

**KARAKTERISASI BRIKET BIOMASSA DARI CAMPURAN TANDAN
KOSONG KELAPA SAWIT DAN KOTORAN SAPI SEBAGAI ENERGI
TERBARUKAN DI BRIN TANJUNG BINTANG**

(Skripsi)

Oleh

**FENNY REFIKA SARI
NPM 2117041049**



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

ABSTRAK

KARAKTERISASI BRIKET BIOMASSA DARI CAMPURAN TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DAN KOTORAN SAPI SEBAGAI ENERGI TERBARUKAN DI BRIN TANJUNG BINTANG

Oleh

FENNY REFIKA SARI

Pemanfaatan limbah biomassa sebagai energi terbarukan merupakan upaya strategis untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan dampak lingkungan. Penelitian ini memproduksi briket biomassa berbahan tandan kosong kelapa sawit Tkks dan Ks dengan perekat tepung tapioka. Proses pembuatan meliputi pengeringan, karbonisasi Tkks pada 500°C, penghalusan 80 *mesh*, pencampuran dengan perekat, pencetakan hidrolik, dan pengeringan. Briket kemudian diuji menggunakan analisis proksimat serta dikarakterisasi melalui XRF, XRD, FTIR, dan SEM-EDS untuk mengetahui sifat kimia dan strukturalnya. Hasil menunjukkan bahwa komposisi bahan berpengaruh signifikan terhadap mutu briket. Formulasi Tkks100% memberikan kualitas tertinggi dengan moisture total 7,37%, zat terbang 23,60%, abu 34,81%, karbon tetap 58,56%, dan nilai kalor 4.273,49 kcal/kg. Peningkatan proporsi kotoran sapi menyebabkan kenaikan kadar abu dan penurunan karbon tetap sehingga nilai kalor ikut menurun. Secara keseluruhan, Tkks murni memiliki potensi paling baik sebagai bahan baku briket ramah lingkungan, meskipun peningkatan kualitas energi masih diperlukan agar memenuhi standar yang berlaku.

Kata kunci: briket biomassa, tandan kosong kelapa sawit, kotoran sapi, proksimat, nilai kalor, XRF, XRD, FTIR, SEM-EDS, energi terbarukan.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF BIOMASS BRIQUETTES FROM A MIXTURE OF OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCHES AND COW DUNG AS RENEWABLE ENERGY AT BRIN TANJUNG BINTANG

Oleh

FENNY REFIKA SARI

The utilization of biomass waste as a renewable energy source is a strategic effort to reduce dependence on fossil fuels and minimize environmental impacts. This study produced biomass briquettes made from Efb and Cd using tapioca starch as a natural binder. The production process involved drying, carbonization of Efb at 500°C, grinding to 80 mesh, mixing with the binder, hydraulic compaction, and final drying. The resulting briquettes were analyzed through proximate testing and characterized using XRF, XRD, FTIR, and SEM-EDS to determine their chemical and structural properties. The findings indicate that raw material composition significantly affects briquette quality. The 100% Efb formulation exhibited the best performance, with a total moisture content of 7.37%, volatile matter of 23.60%, ash content of 34.81%, fixed carbon of 58.56%, and a calorific value of 4,273.49 kcal/kg. Increasing the proportion of cow dung led to higher ash content and lower fixed carbon, resulting in reduced calorific values. Overall, pure Efb demonstrates the highest potential as an environmentally friendly briquette feedstock, although further improvement is needed to meet the required energy standards.

Keywords: biomass briquettes, empty fruit bunches, cow dung, proximate analysis, calorific value, XRF, XRD, FTIR, SEM-EDS, renewable energy.

**KARAKTERISASI BRIKET BIOMASSA DARI CAMPURAN TANDAN
KOSONG KELAPA SAWIT DAN KOTORAN SAPI SEBAGAI ENERGI
TERBARUKAN DI BRIN TANJUNG BINTANG**

Oleh

FENNY REFIKA SARI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Untuk Memperoleh Gelar

SARJANA SAINS

Pada

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



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

Judul Skripsi : Karakterisasi Briket Biomassa dari
Campuran Tandan Kosong Kelapa Sawit
dan Kotoran Sapi sebagai Energi
Terbarukan

Nama Mahasiswa : **Fenny Refika Sari**

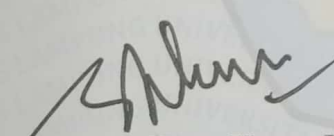
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041049

Program Studi : S1-Fisika

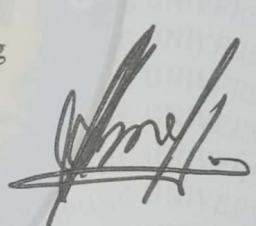
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

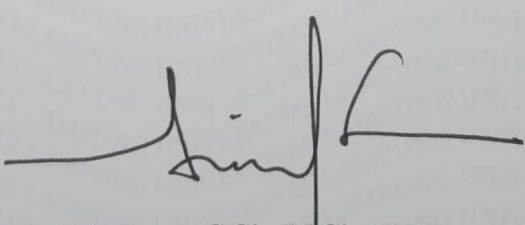


Drs. Pulung Karo-Karo., M.Si.
NIP. 196107231986031003



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

2. Ketua Jurusan

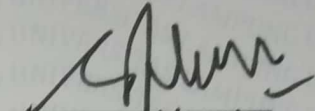
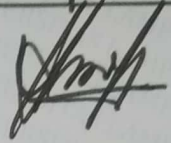


Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 197109092000121001

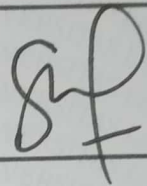
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

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



Anggota : Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si.

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 17 Desember 2025

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang sama persis dengan yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 08 Oktober 2025



FENNY REFIKA SARI
NPM. 2117041049

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Fenny Refika Sari. Penulis dilahirkan di Desa Alam jaya pada 16 Agustus 2003. Penulis merupakan anak Pertama dari bapak Yasri dan ibu Aliyah.

Penulis menyelesaikan Pendidikan di SDN 07 Kota Alam pada tahun 2015, SMP Pelita pada tahun 2018, dan SMAN 4 Kotabumi pada tahun 2021. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN pada tahun 2021. Selama menempuh Pendidikan, penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT Suma Briket Tanjung bintang, dengan judul” Analisis kandungan kadar air dalam pembakaran bahan baku briket serta penentuan hasil warna arang di Pt Suma Briket Premium Lampung Selatan”.

Penulis juga melakukan pengabdian masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung Periode II tahun 2024 di B raja Mulya, Lampung Timur. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi sebagai biro kemuslimahan Rois FMIPA Unila tahun 2021 dan aktif dalam kegiatan organisasi bidang Kaderisasi HIMAFI FMIPA Unila tahun 2021. Penulis juga mengikuti pantia acara KWI di FMIPA tahun 2022 sebagai anggota expun.

PERSEMBAHAN

Dengan Penuh Rasa Syukur Kepada Allah SWT, karya ini kupersembahkan kepada:

Kedua Orangtuaku

Ayah Yasri dan ibu Aliyah

Yang telah memberikan dukungan moral maupun materi serta doa yang tiada henti untuk kesuksesan putrinya. Do'a kan anak mu ini bisa membahanggakan kalian.

Dan Adikku

Fikri Albar terimakasih atas doa, dukungan serta kasih sayang hingga saat ini. Sudah sangat memberi hiburan dan semangat kepada ohta.

Bapak dan Ibu Dosen

Terima kasih atas bekal ilmu pengetahuan, nasihat, dan saran yang membangun hati, pikiran dan kemandirian dalam menyelesaikan semuanya sampai akhir, agar saya menjadi pribadi yang lebih baik di masa yang akan datang.

Almamater Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

MOTTO

“Kesuksesan bukan milik mereka yang cepat, tetapi milik mereka yang tekun dan tidak berhenti mencoba memanfaatkan di setiap kesempatan yang ada”

“Orang yang tidak pernah membuat kesalahan berarti tidak pernah mencoba sesuatu yang baru.”
(Albert Einstein)

“Tidak ada hasil tanpa proses, dan tidak ada proses tanpa kesabaran.”

“Jika Allah menolongmu, maka tidak ada yang dapat mengalahkanmu.”
(QS. Ali Imran: 160)

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”
(QS. Al-Insyirah: 6)

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT. Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Karakterisasi Briket Biomassa Dari Campuran Tandan Kosong Kelapa Sawit Dan Kotoran Sapi Sebagai Energi Terbarukan Di Brin Tanjung Bintang”**. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kesalahan dan masi jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun penulis diharapkan untuk memperbaiki skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bukan hanya untuk penulis, tapi juga untuk para pembaca.

Bandar Lampung, 08 Oktober 2025

Penulis

FENNY REFIKA SARI

SANWACANA

Puji syukur atas ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kesehatan, kemampuan, rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul **“Karakterisasi Briket Biomassa Dari Campuran Tandan Kosong Kelapa Sawit Dan Kotoran Sapi Sebagai Energi Terbarukan Di Brin Tanjung Bintang”**. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk kelulusan di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis telah mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak pihak yang telah membantu, diantaranya:

1. Bapak Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si., selaku Dosen Pembimbing I yang telah membantu, memberikan ilmu, waktu, tenaga, motivasi dan sarannya dalam membimbing penulis menyusun proposal tugas akhir.
2. Bapak Muhammad Amin, S.T., M.Si. selaku Dosen Pembimbing II tugas akhir yang selalu sabar untuk membimbing, memberikan ilmu, semangat, motivasi, arahan, saran, serta nasehat dalam membimbing penulis dalam menyusun proposal tugas akhir.
3. Ibu Dr.Yanti Yuliyanti, S.Si., M.Si. selaku Dosen pembahas yang telah memberikan saran, masukan, dan ilmu pada penulis dalam penyusunan proposal tugas akhir.
4. Ibu Dr.Yanti Yuliyanti, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa memberikan bimbingan dan arahan selama masa perkuliahan.
5. Bapak Dr. Fajar Nugraha, S.T., M.T. selaku Kepala Pusat Riset Brin yang telah memberi izin untuk melaksanakan tugas akhir kepada penulis.

6. Para staff laboratorium dan karyawan Brin yang telah membantu penulis memenuhi kebutuhan data dari tugas akhir.
7. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika yang telah membantu dalam pengurusan semua kegiatan yang dijalankan penulis selama menjadi mahasiswa.
8. Bapak Dr.Eng.Heri Satria,S.Si., M.Si., selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
9. Bapak/ Ibu Dosen Jurusan fisika yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
10. Para staff dan karyawan Jurusan Fisika yang telah membantu penulis memenuhi kebutuhan administrasi berkas.
11. Bapak Yasri, Ibu Aliyah, Adikku Fikri Albar, dan serta kedua nenekku Sidah Herlina dan Anyik Masuni. yang telah memberikan doa, semangat, motivasi, pengorbanan, kasih sayang dan dukungan berupa materi kepada penulis hingga saat ini.
12. Teman teman tugas akhir Gusti, Ega dan teman Brin serta semua teman-teman Fisika angkatan 2021.

