

**TESIS**

**ANALISIS POTENSI PEMBENTUKAN AIR ASAM TAMBANG  
PADA STRATIFIKASI BATUBARA DI DAERAH LAMURU  
KABUPATEN BONE PROVINSI SULAWESI SELATAN**

*Analysis of Acid Mine Drainage Formation Potential on Coal  
Stratification in Lamuru Area, Bone Regency,  
South Sulawesi Province*

**UMAR TRIADI RIVAI  
NIM D112211002**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK PERTAMBANGAN  
DEPERTEMEN TEKNIK PERTAMBANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA  
2023**

## **PENGAJUAN TESIS**

# **ANALISIS POTENSI PEMBENTUKAN AIR ASAM TAMBANG PADA STRATIFIKASI BATUBARA DI DAERAH LAMURU KABUPATEN BONE PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister  
Program Studi Ilmu Teknik Pertambangan

Disusun dan diajukan oleh

**UMAR TRIADI RIVAI  
D112211002**

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

# **ANALISIS POTENSI PEMBENTUKAN AIR ASAM TAMBANG PADA STRATIFIKASI BATUBARA DI DAERAH LAMURU KABUPATEN BONE PROVINSI SULAWESI SELATAN**

**UMAR TRIADI RIVAI  
D112211002**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 15 Agustus 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan



Pembimbing Utama



Dr. Eng. Ir. Muhammad Ramli, MT.  
NIP. 19680718 199309 1 001

Pembimbing Pendamping



Dr. Phil.nat. Sri Widodo, ST., MT.  
NIP. 19710101 201012 1 001

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, ST., MT.  
NIP. 19730926 200012 1 002

Ketua Program Studi  
S2 Teknik Pertambangan



Dr. Ir. Irzal Nur, MT.  
NIP. 19660409 199703 1 002

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Umar Triadi Rivai

NIM : D112211002

Program Studi : Teknik Pertambangan

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul ““Analisis Potensi Pembentukan Air Asam Tambang Pada Stratifikasi Batubara di Daerah Lamuru Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Utama Dr. Eng. Ir. Muhammad Ramli, MT. Dan Pembimbing pendamping Dr. Phil.nat. Sri Widodo, ST., MT. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal/Prosiding (GIESED, Volume, Halaman, dan DOI) sebagai artikel dengan judul “*Analysis Of Sulfide Minerals As a Source Of Acid Mine Drainage In The Stratification Of Lamuru Coal, Bone Regency*”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin

Gowa 23, Agustus 2023

Yang menyatakan



Umar Triadi Rivai

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kehadirat Allah Subhana Wata'ala, karena hanya atas izin dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan tesis ini dengan judul "Analisis Pembentukan Air Asam Tambang Pada Stratifikasi Batubara Lamuru Kabupaten Bone Sulawesi Selatan", Salawat serta salam penulis haturkan kepada Rasulullah Muhammad Sallallahu'alihiwasallam sebagai suri teladan terbaik. Penyusunan tesis ini merupakan syarat terakhir yang harus ditempuh untuk menyelesaikan pendidikan pada jenjang Strata Dua (S-2) di Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Ucapan terima kasih kepada bapak Dr. Ir. Irzal Nur, M.T., selaku ketua program studi Magister Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Bapak Dr. Eng. Ir. Muhamad Ramli, M.T dan Bapak Dr. Phil.nat Sri Widodo, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberi arahan kepada penulis. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Dr. Sufriadin, S.T., M.T., Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T. dan ibu Dr. Eng Rini Novrianti Sutardjo, S.T., M.T., MBA. selaku dosen penguji yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan koreksi terhadap penelitian penulis. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Staf pengajar dan Staf akademik dan tata usaha di lingkungan program studi Magister Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin yang selalu membantu penulis selama penulis melaksanakan studi dan rekan-rekan seperjuangan yaitu keluarga besar mahasiswa Magister Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin terutama angkatan 2021 dan seluruh anggota LBE Hidrologi dan Lingkungan Tambang Universitas Hasanuddin.

Ucapan terima kasih juga diucapkan kepada kedua orang tua penulis yaitu bapak Alm. Muhammad Rivai. S.H., Rahimahullah dan Dra. Murnih Taribu. M.S., Hafizhahullah atas segala dukungan dan doa yang diberikan kepada penulis selama penyusunan Tesis ini.

Penulis juga mengucapkan terima kasih pada seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung membantu penulis selama penulisan Tesis. Penulis menyadari, bahwa penulisan Tesis ini masih terdapat kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu penulis menyampaikan permohonan maaf atas semua kekurangan yang dijumpai dalam proses penyusunan laporan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua Aamiin. Penulis mengharapkan saran dari pembaca agar dapat menjadi masukan bagi perbaikan di masa yang akan datang.

Makassar, 23 Agustus 2023

Penulis

## ABSTRAK

**UMAR TRIADI RIVAI.** Analisis Potensi Pembentukan Air Asam Tambang Pada Stratifikasi Batubara di Daerah Lamuru Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan. (dibimbing oleh **Muhammad Ramli, Sri Widodo**)

Sistem penambangan terbuka pada tambang batubara menyebabkan batuan di lokasi penambangan terekspos ke permukaan. Hal ini akan mengakibatkan air dan udara akan bereaksi dengan batuan secara langsung yang akan menyebabkan terbentuknya air asam tambang. Kondisi morfologi perbukitan yang membentuk sejumlah mata air dan alur sungai menjadi penyalur kawasan pertanian sekitar daerah penelitian. Kualitas air dan alur sungai tersebut memiliki peranan penting yang harus dijaga agar tidak memberikan dampak buruk. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keberadaan mineral sulfida pada stratifikasi batubara. Komposisi mineral sulfida mempengaruhi kandungan sulfur sebagai identifikasi potensi air asam tambang. Pada daerah penelitian diperoleh tujuh sampel batuan pada stratifikasi batubara. Sampel tersebut berupa batulanau (S-01), batubara (S-02), batulanau (S-03), batulempung (S-04), batubara (S-05), batupasir (S-06), *top soil* (S-07), dan sedimen (SS-1). Hasil analisis *X-ray Diffraction* (XRD) mendeteksi adanya mineral sulfida berupa pirit dan arsenopirit. Pada analisis total sulfur diperoleh nilai berkisar antara 0,046% hingga 4,620%. Hasil analisis *scanning electron microscope* (SEM) menunjukkan morfologi mineral berupa framboidal. Pirit framboidal merupakan kristal yang sangat halus, sangat cepat bereaksi dengan udara. Oleh karena itu pirit ini penyebab pemicu terbentuknya air asam tambang. Hal ini berbanding lurus dengan hasil pengujian kinetik, yang menunjukkan nilai pH pada sampel batubara (S-02) 5,70, batulanau (S-03) 2,70, sampel batulempung (S-04) 3,90, dan sampel batubara (S-05) 5,15. Berdasarkan data tersebut maka keempat sampel dikategorikan berpotensi menghasilkan air asam tambang.

**Kata Kunci** : Mineral Sulfida; Kualitas Air; Morfologi; Air Asam Tambang; Batubara.

## ABSTRACT

**UMAR TRIADI RIVAI.** Analysis of Acid Mine Drainage Formation Potential on Coal Stratification in Lamuru Area, Bone Regency, South Sulawesi Province (supervised by **Muhammad Ramli, Sri Widodo**)

Open pit mining systems in coal mines cause rocks at the mining site to be exposed to the surface. This will cause water and air to react directly with the rock, which will cause the formation of acid mine water. The morphological condition of the hills that form a number of springs and river channels supplies the agricultural area around the study area. The quality of water and river channels has an important role that must be maintained so as not to have a negative impact. This study aims to analyze the presence of sulfide minerals in coal stratification. The mineral composition of sulfides affects the sulfur content as an identification of acid mine water potential. In the study area, seven rock samples were obtained in coal stratification. The samples were siltstone (S-01), coal (S-02), siltstone (S-03), claystone (S-04), coal (S-05), sandstone (S-06), top soil (S-07), and sediment (SS-1). The results of X-ray Diffraction (XRD) analysis detect the presence of sulfide minerals in the form of pyrite and arsenopyrite. In the analysis of total sulfur, values ranging from 0.046% to 4.620% were obtained. The results of scanning electron microscope (SEM) analysis show mineral morphology in the forms of framboidal. Framboidal pyrite is a very fine crystal that reacts very quickly with air. Therefore, pyrite is the trigger for the formation of acid mine water. This is directly proportional to the results of kinetic testing, which show the pH value in coal samples (S-02) at 5.70, siltstone (S-03) at 2.70, claystone samples (S-04) at 3.90, and coal samples (S-05) at 5.15. Based on this data, the four samples are categorized as having the potential to produce acid mine drainage.

