

**SKRIPSI**

**ANALISIS MINERALOGI BATUBARA DAN BATUAN PENGAPITNYA  
DI KECAMATAN BULUPODDO KABUPATEN SINJAI  
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

**Disusun dan diajukan oleh**

**MUHAMMAD FITRAWAN**

**D62116013**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2021**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### ANALISIS MINERALOGI BATUBARA DAN BATUAN PENGAPITNYA DI KECAMATAN BULUPODDO KABUPATEN SINJAI PROVINSI SULAWESI SELATAN

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD FITRAWAN**  
**D62116013**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 6 Desember 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

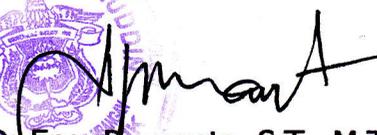


Dr. Sufriadin, S.T., M.T.  
NIP. 196608172000121001



Dr. phil. Nat. Sri Widodo, S.T., M.T.  
NIP. 197101012012121001

Ketua Program Studi,


Dr. Eng. Furwanto, S.T., M.T.  
NIP. 197111282005011002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Fitrawan  
NIM : D62116013  
Program Studi : Teknik Pertambangan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**Analisis Mineralogi Batubara dan Batuan Pengapitnya di Kecamatan Bulupoddo  
Kabupaten Sinjai 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.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 6 Desember 2021

Yang menyatakan



Muhammad Fitrawan

## ABSTRAK

Sulawesi Selatan dan Barat memiliki sumberdaya batubara sekitar 117 juta ton atau sekitar 0.35 % dari total sumberdaya secara nasional. Batubara Bulupoddo yang terletak di Kabupaten Sinjai termasuk jenis batubara yang di kategorikan rendah. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi mineral-mineral yang terkandung dalam batubara dan batuan pengapitnya serta menentukan rank dan kualitas batubara. Metode yang digunakan adalah metode analisis mineralogi dan analisis kualitas batubara. Pengamatan dilapangan memperlihatkan jenis batubara yang tipis sekitar 50 cm dan diapit oleh batu lempung dan batu pasir. Hasil analisis mikroskop dan analisis XRD (*X-Ray Diffraction*) menunjukkan mineral yang terdapat pada batubara Bulupoddo yaitu pada sampel BP-01B dan BP-01E mengandung mineral kaolinit, illit, pirit dan kuarsa. Pada pengapit yaitu pada sampel BP-01A dan BP-01D mengandung mineral kaolinit, illit, pirit, kuarsa dan khlorit. Pada sampel BP-01C yang di indikasi sebagai batu pasir mengandung mineral feldspar, kuarsa dan kaolinit. Pada analisis kualitas batubara yang dilakukan hasil analisis kualitas batubara yang telah dilakukan pada ke dua sampel batubara tersebut yaitu BP-01B dan BP-01E menunjukkan bahwa, pada sampel BP-01B memiliki kadar air sebesar 7,74%, kadar abu sebesar 54,23%, zat terbang sebesar 23,35%, karbon tetap sebesar 14,68%, dan kandungan sulfur total sebesar 0,37%. Sedangkan pada sampel BP-01E memiliki kadar air sebesar 9,2%, kadar abu yang dimiliki sebesar 67,76%, zat terbang sebesar 18,23%, karbon tetap sebesar 4,81% dan kandungan sulfur 0,49%. Nilai kalori hasil pengujian menunjukkan bahwa sampel batubara BP-01B memiliki nilai kalori sebesar 1953 kcal/gr dan BP-01E memiliki nilai kalori sebesar 853 kcal/gr. Nilai kalori batubara Bulupoddo dikategorikan sebagai batubara jenis lignit B menurut klasifikasi batubara berdasarkan ASTM.

Kata kunci: *Mineral matter*, kualitas batubara, rank, proksimat, ultimat, kalori.

## **ABSTRACT**

*South and West Sulawesi has coal resources of about 117 million tons or about 0.35% of the total resources nationally. Bulupoddo coal located in Sinjai Regency is a type of coal that is categorized as low rank coal. This study was conducted to identify the minerals contained in coal and its flanking rock (roof and floor) and determine the rank and quality of coal. The methods used are mineralogy and coal quality analysis methods. Field observations shows a type of coal that is about 50 cm thin and flanked by clay and sandstone. The results of microscope and XRD analysis (X-Ray Diffraction) showed minerals contained in Bulupoddo coal, namely in BP-01B (coal) and BP-01E (coal) samples containing kaolinite, illite, pyrite and quartz minerals. In the flanking rock samples, the samples of BP-01A (clay) and BP-01D (clay) contain the minerals kaolinite, illite, pyrite, quartz and chlorite. In the BP-01C (sand) sample indicated as sandstone contains feldspar, quartz and kaolinite minerals. The results of the coal quality analysis that have been carried out on the two coal samples, namely BP-01B and BP-01E, show that the BP-01B sample has a moisture content of 7.74%, an ash content of 54.23%, volatile matter is 23.35%, fixed carbon 14.68%, and total sulfur content by 0.37%. While the sample BP-01E has a moisture content of 9.2%, ash content of 67.76%, volatile matter 18.23%, fixed carbon 4.81% and sulfur content is 0.49%. The calorific value of the test results shows that the coal sample BP-01B has a calorific value of 1953 kcal/gr and BP-01E has a calorific value of 853 kcal/gr. The calorific value of Bulupoddo coal is categorized as lignite B type coal according to coal classification based on ASTM (American Society of Testing Materials).*

*Keywords: Mineral matter, coal quality, rank, proximate, ultimate, calori*

## **KATA PENGANTAR**

Assalamualaikum warahmatullahi wabarokatuh.

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Allah S.W.T. karena atas taufik serta inayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir sebagai salah satu syarat untuk menyanggung gelar sarjana di Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin dengan judul "Analisis Mineral Matter Batubara dan Batuan Pengapitnya di Kecamatan Bulupoddo Kabupaten Sinjai Provinsi Sulawesi Selatan".

Penyelesaian penyusunan laporan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada kedua dosen pembimbing Bapak Dr. Sufriadin, S.T., M.T. dan Bapak Dr. phil. Nat. Sri Widodo, S.T., M.T. yang banyak memberikan masukan dan meluangkan waktunya dalam penelitian tugas akhir ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dr. Eng. Rini Novrianti Sutardjo Tui, S.T., MBA., M.T. dan Bapak Asta Arjunoarwan Hatta, S.T., M.T. yang telah meluangkan waktunya untuk mengoreksi tugas akhir ini.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada orang tua saya yang selalu memberikan do'a, dukungan dan motivasi sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh mahasiswa teknik pertambangan terkhusus ROCKBOLT 2016 serta anggota laboratorium Analisis Pengolahan Bahan Galian yang telah banyak membantu memberikan masukan serta referensi yang berkaitan dengan judul tugas akhir ini. Terima kasih juga saya ucapkan kepada kanda Akmal yang banyak membantu selama penelitian tugas akhir berlangsung.

