0715 - 35,3080} \times 100\%$ = 27,99%

		• <i>Fixed carbon</i> $= 100\% - (0,40 + 20,22 + 27,98)$ $= \mathbf{51,38\%}$
5.	Briket K3	Cawan Kosong : 32,0301 gr Sampel Awal : 1,0783 gr MT : 32,9998 gr MI : 32,9974 gr VM : 32,7988 gr Ash : 32,2471 gr • <i>Total Moisture</i> $= \frac{33,1084 - 32,9998}{33,1084 - 32,0301} \times 100\%$ $= \mathbf{10,07\%}$ • <i>Inherent Moisture</i> $= \frac{32,9998 - 32,9974}{32,9998 - 32,0301} \times 100\%$ $= \mathbf{0,25\%}$ • <i>Volatile Matter</i> $= \frac{32,9974 - 32,7988}{32,9974 - 32,0301} \times 100\%$ $= \mathbf{20,53\%}$ • <i>Ash Content</i> $= \frac{32,2471 - 32,0301}{32,7988 - 32,0301} \times 100\%$ $= \mathbf{28,23\%}$ • <i>Fixed carbon</i> $= 100\% - (0,24 + 20,53 + 28,22)$ $= \mathbf{50,99\%}$
6.	Briket K4	Cawan Kosong 1 : 35,6742 gr Sampel Awal : 0,5137 gr MT : 36,1396 gr MI : 36,1388 gr Cawan Kosong 2 : 31,5172 gr Sampel + Cawan : 32,3520 gr VM : 32,1649 gr Ash : 31,7191 gr • <i>Total Moisture</i> $= \frac{36,1879 - 36,1396}{36,1879 - 35,6742} \times 100\%$ $= \mathbf{9,40\%}$

		• <i>Inherent Moisture</i> $= \frac{36,1396 - 36,1388}{36,1396 - 35,6742} \times 100\%$ = 0,17% • <i>Volatile Matter</i> $= \frac{32,3520 - 32,1649}{32,3520 - 31,5172} \times 100\%$ = 22,41% • <i>Ash Content</i> $= \frac{31,7191 - 31,5172}{32,1649 - 31,5172} \times 100\%$ = 31,17% • <i>Fixed carbon</i> $= 100\% - (0,17 + 22,41 + 31,17)$ = 46,24%
7.	Briket K5	Cawan Kosong : 31,8094 gr Sampel Awal : 1,0591 gr MT : 32,7233 gr MI : 32,7142 gr VM : 32,4965 gr Ash : 32,0227 gr • <i>Total Moisture</i> $= \frac{32,8685 - 32,7233}{32,8685 - 31,8094} \times 100\%$ = 13,71% • <i>Inherent Moisture</i> $= \frac{32,7233 - 32,7142}{32,7233 - 31,8094} \times 100\%$ = 1% • <i>Volatile Matter</i> $= \frac{32,7142 - 32,4965}{32,7142 - 31,8094} \times 100\%$ = 24,06% • <i>Ash Content</i> $= \frac{32,0227 - 31,8094}{32,4965 - 31,8094} \times 100\%$ = 31,04% • <i>Fixed carbon</i> $= 100\% - (0,99 + 24,06 + 31,04)$ = 43,90%

L.3 NILAI KALOR BAHAN BAKU DAN BRIKET BERDASARKAN NILAI ZAT TERBANG DAN KARBON TETAP

Rumus Nilai Kalor Bahan Baku dan Briket

$$\text{HHV} = (0,1905 \cdot \text{VM}) + (0,2521 \cdot \text{FC}) \quad (2.5)$$

Keterangan

HHV : *Highest Heating Value*

FC : *Fixed Carbon*/Karbon Tetap

VM : *Volatile Matter*/Zat Terbang

NOTED :

1 MJ/kg = 238,845897 kcal/kg

Tabel L.3 Perhitungan Nilai Kalor Bahan Baku dan Briket

No.	Nama	Perhitungan
1.	Arang Kulit Durian	VM : 20,32 FC : 49,59 Nilai Kalor K1 = $(0,1905 \cdot \text{VM}) + (0,2521 \cdot \text{FC})$ = $(0,1905 \times 20,32) + (0,2521 \times 49,59)$ = 17,81 MJ/kg = $17,81 \times 238,845897$ = 4.255,25 kcal/kg
2.	Arang Kotoran Sapi	VM : 16,59 FC : 30,73 Nilai Kalor K1 = $(0,1905 \times 16,59) + (0,2521 \times 30,73)$ = 10,90 MJ/kg = $10,90 \times 238,845897$ = 2.605,19 kcal/kg
3.	Sampel Briket K1	VM : 21,24 FC : 54,62 Nilai Kalor K1 = $(0,1905 \times 21,24) + (0,2521 \times 54,62)$ = 17,81 MJ/Kg = $17,81 \times 238,845897$ = 4.255,25 kcal/kg
4.	Sampel Briket K2	VM : 20,22 FC : 51,4 Nilai Kalor K2 = $(0,1905 \times 20,22) + (0,2521 \times 51,4)$ = 16,80 MJ/Kg = $16,80 \times 238,845897$ = 4.013,03 kcal/kg
5.	Sampel Briket K3	VM : 20,53 FC : 51,01

		Nilai Kalor K3 = $(0,1905 \times 20,53) + (0,2521 \times 51,01)$ = 16,92 MJ/Kg = $16,92 \times 238,845897$ = 4.042,13 kcal/kg
6.	Sampel Briket K4	VM : 22,41 FC : 46,24 Nilai Kalor K4 = $(0,1905 \times 22,41) + (0,2521 \times 46,24)$ = 15,92 MJ/Kg = $15,92 \times 238,845897$ = 3.803,90 kcal/kg
7.	Sampel Briket K5	VM : 24,06 FC : 43,91 Nilai Kalor K4 = $(0,1905 \times 24,06) + (0,2521 \times 43,91)$ = 15,56 MJ/Kg = $15,56 \times 238,845897$ = 3.738,67 kcal/kg

L.4 UJI PROKSIMAT BAHAN BAKU DAN BRIKET

L.4.1 Sampel Arang Kulit Durian



Gambar L.4.1.1 cawan kosong (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.1.5 *volatile matter* arang kulit durian (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.1.2 sampel awal arang kulit durian (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.1.6 *ash content* arang kulit durian (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.1.3 *moisture total* arang kulit durian (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.1.4 *inherent moisture* arang kulit durian (dokumentasi pribadi).

