

**PEMBUATAN KOKAS DARI BATUBARA JENIS *BITUMINOUS* DAN
COALITE DENGAN VARIASI TEMPERATUR KARBONISASI**

(Skripsi)

Oleh

**YESHA ARGETA
NPM 2117041063**



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

ABSTRAK

PEMBUATAN KOKAS DARI BATUBARA JENIS *BITUMINOUS* DAN *COALITE* DENGAN VARIASI TEMPERATUR KARBONISASI

Oleh

YESHA ARGETA

Telah dilakukan penelitian untuk mempelajari proses pembuatan kokas dari batubara jenis bituminous dan coalite melalui variasi temperatur karbonisasi pada 650°C, 700°C, 750°C, 800°C, dan 850°C. Proses karbonisasi dilakukan tanpa udara untuk mengurangi zat terbang serta meningkatkan kandungan karbon tetap, sehingga diperoleh kokas berkualitas lebih baik. Analisis proksimat digunakan untuk menentukan kadar air, zat terbang, kadar abu, karbon tetap, dan nilai kalor. Selain itu, karakterisasi dilakukan dengan X-Ray Fluorescence (XRF), X-Ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), dan Scanning Electron Microscopy dengan Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDS) untuk mengetahui komposisi unsur, struktur kristal, gugus fungsi, dan morfologi permukaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa batubara bituminous memiliki fixed carbon sebesar 74,29% dengan nilai kalor 5115 kkal/kg, sedangkan coalite memiliki fixed carbon 76,53% namun nilai kalor lebih rendah yaitu 5006 kkal/kg. Setelah karbonisasi, kandungan karbon tetap meningkat signifikan dengan nilai tertinggi pada suhu 850°C. XRD menunjukkan bahwa bituminous menghasilkan fase kristalin lebih jelas, sedangkan coalite lebih amorf. FTIR memperlihatkan penurunan gugus hidroksil dan alifatik seiring peningkatan suhu, sedangkan SEM menunjukkan bahwa kokas dengan fixed carbon tinggi memiliki pori lebih rapat dan distribusi mineral logam lebih merata. Secara keseluruhan, bituminous berpotensi lebih baik sebagai bahan baku utama kokas untuk aplikasi metalurgi.

Kata Kunci: Batubara, Bituminous, Coalite, Karbonisasi, Kokas

ABSTRACT

COKE PRODUCTION FROM BITUMINOUS AND COALITE WITH VARIATIONS OF CARBONIZATION TEMPERATURE

By

YESHA ARGETA

A study was conducted to investigate the production of coke from bituminous coal and coalite through carbonization at varying temperatures of 650°C, 700°C, 750°C, 800°C, and 850°C. The carbonization process was carried out in the absence of air to reduce volatile matter and increase fixed carbon content, thereby producing higher-quality coke. Proximate analysis was performed to determine moisture, volatile matter, ash, fixed carbon, and calorific value. In addition, characterization was carried out using X-Ray Fluorescence (XRF), X-Ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), and Scanning Electron Microscopy coupled with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDS) to examine elemental composition, crystal structure, functional groups, and surface morphology. The results showed that bituminous coal contained 74.29% fixed carbon with a calorific value of 5115 kcal/kg, while coalite contained 76.53% fixed carbon but with a lower calorific value of 5006 kcal/kg. After carbonization, the fixed carbon content increased significantly, reaching its highest value at 850°C. XRD analysis revealed that bituminous coal produced clearer crystalline phases, whereas coalite exhibited a more amorphous structure. FTIR analysis indicated a reduction in hydroxyl and aliphatic groups with increasing temperature, while SEM observations showed that coke with high fixed carbon had denser pores and a more uniform distribution of metallic minerals. Overall, bituminous coal demonstrates greater potential as the primary raw material for metallurgical coke applications.

Keywords: Coal, Bituminous, Coalite, Carbonization, Coke

**PEMBUATAN KOKAS DARI BATUBARA JENIS *BITUMINOUS* DAN
COALITE DENGAN VARIASI TEMPERATUR KARBONISASI**

Oleh

YESHA ARGETA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai gelar

SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Judul Skripsi : Pembuatan Kokas dari Batubara Jenis *Bituminous* dan *Coalite* dengan Variasi Temperatur Karbonisasi

Nama Mahasiswa : Yesha Argeta

Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041063

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Pembimbing I

Pembimbing II

Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si.

NIP. 196107231986031003

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

NIP. 196906101999031004

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung

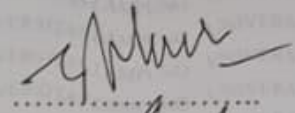
Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.

NIP. 197109092000121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

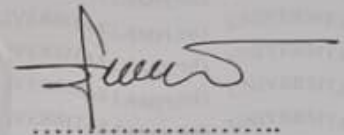
Ketua : Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si.



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



Penguji Bukan Pembimbing : Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 30 September 2025

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Yesha Argeta
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041063
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya dengan judul **“Pembuatan Kokas dari Batubara Jenis *Bituminous* dan *Coalite* dengan Variasi Temperatur Karbonisasi”** adalah benar hasil karya sendiri, baik ide, hasil, maupun analisisnya. Selanjutnya saya tidak keberatan jika sebagian atau keseluruhan data di dalam skripsi digunakan oleh dosen atau program studi dalam kepentingan publikasi atau atas persetujuan penulis dan sepanjang nama saya disebutkan sebelum dilakukan publikasi.

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

Bandar lampung, 30 September 2025



Yesha Argeta
NPM. 2117041063

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Yesha Argeta, dilahirkan pada tanggal 13 Mei 2003 di Tanjung Setia, Pesisir Barat. Penulis merupakan anak Sulung dari pasangan Bapak Armen Patria dan Ibu Tanti Yespa. Pendidikan yang telah ditempuh oleh penulis adalah Taman Kanak-Kanak Islam Terpadu Bina Al-Amin pada Tahun 2008, lulus Sekolah Dasar Negeri Griya Bandung Indah pada Tahun 2015, lulus Sekolah Menengah Pertama Negeri 2 Bojongsoang pada Tahun 2018, lulus Sekolah Menengah Atas Negeri 21 Bandung pada Tahun 2021. Penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui jalur penerimaan Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) dan mengambil konsentrasi dalam bidang Fisika Energi. Selama menempuh pendidikan, penulis juga aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai anggota bidang Komunikasi dan Informasi (Kominfo) pada tahun 2021-2022, menjadi Sekretaris Bidang Komunikasi dan Informasi (Kominfo) pada tahun 2023, dan menjadi Sekretaris Dinas Media dan Informasi (Medinfo) Badan Eksekutif Mahasiswa FMIPA Unila pada tahun 2024. Penulis telah menyelesaikan kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT Suma Briket Premium Lampung Selatan yang berjudul “Analisis Pengaruh Kandungan Air Briket Basah dan Briket Kering Terhadap Peningkatan Temperatur Pembakaran Briket yang Ramah Lingkungan di PT. Suma Briket Premium Lampung Selatan” Penulis juga pernah melakukan pengabdian masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung pada tahun 2024 di desa Sukorahayu, Kec. Labuhan Maringgai, Kab. Lampung Timur. Penulis juga menyelesaikan penelitian skripsi di Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN.

MOTTO

"Dan ketahuilah, sesungguhnya kemenangan itu beriringan dengan kesabaran. Jalan keluar beriringan dengan kesukaran. Dan sesudah kesulitan, pasti akan datang kemudahan." - HR. Tirmidzi

اللَّهُمَّ يَسِّرْ وَلَا تُعَسِّرْ, بِشِرُّوْ وَلَا تُنْفِرُوْ

“Allahumma yassiruu walaa tu'assiruu, basyiruu walaa tunaffiruu”

“Setiap tahap memberikan pelajaran berharga tentang arti kerja keras dan kesabaran”

-Yesha Argeta-

“Sometimes, the only thing you can do is believe that is going to work out, that you are going to work it out. You don't have to know when, or even how. Your just have to know that it is working out.” - Lily

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, telah memberikan Nikmat dan Kasih sayang-mu, kupersembahkan karya ini untuk semua orang yang ku sayangi dan ku cintai

Kedua Orang Tua (Bapak Armen Patria dan Ibu Tanti Yespa)

Terimakasih untuk semua yang telah kalian lakukan, baik do'a, dukungan, perjuangan dan kehangatan dari kasih sayang yang membuatku mampu menghadapi semua permasalahan dan menyelesaikan pendidikan S1 ini

Adik Tercinta (Tasya Zifa Fitria)

Terimakasih telah memberikan dukungan dan do'a

Bapak-Ibu Dosen

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

Teman-teman Fisika 2021

Terimakasih telah menemani penulis di masa perkuliahan

Almamaterku Tercinta

Universitas Lampung **KATA PENGANTAR**

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT., karena atas rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi dengan judul **“Pembuatan Kokas dari Batubara *Bituminous* dan *Coalite* dengan Variasi Temperatur Karbonisasi.”** adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si. selaku dosen Pembimbing I yang telah memberikan pengarahan, memberikan saran, masukan dan arahan pada skripsian ini.
2. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan selama penulisan skripsi.
3. Bapak Muhammad Amin, S.T., M.Si. selaku Pembimbing 2 dan rela meluangkan waktu untuk membimbing dalam penelitian dan penulisan skripsi.
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. Bapak Iqbal Firdaus S.Si., M.Si. selaku Pembimbing Akademik yang memberikan masukan-masukan selama masa studi di Jurusan Fisika.
7. Seluruh dosen Fisika FMIPA Unila yang telah memberikan ilmu selama menempuh pendidikan S1 di Fisika FMIPA Unila.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
9. Kedua Orang Tuaku tercinta Bapak Armen Patria dan Ibu Tanti Yespa yang selalu memberikan cinta kasih, dukungan, pengorbanan, do'a untuk penulis, dan yang selalu siap siaga untuk anaknya dalam kondisi apapun, dimanapun dan kapanpun.

10. Rekan Penelitian Sabrina Adinda Putri Wahyudi, Fenny Refika Sari, Bagas Pangestu, dan Avino Arya Buchan.
11. Adik Tercintaku, Tasya Zifa Fitria yang selalu memberikan semangat dan do'a kepada penulis.
12. Teman-teman pimpinan Himafi Periode 2023 (Avino, Naufal, Tri Aprilia, Mayang, Dias, Eli, Melisa, Bagas, Fajar, Safira, Anggis, Zul, Fathan, Sabrina, Dina, Nina, Galipat) yang telah menemani penulis di masa perkuliahan ini.
13. Abdurachman, yang telah memberikan dukungan, semangat, dan menemani penulis di masa skripsian ini.
14. Serta teman-teman seperjuangan Fisika 2021.

Penulis berdo'a semoga Allah SWT. memberikan balasan berlipat ganda dan memudahkan segala langkah kita atas bantuan yang telah diberikan dalam penyelesaian skripsi ini.

Bandar Lampung, 30 September 2025

Penulis,

Yesha Argeta

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	viii
1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Batubara	6
2.2 <i>Bituminous</i>	7
2.3 Kokas	7
2.4 <i>Coalite</i>	8
2.5 Karbonisasi.....	8
2.6 Analysis Proximate	10
2.6.1 Kadar Air/ASTM D3173	10
2.6.2 Kadar Zat Terbang/ASTM D1375	11
2.6.3 Kadar Abu/ASTM D1374.....	11
2.6.4 Nilai Karbon Tetap/ASTM D1372	12
2.6.5 Nilai Kalor/ASTM D5865	13
2.7 Karakterisasi	14
2.7.1 <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	15
2.7.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	16
2.7.3 <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	18
2.7.4 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	19
III. METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dn Tempat.....	21
3.2 Alat dan Bahan.....	21
2.7.5 Alat.....	21
2.7.6 Bahan	21

3.1 Prosedur Penelitian.....	22
3.1.1 Karakterisasi Bahan	22
3.1.2 Pembuatan Kokas.....	23
3.1.3 Analisis di Laboratorium.....	23
3.2 Karakterisasi Produk	27
3.3 Diagram Alir	27
3.3.1 Diagram Alir Preparasi Bahan	27
3.3.2 Diagram Alir Karakterisasi Bahan Baku.....	28
3.3.3 Diagram Alir Penelitian	29
3.4 Pelaksanaan	30

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Bahan Baku.....	32
4.1.1 Hasil Uji Proximate Bahan Baku	32
4.1.2 Hasil Uji XRF Bahan Baku.....	34
4.1.3 Hasil Uji XRD Bahan Baku	37
4.1.4 Hasil Uji FTIR Bahan Baku	40
4.1.5 Hasil Uji SEM Bahan Baku	41
4.2 Produk Kokas	46
4.2.1 Hasil Uji Proximate Produk Kokas	46
4.2.2 Hasil Uji XRF Produk Kokas.....	50
4.2.3 Hasil Uji XRD Produk Kokas.....	52
4.2.4 Hasil Uji FTIR Produk Kokas.....	54
4.2.5 Hasil Uji SEM Produk Kokas	55