Penulis berharap tugas akhir ini dapat berguna dalam rangka menambah wawasan dan pengetahuan kita. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan tugas

akhir ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan penulis demi perbaikan tugas akhir ini.

Makassar, Desember 2021

Penulis

# DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xi
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 Kegiatan Penelitian .....	3
1.6 Lokasi Pengambilan Sampel.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Pengertian batubara.....	6
2.2 Peringkat batubara.....	6
2.3 Analisis Mineralogi .....	7
2.4 Mineral Matter pada Batubara .....	13
2.5 Kualitas Batubara.....	16
2.6 Sulfur .....	19
2.7 Nilai Kalori.....	22

BAB III	METODE PENELITIAN .....	23
3.1	Studi Literatur .....	24
3.2	Pengambilan Data Lapangan.....	24
3.3	Preparasi Sampel Batubara .....	25
3.4	Analisis Sampel.....	26
BAB IV	ANALISIS MINERAL MATTER BATUBARA DAN BATUAN PENGAPITNYA.....	32
4.1	Kenampakan Lapangan .....	32
4.2	Analisis Mineral Matter Batubara.....	33
4.3	Analisis Kualitas Batubara .....	39
BAB V	PENUTUP.....	51
4.1	Kesimpulan .....	47
4.2	Saran .....	48
DAFTAR PUSTAKA	.....	49
DAFTAR LAMPIRAN.....		51

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Lokasi penelitian.....	5
Gambar 2.1 Difraksi sinar-X.....	8
Gambar 2.2 Skema kerja XRD.....	12
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian .....	23
Gambar 3.2 Pengambilan Sampel batubara .....	24
Gambar 3.3 Penggerusan menggunakan <i>agate mortar</i> .....	25
Gambar 3.4 Pengayakan .....	26
Gambar 3.5 Analisis piroksimat .....	27
Gambar 3.6 Analisis total sulfur.....	30
Gambar 3.7 Analisis Kalori.....	30
Gambar 3.8 analisis XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) .....	31
Gambar 4.1 Kenampakan lapangan batubara bulupoddo yang diapit oleh batu pasir dan batu lempung .....	32
Gambar 4.2 Kenampakan mikroskopis pada sampel batubara BP-01 B .....	33
Gambar 4.3 Kenampakan mikroskopis pada sampel batubara BP-01 E .....	34
Gambar 4.4 Hasil analisis XRD pada sampel batubara dan batuan pengapitnya.....	35

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Klasifikasi rank batubara berdasarkan ASTM .....	7
Tabel 2.2 Informasi dalam difraktogram .....	9
Tabel 2.3 Mineral yang sering dijumpai pada batubara .....	15
Tabel 4.1 Data analisis kandungan air pada batubara.....	40
Tabel 4.2 Data analisis kandungan abu.....	42
Tabel 4.3 Data analisis kandungan zat terbang ( <i>Volatile Matter</i> ).....	43
Tabel 4.4 Data analisis karbon tetap.....	45
Tabel 4.5 Hasil analisis sulfur batubara Bulupoddo .....	46
Tabel 4.6 Hasil analisis kalori batubara Bulupoddo .....	47

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Batubara merupakan salah satu sumber energi utama selain minyak dan gas bumi. Saat ini penggunaan batubara secara global sebagian besar masih didominasi oleh pembangkit tenaga listrik. Penggunaan lain dari batubara adalah produksi kokas sebagai bahan reduktor untuk kebutuhan industri besi dan baja (Ward and Ruiz, 2008).

Selain itu batubara juga telah digunakan secara intensif sebagai bahan bakar pada pabrik semen yang tersebar di wilayah Indonesia. Dengan menipisnya cadangan minyak bumi, diperkirakan bahwa pemakaian batubara akan semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang semakin meningkat. Endapan batubara juga memiliki kandungan *coal bed methane* (CBM) yang cukup potensial yang dapat dikembangkan sebagai bahan bakar untuk keperluan industri dan rumah tangga (Chalmers, *et al.*, 2007).

Sumberdaya batubara Indonesia cukup besar yakni lebih dari 61,3 milyar ton yang tersebar terutama di Sumatera dan Kalimantan serta sebagian kecil terdapat di Jawa Barat, Sulawesi bagian selatan dan Papua. Sulawesi Selatan dan Barat memiliki sumberdaya batubara sekitar 117 juta ton atau sekitar 0.35 % dari total sumberdaya secara nasional (*Directorate of Coal*, 2000).

Batubara merupakan batuan sedimen yang secara kimia dan fisika adalah heterogen yang mengandung unsur-unsur karbon, hidrogen serta oksigen sebagai komponen unsur utama dan belerang serta nitrogen sebagai unsur tambahan (Elliot, 1981). Batubara diartikan sebagai batuan sedimen (padatan) yang dapat terbakar, berasal dari tumbuhan serta berwarna cokelat sampai hitam, yang sejak

pengendapannya terkena proses fisika dan kimia yang menjadikan kandungan karbonnya menjadi kaya (Sukandarrumidi, 1995).

Pengendapan material pembentuk batubara di dalam cekungan pengendapan selanjutnya akan mengalami proses biokimia dan termodinamika yang akan mengubah serta meningkatkan derajat pematubaraan yang bermula dari gambut kemudian akan berubah menjadi antrasit. Proses pematubaraan ini akan menghasilkan karakteristik kualitas yang berbeda-beda dari satu tempat ketempat lainnya. Karakterisasi batubara berbeda-beda sesuai dengan *coal field* dan *coal seam*, sehingga batubara memiliki tingkat variabilitas tinggi baik fisik maupun kimia dan tidak hanya bervariasi secara vertikal namun juga secara horizontal (Oktarini dan Hamdani, 2014).

Beberapa daerah di Indonesia khususnya di Sulawesi Selatan, memiliki cadangan batubara yang tidak memenuhi standar untuk pemanfaatan dikarenakan memiliki kandungan air dan abu yang tinggi. Penelitian-penelitian sebelumnya telah memberikan informasi mengenai kualitas dan karakteristik batubara Sulawesi Selatan (Anggayana, dkk., 2003). Oleh karena itu mengingat minimnya penelitian terhadap karakterisasi dan kualitas batubara maka dari itu penulis tertarik untuk menganalisis kandungan mineral matter batubara serta batuan pengapitnya pada daerah Bulupoddo Kabupaten Sinjai Provinsi Sulawesi Selatan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana komposisi mineralogi pada batubara di Daerah Bulupoddo?
2. Bagaimana komposisi mineralogi pada batuan pengapit di Daerah Bulupoddo?
3. Bagaimana rank dan kualitas batubara yang terdapat pada Daerah Bulupoddo?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan yang dilakukannya dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi mineral-mineral yang terkandung dalam batubara di Daerah Bulupoddo.
2. Menganalisis mineral yang terkandung pada batuan pengapit batubara di Daerah Bulupoddo.
3. Menganalisis kualitas batubara dan menentukan rank pada Daerah Bulupoddo.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini berguna dalam memberikan informasi mengenai studi karakteristik *mineral matter* pada batubara sehingga dapat diketahui kualitas dan pengapit dari batubara tersebut.