L.4.2 Sampel Arang Kotoran Sapi



Gambar L.4.2.1 cawan kosong (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.2.5 *volatile matter* arang kotoran sapi (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.2.2 sampel awal arang kotoran sapi (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.2.6 *ash content* arang kotoran sapi (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.2.3 *moisture total* arang kotoran sapi (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.2.4 *inherent moisture* arang kotoran sapi (dokumentasi pribadi).

L.4.3 Sampel Briket K1 (Arang Kulit Durian 90% dan Perekat 10%)



Gambar L.4.3.1 cawan kosong (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.3.5 *volatile matter* briket K1 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.3.2 sampel awal briket K1 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.3.6 *ash content* briket K1 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.3.3 *moisture total* briket K1 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.3.4 *inherent moisture* briket K1 (dokumentasi pribadi).

L.4.4 Sampel Briket K2 (Arang Kulit Durian 84%, Arang Kotoran Sapi 8% dan Perekat 8%)



Gambar L.4.4.1 cawan kosong (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.4.5 *volatile matter* briket K2 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.4.2 sampel awal briket K2 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.4.6 *ash content* briket K2 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.4.3 *moisture total* briket K2 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.4.4 *inherent moisture* briket K2 (dokumentasi pribadi).

L.4.5 Sampel Briket K3 (Arang Kulit Durian 77%, Arang Kotoran Sapi 15% dan Perekat 8%)



Gambar L.4.5.1 cawan kosong (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.5.5 *volatile matter* briket K3 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.5.2 sampel awal briket K3 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.5.6 *ash content* briket K3 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.5.3 *moisture content* briket K3 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.5.4 *inherent moisture* briket K3 (dokumentasi pribadi).

L.4.6 Sampel Briket K4 (Arang Kulit Durian 72%, Arang Kotoran Sapi 21% dan Perekat 7%)



Gambar L.4.6.1 cawan kosong 1 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.6.5 cawan kosong 2 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.6.2 sampel awal briket K4 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.6.6 sampel + cawan briket K4 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.6.3 *moisture total* briket K4 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.6.7 *volatile matter* briket K4 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.6.4 *inherent moisture* briket K4 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.6.8 *ash content* briket K4 (dokumentasi pribadi).

L.4.7 Sampel Briket K5 (Arang Kulit Durian 66%, Arang Kotoran Sapi 27% dan Perekat 7%)



Gambar L.4.7.1 cawan kosong (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.7.5 *volatile matter* briket K5 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.7.2 sampel awal briket K5 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.7.6 *ash content* briket K5 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.7.3 *moisture total* briket K5 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.4.7.4 *inherent moisture* briket K5 (dokumentasi pribadi).

L.5 KARAKTERISASI SAMPEL ARANG KULIT DURIAN, ARANG KOTORAN SAPI DAN BRIKET MENGGUNAKAN XRF, XRF, FTIR DAN SEM-EDS

Tabel L.5.1 XRF oksida arang kulit durian

19-Mar-2025 10:17:10 Page 1

Sample results

Sample ident	
E	211832

Application	<Omnia>
Sequence	1 of 1
Position	5
Measurement time	19-Mar-2025 09:43:15

Normalisation factor 4,712

Compound	SiO2	P2O5	SO3	K2O	TiO2	Cr2O3	MnO	Fe2O3	NiO	CuO	ZnO	As2O3	Br	Rb2O	SrO	ZrO2	CeO2	Eu2O3
Conc	2,058	8,563	3,735	79,967	0,334	0,172	0,198	4,257	254,5	0,119	0,103	75,8	24,6	0,353	504,3	61,9	424,3	9,8
Unit	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm

Compound	PbO
Conc	59,0
Unit	ppm

Tabel L.5.2 XRF unsur arang kulit durian

19-Mar-2025 10:16:19 Page 1

Sample results

Sample ident	
E	211832

Application	<Omnia>
Sequence	1 of 1
Position	5
Measurement time	19-Mar-2025 09:43:16

Normalisation factor 5,415

Compound	Si	P	S	K	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Br	Rb	Sr	Zr	Ce	Eu	Pb
Conc	1,141	4,491	1,842	86,566	0,291	0,171	0,224	4,362	295,2	0,140	0,122	84,9	36,5	0,479	632,6	68,2	503,6	13,7	81,1
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	%	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm

Tabel L.5.3 XRF oksida arang kotoran sapi

19-Mar-2025 10:03:23 Page 1

Sample results

Sample ident	
A	211832

Application	<Omnia>
Sequence	1 of 1
Position	1
Measurement time	19-Mar-2025 08:56:46

Normalisation factor 2,254

Compound	SiO2	P2O5	SO3	Cl	K2O	CaO	TiO2	V2O5	Cr2O3	MnO	Fe2O3	NiO	CuO	ZnO	As2O3	Br	Rb2O	SrO
Conc	35,901	8,801	1,180	16,504	17,569	16,639	0,403	97,9	135,2	0,486	2,222	44,6	313,5	0,114	5,8	114,4	324,4	410,7
Unit	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm

Compound	Y2O3	ZrO2	CeO2	PbO
Conc	6,5	91,3	244,7	18,9
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm

Tabel L.5.4 XRF unsur arang kotoran sapi

19-Mar-2025 10:00:06 Page 1

Sample results

Sample ident	
A	211832

Application	<Omnia>
Sequence	1 of 1
Position	1
Measurement time	19-Mar-2025 08:56:46

Normalisation factor 2,733

Compound	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Br	Rb	Sr	Y
Conc	21,689	5,347	0,677	24,823	23,047	20,104	0,428	97,6	164,4	0,672	2,780	63,3	452,8	0,166	8,0	208,0	539,8	632,2	9,3
Unit	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm

Compound	Zr	Ce	Pb
Conc	123,0	354,7	31,9
Unit	ppm	ppm	ppm

Tabel L.5.5 XRF oksida briket K1

19-Mar-2025 11:05:47 Page 1

Sample results

Sample ident																	
I _ 211832																	

Application	<Omnia>	Normalisation factor	4,910
Sequence	1 of 1		
Position	9		
Measurement time	19-Mar-2025 10:29:48		

Compound	SiO2	P2O5	SO3	K2O	TiO2	V2O5	Cr2O3	MnO	Fe2O3	NiO	CuO	ZnO	As2O3	Rb2O	SrO	ZrO2	Eu2O3	PbO
Conc	3,866	8,061	4,188	75,502	0,473	137,3	0,205	0,201	6,517	929,2	0,159	0,119	102,2	0,506	689,3	48,3	44,7	74,1
Unit	%	%	%	%	%	ppm	%	%	%	ppm	%	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm

Tabel L.5.6 XRF unsur briket K1

19-Mar-2025 11:05:01 Page 1

Sample results

Sample ident																	
I _ 211832																	

Application	<Omnia>	Normalisation factor	5,633
Sequence	1 of 1		
Position	9		
Measurement time	19-Mar-2025 10:29:48		

Compound	Si	P	S	K	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Eu	Pb
Conc	2,158	4,289	2,093	82,598	0,415	129,6	0,205	0,230	6,741	0,109	0,190	0,143	115,9	0,696	677,1	54,2	57,2	103,5
Unit	%	%	%	%	%	ppm	%	%	%	%	%	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm

Tabel L.5.7 XRF oksida briket K3

20-Jun-2025 10:08:15 Page 1

Sample results

Sample ident																	
SB 1 _ 226439																	

Application	<Omnia>	Normalisation factor	3,668
Sequence	1 of 1		
Position	3		
Measurement time	20-Jun-2025 09:05:06		

Compound	SiO2	P2O5	SO3	K2O	CaO	TiO2	V2O5	Cr2O3	MnO	Fe2O3	NiO	CuO	ZnO	As2O3	Br	Rb2O	SrO	ZrO2
Conc	15,377	8,268	2,506	45,383	22,674	0,423	74,2	480,6	0,365	4,317	107,9	914,7	0,128	68,6	20,9	0,280	599,7	81,8
Unit	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm

Compound	CeO2	Yb2O3	PbO
Conc	339,0	8,8	60,3
Unit	ppm	ppm	ppm

Tabel L.5.8 XRF unsur briket K3

20-Jun-2025 10:07:19 Page 1

Sample results

Sample ident																	
SB 1 _ 226439																	

Application	<Omnia>	Normalisation factor	4,321
Sequence	1 of 1		
Position	3		
Measurement time	20-Jun-2025 09:05:06		

Compound	Si	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Br	Rb	Sr	Zr	Ce
Conc	8,959	4,680	1,334	52,802	25,397	0,411	68,3	538,5	0,465	4,980	141,2	0,122	0,172	86,8	118,8	0,430	851,1	102,0	452,2
Unit	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	%	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm

Compound	Yb	Pb
Conc	13,1	93,9
Unit	ppm	ppm

Tabel L.5.9 XRF oksida briket K5

20-Jun-2025 10:10:43

Sample results

Page 1

Sample ident

SB 2 226439

Application <Omnia>

Sequence 1 of 1

Position 4

Measurement time 20-Jun-2025 09:16:39

Normalisation factor 3,566

Compound	SiO2	P2O5	SO3	K2O	CaO	TiO2	Cr2O3	MnO	Fe2O3	NiO	CuO	ZnO	As2O3	Br	Rb2O	SrO	ZrO2	CeO2
Conc	20,848	8,969	2,327	41,749	21,508	0,430	393,3	0,432	3,111	102,2	775,1	0,137	48,9	89,0	0,240	577,8	76,2	405,0
Unit	%	%	%	%	%	%	ppm	%	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm

Compound	Yb2O3	PbO
Conc	1,8	43,9
Unit	ppm	ppm

Tabel L.5.10 XRF unsur briket K5

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

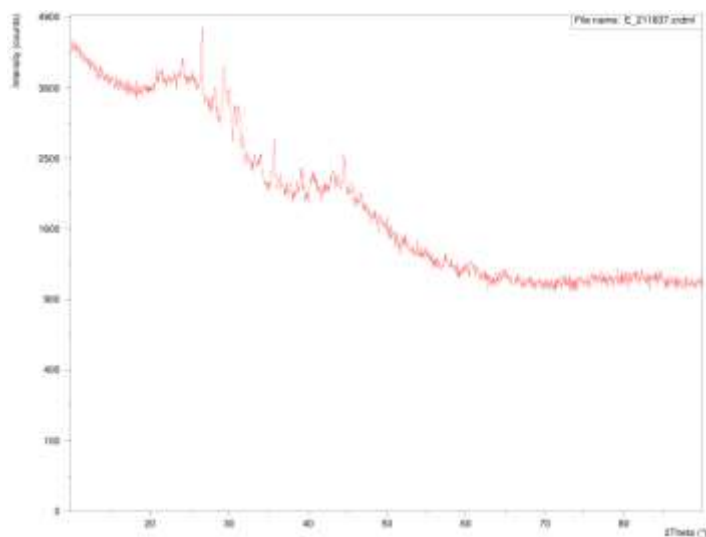
Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