Penulis menyadari dalam penyusunan proposal ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat dibutuhkan untuk penulisan yang lebih baik lagi kedepannya. Atas segala kekurangannya, penulis mohon maaf yang sebesarbesarnya.

Bandar Lampung,08 Oktober 2025

FENNY REFIKA SARI

NPM. 2117041049

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	viii
I. PENDAHULUAN.....	ix
1.1 Latar Belakang	ix
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Briket Biomassa	5
2.2 Faktor Penentu Kualitas Briket	6
2.3 Briket Bioarang.....	7
2.4 Karbonisasi	8
2.4.1 Karbonisasi Cepat	8
2.4.2 Karbonisasi Sedang.....	8
2.5 Karakterisasi.....	9
2.5.1 X-Ray Fluorescence (XRF).....	9
2.5.2 X-Ray Diffraction (XRD)	11
2.5.1 Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive Spectroscopy (SEM- EDS)	12
2.5.3 Fourier Transform Infra-Red (FTIR).....	13
III. METODE PENELITIAN	16
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	16
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	16
3.2.1 Alat Penelitian.....	16
3.2.2 Bahan Penelitian	16
3.3 Prosedur Penelitian	17
3.3.1 Menyiapkan Bahan	17
3.3.2 Pembuatan Briket tandun kosong kelapa sawit dan kotoran sapi	17
3.3.3 Pengujian pada briket	18

3.4 Diagram Alir	18
VI. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1 Hasil Uji Proksimat Briket Bahan Baku Tkks dan Ks	24
4.2 Hasil Uji Proksimat Produk Briket Tkks dan Ks	25
4.3 Grafik Hasil Pengujian Fix Carbon Briket Tkks dan Variasi Ks.....	30
4.4 Hasil Karakterisasi Bahan Baku.....	32
4.4.1 Hasil Karakterisasi X-Ray Fluorescence (XRF) Bahan Baku Briket	33
4.4.2 Hasil Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD) Bahan Baku Briket	35
4.4.3 Hasil Karakterisasi Fourier Transform Infrared (FTIR) Bahan Baku Briket	37
4.4.4 Hasil Karakterisasi Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS) pada Bahan Baku.....	38
4.4.1 Hasil Distribusi Ukuran Partikel Bahan Baku Tkks dan Ks.....	44
4.5 Hasil Karakterisasi Produk Briket Tkks.....	45
4.5.1 Hasil Karakterisasi X-Ray Fluorescence (XRF) Produk Briket Tkks	45
4.5.2 Hasil Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD) Produk Briket	47
4.5.3 Hasil Karakterisasi Fourier Transform Infrared (FTIR) Produk Briket Variasi Rendah, Sedang dan Tinggi.....	52
4.5.4 Hasil Karakterisasi Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS) pada Produk Briket.....	54
4.5.5 Hasil Distribusi Ukuran Partikel Produk Briket Variasi Rendah, Sedang dan Tinggi.....	61
 5.1 Kesimpulan	 65
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN.....	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Prinsip kerja XRF	10
2.2 Skema difraksi sinar -X.....	11
2.3 Skema SEM.....	12
2.4 Skema FTIR	14
3.1 Diagram alir preparasi dan karakterisasi bahan.....	19
3.2 Diagram alir karakterisasi bahan baku	21
4.1 Grafik hasil fix carbon briket tkks dan variasi kotoran sapi (a) Grafik hasil nilai kalor (b)	30
4.2 Difraktogram XRD Bahan Baku	35
4.3 Difraktogram FTIR Bahan Baku Tkks dan Ks.....	37
4.4 Hasil analisis SEM-EDS tkks bahan baku. Hasil morfologi bahan baku tkks (a). Hasil karakterisasi SEM-EDS (b)	38
4.5 Spektrum EDS bahan baku tkks.....	39
4.6 Hasil analisis SEM-EDS ks bahan baku. Hasil morfologi bahan baku ks (a). Hasil karakterisasi SEM-EDS (b).....	41
4.7 Spektrum EDS Bahan Baku Ks.....	42
4.8 Distribusi ukuran partikel Tkks (a). Distribusi ukuran partikel Ks(b).	44
4.9 Difraktogram XRD Produk Briket a) fc tinggi, b) fc sedang, c) fc rendah.	48
4.10 Difraktogram FTIR produk briket variasi a) tinggi, b) sedang, c) rendah....	53
4.11 Hasil analisis SEM-EDS tkks produk briket. Hasil morfologi produk variasi sedang briket (a). Hasil karakterisasi SEM-EDS (b).....	55
4.12 Spektrum EDS Produk briket variasi sedang	56
4.13 Hasil analisis SEM-EDS tkks produk briket. Hasil morfologi produk briket variasi rendah (a). Hasil karakterisasi SEM-EDS (b).....	57
4.14 Spektrum EDS Produk briket variasi rendah.....	59

4.15	Distribusi ukuran briket rendah (a) Distribusi ukuran briket sedang (b) Distribusi ukuran briket tinggi (c).....	62
-------------	---	----

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Standar Kualitas Briket Bioarang.....	7
3.1 Komposisi briket bahan baku tkks dan ks.....	23
4.1 Hasil uji proksimat bahan baku briket.....	25
4.2 Hasil Uji Proksimat Produk Briket Tkks dan Ks.....	28
4.3 Hasil karakterisasi XRF Bahan Baku Briket Tkks	33
4.4 Fasa XRD Bahan Baku Tkks.....	35
4.5 Fasa XRD Bahan Baku Ks	36
4.6 Komposisi unsur bahan baku Tkks.....	40
4.7 Komposisi unsur Spektrum EDS Bahan Baku KS	43
4.8 Variasi pada produk briket tkks dan ks	46
4.9 Fasa XRD Produk Tkks 100% Variasi Tinggi	49
4.10 Fasa XRD Produk Tkks 80% Variasi Sedang	50
4.11 Fasa XRD Produk Briket TKKS 60% Variasi Rendah	51
4.12 Komposisi unsur Spektrum EDS produk briket variasi sedang.....	56
4.13 Komposisi unsur Spektrum EDS produk briket variasi rendah.....	60

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu potensi besar yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif adalah biomassa. Indonesia sebagai negara agraris memiliki berbagai jenis limbah biomassa, salah satunya tandan kosong kelapa sawit (Tkks) . Tkks merupakan limbah padat hasil pengolahan kelapa sawit yang jumlahnya melimpah, mencapai sekitar 23% dari berat tandan buah segar (Mustofa, 2022). Limbah ini mengandung komponen selulosa (45–50%), hemiselulosa (25–35%), dan lignin (20–30%), sehingga berpotensi sebagai bahan baku briket atau bahan bakar padat (Radityaningrum & Harnawan, 2022).

Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan aktivitas industri. Selama ini, pemenuhan energi masih sangat bergantung pada sumber fosil seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara. Ketergantungan tersebut menimbulkan berbagai dampak negatif, antara lain peningkatan emisi gas rumah kaca dan keterbatasan cadangan energi fosil di masa mendatang (Purwanta, 2018).

Pembuangan langsung limbah tersebut tanpa adanya pengolahan akan mengakibatkan pencemaran lingkungan karena limbah yang tidak diolah masih merupakan senyawa kompleks yang tidak dapat diserap oleh lingkungan, sehingga pengolahan limbah perlu dilakukan untuk meminimalisir pencemaran. Kotoran sapi merupakan limbah peternakan yang jumlahnya juga sangat besar di daerah pedesaan. Selama ini kotoran sapi umumnya dimanfaatkan sebagai pupuk organik atau bahan biogas, padahal memiliki kandungan karbon dan bahan organik yang cukup tinggi untuk dijadikan bahan bakar padat (Purwanta, 2018).

Briket berbahan kotoran sapi memiliki nilai kalor berkisar antara 3.500–4.500 kal/g tergantung kadar air dan perekat yang digunakan. Namun, briket dari kotoran sapi murni memiliki kelemahan seperti kekuatan mekanik rendah dan kadar abu tinggi (JSAL 2021). Kombinasi Tkks dan kotoran sapi berpotensi menghasilkan briket dengan karakteristik yang lebih baik. Tkks dapat memberikan struktur padat dan kadar karbon tetap tinggi, sedangkan kotoran sapi berfungsi sebagai bahan pengikat alami yang dapat memperbaiki kekompakan dan meningkatkan nilai kalor (Radityaningrum & Harnawan, 2022).

Menunjukkan bahwa penggunaan kotoran sapi dengan penambahan perekat alami (seperti tapioka) dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan kestabilan bentuk briket. Berdasarkan hasil penelitian terdahulu tersebut, pencampuran antara Tkks dan kotoran sapi dengan berbagai variasi perbandingan diharapkan dapat menghasilkan briket dengan nilai kalor tinggi, kadar air rendah, dan kekuatan fisik yang baik, sekaligus menjadi alternatif energi ramah lingkungan berbasis limbah biomassa lokal (Purwanta, 2018). Proses pembuatan briket biomassa melibatkan beberapa tahap penting seperti pengeringan, pengarangan, pencampuran bahan, penambahan perekat, pencetakan, dan pengeringan kembali. Parameter utama yang menentukan kualitas briket meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, karbon tetap, nilai kalor, dan densitas (Mustofa, 2022). Variasi rasio antara Tkks dan kotoran sapi akan memengaruhi karakteristik tersebut.

Penelitian yang dilakukan oleh Ghuftron Arif Mustofa (2022) menunjukkan bahwa peningkatan proporsi bahan berkarbon tinggi seperti Tkks meningkatkan nilai kalor dan menurunkan kadar air. Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan briket biomassa menggunakan bahan tandun kosong kelapa sawit, kotoran sapi, serta dalam penelitian ini menggunakan alat seperti oven, pengaduk, beaker gelas, gelas ukur, XRF, XRD, SEM, Labu ukur 250 ml, *Thermogravimetric Analysis* (TGA), *fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR), timbangan digital, saringan 100 mesh, 80 mesh dan 40 mesh, cawan porselen, maple finish.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi fasa kristalin yang terbentuk dalam sampel briket Tkks dan Ks dengan analisis XRD.
2. Menentukan komposisi kimia abu briket Tkks dan Ks melalui analisis XRF.
3. Mengetahui komposisi unsur dan mineral yang terkandung dalam briket Tkks dan Ks menggunakan analisis SEM-EDS.
4. Menganalisis potensi pemanfaatan briket Tkks dan Ks sebagai bahan bakar alternatif berdasarkan karakteristik abu yang dihasilkan.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana kandungan kadar air pada bahan baku briket mempengaruhi hasil pembakaran dan jenis arang yang dihasilkan?
2. Bagaimana strategi optimal dalam mengatur kadar air untuk mendapatkan Jenis arang yang berkualitas menggunakan kotoran sapi?