### **1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian**

Tahapan kegiatan penelitian terdiri atas kegiatan persiapan, studi literatur, preparasi sampel, analisis sampel, pengolahan data dan penyusunan laporan. Metode penelitian didukung oleh literatur-literature berupa buku dan jurnal serta tambahan informasi dari pembimbing yang berkaitan dengan judul penelitian.

#### **1.5.1 Persiapan**

Persiapan merupakan tahapan awal sebelum melakukan penelitian. Penelitian ini terbagi dari beberapa tahapan antara lain; perumusan masalah yang bertujuan untuk memberikan gambaran umum dan batasan terhadap penelitian yang akan dilakukan.

### 1.5.2 Studi literatur

Studi literatur dilakukan sebelum dilakukan penelitian, selama penelitian berlangsung hingga penyusunan tugas akhir. Studi literatur dikumpulkan dari berbagai informasi berupa buku, jurnal dan referensi lainnya.

### 1.5.3 Pengambilan sampel

Pengambilan sampel pada daerah penelitian bertempat di kecamatan Bulupoddo Kabupaten Sinjai Provinsi Sulawesi selatan. Pengambilan sampel ini dilakukan untuk keperluan analisis.

### 1.5.4 Preparasi sampel

Preparasi sampel dilakukan di Laboratorium Analisis dan Pengolahan Bahan Galian Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin dengan menggerus sampel untuk keperluan analisis XRD dan analisis kualitas batubara.

### 1.5.5 Analisis sampel

Analisis sampel yang dilakukan pada penelitian ini adalah analisis mineral matter batubara yang meliputi analisis piroksimat, analisis mikroskop dan analisis XRD. Analisis ini dilakukan di Laboratorium Analisis dan Pengolahan Bahan Galian Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin.

### 1.5.6 Pengolahan data

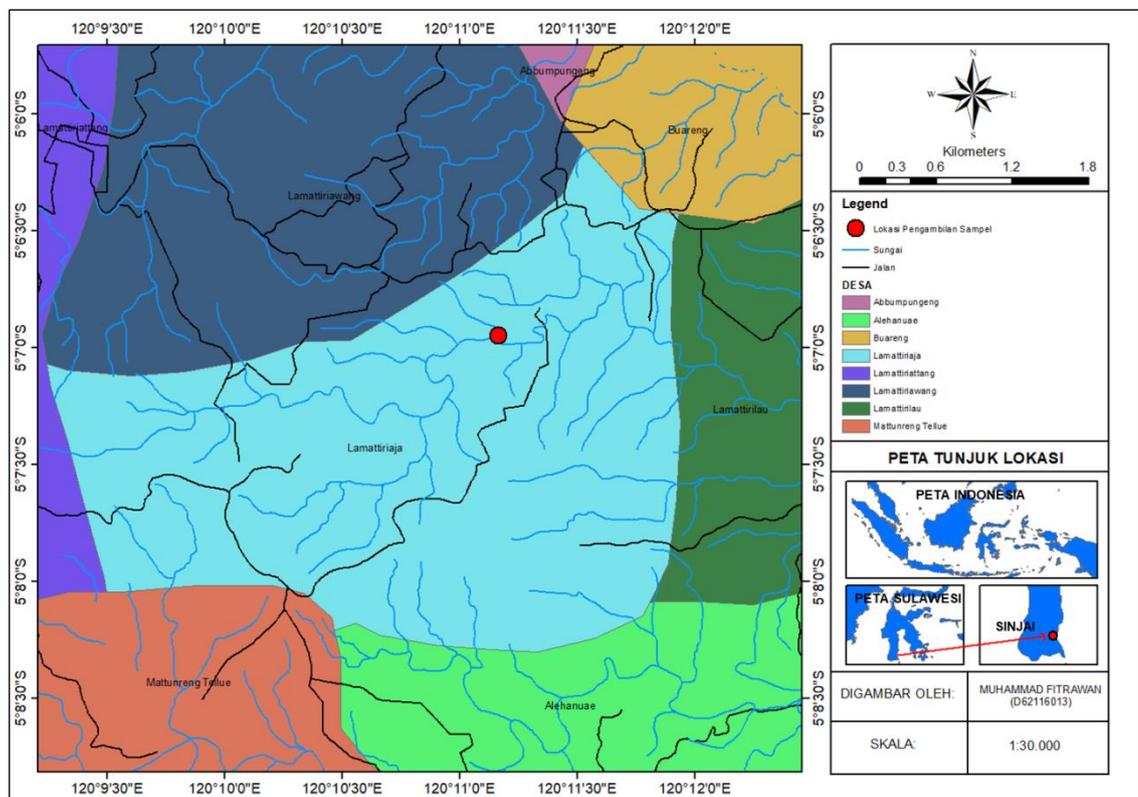
Data-data yang diperoleh dan di kumpulkan kemudian diolah dan dianalisis untuk mendapatkan tujuan yang diinginkan. Setelah data diolah kemudian diinterpretasikan agar dapat diketahui bagaimana karakterisasi mineralogi dan kualitas batubara serta batuan pengapitnya.

### 1.5.7 Penyusunan laporan

Hasil penelitian disusun dalam bentuk laporan yang dibuat secara sistematis sesuai dengan penulisan yang telah disetujui oleh Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin. Hasil penelitian kemudian di presentasikan dalam tugas akhir.

## 1.6 Lokasi Pengambilan Sampel

Lokasi pengambilan sampel dilakukan di Kecamatan Bulupoddo Kabupaten Sinjai Provinsi Sulawesi Selatan. Secara geografis lokasi pengambilan sampel terletak pada koordinat S  $05^{\circ}06'58,34''$  dan E  $120^{\circ}11'11,02''$ . Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Lokasi penelitian

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Batubara**

Batubara merupakan endapan sedimen yang terdiri dari komponen organik dan anorganik, bagian organik disebut maseral dan bagian anorganik disebut mineral. Karakteristik komposisi maseral dan mineral pada batuan akan mempengaruhi kualitas batubara terutama parameter abu, sulfur dan nilai kalori (Anggayana, 1999). Batubara adalah zat yang heterogen secara fisik maupun kimia, mudah terbakar, endapan sedimen yang mengandung bahan organik maupun anorganik. Kandungan organik batubara terdiri dari karbon, hidrogen, dan oksigen, dengan sedikit kandungan sulfur dan nitrogen. Kandungan anorganik batubara terdiri dari beragam zat pembentuk abu yang tersebar dalam *seam* batubara, dengan kadar yang bervariasi (Van Kravelen, 1993).

Batubara secara geokimia terbentuk karena proses pematubaraan yang terjadi akibat kenaikan temperature, tekanan dan waktu sehingga persentase karbon dalam bahan asal pembentuk batubara cenderung meningkat. Namun sebaliknya kandungan hydrogen dan oksigen dalam batubara menjadi berkurang. Proses pematubaraan ini akan menghasilkan batubara dengan berbagai peringkat yang sesuai dengan tingkat kematangan organiknya (Taylor, et al., 1998).