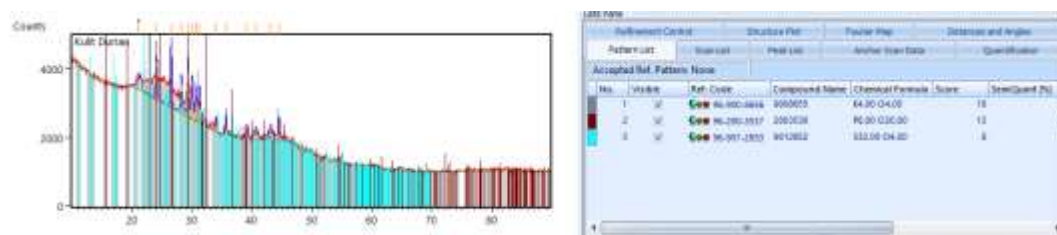
Page 1

20-Jun-2025 10:10:02

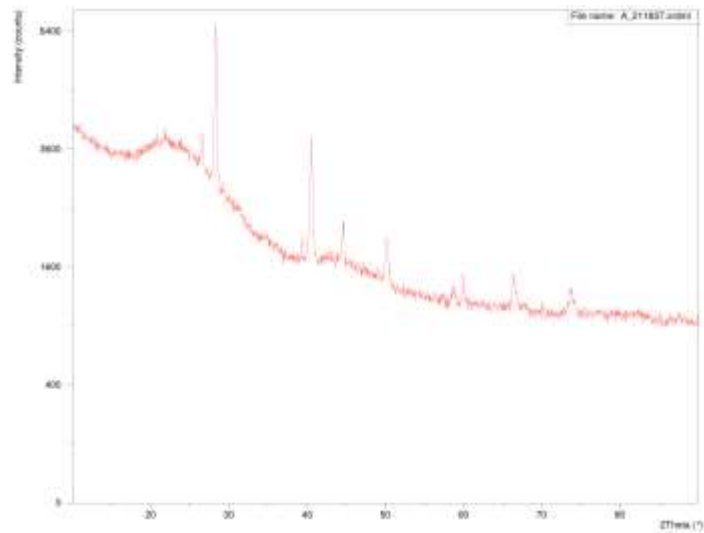
Page 1

<

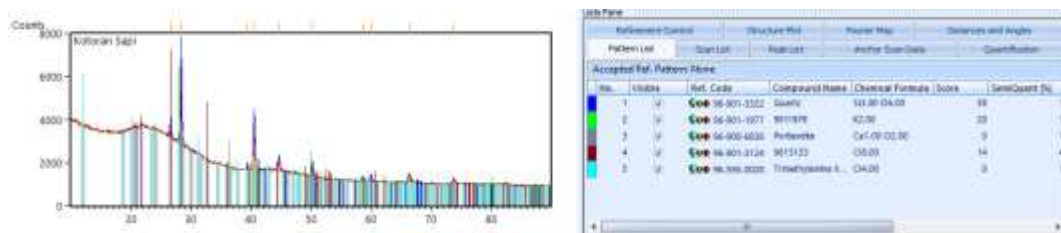
Gambar L.5.1 XRD arang kulit durian



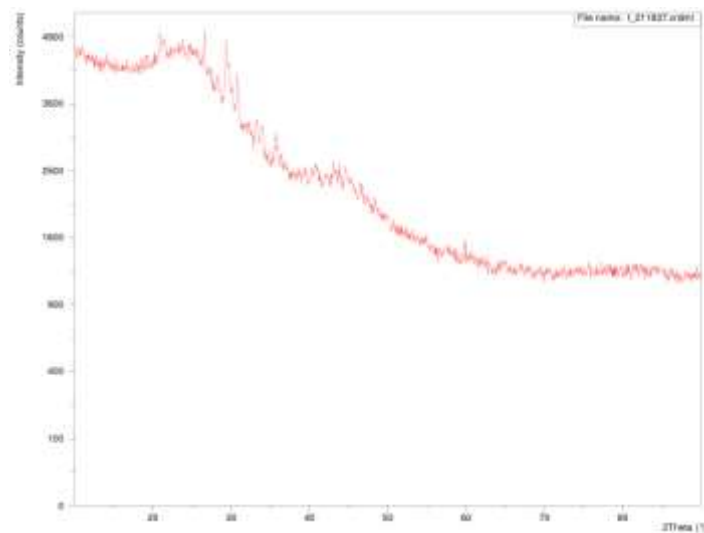
Gambar L.5.2 HSP XRD arang kulit durian



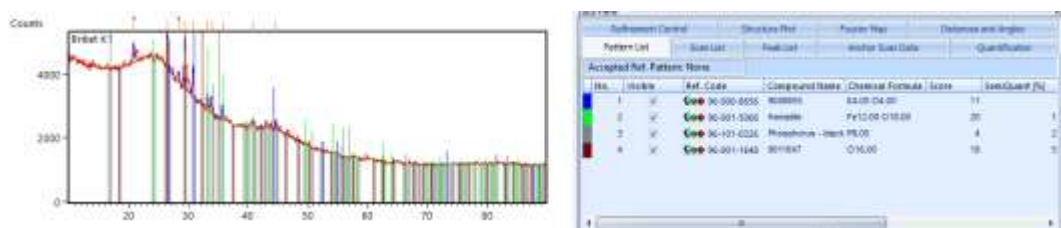