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran	62

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Batubara (Sukandarrumidi, 1995).....	6
1.2 Beberapa jenis kokas yang telah dilakukan pengujian (Mohanty et al, 2019).....	7
2.3 Prinsip kerja XRF (Barkla, 1918)	15
2.4 Prinsip kerja XRD.....	16
2.5 Skema Hukum Bragg (Callister <i>et al.</i> ,2009).....	17
2.6 Skema Sederhana <i>Fourier Transform Infrared</i> (FT-IR).....	18
2.7 Prinsip kerja SEM (Ardenne, 1038).....	20
3.1 Diagram Alir Preparasi Bahan	27
3.2 Diagram Alir Karakterisasi Bahan Baku	28
3.3 Diagram Alir Penelitian	29
4.1 Difraktogram XRD Bahan Baku.....	38
4.2 Gugus Fungsi FTIR Bahan Baku	40
4.3 (a) Hasil SEM batubara <i>bituminous</i> , (b) Hasil SEM <i>coalite</i>	42
4.4 Spektrum EDS batubara <i>bituminous</i>	43
4.5 Spektrum EDS <i>coalite</i>	45
4.6 (a) kurva distribusi ukuran partikel <i>bituminous</i> (b) kurva distribusi ukuran partikel <i>coalite</i>	45
4.7 Grafik hasil uji <i>proximate</i> produk kokas	47
4.8 Grafik hasil nilai kalor produk kokas.....	47
4.9 Difraktogram XRD produk kokas.....	53
4.10 Gugus Fungsi FTIR Produk Kokas.....	55
4.11 (a) Hasil SEM Kokas FC Rendah, (b) Hasil SEM Kokas FC Sedang, (c) Hasil SEM Kokas FC Tinggi.....	56

4.12 (a) Spektrum EDS kokas rendah (b) Spektrum EDS kokas sedang (c) Spektrum EDS kokas tinggi.....	58
4.13 (a) kurva distribusi ukuran partikel kokas rendah (b) kurva distribusi ukuran partikel kokas sedang (c) Kurva distribusi ukuran partikel kokas tinggi.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Proximate analysis of Karlova Halifan coal samples (Kavak dan Toprak, 2023).....	14
3.1 Perbandingan Bahan Baku.....	23
4.1 Persyaratan proximate batubara SNI 06-3730-1995.....	31
4.2 Persyaratan kokas ASTM D5142.....	32
4.3 Hasil uji <i>Proximate</i> Bahan Baku.....	33
4.4 Hasil karakterisasi XRF bahan baku (%).....	35
4.5 Hasil karakterisasi XRF bahan baku (ppm).....	36
4.6 Fasa XRD Batubara <i>Bituminous</i>	39
4.7 Fasa XRD <i>Coalite</i>	39
4.8 Hasil Konsentrasi EDS <i>Bituminous</i>	43
4.9 Hasil Konsentrasi EDS <i>Coalite</i>	44
4.10 Distribusi bahan baku.....	46
4.11 Hasil karakterisasi XRF Produk Kokas (%).....	50
4.12 Hasil karakterisasi XRF Produk Kokas (ppm).....	51
4.13 Fasa XRD Kokas Rendah.....	54
4.14 Fasa XRD Kokas Sedang.....	54
4.15 Fasa XRD Kokas Tinggi.....	54
4.16 Hasil Konsentrasi Unsur EDS Kokas Rendah.....	57
4.17 Hasil Konsentrasi Unsur EDS Kokas Sedang.....	57
4.18 Hasil Konsentrasi Unsur EDS Kokas Tinggi.....	58
4.19 Parameter kurva distribusi kokas.....	61

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batubara merupakan salah satu sumber daya energi penting yang banyak dimanfaatkan di berbagai sektor industri. Secara umum, batubara digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap, penghasil energi panas, bahan baku pembuatan kokas untuk industri baja, serta bahan dasar dalam berbagai industri kimia (Kavak dan Toprak, 2023). Salah satu alasan batubara terus dikembangkan adalah kandungan unsur karbon (C) di dalamnya. Karbon berperan penting sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif yang dapat menjadi energi alternatif untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Dalam bidang metalurgi, karbon digunakan sebagai bahan pereduksi dalam proses pengolahan logam, seperti besi dan nikel, yang memerlukan batubara dengan kandungan *fixed carbon* tinggi (Sugiarto *et al.*, 2023). Selain itu, perkembangan industri karbon aktif di Indonesia semakin pesat seiring meningkatnya kesadaran terhadap isu lingkungan. Industri yang berpotensi mencemari lingkungan kini dituntut untuk memiliki sistem pengolahan limbah, baik gas maupun cair (Solihin, 2004).

Kokas merupakan produk padat hasil proses karbonisasi batubara pada suhu tinggi, yaitu sekitar 1000–1200°C. Material ini memiliki peran yang sangat penting dalam industri logam, terutama pada proses pembuatan besi dan baja (Rumbino, 2006). Karbonisasi dilakukan tanpa adanya udara, sehingga komponen batubara yang mudah menguap dapat terlepas, sementara kandungan karbonnya meningkat. Dalam teknologi tanur tinggi (*blast furnace*), kokas digunakan tidak hanya sebagai bahan bakar, tetapi juga sebagai bahan pereduksi bijih besi. Peran ganda tersebut menjadikan kokas sebagai material yang esensial dalam proses metalurgi modern (Samosir dan Suliantoro, 2024).

Upaya pemanfaatan limbah batuan coalite menjadi salah satu alternatif untuk meningkatkan nilai tambah batubara peringkat rendah. Coalite merupakan bahan bakar padat yang berasal dari batubara hasil tambang dengan peringkat rendah, yang telah mengalami proses karbonisasi pada suhu sekitar 400°C (Nukman et al., 2014). Namun, kualitasnya masih terbatas sehingga perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut.

Untuk itu, penelitian ini dilakukan dengan mencampurkan batubara bituminous dan coalite sebagai bahan baku pembuatan kokas. Batubara bituminous dipilih karena memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi, sehingga diharapkan dapat memperbaiki kualitas kokas yang dihasilkan dari campuran tersebut. Setelah proses pencampuran, bahan baku kemudian dikarbonisasi untuk menghasilkan kokas dengan karakteristik yang lebih baik.

Batubara dapat diolah menjadi kokas melalui proses pemanasan tanpa udara dengan tujuan menghilangkan kandungan air dan zat terbang. Proses ini menghasilkan kokas berbentuk bongkahan keras namun berpori, yang sangat penting dalam industri metalurgi. Kualitas kokas sangat dipengaruhi oleh jenis batubara yang digunakan. Batubara yang baik untuk pembuatan kokas umumnya memiliki kandungan sulfur dan abu yang rendah serta sifat kimia tertentu agar kokas yang dihasilkan kuat dan berfungsi optimal. Faktor-faktor yang memengaruhi kualitas batubara antara lain kadar air, abu, zat mudah menguap (*volatile matter*), karbon tetap (*fixed carbon*), nilai kalor, sulfur, serta kandungan karbon (Kadir, 2016). Oleh karena itu, analisis diperlukan untuk menentukan batubara mana yang paling sesuai digunakan (He et al., 2020).

Salah satu metode yang umum digunakan adalah analisis proksimat, yaitu pengujian laboratorium untuk mengetahui kandungan air, zat mudah menguap, abu, dan karbon tetap dalam sampel batubara. Analisis ini bertujuan mengukur jumlah air dalam batubara yang disebut *inherent moisture* (IM), sekaligus memberikan informasi mengenai kadar abu (*Ash*), zat mudah menguap (VM), dan karbon tetap (FC) (Fajarwati et al., 2023). Metode ini dinilai sederhana namun efektif untuk menilai kualitas batubara, sehingga hasilnya sering dijadikan acuan oleh konsumen dalam menentukan kesesuaian batubara dengan kebutuhan mereka (Sepfitrah, 2016).

Penelitian yang dilakukan oleh Sharma et al. (2002) memanfaatkan batubara bituminous dengan campuran tar LTC batubara Chimiri, yang merupakan produk samping dari proses karbonisasi suhu rendah (*low temperature carbonization*). Tar LTC tersebut terlebih dahulu didehidrasi untuk menghilangkan kandungan air, kemudian diproses melalui perlakuan termal pada suhu 180–230°C di udara terbuka sehingga dihasilkan tar LTC olahan.

Dalam penelitian tersebut, campuran bahan baku dan binder digunakan dengan perbandingan 88:12, lalu dipadatkan menjadi briket berdiameter 3,5 cm dan tinggi 2,5 cm menggunakan mesin pres hidrolik manual dengan tekanan 250 kg/cm². Briket yang dihasilkan dikeringkan pada suhu 150–300°C selama 3 jam, kemudian dikarbonisasi pada suhu 600–900°C. Setelah proses karbonisasi, briket didinginkan hingga mencapai suhu ruang. Hasil analisis proksimat menunjukkan bahwa briket yang dihasilkan memiliki kadar air (*moisture*) sebesar 3,1%, zat mudah menguap (*volatile matter*) sebesar 4%, dan kadar abu (*ash content*) sebesar 18,4%.

Pandey et al. (1989) melaporkan bahwa proses karbonisasi suhu rendah (*low temperature carbonization* / LTC) pada batubara menghasilkan air limbah dengan tingkat pencemaran yang cukup tinggi. Tingkat pencemaran tersebut sangat dipengaruhi oleh kualitas batubara yang digunakan serta suhu karbonisasi.

Dalam penelitian tersebut, dilakukan pengamatan terhadap pengaruh suhu karbonisasi terhadap kualitas air limbah. Hasilnya menunjukkan bahwa dengan peningkatan suhu karbonisasi dari 500 hingga 800°C, konsentrasi polutan dalam air limbah meningkat hingga mencapai titik maksimum pada suhu 800°C. Namun, ketika suhu dinaikkan lebih lanjut dari 800 hingga 1000°C, konsentrasi polutan justru menurun. Temuan ini berkaitan erat dengan kandungan zat mudah menguap (*volatile matter*) dalam batubara. Semakin tinggi kandungan zat volatile, semakin besar pula tingkat pencemaran pada air limbah yang dihasilkan. Batubara non-kokas dengan kandungan zat volatile sekitar 15–35% dan kadar abu tertentu umumnya digunakan dalam produksi kokas LTC. Melalui percobaan laboratorium, terbukti bahwa konsentrasi polutan secara langsung berbanding lurus dengan kadar zat volatile dalam batubara.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini difokuskan pada pembuatan kokas dengan memanfaatkan batubara jenis bituminous dan coalite yang telah melalui uji proksimat serta karakterisasi awal. Campuran batubara kemudian ditambahkan molase sebagai *binder* sebelum dilakukan proses karbonisasi pada variasi suhu 650, 700, 750, 800, dan 850°C.

Setelah proses karbonisasi, sampel kokas yang dihasilkan dianalisis melalui uji proksimat dan pengukuran nilai kalor untuk mengetahui kualitasnya. Selanjutnya, dilakukan uji karakterisasi lebih lanjut pada tiga sampel terpilih dengan kandungan *fixed carbon* rendah, sedang, dan tinggi. Tujuannya adalah untuk membandingkan perbedaan unsur kimia dan struktur pada ketiga sampel tersebut, sehingga dapat diperoleh gambaran menyeluruh mengenai pengaruh variasi suhu karbonisasi terhadap kualitas kokas yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana proses pembuatan kokas menggunakan Batubara aktif *Bituminous* dengan limbah Batubara (*coalite*)?
2. Bagaimana pengaruh karbonisasi batubara *Bituminous* dan *coalite* menurut Standar Nasional Indonesia terhadap variasi temperatur pada produk kokas yang dihasilkan?
3. Apakah produk kokas yang dihasilkan memiliki karakteristik yang baik?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang dilakukan peneliti adalah sebagai berikut.

1. Memanfaatkan Batubara yang memiliki kualitas rendah atau kalor rendah sebagai bahan pembuatan kokas.
2. Memanfaatkan residu sebagai campuran pembuatan kokas.
3. Mengetahui nilai *proximate* pada bahan baku dan produk kokas.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah wawasan bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dalam pembuatan kokas.
2. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.
3. Sebagai tambahan referensi di Jurusan Fisika FMIPA di Universitas Lampung bidang KBK Fisika Energi

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini menggunakan batubara *bituminous* dan *coalite* dengan campuran bahan perekat molasses.
2. Penelitian ini mencampurkan batubara *bituminous* dan *coalite* dengan variasi temperatur 650, 700, 750, 800, dan 850°C menggunakan *furnace*.
3. Pengujian dalam penelitian ini meliputi analisis *proximate* (kadar air, zat terbang, kadar abu, karbon tetap) dan karakterisasi (XRF, XRD, FTIR, SEM).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Batubara

Batubara adalah sisa tumbuhan yang membusuk perlahan yang terkubur dibawah lapisan tanah dan batuan selama jutaan tahun (Cahyadi, 2015). Di Indonesia, batubara sangat melimpah dan digunakan di banyak industri. Untuk meningkatkan kualitasnya, batubara bisa diproses agar nilai kalorinya lebih tinggi. Namun, batubara dengan kalori rendah bisa berdampak buruk bagi lingkungan dan kesehatan. Saat dibakar, batubara melepaskan gas rumah kaca seperti CO₂ dan SO₂ yang menyebabkan pemanasan global dan polusi. Polusi ini juga bisa memicu masalah pernapasan dan penyakit jantung (Jaya & Soegondo, 2016).