#### **2.2 Peringkat Batubara**

Sistem klasifikasi ASTM (ASTM D388) membagi batubara ke dalam empat kelas, yang masing-masing kelas terbagi lagi menjadi beberapa grup seperti pada Tabel 2.1. Batubara dengan rank tinggi diklasifikasikan berdasarkan nilai karbon totalnya dan

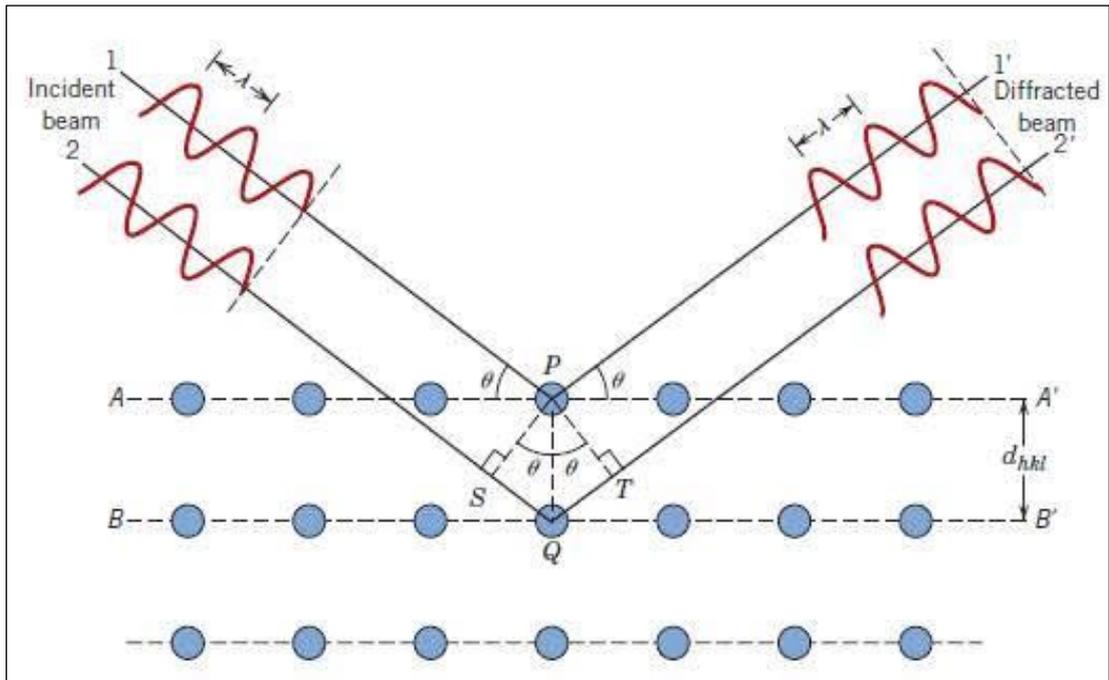
kandungan zat terbangnya, sedangkan batubara rank rendah diklasifikasikan dari nilai panasnya (Berkowitz, 1979).

Tabel 2.1 Klasifikasi rank batubara berdasarkan ASTM

<b>Kelas/Grup</b>	<b>Fixed Carbon (%)</b>	<b>Zat Terbang (%)</b>	<b>Nilai Panas (Btu/lb)</b>
<b>Antrasitik</b>			
Metaantrasit	>98	<2	
Antrasit	92 – 98	2 - 8	
Semiantrasit	86 – 92	8 - 14	
<b>Bituminus</b>			
Medium volatile	78 – 86	14 - 22	
High volatile A	69 – 78	22 - 31	>14.000
High volatile B	<69	>31	7.228 – 14.000
High volatile C			6.394 – 7.228
<b>Sub bituminous</b>			
Sub bituminus A			5.838 – 6.394
Sub bituminus B			5.282 – 5.838
Sub bituminus C			4.614 – 5.282
<b>Lignitik</b>			
Lignit A			3.502–4.614
Lignit B			<3.502

## 2.3 Analisis Mineralogi

Analisis mineralogi pada penelitian ini menggunakan sinar-X. Suatu kristal yang dikenai sinar-X tersebut berupa bahan (sampel), sehingga intensitas sinar yang ditransmisikan akan lebih rendah dari intensitas sinar yang datang. File sinar-X yang dihamburkan ada yang saling menghilangkan (interferensi destruktif) dan ada juga yang saling menguatkan (interferensi konstruktif). Interferensi konstruktif ini merupakan peristiwa difraksi seperti pada Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Difraksi sinar-X (Grant, 1998)

Berdasarkan Gambar 2.1, sinar datang yang menumbuk pada titik bidang pertama dan dihamburkan oleh atom P. Sinar datang kedua menumbuk bidang berikutnya dan dihamburkan oleh atom Q, sinar ini menempuh jarak  $SQ + QT$  bila dua sinar tersebut paralel dan satu fasa (saling menguatkan). Jarak tempuh ini merupakan kelipatan ( $n$ ) panjang gelombang ( $\lambda$ ) sehingga persamaan menjadi:

$$n \lambda = SQ + QT \dots\dots\dots(2.1)$$

$$n \lambda = d_{hkl} \sin\theta + d_{hkl} \sin\theta \dots\dots\dots(2.2)$$

$$n \lambda = 2 d_{hkl} \sin\theta \dots\dots\dots(2.3)$$

Persamaan diatas dikenal dengan hukum Bragg, dimana berdasarkan persamaan diatas, dapat diketahui panjang gelombang sinar X dan sudut datang pada bidang kisi, maka dengan itu dapat diestimasi jarak antara dua bidang planar kristal ( $d_{001}$ ). Dari metode difraksi dapat diketahui secara langsung mengenai jarak-rata antar bidang atom. Kemudian, dapat ditentukan juga orientasi kristal tunggal. Dan secara langsung dapat menerima struktur kristal dari suatu material yang belum diketahui komposisinya. Kemudian, secara tidak langsung mengukur ukuran, bentuk

dan tekanan internal dari suatu kristal. Prinsip dari difraksi terjadi sebagai akibat dari pantulan elastis yang terjadi ketika sebuah sinar A dengan sebuah target, Pantulan yang tidak terjadi kehilangan energi disebut pantulan elastis (*elastic scattering*).

Komponen utama XRD (*X-Ray Diffraction*) yaitu terdiri dari tabung katoda (tempat terbentuknya sinar-X), sampel holder dan pendeteksi. XRD memberikan data-data difraksi dan kuantisasi intensitas difraksi pada sudut-sudut dari suatu bahan. Data yang diperoleh dari XRD berupa intensitas difraksi sinar-X yang terdifraksi dan sudut-sudut  $2\theta$ . Tiap pola yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu (Widyawati, 2012).

Keluaran utama dari pengukuran data difraksi serbuk dengan difraktometer adalah sudut  $2\theta$  dan intensitasnya. Dalam hal ekstraksi informasi, ada tiga karakter dasar puncak (*peak*) difraksi yang memberikan gambaran mengenai kondisi pengukuran dan sifat-sifat kristal yaitu posisi, tinggi, dan lebar serta bentuk puncak difraksi. Untuk lebih jelasnya, Tabel 2.6 menunjukkan informasi dalam karakter tinggi, di posisi, dan lebar dan bentuk puncak difraksi.