Gambar L.5.3 XRD arang kotoran sapi



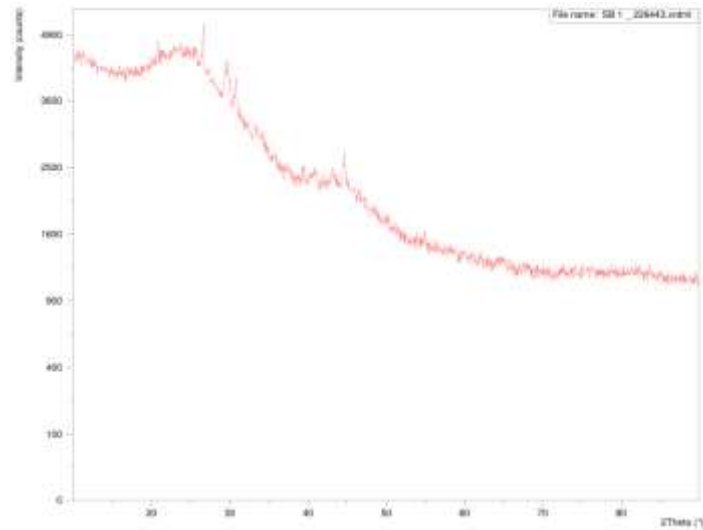
Gambar L.5.4 HSP XRD arang kotoran sapi



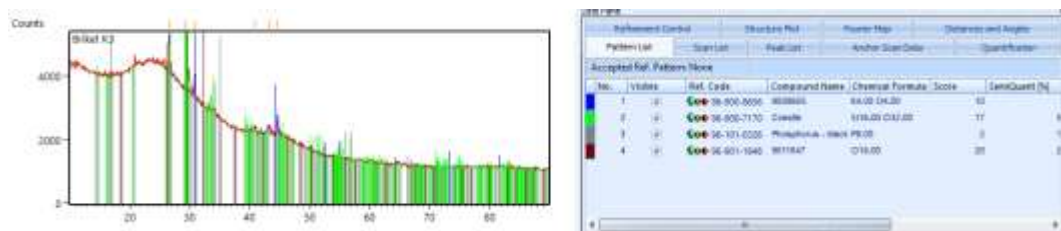
Gambar L.5.5 XRD briket K1



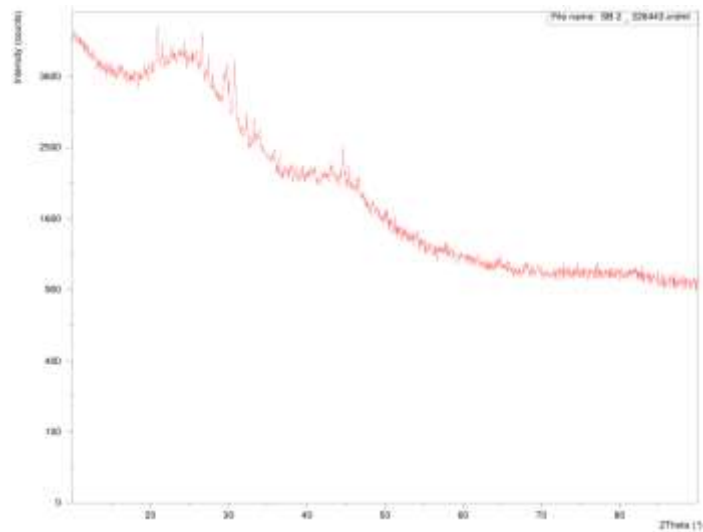
Gambar L.5.6 HSP Briket K1



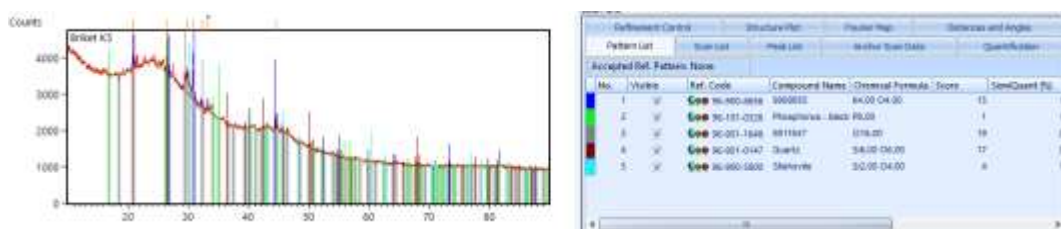
Gambar L.5.7 XRD briket K3