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bahan pembuatan briket yakni memakai limbah dari tandan kosong kelapa sawit dan tambahan kotoran sapi serta prekat seperti tepung tapioca dengan air.
2. Pembuatan briket ini mengukur uji kadar air, volatil, kadar abu, nilai kalor dan pembakaran.
3. Hasil dari limbah yang bisa dibuat briket dalam energi terbarukan yang ramah lingkungan.
4. Proses pencetakan briket menggunakan alat press.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Memberikan data tentang potensi pengurangan emisi karbon melalui pemanfaatan limbah kelapa sawit.
2. Menambah literatur ilmiah tentang pemanfaatan limbah biomassa untuk energi terbarukan.
3. Memberikan solusi energi murah bagi masyarakat di pedesaan atau daerah terpencil.
4. Sebagai tambahan referensi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung di KBK Energi.
5. Sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Briket Biomassa

Energi merupakan salah satu kebutuhan penting bagi keberlangsungan hidup manusia. Saat ini, penggunaan energi fosil seperti minyak bumi dan batu bara terus meningkat seiring dengan perkembangan zaman dan pertumbuhan jumlah penduduk. Pada tahun 2018, total konsumsi energi final (tidak termasuk biomassa tradisional) mencapai sekitar 114 MTOE, dengan sektor transportasi menyumbang 40%, diikuti oleh industri 36%, rumah tangga 16%, serta sektor komersial dan lainnya masing-masing sebesar 6% dan 2% (Tjokrodimuljo, 2019). Peningkatan kebutuhan energi ini mendorong pentingnya pencarian sumber energi alternatif yang dapat diperbarui. Salah satu opsi energi alternatif yang dapat dikembangkan adalah energi biomassa dari limbah bahan pangan, seperti briket.

Briket biomassa memiliki berbagai keunggulan, termasuk meningkatkan karakteristik penanganan, nilai kalor, efisiensi transportasi, dan memungkinkan penggunaannya dalam berbagai aplikasi. Arang briket dianggap sebagai bahan bakar unggul karena menghasilkan pembakaran yang bersih serta dapat disimpan dalam jangka waktu lama tanpa mengalami penurunan kualitas. Oleh karena itu, pemanfaatan biomassa sebagai alternatif pengganti arang kayu dengan memanfaatkan limbah menjadi briket arang dalam skala kecil (Widodo, 2016).

Biomassa merupakan salah satu sumber energi baru terbarukan (EBT) yang saat ini sedang dikembangkan. Biomassa dapat berasal dari limbah panen pertanian, perkebunan, limbah industri tertentu, atau langsung dari makhluk hidup. Sebagai negara agraris, Indonesia memiliki kekayaan alam berupa tumbuhan yang sangat beragam dan melimpah. Kekayaan ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku

utama biomassa, baik dalam bentuk tumbuhan hidup maupun yang telah mati. Menurut sebuah riset yang dilakukan oleh ZREU (Zentrum for Rationale Energianwendung und Umwelt) di Jerman, potensi biomassa di Indonesia mencapai 146,7 juta ton per tahun (ESDM, 2012). Potensi besar ini menjadi modal utama untuk mengembangkan biomassa sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil. Berdasarkan jenisnya, biomassa dapat diolah menjadi bahan bakar gas seperti biogas, atau bahan bakar padat seperti biobriket (Jenkin,1995).

Briket adalah blok bahan bakar padat yang dapat digunakan untuk memulai dan mempertahankan nyala api. Jenis briket yang umum mencakup briket bara, arang, gambut, dan biomassa. Briket biomassa, yang berasal dari limbah pertanian, merupakan energi alternatif yang dapat menggantikan minyak bumi dan sumber energi fosil lainnya. Bahan baku pembuatan briket meliputi tempurung kelapa, tongkol jagung, serbuk kayu, daun-daunan, sekam padi, arang sekam, dan bahan lainnya. Proses pembuatan briket dilakukan dengan metode pemadatan atau penekanan untuk meningkatkan nilai kalor per satuan luas biomassa. Dengan ukuran yang relative kecil, briket mampu menghasilkan energi yang besar. memudahkan proses penyimpanan dan distribusi (Siki, 2020).

2.2 Faktor Penentu Kualitas Briket

Dalam proses pembuatan briket, terdapat beberapa tahap seperti penggilingan bahan tertentu, penggerusan, pencampuran, dan pencetakan. Tahapan ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas briket, mengurangi kehilangan bahan berupa debu, serta mempermudah transportasi. Beberapa faktor yang memengaruhi proses pembuatan briket meliputi sifat elastis bahan, kekerasan, ukuran partikel, tekanan pengepresan, kadar air, dan jenis perekat, yang semuanya berperan dalam menentukan kualitas briket yang dihasilkan (Suryaningsih & Pahleva, 2020).

Pada proses karbonisasi, suhu tinggi dapat meningkatkan nilai kalor dan kadar karbon pada briket, sekaligus mengurangi kadar abu, kadar air, dan zat terbang (Moeksin *et al.*, 2017). Durasi pembakaran briket dipengaruhi oleh ukuran

partikelnya semakin kecil partikel, semakin lama waktu pembakaran. Selain itu, partikel yang lebih kecil akan meningkatkan kepadatan briket (Jaswella *et al.*, 2022). Briket dengan kepadatan tinggi cenderung memperlambat laju pembakaran karena oksigen sulit masuk ke dalamnya (Sudiro & Suroto, 2014).

Briket dengan kualitas baik umumnya memiliki nilai kalor yang tinggi serta kadar air dan abu yang rendah. Selain faktor penggunaan perekat, ukuran partikel juga mempengaruhi proses pembuatan briket. Sebuah penelitian oleh Vegatama 2022 membandingkan pengaruh penggunaan perekat tepung tapioka dalam pembuatan briket dari serbuk kayu dengan ukuran partikel 30 mesh.

2.3 Briket Bioarang

Briket bioarang adalah gumpalan atau batangan arang yang dibuat dari berbagai jenis bahan hayati atau biomassa. Menurut Kristianti (2009), briket merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengonversi sumber energi biomassa menjadi bentuk biomassa lain melalui proses pemampatan sehingga menghasilkan bentuk yang lebih teratur. Saat ini, standar kualitas briket bioarang dari TKKS belum ada, namun briket bioarang yang memenuhi kriteria bahan bakar yang baik dapat dilihat dari nilai kalor, kadar karbon terikat, dan kepadatannya yang tinggi (Rahman, 2009). SNI 01-6235-2000 digunakan sebagai acuan untuk standar kualitas briket arang berbahan baku utama kayu, dengan persyaratan briket yang baik, antara lain ada pada **tabel 1.1**

Tabel 2.1 Standar Kualitas Briket Bioarang

No	Parameter	Nilai Maksimal/Minimal
1	Kadar air	Maksimal 8%
2	Bahan yang hilang pada pemanasan	Maksimum 15%
3	Kadar abu	Maksimal 8%
4	Nilai kalor	Minimal 5000 kal/g

Bioarang adalah arang yang dibuat dengan membakar biomassa kering tanpa udara (prolisis). Biomassa, di sisi lain adalah bahan organik yang berasal dari tumbuh – tumbuhan dan hewan, seperti gulma, limbah pertanian, gambut, dan limbah

peterernakan. Karena biomassa tidak efisien secara langsung bioarang harus diolah terlebih dahulu sebelum digunakan secara langsung (Widarto *et al.*, 2009).

Jenis bahan baku atau serbuk arang, kehalusan serbuk, dan suhu kombinasi adalah beberapa faktor yang mempengaruhi sifat briket bioarang. Selain itu, pencampuran bahan pembuat briket juga mempengaruhi sifat briket. Untuk briket yang baik permukaannya halus dan tidak meninggalkan bekas hitam saat dipegang ditangan. Menurut (Brades 2008 dalam Supryadi 2011), briket bioarang harus memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan bakar: Mudah dinyalakan, Tidak mengeluarkan asap, Gas yang dihasilkan dari pembakaran tidak mengandung racun, Kedap air dan tidak berjamur saat disimpan lama., Menunjukkan upaya laju pembakaran yang baik (waktu, laju, dan suhu pembakaran).

2.4 Karbonisasi

Karbonisasi adalah proses termal yang berlangsung dengan sedikit atau tanpa keberadaan oksigen. Menurut (Prakash dan Karunanithi 2008), pirolisis merupakan salah satu metode konversi biomassa secara termokimia, yang melibatkan untuk penghancuran bahan organik melalui panas dalam kondisi tanpa oksigen. (Bridgwater., 2004) menjelaskan bahwa proses pirolisis dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

2.4.1 Karbonisasi Cepat

Karbonisasi yang cepat, yaitu pirolisis yang dilakukan pada suhu tinggi $\pm 500^{\circ}\text{C}$, dengan laju transfer panas yang cepat, waktu tinggal uap yang singkat < 2 detik, menghasilkan 75% cairan 25% air, 12% arang, dan 13% gas.

2.4.2 Karbonisasi Sedang

Karbonisasi yang sedang, dilakukan pada suhu sedang $< 500^{\circ}\text{C}$, dengan laju panas yang moderat, waktu tinggal uap moderat ± 2 detik, menghasilkan 50% cairan 50% air, 25% arang, dan 25% gas.

2.4.3 Karbonisasi Rendah

Karbonisasi yang rendah, dilakukan pada suhu rendah (50-100°C), dengan laju panas yang lambat, waktu tinggal uap yang panjang (>2 detik), menghasilkan 30% cairan (70% air), 35% arang, dan 35% gas. Karbonisasi biomassa yang juga dikenal sebagai pengarangan, adalah proses untuk meningkatkan nilai kalor biomassa dan menghasilkan pembakaran yang bersih dengan sedikit asap. Hasil dari karbonisasi ini adalah arang yang terdiri dari karbon dan berwarna hitam. Pirolisis, di sisi lain adalah proses pemanasan suatu bahan tanpa adanya oksigen, yang mengakibatkan penguraian komponen-komponen penyusun kayu keras. Pirolisis juga dapat diartikan sebagai penguraian bahan organik secara tidak teratur yang disebabkan oleh pemanasan tanpa kontak dengan udara luar. Hal ini berarti bahwa ketika tempurung dipanaskan tanpa adanya udara dan suhu yang cukup tinggi, akan terjadi reaksi penguraian senyawa kompleks yang membentuk kayu dan kertas, menghasilkan zat dalam tiga bentuk yaitu padat, gas, dan cair (Bahar, 2014).

