

SKRIPSI

**PENURUNAN KADAR *PH* DAN *TOTAL SUSPENDED SOLID* PADA AIR
ASAM TAMBANG MENGGUNAKAN *QUATERNARY CATIONIC
POLYMER* DI PT PROLINDO CIPTA NUSANTARA**

Disusun dan diajukan oleh:

**HELENA JESICA SAVSAVUBUN
D111181322**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENURUNAN KADAR *PH* DAN *TOTAL SUSPENDED SOLID* PADA AIR
ASAM TAMBANG MENGGUNAKAN *QUATERNARY CATIONIC
POLYMER* DI PT PROLINDO CIPTA NUSANTARA**

Disusun dan diajukan oleh

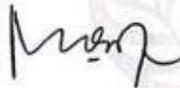
**HELENA JESICA SAVSAVUBUN
D111 18 1322**

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

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. Ir Muhammad Ramli, MT
NIP 196807181993091001

Asta Arjunoarwan Hatta, ST., MT
NIP 199511262022043001

Ketua Program Studi,




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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini ;

Nama : Helena Jesica Savsavubun
NIM : D111 18 1322
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Penurunan Kadar *pH* Dan *Suspended Solid* Pada Air Asam Tambang
Menggunakan *Quaternary Cationic Polymer* Di PT Prolindo Cipta Nusantara}

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

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

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

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

Gowa, 13 Juni 2023

Menyatakan

Helena Jesica Savsavubun

ABSTRAK

HELENA JESICA SAVSAVUBUN. Penurunan Kadar *pH* dan *Total Suspended Solid* pada Air Asam Tambang Menggunakan *Quaternary Cationic Polymer* PT Prolindo Cipta Nusantara (Dr. Eng. Ir. Muhammad Ramli, M.T. dan Asta Arjunoarwan Hatta, ST.,M.T.)

Industri pertambangan sangat berperan dalam menggerakkan perekonomian Indonesia. Namun, industri pertambangan juga merupakan salah satu industri yang menyebabkan terganggunya keseimbangan ekosistem pada lingkungan. Setiap pertambangan batu bara diharuskan mengolah terlebih dahulu air limbah yang dihasilkan sebelum dibuang ke lingkungan. Proses pengelolaan limbah cair batu bara yang umum digunakan untuk memenuhi baku mutu tersebut adalah pengendapan padatan tersuspensi dengan penambahan *quaternary cationic polymer*. Penggunaan dosis *quaternary cationic polymer* yang tidak tepat dapat mempengaruhi hasil *treatment* dalam menetralsir parameter pada air sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dosis yang tepat dari *quaternary cationic polymer* dalam pengelolaan limbah cair batu bara. Penelitian ini, dilakukan proses koagulasi untuk mengetahui nilai *TSS* dan *pH* akhir pada sampel yang telah diberi perlakuan berupa penambahan variasi dosis *quaternary cationic polymer*, yaitu 1, 2, 3, 4, dan 5 gr. Hasil analisis menunjukkan bahwa dosis *quaternary cationic polymer* dan nilai *TSS* memiliki hubungan yang signifikan dimana penambahan jumlah dosis akan menurunkan nilai *TSS* dengan rata-rata persentase penurunan *TSS* sebesar 65,99 %. Dosis *quaternary cationic polymer* dan nilai *pH* memiliki hubungan yang signifikan dimana penambahan jumlah dosis akan menaikkan nilai *pH* dengan persentase kenaikan sebesar 16,43%. Dosis optimum dari *quaternary cationic polymer* adalah 5 gr dengan durasi sedimentasi selama 5 menit.

Kata kunci: limbah cair batu bara , koagulasi, *quaternary cationic polymer*, *TSS*, *pH*

ABSTRACT

HELENA JESICA SAVSAVUBUN. Penurunan Kadar *pH* dan *Total Suspended Solid* pada Air Asam Tambang Menggunakan *Quaternar Cationic Polymer* PT Prolindo Cipta Nusantara (Dr. Eng. Ir. Muhammad Ramli, M.T. dan Bapak Asta Arjunoarwan Hatta, ST.,M.T.)

The mining industry plays a very important role in driving the Indonesian economy. However, the mining industry is also one of the industries that disrupts the balance of ecosystems in the environment. Every coal mine is required to first treat the waste water produced before it is discharged into the environment. The coal wastewater treatment process that is commonly used to meet these quality standards is the precipitation of suspended solids with the addition of quaternary cationic polymers. The use of inappropriate quaternary cationic polymer doses can affect the treatment results in neutralizing the parameters in water according to the quality standards set by the government. This study aims to determine the appropriate dose of quaternary cationic polymers in the management of coal wastewater. In this study, a coagulation process was carried out to determine the final TSS and pH values in the samples that had been treated by adding variations in quaternary cationic polymer doses, namely 1, 2, 3, 4, and 5 gr. The results of the analysis showed that the quaternary cationic polymer dose and the TSS value had a significant relationship where an increase in the number of doses would decrease the TSS value, with an average percentage reduction of TSS of 65.99%. The dose of quaternary cationic polymer and the pH value have a significant relationship, where an increase in the number of doses will increase the pH value with a percentage increase of 16.43%. The optimum dose of quaternary cationic polymer is 5 g with a sedimentation duration of five minutes.

Keywords: coal wastewater, coagulation, quaternary cationic polymer, TSS, pH

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yesus Kristus atas segala limpahan berkat, dan kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir yang berjudul “Penurunan Kadar pH dan *Total suspended solid* pada air asam tambang menggunakan *quaternary cationic polymer* di PT Prolindo Cipta Nusantara” sebagai salah satu syarat yang harus ditempuh untuk menyelesaikan pendidikan pada jenjang Strata Satu (S1) dalam Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, hal itu disadari karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Besar harapan penulis, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pihak lain pada umumnya. Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis banyak mendapat pelajaran, dukungan, motivasi. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar - besarnya kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan tugas akhir ini sehingga dapat berjalan lancar dan terselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih dengan penuh kerendahan hati penulis sampaikan kepada Bapak Yudha Karani selaku *Manager* PT Prolindo Cipta Nusantara yang telah memberikan kesempatan kepada penulis sehingga dapat melakukan kegiatan Penelitian.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Cecep Gunawan selaku pembimbing kerja praktik sekaligus *Coordinator* SHE telah membantu dalam orientasi lapangan, memberikan ilmu, arahan, serta bimbingan selama kegiatan di PT Prolindo Cipta Nusantara. Kepada seluruh staff PT Prolindo Cipta Nusantara yang selalu menghibur dan memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada Bapak Dr. Eng. Ir. Muhammad Ramli, M.T. dan Bapak Asta Arjunoarwan Hatta, ST.,MT selaku dosen pembimbing yang senantiasa meluangkan waktu, motivasi, dan pikiran untuk penulis dalam menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini, serta terima kasih pula penulis ucapkan kepada teman–teman Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin Angkatan 2018 (TUNNEL 18) khususnya tim baruga 2023 yang senantiasa menjadi teman diskusi dan memberikan semangat serta dukungan untuk penulis selama pelaksanaan penelitian.

Terima kasih pula penulis sampaikan kepada Bapak Florentinus Savsavubun dan Ibu Evi Tangdiampang selaku orang tua penulis, Mari Marlalesu dan Anita Fauziah Widiyanti selaku oma dan sahabat penulis, serta para keluarga yang senantiasa mendoakan, memberi semangat, dan selalu memotivasi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca. Akhir kata penulis mengharapkan semoga tujuan dari pembuatan tugas akhir ini dapat tercapai sesuai dengan yang diharapkan.

Makassar, 30 Maret 2023

Helena Jesica Savsavubun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian.....	3
1.6 Lokasi Penelitian	5
BAB II AIR ASAM TAMBANG DAN PENGELOLAANNYA	8
2.1 Perencanaan Pertambangan.....	8
2.2 Pencemaran Lingkungan	9
2.3 Pencemaran Air	10
2.4 Pencemaran Limbah tambang	10
2.7 Air Asam Tambang	14
2.8 Proses Terbentuknya Air Asam Tambang.....	17
2.9 Dampak Air Asam Tambang.....	20
2.10 Penanganan Air Asam Tambang.....	23
2.11 Pengelolaan Batu bara	32
2.12 Pembentukan Limbah Cair Batu bara	32
2.13 <i>Settling Pond</i>	33
2.14 Sifat Ketidakmurnian Air	33
2.15 Derajat Keasaman.....	34
2.16 Padatan Tersuspensi Total.....	35
2.17 Mekanisme Destabilisasi.....	38
2.18 Flokulasi	40

2.19 Koagulasi.....	41
2.20 Koagulan	42
2.21 Syarat Baku Mutu.....	44
BAB III METODE PENELITIAN.....	47
3.1 Metode Penelitian.....	47
3.2 Persiapan	47
3.3 Pengambilan Sampel	48
3.4 Prosedur Penelitian.....	48
3.5 Pengolahan dan Analisis Data	50
3.6 Diagram Alir Penelitian	52
BAB IV OPTIMASI PENGGUNAAN DOSIS <i>CHEMICAL QUATERNARY CATIONIC POLYMER</i> DALAM PENGOLAHAN <i>LIMBAH CAIR BATU BARA</i>	
4.1 Parameter Awal Sampel	54
4.2 Analisis Sampel.....	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	60
5.1 Kesimpulan.....	60
5.2 Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram alir tahapan kegiatan penelitian.....	5
Gambar 1.2 Peta lokasi penelitian.....	7
Gambar 2.1 Model Partikel Koloid.....	36
Gambar 2.2 Gaya pada partikel koloid setelah kompresi lapisan ganda.....	38
Gambar 2.3 Mekanisme <i>bridging</i>	39
Gambar 2.4 Tampak mikroskopis dari flok pada wwater <i>treatment</i>	41
Gambar 3.1 Lokasi Pengambilan sampel settling pond	49
Gambar 3.2 Proses pengambilan sampel	49
Gambar 3.3 Proses pengukuran <i>ph</i> pada sampel.....	50
Gambar 3.4 Chemical qa-9011	51
Gambar 3.5 Pembuatan larutan	51
Gambar 3.6 Proses pengadukan sampel.....	52
Gambar 3.7 Proses sedimentasi.....	52
Gambar 3.8 Bagan alir Penelitian	53
Gambar 4.1 <i>TSS</i> Akhir durasi 3 menit	55
Gambar 4.2 <i>TSS</i> Akhir durasi 5 menit	56
Gambar 4.3 Perbandingan akhir <i>TSS</i> 3 & 5 menit	57
Gambar 4.4 pH akhir.....	58
Gambar 4.5 pH & <i>TSS</i> akhir	58

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Batas koordinat wilayah Iup PT PCN	6
Tabel 2.1 Syarat baku mutu	45
Tabel 4.1 Parameter pH & TSS	54
Tabel 4.2 TSS akhir sedimentasi 3 menit	55
Tabel 4.3 TSS akhir sedimentasi 5 menit	56
Tabel 4.4 Data Perubahan nilai pH pada sampel	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Peta Lokasi Penelitian.....	52
Lampiran B Data Hasil <i>Treatment</i>	54
Lampiran C Pengaruh Jumlah Dosis Terhadap <i>pH</i> dan <i>TSS</i>	57
Lampiran D Foto Kegiatan.....	59

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri pertambangan sangat berperan dalam menggerakkan perekonomian Indonesia. Selain menjadi salah satu sumber pendapatan negara dan memenuhi kebutuhan batu bara di Indonesia, industri pertambangan juga menyediakan lapangan pekerjaan bagi warga Indonesia. Namun, industri pertambangan juga merupakan salah satu industri yang menyebabkan terganggunya keseimbangan ekosistem pada lingkungan. Dampak - dampak yang ditimbulkan akibat adanya aktivitas pertambangan yaitu kerusakan habitat dan *biodiversity* di sekitar lokasi pertambangan, terbentuknya limbah tambang dan *tailing*, terbentuknya air limbah dan air asam tambang, pemaparan bahan kimia di area tambang, toksisitas logam berat dan kesehatan masyarakat di sekitar tambang (UNEP, 1999).

Salah satu dampak dari kegiatan pertambangan batu bara yang sering menjadi permasalahan dari beberapa dampak negatif yang telah disebutkan sebelumnya adalah terbentuknya limbah. Salah satu jenis limbah yang dihasilkan adalah limbah cair batu bara yang berasal dari aktivitas industri pertambangan batu bara. Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 133 Tahun 2003, limbah cair usaha dan atau kegiatan pertambangan batu bara adalah air yang berasal dari kegiatan pertambangan batu bara dan air buangan yang berasal dari kegiatan pengelolaan/pencucian batu bara. Sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomor 113 tahun 2003 tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan atau kegiatan pertambangan batu bara, setiap pertambangan batu bara diharuskan mengolah terlebih dahulu air limbah yang dihasilkan sebelum dikembalikan ke lingkungan. Parameter baku mutu yang dikontrol antara lain adalah *potential hydrogen (pH)*, *total suspended solid (TSS)*, kandungan besi (Fe^{3+}), dan Kandungan mangan (Mn^{2+}). Proses pengelolaan limbah cair batu bara yang umum digunakan untuk memenuhi baku mutu tersebut adalah pengendapan padatan tersuspensi dengan penambahan *chemical* untuk menurunkan nilai *TSS*. Namun, penggunaan *chemical* dalam proses tersebut tidak boleh kurang ataupun berlebih karena seiring dengan peningkatan kekeruhan dan *pH* menyebabkan peningkatan dosis *chemical* (Ayundyahrini, dkk., 2013).