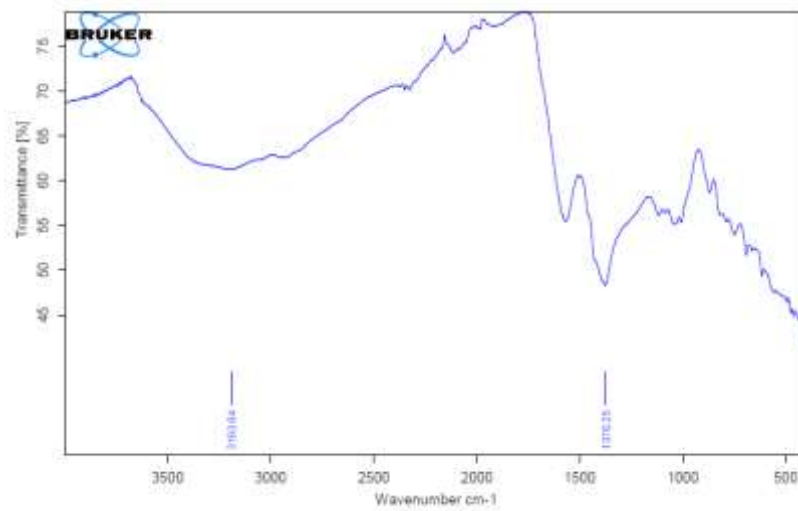
Gambar L.5.8 HSP Briket K3



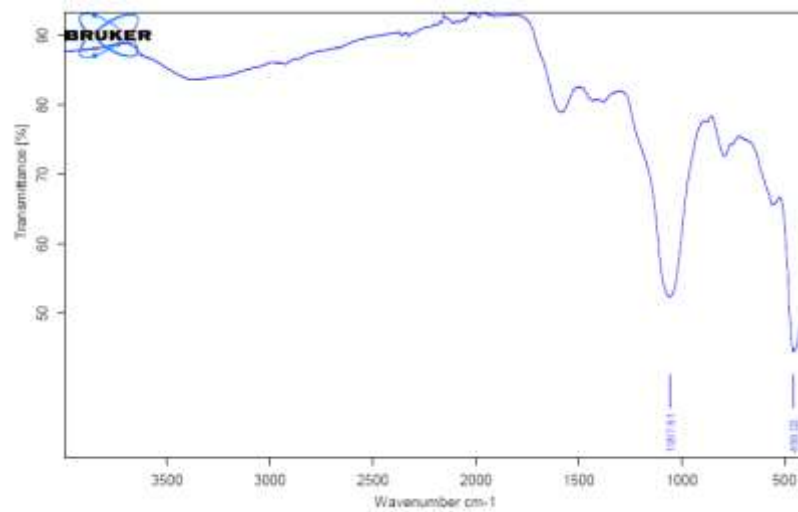
Gambar L.5.9 XRD briket K5



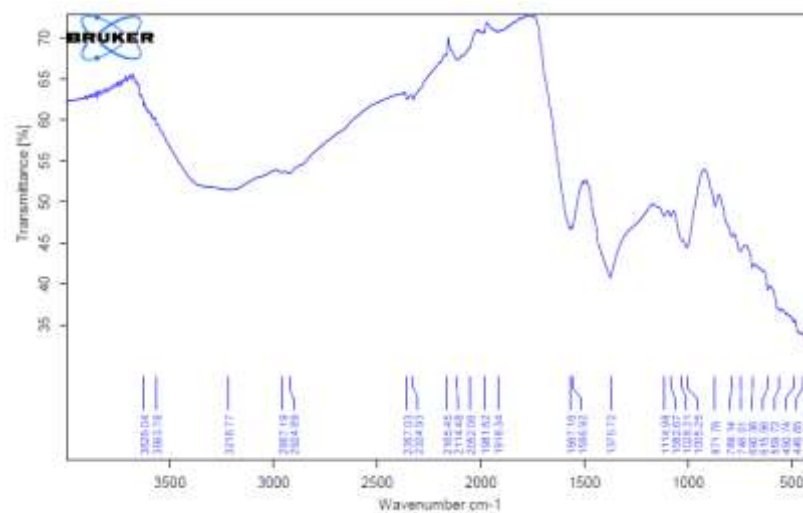
Gambar L.5.10 HSP Briket K5



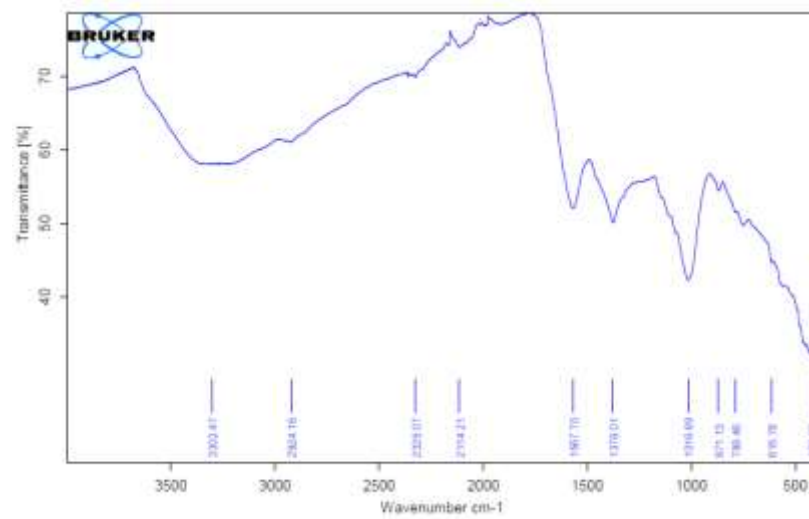
Gambar L.5.11 FTIR arang kulit durian



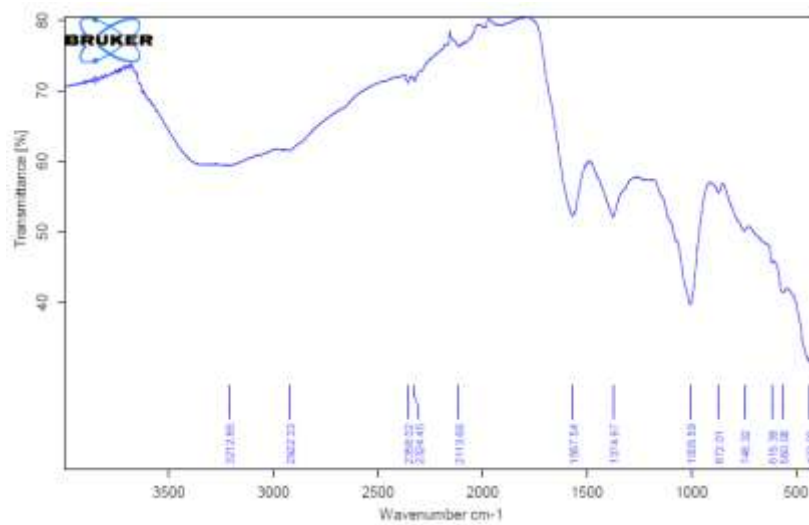