Gambar 2.1. Batubara (Sukandarrumidi, 1995)

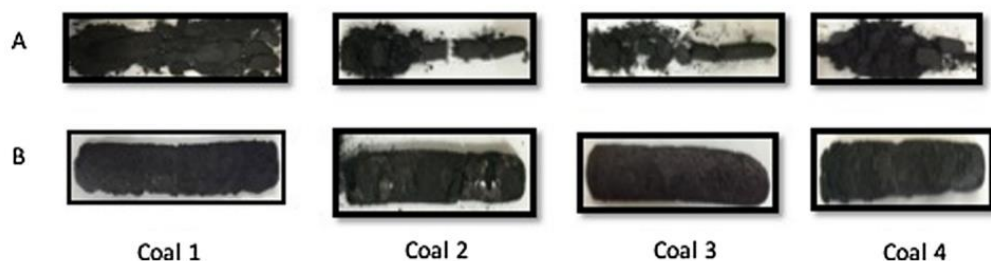
Batubara dibagi menjadi empat jenis, yaitu antrasit, *bituminous*, *sub-bituminous*, dan lignit (Erik & Sancar, 2010). Batubara terbentuk melalui proses panjang, dimulai dari pembentukan gambut hingga menjadi batubara. Selama proses ini, unsur seperti oksigen (O₂) dilepaskan dalam bentuk gas dan air, sehingga kandungan karbon tetap (*fixed carbon*) di dalam batubara menjadi lebih tinggi (Adji *et al.*, 2022).

2.2 Bituminous

Batubara *bituminous* memiliki peran penting dalam pembangunan dan perawatan jalan beraspal. Karena kebutuhan akan infrastruktur yang kuat dan ramah lingkungan terus meningkat, penting untuk memahami sifat fisik dan aliran aspal dengan baik. Batubara *bituminous* adalah jenis batubara sedimen yang sangat mudah terbakar, berwarna hitam atau cokelat tua, dan mengandung karbon tinggi. Sifatnya bisa berbeda tergantung dari proses pembentukannya selama jutaan tahun. Batubara ini terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan seperti pohon, pakis, jamur, ganggang, serta bagian tumbuhan seperti daun, batang, dan serbuk sari (Suarez *et al.*, 2019). Seiring waktu, batubara ini mengalami perubahan yang membuatnya lebih keras dan lebih gelap, dan pada tahap inilah disebut *bituminous* (Fajarwati *et al.*, 2023).

2.3 Kokas

Kokas adalah hasil dari batubara yang dikarbonisasi secara tertutup tanpa adanya udara. Setelah menjadi kokas, dapat digunakan sebagai bahan pembuatan baja di tanur sembur, sehingga batubara kokas sangat dibutuhkan oleh produsen baja di seluruh dunia. Karena permintaannya terus meningkat sementara sumber daya terbatas, para peneliti mulai mencari cara membuat kokas dari batubara semi-kokas dan non-kokas. Salah satu cara yang paling umum digunakan adalah pencampuran, yaitu mencampur sedikit batubara semi-kokas dengan batubara kokas utama dan beberapa bahan tambahan yang bersifat termoplastik (Mohanty *et al.*, 2019).



Gambar 2.2. Beberapa jenis kokas yang telah dilakukan pengujian (Mohanty et al, 2019)

Batubara kokas memiliki sifat fisik yang membuatnya bisa melunak, mencair, lalu membeku kembali menjadi bongkahan keras tetapi berpori saat dipanaskan tanpa udara. Batubara ini juga harus memiliki kadar sulfur dan fosfor yang rendah. Kokas dibuat dengan cara memanaskan campuran batubara *bituminous* (juga disebut *metallurgical coal*) pada suhu tinggi tanpa udara, hingga zat *volatilenya* hilang. Hampir semua batubara yang digunakan akan dimasukkan ke dalam oven kokas dan dipanaskan pada suhu sekitar 1000–1100°C tanpa oksigen (Yustanti, 2012).

2.4 Coalite

Coalite adalah tar yang berasal dari limbah pemanasan karbonisasi. Namanya mengacu pada residu yang tertinggal ketika batubara dikarbonisasi. *Coalite* ditemukan oleh Thomas Parker pada tahun 1904. *Coalite* lebih gelap dan lebih rapuh daripada kokas suhu tinggi. Batubara ini lebih mudah terbakar, terbakar dengan nyala api yang menarik, dan lebih ringan daripada batu bara, menjadikannya bahan bakar ideal untuk perapian rumah tangga terbuka. Kekurangannya adalah kecenderungannya menghasilkan abu residu yang berlebihan, terbakar cepat, dan mengeluarkan asap belerang. Menurut Sunarijanto *et al.* (2008), *coalite* adalah bahan dasar untuk membuat superbriket yang diproduksi oleh PT Tambang Batubara, Tbk di Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Coalite* berasal dari batubara sub-bituminus yang sudah dikarbonisasi, sehingga tidak perlu dikarbonisasi lagi dan bisa langsung diaktifkan, baik secara fisik maupun kimia. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu dan lama waktu karbonisasi, maka nilai kalor dan kandungan karbon akan meningkat, sementara kadar air dan zat *volatile* akan menurun. Bahan bakar padat dalam penelitian ini diambil dari tiga lokasi berbeda.

2.5 Karbonisasi Batubara

Batubara secara alami memiliki pori-pori, namun agar bisa dijadikan karbon aktif, batubara perlu melalui proses karbonisasi, yaitu pemanasan tanpa oksigen. Proses ini meliputi beberapa tahap seperti penghilangan air (dehidrasi), pengubahan bahan organik menjadi karbon, dan penguraian tar agar pori-pori arang menjadi lebih

besar. Pada suhu 170°C, air dalam batubara akan hilang. Penguraian senyawa organik, yang menghasilkan tar, metanol, dan fenol pada suhu 275°C, Pembentukan karbon padat (sekitar 80% terbentuk pada suhu 400–600°C) (Solihin, 2004). Karbonisasi menghasilkan tiga produk utama: kokas (padat), cairan, dan gas. Kualitas kokas sangat dipengaruhi oleh kondisi teknis proses dan sifat fisik-kimia batubara (Rumbiono, 2006). Menurut UU Minerba No. 4 Tahun 2009, perusahaan tambang wajib mengolah batubara untuk meningkatkan nilai tambah. Salah satu bentuk pengolahan tersebut adalah karbonisasi (Kusdarini *et al.*, 2017). Karbonisasi adalah salah satu metode termokimia paling lama yang digunakan untuk mengubah biomassa atau batubara menjadi energi (Gibson & Gregory, 1971). Pada dasarnya, menghasilkan karbon padat dari bahan organik melalui pemanasan. Konversi ini termasuk dalam proses termokimia seperti pembakaran, pirolisis, karbonisasi, co-firing, gasifikasi, dan pencairan (Patel *et al.*, 2016).

Karbon ini juga bisa digunakan untuk melelehkan logam dan menyatukan partikel logam sebagai bahan pereduksi di industri logam (Rozhan *et al.*, 2018). Char adalah padatan berkarbon tinggi yang dihasilkan dari pemanasan bahan organik (seperti batubara, biomassa, atau limbah) dalam kondisi tanpa oksigen, melalui proses pirolisis atau karbonisasi. Selain itu, char bisa diolah menjadi karbon aktif untuk menyerap zat-zat tertentu (Patuzzi *et al.*, 2018), dan juga bisa digunakan sebagai pupuk tanah, yang disebut biochar (Lopez-Cano *et al.*, 2018). Karbon adalah bahan yang dihasilkan dari pembakaran bahan organik dengan sedikit oksigen (Wang *et al.*, 2019).

Salah satu sumber karbon aktif yang melimpah adalah batubara, karena jumlahnya banyak dan proses pembuatannya relatif mudah, batubara sangat cocok untuk dijadikan karbon aktif (Kusdarini *et al.*, 2017). Selain batubara, limbah organik seperti limbah pertanian dan sampah kota juga bisa digunakan sebagai bahan baku karbon. Karbon dari limbah ini memiliki keunggulan seperti kandungan karbon yang tinggi, luas permukaan besar, struktur yang stabil, dan kemampuan tukar ion yang baik (Rizwan *et al.*, 2016).

Proses karbonisasi adalah cara yang hemat biaya, ramah lingkungan, dan mudah dilakukan, sehingga bisa menghasilkan bahan dengan banyak manfaat dan biaya lebih rendah dibandingkan bahan dari petrokimia atau proses kimia lainnya. Walaupun sebagian besar penggunaannya masih dalam tahap awal, karbon sudah terbukti bisa digunakan untuk berbagai keperluan seperti memperbaiki tanah, sebagai katalis, memurnikan air, serta menyimpan energi dan gas (Qian *et al.*, 2015).

2.6 Proximate Analysis

Analisis proksimat merupakan metode yang umum digunakan untuk menilai kualitas batubara melalui penentuan kandungan air, zat mudah menguap, abu, dan karbon tetap (*fixed carbon*). Pengujian dilakukan dengan memanaskan sampel batubara sampai 900 °C dalam kondisi tanpa oksigen (nitrogen), lalu dilanjutkan pada suhu yang sama tetapi dengan oksigen (Donahue & Rais, 2009). Metode ini bermanfaat untuk mengetahui komponen utama dalam batubara (Hasan *et al.*, 2017), sekaligus memberikan gambaran mengenai sifat pembakaran dan reaktivitas batubara (Nukman *et al.*, 2014). Kualitas batubara yang diperoleh dari analisis proksimat sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor penting, di antaranya kadar air, abu, zat terbang, serta kandungan sulfur (Amriansyah & Sihombing, 2020).

2.6.1 Kadar Air/ASTM D3173

Kadar air adalah salah satu komponen bahan bakar padat, banyaknya air yang terkandung dalam batubara sesuai kondisi lapangan, baik yang terikat secara kimia maupun akibat dari luar. Kadar air bahan bakar padat adalah variasi massa air yang terkandung dalam bahan bakar padat terhadap massa kering bahan bakar padat (Nurmayanti *et al.*, 2021). Kadar air itu akan berpengaruh negatif terhadap nilai kalor dan karakteristik pembakaran bahan bakar padat. *Inherent moisture* merupakan kandungan air bawaan yang terintegrasi dalam massa batubara pada saat pembentukan batubara (Nurmayanti *et al.*, 2021). Pengeringan sangat berpengaruh pada nilai *inherent moisture*. Hal ini tentu saja berpengaruh pada nilai kalor. Dimana, air yang terdapat pada batubara tinggi, maka nilai kalor batubara rendah

(Ardanti *et al.*, 2020). Prinsip metode ASTM D3173 yang pertama adalah sampel batubara dimasukkan ke dalam wadah (*crucible*) terbuka. Dikeringkan dalam oven dengan suhu 104 °C hingga 110 °C dengan waktu pemanasan selama 1 jam. Setelah pengeringan, sampel didinginkan dalam desikator, lalu ditimbang. Kadar air yang diukur menunjukkan jumlah air yang masih ada di dalam batubara, baik yang menempel secara fisik maupun terikat secara kimia (Donahue and Rais, 2009).

2.6.2 Kadar Zat Terbang/ASTM D1375

Zat Terbang (*Volatile matter*) adalah kandungan bahan yang mudah terbakar, dan mudah membentuk gas. Tujuannya menentukan zat yang mudah menguap dalam sampel batubara atau kokas melalui pembakaran cepat dalam kondisi tertutup tanpa udara. Komponen kimia pada *volatile matter* yaitu hidrokarbon, aldehid, alkohol, ester dan fenol (Cheng, R *et al.*, 2021). Tingginya kandungan bahan mudah menguap dalam limbah pertanian mengindikasikan bahwa limbah pertanian tersebut mudah terbakar, bahkan lebih cepat terbakar dan sulit untuk dikontrol. Ketika karbon dipanaskan, temperatur naik, dan setelah mencapai temperatur tertentu, maka bahan yang mudah menguap keluar dan terbakar di sekitar partikel karbon. Kadar zat terbang (*volatile matter*) pada batubara merujuk pada produk-produk *volatile* yang muncul saat pemanasan antara 110–900 °C (Donahue and Rais, 2009). Prinsip metode ASTM D3175 yang pertama adalah sampel batubara dimasukkan ke dalam *crucible* tertutup, kemudian *crucible* dimasukkan ke dalam *furnace* yang telah dipanaskan sebelumnya pada suhu 850°C dengan waktu tahan selama 7 menit. Kemudian *crucible* didinginkan dalam desikator, lalu ditimbang.