Oleh karena itu, penentuan dosis *chemical* yang optimum untuk menghasilkan parameter air yang sesuai dengan standar baku mutu merupakan fokus pada penelitian ini.

1.2 Rumusan Masalah

Penggunaan dosis *quaternary cationic polymer* yang kurang ataupun berlebih dapat mempengaruhi keefektifan *quaternary cationic polymer* dalam membuat parameter air meliputi *potential hydrogen (pH)* dan *total suspended solid (TSS)* sesuai dengan standar baku mutu. Berdasarkan masalah tersebut, rumusan masalah yang ada pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh dosis *quaternary cationic polymer* terhadap perubahan nilai *TSS* dan *pH* dalam pengelolaan limbah cair batu bara .
2. Pengaruh *quaternary cationic polymer* terhadap waktu pengendapan untuk mendapatkan nilai optimum dari *pH* dan *TSS* dalam pengelolaan limbah cair batu bara .
3. Jumlah dosis optimum dari *quaternary cationic polymer* yang digunakan untuk membuat perubahan pada nilai *pH* dan *TSS* sesuai dengan standar baku mutu.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan sebelumnya, maka tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh dosis *quaternary cationic polymer* terhadap nilai *pH* dan *TSS* dalam limbah cair batu bara .
2. Menganalisis pengaruh *quaternary cationic polymer* terhadap nilai *pH* dan *TSS* dengan waktu penetralan 3 menit dan 5 menit.
3. Menentukan jumlah dosis *quaternary cationic polymer* yang tepat untuk digunakan sebagai kondisi optimum proses pengendapan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini berguna sebagai referensi dalam menentukan dosis *quaternary cationic polymer* yang optimum dalam proses pengelolaan limbah cair batu bara. Penelitian ini diharapkan dapat mengoptimalkan penggunaan dosis *quaternary*

cationic polymer dan diharapkan dapat meminimalisir dampak lingkungan yang disebabkan oleh penggunaan dosis *quaternary cationic polymer* yang tidak tepat.

1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian

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

1. Persiapan

Tahapan persiapan merupakan kegiatan pendahuluan sebelum dilakukan penelitian dan pengambilan data di lapangan. Tahapan persiapan terdiri dari beberapa tahap, antara lain:

a. Administrasi

Administrasi merupakan salah satu tahap persiapan yang berkaitan dengan pengurusan segala keperluan administrasi berupa perizinan kegiatan penelitian yang dilaksanakan kepada beberapa pihak terkait.

b. Perumusan masalah

Perumusan masalah merupakan tahap untuk merumuskan konsep penelitian yang meliputi penentuan topik penelitian, menentukan permasalahan dan batasan yang akan dibahas dalam penelitian, melakukan studi pendahuluan dan hipotesis, serta menyusun rencana penelitian. Dalam tahap ini menghasilkan proposal tugas akhir dengan tujuan untuk membantu dalam kegiatan pengambilan data di lapangan agar lebih terkontrol dan membantu pada proses penarikan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan. Adapun masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana penurunan kadar *total suspended solid* pada air asam tambang menggunakan *quaternary cationic polymer*.

c. Studi Literatur

Studi literatur meliputi kajian mengenai objek penelitian melalui literatur dan berbagai referensi yang tersedia. Kajian diperoleh melalui buku, jurnal penelitian, *proceeding*, artikel, ataupun laporan dan penelitian terdahulu yang pernah dilakukan sebelumnya.

2. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel menggunakan metode *grab sampling*. Sampel diambil secara langsung sebanyak 15 L. Sampel diperoleh dari lokasi penelitian yang merupakan air tambang yang terbentuk akibat aktivitas pertambangan dan dari paparan air hujan terhadap singkapan batu bara. Lokasi pengambilan sampel terletak pada Desa Sebanban, Kecamatan Sungai Loban, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan.

3. Preparasi Sampel

Sesudah pengambilan sampel, sampel kemudian dihomogenkan terlebih dahulu. Hal ini bertujuan untuk menyamakan kondisi sampel sebelum dibagi ke dalam beberapa wadah. Sampel diaduk secara perlahan selama ± 20 detik. Setelah itu, nilai parameter sampel diukur sebagai data awal tiap sampel. Kemudian, sampel dibagi ke dalam 5 wadah berukuran 500 ml

4. Uji *chemical*

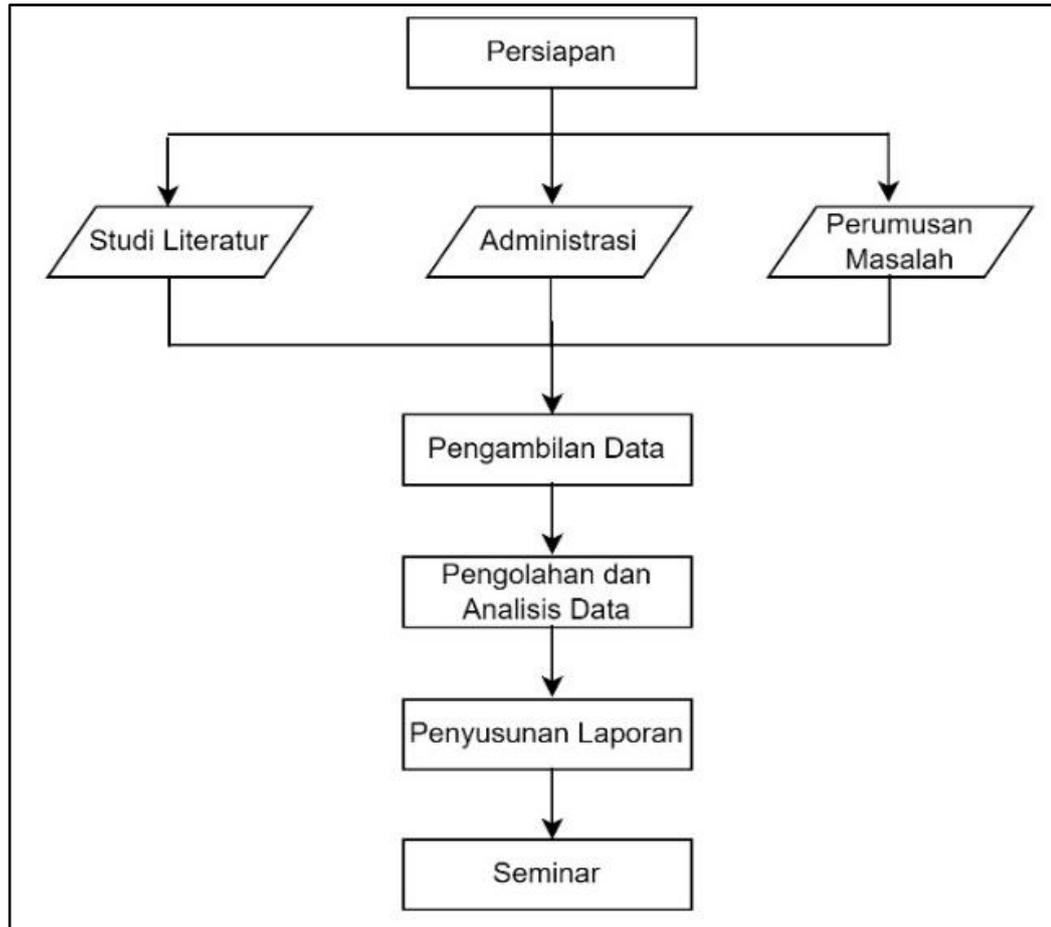
Sampel yang telah dipreparasi dan dibagi menjadi 5 wadah kemudian dilakukan penambahan *quaternary cationic polymer*. Setelah diuji menggunakan *quaternary cationic polymer* sampel akan diuji menggunakan *turbidity* meter, nilai *TSS* pada sampel diukur sebagai data akhir pada tiap sampel.

5. Pengelolaan Data

Tahapan pengolahan data dilakukan untuk memperoleh data-data yang dibutuhkan dalam melakukan penelitian dan hal-hal yang berkaitan dengan masalah yang diteliti, serta melakukan pengamatan secara visual terkait dengan kondisi daerah penelitian serta sampel. Secara umum, pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode koagulasi.

6. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Penyusunan laporan tugas akhir merupakan tahapan terakhir dalam penelitian. Penyusunan laporan ini bertujuan untuk melaporkan seluruh data, kegiatan, dan hasil yang diperoleh selama melaksanakan penelitian ini. Laporan ini disusun berdasarkan kaidah penyusunan laporan yang berlaku di Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.



Gambar 1.1 Diagram alir tahapan kegiatan penelitian

1.6 Lokasi Penelitian

Secara administratif PT. Prolindo Cipta Nusantara berada pada Desa Sebamban Baru Kecamatan Sungai Loban Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan. Lokasi IUP PT. Prolindo Cipta Nusantara secara geografis tergambar pada peta provinsi Kalimantan Selatan dan titik-titik koordinat batas IUP dapat dilihat pada tabel 1.1, dengan luas IUP 350 hektar.

Kabupaten Tanah Bumbu merupakan salah satu kabupaten dalam wilayah administrasi Provinsi Kalimantan Selatan yang memiliki potensi perikanan laut dan wilayah pesisir. Kabupaten ini merupakan kabupaten pemekaran dari Kabupaten Kota baru. Secara geografis terletak di antara $2^{\circ}52'00''$ - $115^{\circ}15'00''$ Lintang Selatan dan $115^{\circ}15'00''$ - $116^{\circ}04'00''$ Bujur Timur. Menurut letak geografis, Kabupaten Tanah Bumbu berbatasan dengan Sebelah Utara Kecamatan Kelumpang Hulu Kabupaten Kota baru, Sebelah Selatan Laut Jawa, Sebelah Barat

Kecamatan Kintap, Kabupaten Tanah Laut dan Kecamatan Aranio, Kabupaten Banjar dan Sebelah Timur Kecamatan Pulau Laut Barat, Kabupaten Kotabaru.

Kecamatan Sungai Loban yang terletak diantara bujur timur $115^{\circ}40'41''$ - $5^{\circ}50'53''$ dan lintang selatan $003^{\circ}31'32''$ - $003^{\circ}41'12''$, secara geografis Sebelah Utara berbatasan dengan Kecamatan Kusan Hulu dan Kecamatan Kuranji; sebelah Selatan berbatasan dengan Laut Jawa; Sebelah Timur berbatasan dengan Kecamatan Kusan Hilir; Sebelah Barat berbatasan dengan Kecamatan Angsana. Desa Sebamban Baru merupakan salah satu desa yang ada di Kecamatan Sungai Loban, Batas-batas wilayah Desa Sebamban Baru secara administratif meliputi : Sebelah Utara berbatasan dengan Kecamatan Kusan Hulu, Sebelah Selatan berbatasan dengan Laut Jawa, Sebelah Timur berbatasan dengan Desa Tri martani, Desa Indraloka Jaya dan Desa Sebamban Lama sedangkan Sebelah Barat berbatasan dengan Kecamatan Angsana.

Tabel 1.1 Batas koordinat wilayah Iup PT PCN

No	Garis Bujur (BT)			Garis Lintang (LS)		
	°	'	“	°	'	“
1.	115	38	7.7	3	36	32.5
2.	115	38	7.8	3	37	19.1
3.	115	36	44.4	3	37	19.1
4.	115	36	44.4	3	36	54.1
5.	115	36	54.1	3	36	54.1
6.	115	36	54.1	3	36	32.5

Sumber : PT PCN

PT. Prolindo Cipta Nusantara terletak kurang lebih 220 km. Perjalanan dari Kota Makassar menuju lokasi penelitian dapat ditempuh melalui jalur udara menuju Kota Banjarmasin dengan waktu tempuh ± 6 jam. Dari Kota Banjarmasin menuju kantor PT Prolindo Cipta Nusantara sekitar ± 4 jam, kemudian dari kantor pusat menuju *Settling Pond* PT Prolindo Cipta Nusantara ditempuh dengan menggunakan transportasi darat selama ± 1 jam melalui jalan pengerasan kawasan perkebunan sawit dan jalan pertambangan.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

BAB II

AIR ASAM TAMBANG DAN PENGELOLAANNYA

2.1 Pertambangan

Pertambangan adalah sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka penelitian, pengelolaan dan pengusahaan mineral atau batu bara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi dan studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan, serta kegiatan pasca tambang. Sektor pertambangan merupakan sektor yang strategis, selain itu bagi daerah yang kaya sumber daya alamnya, pertambangan merupakan tulang punggung bagi pendapatan daerah tersebut (Djajadiningrat, 2007).

Penambangan menyebabkan perubahan bentang lahan dan kualitas tanah hasil penimbunan setelah penambangan. Struktur tanah penutup rusak sebagaimana sebelumnya, juga tanah lapisan atas bercampur ataupun terbenam di lapisan dalam. Demikian juga populasi hayati tanah yang ada di tanah lapisan atas menjadi terbenam, sehingga mati dan tidak berfungsi sebagaimana mestinya. Daya dukung tanah lapisan atas pasca penambangan untuk pertumbuhan tanaman menjadi rendah (Subowo, 2011).