Gambar L.5.12 FTIR arang kotoran sapi



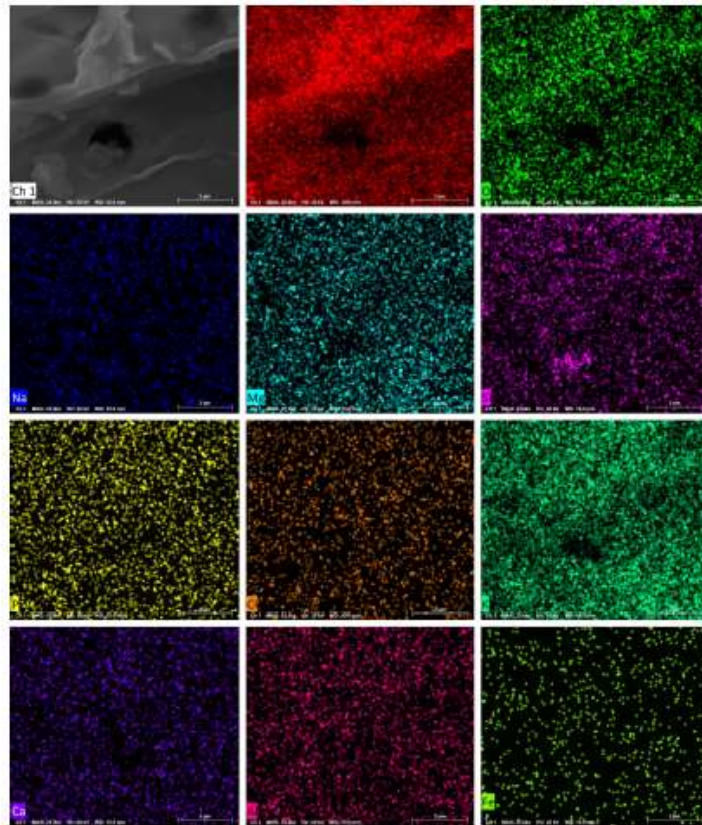
Gambar L.5.13 FTIR briket K1



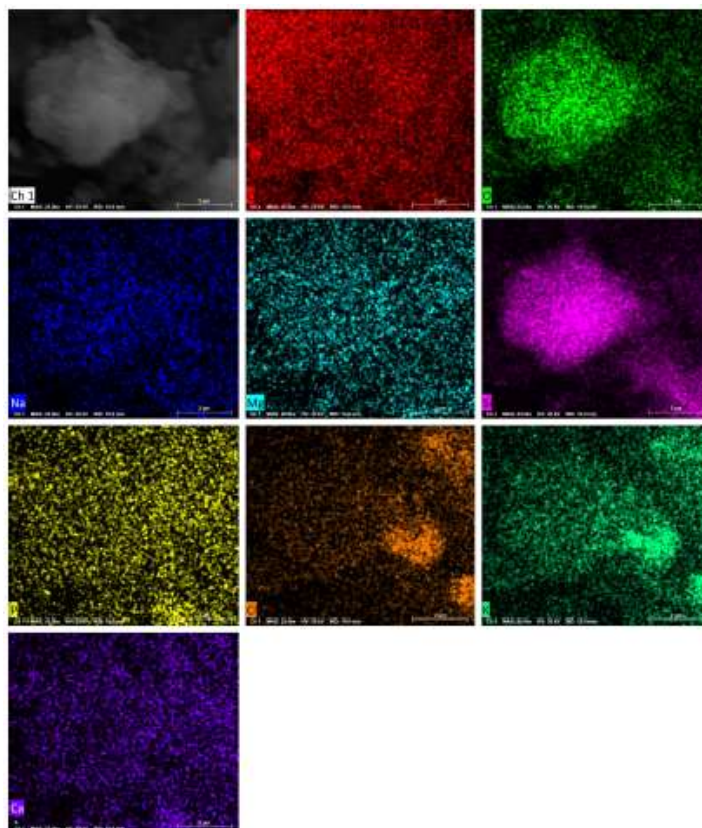
Gambar L.5.14 FTIR briket K3



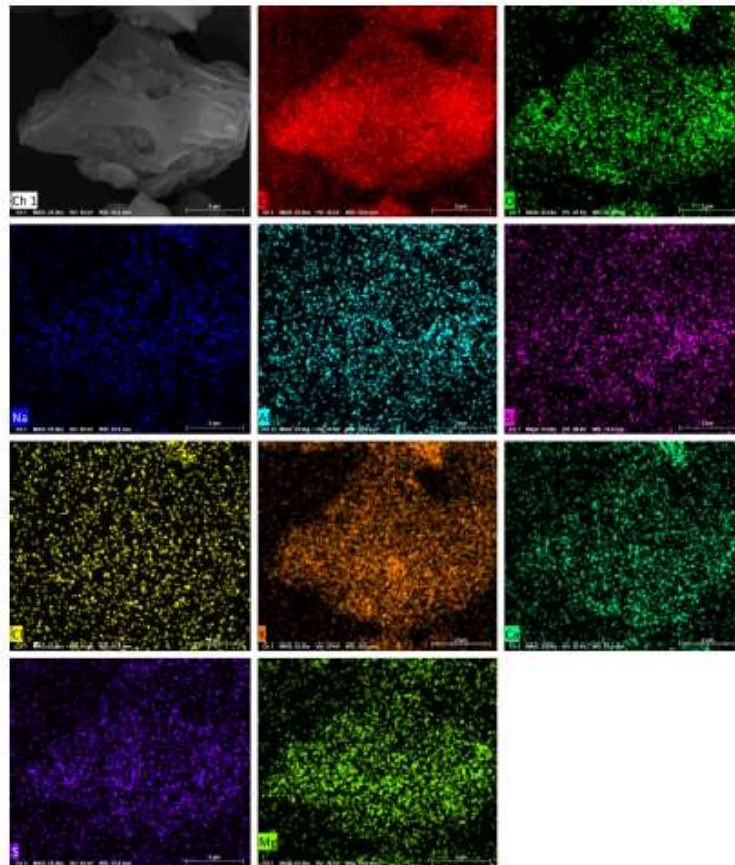
Gambar L.5.15 FTIR briket K5



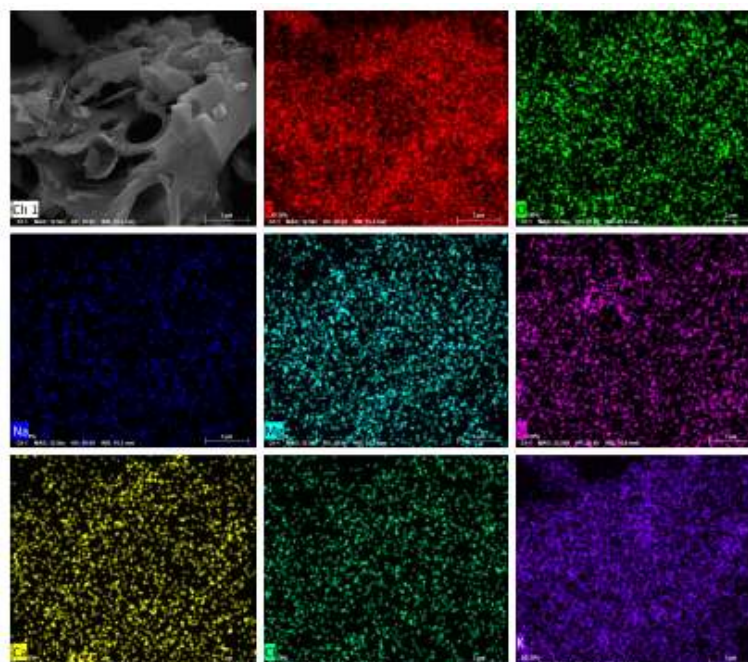
Gambar L.5.16 SEM-EDS arang kulit durian



