

**SKRIPSI**

**ANALISIS *MINERAL MATTER* DAN KUALITAS BATUBARA  
KECAMATAN MONCONGLOE, KABUPATEN MAROS,  
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**A. MUHAMMAD DJUNAEDI  
D111 17 1512**

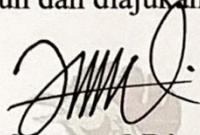


**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**ANALISIS *MINERAL MATTER* DAN KUALITAS BATUBARA  
KECAMATAN MONCONGLOE, KABUPATEN MAROS,  
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh

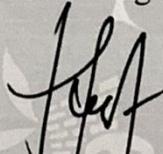


**A. Muhammad Djunaedi  
NIM. D111171512**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 13 Oktober 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

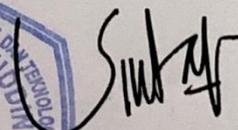
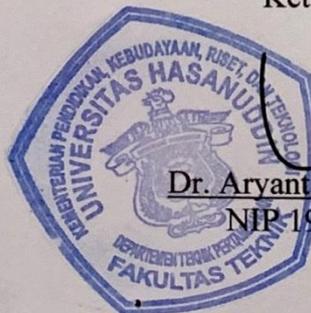
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Sufriadin, ST., MT.  
NIP 196608172000121001

Ketua Program Studi,



Dr. Aryanti Virtanti Anas, ST., MT.  
NIP 197010052008012026

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini;

Nama : A. Muhammad Djunaedi  
NIM : D111171512  
Program Studi : Teknik Pertambangan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

*Analisis Mineral Matter* dan Kualitas Batubara Kecamatan Moncongloe, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan.

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 13 Oktober 2023



A. Muhammad Djunaedi  
D111171512

## ABSTRAK

**A. MUHAMMAD DJUNAEDI.** *Analisis Mineral Matter dan Kualitas Batubara Kecamatan Moncongloe, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan.* (dibimbing oleh Dr. Ir. Sufriadin, ST., MT.)

Penelitian ini mencoba untuk menyelidiki karakteristik dan kualitas dari batubara Moncongloe yang terletak pada Kecamatan Moncongloe, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis keterdapatannya *mineral matter*, menentukan kualitas batubara, serta menentukan *rank*. Saat ini diketahui belum ada penelitian mengenai batubara Moncongloe yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Analisis sampel yang dilakukan terdiri dari analisis *X-Ray Diffraction* (XRD), analisis mikroskopis, analisis proksimat, analisis total sulfur, dan analisis nilai kalori. Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) dan mikroskopis digunakan untuk mengetahui komposisi mineral dalam batubara, sedangkan analisis proksimat, analisis total sulfur, dan analisis nilai kalori digunakan untuk mengetahui kualitas batubara Moncongloe. Berdasarkan hasil analisis *mineral matter* batubara Moncongloe dengan menggunakan metode mikroskopis dan *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa mineral yang dijumpai berupa kaolinit (Kln), Monmorillonit (Mmt), pirit (Py), kuarsa (Qz), dan kalsit (Cal). Hasil analisis kualitas batubara Moncongloe menunjukkan kadar air (*inherent moisture*) 21,72%, kadar abu (*ash*) 7,28%, *volatile matter* 36,25%, dan karbon tetap (*fixed carbon*) 34,73%. Hasil analisis total sulfur memiliki nilai 0,901%, dan batubara Moncongloe memiliki nilai kalori 3.647 kal/gr yang berarti dapat diklasifikasikan sebagai batubara kalori kategori rendah. Penentuan *rank* batubara Moncongloe didasarkan pada hasil analisis nilai kalori batubara yaitu 3.647 kal/gr, sehingga batubara Moncongloe tergolong peringkat rendah (*Lignite A*).

Kata Kunci: Batubara Moncongloe; *mineral matter*; kualitas batubara; *rank*; *Lignite A*.

## ***ABSTRACT***

**A. MUHAMMAD DJUNAEDI.** Analysis of Mineral Matter and Coal Quality in Moncongloe District, Maros Regency, South Sulawesi Province. (supervised by Dr. Ir. Sufriadin, ST., MT.)

This research tries to investigate the characteristics and quality of Moncongloe coal located in Moncongloe District, Maros Regency, South Sulawesi Province. This research was conducted by analyzing the availability of mineral matter, determining the quality of the coal, and determining the rank. Currently it is known that there has been no research on Moncongloe coal conducted by previous researchers. The sample analysis carried out consisted of X-Ray Diffraction (XRD) analysis, microscopic analysis, proximate analysis, total sulfur analysis and calorific value analysis. X-Ray Diffraction (XRD) and microscopic analysis are used to determine the mineral composition in coal, while proximate analysis, total sulfur analysis, and calorific value analysis are used to determine the quality of Moncongloe coal. Based on the results of the analysis of the Moncongloe coal mineral matter using microscopic methods and X-Ray Diffraction (XRD), it shows that the minerals found are kaolinite (Kln), Monmorillonite (Mmt), pyrite (Py), quartz (Qz), and calcite (Cal) . The results of the Moncongloe coal quality analysis show an inherent moisture content of 21.72%, ash content of 7.28%, volatile matter of 36.25%, and fixed carbon of 34.73%. The results of the total sulfur analysis have a value of 0.901%, and Moncongloe coal has a calorific value of 3,647 cal/g, which means it can be classified as low calorie coal. Determining the rank of Moncongloe coal is based on the results of an analysis of the calorific value of coal, namely 3,647 cal/gr, so that Moncongloe coal is classified as low rank (Lignite A).

*Keywords: Moncongloe Coal; mineral matter; coal quality; rank; Lignite A.*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
<i>ABSTRACT</i> .....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Tahapan Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Batubara.....	5
2.2 Klasifikasi Batubara.....	8
2.3 Parameter Kualitas Batubara.....	9
2.4 <i>Mineral Matter</i> pada Batubara.....	12
2.5 Sulfur dalam Batubara.....	15
BAB III METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Lokasi Penelitian.....	18
3.2 Pengambilan Sampel.....	19
3.3 Preparasi Sampel.....	20
3.4 Analisis Sampel.....	24
3.5 Bagan Alir Penelitian.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Hasil Analisis <i>Mineral Matter</i> Batubara.....	33
4.2 Analisis Kualitas Batubara.....	38
4.3 Hasil Analisis Kualitas Batubara.....	43
4.4 Potensi Pemanfaatan Batubara Moncongloe.....	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA.....	48