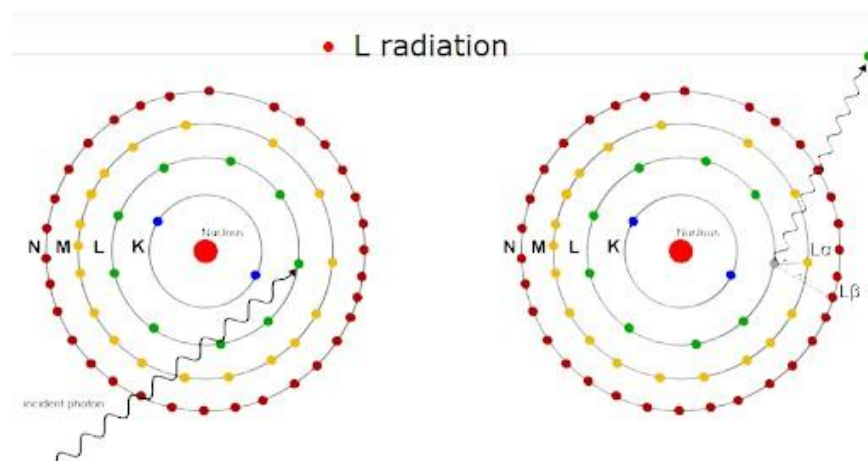
2.5 Karakterisasi

2.5.1 X-Ray Fluorescence (XRF)

X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan metode analisis yang digunakan untuk menganalisis serta menentukan konsentrasi suatu unsur sampel padatan, bubuk maupun cairan dalam suatu bahan secara kualitatif maupun kuantitatif. *X-Ray Fluorescence* mampu menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur pada sampel menggunakan metode spektrometri (Jenkin *et al.*, 1995). Bahan uji untuk XRF juga dapat digunakan untuk menentukan ketebalan dan komposisi lapisan dan pelapis (Brouwer, 2010).

Dalam analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan sinar-X karakteristik yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target sampel terkena sinar energi tinggi radiasi gamma, sinar-X. Apabila energi sinar tersebut lebih tinggi Dalam analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan

sinar-X karakteristik yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target sampel terkena sinar berenergi tinggi radiasi gamma, sinar-X. Apabila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Atom target mengalami kekosongan elektron, yang akan ada kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X. Sinar-X yang dihasilkan merupakan gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu yang berasal dari bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spektrum ini dikenal sebagai spektrum sinar-X karakteristik. Prinsip kerja *X-Ray Fluorescence* ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Prinsip kerja XRF (Kalnicky & Singhvi, 1995)

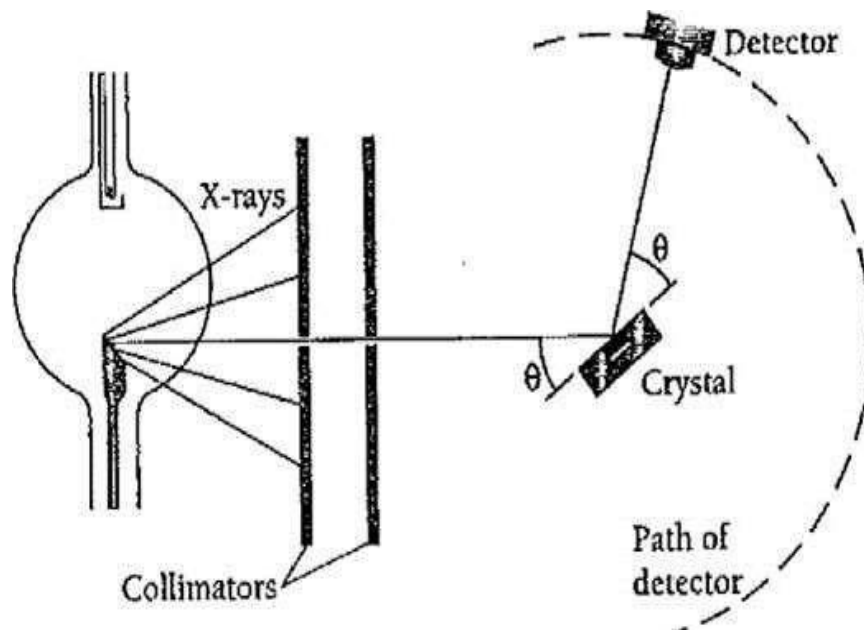
Pada **Gambar 2.1** (1) sebuah kuantum sinar-X menumbuk elektron kulit bagian dalam dalam atom (sampel). Kemudian elektron dilepaskan meninggalkan atom dalam keadaan tereksitasi. (2) Elektron kulit dalam yang hilang digantikan oleh elektron dari kulit terluar. Perbedaan energi antara kulit dalam dan kulit luar diseimbangkan dengan emisi foton (radiasi fluoresensi sinar-X). Panjang gelombang dan energi radiasi fluoresensi spesifik untuk setiap elemen. Instrumen XRF modern mampu menganalisis sampel padat, cair, dan film tipis untuk

komponen utama dan jejak (tingkat ppm). Analisisnya cepat dan biasanya preparasi sampel minimal atau tidak memerlukan waktu yang lama (Gupta, 2014).

2.5.2 X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan metode analisis yang digunakan untuk mengetahui mengidentifikasi fasa kristalin yang terbentuk, meliputi transformasi struktur fase, ukuran partikel bahan seperti keramik, komposit, polimer dan lain-lain. XRD juga digunakan sebagai metode analisis data untuk mengetahui jenis dan sifat mineral tertentu agar terlihat pola difraksi mineral yang dihasilkan (Oktamuliani *et al.*, 2015).

Secara umum, pola difraksi mengandung informasi tentang simetri susunan atom *space group*, penentuan struktur bahan kristal atau amorph, orientasi kristal serta pengukuran berbagai sifat bahan yaitu tegangan *strain*, vibrasi termal dan cacat kristal. Penyebab utama yang menghasilkan bentuk pola-pola difraksi yaitu ukuran dari setiap selnya, nomor atom dan posisi atom-atom di dalam sel (Cullity, 1978). Skema difraksi sinar-X ditunjukkan pada **Gambar 2.2**

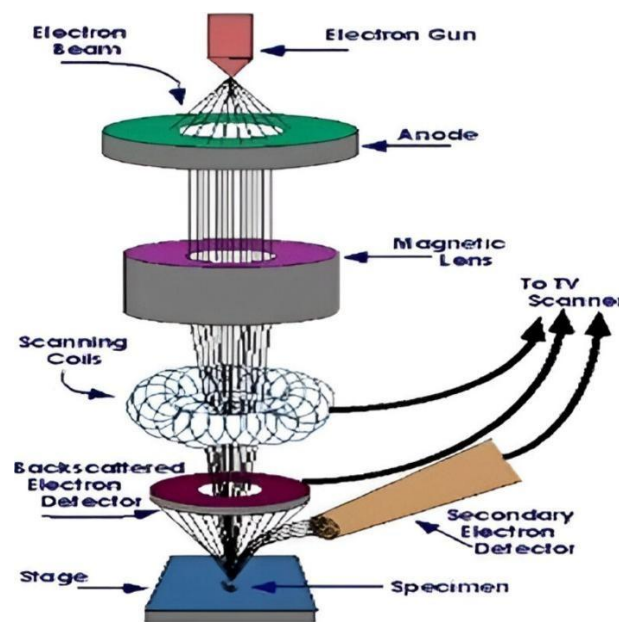


Gambar 2.2 Skema difraksi sinar -X (Cullity,1978)

Berdasarkan **Gambar 2.2** menunjukkan skema sinar-X yang menembak sampel padatan kristalin, kemudian mendifraksikan sinar-X ke segala arah. dapat dilihat bahwa sinar datang pertama yang menumbuk pada titik P lalu kemudian dihamburkan, begitu juga dengan sinar datang kedua yang menumbuk pada titik Q.

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

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan teknik karakterisasi material yang banyak digunakan untuk menganalisis struktur morfologi dan komposisi dari suatu bahan, sedangkan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) adalah teknik analitik yang digunakan untuk analisis elemen atau karakterisasi kimia pada hasil sampel. SEM-EDS dapat menentukan ukuran, bentuk, dan komposisi unsur partikel untuk mengidentifikasi partikel yang berbeda (Yingzi *et al.*, 2015). SEM dapat menganalisis bahan organik dan anorganik pada skala nanometer (nm) hingga mikrometer (μm). SEM memberikan gambar yang sangat tepat dari berbagai bahan pada pembesaran tinggi hingga 300.000x dan bahkan 1.000.000x (Mohammed & Abdullah, 2018). Skema SEM ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.

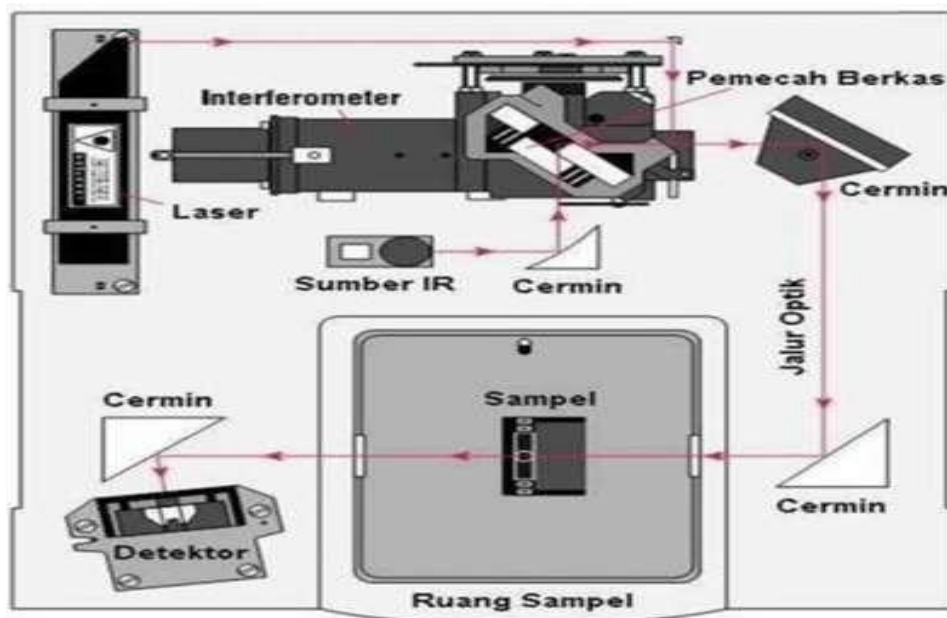


Gambar 2.3 Skema SEM (Mhadhbi, 1935)

Berdasarkan **Gambar 2.3** dapat diketahui prinsip kerja SEM adalah sumber elektron dari filamen yang terbuat dari tungsten memancarkan berkas elektron. Jika elektron tersebut berinteraksi dengan bahan (*specimen*) maka akan menghasilkan elektron sekunder dan *X-Ray* karakteristik. Akibat interaksi tersebut sebagian besar berkas elektron berhasil keluar kembali, elektron-elektron disebut sebagai *Backscattered Electrons* (BSE), sebagian kecil elektron masuk ke dalam bahan dalam bahan kemudian memindahkan sebagian besar energi pada elektron atom sehingga terpental ke luar permukaan bahan, yaitu *Secondary Electrons* (SE). Pembentukan elektron-elektron sekunder selalu diikuti proses munculnya *X-Ray* yang karakteristik untuk setiap filamen. Elektron sekunder hasil elektron dengan permukaan spesimen ditangkap oleh detektor *Secondary Electron* (SE) yang kemudian diolah dan diperkuat oleh amplifier dan kemudian divisualisasikan dalam monitor sinar katoda (Sujatno *et al.*, 2015).