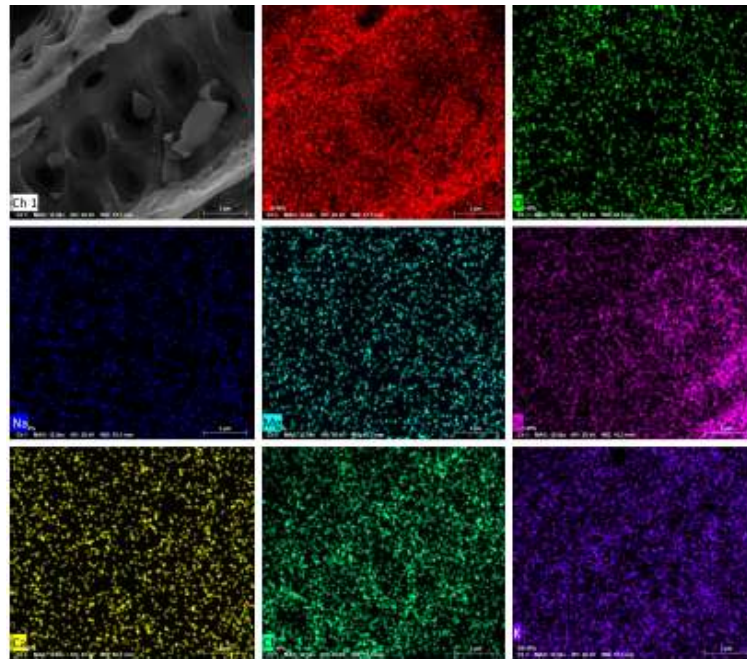
Gambar L.5.17 SEM-EDS arang kotoran sapi



Gambar L.5.18 SEM-EDS briket K1



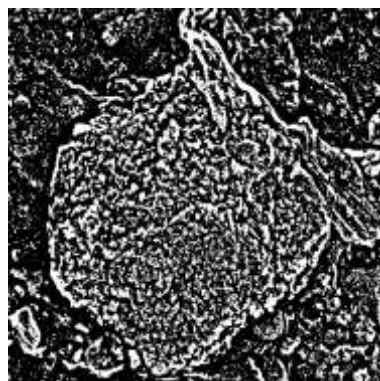
Gambar L.5.19 SEM-EDS briket K3



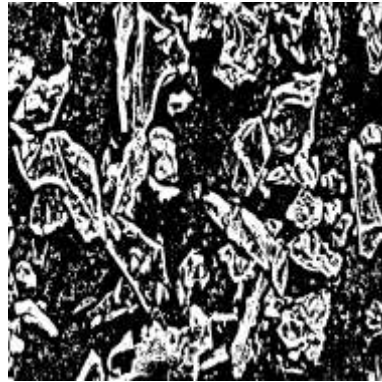
Gambar L.5.20 SEM-EDS briket K5



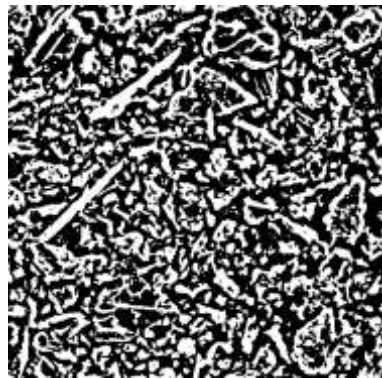
Gambar L.5.21 distribusi ukuran partikel arang kulit durian



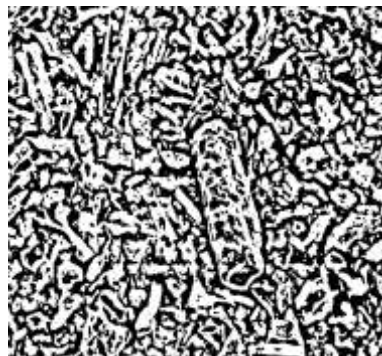
Gambar L.5.22 distribusi ukuran partikel arang kotoran sapi



Gambar L.5.23 distribusi ukuran partikel arang briket K1



Gambar L.5.24 distribusi ukuran partikel arang briket K3



Gambar L.5.25 distribusi ukuran partikel arang briket K5

L.6 DOKUMENTASI ALAT DAN BAHAN PENELITIAN



Gambar L.6.1 *muffle furnace* iwata (dokumentasi pribadi).



Gambar L.6.5 timbangan digital nankai ART 177-06 (dokumentasi pribadi).



Gambar L.6.2 lumpang dan alu (dokumentasi pribadi).



Gambar L.6.6 neraca analitik 4 digit biobase (*electronic analytical balance*) (dokumentasi pribadi).



Gambar L.6.3 saringan 80 mesh CBN test sieve analysis (dokumentasi pribadi).



Gambar L.6.7 oven SHARP EO-35SL (dokumentasi pribadi).



Gambar L.6.4 saringan 150 mesh CBN test sieve analysis (dokumentasi pribadi).



Gambar L.6.8 cetakan briket (dokumentasi pribadi).



Gambar L.6.9 *press hidrolik krisbow* (dokumentasi pribadi).



Gambar L.6.10 *cawan porselin* (dokumentasi pribadi).



Gambar L.6.11 *penjepit* (dokumentasi pribadi).



Gambar L.6.12 *desikator* (dokumentasi pribadi).



Gambar L.6.13 *XRF bruker S8 tiger* (dokumentasi pribadi).



Gambar L.6.14 *XRD PANalytical x'pert powder* (dokumentasi pribadi).



Gambar L.6.15 *FTIR invenio r* (dokumentasi pribadi).



Gambar L.6.16 *SEM EDS quattro s* (dokumentasi pribadi).



Gambar L.6.17 kulit durian (dokumentasi pribadi).



Gambar L.6.19 air dan tepung tapioka (dokumentasi pribadi).



Gambar L.6.18 kotoran sapi (dokumentasi pribadi).



Gambar L.6.20 binder (dokumentasi pribadi).

1.7 DOKUMENTASI PENELITIAN