**Keywords:** Sulfide Minerals; Water Quality; Morphology; Acid Mine Drainage; Coal.

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PENGAJUAN TESIS</b> .....	ii
<b>PERSETUJUAN TESIS</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TESIS</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
<b>DAFTAR SINGKATAN ARTI DAN SIMBOL</b> .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
1.4. Batasan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1. PT Pasir Walanae.....	5
2.2. Geomorfologi Regional .....	6
2.3. Stratifikasi Regional .....	7
2.4. Struktur Geologi Regional .....	9
2.5. Batubara .....	10
2.6. Air Asam Tambang .....	18
2.7. Faktor Pemicu Air Asam Tambang .....	20
2.8. Keterdapatn Sulfur .....	21

2.9	Reaksi Pembentukan Air Asam Tambang .....	24
2.10	Analisis Mineralogi .....	26
2.11	Pengelolaan Lingkungan Tambang Batubara .....	27
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>30</b>
3.1	Lokasi Penelitian .....	30
3.2	Pengambilan Data Lapangan .....	31
3.3	Pengujian Laboratorium .....	37
3.4	Bagan Alir Penelitian .....	43
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>44</b>
4.1	Hasil Pengambilan Sampel Lapangan .....	44
4.2	Hasil Pengujian Laboratorium .....	45
4.2	Analisis .....	64
<b>BAB IV PENUTUP .....</b>		<b>67</b>
5.1	Kesimpulan .....	67
5.2	Saran .....	68
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>69</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>		<b>73</b>

**DAFTAR TABEL**

<b>Tabel</b>		<b>Halaman</b>
4.1	Hasil Pengolahan Analisis Total Sulfur.....	50
4.2	Hasil Pengujian Kinetik .....	52

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
2.1 Tahap pengambilan dan tahap pembatubaraan serta faktor-faktor yang mempengaruhinya (Kentucky Geological Survey 2012) ....	12
2.2 Konsep umum penanganan <i>overburden</i> dalam mencegah terbentuknya air asam tambang (Arif, 2014) .....	29
3.1 Peta citra stelit yang menunjukkan lokasi penelitian .....	30
3.2 Pengambilan sampel dengan <i>channel sampling</i> (Arif 2014) .....	32
3.3 Pengambilan sampel dengan <i>channel sampling</i> (Arif 2014) .....	32
3.4 Singkapan batubara dan lapisan pengapitnya .....	33
3.5 Sampel S-01 (Batulanau) .....	34
3.6 Sampel S-02 (Batubara) .....	34
3.7 Sampel S-03 (Batulanau) .....	35
3.8 Sampel S-04 (Batulempung) .....	35
3.9 Sampel S-05 (Batubara) .....	36
3.10 Sampel S-06 (Batupasir) .....	36
3.11 Sampel S-07 ( <i>Topsoil</i> ).....	37
3.12 Sampel SS-1 (Sedimen) .....	37
3.13 Analisis XRD ( <i>X-ray Diffraction</i> ) .....	38
3.14 Analisis total sulfur .....	39
3.15 Pengujian <i>scanning electron microscope</i> (SEM) .....	40
3.16 Sketsa alat uji kinetik (amira 2002) .....	41
3.17 Pengujian kinetik metode <i>free draining column leact test</i> .....	42
3.18 Diagram alir penelitian.....	43
4.1 Sketsa lokasi pengambilan .....	42
4.2 Difraktogram keterdapatan mineral hasil XRD pada sampel dengan kode S-01 .....	45
4.3 Difraktogram keterdapatan mineral hasil XRD pada sampel dengan kode S-02 .....	46

4.4	Difraktogram keterdapatan mineral hasil XRD pada sampel dengan kode S-03 .....	46
4.5	Difraktogram keterdapatan mineral hasil XRD pada sampel dengan kode S-04 .....	47
4.6	Difraktogram keterdapatan mineral hasil XRD pada sampel dengan kode S-05 .....	48
4.7	Difraktogram keterdapatan mineral hasil XRD pada sampel dengan kode S-06 .....	48
4.8	Difraktogram keterdapatan mineral hasil XRD pada sampel dengan kode S-07 .....	49
4.9	Difraktogram keterdapatan mineral hasil XRD pada sampel dengan kode SS-01 .....	50
4.10	Hasil pengamatan <i>scanning electron microscope</i> (SEM) .....	51
4.11	Hasil pengujian kinetik sampel s-01 (batulanau) .....	53
4.12	Hasil pengujian kinetik siklus harian sampel S-01 (batulanau) ....	54
4.13	Hasil pengujian kinetik sampel s-02 (batubara) .....	55
4.14	Hasil pengujian kinetik siklus harian sampel S-02 (batubara) .....	55
4.15	Hasil pengujian kinetik sampel s-03 (batulanau) .....	56
4.16	Hasil pengujian kinetik siklus harian sampel S-03 (batulanau) ....	56
4.17	Hasil pengujian kinetik sampel s-04 (batulempung) .....	55
4.18	Hasil pengujian kinetik siklus harian sampel S-04 (batulempung) .....	56
4.19	Hasil pengujian kinetik sampel s-05 (batubara) .....	59
4.20	Hasil pengujian kinetik siklus harian sampel S-05 (batubara) .....	59
4.21	Hasil pengujian kinetik sampel s-06 (batupasir) .....	60
4.22	Hasil pengujian kinetik siklus harian sampel S-06 (batupasir) .....	60
4.23	Hasil pengujian kinetik sampel s-07 ( <i>top soil</i> ) .....	61
4.24	Hasil pengujian kinetik siklus harian sampel S-07 ( <i>top soil</i> ) .....	62
4.25	Hasil pengujian kinetik sampel SS-1 (sedimen) .....	63
4.26	Hasil pengujian kinetik siklus harian sampel SS-1 (sedimen) .....	63
4.27	Metode penudungan .....	66

**DAFTAR LAMPIRAN**

<b>Nomor</b>	<b>Halaman</b>
<b>Lampiran 1</b> Peta tunjuk lokasi .....	74
<b>Lampiran 2</b> Hasil analisis XRD ( <i>X-ray Diffraction</i> ) .....	76
<b>Lampiran 3</b> Hasil analisis total sulfur.....	112
<b>Lampiran 4</b> Hasil analisis <i>scanning electron microscope</i> (SEM) .....	118
<b>Lampiran 5</b> Hasil analisis kinetik.....	125

**DAFTAR SINGKATAN ARTI DAN SIMBOL**

Lambang dan Singkatan		Arti dan Keterangan
AAT	=	Air asam tambang
AAB	=	Air asam batuan
AMD	=	<i>Acid mine drinage</i>
ARD	=	<i>Acid rock drinage</i>
FDCLT	=	<i>Free draining coloum leach test</i>
IUP	=	Izin usaha pertambangan
NAF	=	<i>Non potential acid forming</i>
PAF	=	<i>Potential acid forming</i>
PKP2B	=	Perjanjian karya pengusaha pertambangan batubara
pH	=	<i>Potential of hidrogen</i>
SEM	=	<i>Scanning electron microscope</i>
XRD	=	<i>X-ray diffracrtion</i>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Pendahuluan

Pertambangan batubara di Indonesia banyak menggunakan sistem tambang terbuka (*open pit*). Penambangan menggunakan sistem terbuka menyebabkan material atau batuan yang berada di lokasi penambangan tersingkap ke atas permukaan, hal ini menyebabkan akan mudah untuk bereaksi dengan air dan udara secara langsung. Dengan adanya kandungan mineral sulfida berupa markasit dan pirit pada batuan penutup dan batubara serta batuan dasar pada area penambangan memiliki potensi besar menghasilkan air asam tambang (Arif, 2014).

Air asam tambang adalah air yang memiliki sifat asam yang terbentuk akibat aktifitas penambangan dengan nilai pH yang rendah, batuan yang tersingkap akan membentuk potensi keasaman di area tambang sehingga menimbulkan dampak terhadap kualitas tanah dan air. Air asam tambang terbentuk akibat proses oksidasi air, udara dan mineral sulfida. Dampak yang dapat ditimbulkan akibat terbentuknya air asam tambang yaitu terjadinya pencemaran lingkungan, menyebabkan kandungan atau komposisi air di daerah yang terdampak tersebut akan mengalami perubahan sehingga dapat mengurangi kualitas kesuburan tanah, mengganggu tingkat kesehatan masyarakat dan juga dapat membuat korosi pada peralatan pertambangan (Gautama, 2019).

Air asam tambang merupakan dampak negatif dari kegiatan pertambangan mineral dan batubara karena dapat mencemari permukaan alam dan air tanah, dapat menurunkan pH, serta dapat meningkatkan unsur-unsur terlarut yang berbahaya bagi lingkungan. Selain itu, jika air asam tambang terbentuk, maka sulit untuk menghentikannya karena air asam tambang dapat bertahan lama, bahkan melebihi umur tambang. Dalam hal ini, pengelolaan batuan dan air asam tambang sangatlah penting, baik dengan melakukan kegiatan pencegahan (*prevention*) untuk mencegah atau meminimalkan

pembentukan air asam tambang dan melakukan kegiatan pengolahan (*treatment*) apabila air asam tambang telah terbentuk (Arif, 2021).

Potensi pembentuk air asam tambang harus diketahui dan dianalisis secara berurutan sehingga pencegahan dan pengendalian dapat dilakukan lebih dini. Pengelolaan yang tepat yang harus dilakukan dalam kegiatan ini adalah penambangan batubara dan batuan penutupnya (*roof* dan *floor*) agar tidak berdampak pada lingkungan di kemudian hari, baik pada saat penambangan aktif maupun setelah tambang tidak beroperasi lagi. (Widodo, 2019).

Kegiatan penambangan di lokasi penelitian dilakukan tanpa memperhatikan material yang berpotensi membentuk air asam tambang, sehingga terbentuk air asam tambang di lokasi penambangan yang dapat mengubah kualitas air. Hal ini disebabkan kurangnya informasi mengenai material yang berpotensi air asam dan yang tidak berpotensi air asam tambang.

Pertambangan batubara di daerah Lamuru memiliki kondisi morfologi yang beragam dengan banyaknya sumber mata air serta ladang pertanian. Lokasi tersebut memiliki peran penting yang harus dijaga agar tidak tercemar akibat dampak dari kegiatan penambangan. Oleh sebab itu penelitian ini dilakukan untuk menganalisis potensi pembentukan air asam tambang pada batuan, batubara, sedimen dan air hasil pengujian lalu diinterpretasi untuk mengetahui seberapa besar potensi pembentukan air asam tambang serta menganalisis adanya mineral-mineral sulfida yang menjadi salah satu faktor penyebab atau pemicu sifat asam yang terdapat pada setiap sampel.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Air asam tambang adalah hal yang menjadi permasalahan bagi lingkungan khususnya di usaha pertambangan. Air asam tambang memiliki sifat asam yang terbentuk dengan nilai pH yang rendah yang mengakibatkan pencemaran lingkungan ketika tidak dikelola dengan baik. Batubara Lamuru Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan memiliki nilai sulfur yang tinggi. Keberadaan lahan bekas tambang yang meninggalkan lahan kosong pada saat hujan dengan intensitas tinggi, air hujan tersebut tertampung hingga akan

meluap dan akan mengalir ke sungai maupun irigasi lahan pertanian. Pengelolaan dan penanganan air asam tambang di lokasi tersebut masih sangat kurang. Hal tersebut menjadi permasalahan yang ingin dibahas pada penelitian ini. Dari kasus tersebut akan dianalisis potensi material yang membentuk air asam tambang, serta jenis mineral-mineral sulfida pada batuan, batubara, dan sedimen di lokasi penelitian, serta menganalisis hubungan antara keterdapatannya mineral sulfida terhadap kandungan sulfur untuk mengetahui potensi pembentukan air asam tambang.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

#### **1.3.1 Tujuan Umum**

Tujuan umum dari penelitian ini yaitu melakukan analisis potensi air asam tambang dengan menganalisis sampel tiap perubahan litologi pada stratifikasi batubara dengan menggunakan beberapa metode pengujian.