2.6.3 Kadar Abu/ASTM D1374

Menurut Yu *et al* (2005), abu merupakan residu yang tak terbakar atau tidak sisa-sisa pembakaran. Setelah sampel batubara mengalami kehilangan kadar air dan zat terbang. Dilakukan analisis abu (*ash analysis*) yang menjadi aspek penting dalam karakterisasi batubara (Poly dan Sinardi., 2025). Kadar abu adalah ukuran

kandungan material dan berbagai bahan anorganik dalam bahan yang diuji. Abu adalah material yang tersisa, misalnya pada kayu yang dipanaskan hingga berat konstan, kadar abu sebanding dengan kandungan bahan anorganik dalam kayu. Salah satu unsur utama yang terkandung dalam abu adalah silika yang berpengaruh terhadap kurang baiknya nilai kalor yang dihasilkan. Abu terdiri dari bahan-bahan mineral seperti tanah liat, silika, kalsium, mangan oksida dan lain-lain. Abu merupakan senyawa anorganik yang dihasilkan dari sisa pembakaran arang yang terdiri dari kalsium, magnesium, natrium, dan kalium (Pari *et al.*, 2009). Kadar abu dari suatu produk menunjukkan kandungan mineral yang terdapat dalam bahan tersebut, kemurnian, serta kebersihan suatu produk yang dihasilkan (Kristiandi *et al.*, 2021). Prinsip metode ASTM D3174 yang pertama adalah sampel batubara dimasukkan kedalam *crucible* terbuka, kemudian *crucible* dimasukkan kedalam *furnace* yang telah dipanaskan sebelumnya pada suhu 500-600°C, kemudian suhu dinaikkan 750-775°C selama 2 jam. Kemudian *crucible* didinginkan dalam desikator, lalu ditimbang. Metode pengabuan dilakukan pada suhu 650 °C selama 2 jam mengacu pada modifikasi dari ASTM D3174, untuk menghindari abu yang meleleh dan terkena *furnace*.

2.6.4 Nilai Karbon Tetap/ASTM D3172

Komponen yang tidak membentuk gas ketika dibakar adalah "*Fixed carbon*", yang memiliki peran penting dalam menentukan kualitas karbon. Karbon tetap mencerminkan potensi energi yang tersisa setelah zat terbang dilepaskan (Yu *et al.*, 2005). Semakin tinggi *fixed carbon* dalam karbon maka semakin tinggi pula nilai kalor yang dihasilkan. Karbon yang berkualitas adalah karbon yang memiliki nilai kalor dan *fixed carbon* yang tinggi (Salomon, 1980). Menurut ASTM D3172 *Fixed carbon* dihitung sebagai sisa masa setelah *moisture*, *volatile matter*, dan abu dihilangkan. Jumlah kokas yang dapat dihasilkan dari sampel batubara kira-kira setara dengan jumlah karbon tetap ditambah kadar air, zat terbang, dan kadar abu (Donahue and Rais, 2009). Menurut Warne (1991) *fixed carbon* adalah massa padatan yang tidak menguap (*non-volatile*) dan bukan berupa abu maupun air. *Fixed carbon* menggambarkan jumlah karbon padat yang dapat terbakar untuk

menghasilkan energi panas. Batubara bituminous memiliki fixed carbon berkisar 45-65%, nilai tersebut dapat berubah tergantung proses karbonisasi dan kandungan abu.

2.6.5 Nilai Kalor/ASTM D5865

Kalor adalah bentuk energi yang bisa mengubah suhu dan wujud suatu benda, dan satuannya adalah *joule* (J) (Mardan *et al.*, 2019). Kalor selalu mengalir dari benda yang bersuhu lebih tinggi ke benda yang bersuhu lebih rendah, dan tidak pernah sebaliknya. Proses ini menyebabkan senyawa organik dalam bahan terurai dan membentuk metanol, uap asam asetat, tar, dan hidrokarbon (Kusdarini *et al.*, 2017). Nilai kalor adalah jumlah energi panas maksimum yang dihasilkan dari pembakaran sempurna suatu bahan bakar dalam satuan massa atau volume (Aljarwi *et al.*, 2020). Artinya, nilai kalor menunjukkan berapa banyak energi panas yang dilepaskan saat bahan bakar terbakar sempurna.

Bomb calorimeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur kalori. Ditentukan dengan membakar sejumlah asam benzoat dalam oksigen. Sejumlah sampel analisis yang sebanding dibakar dalam kondisi yang sama di dalam kalorimeter. Perhitungan sampel dilakukan dengan cara mengalikan kenaikan suhu yang telah disesuaikan dengan pengaruh kalor eksternal, kemudian dikalikan dengan kapasitas kalor, dan hasilnya dibagi dengan massa sampel. Metode ini digunakan untuk memperoleh nilai kalor secara akurat. Namun, perlu diperhatikan bahwa oksidasi batubara setelah proses pengambilan sampel dapat menyebabkan penurunan nilai kalor, sehingga pengujian harus dilakukan dengan segera untuk meminimalkan pengaruh tersebut. Khususnya, sampel batubara lignit dan *sub-bituminous* dapat mengalami efek oksidasi yang lebih besar dibandingkan sampel batubara dengan peringkat lebih tinggi. Oleh karena itu, nilai kalor total juga mencakup panas dari uap air hasil pembakaran (Mahapatra, 2016). Batubara dengan kualitas sedang (*medium rank*) memiliki nilai kalor antara 4700 hingga 5700 Kcal/kg (Bhati *et al.*, 2017). Untuk analisis proksimat secara manual, penting untuk menjaga kontrol dan kondisi pelaksanaan yang konsisten agar hasil yang diperoleh akurat dan dapat

dibandingkan (Galaraga *et al.*, 2024). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Kavak dan Toprak (2023), analisis proksimat digunakan untuk melihat kualitas batubara dari berbagai sumber. **Tabel 2.1** menunjukkan hasil pengujian *proximate analysis* dan nilai kalor dari beberapa sampel batubara berdasarkan penelitian tersebut.

Tabel 2.1. *Proximate analysis of Karlıova Halifan coal samples* (Kavak dan Toprak, 2023)

In Original Samples						
Sample	Moisture %	Volatile Matter %	Ash %	Total Sulphur %	High Calorific Value (Kcal/kg)	Low Calorific Value (Kcal/kg)
BNOK-1	28,3	31,2	18,4	0,77	3237	2938
BNOK-2	20	34	25	0,67	2968	2717
BNOK-3	14,8	31,9	32	0,76	3265	3037
BNOK-4	26,2	10,4	56	0,36	828	645
BNOK-5	49,2	12,8	33,5	0,15	774	457
BNOK-6	34,7	20,1	32,9	0,34	1954	1673
BNOK-7	38,1	26,3	16,1	0,59	2834	2614
In Dry Samples						
Sample	Volatile Matter %		Ash %	Total Sulphur %	High Calorific Value (Kcal/kg)	Low Calorific Value (Kcal/kg)
BNOK-1	45,5		25,7	1,07	4510	4318
BNOK-2	42,5		31,3	0,83	3703	3533
BNOK-3	37,4		37,5	0,9	3825	3659
BNOK-4	14,1		75,9	0,48	1121	1069
BNOK-5	25,2		65,9	0,3	1520	1432
BNOK-6	30,8		50,5	0,53	2989	2856
BNOK-7	42,5		26	0,96	4571	4380

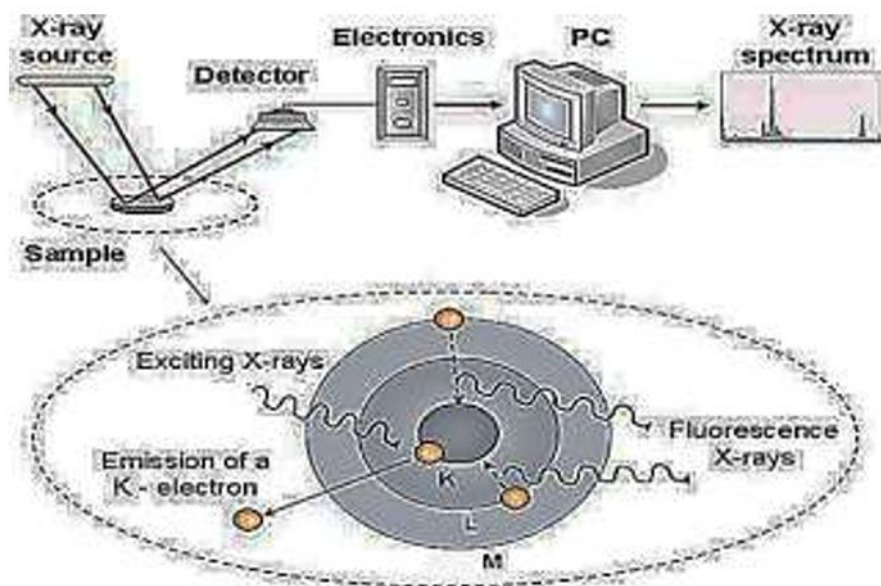
Tabel 2.3 menjelaskan bahwa kandungan bahan *volatile* batubara dengan 10-34% sebagai batubara asli dan 14-46% sebagai batubara kering udara, dan analisis dasar batubara tampaknya sesuai dengan peringkat batubara. Batubara yang menunjukkan 0,2-0,8% kandungan sulfur asli dan 0,3-1,07% kandungan sulfur kering udara dan jumlah abu yang tinggi (Kavak dan Toprak, 2023).

2.7 Karakterisasi

Karakterisasi adalah proses untuk mengenali, menganalisis, dan menggambarkan sifat atau karakter suatu bahan atau sampel dengan menggunakan metode tertentu.

2.7.1 X-ray Fluorescence (XRF)

XRF (*X-ray Fluorescence*) digunakan untuk menganalisis unsur dalam suatu bahan, termasuk unsur dalam ukuran sangat kecil tanpa terganggu oleh bahan di sekitarnya (Ferrati, 2014). XRF adalah teknik untuk mendeteksi dan mengetahui konsentrasi unsur dalam bahan padat, bubuk, atau cairan. XRF bekerja berdasarkan prinsip bahwa atom yang terkena energi dari luar akan memancarkan sinar-X dengan energi atau panjang gelombang tertentu. Dengan menghitung jumlah sinar-X dari setiap energi yang keluar dari sampel, kita bisa mengetahui jenis dan jumlah unsur yang terkandung di dalamnya. Prinsip kerja XRF ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3. Prinsip kerja XRF (Barkla, 1918)

Gambar 2.3, ditunjukkan cara kerja XRF sebagai berikut.

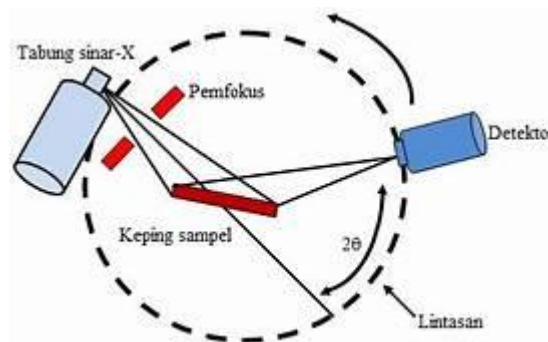
1. Sinar-X dengan tegangan tinggi mengenai elektron di kulit dalam atom (pada sampel), electron tereksitasi pada kulit K. Karena kulit K memiliki energi ikat paling tinggi.
2. Perbedaan energi antara kedua kulit tersebut dilepaskan dalam bentuk foton atau radiasi sinar-X fluoresensi. Yang memiliki panjang gelombang 0,1 hingga 100 Å
3. Setelah sampel disinari dengan sinar X, sampel dibaca oleh detektor

4. Sistem perangkat lunak pada alat XRF menganalisis data dari detektor. Dengan mengidentifikasi energi sinar-X fluoresensi, alat ini dapat menentukan jenis unsur apa saja yang ada di dalam sampel.

Setiap unsur memancarkan panjang gelombang dan energi radiasi yang berbeda, sehingga bisa dikenali. Alat XRF modern dapat menganalisis sampel padat, cair, dan film tipis, baik untuk unsur utama maupun unsur jejak (hingga tingkat ppm). Proses analisisnya cepat, dan biasanya tidak memerlukan persiapan sampel yang rumit atau memakan waktu lama (Gupta, 2014).

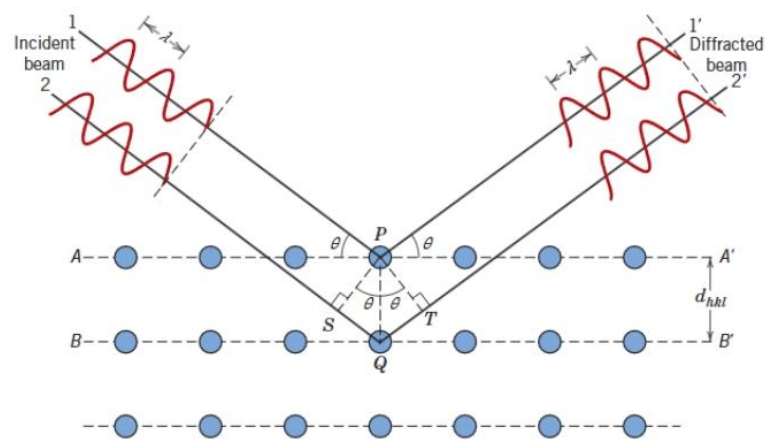
2.7.2 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD (*X-ray Diffraction*) adalah metode untuk mengetahui bentuk dan jenis kristal dalam suatu bahan tanpa merusaknya. Teknik ini membandingkan pola pantulan sinar-X dari sampel dengan data standar. XRD bisa digunakan untuk mengenali jenis kristal, jumlah kandungannya, dan keteraturan susunan atom, bahkan pada mineral yang sangat halus (Wicita, 2016). Cara kerjanya, sinar-X dipantulkan oleh bidang kristal dalam bahan. Setiap susunan atom menghasilkan pola pantulan yang khas, sehingga bisa digunakan untuk mengenali senyawa tersebut (Setiabudi *et al.*, 2014). Salah satu teknik yang digunakan untuk menentukan struktur padatan kristalin adalah metode difraksi sinar-X serbuk seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.4**. Sampel yang digunakan berbentuk serbuk halus dan ditempatkan di atas plat kaca. Sinar-X dihasilkan dari elektron yang keluar dari filamen panas dalam ruang hampa (vakum), lalu dipercepat oleh tegangan tinggi dan diarahkan untuk menumbuk permukaan logam, sehingga memancarkan sinar-X.