Tabel 2.2 Informasi dalam difraktogram (Nayiro, 2014)

Karakter	Informasi dari material	Informasi dari instrumen
Posisi puncak	- Fasa kristalin/identifikasi	- Kesalahan $2\theta$ - Ketidaktepatan penempatan sampel
	- Struktur kristal	
	- Parameter kisi	
	- Regangan Seragam ( <i>Uniform Strain</i> )	
Tinggi puncak	- Identifikasi	
	- Komposisi	
	- Hamburan tak koheren	
	- Fasa anti ( <i>antiphase</i> )	
	- <i>Extinction</i>	
- <i>Prefered-orientation</i>		
Lebar Dan Bentuk Puncak	- Ukuran kristal (bukan partikel atau butir/grain)	- Duplet radiasi (misal $K\alpha_1$ dan $K\alpha_2$ )
	- Distribusi ukuran kristal	- Divergensi aksial
	- Regangan tak seragam (non Uniform Strain)	- Kedataran permukaan sampel
	- Dislokasi, cacat kristal, stacking-fault	

Ada dua cara analisis data difraksi yaitu analisis kualitatif dan analisis kuantitatif. Analisis kualitatif sering disebut dengan proses pemeriksaan fasa, dengan melalui pencocokan puncak-puncak difraksi dengan kartu PDF (*power diffraction file*). Sedangkan langkah-langkah dalam mengidentifikasi fasa dengan menggunakan *software*, terdiri dari: *peak match* (menemukan puncak) dan *search-match* (pencocokan terhadap basis data). *Search match* dapat dilakukan dengan cara manual maupun cara berbasis komputer. Sedangkan analisis kuantitatif digunakan untuk mengetahui informasi lebih lanjut mengenai materi yang diuji yaitu komposisi.

Pola difraksi yang diperoleh dari difraktometer yang menggambarkan status kristalinitas materi yang diuji yang pertama dapat dilihat dengan kasat mata dari sebuah pola difraksi adalah keberadaan fasa kristal dan/atau fasa amorf. Keberadaan fasa kristal dapat segera dilihat dari adanya puncak-puncak difraksi, sedangkan material amorf memberikan pola berbentuk punuk difraksi atau intensitas latar yang tidak teratur. Komposisi fasa kristal dan material amorf pada material yang diuji menggunakan metode analisis lanjut dari data difraksi yang telah terukur (metode *Rietveld*). Identifikasi berikutnya adalah menentukan fasa (kristal) apa saja yang terdapat di dalam material uji. Pada dasarnya identifikasi fasa didasarkan pada pencocokan data posisi-posisi puncak difraksi terukur dengan data *base* fasa-fasa yang telah dikompilasi.

Misalnya, dalam bentuk kartu PDF (*powder diffraction file*). Kartu ini untuk sebuah fasa yang berisi informasi mengenai nama fasa (termasuk nama khas fasa tersebut, misalnya nama mineralnya), sifat fisik dan kristalografi (cara memperoleh materi tersebut, densitasnya, grup ruang dan lain sebagainya), posisi puncak dan intensitas relatif untuk panjang gelombang radiasi tertentu. Karena yang dilakukan adalah pencarian posisi puncak dan pencocokan terhadap fasa pada *database* maka identifikasi fasa dinamakan juga dengan langkah cari dan cocokkan (*search-match*).

Identifikasi fasa sering juga dinamakan analisis kualitatif, karena analisis data dilakukan adalah sebatas mengetahui jenis fasa yang ada di dalam bahan uji. Identifikasi fasa merupakan langkah dasar yang harus dilakukan secara hati-hati agar hasil yang dilaporkan pada analisis data lanjutan (kuantitatif) benar-benar menggambarkan keadaan sampel seutuhnya.

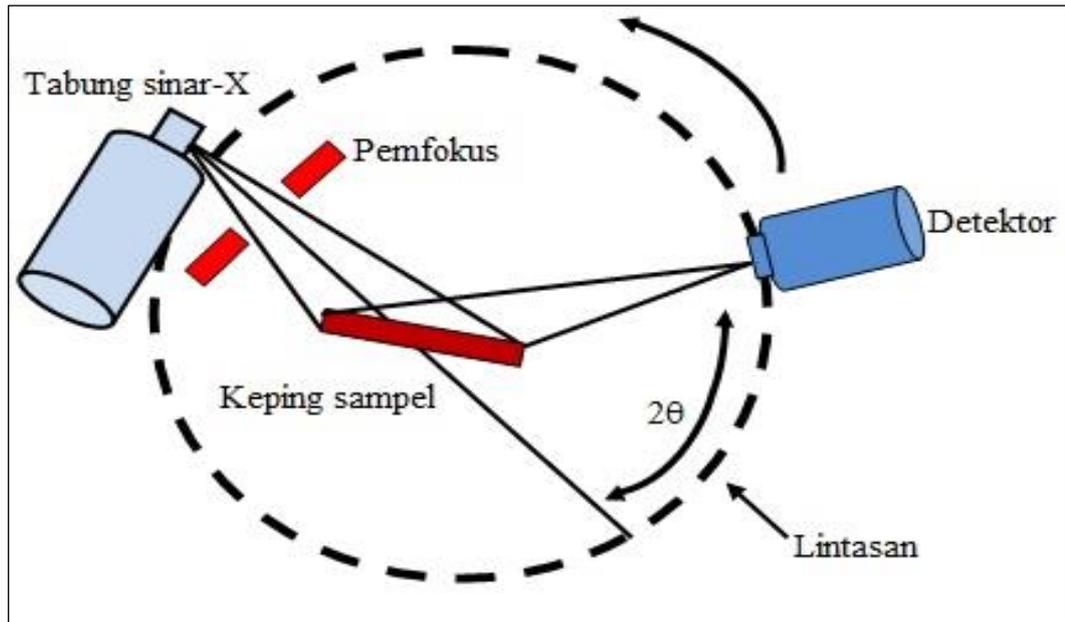
### 2.3.1 Analisis Mikroskopis

Pengamatan mineragrafi adalah kegiatan yang dilakukan untuk mengetahui jenis-jenis mineral atau hubungan antar mineral logam dengan pesan tekstur dari mineral. Pengamatan mineragrafi yang akan dilakukan menggunakan sayatan poles dan alat mikroskop. Sifat optik dan sifat fisik merupakan bentuk identifikasi mineral yang mana sifat optik itu sendiri meliputi anisotropisme, warna, refleksi ganda, dan refleksi dalam sedangkan sifat fisik termasuk bentuk kristal, belahan dan kembaran (Craig dan Vaughan, 1981).