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Ilustrasi proses pembatubaraan (Flores, 2014).....	6
Gambar 2 Difraktogram sampel batubara Desa Kadingeh (Avicenna dkk, 2019) .....	14
Gambar 3 Kenampakan mikroskopis batubara Desa Kadingeh (Avicenna dkk, 2019) ....	15
Gambar 4 Peta lokasi pengambilan sampel .....	18
Gambar 5 Pengambilan sampel batubara .....	19
Gambar 6 Pengeringan batubara di dalam ruangan .....	20
Gambar 7 Peremukan primer menggunakan jaw crusher .....	21
Gambar 8 Peremukan sekunder menggunakan roll crusher.....	22
Gambar 9 Quartering sampel batubara Moncongloe .....	22
Gambar 10 Penggerusan menggunakan agate mortar .....	23
Gambar 11 Proses pengayakan sampel batubara .....	24
Gambar 12 Alat XRD tipe Shimadzu Maxima-X XRD 7000.....	25
Gambar 13 Sayatan poles dan mikroskop Nikon Eclipse LV100 Polarizing.....	26
Gambar 14 Muffle Furnace YAMATO FO 310 .....	29
Gambar 15 Dual Sulfur-Carbon Analyzer Leco SC-144DR.....	30
Gambar 16 Digital Bomb Calorimeter .....	31
Gambar 17 Bagan alir penelitian.....	32
Gambar 18 Foto mikroskopis batubara Moncongloe.....	34
Gambar 19 Hasil analisis XRD sampel Z-01 .....	35
Gambar 20 Hasil analisis XRD sampel Z-02 .....	36
Gambar 21 Hasil analisis XRD sampel Z-03 .....	36

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Klasifikasi batubara (ASTM D388 – 19a, 2019).....	12
Tabel 2 Hasil analisis X-Ray Diffraction (XRD) batubara Moncongloe .....	36
Tabel 3 Data berat conto awal batubara Moncongloe analisis kadar air .....	39
Tabel 4 Data berat conto awal batubara Moncongloe analisis kadar abu .....	40
Tabel 5 Data berat conto awal batubara Moncongloe analisis zat terbang .....	41
Tabel 6 Data analisis total sulfur batubara Moncongloe .....	43
Tabel 7 Data analisis nilai kalori batubara Moncongloe .....	43
Tabel 8 Hasil analisis kualitas dan rank batubara Moncongloe .....	44
Tabel 9 Kalsifikasi batubara untuk beberapa industri.....	46
Tabel 10 Perlakuan Sampel.....	52

**DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL**

---

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
Kln	Mineral kaolinit
Mmt	Mineral Monmorillonit
Py	Mineral Pirit
Qz	Mineral Kuarsa
Cal	Mineral Kalsit
IM	<i>Inherent Moisture</i> / Kandungan air %
ASH	Kandungan Abu %
VM	<i>Volatile Matter</i> / Kandungan Zat Terbang %
FC	<i>Fixed Carbon</i> / Karbon Tetap %

---

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perlakuan Sampel .....	52
Lampiran 2 Hasil Analisis XRD .....	53
Lampiran 3 Hasil Analisis Nilai Kalori .....	55
Lampiran 4 Hasil Analisis Total Sulfur .....	56

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur atas kehadiran Allah *Subhanahu Wata'ala*, Tuhan Yang Maha Esa karena telah melimpahkan berkah, rahmat, serta pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis *Mineral Matter* dan Kualitas Batubara Kecamatan Moncongloe, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan”. Shalawat serta salam tak lupa pula diberikan kepada junjungan kita Rasulullah Muhammad *Sallallahu Alaihi Wasallam*, nabi yang telah membawa kita dari alam yang gelap menuju alam yang terang dan nabi yang menjadi tauladan bagi seluruh umat muslim di dunia.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S1) pada Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penyusunan skripsi ini tentunya tidak lepas dari berbagai kendala, namun berkat arahan, bimbingan, motivasi, dan doa dari berbagai pihak penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Melalui tulisan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dr. Aryanti Virianti Anas, ST.,MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Sufriadin, S.T., M.T selaku pembimbing yang telah membimbing penulis dalam berbagai tahapan dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh dosen di Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membimbing penulis sepanjang tahun akademik.

Pertama, penulis mengucapkan rasa syukur dan terima kasih serta penghargaan yang sebesar-besarnya kepada Bapak A. Alamsyah dan Ibu Bulkis Ilham selaku orang tua yang senantiasa memberikan dukungan, doa, kritik, serta cinta yang tulus dan tidak ada habisnya sehingga penulis sampai pada titik sekarang ini. Penulis bersyukur juga mengucapkan terima kasih kepada Kanda Akmal Saputno yang telah banyak membantu penulis dalam segala tahapan penelitian. Penulis sangat berterima kasih kepada PERMATA FT-UH dan UKM BOLA BASKET UNHAS yang telah menjadi wadah bagi penulis untuk

mengembangkan potensi dirinya dan mengasah dirinya serta keluarga besar CONTINUITY 17 selaku teman dan saudara seperjuangan penulis karena telah memberikan dukungan dalam melewati masa-masa akademik dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata penulis menyadari bahwa tidak ada yang sempurna karena kesempurnaan hanya milik Allah *Subhanahu Wata'ala*. Oleh Karena itu, penulis memohon maaf apabila terdapat kekurangan ataupun kesalahan dalam penyusunan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat dijadikan sebagai referensi demi pengembangan ke arah yang lebih baik. Semoga Allah *Subhanahu Wata'ala* melimpahkan rahmat dan ridhonya kepada kita semua.

Gowa, 13 Oktober 2023



A. Muhammad Djunaedi

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Batubara merupakan salah satu sumber energi yang penting, berupa lapisan batuan sedimen organik yang padat dan heterogen. Sifat heterogen ini menyebabkan batubara mempunyai kualitas yang berbeda-beda meskipun tempat terbentuknya terdapat pada satu tempat. Tingkat temperatur dan penekanan yang dialami dalam suatu lingkungan pengendapan lapisan batubara tidaklah sama, ini adalah salah satu penyebab berbedanya kualitas batubara yang dihasilkan (Divo dan Ansostry, 2020). Batubara secara geokimia terbentuk karena proses pembatubaraan yang terjadi akibat kenaikan temperatur, tekanan dan waktu sehingga persentase karbon dalam bahan asal pembentuk batubara cenderung meningkat. Namun sebaliknya kandungan hidrogen dan oksigen dalam batubara menjadi berkurang. Proses pembatubaraan ini akan menghasilkan batubara dengan berbagai peringkat yang sesuai dengan tingkat kematangan organiknya (Taylor, *et al.*, 1998).