Dampak penting yang mungkin timbul pada penambangan batu bara pada tahap pra penambangan adalah terbukanya lahan akibat pembukaan lahan (*land clearing*). Hal ini akan menimbulkan dampak lanjutan seperti berkurangnya daya tahan lahan terhadap erosi, perubahan karakteristik infiltrasi air tanah, perubahan bentuk bentang lahan dan tata guna lahan, serta penurunan kualitas akibat dari erosi. Pada tahap penambangan dampak penting yang muncul adalah terjadinya perubahan bentang alam akibat pengupasan atau penggalian tanah pucuk, tanah penutup dan batu bara. Kemungkinan terjadinya air asam tambang jika air limpasan bereaksi dengan lapisan tanah penutup yang berpotensi membentuk asam. Selain itu, juga terjadinya longsoran pada penimbunan tanah penutup baik di luar area tambang maupun bekas tambang. Penambangan batu bara atau penambangan bahan galian dari perut bumi seharusnya tidak merusak lingkungan daerah yang ditambang, maka perlu dilakukan proses rehabilitasi (Rustam, 2003). Rehabilitasi lokasi penambangan dilakukan sebagai bagian dari program

pengakhiran tambang yang mengacu pada penataan lingkungan hidup yang berkelanjutan. Salah satu kegiatan pengakhiran tambang, yaitu reklamasi, yang merupakan upaya penataan kembali daerah bekas tambang agar bisa menjadi daerah bermanfaat dan berdayaguna.

2.2 Pencemaran Lingkungan

Polusi atau pencemaran adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (UU Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup No. 4 Tahun 1982). Pencemaran dapat timbul sebagai akibat kegiatan manusia ataupun disebabkan oleh alam contohnya gunung meletus dan gas beracun (Arilin, 2012).

Lingkungan merupakan media sesuatu yang berisi makhluk hidup, benda atau kondisi termasuk manusia dan perilakunya yang mempunyai pengaruh dalam keberlangsungan hidup manusia maupun makhluk hidup lain. Semakin meningkat hidup, semakin meningkat pula populasi dan eksploitasi terhadap sumber daya alam guna untuk mencukupi berbagai kebutuhan manusia, sehingga banyak permasalahan lingkungan yang timbul seperti pemanasan global, berkurangnya sumber daya alam, pencemaran lingkungan baik air, tanah, dan udara. Lingkungan yang terjaga menciptakan kehidupan yang sehat, baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Akan lebih banyak masalah yang akan ditimbulkan oleh kerusakan lingkungan hidup jika tidak segera ditangani (Hidayat, 2017).

Pencemaran lingkungan merupakan keadaan di mana bahan kimia buatan manusia masuk dan merubah lingkungan alami. Pencemaran ini biasanya terjadi karena kebocoran limbah cair, bahan kimia atau fasilitas komersial, penggunaan pestisida, masuknya air permukaan tanah tercemar ke sub permukaan, kecelakaan kendaraan pengangkut minyak, air limbah dari tempat penimbunan sampah serta limbah industri yang langsung dibuang ke tanah secara tidak memenuhi syarat (*illegal dumping*). Salah satu limbah zat kimia yaitu limbah logam berat. Merkuri merupakan salah satu logam berat yang sangat toksik (Nugraha, 2012).

2.3 Pencemaran Air

Pencemaran air menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Pada pasal 8 disebutkan klasifikasi dan kriteria mutu air ditetapkan menjadi empat kelas, antara lain:

1. Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
2. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana atau sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
3. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
4. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

2.4 Pencemaran Limbah tambang

Kegiatan pertambangan dapat mengakibatkan terjadinya perubahan lingkungan yang dapat memicu terjadinya perubahan kimiawi yang berdampak pada kualitas air tanah dan air permukaan. Selain itu kegiatan penambangan juga akan mengakibatkan terjadinya perubahan fisik berupa perubahan morfologi dan topografi lahan. Lebih dari itu, iklim mikro pun akan turut mengalami perubahan akibat berubahnya kecepatan angin, gangguan habitat biologi berupa flora dan fauna, serta penurunan produktivitas tanah (Said, 2014).

Salah satu potensi masalah kegiatan pertambangan adalah resiko terbentuknya air asam tambang yaitu air yang terbentuk akibat adanya oksidasi batuan sulfida tertentu yang berada dalam lapisan batu bara, mengakibatkan air di lokasi pertambangan bersifat asam dan biasanya air asam ini mengandung logam berat seperti besi dan mangan, yang seringkali mengandung zat padat tersuspensi dengan konsentrasi tinggi. Dampak yang ditimbulkan air asam tambang bukan hanya di dalam lokasi pertambangan saja namun yang lebih dikhawatirkan apabila tercemarnya sumber air di luar kawasan tambang dapat membahayakan lingkungan khususnya bagi makhluk hidup (Afbertiawan, 2012).

Tailing merupakan residu yang berasal dari sisa pengolahan bijih setelah target mineral utama dipisahkan. *Tailing* mengandung berbagai logam berat dalam jumlah yang cukup tinggi sehingga berpotensi merusak lingkungan sekaligus berbahaya bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Kegiatan pertambangan banyak menghasilkan limbah berupa *tailing* dan dibuang di dataran atau badan air, limbah unsur pencemar kemungkinan tersebar di sekitar wilayah tersebut dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Bahaya pencemaran lingkungan oleh arsen (As), merkuri (Hg), timbal (Pb), kadmium (Cd) dan tembaga (Cu) mungkin terbentuk jika *tailing* mengandung unsur-unsur tersebut tidak ditangani secara tepat. Terutama di wilayah tropis, tingginya tingkat pelapukan kimiawi dan aktivitas biokimia akan menunjang percepatan mobilisasi unsur - unsur berpotensi racun. Penyebaran logam berat termasuk tembaga (Cu) memiliki sifat logam yang berbahaya bagi manusia, tanaman, hewan dan makhluk hidup. Kesulitan dalam pengolahan limbah yang mengandung logam berat disebabkan oleh bentuk dan kandungan logam berat dalam limbah yang sangat bervariasi. Berlebihnya logam berat yang tercemar dapat merusak ekosistem kehidupan yang ada disekitarnya (Patria, 2008).

Tailing berupa sisa pengolahan bijih yang biasanya terdiri atas beraneka ukuran butir, yaitu fraksi berukuran pasir, lanau, dan lempung. Ketika *tailing* dibuang dalam bentuk bubur, fraksi pasir cenderung mengendap di sekitar titik pembuangan dan lumpur akan mengendap jauh dari titik pembuangan sebagai suspensi dalam waktu yang cukup lama. Fraksi pasir kadang-kadang dimanfaatkan untuk pembuatan konstruksi tanggul atau sebagai bahan pengisi

backfilling pada tambang bawah permukaan atau bekas galian-galian pada tambang terbuka. Secara umum, pembuangan *tailing* dilakukan di lingkungan darat yaitu pada depresi topografi atau penampung buatan; sungai atau danau, dan laut. *Tailing* sering mengandung konsentrasi mineral berharga yang tidak memenuhi syarat untuk diambil pada saat ditambang, tetapi disimpan untuk penggunaan di masa yang akan mendatang. Secara mineralogi, *tailing* dapat terdiri atas beraneka mineral seperti silika, silikat besi, magnesium, natrium, kalium, dan sulfida. Dari mineral - mineral tersebut, sulfida mempunyai sifat aktif secara kimiawi, dan apabila bersentuhan dengan udara maka akan mengalami oksidasi sehingga membentuk garam bersifat asam dan aliran asam mengandung sejumlah logam beracun seperti As, Hg, Pb, dan Cd dapat mencemari atau merusak lingkungan (Heynes, 2009).

2.5 Pengolahan Air

Pengolahan air limbah bertujuan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Prinsip pengolahan dilakukan untuk mengurangi kuantitas dan kadar pencemar air limbah sebelum dibuang ke perairan penerima. Tujuan utama pengolahan air untuk mengurangi *biochemical oxygen demand*, partikel tercampur serta membunuh organisme *pathogen*. Selain itu, diperlukan juga tambahan pengolahan, untuk menghilangkan bahan nutrisi, komponen beracun serta bahan yang tidak dapat didegradasi agar konsentrasi yang ada menjadi rendah.

Secara umum terdapat beberapa teknik dasar pengolahan air limbah yang telah dikembangkan secara umum terdapat tiga metode pengolahan, antara lain:

1. Pengolahan fisika

Proses pengolahan fisika antara lain pengolahan dengan menggunakan *screen*, *sieves*, dan *filter*. Pemisahan dengan memanfaatkan gaya gravitasi (sedimentasi atau *oil*). Serta *flotasi adsorpsi*, dan *sytripping*. Prinsip pertama adalah *screening*, *sieving*, dan *filtrasi*. Prinsip kedua adalah penggunaan gaya gravitasi (sedimentasi, flotasi, dan sentrifugasi).

2. Pengolahan kimia

Proses pengolahan kimia digunakan dalam instalasi air bersih dan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Pengolahan secara kimia pada IPAL biasanya digunakan untuk netralisasi limbah asam maupun basa.

Memperbaiki proses pemisahan lumpur, memisahkan padatan yang tak terlarut, mengurangi konsentrasi minyak dan lemak, meningkatkan efisiensi instalasi flotasi dan filtrasi, serta mengoksidasi warna dan racun. Kelebihan proses pengolahan kimia antara lain dapat menangani hampir seluruh polutan anorganik, tidak terpengaruh oleh polutan yang beracun atau toksik. Serta tidak tergantung pada perubahan - perubahan konsentrasi. Namun, pengolahan kimia dapat meningkatkan jumlah garam pada *effluent* dan meningkatkan jumlah kapur.

3. Pengolahan biologis

Proses biologis adalah proses - proses pengolahan air limbah yang memanfaatkan aktivitas kehidupan mikroorganisme untuk memindahkan polutan. Proses biokimia juga meliputi aktivitas alami dalam berbagai keadaan. Dalam proses pengolahan air limbah secara biologi, diharapkan terjadi proses penguraian secara alami untuk membersihkan air sebelum dibuang. Secara umum, proses pengolahan secara biologi menjadikan pengolahan air limbah secara modern lebih terstruktur. Tergantung pada syarat air yang harus dijaga atau jenis air limbah yang harus dikelola. Pengolahan air limbah secara biologi bertujuan untuk membersihkan zat-zat organik menjadi bentuk - bentuk yang kurang berbahaya. Misalnya, proses nitrifikasi oleh senyawa - senyawa nitrogen yang dioksidasi.

2.6 Sumber Air Asam Tambang

Secara umum air asam tambang yang dihasilkan berasal dari beberapa sumber diantaranya (Said, 2008):

1. Air asam tambang yang bersumber dari lokasi penambangan (*mine sump*). *Pit* atau bukaan tambang adalah area yang telah dikupas lapisan tanah penutupnya untuk dilakukan pengambilan lapisan batu bara. *Pit* dibuat berjenjang dan terbuka sehingga apabila hujan, air akan melimpas dan terkumpul di *pit* membentuk *pit lake*. Air limpasan ini bersifat asam karena berkontak dengan lapisan batuan penutup yang mengandung mineral sulfida pembentuk air asam tambang. Air limpasan yang terkumpul ini kemudian dipompa dan dialirkan untuk diolah lebih lanjut.

2. Air asam tambang yang berasal dari lokasi timbunan batuan/disposal.
Area disposal juga merupakan area yang berpotensi menghasilkan air asam tambang. Material yang ditimbun adalah lapisan batuan penutup atau *overburden rocks* dan dilapisi oleh tanah. Berdasarkan analisis percontohan batuan yaitu *clay* eksplorasi NAG dan blasting, batuan di *Site* PT. Prelindo Cipta Nusantar NAG pH < 4,5 pada *overburden rocks* atau *interburden* yang berarti memiliki potensi pembentukan asam yang signifikan.
3. Air asam tambang dari *stockpile* batu bara
Kandungan sulfida pada tumpukan batu bara memberikan potensi terbentuknya air asam tambang akibat unsur sulfida bercampur dengan air sehingga teroksidasi dan akan membentuk senyawa asam. Sumber air asam tambang di *Stockpile* bersumber dari limpasan air pencucian batu bara dan air hujan.
4. Air asam tambang dari pencucian *coal processing plant* (CPP)
CPP merupakan fasilitas yang digunakan untuk penanganan batu bara. Air asam terbentuk akibat penggunaan air yang dimanfaatkan untuk pencucian batu bara dan berasal dari air yang bercampur dengan debu pada *belt conveyor*. Air limbah pencucian batu bara dari CPP sebenarnya tidak terlalu memiliki masalah dalam hal pH. Masalah yang ditemukan pada air limbah ini adalah kadar *Total Suspended Solid* yang tinggi karena air tersebut dihasilkan dari proses pencucian batu bara sebelum batu bara tersebut siap dipasarkan. Oleh karena itu, perlakuan terhadap air limbah dari *Coal Processing Plant* (CPP) berbeda, pengolahan lebih difokuskan untuk menyisihkan *TSS*.

2.7 Air Asam Tambang

Air asam tambang atau disebut juga dengan *Acid Mine Drainage* (AMD) adalah air yang bersifat asam (tingkat keasaman yang tinggi) dan sering ditandai dengan nilai pH yang rendah, yaitu dibawah 6 karena sesuai dengan baku mutu air pH normal adalah 6-9 sebagai hasil dari oksidasi mineral sulfida yang tersingkap oleh proses penambangan dan terkena air (Heynes, 2009).

Air asam tambang (AAT) adalah istilah yang digunakan untuk merujuk pada air asam tambang yang timbul akibat kegiatan penambangan serta sering juga disebut air rembesan (*seepage*), atau aliran (*drainage*). Air ini terjadi akibat pengaruh oksidasi alamiah mineral sulfida (mineral belerang) yang terkandung dalam batuan yang terpapar selama penambangan. Perlu diketahui air asam tambang sebenarnya tidak terbentuk akibat kegiatan penambangan saja, tetapi setiap kegiatan yang berpotensi menyebabkan terbuka dan teroksidasinya mineral sulfida akan menyebabkan terbentuknya air asam tambang. Beberapa kegiatan seperti pertanian, pembuatan jalan, drainase, dan pengolahan tanah lainnya pada area yang mengandung mineral belerang akan menghasilkan air asam (Burhani, 2017).