#### **1.3.2 Tujuan Khusus**

1. Menganalisis jenis mineral-mineral sulfida yang merupakan sumber sulfur pada batubara dan batuan pengapit.
2. Menganalisis lapisan batuan yang berpotensi membentuk air asam tambang pada tiap litologi stratifikasi batubara.
3. Menganalisis hubungan antara keterdapatannya mineral sulfida terhadap kandungan sulfur dan potensi pembentukan air asam tambang di lokasi penelitian.

### **1.4 Batasan Penelitian**

1. Penelitian fokus pada analisis potensi air asam tambang untuk klasifikasi material.
2. Penelitian berfokus pada identifikasi potensi air asam tambang serta pengaruh keterdapatannya mineral sulfida.
3. Penelitian berfokus analisis terhadap hubungan nilai total sulfur dengan keterdapatannya mineral sulfida.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dilakukannya penelitian ini yaitu dapat menjadi rujukan bagi perusahaan dan masyarakat, dalam pencegahan maupun pengangan material yang berpotensi air asam tambang. Dengan adanya klasifikasi material yang berpotensi air asam tambang. Pengelolaan lingkungan di area tambang dapat menjadi lebih baik kedepannya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 PT Pasir Walanae**

PT Pasir Walanae selanjutnya disebut PW atau perusahaan yang merupakan bergerak di bidang pertambangan dan perdagangan yang merupakan bagian dari PT Wirsha Indonesia Group yang telah bergerak dari tahun 2004 yang berlokasi di Batakan Balikpapan Provinsi Kalimantan Timur. Kegiatan perusahaan meliputi aktivitas perizinan, eksplorasi, pengembangan dan produksi serta pemasaran, hingga kegiatan komersialitas batubara.

PT Pasir Walanae pertama kali melakukan penambangan di wilayah Desa Mattampawalie, Kecamatan Lamuru Kabupaten Bone Sulawesi Selatan pada bulan Agustus 2017 yang menjabat pada saat itu Bapak Woman Sanusi sebagai Direktur Utama, Bapak Dunaedy Djufri sebagai Direktur Operasional, dan Bapak Syarifullah sebagai Manager *Safety*. Untuk *Site Office* dan memegang peranan yang penting dalam peningkatan ekonomi di wilayah tersebut. Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT Pasir Walanae meliputi dua blok yaitu blok selatan dan utara. IUP untuk area blok selatan terbit pada tahun 2017 dengan luas 199 hektar dan IUP untuk area blok utara terbit pada tahun 2018 dengan luas 199 hektar di Desa Mattampawalie, Kecamatan Lamuru Kabupaten Bone Sulawesi Selatan. Secara garis besar wilayah Perjanjian Karya Pengusahaan Pertambangan Batubara (PKP2B) PT Pasir Walanae terletak pada Formasi Mallawa yang banyak mengandung endapan batubara yang diselingi oleh batu batulempung, batu pasir dan batu gamping, dimana semua blok tersebut sudah dalam tahapan eksploitasi.

PT Pasir Walanae melaksanakan kegiatan penambangan di blok selatan dan blok utara dengan tujuan utama yaitu untuk memaksimalkan penambangan cadangan batubara yang 10 terdapat pada blok tersebut tanpa mengesampingkan faktor keamanan selama proses penambangan berlangsung. Serta melakukan tahapan reklamasi terhadap lingkungan bekas penambangan illegal atau tidak resmi yang memiliki tujuan untuk menata dan memperbaiki fungsi lahan yang berubah akibat aktivitas pertambangan pada blok selatan dan utara. Selain itu,

tahapan reklamasi juga dilakukan oleh PT Pasir Walannae pada area tambang yang sudah dieksploitasi cadangan batubaranya oleh penambang liar.

## **2.2 Geomorfologi Regional**

Berdasarkan tinjauan area geologi regional, daerah lokasi penelitian berada pada area lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat Sulawesi yang secara administratif terletak pada koordinat  $119^{\circ}5'00''$  –  $120^{\circ} 45'00''$  BT dan  $4^{\circ} - 5^{\circ}$  LS (Sukamto, 1982).

Kondisi geologi regional kawasan Massenrengpulu didasarkan pada peta geologi lembaran Pangkajene dan Bone bagian barat (Sukamto 1982). Dari hasil pembagian wilayah satuan morfologi, daerah penelitian tersebut bisa dibagi menjadi satuan morfologi dataran bergelombang. Kondisi morfologi tersebut menempati seluruh lokasi pada daerah di wilayah desa Massenrengpulu, Kecamatan Lamuru, Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan. Topografi berkisar antara 75 - 200 mdpl. Puncak tertinggi adalah Bulu Taipa (209 m) yang berada di barat laut. Kondisi pola aliran sungai di daerah tersebut adalah jenis dendritik. Stadia sungai umumnya muda menuju dewasa yang ditandai dengan kondisi penampang dinding sungai antara huruf “V” dan “U” dengan sungai utama yang mengalir di tengah-tengah lokasi tersebut adalah sungai Ulaweng yang merupakan anak sungai dari sungai Walanae.

Secara regional keadaan struktur geologi menguasai daerah tersebut secara umum dapat dijelaskan bahwa daerah ini termasuk dalam Mandala Geologi Sulawesi Barat (Sukamto, 1973). Ini terutama terdiri dari batuan metamorf, batuan sedimen, batuan vulkanik dan berbagai batuan yang bersifat basal hingga diorit. Struktur utama di daerah penelitian relatif berarah baratlaut-tenggara. Sebagai sesar utama merupakan sesar geser dengan arah umum baratlaut-tenggara. Beberapa struktur lipatan di lokasi penelitian berkembang cukup baik akibat gaya yang terbentuk di lokasi penelitian. Hal ini dapat dilihat dengan jelas pada beberapa singkapan yang memperlihatkan indikasi kenampakan struktur yang mencirikan unsur utama struktur geologi berupa kekar, lipatan dan patahan (sesar).

### 2.3 Stratigrafi Regional

Sukamto (1982), membagi Pulau Sulawesi menjadi tiga mandala geologi, yang didasarkan pada perbedaan stratigrafi litologi, struktur dan sejarahnya. Ketiga mandala tersebut yaitu Mandala Sulawesi area Barat, Mandala Sulawesi area Timur, dan Mandala Sulawesi Banggai, dari ketiga mandala tersebut secara orogen tertua adalah Mandala Sulawesi Timur dan termuda adalah Mandala Sulawesi area Barat. (Sukamto, 1982).

Kelompok batuan tua yang tidak diketahui umurnya terdiri dari batuan ultramafik, batuan metamorf, dan batuan melange. Batuan terbreksi, terkikis dan rindang serta utuh dengan formasi disekitarnya berupa patahan atau ketidakselarasan. Penarikan radiometrik dari sekis yang menghasilkan 111 juta tahun mungkin mengindikasikan peristiwa transisi akhir dalam tektonik Kapur. Batuan tua ini ditindih secara tidak selaras oleh endapan *flysch* Formasi Balangbaru dan Formasi Marada memiliki tebal lebih dari 2000 m dan berumur Kapur Akhir. Aktivitas magma dimulai pada saat itu dengan bukti sisipan lava yang dalam *flysch* (Sukamto, 1982).

Batuan vulkanik Paleosen (berumur 58,5-63,0 juta tahun) dan diendapkan di lingkungan laut, tumpang tindih secara tidak selaras dengan batuan *flysch* Kapur Akhir. Batuan sedimen Formasi Malawa sebagian besar dicirikan oleh endapan darat dengan sisipan batubara, batuan vulkanik Paleosen yang tumpang tindih secara tidak selaras dan batuan *flysch* Kapur Akhir. Ke atas Formasi Malawa berangsur-angsur bergeser ke endapan karbonat Formasi Tonasa yang terbentuk terus menerus dari Eosen Awal hingga Miosen Tengah Bawah. Ketebalan Formasi Tonasa kurang lebih 3000 m, dan terbentang cukup luas di atas batuan vulkanik Miosen Tengah di sebelah barat. Sedimen klastik Formasi Salo Kalupang berumur Eosen hingga Oligosen diselingi oleh batugamping dan ditumpangi oleh batuan vulkanik Kalamiseng berumur Miosen Awal di bagian Timur. (Sukamto, 1982).

Sebagian besar gunung, baik di Barat maupun di Timur, memiliki batuan vulkanik. Di pegunungan bagian timur diperkirakan berumur Miosen Awal Atas

yang membentuk Batuan Vulkanik Kalamiseng. Di lereng timur pegunungan bagian utara sebelah barat terdapat Batuan Vulkanik Soppeng yang diperkirakan juga berumur Miosen Awal. Batuan sedimen berumur Miosen Tengah sampai Pliosen Awal diselingi batuan vulkanik berumur antara 8,93-9,29 juta tahun. Bersama-sama batuan ini membentuk Formasi Camba yang tebalnya sekitar 5000 m. Sebagian besar pegunungan barat terbentuk dari Formasi Camba yang tumpang tindih dengan Formasi Tonasa yang tidak selaras (Sukamto, 1982).

Selama Miosen Akhir hingga Pliosen, di daerah yang sekarang menjadi Lembah Walanae, diendapkan sedimen klastik Formasi Walanae. Batuan ini tebalnya sekitar 4500 m, dengan bioherm batu gamping koral tumbuh di beberapa tempat (Batugamping Anggota Tacipi). Formasi Walanae bersentuhan jari dengan bagian atas Formasi Camba. Aktivitas vulkanik yang berumur Miosen Akhir hingga Pliosen Awal merupakan sumber material Formasi Walanae. Aktivitas vulkanik yang masih terjadi di beberapa tempat selama Pliosen, dan menghasilkan batuan vulkanik dari Parepare (4,25-4,95 juta tahun) dan Baturape-Cindako, juga menjadi sumber pembentukan ini (Sukamto, 1982).