Meskipun batubara sebagian besar terdiri dari bahan organik, unsur anorganik dalam batubara umumnya juga hadir dalam jumlah yang mempengaruhi kualitas dan akhirnya dapat ditentukan bagaimana batubara akan digunakan, kecuali untuk beberapa elemen sangat jarang (actinium, astatine, francium, polonium, protactinium), setiap unsur telah ditemukan dalam batubara. Dalam abu (residu organik dari pembakaran lengkap batubara), konsentrasi unsur berkisar lebih dari 50%. Kelimpahan dari unsur organik dalam batubara bervariasi disebabkan oleh perbedaan geologi dan proses geokimia yang bekerja (Swaine, 1990).

Indonesia merupakan salah satu negara dengan keterdapatan batubara yang melimpah dimana saat ini Indonesia menduduki peringkat keenam sebagai negara yang memiliki cadangan batubara terbesar di dunia. Total cadangan batubara Indonesia diketahui sebesar 38,8 miliar ton dimana 34% dan 39% dari total cadangan batubara Indonesia berkonsentrasi di pulau Sumatera dan Kalimantan, kemudian sisanya tersebar di beberapa pulau lain seperti Jawa, Maluku, Papua, dan Sulawesi. Oleh karena itu, produksi batubara di Indonesia saat ini secara

masif hanya dilakukan di pulau Sumatera dan Kalimantan (Direktorat Jendral Mineral dan Batubara, 2021).

Sebagai negara yang memainkan peranan penting dalam industri batubara dunia, produksi batubara di Indonesia diprediksi akan terus bertambah untuk memenuhi kebutuhan energi dunia. Oleh karena itu, diperlukan penyelidikan lebih lanjut terhadap daerah-daerah yang memiliki potensi batubara khususnya di luar Pulau Sumatera dan Kalimantan agar dapat menyediakan alternatif baru untuk mendukung hal tersebut. Di sisi lain, Pulau Sulawesi merupakan salah satu daerah yang diketahui memiliki potensi sumber daya batubara dimana sebagian besar terkonsentrasi di Provinsi Sulaewsi Selatan. Saat ini penelitian mengenai karakteristik dan kualitas batubara yang tersebar di beberapa daerah pada Provinsi Sulawesi Selatan telah banyak dilakukan untuk menyediakan informasi yang dapat digunakan oleh berbagai pihak untuk mendukung pemanfaatan batubara Sulawesi Selatan. (Direktorat Jendral Mineral dan Batubara, 2021).

Penelitian kali ini diangkat berdasarkan pernyataan-pernyataan yang ada di paragraf sebelumnya. Penelitian ini mencoba untuk menyelidiki karakteristik dan kualitas dari batubara Moncongloe yang terletak pada Kecamatan Moncongloe, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis keterdapatan *mineral matter*, menentukan kualitas batubara, serta menentukan *rank*. Saat ini diketahui belum ada penelitian mengenai batubara Moncongloe yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya, sehingga hasil dari penelitian ini dapat menjadi informasi baru untuk berbagai pihak dan diharapkan dapat dikembangkan untuk mengoptimalkan pemanfaatan batubara di Provinsi Sulawesi Selatan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adanya keterdapatan batubara pada daerah moncongloe memberikan potensi untuk pemnafaatan di masa yang akan datang. Pemanfaatan batubara sangat bergantung pada kualitas dari batubara tersebut. Untuk kondisi batubara yang ada pada batubara moncongloe kualitasnya belum diketahui sehingga perlu dilakukan analis mengenai kualitasnya. Oleh karena itu, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana komposisi mineralogi pada batubara Moncongloe,
2. Bagaimana kualitas batubara yang terdapat pada Moncongloe,
3. Apa *rank* batubara Moncongloe.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi mineral-mineral yang terkandung dalam batubara Moncongloe,
2. Menganalisis kualitas batubara Moncongloe,
3. Menentukan *rank* batubara Moncongloe.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini berguna dalam memberikan informasi mengenai kandungan mineral yang terdapat dalam batubara dengan metode analisis mineral matter batubara Moncongloe dan informasi mengenai kualitas serta peringkat batubara Moncongloe.

### **1.5 Tahapan Penelitian**

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam penyusunan tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Tahap Studi Literatur  
Studi literatur merupakan kegiatan yang meliputi pengumpulan dan pengkajian berbagai teori dan referensi mengenai topik penelitian yang dapat mendukung jalannya penelitian. Kajian ini ditinjau melalui buku, jurnal penelitian, artikel ataupun sumber-sumber lain yang berkaitan dengan topik penelitian.
2. Tahap Perumusan Masalah  
Perumusan masalah dilakukan untuk menentukan masalah yang akan diteliti dan menjadi batasan dalam melakukan penelitian.
3. Tahap Orientasi Lapangan dan Pengambilan Data  
Orientasi lapangan dilakukan di daerah Kecamatan Moncongloe, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan. Pengambilan data dilakukan dengan mengambil beberapa sampel dengan metode *chip sampling* dan pengambilan dokumentasi.

#### 4. Tahap preparasi sampel

Preparasi sampel merupakan kegiatan mereduksi ukuran sampel untuk mempersiapkan sampel agar dapat dianalisis lebih lanjut. Tahapan preparasi meliputi pengeringan sampel dengan cara diangin-anginkan dalam kondisi suhu ruangan, kemudian mereduksi ukuran sampel menggunakan *jaw crusher* dan *double roll crusher* yang berada di *workshop* Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, setelah itu dilakukan penggerusan dengan menggunakan *agate* mortar dan pengayakan sesuai ukuran yang dibutuhkan untuk tahap analisis yang dilakukan di laboratorium Analisis dan Pengolahan Bahan Galian, Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

#### 5. Tahap analisis data

Sampel yang telah dikumpulkan kemudian dianalisis menggunakan metode analisis XRD, analisis mikroskopis, analisis proksimat, analisis total sulfur, dan analisis nilai kalori. Analisis XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan dengan menggunakan alat difraktometer dengan menghasilkan difraktogram yang menunjukkan struktur kristal pada sampel untuk menentukan kandungan mineral. Analisis mikroskopis berfungsi untuk mengetahui jenis-jenis mineral, sifat-sifat fisik, cara terjadinya, cara terbentuknya dan juga kegunaannya. Analisis proksimat meliputi penentuan kandungan air (*moisture*), kadar abu (*ash*), zat terbang (*volatile matter*), dan perhitungan karbon tetap (*fixed carbon*). Analisis total sulfur dilakukan untuk menentukan kandungan sulfur pada batubara dengan menggunakan alat dengan metode *high-temperature combustion*. Analisis nilai kalori berfungsi untuk mengetahui besarnya panas yang dihasilkan dari pembakaran batubara.

#### 6. Tahap penyusunan laporan tugas akhir

Penyusunan laporan tugas akhir merupakan kegiatan mengumpulkan keseluruhan data yang didapatkan dan disusun dalam bentuk laporan akhir.