2.5.3 *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR)

Fourier Transform Infra-Red (FTIR) merupakan teknik spektroskopi yang dapat mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat dalam sampel, baik organik maupun anorganik. Pada sistem optik FTIR dipakai radiasi LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) yang berguna sebagai radiasi yang diinterferensikan dengan radiasi *infra-red* agar sinyal radiasi *infra-red* diterima oleh detektor secara utuh dan lebih baik. Spektroskopi FTIR menggunakan sistem yang disebut dengan interferometer untuk mengumpulkan spektrum. Interferometer terdiri dari sumber radiasi, pemisah berkas, cermin, dan detektor. Skema alat karakterisasi FTIR ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Skema FTIR (Smith, 1975)

Prinsip kerja FTIR yakni energi *infra-red* diemisikan dari sumber bergerak melalui celah sempit untuk mengontrol jumlah energi yang akan diberikan ke sampel. Di sisi lain, berkas laser memasuki interferometer dan kemudian terjadi pengkodean sampel menghasilkan sinyal interferogram yang kemudian keluar dari interferogram. Berkas laser kemudian memasuki ruang sampel, berkas akan diteruskan atau dipantulkan oleh permukaan sampel tergantung dari energinya, yang mana merupakan karakteristik dari sampel. Berkas akhirnya sampai ke detektor (Griffiths, 1975).

2.5.4 Uji Proksimat Briket

Dalam analisis karakteristik bahan bakar padat seperti briket, parameter penting yang umum digunakan meliputi kadar air total *Moisture*, kadar air inheren *Inherent Moisture*, zat terbang *Volatile Matter*, kadar abu *Ash Content*, karbon tetap *Fixed Carbon*, serta nilai kalor *High Heating Value*. Masing-masing parameter tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan dasar sebagai berikut:

Uji kadar air yaitu dengan menentukan kadar air dalam briket. lalu Timbang briket dengan alat moisture sebelum dan setelah dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 2 jam. Kadar air total ditentukan dengan cara mengeringkan sampel pada suhu 110 °C selama 2 jam, kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Nilai kadar air total dihitung menggunakan **Persamaan (2.1)**, Nilai Inherent moisture menggunakan pada **persamaan (2.2)**, dan untuk volatil matter pada **persamaan (2.3)**.

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

$$IM = \frac{B - C}{B - A} \times 100\% \quad (2.2)$$

$$VM = \frac{B - C}{B - A} \times 100\% \quad (2.3)$$

Keterangan

A : Cawan Kosong

B : Cawan + Sampel Awal

C : Cawan + Sampel Setelah Pemanasan

Sampel dipanaskan dalam **furnace** pada suhu 650 °C selama 2 jam dalam keadaan terbuka. Nilai kadar abu dihitung menggunakan **Persamaan (2.4)**.

$$AC = \frac{C - A}{B - A} \times 100\% \quad (2.4)$$

Analisis nilai karbon tetap menggunakan **Persamaan (2.5)**.

$$FC = 100\% - (\text{Inherent Moisture} + \text{Volatile Matter} + \text{Ash Content}) \quad (2.5)$$

Analisis nilai kalor menggunakan **Persamaan (2.6)**.

$$HHV = (0,1905 \times VM) + (0,2521 \times FC) \quad (2.6)$$

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada 16 Desember 2024 sampai dengan 9 Februari 2025 di Laboratorium PP Non-Logam, Pusat Riset Teknologi Pertambangan – Badan Riset Inovasi Nasional (PRTP-BRIN) yang bertempat di Jl. Ir. Sutami KM. 15 Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: *Furnace* merk Iwata, Saringan ukuran 80 *Mesh* dan 100 *mesh* merk CBN, neraca analitik biobase, *bowl*, plastik *zipper* ukuran 100 gram, *tray*, desikator, sarung tangan, lumpang dan alu, spidol *snowman permanent* warna merah, Mesin Pres Hidrolik 12 Ton *Hydraulic Press Floor* 121 Krisbow 10143805, pemadat besi, Penjepit Logam, Cawan *Crucible*, Wadah Karbonisasi, oven sharp EO-35SL, *X-Ray Fluorescence* (XRF) Bruker S8 Tiger, *X-Ray Diffraction* (XRD) X'Pert³ Powder, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Invenio R 730, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) EDS Quattro S.

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah tandan kosong kelapa sawit, kotoran sapi, perekatnya menggunakan tepung tapioka dan air.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari bahan, pembuatanbriket, tandun kosong kelapa sawit dengan campuran kotoran sapi untuk menghasilkan briket yang ramah ramah lingkungan.

3.3.1 Menyiapkan Bahan

Prosedur menyiapkan bahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut: Menyiapkan bahan utama yaitu limbah tandan kosong kelapa sawit yang sudah dikeringkan dengan menjemur di matahari, kotoran sapi yang sudah kering, dan perekatnya tepung tapioca serta air.

3.3.2 Pembuatan Briket tandun kosong kelapa sawit dan kotoran sapi

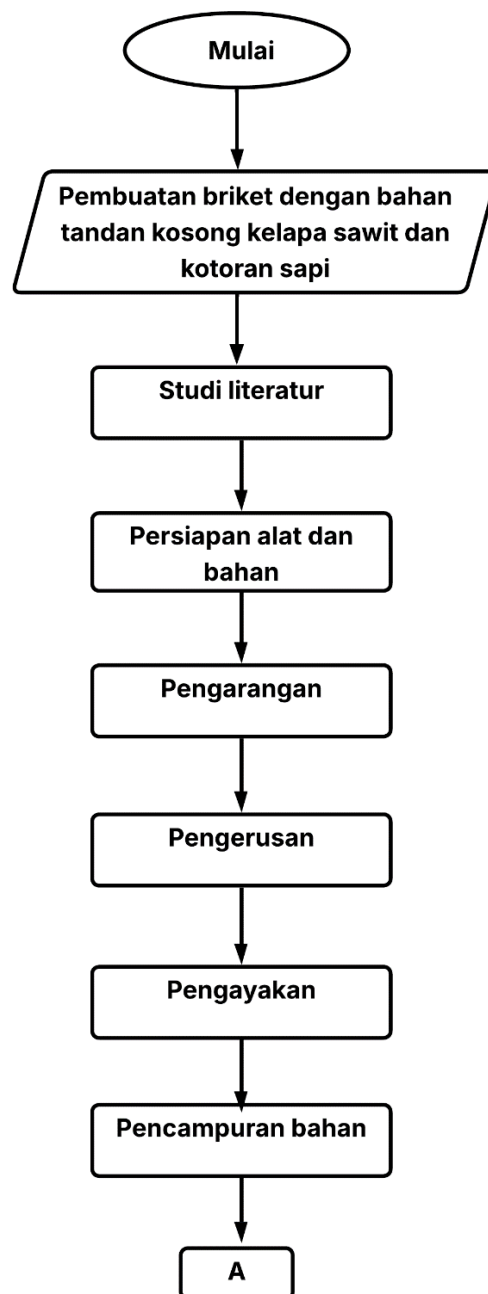
1. Bahan utama kotoran sapi dikeringkan melalui penjemuran, hingga kadar air mencapai $<15\%$.
2. Sedangkan tandan kelapa sawitnya di cacah terlebih dahulu hingga ukuran sekitar 1-3 cm, lalu dijemur kadar air mencapai $<15\%$. Tandan kelapa sawitnya kemudian dikarbonisasi dengan suhu $500-1.000\text{ }^{\circ}\text{C}$, Hancurkan arang Tandun kelapa sawit hingga berbentuk serbuk dalam ukuran partikel $<1\text{ mm}$.
3. Campurkan serbuk arang Tandun kelapa sawit dengan kotoran sapi dalam perbandingan 70:30.
4. Tambahkan air secukupnya untuk mendapatkan adonan yang dapat dibentuk dan tambahkan perekat, lalu Masukkan campuran ke dalam cetakan briket dan tekan menggunakan alat press hingga briket memiliki kepadatan tinggi untuk meningkatkan daya tahan bakar.
5. Setelah itu keluarkan dan Keringkan menggunakan oven pengering suhu $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk hasil lebih cepat dan merata. Pastikan kadar air akhir briket $<10\%$ untuk efisiensi pembakaran. dan Biobriket yang dihasilkan kemudian dilakukan uji karakteristik biobriket.

3.3.3 Pengujian pada briket

1. Uji kadar air yaitu dengan menentukan kadar air dalam briket. lalu Timbang briket dengan alat mouisture sebelum dan setelah dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C-110 °C selama 2 jam.
2. Uji Daya Tekan yaitu Mengukur kekuatan briket terhadap tekanan atau tumbukan terhadap briket. Gunakan alat uji tekan press setelah itu berikan tekanan hingga briket retak atau pecah., lalu Catat gaya tekan maksimum.
3. Uji Abu *Ash Content* Mengukur jumlah residu atau ampas dari abu yang tersisa setelah pembakaran, dengan membakar briket hingga habis pada suhu tinggi di furnace 650 °C, lalu menimbang sisa abu dan hitung persentasenya terhadap berat awal.
4. Uji Lama Pembakaran yaitu dengan menentukan durasi pembakaran briket, lalu Nyalakan briket dan ukur waktu yang dibutuhkan hingga briket habis terbakar.