Terobosan batuan beku yang terjadi di daerah ini semuanya terkait erat dengan aktivitas vulkanik. Bentuknya berupa sil, stok dan retas yang tersusun dalam berbagai lapisan mulai dari andesit, trakit, diorit, basal, dan granodiorit yang umurnya berkisar antara 8,3 hingga 19 juta tahun. (Sukamto, 1982).

Setelah Pliosen Akhir, tampaknya tidak ada pengendapan yang signifikan di daerah ini, dan juga tidak ada aktivitas vulkanik. Pengendapan terasering di sebelah utara Pangkajene dan di beberapa tempat di tepian Sungai Walanae ternyata terjadi pada zaman Pliosen. Endapan Holosen yang luas berupa alluvium terdapat di sekitar Danau Tempe, di dataran Pangkajene hingga Maros dan di bagian utara candi Bone (Sukamto, 1982).

## **2.4 Struktur Geologi Regional**

Proses tektonik di bagian barat berlangsung dari Trias hingga Miosen Awal. Berakhirnya aktivitas vulkanik Miosen Awal diikuti dengan tektonik yang menyebabkan dimulainya Banjaran Walanae yang kemudian menjadi cekungan

tempat terbentuknya Formasi Walanae. Penurunan terban Walanae dibatasi oleh dua sistem sesar normal, yaitu sesar Walanae dan sesar Soppeng (Sukamto, 1982).

Sesar utama yang berarah utara-barat laut terjadi sejak Miosen Tengah, dan berkembang hingga setelah Pliosen. Lipatan-lipatan besar yang berarah hampir sejajar dengan sesar utama diperkirakan telah terbentuk karena pendataran berarah timur-barat sebelum akhir Pliosen. Tekanan ini juga menghasilkan sesar penahanan lokal yang menyesar batuan pra-kapur akhir. Perlipatan dan patahan yang relatif lebih kecil di bagian barat pegunungan barat berarah baratlaut-tenggara dan rencong, kemungkinan besar terjadi dengan mendatar ke kanan sepanjang sesar besar (Sukamto, 1982).

## **2.5 Batubara**

Ahli geokimia batubara Elliot, percaya bahwasanya batubara yaitu batuan jenis sedimen yang secara kimiawi dan fisik heterogen memiliki unsur karbon, hidrogen dan oksigen sebagai unsur penyusun utama sulfur dan nitrogen sebagai unsur penambah. Zat lain, yaitu senyawa jenis anorganik yang membentuk abu (*ash*), tebagi sebagai partikel zat mineral tersendiri di seluruh senyawa batubara. Secara ringkas, batubara dapat dijelaskan sebagai batuan karbonat yang memiliki bentuk rapuh, padat, berwarna coklat tua sampai hitam, mudah terbakar, yang terjadi sebagai akibat dari perubahan kimia dan fisika tumbuhan. (Arif, 2014).

Batubara adalah sisa-sisa tanaman prasejarah yang terdeformasi yang awalnya terakumulasi di rawa-rawa dan lahan gambut yang terdiri dari maseral, mineral subordinat, dan mengandung air dan gas dalam pori-pori submikroskopik. Maseral adalah zat organik yang berasal dari jaringan tanaman dan eksudat yang telah membusuk dengan berbagai cara, tergabung ke dalam tingkat sedimen, dan kemudian dipadatkan, mengeras, dan diubah secara kimiawi oleh proses alam (geologis) (WCI, 2005). Batubara dengan coklat sampai hitam yang melalui proses kimia dan fisika sejak pengendapan yang membuat pengayaan kandungan karbonnya (Anggayana, 1998). Batubara yaitu bahan bakar fosil yang mudah terbakar, terbentuk dari lanau, batuan sedimen organik yang mengandung berbagai jumlah karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen, dan sulfur serta sejumlah

elemen lain, termasuk bahan mineral. Batubara berasal dari tumbuh-tumbuhan yang terkonsolidasi di antara tingkat batuan lainnya dan diubah oleh kombinasi panas dan tekanan selama jutaan tahun untuk membentuk lapisan batubara (Speight, 2005).

Batubara merupakan campuran zat organik heterogen yang kompleks dan zat anorganik yang mengandung campuran zat padat, cair, dan fase gas. Komponen organik merupakan dasar untuk menentukan sifat batubara (misalnya *rank* dan jenis batubara), dan nilainya dalam proses pemanfaatan yang berbeda. Semua manfaat dari batubara yang berasal dasarnya dari konstituen maseral. Masalah yang berkaitan dengan operasi boiler (slagging, fouling, korosi, erosi) dan isu-isu lingkungan (emisi partikel) disebabkan oleh bahan mineral dan konstituen anorganik dalam batubara, bukan langsung dari komponen maseral. Selama proses *crushing, grinding dan milling* dapat dibebaskan dari matriks organik. Dengan demikian, bahan mineral partikel bubuk batubara menyajikan asosiasi mineral-organik yang berbeda dan telah klasifikasikan ke dalam organik terkait mineral matter dan butiran mineral berlainan, yaitu termasuk mineral dan yang tidak termasuk mineral. Informasi pada asosiasi mineral organik sangat penting untuk proses pemanfaatan batubara misalnya, selama pembakaran batubara, mineral yang berbeda mungkin mengalami berbagai sejarah suhu dan waktu mengakibatkan transformasi fisika dan kimia yang berbeda, sehingga menghasilkan partikel abu yang berbeda ukuran dan komposisi kimia (Liua *et al.*, 2005).

Batubara terbentuk dari berbagai jenis tumbuh-tumbuhan yang mati dan tertimbun pada area cekungan berisi udara dalam jangka waktu yang sangat lama, bahkan dapat mencapai jutaan tahun. Ini yang menjadi pembeda anantara batubara dengan minyak bumi, karena minyak bumi terbentuk dari sumber hewani. Dalam proses terbentuknya batubara ada beberapa faktor yang mempengaruhinya. Misalnya, besarnya tekanan dan temperatur pada tumbuhan yang mati dapat mempengaruhi kondisi pada batubara yang terbentuk, termasuk pengayaan kandungan karbon pada batubara. Material timbunan kemudian melalui proses pengangkutan dan *coalification* untuk dapat menjadi batubara. Secara geologis,

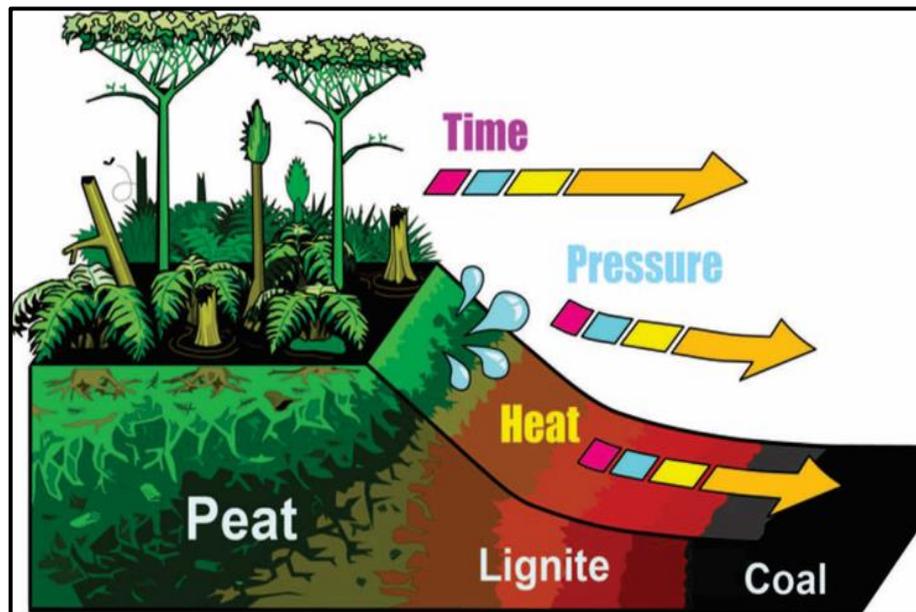
batubara termasuk dalam golongan batuan sedimen organoklastik. Lingkungan pembentuk batu bara itu sendiri harus berupa cekungan anaerobik, yaitu tidak ada oksigen yang terlibat dalam proses tersebut (Arif, 2014).

Batubara terdiri atas lebih dari 50% berat dan 70% volume material karbon (termasuk jherent moisture) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar padat untuk memperoleh panas yang hasil pembakarannya terdiri atas karbon dioksida, gas rumah kaca, dan sulfur dioksida, serta menghasilkan asam sulfat sebagai sumber pembentukan aerosol sulfat dan hujan asam (Speight, 2005).

Batubara dapat melalui proses pembakaran untuk menghasilkan uap atau dikarbonisasi untuk memperoleh bahan bakar dalam bentuk cair atau dihidrogenasi untuk membuat gas metana. Gas sintetik atau bahan bakar berupa gas dapat buat sebagai bahan utama dengan gasifikasi batubara menggunakan oksigen dan udara atau uap (Arif, 2014).

#### 2.4.1. Pembentukan Batubara

Pembentukan batubara melalui tahapan yang sangat panjang. Banyak faktor yang pada proses pembentukannya. Setiap faktor memainkan peran khusus dan harus dalam keadaan seimbang. Dengan kata lain, proses terbentuknya batubara berkaitan erat dengan kesetimbangan sistem. Sistem yang dimaksud dalam proses terbentuknya batubara adalah isi dan wadah dalam proses. Isi berhubungan dengan material yang menyusun batubara, seperti tumbuhan pembentuk dan alur sedimen. Wadah adalah tempat batubara terbentuk. Pembentukan batubara dapat dibagi menjadi dua tahap, yaitu tahap peatifikasi dan tahap pembentukan batubara. Tahapan lahan gambut dan tahap batubaraifikasi serta faktor yang bisa berengaruh dilihat pada Gambar 2.1 (Arif, 2022).



Gambar 2.1 Tahap pengangkutan dan tahap pembatubaraan serta faktor yang mempengaruhinya (Arif, 2022).