Gambar 2.4 Prinsip kerja XRD

Sinar-X yang diarahkan ke kristal akan dipantulkan ke berbagai arah sesuai hukum Bragg. Detektor akan menangkap pantulan ini saat bergerak dengan sudut tetap. Kristal dalam bentuk serbuk memiliki susunan acak, sehingga sinar bisa dipantulkan dari banyak arah (Jamalludin, 2010). Menurut Mukti (2012), sinar-X dengan satu panjang gelombang (monokromatik) hanya akan dipantulkan pada sudut tertentu, tergantung pada panjang gelombang dan jarak antar bidang kristal. Pola pantulan ini bisa digunakan untuk mengetahui susunan struktur kristal. Terlihat pada **Gambar 2.5**



Gambar 2.5 Skema Hukum Bragg (Callister *et al.*,2009).

Berdasarkan **Gambar 2.5**, dapat dilihat bahwa sinar datang 1 menumbuk titik P kemudian sinar akan dibelokkan, begitu juga dengan sinar 2 akan menumbuk titik Q dengan jarak $SQ + QT$. Dengan jarak $1P1' = \text{jarak sinar } 2Q2'$, maka:

$$\lambda = SQ + QT \quad (1)$$

$$\sin \theta = \frac{SQ}{PQ} = \frac{SQ}{d} \quad (2)$$

$$d \sin \theta = SQ \quad (3)$$

Karena $SQ = QT$, maka

$$\lambda = 2SQ \quad (4)$$

Atau

$$d \sin \theta = SQ \quad (5)$$

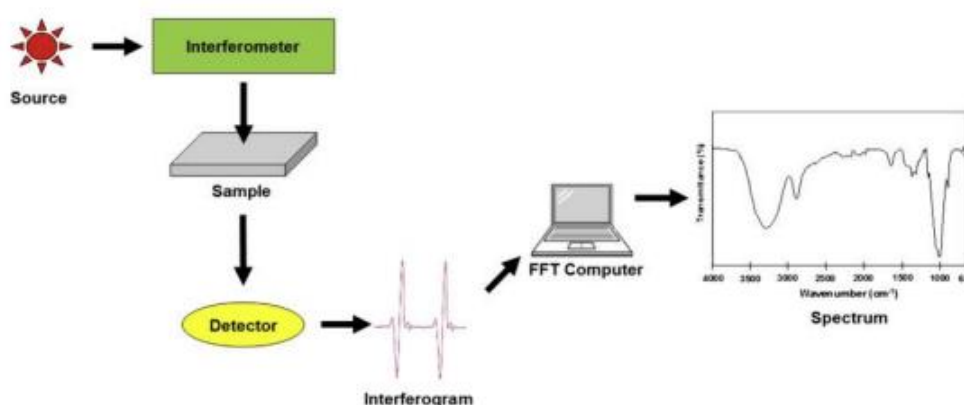
$$d \sin \theta = \frac{1}{2} \lambda \quad (6)$$

$$2 d \sin \theta = \lambda \quad (7)$$

dengan d sebagai jarak antara bidang dalam kristal, θ sebagai sudut difraksi, λ sebagai panjang gelombang (m). Kristal tersusun dari bidang-bidang sejajar seperti cermin kecil. Saat sinar datang, sebagian sinar dipantulkan oleh tiap bidang dan ditangkap oleh detektor. Karena pantulan-pantulan ini memiliki jarak tempuh dan waktu yang teratur, maka terjadi tumpang tindih gelombang atau interferensi. Jika puncak gelombang bertemu puncak lain, terjadi interferensi konstruktif yang saling memperkuat. Menurut hukum Bragg, difraksi hanya bisa terjadi jika panjang gelombang sinar lebih kecil dari dua kali jarak antar bidang kristal, sehingga sinar biasa (optik) tidak bisa digunakan (Mukti, 2012).

2.7.3 *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

FTIR digunakan untuk karakterisasi dan studi struktural kuantitatif (Ibarra *et al*, 1996). Spektroskopi FTIR mempelajari bagaimana sampel menyerap sinar infra merah. Dengan bantuan teknologi *Fourier Transform*, FTIR kini banyak digunakan di bidang farmasi, makanan, lingkungan, dan lainnya (Guntarti & Prativi, 2017). Alat yang dipakai disebut spektrofotometer, dan versi FTIR-nya bisa menghasilkan hasil lebih cepat dibandingkan alat biasa. **Gambar 2.6** menunjukkan bagian utama dari alat FTIR.



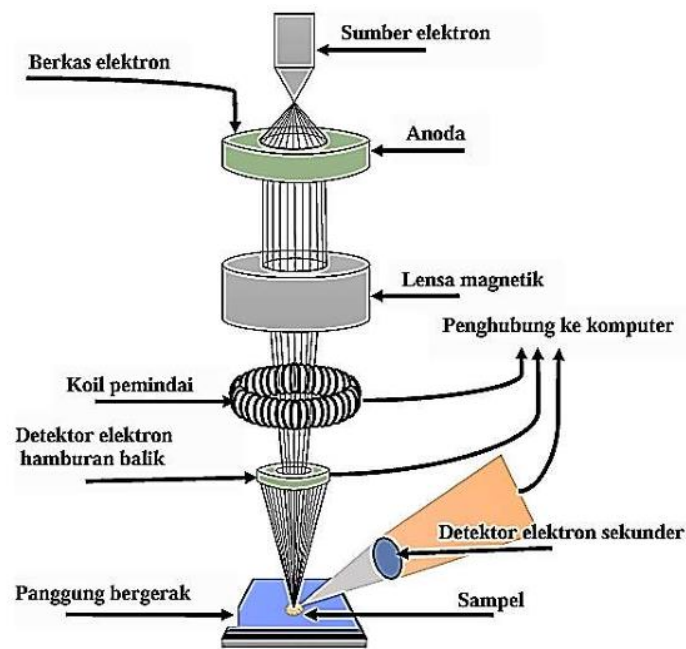
Gambar 2.6 Skema Sederhana *Fourier Transform Infrared (FT-IR)*

Instrumen FTIR menghasilkan sinar *infrared* dari sumber panas. Sinar ini masuk ke interferometer, di mana jalur sinar dipecah dan digunakan lagi, menghasilkan pola gelombang yang disebut interferogram. Setelah itu sinar masuk ke sampel, dan sampel akan menyerap energi pada frekuensi tertentu sesuai dengan ciri khasnya. Detektor mencatat sinyal ini sebagai energi terhadap waktu untuk semua frekuensi sekaligus. Selama proses ini, sinar referensi digunakan sebagai latar belakang. Terakhir, perangkat lunak akan mengurangi sinyal latar belakang agar hanya spektrum sampel yang terlihat (Mohamed *et al.*, 2017).

Spektrometri *infrared* (IR) bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu transmisi dan reflektansi. Cara transmisi digunakan untuk melihat seberapa banyak sinar IR diserap oleh sampel. Sampel bisa berupa padat, cair, atau gas, asalkan disiapkan dengan cara yang sesuai. Untuk gas dan cairan, digunakan wadah khusus (kuvet) yang terbuat dari bahan transparan terhadap sinar IR, seperti kristal KBr atau NaCl. Sampel padat bisa diukur dengan membuat tablet dari KBr/NaCl atau dicampur dalam parafin cair. Jika sampel cukup tipis dan tembus cahaya, spektrum bisa diukur langsung (Sulistiyani & Huda, 2018).

2.7.4 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah teknik karakterisasi material yang sering digunakan untuk melihat morfologi permukaan partikel hingga ukuran sangat kecil, bahkan mencapai 1 nanometer (Putama, 2018). SEM merupakan alat yang populer untuk mengukur ketebalan dan ukuran butir suatu material. SEM termasuk dalam jenis mikroskop elektron, yang bekerja dengan menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk atau permukaan suatu bahan. Prinsip kerja SEM adalah dengan menembakkan berkas elektron berenergi tinggi ke permukaan sampel, sehingga permukaannya harus bersifat konduktif. Karena itu, sampel yang tidak konduktif harus terlebih dahulu dilapisi bahan konduktif, seperti emas (Au) atau campuran emas dan platinum (Au-Pt), sebelum dianalisis (Didik, 2020). **Gambar 2.7** menunjukkan skema alat SEM.



Gambar 2.7 Prinsip kerja SEM (Ardenne, 1038).

Cara kerja SEM (*Scanning Electron Microscope*) dimulai dari tembakan elektron yang dihasilkan oleh *electron gun*. SEM memanfaatkan berkas elektron berenergi tinggi yang dipancarkan dari filamen tungsten, kemudian difokuskan oleh sistem lensa elektromagnetik hingga membentuk titik sempit dengan diameter sekitar 0,4 hingga 0,5 nanometer. ketika berkas elektron diarahkan ke permukaan sampel dalam ruang hampa, saat elektron mengenai sampel akan muncul elektron sekunder. Elektron sekunder yang dipancarkan ke segala arah kemudian ditangkap oleh *detektor secondary electron* (SE). Elektron ini dikumpulkan oleh lensa kondensor dan difokuskan menjadi titik kecil oleh lensa objektif. Sinyal tersebut diperkuat melalui amplifier dan divisualisasikan sebagai gambar dua dimensi pada monitor katoda, memperlihatkan detail permukaan sampel dengan perbesaran hingga 200.000 kali (Goldstein *et al.*, 2003). Gambar ini terdiri dari ribuan titik dengan tingkat terang yang berbeda, dan akan muncul di layar CRT, memperlihatkan bentuk permukaan sampel (Gunawan *et al.*, 2019).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 06 Januari 2025 s/d 06 Maret 2025 di *Heat Treatment* Pusat Riset Teknologi Pertambangan—Badan Riset dan Inovasi Nasional (PRTP—BRIN) Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

3.2 Alat dan Bahan

Penelitian yang dilakukan di *Heat Treatment* BRIN menggunakan alat bahan yang sudah disiapkan.

3.2.1 Alat

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 100gram, *tray*, desikator, sarung tangan, lumpang dan alu, spidol *snowman permanent* warna merah, Mesin Pres Hidrolik 12 Ton *Hydraulic Press Floor* 12t 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'Pert³Powder, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Invenio R 730, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) EDS Quattro S.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah, Batubara *Bituminous*, *coalite*, *molasses*.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari preparasi bahan, karakterisasi bahan, pembuatan kokas dan pengujian kokas.

3.3.1 Preparasi Bahan

Preparasi bahan pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Menggerus kasar bahan Batubara *Bituminous* menggunakan lumpang dan alu, lalu memasukkannya ke dalam wadah karbonisasi. Setelah itu, mengkarbonisasi batubara *bituminous* selama dua jam di dalam *furnace* pada temperatur 600°C. Setelah proses karbonisasi Batubara *Bituminous* selesai, dilanjutkan dengan mengkarbonisasi bahan baku *coalite* selama dua jam di dalam *furnace* pada temperatur yang sama.
2. Mengayak Batubara *Bituminous* yang telah dikarbonisasi di dalam *furnace* menggunakan saringan berukuran lolos 80 *mesh*, lalu menimbanginya dengan neraca analitik. Selanjutnya, peneliti mengayak *coalite* menggunakan saringan berukuran lolos 80 *mesh* dan menimbanginya menggunakan neraca analitik.

3.3.2 Karakterisasi bahan

Prosedur karakterisasi bahan pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Setelah Batubara *bituminous* dan *coalite* digerus menggunakan lumpang dan alu serta diayak dengan saringan dengan lolos 100 *mesh*.
2. Melakukan pemeriksaan terhadap batubara dan *coalite* menggunakan metode karakterisasi *X-Ray Fluorescence* (XRF), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Proses karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui komposisi unsur, struktur kristal, gugus fungsi, serta morfologi permukaan dari sampel batubara *bituminous* dan *coalite* tersebut.

3.3.3 Pembuatan Kokas

1. Memasukkan batubara *bituminous* dan *coalite* dengan perekat *molasses* perbandingan 50:50:10 yang telah dikarbonisasi ke dalam *bowl* sebagai bahan baku pembuatan kokas. **Tabel 3.1** pencampuran bahan baku sebagai berikut.

Tabel 3.1 Perbandingan Bahan Baku

No.	Bituminous (gram)	Coalite (gram)	Molasses (gram)
1.	50	50	10

2. Mengaduk campuran bahan sesuai komposisi hingga terbentuk adonan.
3. Memasukkan adonan ke dalam cetakan pipa berukuran 1 inch × 1,57 inch yang telah diolesi *vaseline* agar mudah dilepas, kemudian memadatkan adonan menggunakan tumbukan besi dan menekannya dengan mesin *press*.
4. Melepaskan kokas dari cetakan pipa ukuran 1 inch × 1,57 inch. Setelah itu, kokas diletakkan di atas *tray* kemudian dioven selama 2 jam pada temperatur 70°C.
5. Memasukkan kokas ke dalam cawan *crucible* untuk dikarbonisasi kedua kali di dalam *furnace* dengan variasi temperatur 650, 700, 750, 800, dan 850°C.