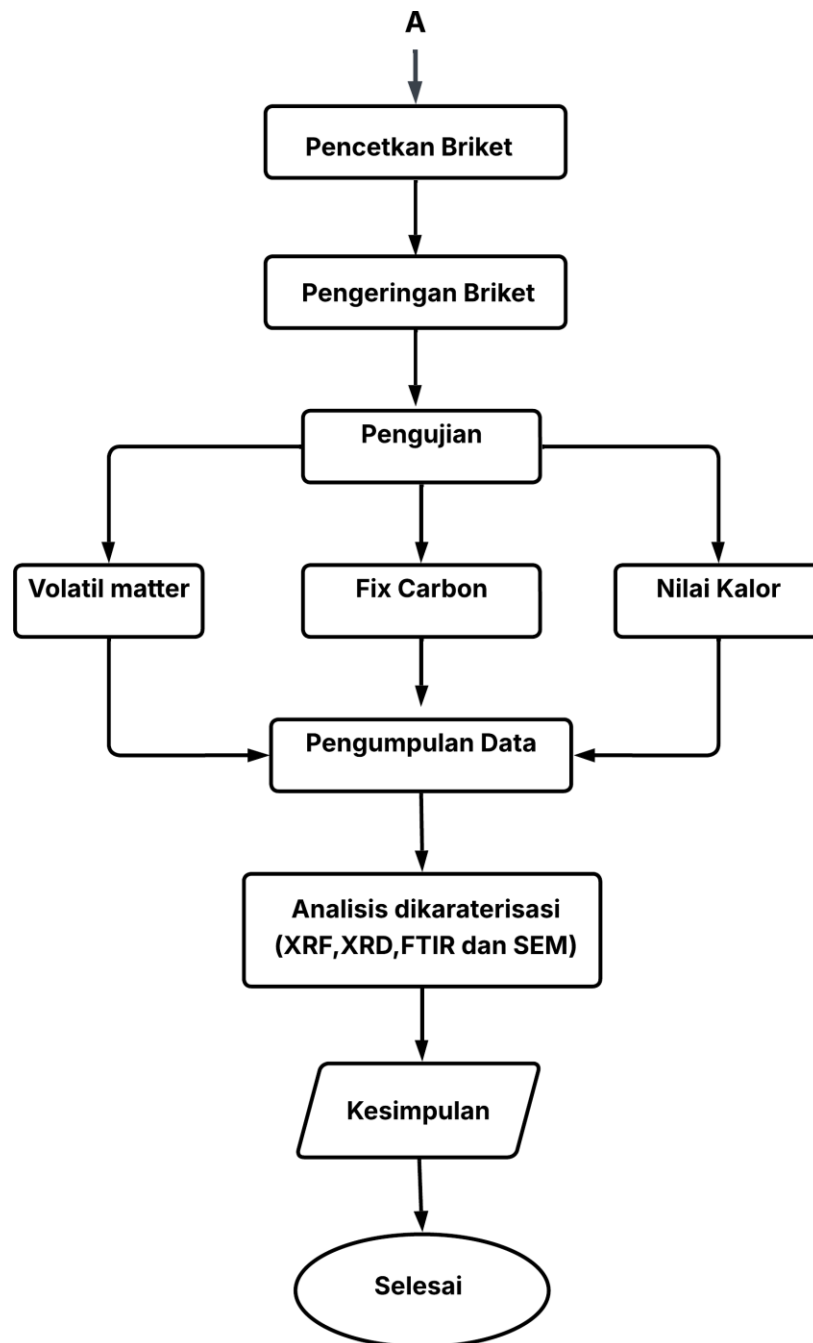
3.4 Diagram Alir

Tahapan yang dilakukan pada diagram alir penelitian mencakup tiga bagian utama, yaitu: 3.1 tahap preparasi dan karakterisasi bahan, 3.2 tahap pembuatan briket, dan 3.3 tahap pengujian karakteristik briket. Pada tahap preparasi, bahan baku berupa tandan kosong kelapa sawit (Tkks) dan kotoran sapi dipersiapkan melalui proses pengeringan, pengecilan ukuran, serta karbonisasi pada suhu tertentu khusus untuk Tkks. Tahap ini dilakukan untuk memastikan homogenitas bahan serta menurunkan kadar air sebelum proses pencampuran. Karakterisasi awal bahan dilakukan menggunakan uji proksimat dan analisis pendukung lain guna mengetahui sifat dasar masing-masing bahan sebagai acuan formulasi briket. Dibawah ini hasil diagram pada **Gambar 3.1, 3.2 dan 3.3.**

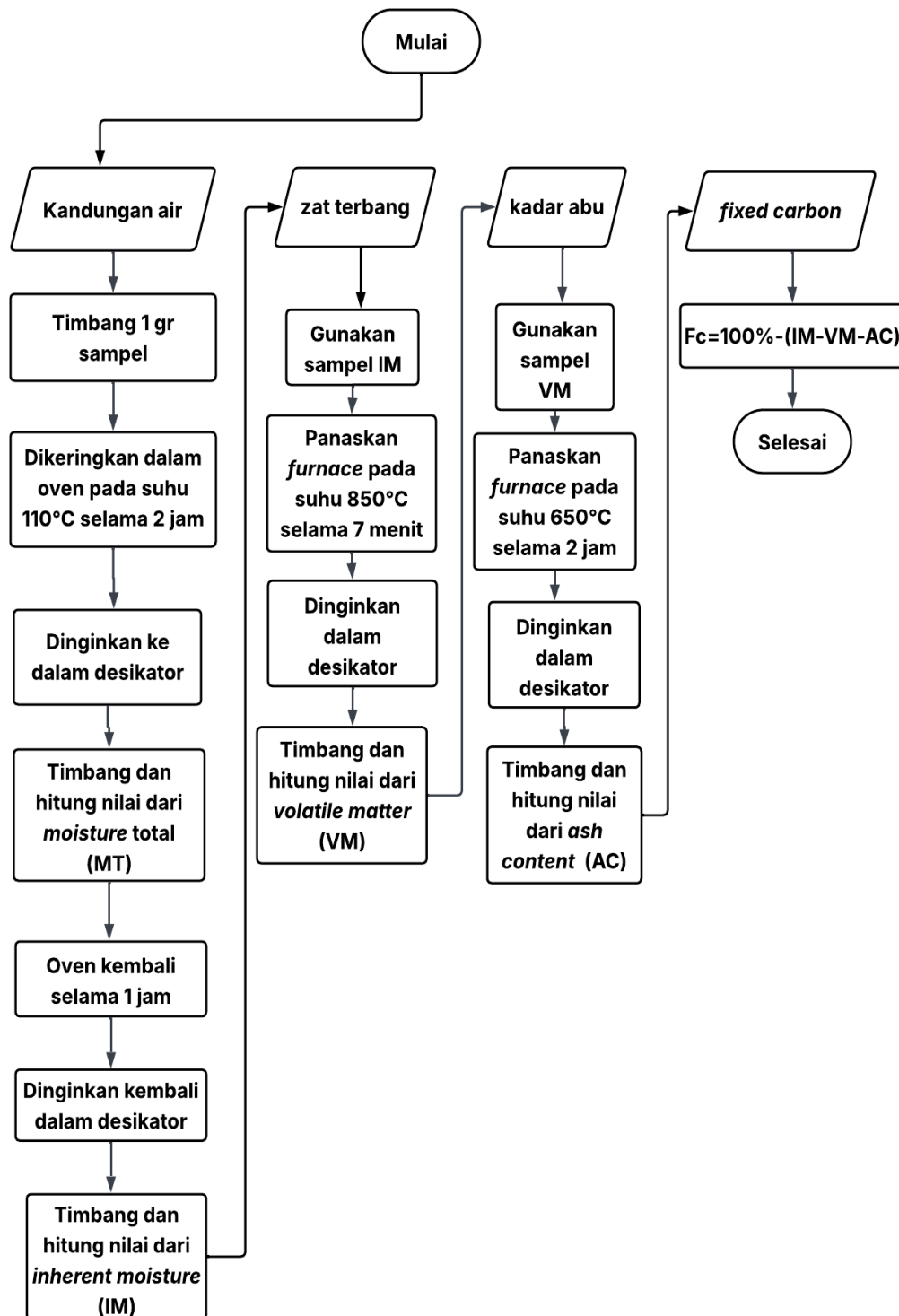


Gambar 3.1 Diagram alir preparasi dan karakterisasi bahan.

2) Diagram Alir Karakterisasi Bahan Baku

**Gambar 3.2** Diagram alir karakterisasi bahan baku

4) Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.5 Bahan Baku Tkks dan Ks

Untuk mengetahui kualitas briket yang baik perlu memperhitungkan beberapa aspek yakni dengan melakukan pengujian yang meliputi kualitas yang baik pada bahan baku. Penelitian ini menggunakan beberapa variasi komposisi bahan briket yang terdiri dari arang, kotoran sapi, dan perekat tapioka. Variasi komposisi briket pada penelitian ini terdiri dari lima jenis campuran, yaitu K100 %, K90 %, K80 %, K70 %, dan K60 %. Setiap campuran memiliki perbedaan persentase Tkks dan kotoran sapi (Ks). Pada campuran K1%, briket dibuat dari 100% Tkks tanpa tambahan Ks. Pada campuran berikutnya, persentase Tkks dikurangi secara bertahap menjadi 90%, 80%, 70%, hingga 60%, sedangkan Ks ditambahkan masing-masing sebesar 10%, 20%, 30%, dan 40%. Jumlah perekat tapioka tetap dipertahankan pada kisaran 7–10% agar adonan mudah dicetak dan menghasilkan briket yang padat.

Perbedaan komposisi ini digunakan untuk melihat pengaruh perubahan bahan terhadap kualitas briket. Tkks memiliki kandungan karbon tetap yang tinggi sehingga dapat meningkatkan nilai kalor, sedangkan kotoran sapi cenderung memiliki kandungan abu dan mineral yang lebih tinggi sehingga dapat memengaruhi stabilitas pembakaran. Oleh karena itu, penambahan Ks pada variasi K2% hingga K5% diperkirakan dapat meningkatkan kadar abu dan menurunkan nilai kalor dibandingkan campuran K100 % yang seluruhnya berasal dari Tkks.

Secara keseluruhan, variasi komposisi pada tabel ini menjadi dasar untuk menilai bagaimana perbedaan jumlah Tkks, Ks, dan perekat memengaruhi hasil uji proksimat serta pembakaran setiap jenis briket. Dapat dilihat pada **Tabel 3.1** dibawah ini.

Tabel 3.1 Komposisi briket bahan baku tkks dan ks

Nama bahan	Briket 100%	<i>Briket</i> 90%	<i>Briket</i> 80%	<i>Briket</i> 70%	<i>Briket</i> 60%
Tkks	100	100	100	100	100
Ks	-	10	20	30	40
Tapioca (perekat)	10	8	8	7	7

Tkks cocok digunakan sebagai bahan baku briket karena memiliki kandungan karbon tetap dan zat menguap yang tinggi (Chang, 2014). Penggunaan kotoran hewan, termasuk kotoran sapi, sebagai bahan baku briket sering menghasilkan kadar abu yang lebih tinggi dibandingkan biomassa tanaman. Hal ini disebabkan oleh kandungan mineral anorganik yang terdapat pada kotoran hewan, seperti kalsium, magnesium, dan silikat, yang tidak terbakar selama proses pembakaran. Akibatnya, briket berbahan kotoran sapi biasanya menghasilkan residu abu lebih besar dan dapat memengaruhi nilai kalor. Namun, di sisi lain kotoran sapi tetap dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif karena mudah ditemukan, murah, dan memiliki potensi energi yang cukup baik bila dicampur dengan biomassa lain seperti tkks (Adegoke *et.al.*, 2021).

V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Hasil analisis XRD menunjukkan adanya fasa kristalin utama berupa SiO_2 , K_2O , dan CaO pada briket. Ketiga mineral ini mempengaruhi kestabilan briket saat proses termal.
2. Analisis XRF memperlihatkan bahwa kandungan K_2O cukup tinggi pada abu Tkks, sedangkan abu kotoran sapi memiliki komposisi CaO dan unsur minor lain yang relatif lebih besar. Perbedaan komposisi ini berpengaruh terhadap sifat abu dan potensi pemanfaatannya.
3. Hasil karakterisasi SEM-EDS menunjukkan bahwa unsur dominan pada briket Tkks dan Ks adalah karbon dan oksigen, dengan kontribusi besar dari unsur mineral seperti *kalium, kalsium, silikon, magnesium, natrium, aluminium, fosfor, dan klorin*. Hal ini menegaskan keberadaan senyawa oksida utama seperti SiO_2 , K_2O , dan CaO pada sampel.
4. Secara keseluruhan, Tkks berpotensi lebih besar menimbulkan kerak dan lapisan abu yang menempel pada dinding tungku atau pipa saat pembakaran. kandungan *kalium* yang tinggi, sedangkan abu kotoran sapi cenderung lebih stabil karena dominasi kalsium. Namun, kedua jenis biomassa memiliki potensi sebagai bahan bakar alternatif sekaligus sumber hara mineral.