Batubara adalah sedimen yang mudah terbakar yang prosesnya sampai jutaan tahun. Sedimen tersebut berupa dari sisa tumbuhan lama yang mengalami proses tekanan dan temperatur karena proses biokimia dan geokimia. Tahapan biokimia membuat tanaman berubah jadi gambut, proses geokimia terjadi setelah penimbunan merubah gambut menjadi lignit, batubara termuda. Proses geokimia selanjutnya akan merubah lignit menjadi batubara jenis antrasit. Terdapat beberapa jenis tumbuhan pembentuk batubara yaitu tumbuhan hutan kering (*dry fores*), tumbuhan rawa (*reed mooa*), tumbuhan hutan basah (*wet foresh*), dan tumbuhan air (*open water*) (Nursanto, 1982).

Prekursor tanaman yang akhirnya membentuk batubara dipadatkan, mengeras, Perubahan unsur kimia, dan bermetamorfosis oleh panas dan tekanan dari waktu ke waktu. Diduga batubara terbentuk dari tanaman prasejarah yang tumbuh di ekosistem rawa. Ketika tanaman mati, biomassa batubara diendapkan di anaerob, lingkungan perairan yang memiliki tingkat oksigen yang rendah. Generasi-generasi dari jenis pertumbuhan tanaman yang mati tersebut membentuk deposit dalam bahan organik reroksidasi yang kemudian ditutupi oleh sedimen dan dipadatkan menjadi deposit carboniferous seperti gambut atau batubara bituminous atau antrasit. Bukti dari jenis tanaman yang memberikan kontribusi

untuk deposit carboniferous kadang-kadang dapat ditemukan di batuan serpih dan batu pasir yang berada di atas tambang batubara. Deposit batubara, biasanya disebut *coal bed* atau lapisan yang ketebalannya dapat berkisar dari pecahan satu inci ke ratusan kaki. Batubara yang ditemukan di semua siklus geologi dari masa Silurian melalui kuartar, tetapi awal batubara komersial ditemukan dalam batuan dari masa Mississippian (Karbon di Eropa). Batubara umumnya terbentuk dengan baik di cekungan pada lingkungan *fluvial* atau di Cekungan terbuka daerah laut (Speight, 2005).

Ada dua tahapan dalam proses terbentuknya batubara, yaitu pengambutan (proses biokimia) dan pembatubaraan atau pembentukan batu bara (akibat proses geokimia). Tahap pengambutan adalah tahap pertama dalam proses pembentukan batubara. Pada tahap pengambutan sisa tumbuhan yang terkumpul disimpan dalam kondisi tereduksi di daerah rawa yang selalu tergenang oleh air pada kedalaman sekitar 0,5 meter sampai dengan 10 meter dari permukaan air. Tanaman yang tersisa diubah menjadi gambut oleh aktivitas bakteri anaerob dan jamur. Perubahan ini adalah proses biokimia karena aktivitasnya dipengaruhi oleh bakteri (Nursanto, 1982)

Sebagian besar batubara dunia berasal dari zaman karbon. Pada zaman itu, kondisi cuaca bumi yang beriklim tropis mengakibatkan berbagai jenis tanaman tumbuh subur, terutama di daerah rawa. Tanaman tua akhirnya mati dan menumpuk dan terkubur di daerah rawa. Timbunan-timbunan itu semakin lama semakin lebat, dan dengan laju pertumbuhan vegetasi, terjadi pula laju penurunan dasar rawa. Hal ini menyebabkan penumpukan tanaman mati yang kemudian diurai oleh bakteri. Bagian tanaman ini terurai dalam kondisi anaerobik menjadi karbon dioksida, air, dan asam humat. Tahapan ini disebut humifikasi, dengan gambut sebagai hasil akhirnya. Tahapan pembentukan gambut sangatlah penting dalam tahapan pembentukan batubara karena menjadi asal terbentuknya batubara (Sukandarrumidi, 1995).

Pada proses pengambutan harus ada keseimbangan biotektonik yang tidak terganggu sehingga kondisi lingkungan untuk pembentukan batubara dapat terbentuk. Keseimbangan batubara terkait dengan tingkat di mana cekungan tenggelam dan tingkat di mana tanaman mengisinya. Kondisi yang tidak seimbang dapat menyebabkan batubara tidak berkembang dengan baik (Arif, 2014).

Ketika jenis gambut terbentuk, maka selanjutnya yaitu mengubah bahan baku batubara ini menjadi batubara utuh. Tahap ini dianggap sebagai tahap penggabungan. Proses ini adalah diagenesis atau perubahan gambut akibat dari tekanan dan keanikan suhu sebagai akibat kombinasi proses biokimia, fisika dan kimia yang disebabkan oleh pembobotan sedimen dalam jangka waktu yang lama. Pada proses ini terjadi kenaikan kandungan karbon dan penurunan kandungan oksigen dan air. Gambut akan terbentuk menjadi lignit atau sering disebut batubara coklat. Dengan peningkatan suhu dan tekanan yang terus menerus, lignit kemudian akan berubah menjadi sub-bituminus. Batubara akan terus mengalami proses perubahan fisik dan kimiawi sehingga berwarna lebih hitam dan menjadi lebih keras terhadap bituminous, kemudian dapat meningkat kembali menjadi batubara utuh atau antrasit yang memiliki kandungan karbon paling tinggi.

Pencapaian proses konversi gambut menjadi antrasit disebut juga dengan tingkat kematangan batubara atau *rank*. Pematangan batubara terjadi selama proses pembentukan batubara, dan sangat dipengaruhi oleh kondisi suhu dan tekanan. Pada kasus tertentu, pematangan batubara menjadi antrasit dapat terjadi secara langsung akibat perubahan tekanan dan suhu yang drastis, seperti pada saat intrusi magmatik. Semakin "matang" batubara, semakin tinggi kandungan karbonnya. Implikasi yang paling jelas adalah warnanya menjadi lebih mengkilap dan teksturnya menjadi lebih rapuh (Arif, 2014).

Dalam proses pembentukan, banyak faktor yang mempengaruhi proses terbentuknya batubara. Tahap pertama proses pembentukan batubara yaitu gambut. Pada tahap gambut, ada beberapa alasan yang menentukan jenis gambut. Hasil gambut akan membuat karakter tersendiri pada batubara yang terbentuk. Secara umum, evolusi tumbuhan, iklim, letak geografis, tekanan, dan waktu merupakan faktor dalam proses *coalification* (Arif, 2014).



umumnya kurang dari 15%. Nilai kalori berkisar antrasit 22-28 juta Btu/ton (Speight, 2005; Mazumder, 2012).

- b. Semi-antrasit. Batubara ini memiliki persentase abu yang lebih tinggi (hingga 16%) dan karbon tetap di kisaran 89% sampai 91% (Mazumder, 2012).
- c. Bituminus merupakan batubara padat, biasanya hitam, dan terkadang coklat gelap, digunakan terutama sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap. Batubara bituminus dengan jumlah besar juga digunakan sebagai sumber panas dan listrik aplikasi di bidang manufaktur dan untuk membuat kokas. Kadar air batubara bituminus biasanya kurang dari 20% berat. Kandungan kalori berkisar batubara Sftuminows 21-30 juta Btu/ton pada keadaan tembab, memiliki kandungan bahan yang mudah menguap sebesar 15% sampai 20% dan karbon tetap sekitar 65% sampai 85% (Speight, 2005; Mazumder, 2012).
- d. Batubara sub-bituminus adalah batubara yang memiliki sifat antara lignit hingga bahan bakar untuk batubara Sub-bituminus, digunakan terutama sebagai pembangkit listrik tenaga uap. Berwarna coklat tua sampai hitam. Batubara subbituminus mengandung 20% sampai 30% yang melekat kelembaban berat. Nilai kalori berkisar batubara sub-bituminus 17-24 juta Btu/ton (Speight, 2005).
- e. Lignit adalah peringkat paling rendah dari batubara, sering disebut batubara coklat, digunakan hampir secara eksklusif sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik tenaga uap. Berwarna hitam kecoklatan dan memiliki kadar air inheren tinggi, kadang-kadang setinggi 45%. Nilai kalori berkisar lignit 9-17 juta Btu/ton pada keadaan lembab, kandungan *volati matter* sekitar 35-40% dan karbon tetap sekitar 47% (Speight, 2005; Mazumder, 2012).
- f. Gambut merupakan batuan jenis sedimen organik yang bisa terbakar, yang bersumber dari tumpukan hancuran atau bagian dari tumbuhan yang terhumifikasi dan dalam kondisi yang tertutup oleh udara (di bawah air), tidak padat, kandungan air lebih dari 75% (berat), kandungan mineral lebih kecil dari 50% dalam kondisi kering, memiliki kadar air serta oksigen (30%) dan kandungan hidrogen sangat tinggi tetapi nilai kalori dan karbon tetap jauh

lebih rendah daripada batubara *bituminous* (Mazumder, 2012; Anggayana, 1998).

#### 2.4.3 Mineral Pengotor Pada Batubara

Bahan mineral dalam batubara dapat berasal dari unsur anorganik pada tumbuhan pembentuk batubara atau disebut mineral bawaan serta mineral yang berasal dari luar rawa-rawa atau endapan selanjutnya diangkut masuk ke area cekungan pada pengendapan batubara oleh air atau angin dan dapat disebut bahan mineral *extraneous* atau adventif (Speight, 1994).

Mineral batulempung (*clay*) adalah jenis yang paling dominan terdapat pada batubara, sekitar 60% sampai 80% dari total bahan mineral. Umumnya ditemukan sebagai mineral primer yang terbentuk akibat aksi air atau angin yang membawa material ke dalam cekungan pengendapan batubara. Distribusi mineral batulempung di lapisan batubara dikendalikan oleh kondisi kimia rawa. Spesies mineral batulempung yang umum ditemukan dalam batubara adalah kaolinit, illit, dan montmorillonit. Kaolinit biasanya terdapat dalam batubara secara syngenetik yang terkonsentrasi pada bidang perlapisan, tersebar di atas vitrinit sebagai pengisi rekahan dan lainnya dalam bentuk sferis. Sedangkan illite biasanya lebih melimpah pada batubara dengan lapisan penutup (*roof*) batuan sedimen laut (Nursanto, 2011).