Air asam tambang dicirikan dengan rendahnya pH dan tingginya senyawa logam tertentu seperti besi (Fe), *mangan* (Mn), *cadmium* (Cd), *aluminium* (Al), *sulfate* (SO₄), *pyrite* (FeS₂) merupakan senyawa yang umum dijumpai di lokasi pertambangan. Selain pirit masih ada berbagai macam mineral sulfida yang terdapat dalam batuan dan mempunyai potensi membentuk air asam tambang seperti: *marcasite* (FeS₂), *pyxrotite* (FexSx), *chalcocite* (Cu₂S), *covellite* (CuS), *molybdenite* (MoS₂), *chalcopyrite* (CuFeS₂), *galena* (PbS), *spHalerite* (ZnS), dan *arsenopyrite* (FeAs₃S).

Air asam yang mengandung logam berat yang mengalir ke sungai, danau atau rawa akan merusak kondisi ekosistem yang ada di sungai tersebut. Hal ini tentu saja akan menyebabkan adanya penurunan kualitas air. Air asam tambang dapat juga mempengaruhi bentang alam, perubahan struktur tanah, perubahan pola aliran permukaan, dan air tanah serta komposisi kimia air permukaan. Komponen pembentukan air asam tambang lainnya adalah air dan oksigen. Air yang masuk kedalam cekungan berasal dari air permukaan terutama dari air hujan. Curah hujan yang tinggi menyebabkan volume air dalam cekungan semakin besar, sehingga cekungan membentuk kolam besar.

Tiga komponen pembentukan air asam tambang adalah mineral sulfida, udara dan air. Mineral sulfida banyak ditemukan pada tambang bijih maupun batu bara. Kegiatan penggalian dan penimbunan menyebabkan terpaparnya mineral sulfida yang sebelumnya berada dibawah permukaan. Keterdapatannya air yang bersifat asam secara alamiah biasa terjadi di daerah yang dicirikan oleh derajat

mineralisasi yang tinggi. Aliran air alami tersebut umumnya mengandung tingkat keasaman dan kandungan logam tinggi.

Pada suatu area kegiatan pertambangan air asam tambang dapat terbentuk melalui berbagai proses, antara lain:

1. Air limpasan hujan yang mengalir dan kontak dengan dinding pit penambangan.
2. Air hujan yang jatuh dan terinfiltrasi pada timbunan batuan penutup.
3. Air hujan yang jatuh dan terinfiltrasi pada timbunan batu bara atau bijih hasil penambangan, tumpukan bijih pada ekstraksi mineral berharga, timbunan tailing dan timbunan limbah sisa pencucian batu bara .
4. Air tanah yang mengalir kedalam bukaan tambang bawah tanah dan kontak dengan bukaan batuan dinding.
5. Air tanah dan limpasan hujan yang mengalir ke zona ambrukan pada tambang bawah tanah.

Berdasarkan tabel 2.1 nama – nama senyawa mineral sulfida penghasil asam adalah: pirit, markasit, pirotit, melnikovit, arsenopirit, violarit dan makinawit. Berikut merupakan nama-nama senyawa mineral sulfida penghasil asam.

Tabel 2. 1 Mineral Sulfida Penghasil Asam

Nama Senyawa	Rumus Kimia
Pirit	FeS ₂
Markasit	FeS ₃
Pirotit	Fe _{1-x} S
Melnikovit	Fe ₃ S ₄
Arsenopirit	FeAsS
Violarit	FeNi ₂ S ₄

Karakteristik Air Asam Tambang adalah:

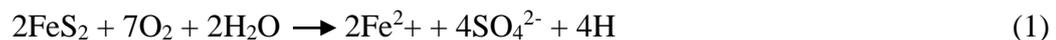
1. Nilai pH (derajat keasaman) yg rendah < 6, keasaman tinggi.
2. Kandungan Besi (Fe) > 7 mg/L.
3. Kandungan Mangan (Mn) > 4mg/L.
4. Konsentrasi logam lain dapat larut tinggi (seperti aluminium, kadmium, tembaga, timah, seng, arsenik, dan merkuri).

5. Nilai keasaman: 50-15.000 mg/L dan konduktivitas listrik umumnya antara 1000-20.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
6. Konsentrasi yang rendah dari oksigen terlarut (6 mg/L)
7. Tingkat kekeruhan (turbiditas) atau total padatan tersuspensi yang rendah.

2.8 Proses Terbentuknya Air Asam Tambang

Komponen pembentuk air asam tambang lainnya adalah air dan oksigen. Air yang masuk kedalam cekungan berasal dari air permukaan terutama dari air hujan. Curah hujan yang tinggi menyebabkan volume air dalam cekungan semakin besar, sehingga cekungan membentuk kolam besar. Proses terjadinya air asam tambang, yaitu bila teroksidasinya mineral-mineral sulfida yang terdapat pada batuan hasil galian dengan air (H_2O) dan oksigen (O_2) (Johnson & Hallberg, 2005). Oksidasi logam sulfida dalam membentuk asam terjadi dalam persamaan reaksi sebagai berikut:

Reaksi pertama adalah reaksi pelapukan dari pirit disertai proses oksidasi. Pirit dioksidasi menjadi sulfat dan besi ferro.



(Pyrite + oxygen + water \rightarrow ferrous iron + sulfate + acidity)

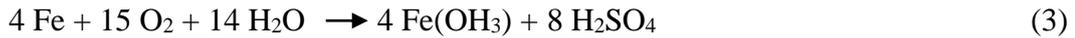
Reaksi lanjutan dari pirit oleh besi ferro lebih cepat (2-3 kali) dibandingkan dengan oksidasi dengan oksigen dan menghasilkan keasaman yang lebih banyak, yaitu sebagai berikut.



(Pyrite + ferric iron + water \rightarrow ferrous iron + sulfate + acidity)

Air asam tambang dapat terjadi pada kegiatan penambangan, baik itu tambang terbuka maupun tambang bawah tanah. Umumnya keadaan ini terjadi karena unsur sulfur yang terdapat di dalam batuan teroksidasi secara alamiah didukung juga dengan curah hujan yang tinggi semakin mempercepat perubahan oksidasi sulfur menjadi asam (Akcil & Koldas, 2006).

Reaksi selanjutnya air asam tambang timbul apabila mineral-mineral sulfida yang terkandung dalam batuan pada saat penambangan berlangsung, bereaksi dengan air dan oksigen. Oksidasi pirit (FeS_2) akan membentuk ion ferro (Fe^{2+}), sulfat, dan beberapa proton pembentuk keasaman, sehingga kondisi lingkungan menjadi asam.



Pyrite + oxygen + water \rightarrow Yellowboy + Sulfure Acid

Reaksi antara besi, oksigen dan air akan membentuk asam sulfat dan endapan besi hidroksida. Warna kekuningan yang mengendap di dasar saluran tambang atau pada dinding kolam pengendapan lumpur merupakan gambaran visual dari endapan besi hidroksida (Yellowboy). Sumber-sumber air asam tambang antara lain berasal dari:

1. Air dari tambang terbuka

Lapisan batuan akan terbuka sebagai akibat dari terkelupasnya lapisan penutup, sehingga unsur sulfur yang ada dalam batuan sulfida akan terpapar oleh udara, maka terjadilah oksidasi yang apabila hujan atau air tanah mengalir di atasnya yang membuat terjadinya air asam tambang.

2. Air dari unit pengolah batuan buangan

Material yang banyak terdapat limbah kegiatan penambangan adalah batuan buangan (*waste rock*). Jumlah batuan buangan ini akan semakin meningkat dengan bertambahnya kegiatan penambangan. Akibatnya batuan buangan yang banyak mengandung sulfur akan berhubungan langsung dengan udara membentuk senyawa sulfur oksida, selanjutnya dengan adanya air akan membentuk air asam tambang.

3. Air dari lokasi penimbunan batuan timbunan

Batuan yang berasal dari batuan sulfida dapat menghasilkan air asam tambang karena adanya kontak langsung dengan udara luar yang selanjutnya terjadi pelarutan akibat adanya air.

4. Air dari unit pengolahan limbah *tailing*

Kandungan unsur sulfur didalam *tailing* diketahui mempunyai potensi dalam membentuk air asam tambang, pH dalam *tailing pond* ini biasanya cukup tinggi karena adanya penambahan *hydrated lime* untuk menetralkan air yang bersifat asam yang dibuang kedalamnya.

5. Air dari tempat penimbunan bahan galian/*stockpile*

Bahan galian batu bara yang dihasilkan dari kegiatan penambangan diangkut dan dikumpulkan pada *stockpile* untuk diolah dan dipasarkan. Pada proses pengiriman batu bara ke konsumen terlebih dahulu harus

dilakukan pengecilan ukuran dengan metode penghancuran (*crushing*). Penyiraman air pada batu bara dalam proses penghancuran bertujuan untuk mengurangi debu. Air hasil penyiraman berpotensi membentuk air asam tambang, dikarenakan lapisan pada batu bara terdapat mineral sulfida.

Menurut Skousen dan Ziemkiewicz (1996) air tambang dapat dikelompokkan ke dalam 5 tipe yaitu:

1. Air Tambang Tipe 1 adalah air tambang yang tidak atau sedikit mengandung alkalinitas ($\text{pH} < 4,5$) dan mengandung Fe, Al, Mn, dan logam lainnya, asam (H^+) dengan konsentrasi yang tinggi. Air tambang tipe ini disebut air asam tambang (*acid mine drainage*, AMD). Air asam tambang (AMD) mungkin juga merujuk pada air yang mempunyai $\text{pH} < 6$ dan mengandung keasaman bersih (*net acidity*), yaitu keasamannya lebih besar daripada alkalinitasnya.
2. Air Tambang Tipe 2 adalah air tambang yang mempunyai kandungan zat padat terlarut yang tinggi, yakni mengandung besi ferro dan Mn yang tinggi, sedikit atau tanpa mengandung oksigen, dan $\text{pH} > 6$. Pada kondisi teroksidasi, pH air tipe ini dapat turun secara tajam sehingga berubah menjadi air tipe 1.
3. Air Tambang Tipe 3 adalah air tambang yang mengandung zat padat terlarut dengan konsentrasi sedang sampai tinggi, mengandung besi ferro dan Mn dengan konsentrasi rendah sampai sedang, tanpa atau sedikit mengandung oksigen, $\text{pH} > 6$, dan alkalinitas lebih besar dari keasaman (*acidity*). Umumnya disebut juga dengan air tambang alkali (*alkaline minedrainage*). Pada kondisi teroksidasi, asam yang terbentuk dari hidrolisa logam dan reaksi pengendapan akan dinetralkan oleh senyawa alkali yang sudah terdapat di dalam air.
4. Air Tambang Tipe 4 adalah air asam tambang tipe 1 yang dinetralkan hingga pH -nya > 6 dan mengandung partikel tersuspensi dengan konsentrasi yang tinggi. Pengendapan hidroksida logam di dalam air belum terjadi. Dengan waktu tinggal yang cukup di dalam kolam, maka partikel tersuspensi akan mengendap.

5. Air Tambang Tipe 5 adalah air asam tambang yang telah dinetralkan sehingga pH-nya > 6 dan mengandung zat padat terlarut dengan konsentrasi yang tinggi. Setelah hampir seluruh hidroksida logam diendapkan di dalam kolam pengendap, kation utama yang masih tertinggal di dalam air dengan konsentrasi yang tinggi umumnya adalah kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) terlarut. Anion terlarut seperti bikarbonat dan sulfat masih tertinggal di dalam air. Jika pada proses netralisasi mengalami kekurangan alkalinitas, air tambang tipe 5 ini tidak akan terbentuk.

Pencegahan pembentukan air asam tambang dapat dilakukan dengan meminimalisir infiltrasi oksigen ke dalam mineral sulfida, mengurangi infiltrasi air, mengisolasi batuan buangan sehingga mineral sulfida tidak terpapar udara, mengontrol pH dengan melakukan penambahan bahan yang bersifat alkali seperti kapur hidrat, batu gamping, dan pelakuan bakterisida untuk mencegah terjadinya oksidasi besi oleh bakteri. Sedangkan penanggulangan AAT yang sudah terjadi, dapat dilakukan dengan proses penetralan pada kolam pengendap dengan menggunakan bahan yang bersifat alkalin sehingga air hasil penetralan pH nya bersifat netral (Hakim, 2009).

2.9 Dampak Air Asam Tambang

Terbentuknya air asam tambang pada lokasi penambangan akan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Dampak negatif air asam tambang tersebut yaitu:

1. Dampak terhadap lingkungan

Dampak terhadap lingkungan akibat dari kegiatan pemboran, pengolahan batuan penutup dan kegiatan penambangan yang lainnya serta pengolahan batu bara yang dapat menyebabkan senyawa *pyrit* yang ada dalam mineral terbentuk dengan oksigen dan bereaksi dengan air tanah atau air hujan. Air asam tambang ini dicirikan dengan rendahnya *pH* dan tingginya senyawa logam tertentu seperti besi, aluminium, mangan. *Pyrite* (FeS_2) merupakan senyawa yang umum dijumpai di lokasi pertambangan selain *pyrite* masih ada berbagai jenis sulfida logam yang mempunyai potensi membentuk air

asam tambang seperti : *marcasite*, *pyrrhotite*, *chalcocite*, *covellite* dll. Bila air yang bersifat asam ini melewati daerah batuan karang atau kapur akan melarutkan senyawa Ca dan Mg dari batuan tersebut selanjutnya senyawa Ca dan Mg yang larut terbawa air akan memberi efek terjadinya air sadah, yang tidak bisa digunakan untuk mencuci karena sabun tidak bisa berbuih. Bila dipaksakan akan memboroskan sabun, karena sabun tidak akan berbuih sebelum semua ion Ca dan Mg mengendap. Limbah pertambangan yang bersifat asam bisa menyebabkan korosi dan melarutkan logam-logam sehingga air yang dicemari bersifat racun dan dapat memusnahkan kehidupan akuatik.