#### 7. Tahap seminar dan penyerahan laporan tugas akhir

Laporan hasil penelitian akan dipresentasikan dalam seminar hasil. Koreksi dan saran pada saat seminar akan digunakan untuk merevisi kembali laporan yang telah diseminarkan.

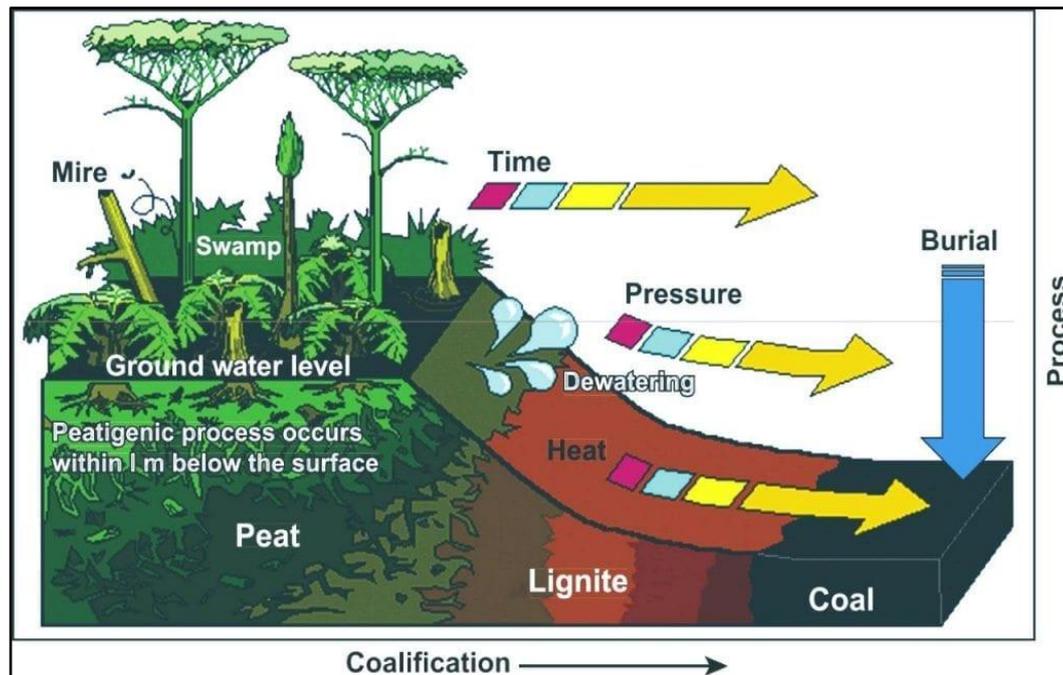
## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Batubara**

Batubara merupakan batuan sedimen yang dapat terbakar, berasal dari tumbuhan atau bahan-bahan organik, berwarna cokelat sampai hitam, dan sejak pengendapannya terkena proses fisika dan kimia yang menjadikan batubara kaya akan kandungan karbon (Sukandarrumidi, 1995). Batubara merupakan suatu batuan yang mudah terbakar dengan lebih dari 50% dari berat volumenya adalah bahan organik yang merupakan material karbonat termasuk *inherent moisture*. Bahan organik utama penyusun batubara yaitu tumbuhan yang dapat berupa jejak kulit pohon, struktur kayu, daun, akar, damar, polen, dan lain-lain. Kemudian bahan organik tersebut mengalami berbagai tingkat pembusukan (dekomposisi) hingga menyebabkan perubahan sifat fisik maupun sifat kimia sesudah tertutup maupun sebelum tertutup oleh endapan lain pada saat pembentukan batubara (Tirasonjaya, 2006 dalam Siswati *et al*, 2010).

Dekomposisi tanaman pada proses pembentukan batubara terjadi karena proses biologi dengan mikroba dimana oksigen dalam selulosa diubah menjadi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan air (H<sub>2</sub>O). Setelah itu, perubahan yang terjadi dalam kandungan bahan tersebut disebabkan karena adanya tekanan serta pemanasan yang kemudian membentuk suatu lapisan tebal sebagai akibat pengaruh panas bumi dalam jangka waktu berjuta-juta tahun sehingga lapisan tersebut akhirnya mengalami pemadatan dan pengerasan. Pola yang terlihat dari proses perubahan bentuk tumbuh-tumbuhan sampai menjadi batubara yaitu dengan terbentuknya karbon. Kenaikan kandungan karbon dapat menunjukkan tingkatan dari suatu batubara. Tingkatan batubara yang paling tinggi adalah antrasit, sedangkan tingkatan batubara yang lebih rendah dari antrasit akan lebih banyak mengandung hidrogen dan oksigen. Selain kandungan C, H, dan O, pada batubara juga terdapat kandungan lain yaitu belerang (S), nitrogen (N), serta kandungan mineral lainnya seperti silika, besi, aluminium, magnesium, dan kalsium yang pada saat pembakaran batubara akan tertinggal sebagai abu. Gambar 1 merupakan ilustrasi proses pembatubaraan.



Gambar 1 Ilustrasi proses pembatubaraan (Flores, 2014)

Proses pembentukan batubara terjadi pada jaman karbon atau sekitar 270 – 350 juta tahun yang lalu. Pada jaman karbon terbentuk batubara di belahan bumi utara seperti Eropa, Asia, dan Amerika. Di Indonesia batubara yang ditemukan dan ditambang umumnya berumur jauh lebih muda karena terbentuk pada jaman tersier. Batubara tertua yang ditambang di Indonesia berumur Eosen (40 – 60 juta tahun yang lalu) namun sumber daya batubara di Indonesia umumnya berumur antara Miosen dan Pliosen (2 – 15 juta tahun yang lalu) (Sanwani *et al*, 1998).

Proses pembentukan batubara terdiri dari dua tahap yaitu tahap biokimia (penggambutan) dan tahap geokimia (pembatubaraan). Berikut uraian tahapan pembentukan batubara (Stach *et al*, 1982):

1. Tahap Penggambutan

Tahap penggambutan (*peatification*) adalah tahap dimana sisa-sisa tumbuhan yang terakumulasi tersimpan dalam kondisi reduksi di daerah rawa dengan sistem pengeringan yang buruk dan selalu tergenang air pada kedalaman 0,5-10 meter. Material tumbuhan yang busuk ini melepaskan H, N, O dan C dalam bentuk senyawa  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{NH}_3$  untuk menjadi humus. Selanjutnya oleh bakteri anaerobik dan fungi diubah menjadi gambut.