Pirit dan markasit adalah mineral sulfida yang sangat umum terdapat pada batubara. Kedua jenis mineral ini mempunyai komposisi kimia yang mirip ( $\text{FeS}_2$ ) hanya berbeda dalam hal bentuk kristalnya. Markasit berbentuk ortorombik dan pirit berbentuk kubik (Nursanto, 2011).

Jenis mineral ini dapat terbentuk baik secara syngenetik maupun epigenetik dalam berbagai bentuk. Beberapa bentuk dari mineral pirit yang ditemukan pada batubara adalah sebagai berikut:

- a. Kristal pirit berukuran kecil dan terdapat sebagai inklusi dalam vitrinit dan semufusinit dan seringkali ini berasosiasi dengan pirit framboidal.
- b. Nodul pirit atau markasit dengan ukuran mencapai beberapa sentimeter yang biasanya terdiri dari kristal-kristal memanjang atau membulat.

- c. Bentuk Fe Sulfida syngenetik yang sangat umum adalah kristal pirit dengan ukuran lebih kecil dari 2 mikron, terdapat dalam bentuk framboidal atau sferoidal dan berasosiasi dengan vitrinit.
- d. Tipe konkresi dari kristal kecil bergabung dan membentuk lensa-lensa yang pipih atau pita-pita yang menunjukkan presipitasi pirit laut (Diesel, 1992 and Renton, 1982 dalam Nursanto, 2011).

Mineral sulfat yang paling banyak terdapat pada batubara adalah gipsum dan bassanit. Pada umumnya jenis mineral tersebut terbentuk dari oksidasi mineral sulfida berupa (pirit) dalam batubara, terutama bila kontak dengan udara luar dalam waktu yang lama (Nursanto, 2011).

## **2.6 Air Asam Tambang**

Air asam tambang (AAT), atau biasa disebut air asam batuan (AAB) adalah air yang terbentuk dalam kegiatan aktivitas penambangan atau penggalian yang bersifat asam dan memiliki tingkat keasaman yang tinggi dan terbentuk dari proses oksidasi mineral sulfida yang disertai air dan udara. Salah satu dampak negatif terhadap lingkungan akibat kegiatan pertambangan adalah masalah air asam tambang (Widodo, 2020). Sumber asam yaitu dari mineral sulfida yang dapat teroksidasi. Sumber oksidasi utama adalah oksigen pada udara. Air adalah salah satu reaktan dalam proses terbentuknya AAT dan sebagai media yang “mencuci” atau melarutkan hasil oksidasi dalam air. Sumber air dapat berupa limpasan air tanah atau hujan (Gautama, 2014).

Proses penggalian batuan dan tanah yang menutupi material tambang dapat berdampak pada kerusakan pada area lingkungan dan tanah sekitarnya. Pembongkaran dan pemindahan batuan yang memiliki sulfida (*overburden*) menyebabkan tersingkapnya mineral sulfida ke udara. Dalam kondisi terpapar udara, mineral sulfida akan mengalami oksidasi dan larut dalam air membentuk air asam tambang (AAT). Air asam tambang berpotensi melarutkan logam yang dilaluinya sehingga akan membentuk suatu aliran yang mengandung jenis bahan berbahaya dan beracun yang akan mempengaruhi kualitas tanah dan lingkungan (Bargawa, 2017).

Air asam tambang (AAT) atau air asam batuan (AAB) yang dikenal sebagai *acid mine drainage* (AMD) atau *acid rock drainage* (ARD) dalam dunia pertambangan merupakan air dengan tingkat keasaman yang tinggi dan biasa ditandai dengan nilai pH yang rendah di bawah 5,0 (Arif, 2021).

Tiga komponen utamayang membentuk AAT adalah mineral sulfida, air dan udara. Mineral sulfida sering ditemukan di tambang mineral dan batubara. Kegiatan penggalian material telah mengangkat mineral sulfida yang sebelumnya tertutu di bawah tanah. Pembentukan AAT juga dapat terbentuk pada kegiatan penggalian di luar tambang, seperti pekerjaan konstruksi trowongan maupun jalan (Gautama, 2014).

Oksidasi mineral sulfida yang berada pada batuan terjadi bila batuan terpapar oleh adanya oksigen dan air sebagai pemicu utama. Hasil reaksi kimia ini dapat keluar dari asalnya (area panggalian dan/atau penimbunan batuan) jika terdapat air penggelontor yang cukup, yaitu air hujan atau air permukaan yang melalui area tersebut, dimana air dapat mengalami infiltrasi/perkolasi dan membawa hasil reaksi keluar dari area tersebut. Hasil reaksi oksidasi dapat berupa air dengan pH rendah (asam), kadar sulfat yang tinggi, dan logam yang terlarut pada kondisi pH rendah tersebut, mengalir sebagai air permukaan atau masuk ke sistem aliran air tanah (Nugraha, 2019).

Umumnya air asam tambang yang terbentuk di tamping di dam dalam system pengelolaan air tambang (*Mine Water Management System*), selain itu beberapa tambang mempergunakan kembali air asam tambang untuk digunakan sebagai air proses sebelum terlebih dahulu menambahkan kapur untuk menaikkan pH (Ardiansyah, 2021).

Cara pencegahan adalah cara yang paling efektif dalam mengatasi potensi air asam tambang (AAT) (Kefeni, 2017). Banyak contoh air asam tambang yang masih terbentuk hingga saat ini meskipun tambang telah berakhir puluhan, ratusan bahkan ribuan tahun yang lalu (Gautama, 2014). Oleh sebab itu perlunya dilakukan pencegahan dan pengolahan untuk memperoleh kualitas air yang layak berdasarkan baku mutu lingkungan sesuai Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 tentang baku mutu air limbah dari aktivitas penambangan

batubara. Teknologi dalam pengolahan air asam tambang terbagi menjadi tiga cara yaitu), teknologi pengolahan pasif (*passive treatment*), teknologi pengolahan aktif (*active treatment* dan teknologi pengolahan in situ (*in situ treatment*) (Gautama, 2014).

## 2.7 Faktor Pemicu Air Asam Tambang

- a. Ukuran butir pirit, porositas, dan luas permukaan karena reaksi oksidasi terjadi di permukaan dari partikel pirit ukuran butir yang kecil akan meningkatkan luas permukaan dan meningkatkan kereaktifan. Proses penggalian, peremukan (*crushing*) dan penggerusan (*milling*) bijih yang mengandung pirit akan memperbesar terdedahnya mineral pirit, meningkatnya luas permukaan dan memperbesar kemungkinan terjadinya oksidasi.
- b. Kristalografi dari pirit, mineral pirit dengan cacat struktur akibat tegangan fisik dalam struktur kristal mengakibatkan lebih rentan terhadap reaksi kimia.
- c. Kehadiran mineral sulfida lain kontak fisik langsung antara dua atau lebih mineral sulfida akan mengakibatkan pergerakan elektron dan membentuk sel galvanis. Selama pelapukan mineral sulfida dengan potensial elektroda tertinggi akan terlindung dari oksidasi dan mineral dengan potensial elektroda terendah akan lebih mudah teroksidasi.
- d. Suhu dari batuan oksidasi pirit bersifat eksotermis dan menghasilkan bahang. Peningkatan suhu akan memicu tumbuhnya bakteri termopilik yang menggunakan energi untuk proses metabolismenya. Energi yang dihasilkan di dalam timbunan batuan atau tailing akan terperangkap di dalam timbunan, pirit menjadi semakin panas sehingga laju oksidasi meningkat.
- e. Aktivitas mikrobiologi, lingkungan AAT umumnya mengandung mikroorganisme yang berlimpah, baik yang hidup dalam kondisi aerobik maupun anaerobik. Diantaranya adalah bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* yang mengoksidasi ion Fe menjadi Fe.
- f. Konsentrasi oksigen di dalam fasa gas dan cair, oksidasi pirit dapat terjadi di atmosfer dan di air. Laju oksidasi akan meningkat dengan meningkatnya

konsentrasi oksigen. Jika oksidasi berlangsung di dalam air atau dalam kondisi jenuh, reaktivitas pirit sangat dipengaruhi oleh konsentrasi dan transport oksigen di dalam air.

- g. Nilai pH larutan, nilai pH larutan yang kontak dengan pirit mempengaruhi laju oksidasi. Pada kondisi pH rendah sampai netral,  $Fe^{2+}$  bertindak sebagai pengoksidasi pirit, sementara konsentrasi  $Fe^{2+}$  bergantung pada pH. Pada pH di atas 3,  $Fe^{2+}$  akan mengendap, berarti agen pengoksidasi tidak lagi berada di larutan. Oksidasi sulfida akan semakin cepat pada pH di bawah 3. Aktivitas beberapa mikroorganisme juga bergantung pada pH.
- h. Ketersediaan air, air adalah media transpor AAT yang penting dan kondisi basah - kering secara bergantian akan mempercepat proses oksidasi sulfida. Produk oksidasi akan terlarutkan dan tercuci pada kondisi basah dan meninggalkan permukaan pirit yang segar untuk oksidasi selanjutnya.

## 2.8 Keterdapatn Sulfur

Sulfur dalam senyawa sulfida merupakan salah satu unsur penting dalam proses pembentukan air asam tambang. Sulfur adalah unsur yang serbaguna yang dapat ditemukan dalam berbagai bentuk kimia dan tingkat oksidasi. Senyawa kimia yang penting bagi air asam tambang adalah unsur sulfur (*elemental* Sulfur), sulfat (dalam bentuk mineral atau cairan *aqueous*) maupun sulfida (dalam bentuk mineral atau cairan atau *aqueous* dan gas) (Gautama, 2014).

Sebuah analisis total sulfur akan menentukan apakah standar emisi  $SO_2$  akan bertemu pada pembakaran batubara. Jika total sulfur terlalu tinggi dan pembersihan tumpukan gas tidak tersedia, beberapa bentuk desulfurisasi diperlukan sebelum sumber energi ini dapat digunakan. Proses pembersihan dapat menghapus jumlah bentuk anorganik yang bervariasi, dan beberapa sulfur organik juga dapat diekstraksi, kandungan dalam bentuk yang terakhir ini dapat dianggap sebagai tingkat yang lebih rendah pada batubara, sehingga dapat dilakukan benefisiari secara fisik. Oleh karena itu, tingkat dasar sulfur organik harus diketahui sehingga ekonomis dan waktu efektif mengekstraksi sulfur anorganik dapat diterapkan yang pada gilirannya dapat memenuhi

standar pembakaran (Paris, 1977).