- a. Timbulnya H_2SO_4 yang dapat menimbulkan peningkatan derajat keasaman pada air buangan tambang, disamping itu juga dapat terjadi peningkatan Fe dan total metal.
 - b. Peningkatan konsentrasi *TSS (Total Suspended Solid)* akibat tingginya air limpasan yang membawa tanah tererosi akibat pembukaan lahan tambang yang dapat mengganggu penetrasi matahari dalam sungai yang membawa dampak lanjutan berupa gangguan proses fotosintesis biota perairan. Proses fotosintesis oleh komunitas *pytoplakton* juga akan terganggu, akibat penetrasi cahaya terhambat oleh partikel tersuspensi.
 - c. Akibat partikel yang mengendap akan menutupi lapisan dasar perairan sehingga mengganggu proses respirasi biota dasar.
 - d. Penurunan kualitas air permukaan sekaligus penurunan kualitas sanitasi lingkungan dimana tahap selanjutnya derajat kesehatan penduduk yang memanfaatkan sumber daya air sungai akan terganggu.
2. Dampak terhadap air tanah

Batu bara mengandung berbagai mineral dan unsur anorganik yang berbentuk ion terlarut dalam air rembesan dan keberadaannya melimpah pada endapan batubara muda. Pencemaran tambang batu bara terhadap tanah bersifat tidak langsung. Perombakan mineral dan bahan anorganik serta racun akan menimbulkan pencemaran air. Dampak penambangan batu bara lainnya berupa terjadinya pemadatan tanah alat-alat pertambangan dan erosi akibat pembukaan lahan. Tala'oho menyatakan

bahwa daerah deposit batu bara pada umumnya terdapat di bawah tanah merah yaitu diantaranya tanah *podsolik* dengan vegetasi hutan belukar, alang-alang dan tanaman bekas perladangan. Pada vegetasi hutan atau belukar, tanah mempunyai kesuburan yang memadai. Kesuburan alami akan menurun cepat apabila vegetasi tersebut dibuka bersamaan dengan hilangnya bahan organik dan rusaknya daya sangga tanah. Tanpa pengelolaan yang baik maka sebagian besar tanah bekas tambang batu bara akan menjadi kritis. Lamanya waktu kondisi tanah membaik setelah penambangan, berhubungan erat dengan perubahan sifat-sifat fisik dan kimia tanah pasca tambang. Tanah di daerah penambangan batu bara unit produksi ombilin sawahlunto, menjadi rusak berat akibat eksploitasi batu bara. Cebakan mineral sulfida berupa ikatan unsur belerang dengan logam, di alam dapat menjadi sumber daya logam, yang dalam jumlah besar dapat berpotensi ekonomi untuk diusahakan. Selain menyusun tubuh bijih logam, mineral sulfida dijumpai sebagai bagian dari penyusun endapan batu bara. Mineral sulfida dapat terbentuk sebagai hasil aktifitas hidrotermal maupun sebagai hasil proses sedimentasi, mineral sulfida sering dijumpai berupa pirit, kalkopirit, spalerit dan galena dari karakteristiknya mineral sulfida dapat dimanfaatkan sebagai bahan industri metalurgi maupun kimia, namun di alam potensial juga sebagai penghasil air asam yang dapat menurunkan kualitas lingkungan. Air asam dapat terbentuk secara alami, sebagai akibat teroksidasi dan terlarutkannya sulfida ke dalam sistem aliran air permukaan dan air tanah menyebabkan turunnya pH air. Kegiatan penambangan, dengan membongkar endapan sulfida, berpotensi memperbesar dan mempercepat proses pembentukan air asam. Pembentukan air asam akibat kegiatan penambangan atau sering disebut dengan air asam tambang perlu dicegah. Air asam tambang yang tidak dapat dihindarkan terbentuk di wilayah tambang, harus dinetralkan agar tidak berdampak buruk terhadap lingkungan sekitarnya. Mineral sulfida dapat dijumpai pada tiga jenis utama batuan, yaitu pada batuan beku, sedimen maupun malihan. Namun kandungan potensial biasanya terdapat pada cebakan yang terbentuk dari hasil aktifitas hidrotermal.

Aktifitas hidrotermal menghasilkan batuan teralterasi dan termineralisasi mengandung mineral sulfida dalam beberapa jenis dengan asosiasi tertentu, tergantung pada tipe mineralisasi dan alterasinya. Kandungan mineral sulfida pada tubuh endapan hasil aktifitas hidro termal dapat beberapa persen saja atau berupa endapan sulfida masif, yaitu hampir seluruhnya terdiri dari mineral sulfida. Mineral sulfida pada endapan sedimen terbentuk terutama pada lingkungan pembentukan batu bara , sulfida yang terbentuk tidak mempunyai potensi ekonomi, akan tetapi potensial sebagai pembentuk air asam tambang. Pada endapan batu bara selain sulfur yang berasal dari mineral sulfida, terdapat juga sulfur dari sulfat dan sulfur organik. Pada daerah terdapatnya cebakan bijih sulfida dan batu bara , tidak selalu potensial terhadap pembentukan air asam. Hal ini sangat tergantung pada kondisi geologi dan tipe mineralisasinya. Kondisi geologi dan tipe mineralisasi atau alterasi tertentu dapat secara alami menetralkan asam yang terbentuk, yaitu apabila pada lingkungan geologinya atau alterasi dan mineralisasinya menghasilkan mineral-mineral penetral.

2.10 Penanganan Air Asam Tambang

Secara umum ada dua metoda yang dapat digunakan untuk pengolahan air asam tambang, yaitu teknologi pengolahan aktif dan teknologi pengolahan pasif. Pada teknologi pengolahan aktif, proses-proses yang digunakan adalah netralisasi, aerasi dan pengendapan. Netralisasi adalah proses penambahan bahan kimia untuk menetralsir pH air asam tambang agar proses penghilangan besi di air dapat berjalan dengan baik. Proses aerasi adalah penambahan oksigen dalam air asam tambang agar besi yang terdapat didalam air asam tambang bereaksi dengan oksigen dimana selanjutnya Fe akan dipisahkan melalui proses pengendapan.

Sementara itu, pada teknologi pengolahan secara pasif, air diolah tanpa membutuhkan bahan kimia dan hanya menggunakan proses kimia dan biologi yang terjadi di alam. Beberapa teknologi pengolahan pasif untuk air asam tambang yang dapat digunakan adalah rawa alamiah (*natural wetland*), rawa buatan (*constructed wetland*), saluran anoksik batu kapur (*anoxic limestone drain*,

ALD), Sistem aliran vertikal (*vertical flow system*), dan saluran terbuka batu kapur *open limestone channe*, OLC (Said, 2014).

Teknik pengolahan pasif yang banyak digunakan dalam pengolahan AAT adalah lahan basah buatan (*constructed wetland*). Rawa buatan adalah suatu sistem yang dibangun dan dirancang menyerupai rawa alami untuk keperluan air tercemar. Proses pengolahan air tercemar pada rawa buatan merupakan suatu proses ilmiah yang melibatkan tumbuhan air, sedimen, dan mikroorganisme, dengan matahari sebagai sumber energi (Vymazal, 2008).

Rawa buatan (*constructed wetland*) dapat meliputi lahan basah aerob dan lahan basah anaerob. Rawa buatan aerobik merupakan rawa yang ditanami dengan tipe sp. atau jenis tanaman lain pada kedalaman kurang dari 30 cm, sedangkan pada rawa buatan anaerobik, tanaman-tanaman tersebut ditanam pada kedalaman lebih dari 30 cm. Selain itu, pada rawa buatan aerobik sedimen (substrat) terdiri dari tanah dan liat, sementara pada rawa anaerobik substrat terdiri dari campuran tanah dan berbagai macam bahan organik seperti gambut, kompos, serbuk gergaji, kotoran ternak, jerami, dan sebagainya yang dicampur dengan batu gamping (Skousen et al.1998).

Sistem lahan basah anaerobik menggunakan komposisi reaktif material berupa kompos, seresah daun, dan serbuk gergaji, yang ditambahkan lumpur aktif yang akan menstimulasi pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat untuk meningkatkan alkalinitas dan menyisihkan logam dalam bentuk endapan sulfida (Sandrawati, 2012).

Munawar (2007) menjelaskan tumbuhan air pada lahan basah mempunyai beberapa fungsi atau manfaat penting, seperti:

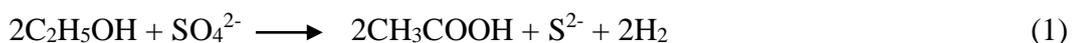
1. Konsolidasi substrat oleh akar tanaman dengan cara memegang substrat bersama-sama dan meningkatkan waktu tinggal air dalam wetland.
2. Stimulasi proses jasad renik melalui penyediaan tapak (site) oleh tanaman untuk menempelnya mikroorganisme, mengeluarkan oksigen dari akarnya, menyediakan sumber bahan organik untuk mikroorganisme heterotrof.
3. Tanaman memasok pakan dan perlindungan bagi satwa liar, sehingga dapat membentuk habitat satwa liar.
4. Lahan basah dengan tanamannya lebih enak dipandang mata (estetika).

5. Akumulasi logam.

Novotny dan Olem (1994) menguraikan proses-proses yang terjadi di dalam rawa buatan secara lengkap yang meliputi proses fisik, fisika-kimia, dan biokimia. Proses-proses fisik terdiri dari sedimentasi, filtrasi padatan tersuspensi oleh sedimen dan tumbuhan air, serta pemanasan dan volatilisasi. Proses fisika-kimia terdiri dari proses adsorpsi bahan pencemar oleh tumbuhan air, sedimen, dan substrat organik. Proses biokimia terdiri dari proses penguraian zat tercemar oleh bakteri yang menempel pada permukaan substrat atau sedimen, perakaran tumbuhan, dan seresah (bahan organik).

Hal penting dalam proses remediasi air asam tambang yaitu peningkatan pH dan pengurangan logam berat. Pada kondisi tergenang, kenaikan nilai pH dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu: (i) adanya pelepasan ion-ion hidroksil yang akan mengikat ion H^+ , dengan demikian ion kemasaman akan berkurang; dan (ii) pemberian bahan organik yang mempunyai peran sebagai kapasitas penyangga (buffering capacity) sehingga dapat meningkatkan atau menurunkan pH lingkungannya (Stevenson, 1982). Peningkatan pH juga disumbangkan dari kandungan alkalinitas dari bahan organik yang digunakan. Pada sistem wetland anaerobik, komposisi matrik yang digunakan seperti bahan organik yang ditambahkan lumpur aktif dapat menstimulasi pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat untuk menaikkan alkalinitas yang dapat meningkatkan pH AAT (Chang et al, 2000).

Bakteri pereduksi sulfat dicirikan oleh respirasi anaerobik dengan menggunakan sulfat sebagai pusat penerima elektron. Bakteri pereduksi sulfat biasanya mengandalkan senyawa karbon sederhana sebagai asam organik untuk menyediakan donor elektron pada reduksi sulfat, walaupun sebagian dapat menggunakan hydrogen (Logan et al, 2005). Greben et al (2005), menggambarkan bahwa reduksi sulfat dapat terjadi melalui proses berikut:



Reduksi sulfat merupakan penyebab utama dalam netralisasi pH dan pengurangan sulfat dan logam beracun (Machemer dan Wilderman dalam Sandrawati, 2012). Peranan bahan organik adalah sebagai penghasil alkalinitas (bikarbonat), di mana asetat sebagai donor elektron.



Reduksi satu molekul sulfat menghasilkan dua molekul alkalinitas. Satu mol sulfida akan dihasilkan dari satu mol sulfat pada proses reduksi sulfat, sulfida ini akan mengendapkan logam berat dengan membentuk logam sulfida dengan kelarutan rendah.



Dalam proses penurunan logam berat, terdapat 4 kemungkinan yang menyebabkan terjadinya penurunan konsentrasi logam Fe terlarut pada wetland yaitu:

1. Interaksi antara sulfida (S^{2-}) yang dihasilkan pada proses reduksi sulfat dengan logam bervalensi 2 (seperti Fe^{2+} dan Mn^{2+}) membentuk logam sulfida yang mengendap.
2. Proses absorpsi logam oleh jaringan tanaman.
3. Proses adsorpsi logam oleh bahan organik.
4. Proses biopsorpsi logam oleh mikroorganisme yang terdapat pada lingkungan lahan basah (Madaniyah, 2016).

Menurut penelitian Riwandi dan Munawar (2007), bahan organik dapat digunakan untuk meremediasi air asam tambang. Remediasi air asam tambang dengan kulit kayu, kompos kulit kayu, dan serbuk gergaji memberikan hasil yang terbaik dalam meremediasi air asam tambang. pH air asam tambang secara keseluruhan meningkat pH dengan limbah organik. Pada kadar Fe terlarut, terbukti bahwa bahan organik berupa kompos, kulit kayu, abu batu bara, dan serbuk gergaji dapat menurunkan kadar Fe terlarut menjadi ± 2 mg/l. Serbuk gergaji kayu mengandung senyawa-senyawa kimia seperti hemiselulosa, selulosa, lignin, dan zat ekstraktif. Selulosa dan lignin memiliki gugus fungsi yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam. Gugus fungsi tersebut adalah gugus karboksil dan hidroksil (Herwanto dan Santoso, 2006).