2. Tahap Pembatubaraan

Tahap pembatubaraan (*coalification*) merupakan gabungan proses biologi, kimia dan fisika yang terjadi karena pengaruh pembebanan dari sedimen yang menutupinya, temperatur, tekanan dan waktu terhadap komponen organik dari gambut. Pada tahap ini, presentase karbon akan meningkat sedangkan presentase hidrogen dan oksigen akan berkurang. Proses ini akan menghasilkan batubara dalam berbagai tingkat kematangan material organiknya mulai dari lignit, sub-bituminus, bituminus, semi antrasit, antrasit hingga meta antrasit. Meningkatnya peringkat batubara dari lignit hingga berubah menjadi subbituminous dan antrasit disebabkan oleh kombinasi antara proses fisika dan kimia serta aktifitas biologi.

Terbentuknya batubara selalu dengan cara yang sangat kompleks dan memerlukan waktu yang lama (puluhan sampai ratusan juta tahun) di bawah pengaruh fisika, kimia ataupun juga dipengaruhi oleh proses-proses geologi. Terdapat dua teori mengenai tempat terbentuknya batubara yaitu teori insitu dan teori drift yang diuraikan sebagai berikut (Sukandarrumidi, 1995):

1. Teori Insitu

Teori insitu menyatakan bahwa bahan-bahan pembentuk lapisan batubara terbentuk di tempat dimana tumbuhan asal itu berada. Setelah tumbuhan itu mati dan belum mengalami transportasi, segera tertutup oleh lapisan sedimen dan mengalami proses pembatubaraan (*coalification*). Jenis batubara yang terbentuk dengan cara ini mempunyai penyebaran luas dan merata serta kualitasnya lebih baik karena kandungan abunya relatif kecil.

2. Teori *Drift*

Teori *drift* menyatakan bahwa bahan-bahan pembentuk lapisan batubara terjadi di tempat yang berbeda dengan tumbuhan semula hidup dan berkembang. Tumbuhan yang telah mati diangkut oleh media air dan berakumulasi di suatu tempat, tertutup oleh batuan sedimen dan mengalami proses pembatubaraan (*coalification*). Jenis batubara yang terbentuk dengan cara teori *drift* mempunyai penyebaran yang tidak luas, tetapi dijumpai di beberapa tempat. Kualitas batubara yang terbentuk dengan cara ini kurang baik karena banyak mengandung material pengotor yang terangkut bersama

selama proses pengangkutan dari tempat asal tumbuhan ke tempat sedimentasi.

## 2.2 Klasifikasi Batubara

Klasifikasi batubara digunakan untuk menggolongkan batubara berdasarkan dari pemanfaatannya. Klasifikasi batubara dapat menjadi suatu sarana komunikasi bagi masing-masing sektor seperti untuk kepentingan ilmiah antara lain mencakup genesis batubara dan *rank*-nya, sedangkan untuk kebutuhan komersil antara lain nilai perdagangan dan pemanfaatannya.

Batubara di Indonesia dibagi menjadi *brown coal* dan *hard coal* (SNI-6011-1999, 1999). *Brown coal* atau batubara energi rendah adalah jenis batubara dengan peringkat yang paling rendah, mudah diremas, bersifat lunak, dan mengandung air yang tinggi (10–70%). *Brown coal* terdiri atas *soft brown coal* dan *hard brown coal* atau *lignitic* dengan nilai kalorinya <7000 kalori/gram. *Hard coal* adalah semua jenis batubara yang mempunyai peringkat lebih tinggi dari *brown coal* dengan sifat yang lebih keras, kompak, tidak mudah diremas, mengandung kadar air yang relatif rendah, umumnya struktur kayu tidak tampak lagi, dan relatif tahan terhadap kerusakan fisik pada saat penanganan (*coal handling*) dengan nilai kalorinya >7000 kalori/gram.

Klasifikasi batubara menurut ASTM digolongkan menjadi 5 tingkatan yaitu *peat* (gambut), *lignite*, *sub-bituminous (black lignite)*, *bituminous*, dan *anthracite*. Penggolongan ini menekankan pada kandungan relatif antara unsur C dan H<sub>2</sub>O yang terdapat dalam batubara. Berikut merupakan tingkatan-tingkatan pada batubara (Rao and Gouricharan, 2016):

1. *Lignite* yaitu batubara yang sangat lunak dan memiliki kandungan air 35%-75% dari total beratnya.
2. *Sub-bituminous* yaitu batubara yang memiliki tingkat karbon yang lebih tinggi dan kandungan air yang lebih rendah daripada lignit. Batubara jenis ini dapat digunakan sebagai bahan bakar, namun perlu diperhatikan kandungan air dan abu yang dihasilkan sebelum digunakan sebagai bahan bakar. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah kandungan sulfur total yang ada pada batubara *sub-*

*bituminous* yang dapat menyebabkan polusi udara apabila terlepas di udara pada saat pembakaran berlangsung.

3. *Bituminous* yaitu jenis batubara yang mengandung 68-86% unsur karbon dan memiliki kandungan air 8-10% dari total beratnya. Batubara jenis ini banyak digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik karena kandungan karbon yang cukup tinggi.
4. *Anthracite* yaitu salah satu jenis batubara dengan kandungan karbon tertinggi, antara 86%-98% dengan kadar air yang kurang dari 8%. Batubara jenis ini memiliki ciri-ciri berwarna hitam dengan kilap metalik.

### 2.3 Parameter Kualitas Batubara

Parameter kualitas batubara yang sering digunakan adalah nilai kalori, kadar kelembaban, kadar abu, kandungan zat terbang, kadar karbon, kadar sulfur, ukuran, dan tingkat kegerusan dari batubara. Adapun parameter lain seperti analisis unsur yang terdapat dalam abu ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , dan lain-lain), analisis komposisi sulfur (*pyritic sulfur*, *organic sulfur*, *sulfate sulfur*), dan titik leleh abu (*ash fusion temperature*). Kualitas batubara adalah sifat fisika dan sifat kimia dari suatu batubara yang memengaruhi potensi kegunaannya yang ditentukan oleh maseral dan *mineral matter* penyusunnya, serta oleh derajat *coalification* (*rank*). Secara umum, untuk menentukan kualitas suatu batubara dilakukan analisis kimia pada batubara yang diantaranya berupa analisis proksimat dan analisis ultimat. Analisis proksimat dilakukan untuk menentukan jumlah air (*moisture*), kadar abu (*ash*), zat terbang (*volatile matter*), dan karbon tetap (*fixed carbon*), sedangkan analisis ultimat dilakukan untuk menentukan kandungan unsur kimia pada batubara seperti karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, dan unsur tambahan serta unsur jarang pada batubara (Muchjidin, 2006).