Pirit adalah jenis mineral sulfida yang sering didapatkan pada batubara, dan juga merupakan mineral yang memberikan kontribusi terbesar terhadap kandungan sulfur pada batubara (Widodo, 2016)

Kandungan sulfur diantara batubara bervariasi pada tingkat tertentu. Secara umum, bentuk sulfur dalam batubara adalah an-organik (pirit dan sulfat) dan organik (campuran kompleks dari jenis organo). Kandungan sulfat biasanya hadir dalam jumlah rendah. Sulfat yang biasanya merupakan produk oksidasi yang larut dalam air yang mudah dihilangkan selama pembersihan batubara. Kandungan sulfur sulfat biasanya kurang dari 0,05%. pirit, mineral dengan rumus kimia  $FeS_2$ , merupakan sulfida besi yang biasanya berhubungan dengan sulfida lainnya dan oksida. Limbah yang kaya akan mineral sulfida mendukung terjadinya air asam yang mencemari air dengan logam bio-akumulatif, membuat air tidak cocok untuk penggunaan domestik dan pertanian. Udara dan air mendorong oksidasi limbah yang mengandung sulfida besi, yang mengarah ke proses pengasaman drainase (Evangelou, 1995 dalam Oliviera *et. all*, 2016).

Pelapukan mineral yang mengandung sulfur (gypsum dan sulfida), emis vulkanik dan resirkulasi garam laut serta gas biogenik adalah sumber-sumber sulfur yang penting. Kontribusi manusia (antropogenik) dinilai signifikan terutama di daratan dimana aktivitas manusia terkonsentrasi meskipun jumlah yang tepat dan konsekuensi ekologi dari kontribusi tersebut belum sepenuhnya dipahami. Faktor utama dari daur sulfur adalah pembakaran batubara dan minyak bumi serta proses industri seperti peleburan dan pemurnian bijih sulfida yang melepaskan oksida sulfur ke atmosfer. Aktivitas manusia yang mengakibatkan erosi dan kegiatan industri juga menambah pelepasan sulfur terlarut di dalam air sungai (Gautama, 2014).

Secara konseptual, daur sulfur secara biogeokimia lebih mudah dipahami karena semua komponen dari daur tersebut dipengaruhi oleh mikroorganisme. Bagian terbesar dari sulfur dalam sedimen dan kerak bumi ditemukan dalam bentuk unsur sulfur dan mineral sulfida yang dapat teroksidasi menjadi sulfat melalui proses biotik atau abiotik. Sulfat di tanah dapat diserap oleh tanaman dan

terasimilasi menjadi protein. Jika tanaman mati dan membusuk mikroorganisme akan mengubah sulfur dalam protein menjadi hidrogen sulfida atau sulfat. Hidrogen sulfida dapat bereaksi dengan logam membentuk logam sulfida atau dapat teroksidasi menjadi unsur sulfur atau sulfur dioksida bergantung kondisi redoks dan keterlibatan biota. Hasil reaksi hidrogen sulfida dengan logam akan membentuk mineral sulfida sekunder (Gautama, 2014).

Pada proses aktivitas penambangan, terdapat jenis mineral sulfida, yang sering dijumpai adalah:

- a.  $\text{FeS}_2$  : *Pyrite*
- b.  $\text{CuFeS}_2$  : *Chalchopirite*
- c.  $\text{Cu}_2\text{S}$  : *Chalcocite*
- d.  $\text{ZnS}$  : *Sphalerite*
- e.  $\text{PbS}$  : Galena
- f.  $\text{NiS}$  : *Millrite*
- g.  $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$  ( $0 < x < 0,2$ ) : *Pyrrhotite*
- h.  $\text{FeAsS}$  : *Arsenopyrite*
- i.  $\text{HgS}$  : *Cinnabar*

Mineral dominan batubara biasanya terdiri dari sulfida, tanah liat, karbonat, dan kuarsa dan fosfat tambahan, mineral berat, dan garam sebagai kontribusi kecil untuk bahan anorganik batubara. Di sebagian besar batubara, sulfida lebih disukai terdiri dari pirit dan markasit tetapi pirit secara umum mendominasi sejauh ini (Balme, 1956; Mackowsky, 1943). Sulfida dapat dikategorikan sebagai *syngenetic* (primer), diagenetik awal atau *epigenetic* (sekunder). Selama gambut, pirit kristal halus atau konkresi halus *syngenetic* atau awal diagenetik muncul, umumnya dalam bentuk framboid. Pirit *syngenetic* terbentuk selama akumulasi gambut atau selama proses awal biasanya berukuran kecil dan tersebar secara dekat di seluruh batubara (Renton dan Cecil, 1979).

Pirit dapat digunakan sebagai prekursor dari produk seperti sulfur, asam sulfat, hematit, sulfur dioksida, pupuk dan sulfat besi. Pirit juga merupakan salah satu sulfida logam yang sifat elektrokimia dievaluasi untuk digunakan sebagai

katoda dalam baterai lithium (Kim *et al.*, 2007 dalam Oliviera *et al.*, 2016).

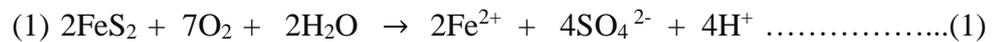
Sesekali dinding sel bahan tanaman telah digantikan oleh pirit (Taylor *et al.*, 1998). Falcon dan Snyman (1986) menunjukkan bahwa akumulasi pirit dalam batubara mungkin juga muncul dari luar mineral kaya besi pada saat akumulasi gambut diikuti oleh presipitasi insitu. Pirit *epigenetic* dimasukkan ke dalam batubara setelah pemadatan atau konsolidasi parsial (Reyes *et al.*, 1976) dan umumnya jauh lebih besar (butir kasar) dan mengisi retakan, gerigi, dan rongga (Renton dan Cecil, 1979). Pembentukan pirit *epigenetic* tergantung terutama pada ketersediaan sulfur tereduksi, kation terlarut (besi) dan tempat yang cocok untuk pembentukan (Casagrande *et al.*, 1977; Spears dan Caswell, 1986; Demchuk, 1992). Selain itu, pirit *epigenetic* mungkin diendapkan dari air yang meresap ke dalam rekahan, rongga dan pori-pori yang ada di lapisan batubara lama setelah akumulasi gambut (Falcon dan Snyman, 1986).

Secara umum batubara yang diendapkan di cekungan paralik mengandung lebih banyak pirit daripada yang ada di cekungan limnik. Diantara endapan paralik, lapisan batubara yang telah dipengaruhi oleh transgresi laut secara konsisten dicirikan oleh kandungan pirit yang sangat tinggi dan terkadang juga sulfur organik, terutama di bagian atas lapisan (Balme, 1956; Dai *et al.*, 2002). ; Mackowsky, 1943).

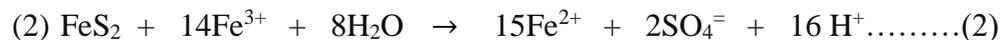
Dalam batubara yang kaya sulfur, pirit dalam bentuk butiran halus atau kongresi halus sangat umum ditemukan pada mikrolitotipe yang mengandung vitrinit dalam proporsi tinggi bentuk-bentuk ini juga cenderung umum pada batubara sapropel. Dengan tidak adanya kriteria lain (seperti fosil laut atau bola batubara), proporsi yang relatif tinggi dari batuan sedimen atau pirit awal-diagenetik dapat berguna untuk korelasi. lapisan batubara yang telah dipengaruhi oleh transgresi laut secara konsisten dicirikan oleh kandungan pirit yang sangat tinggi dan kadang-kadang juga sulfur organik, terutama di bagian atas lapisan (Balme, 1956; Dai *et al.*, 2002; Mackowsky, 1943)

## 2.9 Reaksi Pembentukan Air Asam Tambang

Oksidasi pirit merupakan rangkaian reaksi biologi dan elektrokimia, oleh pH, PO<sub>2</sub>, permukaan spesifik, morfologi, kehadiran dari bakteri dan mineral batulempung serta faktor hidrologi. Proses terbentuknya AAT terdiri dari beberapa tahapan reaksi. Reaksi pertama adalah reaksi oksidasi mineral pirit dengan kehadiran air dan oksigen. Pada reaksi tersebut Fe<sup>2+</sup> diperoleh dari proses penguraian pirit atau proses oksidasi pirit oleh oksigen. Reaksi tersebut merupakan reaksi pelapukan diikuti dengan proses oksidasi pirit dan memperoleh dua mol keasaman dari setiap mol pirit yang teroksidasi. Reaksi tersebut dapat berlangsung baik pada kondisi abiotik maupun biotik.



Reaksi selanjutnya adalah oksidasi pirit oleh ion *ferri*. Reaksi tersebut lebih cepat dua sampai tiga kali dibandingkan dengan oksidasi oleh oksigen. Jumlah mol keasaman juga lebih banyak per mol pirit. Akan tetapi, reaksi ini hanya berlangsung selama ion *ferri* cukup tersedia atau kondisi asam.



Dengan demikian proses reaksi oksidasi pirit dimulai dengan reaksi (1) pada kondisi dekat netral dan dilanjutkan dengan reaksi (2) jika kondisi lebih cepat dari pH lebih kecil dari 4,5. Pada pH rendah (lebih kecil dari 4,5) Fe<sup>3+</sup> akan lebih cepat mengoksidasi pirit dibandingkan O<sub>2</sub> dan lebih cepat pula dari pada O<sub>2</sub> mengoksidasi Fe<sup>2+</sup> (Nordstrom, 1982). Oleh karena itu, reaksi (2) dikenal sebagai langkah pembatas laju oksidasi pirit. Ion *ferri* terbentuknya hasil reaksi ion *ferro* yang ditunjukkan pada reaksi (1) dan konsumsi satu mol keasaman seperti yang tahan pada reaksi (3) Laju reaksi ini pada pH <5 dan kondisi abiotik. Kehadiran bakteri *acidithiobacillus ferrooxidans* akan mempercepat laju oksidasi Fe<sup>2+</sup> sampai 5 sampai 6 kali.