Gugus-gugus polar ini diduga dapat berinteraksi dengan logam berat. Selulosa merupakan senyawa organik yang terdapat pada dinding sel bersama lignin yang berperan dalam mengokohkan struktur tumbuhan. Dilihat dari strukturnya, selulosa dan lignin mempunyai potensi yang cukup besar untuk dijadikan sebagai penyerap karena gugus -OH yang terikat dapat berinteraksi

dengan komponen adsorbat. Adanya gugus -OH pada selulosa menyebabkan terjadinya sifat polar pada adsorben tersebut, dengan demikian selulosa dan lignin lebih kuat menyerap zat yang bersifat polar dari pada zat yang kurang polar. Mekanisme serapan yang terjadi antara gugus -OH yang terikat pada permukaan dengan ion logam yang bermuatan positif (kation) merupakan mekanisme pertukaran ion (Nurhayati dan Sutrisno, 2011). Adanya gugus - gugus polar ini diduga dapat berinteraksi dengan logam berat sehingga serbuk gergaji kayu meranti mempunyai reaktivitas kimia yang tinggi dan menyebabkan sifat polielektrolit kation sehingga dapat berperan sebagai adsorben terhadap logam berat terhadap air yang tercemar.

Substansi yang terkandung pada kompos di antaranya yaitu asam humat dan asam fulvat. Kandungan asam humat dan asam sulvat memiliki kemampuan mengadsorpsi logam berat oleh kompos karena gugus fungsi pada kedua substansi tersebut. Hermana dan Nurhayati (2010) menyatakan bahwa substansi humus berupa asam humat dan asam fulvat memiliki kapasitas untuk membentuk kompleks dengan logam melalui pembentukan senyawa kompleks dan khelat. Selain asam humat dan asam fulvat kandungan substansi humus lainnya yaitu humin. Humin merupakan substansi yang ikut berperan dalam pengikatan logam berat karena pada humin juga terkandung gugus fungsi pengikat logam berat. Substansi-substansi humus ini mengandung gugus fungsi di antaranya yaitu: -COOH, -OH, -COH, dan C=O (Prasetyono, 2015). Selama proses pengomposan gugus fungsi ini akan mengalami proses deprotonisasi sehingga ion H⁺ akan lepas dari persenyawaannya dan gugus fungsi bermuatan negatif. Muatan negatif pada gugus fungsi ini akan berperan dalam mengikat logam berat di air serta mengikat ion H⁺ yang akan menjadikan logam berat di air menjadi semakin rendah dan pH air semakin meningkat. Selain gugus fungsi pada kompos, berkurangnya logam berat di air juga disebabkan kandungan mineral positif pada kompos yang dapat mengalami pertukaran dengan ion logam berat. Adsorpsi logam berat oleh kompos diawali dengan adsorpsi secara fisik, partikel-partikel logam yang mendekati ke permukaan kompos melalui gaya Van der Waals atau melalui ikatan hydrogen, kemudian diikuti oleh adsorpsi kimia yang terjadi setelah adsorpsi

fisika. Pada adsorpsi kimia partikel melekat ke permukaan dengan membentuk ikatan kimia (Prasetiyono, 2015).

Dalam proses penetralan air asam tambanag, terdapat dua metode yaitu pasif dan aktif, berikut merupakan contoh *treatment* secara pasif dan aktif:

1. Metode pasif menggunakan eceng gondok

Salah satu faktor penentu fungsi lahan basah dalam fitoremediasi AAT adalah pemilihan jenis tanaman. Pemilihan jenis untuk tujuan remediasi logam dalam AAT pada konstruksi lahan basah yaitu tanaman harus adaptif pada kondisi tergenang, toleran terhadap pH rendah dan toksik logam berat (Tuheteru, 2015).

Menurut Dhir (2013) ada tiga kategori utama spesies tanaman air yang dapat menghilangkan kontaminan di perairan yaitu spesies *free-floating*, *submerged* dan *emergent*. Tanaman air yang termasuk spesies *free-floating* adalah tanaman kayu apu, kiambang dan eceng gondok. Tanaman air yang termasuk spesies *submerged* salah satunya adalah *Hydrilla verticillata*, sedangkan tanaman air yang termasuk spesies *emergent* salah satunya adalah *Typha latifolia*. Taksonomi tanaman eceng gondok, yaitu:

- a. Kingdom : *Plantae*
- b. Divisi : *Magnoliophyta*
- c. Kelas : *Liliopsida*
- d. Ordo : *Commelinales*
- e. Famili : *Pontederiaceae*
- f. Genus : *Eichhornia*
- g. Spesies : *Eichhornia crassipes* Martiu

Eceng gondok pertama kali ditemukan secara tidak sengaja oleh seorang ilmuwan bernama Carl Friedrich Philipp von Martius, seorang ahli botani berkebangsaan Jerman pada tahun 1824 ketika sedang melakukan ekspedisi di Sungai Amazon Brazil. Eceng gondok memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi sehingga tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang dapat merusak lingkungan perairan. Eceng gondok hidup mengapung di air dan ada pula yang berakar dalam tanah, tingginya sekitar 0,4-0,8 meter, tidak mempunyai batang, berdaun tunggal dan berbentuk oval, ujung dan

pangkalnya meruncing, serta pangkal tangkai daun menggelembung. Permukaan daunnya licin dan berwarna hijau, bunganya termasuk bunga majemuk, berbentuk bulir, kelopak berbentuk tabung, biji berbentuk bulat dan berwarna hitam, buahnya kotak beruang tiga dan berwarna hijau, akarnya merupakan akar serabut. Habitat eceng gondok tumbuh di kolam-kolam dangkal, tanah basah dan rawa, aliran air yang lambat, danau, tempat penampungan air dan sungai. Tumbuhan ini dapat beradaptasi dengan perubahan yang ekstrim dari ketinggian air, arus air, dan perubahan ketersediaan nutrisi, pH, temperatur serta racun dalam air. Kandungan garam dapat menghambat pertumbuhan eceng gondok seperti yang terjadi pada danau-danau di daerah pantai Afrika Barat, dimana eceng gondok akan bertambah sepanjang musim hujan dan berkurang saat kandungan garam naik pada musim kemarau (Suprayitno, 2012). Perkembangbiakan dapat terjadi secara vegetatif maupun secara generatif. Eceng gondok dapat menggandakan daunnya pada 7-10 hari. Perkembangbiakan secara generatif terjadi melalui bijinya, sebelum terjadinya biji didahului oleh penyerbukan pada bunga. Setelah 20 hari bunganya akan masak, terbebas lalu pecah dan bijinya masuk ke perairan untuk kemudian menjadi tanaman baru. Satu tanaman dapat menghasilkan 5 sampai 6 ribu biji tiap musim (Tjitrosoepomo, 1996). Kemampuan tanaman inilah yang banyak digunakan untuk mengolah air buangan, karena dengan aktivitas tanaman ini mampu mengolah air buangan domestik dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Eceng gondok mempunyai sifat-sifat yang baik antara lain dapat menyerap logam-logam berat, senyawa sulfida, selain itu mengandung protein lebih dari 11,5% dan mengandung selulosa 64,51% lebih besar dari non selulosanya seperti lignin, abu, lemak, dan zat-zat lain (Joedodibroto, 1983). Eceng gondok dapat digunakan untuk menghilangkan polutan, karena fungsinya sebagai tanaman fitoremediasi untuk menghilangkan logam berat seperti cuprum, aurum, cobalt, strontium, timbal, timah, besi. Menurut Kelly (1997) mekanisme kerja fitoremediasi mencakup proses sebagai berikut:

- a. Fitoekstraksi merupakan penyerapan polutan oleh tanaman dari air atau tanah dan kemudian diakumulasi atau disimpan di dalam tanaman (daun atau batang), tanaman seperti itu disebut dengan *hiperakumulator*.
- b. Rhizofiltrasi adalah pemanfaatan kemampuan akar dalam menyerap, mengendapkan, dan mengakumulasi logam berat. Tetapi biasanya konsep dasar ini berlaku apabila media yang tercemarnya adalah badan perairan.
- c. Fitodegradasi adalah proses penyerapan polutan oleh tanaman dan kemudian polutan tersebut mengalami metabolisme didalam tanaman. Metabolisme polutan didalam tanaman melibatkan enzim antara lain *nitroductase*, *laccase*, *dehalogenase* dan *nitrilase*.
- d. Fitostabilisasi merupakan proses yang dilakukan oleh tanaman untuk mentransformasi polutan didalam tanah menjadi senyawa yang non toksik tanpa menyerap terlebih dahulu polutan tersebut ke dalam tubuh tanaman.
- e. Fitovolatilisasi merupakan proses penyerapan polutan oleh tanaman dan polutan tersebut dirubah menjadi bersifat *volatil* dan kemudian ditranspirasikan oleh tanaman. Polutan yang di lepaskan oleh tanaman keudara bisa sama seperti bentuk senyawa awal polutan, bisa juga menjadi senyawa yang berbeda dari senyawa awal.

Mekanisme kerja dari fitoremediasi tanaman eceng-ecengan bersifat rizofiltrasi dan fitoekstraksi (Putri, 2014). Fitoekstraksi merupakan penyerapan polutan oleh tanaman dari air atau tanah dan kemudian diakumulasi atau disimpan di dalam tanaman (daun atau batang). Tumbuhan seperti itu disebut dengan hiperakumulator. Tumbuhan hiperakumulator adalah tumbuhan yang mempunyai kemampuan untuk mengkonsentrasikan logam di dalam biomasnya dalam kadar yang luar biasa tinggi. Kebanyakan tumbuhan umumnya mengakumulasi logam, misalnya nikel sebesar 10 mg/kg berat kering (setara dengan 0,001 %),

tetapi tumbuhan hiperakumulator logam mampu mengakumulasi hingga 11 % berat kering. Batas kadar logam yang terdapat di dalam biomassa agar suatu tumbuhan dapat disebut hiperakumulator berbeda-beda tergantung pada jenis logamnya. Tanaman air hiperakumulator ini berevolusi melalui struktur dan fisiologisnya, yaitu membentuk jaringan lakuna atau aerenkhima di dalam akar dan batangnya untuk pertukaran materi dari bagian batang ke akar. Perubahan ini terlihat pada tanaman air yang mengapung, dengan membentuk daun yang bulat penuh untuk menjaga agar tidak mudah sobek, tekstur yang kuat dan permukaan atas hidrofobil untuk menjaga agar tidak basah (Irhamni, 2017).

Setelah polutan terakumulasi, tanaman dapat dipanen dan tanaman tersebut tidak boleh dikonsumsi tapi harus dimusnahkan dengan insinerator. Mekanisme ini terjadi ketika akar tumbuhan mengabsorpsi larutan polutan sekitar akar ke dalam akar, yang selanjutnya ditranslokasi ke dalam organ tumbuhan melalui pembuluh xilem. Proses tersebut cocok digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik seperti logam-logam berat (Putri, 2014).

2. Metode aktif

Proses pengolahan menggunakan metode aktif merupakan proses penambahan bahan kimia yang digunakan dalam instalasi air bersih dan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Pengolahan secara kimia pada IPAL biasanya digunakan untuk netralisasi limbah asam maupun basa. Memperbaiki proses pemisahan lumpur, memisahkan padatan yang tak terlarut, mengurangi konsentrasi minyak dan lemak, meningkatkan efisiensi instalasi flotasi dan filtrasi, serta mengoksidasi warna dan racun. Kelebihan proses pengolahan kimia antara lain dapat menangani hampir seluruh polutan anorganik, tidak terpengaruh oleh polutan yang beracun atau toksik. Serta tidak tergantung pada perubahan-perubahan konsentrasi. Namun, pengolahan kimia dapat meningkatkan jumlah garam pada *effluent* dan meningkatkan jumlah lumpur.

2.11 Pengelolaan Batu bara

Proses produksi batu bara meliputi proses ekstraksi dan juga preparasi sebelum batu bara dapat dijual. Proses ekstraksi dilakukan dalam areal pertambangan dimana penambangan batu bara dapat dilakukan dengan metode penambangan tertutup atau penambangan terbuka. Kedua metode penambangan tersebut merupakan proses ekstraksi yang masih menghasilkan banyak limbah seperti air asam tambang dengan padatan tersuspensinya.

Proses preparasi batu bara merupakan proses produksi dimana batu bara *run-of-mine* (ROM) atau batu bara keluaran tambang dibersihkan dari pengotor dan digolongkan untuk menghasilkan produk yang konsisten untuk pasar. Preparasi batu bara meliputi proses fisika yaitu penyamaan ukuran dan pengurangan kandungan mineral seperti abu atau sulfur. Unit operasi utama yang digunakan pada proses preparasi ini adalah klasifikasi (*screen*), pembersihan (unit pencucian), penghancuran (*crusher*), dan pemisahan cairan/padatan. Proses fisika ini merupakan proses yang menghasilkan air dengan kandungan padatan tersuspensi yang jauh melebihi baku mutu sehingga harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan.