Analisis lain yang digunakan dalam penentuan kualitas batubara adalah analisis untuk menentukan *calorific value* (nilai kalor), total sulfur (kandungan sulfur/TS), susunan kandungan abu (*ash analysis*), titik leleh abu (*ash fusion temperature/AFT*), *hardgrove grindability index* (HGI) dan lain-lain. Nilai kalor merupakan nilai yang diperoleh dari indikasi langsung dari kandungan panas (nilai energi) batubara. Nilai kalor mewakili pemanasan gabungan dari

pembakaran karbon, hidrogen, nitrogen, dan sulfur organik (Sanwani, *et al.*, 1998).

Kualitas batubara ini diperlukan untuk menentukan apakah batubara tersebut menguntungkan untuk ditambang selain dilihat dari besarnya cadangan batubara yang telah diperhitungkan serta biaya yang digunakan dalam melakukan penambangan batubara. Selain itu, kualitas batubara juga sangat memengaruhi kegunaan batubara yang telah ditambang nantinya. Berikut merupakan parameter utama yang digunakan untuk menentukan kualitas batubara (Firth, 1998):

1. Lengas (*Moisture*)

- a. Lengas permukaan (*free moisture*) merupakan lengas yang berada pada permukaan batubara akibat pengaruh dari luar seperti cuaca, iklim, penyemprotan di *stockpile* pada saat penimbangan atau pada saat transportasi batubara.
- b. Lengas tertambat (*inherent moisture*) merupakan nilai yang menunjukkan persentasi jumlah lengas yang terikat secara kimiawi batubara.
- c. Lengas total (*total moisture*) merupakan banyaknya air yang terkandung dalam batubara sesuai dengan kondisi diterima, baik yang terikat secara kimiawi maupun akibat pengaruh kondisi luar seperti iklim, ukuran butiran, maupun proses penambangan.

2. Zat Terbang (*Volatile Matter*)

Zat terbang (*volatile matter*) merupakan nilai yang menunjukkan persentasi jumlah zat-zat terbang yang terkandung di dalam batubara, seperti H<sub>2</sub>, CO, metana dan uap-uap yang mengembun seperti gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. *Volatile matter* sangat erat kaitannya dengan *rank* batubara, makin tinggi kandungan *volatile matter* makin rendah kelasnya. Dalam pembakaran batubara dengan *volatile matter* tinggi akan mempercepat pembakaran *fixed carbon* (karbon tetap), sebaliknya bila *volatile matter* rendah mempersulit proses pembakaran. *Volatile matter* merupakan salah satu parameter yang sangat penting dalam klasifikasi batubara.

3. Abu (*Ash*)

Abu di dalam batubara atau bisa disebut *mineral matter*, terjadi di dalam batubara dapat sebagai *inherent mineral matter* atau *extraneous mineral*

*matter*. *Inherent mineral matter* adalah berhubungan dengan tumbuhan asal pembentukan batubara, *mineral matter* ini tidak dapat dihilangkan atau dicuci dari batubara. *Extraneous mineral matter* berasal dari tanah penutup atau lapisan-lapisan yang terdapat diantara lapisan batubara. *Mineral matter* ini tidak dapat dikurangi pada saat pencucian batubara. Kandungan abu adalah zat organik yang dihasilkan setelah batubara dibakar. Kandungan abu dapat dihasilkan dari pengotoran bawaan dalam proses pembentukan batubara maupun pengotoran yang berasal dari proses penambangan. Kandungan abu terutama sodium oksida ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) sangat berpengaruh terhadap titik leleh abu dan dapat menimbulkan pengotoran atau kerak pada peralatan pembakaran batubara.

#### 4. Karbon Tetap (*Fixed Carbon*)

Karbon tetap merupakan karbon yang tertinggal sesudah pendeterminasian zat terbang. Dengan adanya pengeluaran zat terbang dan kandungan air, maka karbon tertambat secara otomatis akan naik sehingga makin tinggi kandungan karbonnya, kelas batubara semakin baik. Karbon tetap menggambarkan penguraian sisa komponen organik batubara dan mengandung sebagian kecil unsur kimia nitrogen, belerang, hydrogen, dan oksigen atau terikat secara kimiawi. Pada dasarnya karbon padat inilah yang dapat terbakar dan menghasilkan panas. Semakin tinggi kandungan karbon padat maka semakin besar energi yang dihasilkan. Perbandingan antara karbon padat dengan zat terbang disebut *fuel ratio*. Berdasarkan *fuel ratio* tersebut dapat ditentukan derajat batubara.

#### 5. Nilai Kalor

Nilai kalor batubara adalah panas yang dihasilkan oleh pembakaran batubara. Terdapat 2 macam nilai kalor yaitu:

- a. Nilai kalor bersih (*net calorific value*) yang merupakan nilai kalor pembakaran dimana semua air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dihitung dalam keadaan wujud gas.
  - b. Nilai kalor kotor (*gross calorific value*) yang merupakan nilai kalor pembakaran dimana semua air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dihitung dalam keadaan wujud cair.
- Klasifikasi batubara berdasarkan peringkat yang telah ditetapkan oleh ASTM D388 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Klasifikasi batubara (ASTM D388 – 19a, 2019)

<i>Class/Group</i>	<i>Fixed Carbon (%)</i>	<i>Volatile Matter (%)</i>	<i>Calorific Value (Cal/gr)</i>
<i>Anthracitic</i>			
<i>Meta-anthracite</i>	>98	<2	...
<i>Anthracite</i>	92 – 98	2 – 8	...
<i>Semianthracite</i>	86 – 92	8 – 14	...
<i>Bituminous</i>			
<i>Low Volatile</i>	78 – 86	14 – 22	...
<i>Medium Volatile</i>	69 – 78	22 – 31	...
<i>High Volatile A</i>	<69	>31	>7,784
<i>High Volatile B</i>	...	...	7,228 – 7,784
<i>High Volatile C</i>	...	...	6,394 – 7,228
<i>Subbituminous</i>			
<i>Subbituminous A</i>	...	...	5,838 – 6,394
<i>Subbituminous B</i>	...	...	5,282 – 5,838
<i>Subbituminous C</i>	...	...	4,614 – 5,282
<i>Lignitic</i>			
<i>Lignite A</i>	...	...	3,502 – 4,614
<i>Lignite B</i>	...	...	<3,502

## 2.4 Mineral Matter pada Batubara

*Mineral matter* pada batubara dapat diartikan sebagai mineral-mineral dan material anorganik lainnya yang berasosiasi dengan batubara. Secara keseluruhan mencakup tiga golongan material yaitu:

1. Mineral dalam bentuk partikel distrik dan kristalin pada batubara,
2. Unsur atau senyawa dan biasanya tidak termasuk unsur nitrogen dan sulfur,
3. Senyawa anorganik yang larut dalam air pori batubara dan air permukaan.