3.3.4 Analisis di Laboratorium

Dalam analisis ini, sampel kokas yang sudah di preparasi dan dikeringkan selama ± 24 jam dengan status sampel sudah siap dianalisis *proximate*, prosedurnya adalah sebagai berikut.

A. Analisis Kadar Air (*Total moisture*)

Prosedur Kerja :

1. Ambil cawan *crucible* beserta tutup cawan, kemudian timbang menggunakan neraca analitik. Rekam hasil penimbangan kesatu.
2. Tambahkan 1gram sampel kokas siap uji ke dalam cawan *crucible*. Rekam hasil penimbangan kedua.
3. Masukkan cawan *crucible* yang sudah berisi sampel kokas ke dalam oven

dengan beralaskan *tray* dengan temperatur 110°C selama 2 jam.

4. Keluarkan *tray* berisi sampel.
5. Dinginkan selama 1 jam di dalam desikator.
6. Menimbang cawan *crucible* berisi sampel kokas yang sudah di oven. Rekam hasil penimbangan ketiga.

Analisis data:

Untuk menghitung persentase air di dalam batubara menggunakan rumus

$$\%Moisture = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan :

a : Massa Sampel sebelum pemanasan

b : Sampel setelah pemanasan

B. Analisis Kadar Air Bawaan (*Inherent moisture*)

Prosedur Kerja :

1. Mengambil cawan *crucible* berisi sampel yang sudah di analisis *total moisture*.
2. Menimbang cawan *crucible* berisi sampel. Rekam Hasil penimbangan pertama.
3. Masukkan *tray* yang berisi sampel kedalam oven dengan temperatur 110°C selama 1 jam.
4. Keluarkan *tray* berisi sampel.
5. Dinginkan selama 1 jam di temperatur ruangan.
6. Timbang cawan berisi sampel. Rekam hasil penimbangan ketiga.

Analisis data:

Untuk menghitung persentase *inherent* di dalam batubara menggunakan rumus

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

Keterangan :

a : Massa Sampel sebelum pemanasan

b : Sampel setelah pemanasan

C. Analisis Kadar Zat Terbang (*Volatile matter*)

Prosedur Kerja :

1. Mengambil cawan *crucible* berisi sampel yang sudah di analisis *total moisture* dan *inherent moisture*.
2. Menimbang cawan *crucible* berisi sampel. Rekam Hasil penimbangan pertama.
3. Menaikkan temperatur *furnace* ke 850°C.
4. Masukkan cawan berisi sampel dalam keadaan tertutup yang telah diuji kadar airnya ke dalam *furnace*.
5. Karbonisasi cawan selama 7 menit di temperatur 850°C.
6. Keluarkan cawan dari *furnace*.
7. Dinginkan selama 1 jam di temperatur ruangan.
8. Timbang cawan berisi sampel. Rekam Hasil penimbangan kedua.

Analisis data:

Untuk menghitung persentase zat terbang di dalam batubara menggunakan rumus

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

Keterangan :

a : Massa Sampel sebelum pemanasan

b : Massa sampel setelah pemanasan

D. Analisis Kadar Abu (*Ash content*)

Prosedur Kerja :

1. Mengambil cawan *crucible* berisi sampel yang sudah di analisis *total moisture*, *inherent moisture*, dan *volatile matter*.
2. Menimbang cawan *crucible* berisi sampel. Rekam Hasil penimbangan pertama.
3. Menaikkan temperatur *furnace* ke 650°C.

4. Masukkan cawan berisi sampel yang telah diuji ke dalam *furnace*.
5. Karbonisasi cawan selama 2 jam di temperatur 650°C.
6. Keluarkan cawan dari *furnace*.
7. Dinginkan selama 1 jam di temperatur ruangan.
8. Timbang cawan berisi sampel. Rekam Hasil penimbangan kedua.

Analisis data:

Untuk menghitung persentase abu di dalam batubara menggunakan rumus

$$\%Ash = \frac{b-a}{c} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan :

a : Berat cawan+tutup

b : Berat cawan berisi sampel setelah pemanasan

c : Massa sampel sebelum pemanasan

E. Analisis Karbon Tetap (*Fixed carbon*)

Menghitung *fixed carbon* dengan cara mengambil 100% sampel kemudian dikurangkan dengan hasil persentase kadar air, zat terbang dan abu. Atau dengan rumus sebagai berikut :

$$FC = 100\% - (\%Kadar Air + \%Volatile Matter + \%sh Content) \quad (5)$$

F. Analisis Nilai Kalor (*Calorific Value*)

Menghitung nilai kalor dengan cara memasukan nilai volatile matter dan fixed carbon kemudian diubah menjadi Kcal/Kg.

Diketahui 1 MJ/Kg = 238,8458966 Atau dengan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} HHV &= (0,1905 \times \%volatile) + (0,2521 \times \%fixed carbon) \\ &= Hasil \times 238,8458966 \end{aligned} \quad (6)$$

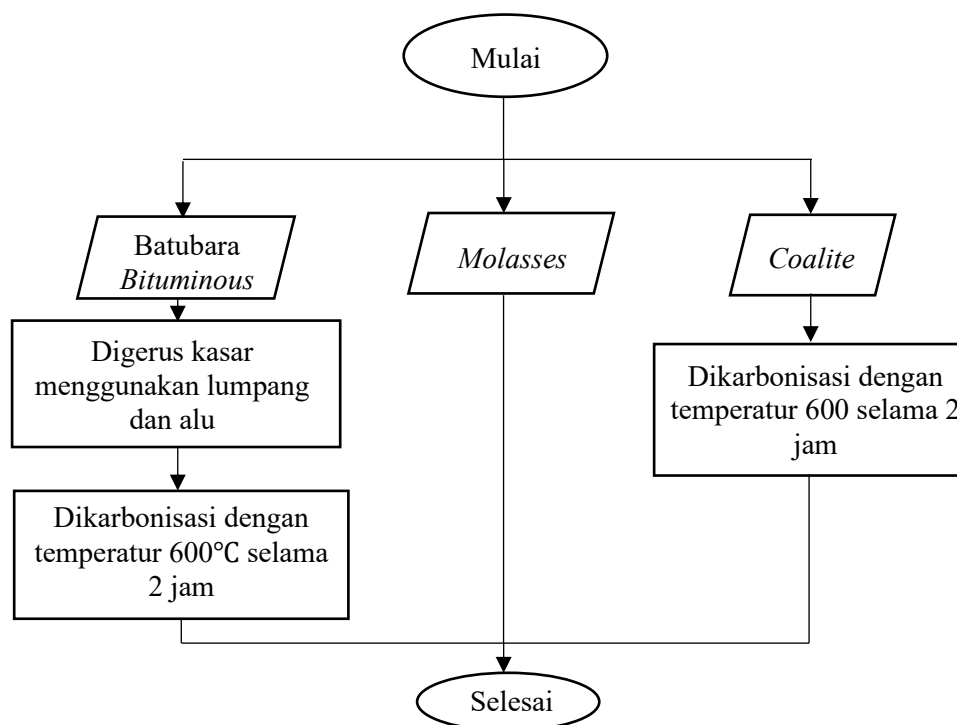
3.4 Karakterisasi Produk

Dilakukan pengamatan pada tiga sampel kokas Batubara *Bituminous* dengan *Coalite* variasi temperatur karbonisasi. Dilakukan uji *proximate* untuk mencari *total moisture*, *inherent moisture*, *volatile matter*, dan *ash content* dengan tujuan melihat *fixed carbon* terendah, sedang, tertinggi. Pengamatan data XRD bertujuan melihat struktur kristal dalam kokas Batubara. Pengamatan analisis XRF bertujuan untuk menentukan komposisi kimia dari kokas Batubara. XRF terkadang dapat digunakan untuk menentukan ketebalan dan komposisi lapisan dan pelapis. Pengamatan SEM bertujuan untuk mengkaji struktur morfologi permukaan dan *cross section* suatu bahan dengan perbesaran hingga 50.000 kali.

3.5 Diagram Alir

Secara garis besar, tahapan yang dilakukan pada penelitian ini disajikan dalam diagram alir pada **Gambar 3.1**, **3.2**, dan **3.3**.

3.5.1 Diagram Alir Preparasi Bahan

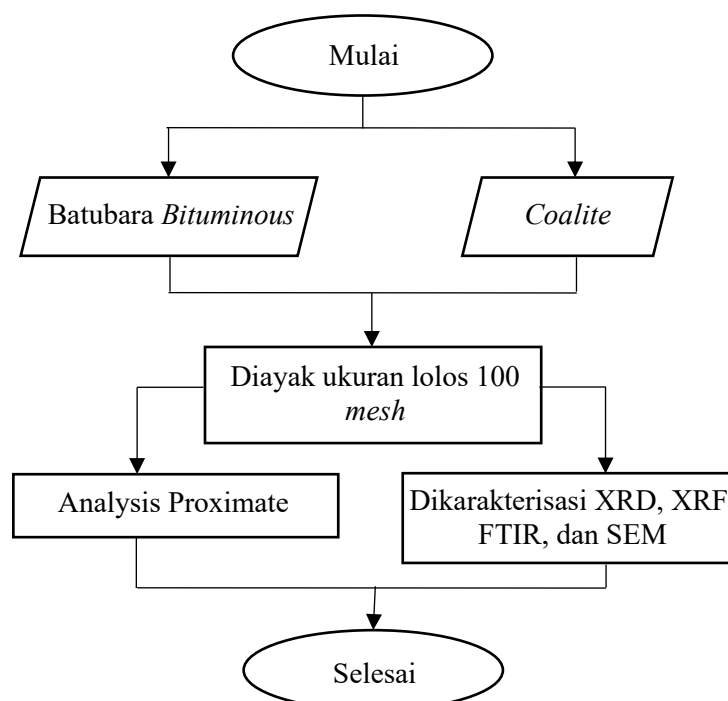


Gambar 3.1 Diagram Alir Preparasi Bahan

Berdasarkan **Gambar 3.1** diatas dijelaskan bahwa batubara *Bituminous* digerus kasar menggunakan lumpang dan alu untuk memperkecil ukuran partikelnya sehingga lebih mudah diproses lebih lanjut. Setelah proses penggerusan, material tersebut dikarbonisasi dalam *furnace* pada temperatur 600°C selama dua jam. Setelah itu, *coalite* dikarbonisasi dalam *furnace* pada temperatur 600°C selama dua jam. Proses karbonisasi ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan *volatile* serta meningkatkan kadar karbon tetap dalam material, sehingga menghasilkan residu padat berupa karbon yang lebih murni. Temperatur dan waktu pemanasan yang dikontrol dengan baik sangat penting untuk memastikan hasil karbonisasi optimal.

3.5.2 Diagram Alir Karakterisasi Bahan Baku

Berdasarkan **Gambar 3.2** diatas dijelaskan karakterisasi bahan baku, batubara *Bituminous* dan *coalite* terlebih dahulu mengalami proses pengayakan untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam, yaitu lolos ayakan 100 *mesh*. Proses ini bertujuan untuk memastikan ukuran sampel sebelum dilakukan analisis lebih lanjut.