2.12 Pembentukan Limbah Cair Batu bara

Proses produksi batu bara meliputi proses ekstraksi dan juga preparasi sebelum batu bara dapat diolah. Proses ekstraksi dilakukan dalam area pertambangan dimana penambangan batu bara dapat dilakukan dengan metode penambangan tertutup atau penambangan terbuka. Kedua metode penambangan tersebut merupakan proses ekstraksi yang masih menghasilkan banyak limbah seperti air asam tambang dengan padatan tersuspensi yang tinggi. Proses preparasi batu bara merupakan proses dimana batu bara *run-of-mine* (ROM) atau batu bara keluaran tambang dibersihkan dari pengotor dan digolongkan untuk menghasilkan produk yang konsisten untuk pasar. Preparasi batu bara meliputi serangkaian proses fisika yaitu penyamaan ukuran dan pengurangan kandungan mineral seperti abu atau sulfur. Unit operasi utama yang digunakan pada proses preparasi ini adalah klasifikasi (*screen*), pembersihan (unit pencucian), penghancuran (*crusher*), dan pemisahan cairan/padatan. Proses fisika ini merupakan proses yang menghasilkan

air dengan kandungan padatan tersuspensi yang jauh melebihi baku mutu, sehingga harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan (Laskowsky, 2001).

2.13 *Settling Pond*

Settling pond adalah tempat menampung air tambang sekaligus untuk mengendapkan partikel - partikel padatan yang ikut bersama air dari lokasi penambangan. *Settling pond* dibuat pada daerah terendah dari suatu daerah penambangan, sehingga air akan masuk ke *settling pond* secara alami dan selanjutnya dialirkan ke lingkungan melalui saluran *V-Notch*.

Settling pond akan berfungsi dengan baik apabila rancangan *settling pond* yang dibuat sesuai dengan debit air limpasan yang akan ditampung. Rancangan *settling pond* dari segi geometri harus mampu menampung debit air dari lokasi penambangan. Sedangkan dari segi operasional dapat menjamin partikel-partikel padatan mempunyai waktu yang cukup secara bertahap serta mudah dibersihkan dari segi lumpur yang mengendap. Keberadaan *settling pond* diharapkan pada saat air yang keluar dari daerah penambangan sudah bersih dari partikel-partikel padatan sehingga tidak menimbulkan kekeruhan pada saat dibuang ke lingkungan (sungai). Selain itu, air dari *settling pond* yang bersih dari partikel-partikel padatan tidak akan menyebabkan pendangkalan sungai akibat endapan partikel-partikel padatan yang terbawa bersama air dari *settling pond*.

Bentuk *settling pond* umumnya digambarkan secara sketsa yaitu berupa kolam berbentuk empat persegi panjang. Sebenarnya bentuk tersebut dapat bermacam-macam, namun pada setiap *settling pond* akan selalu ada 4 zona penting, yaitu kolam endapan lumpur, kolam reaksi dan pencampuran, kolam stabilisasi I dan kolam stabilisasi II.

2.14 Sifat Ketidakhayuan Air

Air merupakan salah satu komponen utama yang sangat penting bagi kelangsungan makhluk hidup. Pada umumnya, air yang terdapat di bumi bersifat tidak murni, melainkan memiliki kandungan lain yang merupakan pengotor.

Terdapat empat parameter ketidakmurnian air yang dapat digunakan untuk menentukan kualitas air, yaitu (Gozan, 2005):

1. Sifat fisika

Parameter fisika air merupakan sesuatu yang dapat terlihat, terasa, dan tercium. Parameternya antara lain adalah bau, kekeruhan, rasa, warna, temperatur, daya hantar listrik (dhl), padatan total (TDS), padatan tersuspensi (TSS).

2. Sifat kimia

Kandungan zat kimia yang terdapat dalam air, meliputi zat organik dan anorganik. Parameternya antara lain adalah *pH*, alkalinitas, asam bebas mineral, gas-gas larut (CO_2 , H_2S , NH_3 , dll.), kation (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , dll.), anion (Cl^- , F^- , S^{2-} , SO_4^{2-} , CN^-), Senyawa nitrogen (NH_4^+ , NO_3^-), logam (Fe, Ni, Mn, Cu, Zn, Hg, Pb, Cr, Cd, Ag, As), senyawa fenolik, minyak dan lemak, dan sisa klor (Cl_2).

3. Sifat mikrobiologi

Parameter mikrobiologi ditentukan oleh keberadaan mikroorganisme yang hidup di dalam air. Hal ini penting dalam hubungannya dengan kesehatan. Selain itu, mikroorganisme juga dapat mempengaruhi sifat fisika dan kimia dari air. Parameternya antara lain adalah kuman parasitik, kuman patogenik, dan bakteri total.

4. Sifat radiologi

Parameter radiologi berhubungan dengan radioaktivitas dari zat yang terkandung dalam air. Parameternya antara lain adalah sinar alfa dan sinar beta. Partikel-partikel berukuran sub-mikron yang menyebabkan turbiditas dalam air umumnya bersifat koloid. Permukaan partikel-partikel tersebut memiliki muatan yang menyebabkan reaksi tolak-menolak antar partikel, sehingga tidak dapat terakumulasi menjadi partikel yang berukuran lebih besar dan menjadi tidak mudah untuk dihilangkan pada proses klarifikasi.

2.15 Derajat Keasaman

Derajat keasaman atau biasa disebut juga dengan *pH* istilah yang digunakan secara universal untuk menunjukkan intensitas asam atau basa dari suatu larutan.

Nilai pH merupakan nilai yang menunjukkan konsentrasi ion hidrogen atau aktivitas ion hidrogen. Parameter ini sangat penting bagi bidang teknik (Sawyer, 1994).

$$\text{pH} = -\log (\text{H}^+) \quad (1)$$

Dalam istilah yang lebih praktis (meskipun tidak secara teknis benar dalam semua kasus) pH adalah ukuran keasaman atau kebasaan bebas dari air (asiditas dan alkalinitas air). Diukur pada skala 0-14, larutan dengan pH kurang dari 7,0 adalah asam sementara larutan dengan pH lebih besar dari 7,0 adalah basa. Di berbagai unit proses dan operasi pengolahan air limbah, seringkali dibutuhkan pH adjusimeni. Berbagai bahan kimia dapat digunakan, pemilihannya tergantung pada kesesuaian aplikasinya dan dari segi ekonomi. Air limbah dengan pH rendah dapat dinetralkan dengan berbagai jenis bahan kimia misalnya sodium hidroksida atau sodium karbonat, walaupun cukup mahal, banyak digunakan untuk pengolahan yang skalanya tidak begitu besar. Kapur adalah bahan yang cukup murah sehingga banyak digunakan. Kapur dapat ditemukan dalam berbagai bentuk misalnya *limestone* atau batu gamping dan *dohmitic lime* (kapur dengan kadar kalsium tinggi). Kapur mudah didapat seringkali membentuk lapisan sehingga penggunaannya dibatasi untuk proses tertentu. Senyawa kimia dengan kalsium dan magnesium sebagai pembentuk utamanya kerap menghasilkan lumpur atau endapan yang membutuhkan pengerukan dan pembuangan.

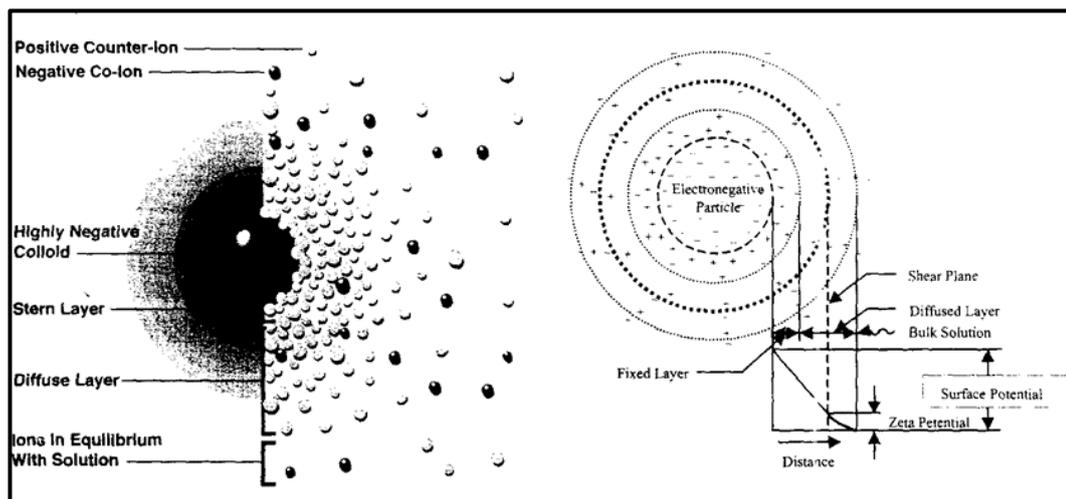
2.16 Padatan Tersuspensi Total

Air yang berasal dari alam atau yang sudah terkontaminasi oleh limbah biasanya memiliki kandungan pengotor berupa padatan tersuspensi. Kandungan padatan tersuspensi total (*total suspended solid*) biasa terukur dalam satuan mg/l. Padatan tersuspensi dengan ukuran partikel besar dapat dengan sendirinya mengendap di air yang tenang dan dapat dipisahkan dengan mudah melalui proses sedimentasi atau filtrasi, namun padatan tersuspensi dengan ukuran kecil yang biasa disebut partikel koloid tidak dapat langsung dipisahkan dengan proses sedimentasi atau filtrasi. Partikel koloid harus melalui pengkondisian secara fisika dan kimia terlebih dahulu sebelum dapat dipisahkan dari air. Pengkondisian dari koloid biasa

disebut koagulasi yang melibatkan penambahan bahan kimia untuk memodifikasi sifat dari koloid dan memudahkan penghilangan padatan tersuspensi ini dari air.

Padatan tersuspensi total dalam air terdiri dari padatan organik atau inorganik. Padatan inorganik seperti tanah liat, lumpur, dan unsur-unsur tanah, biasa terdapat pada air permukaan. Material organik seperti serat tumbuhan dan padatan biologi seperti alga dan bakteri juga merupakan unsur utama air permukaan. Material- material ini merupakan pengotor alami yang berasal dari erosi dimana karena kapasitas menyaring dari tanah, material tersuspensi jarang terdapat dalam air tanah. Partikel tersuspensi dengan ukuran lebih besar dari 1 mikron biasanya akan mengendap di air yang tenang, sedangkan partikel yang lebih kecil tidak mudah mengendap. Partikel yang tidak mudah mengendap ini kita kenal sebagai koloid.

Koloid didefinisikan berdasarkan ukurannya, yaitu antara 0,001-1 mikron. Partikel dalam jangkauan ukuran ini biasanya terdiri dari partikel anorganik, hasil koagulasi, dan partikel organik. Dispersi koloid memiliki sifat menghamburkan cahaya dimana larutan yang sebenarnya sangat sedikit menghamburkan cahaya.



Gambar 2.1 Model Partikel Koloid (Qasim,2000)

Sifat menghamburkan cahaya ini dapat diukur dalam unit turbiditas. Larutan koloid diklasifikasikan berdasarkan gaya tarik menariknya dengan air, *hydrophobic* atau *hydrophilic*. Koloid dengan sifat *hydrophobic* memiliki daya tarik-menarik yang lemah terhadap air sedangkan koloid dengan sifat *hydrophilic* memiliki daya tarik menarik yang kuat dengan air. Koloid memiliki massa yang

sangat kecil sehingga gaya gravitasi memiliki efek yang sangat kecil terhadap koloid. Hal ini yang menyebabkan koloid sulit untuk mengendap (Qasim, 2000).

Fenomena utama yang menyebabkan perilaku koloid ini antara lain adalah sebagai berikut (Qasim, 2000):

1. Gaya Elektrostatis

Gaya elektrostatis merupakan gaya yang berkontribusi dalam menghasilkan kestabilan suspensi koloid. Kebanyakan koloid memiliki muatan listrik. Sifat dari muatan ini bergantung dari sifat koloid itu sendiri. Oksida logam biasanya memiliki muatan positif, sedangkan oksida non-logam dan sulfida logam biasanya memiliki muatan negatif. Hasil dari sifat muatan ini adalah koloid dengan muatan yang sama akan saling tolak menolak. Umumnya, koloid dengan muatan negatif merupakan partikel yang dominan pada air di alam. Muatan permukaan koloid menarik ion dengan muatan yang bertolak belakang, biasa disebut *counter ion*. Ion ini, termasuk hidrogen dan kation lain, membentuk lapisan pekat di sekitar partikel yang biasa disebut lapisan stern. Molekul air juga tertarik pada partikel koloid. Ketertarikan molekul air disebabkan muatan listrik yang asimetris pada molekul air. Lapisan kedua dari ion, biasa disebut lapisan diffused, juga tertarik pada koloid. Pada lapisan ini, terdapat kation dan anion tetapi *counter ion* tetap dominan. Dua lapisan tersebut biasa disebut lapisan ganda. Model dari partikel koloid ini dapat dilihat pada gambar 2.1.

2. Gaya Van der Waals

Gaya saling tarik menarik muncul pada setiap dua benda yang memiliki massa. Derajat dari gaya tarik ini merupakan fungsi massa dari dua benda dan jarak diantaranya. Gaya tarik ini dikenal dengan gaya van der waals. Seperti yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini, gaya tolak yang muncul akibat muatan listrik akan menjauhkan dua partikel koloid sebelum mereka dapat bergerak mendekat agar gaya van der waals cukup signifikan. Jika tingkat gaya elektrostatis dapat dikurangi, partikel dapat cukup saling mendekat dan membuat gaya tarik van der waals mendominasi.