5.2 Saran

1. Penelitian juga dapat dikembangkan ke arah pemanfaatan residu abu hasil pembakaran sebagai bahan tambahan pupuk atau material pendukung pertanian

mengingat kandungan mineral seperti kalium, kalsium, dan silika yang cukup tinggi.

2. Kandungan mineral kalium yang tinggi pada abu Tkks dapat dimanfaatkan lebih lanjut sebagai bahan baku pupuk, sehingga penelitian terkait pemanfaatan residu abu untuk aplikasi pertanian sangat disarankan.
3. Disarankan untuk melakukan optimasi proses pembuatan briket tekanan, binder, dan suhu karbonisasi agar menghasilkan produk dengan kekuatan mekanik lebih baik dan kandungan abu yang lebih terkendali.

DAFTAR PUSTAKA

- Ablah, N., & Gerhauser, H. (2023). *Bio-oil derived from empty fruit bunches. Fuel*, 87(12), 2606-2613.
- Abdullah, N., & Sulaiman, F. (2024). Recent Developments in Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) Fiber Composite. *Journal of Natural Fibers*, 21(1), 2309915.
- Abdul Khalil, H.P.S., Saurabh, C.K., Tye, Y.Y., Lai, T.K., Easa, A.M., Rosamah, E., Dungani, R., & Fazita, M.R.N. (2019). "Characterization of Oil Palm Empty Fruit Bunch (EFB) Biochar Activated with Potassium Hydroxide under Different Pyrolysis Temperature". *Waste and Biomass Valorization*, 10(12), 3693-3706.
- Abnisa, F., Daud, W. M. A. W., Husin, W. N. W., & Sahu, J. N. (2021). Utilization possibilities of palm shell as a source of biomass energy in Malaysia by producing bio-oil in pyrolysis process. *Biomass and Bioenergy*, 35(5), 1863-1872.
- Adegoke, A., Zainuddin, M. F., & Al-Gheethi, A. A. (2021). *Fuel properties of biomass briquettes produced from animal manure*. *Environmental Technology & Innovation*, 22, 101–462.
- Adeleke, A. A., Odusote, J. K., & Jekayinfa, S. O. (2021). Ash analyses of bio-coal briquettes produced using biomass and low-grade coal blends. *SN Applied Sciences*, 3(1), 63.
- Aničić, B. (tahun tidak disebut). *PhD Thesis – Agglomeration Mechanisms during Fluidized Bed Combustion of Biomass Fuels*. Menggunakan model abu dan studi eutektik serta garam alkali (KCl, K₂SO₄).
- Bakare, B. F., Shabangu, S., Mbaya, R. K. K., & Nkomo, S. L. (2023). Extraction and characterization of silica from empty palm fruit bunch (EPFB) ash. *Processes*, 11(6), 1684.
- Britannica. (2021). Alkali: Chemical compound, properties & uses. *Encyclopedia Britannica*. Retrieved from <https://www.britannica.com/science/alkali>.

- Bryers, R. W. (2023). Fireside slagging, fouling, and high-temperature corrosion of heat-transfer surface due to impurities in steam-raising fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 22(1), 29–120.
- Budi, E. (2011). Tinjauan Proses Pembentukan dan Penggunaan Arang TempurungKelapa Sebagai Bahan Bakar. *Jurnal Penelitian Sain, Volume 14 Nomer 4(B)*, 25-29.
- Budiman, S., Sukrido. & Harliana, A. 2011. Pembuatan Biobriket Dari Campuran Bungkil Biji Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.) Dengan Sekam Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 29 (4) : 45-52.
- Burachevskaya, M., Gasperese, A., Rusu, A., Abolghasem, R., Mushtaq, F., & Guo, M. (2023). *Fabrication of biochar derived from different types of biomass and their characterization (SEM, XRF, XRD, FTIR)*. Scientific Reports, 13, 20431.
- Chang, S. H. (2014). *An overview of empty fruit bunch from oil palm as feedstock for renewable energy*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 39, 441–454.
- Chen, W., Kuo, P. C., & Hsu, C. (2020). Impact of ash-rich biomass on char yield and combustion performance. *Fuel*, 223, 398–406.
- Chin, Y. S., Aris, M. S., & Al-Kayiem, H. H. (2020). Experimental investigations on the characteristics of briquettes made from palm kernel shell and coconut coir. *Advanced Materials Research*, 683, 246–249.
- Chowdhury, Z. Z., Hamid, S. B. A., et al. (2015). Characterization of Fresh Cattle Wastes Using Proximate, Microbial and Spectroscopic Principles. *International Journal of Environmental Science and Development*, 6(10), 735-740.
- Cullity, B. D., & Stock, S. R. (2023). *Elements of X-ray Diffraction*. 3rd ed. Prentice Hall.
- D. (2024). Pembuatan Briket dengan Variasi Ukuran Partikel Cangkang Kelapa Sawit (CKS) dan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). *Majamecha*, 6(1), 169-179.
- Demirbas, A. (2013). Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30(2), 219–230.
- Dungani, R., Karina, M., Subyakto, Sulaeman, A., Hermawan, D., & Yusuf, S. (2015). "X-Ray Diffraction Patterns of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fibers with Varying Crystallinity". *Advanced Materials Research*, 1087, 321-325.

- El-Nagar, D., & Mohamed, R. (2019). *Characterization and impact of cattle manure particle size on physical properties of sandy soils*. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 7, 180-194.
- Fisher, et al. (2019). X-ray diffraction analysis for mineral identification in geological materials. *Journal of Applied Crystallography*, 52(2), 234–245.
- Furuvik, N. C. I. S., Wang, L., Jaiswal, R., Thapa, R., Eikeland, M. S., & Moldestad, B. M. E. (2022). *Experimental study and SEM-EDS analyses of agglomerates from gasification of biomass in fluidized beds*. *Energy*, 252, 124034.
- Garcia, M. L., Oliveira, M. R., Silva, T. N., & Castro, A. C. M. 2021. Performance of mortars with PET. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. Vol. 23. No. 2. Hal: 699-706.
- Grammelis, P., N. Margaritis, P. Dallas, D. Rakopoulos, dan G. Mavrias. (2020). Physicochemical and mineralogical characterization of biomass ash from different power plants in the Upper Rhine Region. *Scientific Reports*, 10, 9147.
- Hindawi, Z., et al. (2015). Morphology, anatomical, and nanostructure properties of oil palm empty fruit bunch fibers. *Journal of Applied Chemistry*, Article ID 750818.
- Howard, C. J., et al. (2021). Thermal expansion of rutile and anatase. *Acta Crystallographica*, B47, 462–468.
- Huang, K., Chong, J., Guo, Z., & Wu, Z. (2023). *Soil acidification and salinity: The importance of biochar in mitigating salinity stress*. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1123451.
- Ikumapayi, O. M., & Akinlabi, E. T. (2022). Composition, characteristics and socioeconomic benefits of palm kernel shell exploitation: An overview. *Journal of Environmental Science and Technology*, 11(5), 220–232.
- Jamilatun, S., Setyawan, M., Salamah, S., Purnama, D. A. A., & Putri, R. U. M. (2015). Pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa dengan aktivasi sebelum dan sesudah pirolisis. *Prosiding Semnastek*.
- Jenkin, R., Gould, R. W., & Dale, G. (1995). *Quantitative X-Ray Spectrometry, 2nd Edition*. Marcel Dekker. New York.
- JSAL. (2021). *Uji Kualitas Briket Kotoran Sapi pada Variasi Kadar Perekat Tapioka*. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, Universitas Brawijaya.
- Junianti, F., Diana, S., Ramdhani, A., Lestari, R. I., Assagaf, I. P. A., & Ranggina,

- Johnson, R., Brown, K., & Davis, L. (2024). Unlocking the power of energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) with SEM. *Materials Characterization Today*, 8(2), 112-128.
- Kaliyan, N., & Morey, R. V. (2019). Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*, 33(3), 337–359.
- Kebede, B., Getahun, A., Bayu, M., & Abebe, T. (2022). Combustion characteristics of briquette fuel produced from biomass residues and binding materials. *Journal of Energy*, 2022, 4222205.
- Kalnicky, D. J. & Singhvi, R. 2001. Field portable XRF analysis of environmental samples. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 83. No. 3 Hal: 93-122.
- Kim, M., & Park, J. (2018). Characterization of organic matter and mineral content in cattle manure for use as soil amendment. *Soil Science & Plant Nutrition*, 64(2), 102-110.
- Khan, M. A., Ahmad, N., & Patel, R. (2025). Evaluating coal-Jatropha curcas composite briquettes as sustainable fuel alternatives. *International Journal of Energy Research*, 2025, 8847392.
- Kristianti, E. (2009). Pengaruh penambahan clay dan limestone dalam pemanfaatan sebagai bahan perekat terhadap kualitas biobriket limbah kulit buah jengkol. *Tesis S2, Universitas Gadjah Mada*.
- Kujawska, J., Chrzanowski, Ł., & Łukowski, A. (2022). *Content of Heavy Metals in Various Biochar and Related Materials: Implications for Their Use as Soil Amendments*. *Journal of Ecological Engineering*, 24(3), 240–249.
- Laman, F., Abdullah, N., & Gerhauser, H. (2021). *Characterisation of Oil Palm Empty Fruit Bunches for Fuel Application*.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). *Biochar for environmental management: Science, technology and implementation* (2nd ed.). Routledge.
- Li, X., et al. (2023). Phase transformation behavior of biomass ash minerals at elevated temperatures studied by high-temperature X-ray diffraction. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 148(8), 3421–3435.
- Lindberg, D., Backman, R., & Chartrand, P. (2019). Hygroscopic properties of calcium chloride and its role on cold-end corrosion in biomass combustion. *Energy & Fuels*, 33(12), 12781-12792.
- Lisowski, A., & Świątochowski, A. (2022). Mechanical durability of pellets and briquettes made from a miscanthus mixture without and with the separation of

- long particles. *Polish Society of Agricultural Engineering Proceedings*, 2(136), 267–276.
- Mahdi, M. A., Yusoff, M. M., Kadhim, A. H., et al. (2021). Synthesis and characterization of ZnO-SiO₂ composite using oil palm empty fruit bunch as a potential silica source. *Materials*, 14(4), 976.
- Mani, S., Tabil, L. G., & Sokhansanj, S. (2020). Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. *Biomass and Bioenergy*, 30(7), 648–654.
- Martinez, L., & Davis, S. (2024). Energy-dispersive spectroscopy - An overview. *ScienceDirect Topics in Materials Science*, 15(4), 89-102.
- Mishra, R. K., & Mohanty, K. (2021). Effect of ash composition on the thermal decomposition and char formation behavior of biomass. *Renewable Energy*, 164, 1253–1264.
- Mistar, E. M., Abdullah, M., & Ahmad, F. (2024). Physicochemical Properties of Oil Palm Empty Fruit Bunch Ash for Potential Use as a Potassium Source. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 36(6), 102691.
- Mubarak, N.M., Kundu, A., Sahu, J.N., Abdullah, E.C., & Jayakumar, N.S. (2021). "Physiochemical Properties of Biochar and Activated Carbon from Biomass Residue: *Influence of Process Conditions to Adsorbent Properties*". *ACS Omega*, 6(20), 13224-13239.
- Mustofa, G. A. (2022). *Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai Bahan Baku Briket Biomassa*. Skripsi, Politeknik Negeri Lampung.
- Mohammed, A. & Abdullah, A. 2018. Scanning electron microscopy (SEM): A review. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics—HERVEX, Băile Govora, Romania*. Vol. 2018. Hal: 77-85.
- Mohd Hanafiah, M., Abd Mutalib, A.H., & Miard, P. (2021). "Oil palm empty fruit bunch ash as a potassium source in the synthesis of NPK fertilizer". *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 749, 012060.
- M. B., & Saputra, Y. (2024). Inovasi Teknologi Briket Solusi Cerdas Untuk Pengelolaan Limbah Dan Energi Berkelanjutan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bangsa*, 2(7), 2774-2780.
- Nasution, A., Harahap, M. B., et al. (2024). Bioplastic Production from Oil Palm Empty Fruit Bunch. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1122, 012074.