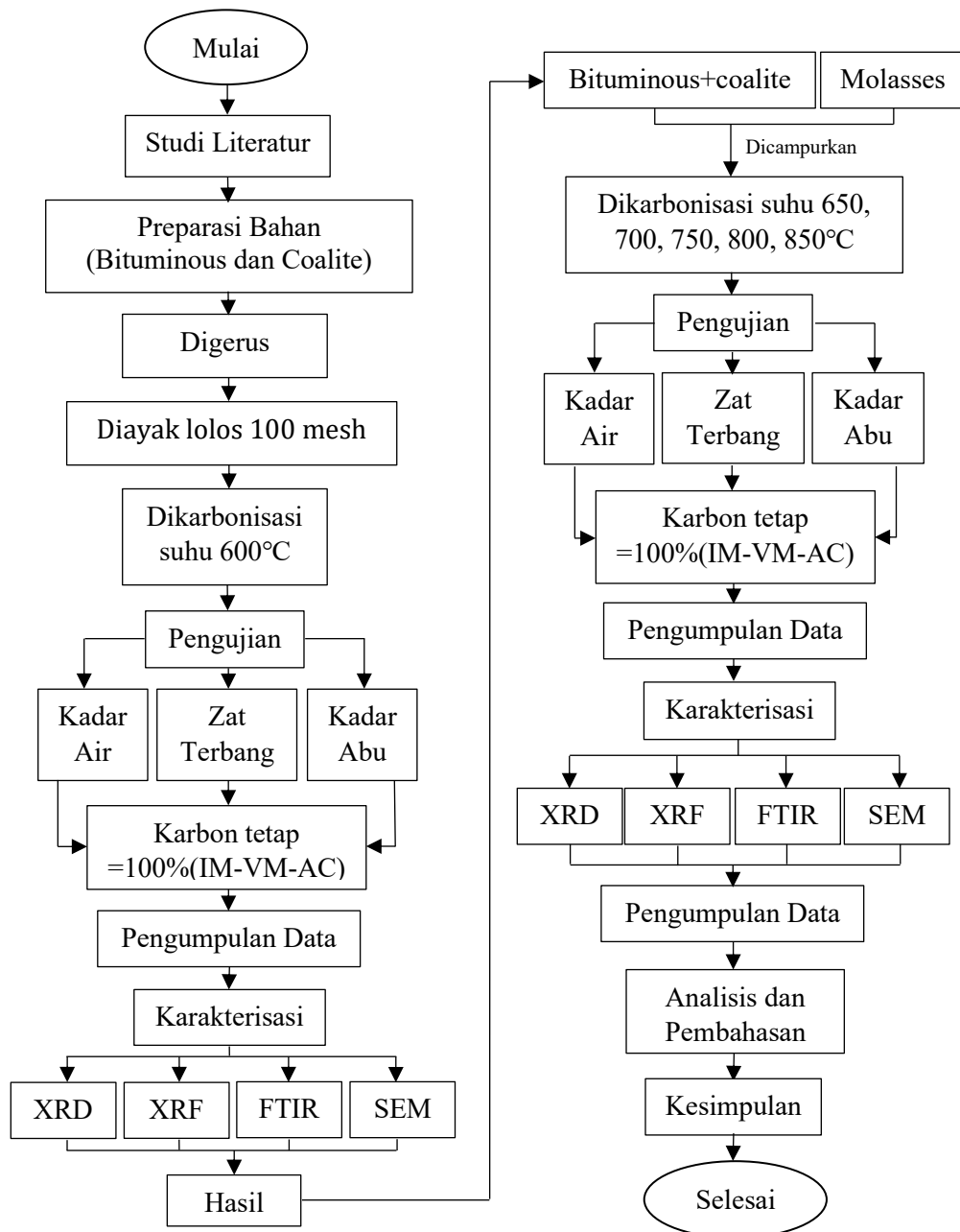


Gambar 3.2 Diagram Alir Karakterisasi Bahan Baku

Setelah diperoleh ukuran lolos 100 mesh, kedua jenis batubara tersebut kemudian dikarakterisasi menggunakan dua metode utama, yaitu *X-Ray Diffraction* (XRD)

dan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Karakterisasi XRD digunakan untuk mengidentifikasi fase kristal dan struktur mineral yang terkandung dalam sampel, sedangkan analisis XRF digunakan untuk menentukan komposisi unsur kimia. Kombinasi dari kedua teknik ini memberikan informasi yang menyeluruh mengenai sifat fisis dan kimia dari batubara *Bituminous* dan *coalite* sebagai bahan baku.

3.5.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

3.6 Pelaksanaan

Kokas yang memiliki nilai *fixed carbon* tertinggi, *fixed carbon* sedang dan *fixed carbon* terendah dikarakterisasi menggunakan mesin *X-Ray Fluorescence* (XRF) Bruker S8 Tiger, *X-Ray Diffraction* (XRD) menggunakan mesin *X-Ray Diffraction* (XRD) X'Pert³Powder, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) menggunakan mesin *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Invenio R 730, dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menggunakan mesin *Scanning Electron Microscopy* (SEM) EDS Quattro S.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bahan pembuatan kokas dengan kadar residu rendah menghasilkan nilai kalor yang rendah, sehingga kurang efektif untuk dijadikan kokas batubara. Dalam penelitian ini, *coalite* yang memiliki residu rendah juga tidak mampu meningkatkan nilai kalor, sehingga dianggap kurang cocok sebagai bahan baku kokas batubara.
2. Nilai kalor yang dihasilkan tetap tidak banyak meningkat meskipun sudah dicampur dengan batubara *bituminous* yang memiliki kalor tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa batubara kualitas rendah tidak memiliki cukup bahan mudah terbakar dan struktur yang baik untuk menghasilkan kokas dengan sifat panas yang maksimal.
3. Dari hasil uji proksimat, didapat bahwa *coalite* memiliki abu yang tinggi dibandingkan *bituminous*, dan nilai *volatile* yang rendah. Pengaruh dari *volatile* yang rendah menghasilkan *volatile* kokas yang naik turun dan hasil tersebut berpengaruh pada nilai kalor yang naik turun juga.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk membuat kokas yang lebih baik perlu diperhatikan suhu saat karbonisasi, dan waktu tahan selama proses terjadi. Agar pengaruh suhu yang dihasilkan dapat terlihat.
2. Penambahan batubara menggunakan peringkat tertinggi, untuk melihat hasil perbandingan nilai kalor yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, P, S., & Kurniawati, R. 2022. Optimization of Coal Quality Improvement Using the Flotation Method. *Indonesian Mining and Energy Journal*, Vol. 5 No. 1, pp 45-49.
- Aljarwi, M, A., Dwi, P., dan Sukainil, A. 2020. Uji Laju Pembakaran dan Nilai Kalor Briket Wafer Sekam Padi Dengan Variasi Tekanan. *Jurnal Hasil Kajian, Inovasi, dan Aplikasi Pendidikan Fisika*. Vol. 6 No. 2. e-ISSN : 2614-7017.
- Amriansyah, M, A and Sihombing, F, M, H. 2020. 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. *Earth and Environmental Science*. Vol. 830. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/830/1/012044>
- Arango, L, C., Juan, M, M, A., and Adriana, O, C. 2021. Particle Size Distribution Models for Metallurgical Coke Grinding Products. *Journal Metals*. Vol. 11 No. 8. <https://doi.org/10.3390/met11081288>
- Ardanti WR, Asmi D, Dahlia. 2020. Pengaruh Waktu Pengeringan Sampel Batubara Terhadap Nilai *Inherent moisture* dan Nilai Kalor Batubara. *Artikel Riset*. <https://doi.org/10.22146/j.v24i3.57613>
- Ardenne, V, M. 1938. Das Elektronen-Rastermikroskop: Theoretische Grundlagen. *Zeitschrift für Physik*. Vol. 109. No. 9. Hal 553-572.
- Balachandran, M. 2014. Role of Infrared Spectroscopy in Coal Analysis-An Investigation. *American Journal of Analytical Chemistry*. Vol. 5. <http://dx.doi.org/10.4236/ajac.2014.56044>
- 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.
- Basu, P. 2018. *Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: practical design and theory*. Academic press.

- Boylu, F., Dincer, H., Atesok, G. 2004. Effect of coal particle size distribution, volume fraction and rank on the rheology of coal–water slurries. *Journal Fuel Processing Technology*. Vol 85, pp 241-250. [https://doi.org/10.1016/S0378-3820\(03\)00198-X](https://doi.org/10.1016/S0378-3820(03)00198-X)
- Budi Gunawan, C. D. A. 2019. Karakterisasi Spektrofotometri IR dan Scanning Electron Microscopy (SEM) Sensor Gas dari Bahan Polimer Poly Ethelyn Glycol. *Sustainability*. Vol. 11 No. 1, pp 1-14. <http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0http://dx.doi.org/10.1016/j.regsci> u.
- Cahyadi. 2015. *Superkritikal yang Efisien Balai Besar Teknologi Energi Press*.
- Callister, J. W. D., Rethwisch, D.G. 2009. *Materials Science and Engineering an Introduction 8Th*. John Wiley & Sons.
- Cheng, R., Liao, X., Addou, A. M., Qian, J., Wang, S., Cheng, Z., & Huang, J. 2021. Effects of “nine steaming nine sun-drying” on *proximate* composition, oil properties and *volatile* compounds of black sesame seeds. *Food Chemistry* 344, 128577.
- Cheng, Y., Haina, J., Xiaolei, Z., Jiaqing, C., Cheng, S., Xuanliang, L. 2017. Effects of coal rank on physicochemical properties of coal and on methane adsorption. *Journal Coal Sci Technol*. Vol. 4 No. 2. <https://doi.org/10.1007/s40789-017-0161-6>
- Didik, L. A. 2020. Penentuan Ukuran Butir Kristal Cucr0,98ni0,02o2 Dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (Xrd) dan Scanning Electron Microscope (Sem). *Indonesian Physical Review*. Vol. 3 No. 1, pp 6–14. <https://doi.org/10.29303/ipr.v3i1.37>
- Donahue, C, J., and Elizabeth, A, R. 2009. *Proximate Analysis of Coal*. *Journal of Chemical Education*. Vol. 86 No. 2. <https://doi.org10.1021ed086p222>.
- Erik, N. Y., & Sancar, S. 2010. Relationships between coal-quality and organic-geochemical parameters: A case study of the Hafik coal deposits (Sivas Basin, Turkey). *International Journal of Coal Geology*, Vol. 83 No. 4, pp 396-414. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2010.05.007>
- Fajarwati, D, A., Piter, L., dan Wahidah. 2023. Analisis Proksimat dan Ultimat Terhadap Total Sulfur dan Nilai Kalori pada Batubara (PT Geoservices Samarinda). *Jurnal Geosains Kutai Basin*. Vol. 6 No. 2. E-ISSN 2615-5176.
- Fatimah Mardan, E., and I U, A. R. 2019. Analysis The Effect of Additive Materials Addition on Wood Briquette Towards Heat Energy. *Journal Proceeding of Engineering*. ISSN: 2355-9365.

- Ferrati, M. 2014. The Investigation of Ancient Metal Artefacts by Portable Xray Fluorescence Devices. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. Institute for Technologies Applied to Cultural Heritage. Italy.
- F.M. Adebisi, O.I. Asubiojo, T.R. Ajayi, and E.I. Obiajunwa. 2005. Trace element and physico-chemical characteristic of sand and water fractions of Nigerian bituminous sands, *Chem. Ecol.* Vol. 21 No. 5, pp. 369-380. <https://doi.org/10.7569/JSEE.2012.629511>
- Galaraga, R. D., Rhenals-Julio, J. D., Sofan-German, S., Mendoza, J. M., & Bula-Silvera, A. 2024. Proximate analysis in biomass: Standards, applications and key characteristics. *Results in Chemistry*. Vol. 12. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101886>
- Grigore, M. 2022. Thermal behavior of low-volatile carbon materials in oxidative conditions. *Journal Fuel*, 315, 123069.
- Guntarti, A., & Prativi, S. R. 2017. Application method of Fourier Transform Infrared (FTIR) combined with chemometrics for analysis of rat meat (Rattus Diardi) in meatballs beef. *Pharmaciana*, Vol 7 No. 2, pp 133. <https://doi.org/10.12928/pharmaciana.v7i2.4247>
- Gupta, A.K. 2014. Total Reflection X-Ray Fluorescence Spectroscopy Working Principles. *Journal Internasional of Core Engineering & Manegement (IJCEM)*. Vol. 1 No. 5. Hal. 36-55.
- Hasan, E. S., Jahiding, M., Ilmawati, W. O. S., Wati, W., & Sudiana, I. N. 2017. Proximate and the calorific value analysis of brown coal for high-kalore hybrid briquette application. In *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 846 No. 1, pp 012-022).
- Haqiqie, A, R., Ahmad, H., Rodiyah, N. 2024. Penentuan Kualitas Batubara Dengan Menggunakan Analisis Proksimat Di PT Bukit Asam Tbk Site Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Journal of Applied Science Engineering*. Vol. 2 No. 1. <https://journal.alshobar.or.id/index.php/pondasi>.
- Hays, D., John, W., Patrick, and Alan, W. 1983. SEM Characterization of Cokes and Carbon. *Journal Fuel*. Vol. 62.
- He, L, H., Ma, Y., Changtao, Y., Jianxun, W., and Shuyuan, L. 2020. Kinetic modeling of Kukersite oil shale pyrolysis with thermal bitumen as an intermediate. *Journal Fuel*. Vol. 279 No. 1. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118371>
- Hitijahubessy, H. 2019. Analysis of Quality of Activated Carbon (Myristica Fragrans) Shell as Adsorptive Agent. *Rumphius Pattimura Biological Journal*. Vol. 1 No. 2.