Dari reaksi (3) terlihat bahwa untuk mengoksidasi ion *ferro* menjadi *ferri* diperlukan kehadiran oksigen. Ion *ferri* dapat mengalami oksidasi dan hidrolisis sehingga membentuk *ferri* hidroksida seperti yang ditunjukkan pada reaksi (4).

Pembentukan presipitat atau endapan *ferri* hidroksida yang berwarna coklat kekuningan dan sering disebut *yellowboy* sangat tergantung pada pH, yaitu lebih banyak pada pH di atas 3,5.



Reaksi (4) reaksi pelarutan pengendapan yang *reversibel* dan sedang sampai pH sama dengan 3 dan merupakan sumber atau dikurangnya  $\text{Fe}^{3+}$  serta merupakan langkah penting dalam melepaskan asam ke lingkungan (Gautama, 2014).

## 2.10 Analisis Mineralogi

Analisis mineralogi mengidentifikasi komposisi mineral yang terkandung dalam batuan. Analisis ini merupakan komponen penting dalam prediksi kualitas air penyaliran, karena menentukan stabilitas fisik dan geokimia serta laju reaksi dari material geologi dan limbah tambang. Metode yang umum untuk analisis mineralogi adalah sebagai berikut (Gautama, 2014):

### 1. *X-ray Diffraction* (XRD)

Karakterisasi dengan menggunakan metode difraksi adalah metode analisis yang penting untuk menganalisis suatu jenis kristal. Karakterisasi XRD dapat digunakan untuk menentukan struktur kristal menggunakan sinar-X. Metode ini bisa digunakan dalam menentukan jenis struktur, ukuran butir, konstanta kisi. Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang antara 400-800 nm (Smallman and Bishop, 1999).

Cara kerjanya yaitu komponen utama pada XRD terdiri dari tabung katoda (tempat terbentuknya sinar-X), tempat sampel dan detektor. XRD di laboratorium ini menggunakan sumber Co dengan komponen lain berupa cooler yang digunakan untuk mendinginkannya, karena pada saat proses pembentukan sinar X memancarkan energi yang tinggi dan menghasilkan panas. Kemudian atur komputer dan CPU.

XRD dapat memberikan 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  $2^\circ$ . Tiap pol ayang muncul pada

pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu (Widyawati, 2012).

Kristal yang dikenai sinar-X berbentuk bahan (sampel), sehingga intensitas cahaya yang dipancarkan akan lebih rendah dari intensitas cahaya datang. Beberapa berkas sinar-X yang dihamburkan saling meniadakan (interferensi destruktif) dan beberapa saling memperkuat (interferensi konstruktif). Interferensi konstruktif ini merupakan peristiwa difraksi (Grant *and* Suryanayana, 1998).

## 2. Scanning Electron Microscope (SEM)

*Scanning Electron Microscope* (SEM) adalah jenis mikroskop elektron yang dapat menghasilkan gambar beresolusi tinggi dari permukaan sampel. Oleh karena itu citra yang dihasilkan SEM memiliki karakteristik kualitatif dalam dua dimensi karena menggunakan elektron sebagai pengganti gelombang cahaya dan berguna untuk menentukan struktur permukaan sampel.

### 2.11 Pengelolaan Lingkungan Tambang Batubara

Aktivitas penambangan, umumnya menggunakan penambangan terbuka, memiliki banyak dampak terhadap lingkungan. Lubang besar yang terbentuk dan lingkungan sekitar yang terganggu perlu dikelola dengan baik dan benar agar tidak membahayakan lingkungan sekitar. Konsep *mine closure* ini secara terus menerus dievaluasi selama kegiatan pertambangan berlangsung setelah direncanakan bersama diawali eksplorasi yang harus dilakukan (Arif, 2014).

Kegiatan pengelolaan dampak lingkungan meliputi pengelolaan tanah pucuk (*soil*), penanganan erosi, pengelolaan kolam pengendap lumpur (*settling pond*), pengendalian air asam tambang, revegetasi lahan, dan pemantauan *biodiversity*. Berikut beberapa metode pengelolaan lingkungan tambang batubara:

#### a. Pengelolaan Tanah Pucuk (*Top Soil*)

Tanah pucuk terdiri dari tanah humus dan harus diperlakukan sebaik mungkin karena berguna untuk proses revegetasi lahan apabila kegiatan penambangan telah selesai dan mencapai batas penambangan akhir (*ultimate pit limit*). Tanah pucuk umumnya setebal 1-1,5 meter. Penanganan tanah pucuk ini dimulai sejak operasi penambangan dimulai, yaitu pada saat proses

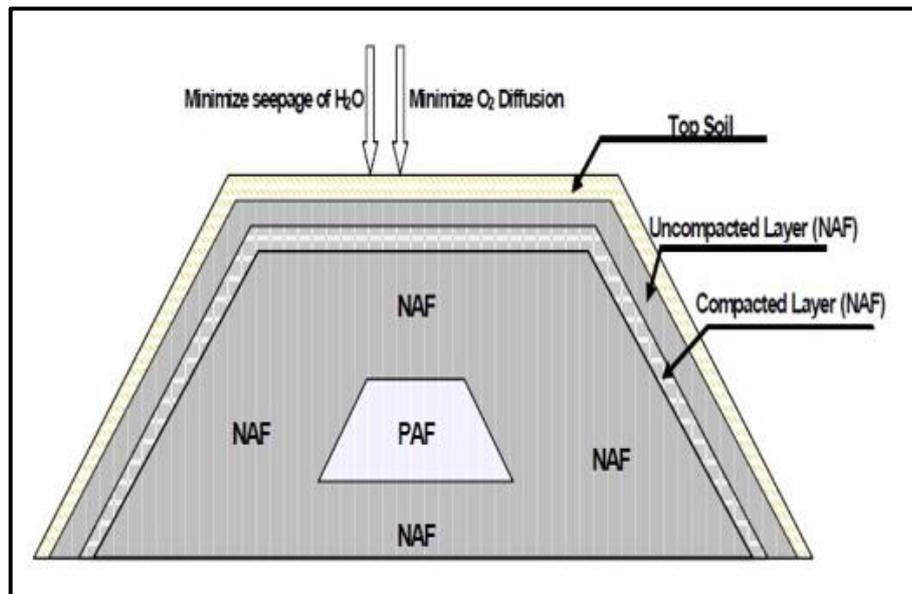
*landclearing*. Tanah pucuk dikupas dengan menggunakan alat berat dan ditimbun ditempat penimbunan khusus tanah pucuk. Tanah pucuk yang mengandung unsur-unsur hara ini tidak boleh tercampur dengan tanah lain untuk menjaga unsur hara tetap hidup. Tempat penimbunan tanah pucuk pun harus diperhatikan dan bukan daerah yang mudah tererosi. Penanganan dan pengelolaan tanah pucuk ini sangat penting untuk menanam kembali tambang bila telah selesai (Arif, 2014).

b. Pengelolaan Kolam Pengendap Lumpur (*Settling Pond*)

Kolam pengendap lumpur merupakan kolam yang dirancang untuk mengendapkan material padat yang ikut terbawa bersama air limpasan di tambang akibat erosi sebelum dilepas ke badan perairan umum. Hal ini perlu dilakukan agar memenuhi baku mutu lingkungan dan tidak mencemari lingkungan sekitar. Penentuan lokasi kolam pengendapan lumpur juga harus diperhatikan bahwa lokasi tersebut haruslah di daerah yang tidak mengganggu kegiatan penambangan agar dapat difungsikan dalam jangka waktu yang panjang. Bila lumpur pada kolam pengendap telah mencapai dua pertiga tinggi kolam, air di dalam kolam dipompa keluar dan lumpur dikeruk dengan alat berat serta dibuang ke lokasi lain sebelum digunakan Kembali.

c. Pengendalian air asam tambang

Air asam tambang terbentuk akibat hasil oksidasi dari batuan sulfida (pirit atau  $\text{FeS}_2$ ). Hasil reaksi tersebut merupakan senyawa sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) yang kemudian bereaksi dengan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) menjadi asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Air dikategorikan asam apabila memiliki pH lebih rendah dari 5. Air asam tambang perlu dilakukan pengendalian untuk mencapai pH 6 sampai 9. Pengendalian air asam tambang dilakukan dengan cara netralisasi sederhana menggunakan kapur ( $\text{CaO}$ ) dan soda abu ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), serta penanganan dalam *overburden*-nya. Penanganan ini umum dilakukan sebagai pencegah tahap awal terbentuknya air asam tambang oleh batuan *potential acid forming* (PAF) lewat mengisolasinya dengan batuan *non potential acid forming* (NAF). Gambar 2.2 memperlihatkan konsep umum penanganan *overburden* dalam mencegah terbentuknya air asam tambang.



Gambar 2.2 Konsep umum penanganan *overburden* dalam mencegah terbentuknya air asam tambang (Arif, 2014).

d. Revegetasi Lahan

Revegetasi lahan merupakan penanaman kembali lahan tambang yang sudah mencapai batas penambangan final. Manfaatnya adalah untuk merehabilitasi lahan yang gundul, menghindari kelongsoran pada lereng bekas penambangan, dan mengembalikan fungsi lahannya kesemula. Sebelum dilakukan revegetasi, perlu dipikirkan tanaman apa yang hendak ditanam di daerah bekas pertambangan tersebut.

e. Pemantauan Biodiversity

Reklamasi atau revegetasi lahan dikatakan berhasil apabila tanaman dan hewan-hewan sudah mulai terlihat hidup di daerah itu. Keanekaragaman hayati pun perlu dipantau secara berkala. Bila ada tumbuhan atau satwa yang mati, hal itu merupakan indikasi bahwa daerah tersebut miskin akan unsur hara dan lainnya, sehingga perlu dilakukan penanaman ulang dan pemupukan serta kegiatan lain untuk menunjang kehidupan tumbuhan dan satwa di daerah tersebut.