- Ndiema, C. K., Manga, V. N., & Bridgwater, A. V. (2020). Density and durability of sawdust-maize cob composite briquettes. *Biomass and Bioenergy*, 23(6), 659–663.
- Nelson, E. S., Odesola, I. F., & Olugbade, T. O. (2023). *Extraction and Characterization of Silica from Empty Palm Fruit Bunch Ash*. *Processes*, 11(11), 3310.
- Neunzerling, K., Biederman, L.A., & Geresche, A. (2022). "Surface functional groups and degree of carbonization of selected chars from different processes and feedstock". *PLOS ONE*, 17(11), e0277365.
- Nisticò, R. 2020. Polyethylene Terephthalate (PET) in the packaging industry. *Polymer Testing*. Vol. 90. Hal: 1-18.
- Nielsen, H. P., Frandsen, F. J., Dam-Johansen, K., & Baxter, L. L. (2021). The implications of chlorine-associated corrosion on the operation of biomass-fired boilers. *Progress in Energy and Combustion Science*, 26(3), 283-298.
- Nurdiansyah, N., Setyani, M., Sespira, D., Anggiriani, F., Aqbal, J., Erlangga,
- Nurdiawati, A., Novianti, S., Zaini, I. N., Sumida, H., & Yoshikawa, K. (2015). Production of Low-Potassium Solid Fuel from Empty Fruit Bunches by Employing Hydrothermal Treatment and Water Washing Process. *Journal of the Japan Institute of Energy*, 94(8), 775-780.
- Obernberger, I., Brunner, T., & Bärnthaler, G. (2021). Influence of mineral matter on biomass ash behavior during combustion. *Fuel Processing Technology*, 54(1–3), 47–78.
- Oktamuliani, S., Samsidar, M. Z., & Nehru. 2015. Identifikasi mineral pada batuan granit di geopark merangin provinsi jambi menggunakan x-ray diffraction (XRD) dan scanning electron microscopy. *Journal of Physics* Vol. 1. No. 1. Hal: 12-17.
- Omar, R., Idris, A., Yunus, R., Khalid, K., & Aida Isma, M. I. (2023). Characterization of empty fruit bunch for microwave-assisted pyrolysis. *Fuel*, 90(4), 1536-1544.
- Omolayo, I., Akinlabi, S. A., & Akinlabi, E. T. (2021). Analysis of the microstructure and elemental composition of palm kernel shell using SEM-EDS and TEM-EDXA. *Composite Structures*, 192, 156–167.
- Peng, et al. (2020). Phase transformation of potassium silicate during desilication of silica-containing minerals. *Materials Chemistry and Physics*, 245, 122–135.

- Peng, J. H., Bi, X. T., & Lim, C. J. (2021). Flame spread of randomly packed biomass particles. *Proceedings of the Combustion Institute*, 37(2), 2921–2928.
- Pronobis, M. (2007). Slagging and fouling tendencies of biomass ashes from different sources. *Fuel Processing Technology*, 88(7), 657–664.
- Prakash, N., & Karunanithi. (2008). Kinetic modeling in biomass pyrolysis review. *Journal of Applied Science Research*.
- Purwanta. (2018). *Kajian Pembuatan Briket Limbah Ternak Sapi (BILTES) dengan Perekat Tepung Tapioka*. Politeknik Pembangunan Pertanian Manokwari.
- Radityaningrum, A. D., & Harnawan, B. Y. (2022). Karakteristik Biobriket dari Kotoran Sapi dengan Kulit Durian (Characteristics of Biobriquette from Cow Manure with Durian Bark). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 23(2).
- Safitry, R. Z., Marlina, E. T., & Harlia, E. (2024). Identifikasi Bakteri Dan Kapang Pada Proses Pre-Treatment Feses Sapi Potong Dan Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Ziraa'ah Majalah Ilmiah Pertanian*, 49(3), 491- 503.
- Samuelsson, R., Thyrel, M., Sjöström, M., & Lestander, T. A. (2022). Effect of biomaterial characteristics on pelletizing properties and biofuel pellet quality. *Biomass and Bioenergy*, 33(2), 264–271
- Science.gov. (2024). Calcium oxide participation in multicomponent silicate phase formation. Retrieved from <https://www.science.gov>.
- Shankar, T., Mohan, N., & Babu, P. R. (2020). Performance analysis of biomass briquettes. *International Journal of Renewable Energy Research*, 4(2), 331–337.
- Shukla, A., Kumar, A., & Jain, S. (2023). Scientific characterization methods for better utilization of cattle dung and urine: a concise review. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 85275-85297.
- Shukla, et al. (2022). X-ray diffraction as a non-destructive technique for crystalline phase identification and structural characterization. *Advanced Materials Characterization*, 18(3), 456–471.
- Sihombing, A. P., Yuzuar, A., & Agustin, G. 2018. Pengaruh penambahan arang batok kelapa terhadap kuat tekan mortar. *Jurnal Inersia*. Vol.10. No.1. Hal: 31-38.
- Siki, E. B., & TB, O. R. N. (2020). Pengaruh perbedaan tekanan pengepresan terhadap kualitas briket arang kotoran sapi. *JAS*, 5(3), 41-43.

- Singh, A., & Kumar, V. (2016). Morphological and chemo-thermal changes of oven-heat treated OPEFB fibers. *Journal of Indian Academy of Wood Science*, 13(2), 145-158.
- Smith, A., Johnson, B., & Lee, C. (2020). Chemical composition and nutrient value of cattle manure compost. *Journal of Environmental Science and Agriculture*, 15(4), 235-245.
- Smith, D., & Williams, P. (2023). Energy-dispersive X-ray spectroscopy: Principles and applications. *Analytical Chemistry Reviews*, 45(7), 1892-1908.
- Stelte, W., Holm, J. K., Sanadi, A. R., Barsberg, S., Ahrenfeldt, J., & Henriksen, U. B. (2016). A study of bonding and failure mechanisms in fuel pellets from different biomass resources. *Biomass and Bioenergy*, 35(2), 910–918.
- Stauber-Alfredsson, O. (2018). Ash deposition and corrosion during biomass combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, 68, 103–138.
- Stelte, W., Holm, J. K., Sanadi, A. R., Barsberg, S., Ahrenfeldt, J., & Henriksen, U. B. (2024). Fuel characterization of biomass chars. *Biomass and Bioenergy*, 35(8), 2418–2426.
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana & Dimyati, A. 2015. Studi scanning electron microscopy (SEM) untuk karakterisasi proses oksidasi paduan zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir*. Vol 9. No 2. Hal: 44-50.
- Tiryaki, B., Yagmura, E., Banford, A., & Aktas, Z. (2014). Comparison of activated carbon produced from natural biomass and equivalent chemical compositions. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 105, 276–283.
- Tjokrodinuljo D. E. (2019). *Outlook Energi Indonesia 2014*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta.
- Thorsson, A. V., Bhattacharya, S., Zhang, M., & Shrestha, D. S. (2012). Influence of fuel characteristics on biomass suspension flame properties and stability. *Fuel Processing Technology*, 93(1), 31–40.
- Tran, N., Nguyen, T., Black, J., & Ngo, T. (2024). *High-temperature stability of ambient-cured one-part alkali-activated materials incorporating graphene for thermal energy storage*. arXiv.
- Triono, A. 2006. Karakteristik briket arang dari campuran serbuk gergajian kayu Afrika (*Maesopsis eminii* Engi) dan sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen) dengan penambahan tempurung kelapa (*Cocos nucifera* L.). Skripsi Bogor: *Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor*.
- Trubetskaya, A., Rappelt, V., Grønvold, A., & Skreiberg, Ø. (2022). Reactivity effects of inorganic content in biomass. *Energies*, 15(9), 3137.

- Trubetskaya, A., et al. (2017). One way of representing the size and shape of biomass particles suitable for combustion modelling. *Fuel*, 206, 675–683.
- Turn, S. Q., Jenkins, B. M., Jacobson, J. C., Blevins, L. G., & Houck, J. E. (2022). Elemental characterization of particulate matter emitted from biomass burning: Wind tunnel derived source profiles for herbaceous and wood fuels. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D12).
- Vamvuka, D., Zografos, D., & Alevizos, G. (2019). Combustion behaviour of biomass fuels and their blends with lignite. *Thermochimica Acta*, 420(1–2), 193–198.
- Vassilev, S. V., et al. (2010). An overview of the composition characterisation of biomass ashes. *Fuel*, 89(5), 913–933.
- Vassilev, S. V., et al. (2010). *An overview of the chemical composition of biomass*. *Fuel*, 89(5), 913–933.
- Vassilev, S.V., Baxter, D., Andersen, L.K., & Vassileva, C.G. (2008). Characterization of biomass ashes and their potential applications. *Fuel*, 87(7), 913–933.
- Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., & Vassileva, C. G. (2022). An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, 89(5), 913–933.
- Wang, et al. (2021). Fusibility characteristics of biomass ash: Investigation of mineral phase transformation at elevated temperatures. *Fuel Processing Technology*, 218, 106845.
- West, A. R. (1999). *Solid State Chemistry and its Applications*. 2nd ed. John Wiley & Sons.
- Widodo, A. A. (2016). Pengaruh Tekanan Terhadap Karakteristik Briket Bioarang dari Sampah Kebun Campuran dan Kulit Kacang dengan Tambahan Minyak Jelantah (*Doctoral dissertation, UII*).
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., & Zheng, C. (2020). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, 86(12–13), 1781–1788.
- Yao, X., Xu, K., & Liang, Y. (2017). *Comparative Analysis of the Physical and Chemical Properties of Different Biomass Ashes*. *Bio Resources*, 12(2), 3222–3235. Mencatat bahwa lapisan leleh pada permukaan abu banyak mengandung KCl, menyebabkan slagging.
- Zhang, X., Q. Chen, R. Bradford, V. Sharifi, dan J. Swithenbank. (2020). The production and application of carbon nanomaterials from high alkali silicate herbaceous biomass. *Scientific Reports*, 10, 1160