Analisis mikroskopis adalah analisis yang dilakukan terhadap material yang tidak dapat dilihat secara langsung. Maka dibutuhkan alat untuk melihat objek yang terlalu kecil untuk dilihat dengan kasatmata. Mikroskop adalah alat bantu yang digunakan untuk melihat mineral-mineral apa saja yang terkandung dalam sampel batubara tersebut.

### 2.3.2 Analisis XRD (*X-ray diffraction*)

Salah satu teknik yang digunakan untuk menentukan struktur suatu padatan Kristalin adalah metode difraksi serbuk sinar-X (*X-ray powder diffraction*) seperti terlihat pada Gambar 2.3 Sampel berupa serbuk padatan kristalin yang memiliki ukuran kecil dengan diameter butiran kristalnya sekitar  $10^{-7} - 10^{-4}$  ditempatkan pada suatu plat kaca. Sinar-X diperoleh dari elektron yang keluar dari filamen panas dalam keadaan vakum pada tegangan tinggi dengan kecepatan tinggi menumbuk permukaan logam. Berikut adalah Gambar 2.2 yang skema kerja alat XRD:



Gambar 2.2 Skema kerja XRD (Warren,1969)

Sinar-X tersebut menembakkan sampel padatan kristalin, kemudian mendifraksikan sinar ke segala arah dengan memenuhi Hukum Bragg. Detektor bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel. Sampel serbuk atau padatan kristalin memiliki bidang-bidang kisi yang tersusun secara acak dengan berbagai kemungkinan orientasi, begitu pula partikel-partikel kristal yang ada di dalamnya. Setiap kumpulan bidang kisi tersebut memiliki beberapa sudut orientasi sudut tertentu, sehingga difraksi sinar-X memenuhi Hukum Bragg;  $n \lambda = 2 d \sin \theta$  (Warren, 1969).

Bentuk keluaran dari difraktometer dapat berupa data analog atau digital. Rekaman data analog berupa grafik garis-garis yang terekam per menit sinkron dengan detektor dalam sudut  $2\theta$  per menit, sehingga sumbu-x setara dengan sudut  $2\theta$ . Sedangkan rekaman digital intensitas sinar-X terhadap jumlah intensitas cahaya per detik. Pola difraktogram yang dihasilkan berupa deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas bervariasi sepanjang nilai  $2\theta$  tertentu. Besarnya intensitas relatif dari deretan puncak-puncak-puncak tersebut bergantung pada jumlah atom atau ion

yang ada, dan distribusinya di dalam sel satuan material tersebut. Pola difraksi setiap padatan kristalin sangat khas, yang bergantung pada kisi kristal, unit parameter dan panjang gelombang sinar-X yang digunakan. Dengan demikian, sangat kecil kemungkinan dihasilkan pola difraksi yang sama untuk suatu padatan kristalin yang berbeda (Suharyana, 2012).

XRD (*X-Ray Diffraction*) merupakan alat difraktometer yang menggunakan 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 (Tambunan, 2012).

## **2.4 Mineral *Matter* Pada Batubara**

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 yang kemudian di transport kedalam

cekungan pengendapan batubara melalui air atau angin dan di sebut *extraneous* atau *adventitious* mineral matter. Material organik di dalam batubara terbagi menjadi tiga kategori menurut pembentuknya yaitu (Taylor *et.al.*, 1998):

1. *Syngenetic anorganic matter*, merupakan material anorganik yang berasal dari tumbuhan pembentuk batubara.
2. *Syngenetic inorganic/organic complexes*, Material anorganik yang terbentuk selama tahap awal penggabutan, berasal dari luar yang terbawa oleh air atau angin kedalam gambut. Contoh: Mineral zircon ( $ZrSiO_4$ ) dan pertukaran hidrogen dalam karbonat menjadi kalsium karbonat.
3. *Epigenetic minerals*, Terbentuk setelah proses konsolidasi batubara oleh kristalisasi dalam rekahan atau lubang atau oleh alterasi mineral yang terendapkan secara primer. Contoh: Pirit dan mineral Karbonat.

Mineral *matter* pada batubara terbentuk melalui proses yang berbeda-beda, diantaranya akumulasi partikel kerangka makhluk hidup dan komponen biogenik lainnya dalam lapisan gambut, masuknya butiran sedimen dalam lingkungan pembentukan gambut melalui proses epiklastik dan/atau piroklastik, dan pengendapan material yang terbawa air ke dalam rawa gambut atau pori-pori pada dasar gambut. *Mineral matter* juga bisa terbentuk dari pengendapan mineral pada pori-pori gambut melalui proses yang terjadi setelah proses pengendapan mineral, dan alterasi dari mineral yang telah ada sebelumnya (Ward, 2016).

Berdasarkan asal pembentukannya terdapat 2 bentuk *mineral matter* yang terdapat dalam batubara, yaitu (Daulay, *et. al.*, 2012):

1. *Inherent mineral matter*, menyatu dengan batubara dan tidak dapat dipisahkan, terbentuk dari unsur kimia yang ada pada tumbuh-tumbuhan asal pembentuk batubara.

2. *Extraneous mineral matter*, material pembentuk abu yang berasal di luar tumbuh-tumbuhan asal pembentuk batubara yang mengendap dan masuk dalam rekahan-rekahan batubara setelah pembentukan batubara umumnya terdiri atas *slate, shale, sandstone* atau *limestone* dari mulai ukuran mikro sampai yang membentuk lapisan agak tebal.

Pemisahan batubara bertujuan untuk meningkatkan kualitas batubara dengan mengurangi pengotor anorganiknya (*mineral matter*-nya). Kriteria dalam pemrosesan batubara adalah kadar abu yang tidak terpisahkan saat proses benefisiasi, sehingga batubara dengan kandungan zat anorganik yang rendah akan dipisahkan dengan batubara yang memiliki kandungan zat anorganik yang tinggi. Keberadaan abu pada batubara terbentuk sebagai hasil perubahan kimiawi dari *mineral matter* selama proses pembakaran. Abu dapat didefinisikan sebagai semua elemen dalam batubara kecuali karbon, hidrogen, oksigen, sulfur, dan nitrogen. Beberapa jenis mineral yang sering muncul dalam batubara dapat dilihat pada Tabel 2.7 (Harvey and Ruch, 1986).