*Mineral matter* pada batubara dapat berasal dari unsur anorganik pada tumbuh-tumbuhan pembentuk batubara atau disebut *inherent mineral* serta mineral yang berasal dari luar rawa atau endapan kemudian ditransport ke dalam cekungan pengendapan batubara melalui air atau angin dan disebut *extraneous* atau *adventitious mineral matter* (Ward, 1986).

*Mineral matter* umumnya mewakili proporsi komposisi batubara yang signifikan, dari jumlah *mineral matter* dalam batubara bervariasi dari satu lapisan ke lapisan lainnya, bahkan di sepanjang lapisan yang sama. Batubara yang memiliki *mineral matter* hingga 32% dari berat telah diidentifikasi, dan meskipun nilai yang masuk akal untuk jumlah rata-rata *mineral matter* jauh lebih rendah. Preparasi batubara ditujukan untuk mengurangi kuantitas *mineral matter*, dan penggunaan yang efisien dari metode yang dipilih tergantung pada konsentrasi dan komposisinya. Namun, tidak peduli seberapa efektif teknik preparasi batubara, selalu terdapat sejumlah besar *mineral matter* yang tersisa. Bahan sisa ini sangat penting dalam pemanfaatan batubara (Speight, 2005).

Ada beberapa metode analisis mineral pada batubara yang dapat digunakan, yaitu:

1. *Analisis X-Ray Diffraction (XRD)*

Analisis XRD merupakan analisis dengan menggunakan alat difraktometer yang menerapkan prinsip difraksi. Analisis XRD adalah metode yang sangat penting untuk mengkarakterisasi struktur kristal material. Teknik ini biasanya dapat digunakan untuk analisis parameter kisi kristal tunggal, atau tahap tersebut, tekstur atau bahkan stres analisis bahan polikristalin (seperti serbuk) (Loye, 2013).

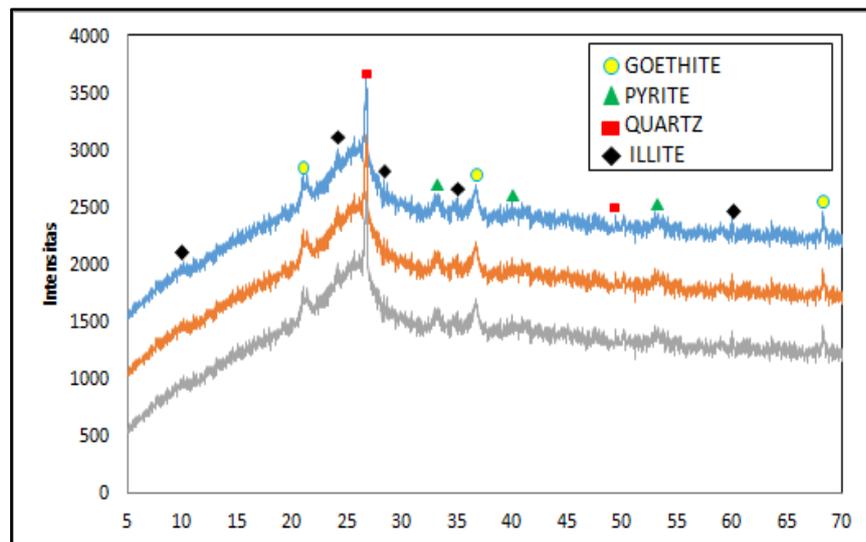
Metode Analisa nondestruktif yang didasarkan pada pengukuran radiasi sinar-X yang terdifraksi oleh bidang kristal ketika terjadi interaksi antara suatu materi dengan radiasi elektromagnetik sinar-X. Suatu kristal memiliki kisi kristal tertentu dengan jarak antar bidang kristal ( $d$ ) (Loye, 2013).

Alat XRD digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi dan untuk mendapatkan ukuran partikel. Senyawa yang terbentuk dapat diketahui dengan menggunakan alat ini. Transformasi fasa yang terjadi pada suatu sampel akibat suatu proses atau perlakuan yang dilakukan. Kadar atau presentase dari unsur yang terdapat pada sampel mineral tidak bisa diketahui dengan menggunakan alat ini (Loye, 2013).

Sifat mineral kristalin dalam batubara dapat menjadi yang paling pasti diselidiki dengan menundukkan sampel batubara bubuk atau mineral yang diisolasi dari batubara (mis. residu LTA) untuk dipelajari dengan teknik

difraksi sinar-X (XRD). Meskipun lama ditetapkan sebagai alat definitif untuk identifikasi spesies mineral (aplikasi kualitatif), XRD juga semakin banyak digunakan untuk penentuan kuantitatif proporsi mineral, meningkatkan nilainya dalam studi bahan mineral. Penulis seperti Rao *and* Gluskoter (1975); Ward (1977); Renton *et al.* (1984); Renton (1986); Harvey *and* Ruch (1986), dan Vassilev *and* Vassileva (1996) telah mempresentasikan interpretasi semi-kuantitatif berdasarkan intensitas puncak difraktogram kunci, ditambah dalam beberapa kasus dengan evaluasi proporsi mineral tanah liat berdasarkan analisis XRD terpisah dari konsentrat fraksi halus yang dikenai glikol dan perlakuan panas. Namun demikian, sejumlah metode berbeda dari jenis ini yang dapat digunakan dalam analisis XRD, dan variasi dalam metodologi dapat menimbulkan variasi substansial dalam estimasi persentase mineral (Finkelman, *et al.*, 1984).

Salah satu contoh sampel batubara hasil analisis XRD dapat dilihat pada Gambar 2 yang merupakan difraktogram sampel batubara Desa Kadingeh.