- Ibarra, J. V., Munoz, E., and Rafael, M. 1996. FTIR study of the evolution of coal structure during the coalification process. *Journal Geochem.* Vol. 24 No. 6.
- Jamaluddin, K. 2010. *X-Ray Diffraction. Makalah Fisika Material.* Universitas Haluoleo. Kendari.
- Jaya, D., Syahri, M., Sugondo, E., & Nurindahsari, Y. 2016. Pemanfaatan CPO (*Crude Palm Oil*) Untuk Desulfurisasi Pada Batubara Menggunakan Metode Flotasi. *Jurnal Eksergi.* Vol. 13 No. 2. ISSN: 1410-394X.
- Jiang, J., Shuo, Z., Phil, L., Weihua, Y., and Shaojie, Z. 2021. Molecular structure characterization of *bituminous* coal in Northern China via XRD, Raman and FTIR spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy.* <https://doi.org/10.1016/j.saa.2021.119724>.
- Kadir, R. A., & Widodo, S. 2016. Analisis *Proximate* Terhadap Kualitas Batubara Di Kecamatan Tanah Grogot Kabupaten Paser Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Geomine.* Vol. 4 No.3.
- Kavak, O., & Toprak, S. (2012). Organic Geochemical and Petrographical Characteristics of Karlio Teristics of Karliova Halifan (Bingol) Co An (Bingol) Coals. In *Bulletin of the Mineral Research and Exploration.* Vol. 2012 No. 144, pp 23-50.
- Kusdarini, E., Budianto, A., & Ghafarunnisa, D. 2017. Produksi Karbon Aktif dari Batubara Bituminus dengan Aktivasi Tunggal H₃po₄, Kombinasi H₃po₄-Nh₄hco₃, dan Termal. *Jurnal Reaktor,* Vol. 17 No. 2, pp 74-80. <https://doi.org/10.14710/reaktor.17.2.74-80>
- Kottler, F. 1950. The Distribution of Particle Sizes. *Journal of the Franklin Institute.* Vol. 250 No. 5, pp 419-441. [https://doi.org/10.1016/0016-0032\(50\)90585-0](https://doi.org/10.1016/0016-0032(50)90585-0)
- Li, X., Yiwen, J., Yu, S., Zhifeng, Y., and Qiangguang, L. 2022. Particle Size and Internal Structure of Deformed Coal: Microstructure and Adsorption/Desorption Characteristics of CO₂ and CH₄. *Journal Frontiers in Earth Science.* Vol. 10. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.876196>.
- López-Cano, I., Cayuela, M. L., Mondini, C., Takaya, C. A., Ross, A. B., & Sánchez-Monedero, M. A. 2018. Suitability of different agricultural and urban organic wastes as feedstocks for the production of biochar-Part 1: Physicochemical characterisation. *Sustainability,* Vol. 10 No. 7.
- Mahapatra, D. 2016. A review on steam coal analysis-kalorific value. *American International Journal of Research in Science, Technology, Engineering & Mathematics,* Vol. 14 No. 1, pp 57-68.
- Mohamed, M. A., Jaafar, J., Ismail, A. F., Othman, M. H. D., & Rahman, M. A. 2017. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. In *Membrane*

Characterization. *Elsevier B.V.* <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63776-5.00001-2>

Mukti, K. 2012. Fabrikasi dan Karakterisasi XRD (X-Ray Diffractometer). *Makalah*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

Mohanty, A., Chakladar, S., Mallick, S., and Chakravarty, S. 2019. Structural characterization of coking component of an Indian coking coal. *Fuel*. Vol. 249, pp 411-417. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.03.108>

Nukman, Riman, S., Irsyadi, Y., and Taufik, A. 2014. The Blending Effect of *Coalite*, Coconut Shell Charcoal and Gelam Wood Charcoal on *Calorific Value*. *American Journal of Applied Sciences*. Vol. 11 No. 5. ISSN: 1546-9239.

Nurmayanti, Djayus, Suprianto, dan Adrianus, I, N. 2021. Pengaruh *Inherent Moisture* Terhadap Nilai Kandungan Kalori Pada Batubara Kaltim (Studi Kasus Data Im dan Data Kalori Tahun 2019 di PT. Geoservices Samarinda). *Jurnal Geosains Kutai Basin*. Vol. 4 No. 2. E-ISSN 2615-5176.

Pandey, R, A., Kumaran, P., and Parhad, N, M. 1989. Wastewater Characteristics of Process of Coal. *Journal of Environmental Science and Health*. Vol. 24 No 6. <https://doi.org/10.1080/10934528909375506>

Pari, G., Diah, T, W., dan Masato, Y. 2009. Mutu Arang Aktif Dari Serbuk Gergaji Kayu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. Vol. 27 No. 4, <https://doi.org/10.20886jphh.2009.27.4.381-398>

Parker, T., Zhang, D., Bugallo, D., Shevcuk, K., Downes, M., Valurouthu, G., Inman, A., Chacon, B., Zhang, T., Shuck, C, E., Hu, Y, J., and Gogotsi, Y. 2024. Fourier-Transform Infrared Spectral Library of MXenes. *Journal Chem Mater*. Vol. 36 No. 17, pp 8437–8446. doi: [10.1021/acs.chemmater.4c01536](https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.4c01536)

Patel, M., Zhang, X., & Kumar, A. 2016. Techno-economic and life cycle assessment on lignocellulosic biomass thermochemical conversion technologies: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1486-1499.

Poly, A., dan Sinardi. 2025. Penentuan Karakteristik Batubara Menggunakan Metode General Analysis (*Inherent Moisture, Ash Content, Volatilele Matter*), Phosphorus Metode Gb dan *Ash Analysis* Menggunakan Alat ICP. *Journal of Sciencetech Research and Development*. Vol. 7 No 1. E-ISSN: 2715-5846. <http://idm.or.id/JSCR>.

Povarov, V, G., Tatyana, N, K., Maria, A, S., and Viacheslav, A, R. 2021. Quantitative Determination of Trace Heavy Metals and Selected Rock-Forming Elements in Porous *Carbon* Materials by the *Fourier Transform Infrared* Method. *Journal American Chemical Society*. Vol. 6, pp 24595-24601. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c03217>.

- Putama Mursal, I. L. (2018). Karakterisasi Xrd Dan Sem Pada Material Nanopartikel Serta Peran Material Nanopartikel Dalam Drug Delivery System. *Pharma Xplore: Jurnal Ilmiah Farmasi*, Vol. 3 No. 2, pp 214–221. <https://doi.org/10.36805/farmasi.v3i2.491>
- Qian, K., Kumar, A., Zhang, H., Bellmer, D., & Huhnke, R. 2015. Recent advances in utilization of biochar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 42, pp 1055-1064.
- Rizwan, M., Ali, S., Qayyum, M. F., Ibrahim, M., Zia-ur-Rehman, M., Abbas, T., & Ok, Y. S. 2016. Mechanisms of biochar-mediated alleviation of toxicity of trace elements in plants: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 23, pp 2230-2248.
- Rumbino, Y. 2006. Pengaruh Maseral Terhadap Nilai Fsi Dan Dilatometer Pada Batubara Semisoft Coking. *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM)*, Vol. 5, pp 21-23.
- Sadangi dan Rudra. 2024. Prediction and policy: Do empirical gross *calorific* value prediction help reduce coal testing overload?. *Journal Exploration and Exploitation*. Vol. 43 No. 1. <https://doi.org/10.1177/01445987241284111>
- Samosir, A., & Suliantoro, H. 2024. Evaluasi Efektivitas dalam Produksi Kokas dengan Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) Studi Kasus: Coke Oven Plant PT Krakatau Steel (Persero) Tbk). *Industrial Engineering Online Journal*, Vol. 13.
- Salomon, P, R. 1980. Relation between coal aromatic *carbon* concentration and *proximate* analysis *fixed carbon*. *Journal Fuel*. Vol. 60 No. 1. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(81\)90023-5](https://doi.org/10.1016/0016-2361(81)90023-5).
- Sepfitrah. (2016). Analisis *Proximate* Hasil Tambang di Riau (Studi Kasus Logas, Selensen dan Pangkalan Lesung). *Jurnal Sainstek STT Pekanbaru*, Vol. 4 No. 1, pp 18-26.
- Setiabudi, A., Rifan, H., dan Ahmad, M. 2012. *Karakterisasi Material; Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. UPI PRESS. Bandung. ISBN: 979978435-2
- Sharma, A, K., Das, B, P., Tripathi, P, S, M. 2002. Influence of properties of *bituminous* binders on the strength of formed coke. *Journal Fuel Processing Technology*. Vol. 75, pp 201-214.
- Smith, B, C. 2017. *Spectroscopy Solution for Materials Analysis*. UBM. US
- Socrates, G. 2001. *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies: Tables and Charts*.

- Solihin. 2004. Kaian pengaruh distribusi ukuran butir terhadap kualitas daya serap karbon aktif yang dibuat dari Batubara terkabornisasi (*coalite*) P.T. Bukit Asam, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Ethos*, Vol. 11, pp 155-164.
- Speight, J.G. 2013. *The Chemistry and Technology of Coal*. CRC Press.
- Speight, J. G. 2017. Industrial organic chemistry. *Environmental Organic Chemistry for Engineers*, pp 87-151.
- St Warne, S. J. 1991. *Proximate analysis of coal, oil shale, low quality fossil fuels and thermogravimetry related materials. analytical chemistry*, Vol. 10 No. 6, [https://doi.org/10.1016/0165-9936\(91\)85021-1](https://doi.org/10.1016/0165-9936(91)85021-1)
- Suárez-Ruiz, I., Diez, M. A., & Rubiera, F. 2019. *Coal*. In New Trends in Coal Conversion. Woodhead Publishing.
- Sukandarrumidi. 1995. Batubara dan Gambut. Yogyakarta: *Gadjah Mada University Press*. ISBN: 979-420-359-9.
- Sugiarto, W., Daniswaro, C., Listiyani, R., A., Budiadi, E. 2023. Analisis Proksimat dan Peringkat Batubara Formasi Sinjin di Daerah Siduung Kecamatan Segah, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. *Jurnal Ilmiah Geologi PANGEA*, Vol. 10 No. 1 <https://doi.org/10.31315/jigp.v10i1.10004>
- Sulistiyani, M., & Huda, N. (2018). Perbandingan Metode Transmisi dan Reflektansi Pada Pengukuran Polistirena Menggunakan Instrumentasi Spektroskopi Fourier Transform InfraRed. *Indonesian Journal of Chemical Science*, Vol. 7 No. 2, pp 195–198.
- Suriyanarayanan, N., Nithin, K, V, K., Bernardo, E. 2009. Mullite Glass Ceramics Production from Coal Ash and Alumina by High Temperature Plasma. *Journal of Non-Oxide Glasses*. Vol. 1 No. 4, pp 247-260.
- Sutcu, E.C., and Karayigit, A.I., 2015, Mineral *matter*, major and trace element *content* of the Afşin-Elbistan coals, Kahramanmaraş, Turkey, *Int. J. Coal Geol*, pp144-145, 111-129. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2015.04.007>
- Toprak, S. 2013. Petrographical Properties of a semi-precious coaly stone, oltu stone, from eastern Turkey. *International Journal of Coal Geology*, Vol. 120, pp 95-101.
- Varkolu, M., Sreedhar, G., Omvesh., Venkata, C, S, P., Pankaj, K., Satyajit, B., and Thallada V. 2025. Recent Advances in Biochar Production, Characterization, and Environmental Applications. *Catalysts*. Vol. 15. <https://doi.org/10.3390/catal15030243>.
- Wang, J., and Wang, S. 2019. Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 227, pp 1002- 1022.

- Wang, M., Zhenggen, L., Mansheng, C., Quan, S., Jue, T., Dong, H., and Laigeng, C. 2021. Influence of Temperature and CO₂ on High-Temperature Behavior and Microstructure of Metallurgical Coke. *Journal American Chemical Society*. Vol. 6, pp 19569–19577. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c01675>
- Wardani, S, J., Mohammad, F., dan Hary, S. 2024. Pengaruh Kondisi Pirolisis terhadap Penurunan Kandungan *Volatile Matter* pada Batubara Kualitas Rendah. *Jurnal Sosial dan Teknologi (SOSTECH)*, Vol. 4 No. 8. e-ISSN 2774-5155.
- Wewerka, E, M., Williams, J, M., and Vanderbogh, N, E. 1978. Contaminants in coals and coal residues. *Energy and the Environment*.
- Wicita, P. S. 2016. *X Ray Diffraction (XRD)-Kristalografi Sinar X*. Makalah. Universitas Padjajaran. Bandung.
- W. L. Bragg, “The Diffraction of Short Electromagnetic Waves by a Crystal,” *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 17, 43–57 (1913).
- Wu, Y., Yulong, Z., Jie, W., Xiaoyu, Z., Junfeng, W., and Chunshan, Z. 2020. Study on the Effect of Extraneous *Moisture* on the Spontaneous Combustion of Coal and Its Mechanism of Action. *Journal Energies*. Vol. 13 No. 8. <https://doi.org/10.3390/en13081969>
- Yu, D., Minghou, X., Jiancai, S., Xiaowei, L., Yun, Y., and Qian, C. 2005. Effect of coal particle size on the *proximate* composition and combustion properties. *Journal Thermochimica Acta*. Vol. 439, pp 103-109. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2005.09.005>
- Yustanti, E. 2012. Pencampuran Batubara Coking Dengan Batubara Lignite Hasil Karbonisasi Sebagai Bahan Pembuatan Kokas. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, Vol. 15 No. 15. ISSN 1410-9565.
- Zhang, W., Shuguang, J., Kai, W., Lanyun, W., Yongliang, X., Xhengyan, W., Hao, S., Yunhang, W., and Menglu, M. 2015. Thermogravimetric Dynamics and FTIR Analysis on Oxidation Properties of Low-Rank Coal at Low and Moderate Temperatures. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*. Vol. 35, pp 39-50. <http://dx.doi.org/10.1080/19392699.2013.873421>
- Zhang *et al.* 2013. *Fuel Processing Technology*, Vol. 106, pp 645-651. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.09.024>.
- Zhang, G, K., Rayka, K, V., Natasha, G, V, B. 2020. Heat integration of two-stage autothermal thermophilic aerobic digestion system for reducing the impact of uncertainty. *Journal Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118329>