Tabel 2.3 Mineral yang sering dijumpai pada batubara (Harvey and Ruch, 1986)

Mineral	<i>Common minor and trace element association</i>	<i>Frequency of occurrence in coal seams</i>	<i>Physical chief occurrences</i>
<i>Clay Minerals</i>			
<i>Illite (sericite)</i>	Na, Ca, Fe, Li Ti, Mn, F and other lithophile elements	<i>Common</i>	D, L
<i>Smectite (incl. mixed layered)</i>		<i>Common</i>	D, L
<i>Kaolinite group</i>		<i>Common</i>	L, F
<i>Chlorite</i>		<i>Rare</i>	L, F
<i>Sulfides</i>			
<i>Pyrite</i>	As, Co, Cu, and other chalcophile elements	<i>Rare-common</i>	D, N, F
<i>Marcasite</i>		<i>Rare-moderate</i>	D
<i>Pyrrhotite</i>		<i>Rare</i>	D
<i>Shalerit</i>		<i>Rare</i>	F
<i>Galena/chalcopyrite</i>		<i>Rare</i>	F

Mineral	<i>Common minor and trace element association</i>	<i>Frequency of occurrence in coal seams</i>	<i>Physical chief occurrences</i>
<i>Carbonates</i>			
<i>Calcite</i>		<i>Rare-common</i>	N, F
<i>Dolomite (ankerite)</i>	Mn, Zn, Sr	<i>Moderate</i>	N, L
<i>Siderite</i>		<i>Rare</i>	N
<i>Oxides</i>			
<i>Quartz</i>		<i>Common</i>	D, L, N
<i>Magnetite/hematite</i>	Mn, Ti	<i>Common</i>	N
<i>Rutile and anatase</i>		<i>Common</i>	D
<i>Others</i>			
<i>Goethite/limonite</i>	Mn, Ti	<i>Common</i>	N
<i>Feldspar</i>	Ca	<i>Moderate</i>	D, L
<i>Zircon</i>		<i>Moderate</i>	D
<i>Sulfates: gypsum</i>		<i>Moderate</i>	D, F
<i>Barite</i>	Na, Sr, Pb	<i>Rare</i>	F
<i>Szomolnokite</i>		<i>Rare</i>	D
<i>Apatite</i>	Mn, Cc, Sr, U	<i>Moderate</i>	D
<i>Halite</i>	K, Mg	<i>rare</i>	D

D = disseminated; L = layers (partings); N = nodules; F = fissures (cleat). First listed is the most common occurrence

## 2.5 Kualitas Batubara

Kualitas batubara dapat dinyatakan dengan parameter yang ditunjukkan pada saat memberikan perlakuan panas terhadap batubara, cara ini biasa disebut analisis proksimat dan analisis ultimat. Parameter-parameter yang terukur pada analisis proksimat adalah kandungan *ash* (abu), *inherent moisture* (lengas tertambat), karbon tetap, dan zat terbang sedangkan ultimat terdiri dari kadar hidrogen, sulfur, nitrogen dan oksigen. Pengujian sifat fisik batubara yang juga sering dilakukan yaitu pengujian nilai kalor (*calorific value*), indeks kegerusan hardgrove (*hardgrove grindability index*), analisis titik leleh abu (*ash fusion temperature*), pengujian nilai muai bebas (*free swelling index*) dan lain-lain.

### 2.5.1 Analisis Proksimat Batubara

Analisis proksimat meliputi penentuan kelembaban (*moisture content*), zat terbang (*volatile matter*), kadar abu, dan perhitungan nilai karbon tetap pada conto batubara atau kokas dengan metode yang telah ditentukan dan dianalisis sesuai dengan prosedur yang ditetapkan. Metode ini dikembangkan untuk menghitung kandungan batubara dengan memanaskannya pada kondisi tertentu. Berdasarkan definisinya, analisis proksimat batubara terdiri atas empat jenis: (1) kelembaban; (2) zat terbang, terdiri dari gas dan uap air yang menguap selama pirolisis; (3) karbon tetap, bagian batubara yang tidak mudah menguap; (4) abu, bahan anorganik sisa pembakaran (ASTM, 1979).

#### a. Kadar kelembaban

Kadar kelembaban adalah jumlah kandungan air dalam batubara (dalam semua bentuk, kecuali dalam bentuk kristal pada *mineral matter*). Tumbuhan asal batubara mengandung kadar air tinggi yang terikat secara fisik dan kimia, dan air tersebut tetap ada selama proses pematubaraan. Proses pematangan batubara akan mengurangi kandungan air tersebut. Semakin tinggi rank batubara semakin rendah kadar airnya (Speight, 2005).

Metode standar yang digunakan untuk menghitung jumlah *moisture* pada batubara terdiri atas berbagai macam metode yang telah didesain berdasarkan tipe *moisture* pada batubara. Metode berikut merupakan metode yang sering digunakan adalah metode untuk menentukan kelembaban untuk analisis sederhana pada batubara dan kokas. Kelembaban ditentukan dengan memanaskan conto pada kondisi yang terkontrol: suhu, waktu, atmosfer, berat conto, dan peralatan sesuai spesifikasi. Untuk menghitung persentase kelembaban pada batubara digunakan rumus (ASTM, 1979):

$$\text{Moisture (\%)} = \left[ \frac{(\text{Berat conto awal} - \text{Berat conto setelah pemanasan})}{\text{Berat conto awal}} \right] \times 100 \dots\dots\dots [2.1]$$

b. Kadar abu

Abu adalah sisa yang dihasilkan dari pembakaran batubara pada kondisi tertentu (ASTM D3174; ISO 1171). Abu terbentuk dari perubahan kimia pada *mineral matter* selama proses pengabuan. Jumlah abu bisa lebih banyak, sama dengan, atau lebih sedikit dari kandungan *mineral matter* batubara tergantung dari sifat abu dan perubahan kimia yang terjadi selama proses pembentukannya. Perubahan kimia yang biasa terjadi meliputi (1) penguraian air dan mineral silika, (2) penguraian oksida, (3) oksidasi pirit besi menjadi oksida besi, (4) perubahan oksida sulfur oleh basa seperti kalsium dan magnesium (Speight, 2005).

Abu ditentukan dengan menimbang sisa pembakaran batubara pada kondisi terkontrol: suhu, waktu, atmosfer, berat conto, dan peralatan sesuai spesifikasi. Untuk menghitung persentase abu pada batubara digunakan rumus (ASTM, 1979):

$$\text{Ash (\%)} = \left[ \frac{(\text{Berat kapsul dan abu} - \text{Berat kapsul kosong})}{\text{Berat conto yang dianalisis}} \right] \times 100 \dots\dots\dots[2.2]$$

c. Zat terbang

Zat terbang adalah seluruh persentase zat yang mudah menguap, kecuali uap air, yang dilepaskan selama proses pemanasan batubara atau kokas pada kondisi yang terkontrol (Speight, 2005).

Zat terbang ditentukan dengan menghitung berat hilang yang dihasilkan dari pembakaran batubara atau kokas pada kondisi yang terkontrol. Pengukuran berat hilang dilakukan untuk menghitung kandungan zat terbang pada batubara. Untuk menghitung berat hilang dapat digunakan rumus:

$$\text{Weight Loss (\%)} = \left[ \frac{(\text{Berat conto awal} - \text{Berat conto setelah pemanasan})}{\text{Berat conto awal}} \right] \times 100 \dots\dots\dots[2.3]$$

Persentase zat terbang dapat dihitung menggunakan rumus (ASTM, 1979):

$$\text{Volatile Matter (\%)} = \text{Weight Loss (\%)} - \text{Moisture (\%)} \dots\dots\dots[2.4]$$

d. Karbon tetap

Karbon tetap adalah nilai yang didapatkan dengan menjumlahkan persentase kelembaban, abu, dan zat terbang lalu mengurangkannya dengan 100. Semua nilai ini harus memiliki standar yang sama. Untuk menghitung karbon tetap digunakan rumus (ASTM, 1979):

$$\text{Fixed carbon (\%)} = 100 - [\text{Moisture (\%)} + \text{Ash (\%)} + \text{Volatile matter (\%)}] \dots\dots[2.5]$$

### 2.5.2 Analisis Ultimat

Analisa Ultimat dilakukan untuk menentukan jumlah unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N) dan sulfur (S) dalam batubara. Kandungan karbon, hidrogen dan oksigen digunakan untuk menilai karakteristik pengkokasan, gasifikasi dan likuifaksi batubara. Sedangkan kandungan nitrogen dan sulfur menunjukkan potensi pencemaran yang dapat ditimbulkan dari pemanfaatan batubara tersebut (Annisa, 2016).