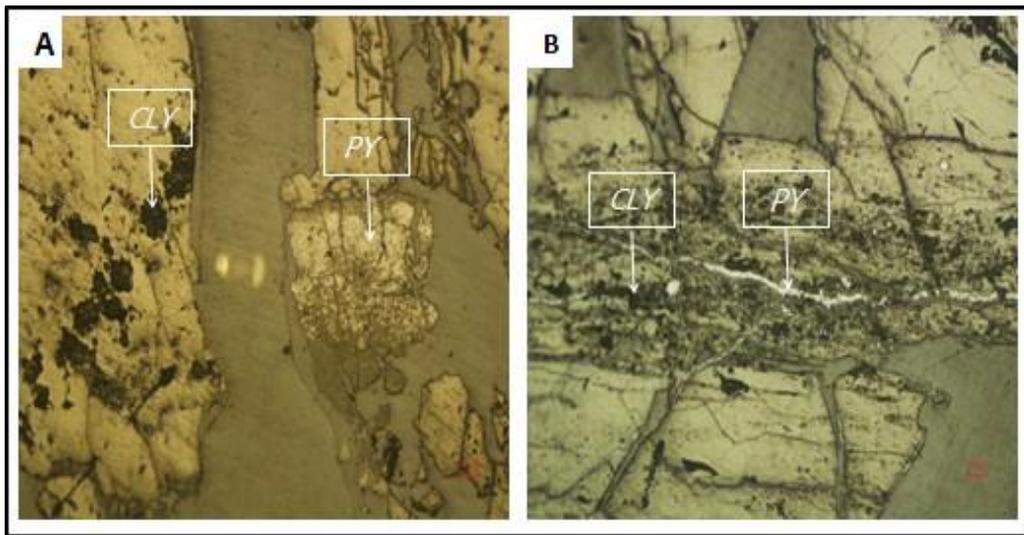


Gambar 2 Difraktogram sampel batubara Desa Kadingeh (Avicenna dkk, 2019)

## 2. Analisis Mikroskopis

Banyak fasa mineral kristal dalam batubara terlihat di bawah mikroskop optik, yang terjadi sebagai lapisan halus dan konsentrasi lain yang saling terkait erat dengan komponen maseral, sebagai fragmen atau kristal mineral diskrit, dan sebagai serangkaian nodul, lentikel, vena, pengisi pori dan struktur penggantian sel (Kemezys *and* Taylor, 1964; Diessel, 1992; Taylor, *et*

*al.*, 1998). Meskipun kelompok yang luas umumnya dapat diidentifikasi, seperti kuarsa, mineral lempung, karbonat, dan sulfida, identifikasi mineral yang lebih spesifik tidak selalu terlihat dari studi optik. Di sisi lain, hubungan tekstur yang diungkapkan oleh mikroskop sering menunjukkan bagaimana mineral mungkin telah terbentuk, atau bagaimana suatu sampel batubara yang akan menanggapi preparasi dan pemanfaatan batubara. Gambar 3 merupakan contoh hasil analisis mikroskopis berupa kenampakan mikroskopis Batubara Desa Kadingeh.



Gambar 3 Kenampakan mikroskopis batubara Desa Kadingeh (Avicenna dkk, 2019)

## 2.5 Sulfur dalam Batubara

Sulfur merupakan salah satu komponen yang ada pada batubara, yang terdapat sebagai sulfur organik dan anorganik. Secara umum, komponen sulfur dalam batubara terdapat sebagai sulfur syngenetik yang erat hubungannya dengan proses fisika dan kimia selama proses pengambutan serta dapat juga sebagai sulfur epigenetik yang dapat diamati sebagai pirit pengisi *cleat* pada batubara akibat proses presipitasi kimia pada akhir proses pembatubaraan. Terdapat 3 (tiga) jenis sulfur yang terdapat dalam suatu batubara, yaitu:

### 1. Sulfur Pirit

Pirit dan markasit adalah mineral sulfida yang paling umum dijumpai pada batubara. Kedua jenis mineral ini memiliki komposisi kimia yang sama ( $\text{FeS}_2$ ), akan tetapi berbeda pada sistem kristalnya. Pirit berbentuk isometrik

sedangkan markasit berbentuk orthorombik. Pirit ( $\text{FeS}_2$ ) adalah mineral yang memberikan kontribusi besar terhadap kandungan sulfur dalam batubara, atau lebih dikenal dengan sulfur pirit. Berdasarkan genesisnya, pirit pada batubara terbagi atas dua, yaitu:

- a. Pirit Syngenetik, yaitu pirit yang terbentuk selama proses penggabutan (*peatification*). Pirit jenis ini biasanya berbentuk framboidal dengan butiran yang sangat halus dan tersebar dalam material pembentuk batubara.
- b. Pirit Epigenetik, yaitu pirit yang terbentuk setelah proses pembatubaran. Pirit jenis ini biasanya terendapkan dalam kekar, rekahan dan *cleat* pada batubara serta biasanya bersifat masif.

## 2. Sulfur Organik

Sulfur organik adalah suatu elemen pada struktur makromolekul dalam batubara yang kehadirannya secara parsial dikondisikan oleh kandungan dari elemen yang berasal dari material-material tumbuhan asal. Dalam kondisi geokimia dan mikrobiologis spesifik, sulfur inorganik dapat berubah menjadi sulfur organik yang dapat terakumulasi dari sejumlah material organik oleh proses penghancuran biokimia dan oksidasi. Namun secara umum, penghancuran biokimia adalah proses yang paling penting dalam pembentukan sulfur organik dengan proses pembentukannya berjalan lebih lambat pada lingkungan yang basah atau jenuh air. Sulfur yang bukan berasal dari material pembentuk batubara diduga mendominasi dalam menentukan kandungan sulfur total. Sulfur inorganik yang biasanya melimpah dalam lingkungan marin atau payau kemungkinan besar akan berubah membentuk hidrogen sulfida dan senyawa sulfat dalam kondisi dan proses geokimia. Reaksi yang terjadi merupakan reduksi sulfat oleh material organik menjadi hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Reaksi reduksi ini dipicu oleh adanya bakteri *desulfovibrio* dan *desulfotomaculum*.

## 3. Sulfur Sulfat

Kandungan sulfur sulfat pada umumnya sangat rendah atau tidak ada kecuali jika batubara telah terlapukkan dan beberapa mineral pirit teroksidasi dan menjadi sulfat. Kandungan sulfur organik lebih tinggi pada bagian bawah

lapisan, sedangkan kandungan sulfur piritik dan sulfat akan tinggi pada bagian atas dan bagian bawah lapisan batubara. Pemanfaatan batubara harus memerhatikan kandungan sulfur sebelum penggunaan batubara dan kadar sulfur setelah penggunaan. Pada pembuatan kokas, sulfur terurai pada proses pemanasan, sehingga dapat menghasilkan nilai awal dan akhir. Penggunaan kokas secara komersil misalnya dalam proses metalurgi, membutuhkan kokas dengan kadar sulfur yang rendah. Salah satu tujuan pencucian batubara adalah untuk mengurangi kandungan sulfur dalam batubara (Speight, 2005). Sulfur di dalam batubara dapat terbentuk senyawa organik atau senyawa anorganik seperti pirit, markasit, dan sulfat. Sulfur organik merupakan bahan yang stabil dan tersebar secara merata pada suatu batubara. Dalam jumlah yang sangat kecil dapat ditemukan sulfur dalam bentuk sulfat seperti kalsium sulfat atau besi sulfat. Kadar sulfur dalam batubara bervariasi mulai dari jumlah yang sangat kecil sampai lebih dari 4% (Widodo, *et al.*, 2010).