## 2.6 Sulfur

Sulfur didalam batubara dapat berbentuk senyawa organik atau senyawa anorganik seperti pirit, markasit, dan sulfat. Sulfur organik merupakan bahan yang stabil dan tersebar secara merata pada batubara. Dalam jumlah yang sangat kecil dapat ditemukan sulfur dalam bentuk sulfat (kalsium sulfat atau besi sulfat). Kadar sulfur dalam batubara bervariasi mulai dari jumlah yang sangat kecil sampai lebih dari 4% (Widodo, et al., 2010).

Pemanfaatan batubara umumnya memerhatikan kadar sulfur sebelum penggunaan batubara dan kadar sulfur setelah penggunaan. Pada pembuatan kokas, sulfur terurai pada proses pemanasan, sehingga menghasilkan nilai awal dan akhir.

Penggunaan kokas secara komersial, misalnya dalam proses metalurgi, membutuhkan kokas dengan kadar sulfur rendah (Speight, 2005).

Sulfur pada batubara terbagi tiga, sulfur organik, sulfur piritik, dan sulfur sulfat. Kandungan sulfur organik biasanya tidak lebih dari 3%, meskipun pernah ada yang tercatat hingga 11%. Sulfur sulfat (terutama  $\text{CaSO}_4$  dan  $\text{FeSO}_4$ ) biasanya sekitar 0,1% kecuali pada sampel batubara yang sangat lapuk dan telah mengalami oksidasi. Sulfur bebas sangat jarang ditemukan pada batubara. Kandungan sulfur batubara biasanya berbeda tergantung lapisannya (Kuhn, 1977).

#### 1. Sulfur piritik

Pirit dapat terbentuk sebagai hasil reduksi sulfur primer oleh mikroorganisme ataupun oleh air tanah yang mengandung ion besi. Bentuk pirit hasil reduksi ini biasanya framboidal dengan sumber sulfur yang tereduksi kemungkinan terdapat dalam material yang terendapkan bersama batubara. Pirit *syngenetic*, yaitu pirit yang terbentuk selama proses penggabutan (*peatification*). Pirit jenis ini biasanya berbentuk framboidal dengan butiran sangat halus dan tersebar dalam material pembentuk batubara (Demchuk, 1992).

Pirit *epigenetic*, yaitu pirit yang terbentuk setelah proses pematubaraan. Pirit jenis ini biasanya terendapkan dalam kekar, rekahan dan *cleat* pada batubara serta biasanya bersifat masif. Umumnya pirit jenis ini dapat diamati sebagai pirit pengisi *cleat* pada batubara (Frankie and Hower, 1987).

#### 2. Sulfur organik

Sulfur organik merupakan suatu elemen pada struktur makromolekul dalam batubara yang kehadirannya secara parsial dikondisikan oleh kandungan dari elemen yang berasal dari material tumbuhan asal. Dalam kondisi geokimia dan mikrobiologis spesifik, sulfur anorganik dapat berubah menjadi sulfur organik (Wiser, 2000).

Sulfur yang bukan berasal dari material pembentuk batubara diduga mendominasi dalam menentukan kandungan sulfur total. Sulfur anorganik 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 adalah reduksi sulfat oleh material organik menjadi hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S).

Unsur sulfur, hidrogen sulfida dan ion sulfida dapat bereaksi dengan unsur atau molekul organik dari gambut menjadi sulfur organik. Unsur sulfur (S) kemungkinan muncul dari proses oksidasi hidrogen sulfida yang terkena kontak dengan oksigen terlarut dalam kisi – kisi air, di samping itu S juga bisa muncul karena adanya aktivitas bakteri. Unsur sulfur (S) dapat bereaksi dengan asam humik yang terbentuk selama proses penggabutan (Meyers,1982).

### 3. Sulfur sulfat

Sulfat dalam batubara umumnya ditemui dalam bentuk sulfat besi, kalsium dan barium. Kandungan sulfat tersebut biasanya rendah sekali atau tidak ada kecuali jika batubara telah terlapukkan dan beberapa mineral pirit teroksidasi akan menjadi sulfat. Sulfur sulfat juga dapat berasal dari reaksi garam laut atau air payau yang mengisi lapisan dasar yang jaraknya tidak jauh dan berada di atas atau di bawah lapisan batubara. Pada umumnya 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 (Meyers, 1982).

Keberadaan sulfur piritik pada batubara Sulawesi Selatan memiliki tekstur yang sangat halus dan tidak mengisi rekahan pada batubara. Hal ini mengindikasikan bahwa pirit terbentuk pada proses penggabutan (*syngenetic*). Keberadaan pirit *epigenetic* juga dapat ditemukan mengisi fraktur pada batubara. kandungan sulfur yang tinggi ini

(sulfur piritik) kemungkinan disebabkan oleh pengendapan batubara dilingkungan air laut yang dangkal (Widodo, et al., 2016).

## 2.7 Nilai Kalori

Nilai kalori sering disebut juga *gross caloric value* (GCV) atau *higher heating value* (HHV) dan *net caloric value* (NCV) atau *lower calorific value* (LHV). Perbedaan antara GCV dan NCV adalah pada proses kondensasi pada uap air selama pemanasan berlangsung. GCV mengasumsikan semua uap air yang diproduksi selama proses pembakaran mengalami kondensasi secara sempurna. NCV mengasumsikan bahwa air dihilangkan tanpa mengalami kondensasi secara sempurna. Untuk menyeimbangkan semua efek pembakaran, nilai kalori harus dibandingkan dengan standar NCV. Nilai kalori batubara sangat bervariasi, dipengaruhi oleh abu, kadar kelembaban, dan jenis batubara, sedangkan nilai kalori bahan bakar minyak lebih konsisten.

Pengujian nilai kalori dengan standar GCV memerlukan tekanan oksigen ± 300-600 psi dengan suhu sekitar 20-35°C (68-95°F). Produk hasil pembakaran berupa abu, air, karbon dioksida, sulfur dioksida, dan nitrogen. Rumus yang digunakan untuk mengonversi GCV menjadi NCV adalah sebagai berikut (Speight, 2005):

$$\text{NCV (Btu/lb)} = \text{GCV} - \left[ \frac{1.030 \times \% \text{ total hydrogen} \times 9}{100} \right] \dots \dots \dots [2.6]$$