3. Gerak Brown

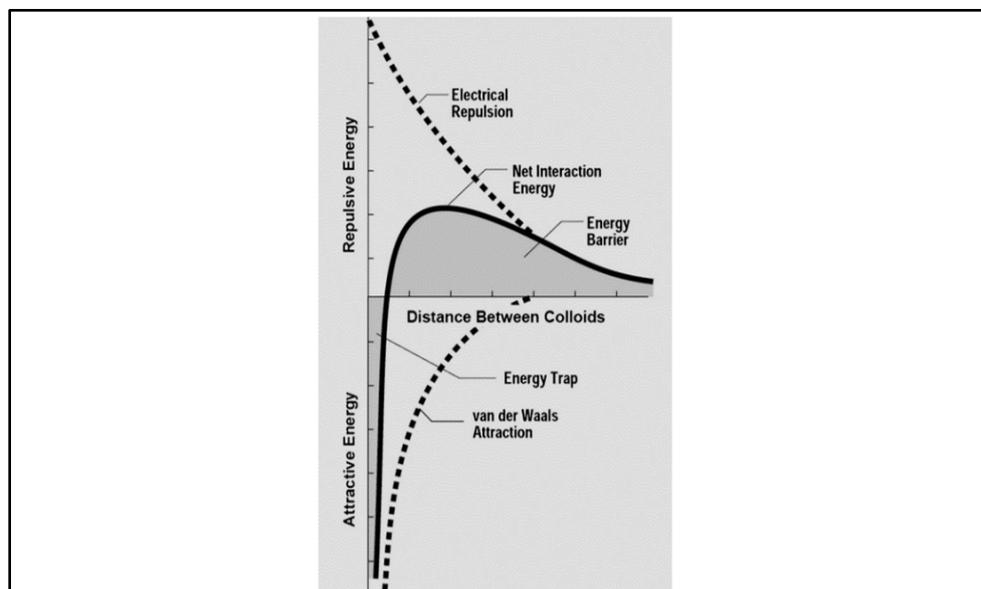
Gaya destabilisasi lain yang berperan adalah gerak brown. Koloid memiliki massa yang cukup kecil dimana tumbukan dengan partikel berukuran molekul dapat menyebabkan pergerakan koloid. Molekul pada air bergerak dengan gerakan yang konstan, dimana gerakan ini bergantung pada temperatur. Gerakan molekuler acak ini dapat menyebabkan tumbukan acak dengan koloid yang menghasilkan gerakan acak pada koloid. Fenomena ini biasa disebut gerak brown.

2.17 Mekanisme Destabilisasi

Pada umumnya, koagulasi mendestabilisasi koloid dengan kombinasi dari lima mekanisme, yaitu (Nalco, 2006):

1. Kompresi lapisan ganda

Pada saat konsentrasi *counter ion* pada larutan meningkat, *counter ion* dapat menyebabkan muatan pada lapisan diffused untuk ternetralisasi dan menyebabkan kompresi dari lapisan ini. Kompresi ini akan mempengaruhi ketebalan lapisan ini dan memungkinkan koloid untuk saling berdekatan. Jika jarak antara partikel dapat cukup dekat, maka gaya van der Waals akan mendominasi dan koloid akan saling menempel membentuk flok seperti yang terlihat pada gambar.



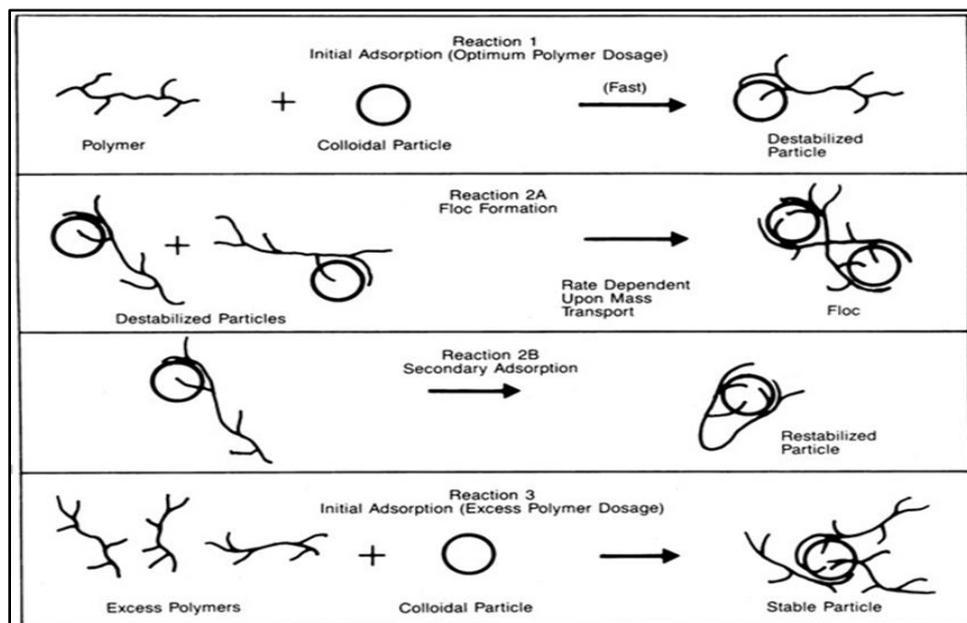
Gambar 2.2 Gaya pada partikel koloid setelah kompresi lapisan ganda

2. Adsorpsi *counter ion* dan netralisasi muatan

Counter ion dari koagulan dapat teradsorb pada permukaan partikel koloid. Dengan begitu, muatan yang saling menolak pada permukaan partikel dapat sepenuhnya ternetralisasi oleh muatan dari *counter ion*. Partikel koloid yang sudah terdestabilisasi dapat menempel satu sama lain dan membentuk flok. Penambahan elektrolit *counter ion* yang berlebihan dapat menimbulkan restabilisasi oleh pembalikan muatan.

3. *Bridging* antar partikel

Jika polimer organik sintetis digunakan sebagai koagulan, *bridging* antar partikel dimulai dengan adsorpsi polimer pada bagian spesifik dari partikel koloid. Struktur yang dihasilkan tumbuh menjadi partikel tunggal beberapa kali lebih besar dari konstituen pembentuknya. Agar *bridging* ini dapat terbentuk, maka bagian dari rantai polimer harus terserap pada bagian atas dari lebih dari satu partikel. Gambar 2.3 menggambarkan mekanisme *bridging* antar partikel.



Gambar 2.3 Mekanisme *bridging*

Reaksi 1 dan 2A menggambarkan proses koagulasi normal dengan mekanisme *bridging*. Penambahan koagulan berlebih dengan polimer ini

juga dapat menyebabkan restabilisasi partikel dimana satu rantai polimer mengikat satu partikel koloid, sehingga *bridging* yang diharapkan tidak terbentuk. Hal ini dapat dilihat pada reaksi 2B dan reaksi 3 (Nalco, 2006).

4. Penangkapan partikel pada endapan

Dosis dari garam logam yang digunakan pada proses koagulasi biasanya melebihi dosis yang dibutuhkan untuk mereduksi potensial zeta. Kelebihan garam logam ini akan terhidrolisis menjadi $Meq(OH)_p$. Hidroksida ini sangat tidak terlarut di dalam air. Saat hidroksida ini terakumulasi, partikel koloid kecil akan terperangkap di dalam struktur flok hidroksida ini. Fenomena ini juga biasa disebut dengan *sweep-floc coagulation*.

5. Heterokoagulasi

Pada praktek pengelolaan air, muatan permukaan partikel terkadang tidak seragam. Bagian permukaan dengan muatan yang berbeda dapat muncul pada permukaan partikel yang sama. Koagulasi dari partikel koloid ini dapat muncul melalui interaksi elektrostatis sederhana di antara bagian dengan muatan yang bertolak belakang ini. Mekanisme ini disebut dengan heterokoagulasi.

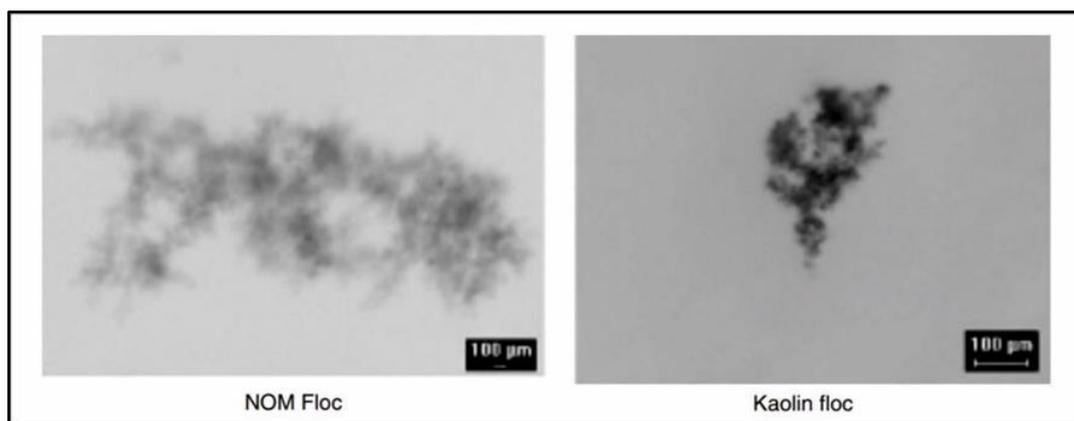
2.18 Flokulasi

Flokulasi merupakan proses penumpukan partikel-partikel koloid yang telah stabil dan membentuk partikel yang menggumpal, yang biasanya disebut flok. Flokulasi terjadi saat partikel-partikel yang telah netral atau terperangkap mulai menempel dan bersatu satu sama lain atau menggumpal. Flokulasi dapat berlangsung sendiri atau dipercepat dengan menambahkan bahan kimia, yang biasanya disebut flokulan atau *coagulant-aid*.

Flokulan umumnya berbahan polimer organik, yang dapat bermuatan anionik, kationik, atau non-ionik, dengan berat molekul dapat menjadi 20.106. Fungsi utamanya adalah membantu menjembatani partikel-partikel yang telah netral untuk berkumpul menjadi flok yang ringan. Flokulan yang umum dipakai dengan efektif adalah senyawa *polyacrylamide* yang bersifat anionik dengan berat molekul yang sangat tinggi. Semakin tinggi berat molekul semakin panjang rantai

polimer, dan akan menjembatani partikel tersuspensi yang telah netral dengan lebih baik.

Tahap flokulasi dilakukan dengan pengadukan yang lambat antara limbah yang telah melalui proses koagulasi dengan flokulan. Hal ini dilakukan untuk memperluas kontak antara flokulan dengan flok yang masih berukuran kecil, sehingga terjadi penggabungan flok-flok kecil tersebut menjadi partikel yang besar. Partikel besar ini mudah pecah, sehingga pengadukan dilakukan secara lambat. Penambahan dosis flokulan juga perlu diperhatikan karena jika terjadi overdosis, partikel yang terbentuk tidak akan mengendap.



Gambar 2.4 Tampak mikroskopis dari flok pada *water treatment*

Pada saat koagulan telah ditambahkan, partikel-partikel akan menjadi lebih cepat untuk tidak stabil. Hal ini kemudian menyebabkan terbentuknya mikro flok yang berukuran dengan kisaran antara 1 - 10 mikrometer. Pembesaran flok terjadi akibat pengikatan dengan flok lainnya sampai ke ukuran flok pada tahap stabil telah dicapai. Pengikatan ini juga dapat menyebabkan terpisahnya flok. Gambar 2.6 menunjukkan flok terbentuk selama koagulasi material organik dan lempung kaolin (Tresnadi, 2008).

2.19 Koagulasi

Menghilangkan partikel-partikel stabil dari air sangat penting dalam menetralkan muatan negatif. Sejumlah mekanisme digunakan untuk mengurangi kestabilan partikel-partikel ini. Mekanisme yang paling relevan dalam *water treatment* bergantung pada penambahan bahan kimia yang disebut dengan koagulan. Biasanya berupa garam logam seperti besi dan aluminium sulfat. Ada beberapa

mekanisme koagulasi termasuk *double layer compression*, penetralan muatan, *Sweep flocculation* dan *bridging* antar partikel. Dosis dan kualitas air menentukan mekanisme untuk koagulan yang dipilih. Sebagai contoh penetralan muatan adalah mekanisme yang dominan untuk air yang mengandung alga atau material organik sedangkan untuk air dengan turbiditas rendah lebih baik menggunakan *Sweep flocculation*. Ketika *chemical* ditambahkan dalam air, sejumlah rangkaian reaksi hidrolisis yang kompleks akan terjadi. Koagulan jenis ini hanya ada di bawah kondisi asam (pH rendah). Pada rentang nilai pH normal pada air, ion-ion ini bereaksi dan menghasilkan beragam produk hidrolisis seperti Al(OH)^{2+} dan $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{12}^{7+}$ (polimer Al_{13}) yang mana dapat sangat menyerap partikel negatif dan sekaligus mengurangi muatan partikel.

Mekanisme-mekanisme yang telah dijelaskan sebelumnya mengarah ke definisi 4 zona dari dosis koagulan dengan akibat partikel bermuatan negatif sebagai berikut (Parsons dan Jefferson, 2006):

1. Zona 1 (Dosis koagulan sangat rendah; Partikel masih bermuatan negatif dan tetap stabil)
2. Zona 2 (Dosis yang cukup untuk menetralkan muatan dan terjadi koagulasi)
3. Zona 3 (Dosis tinggi menetralkan muatan dan terjadi stabilisasi kembali)
4. Zona 4 (Dosis yang lebih tinggi menyebabkan presipitasi hidroksida dan terjadi *sweep flocculation*).

2.20 Koagulan

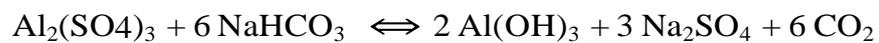
Pemilihan koagulan merupakan hal yang harus diperhatikan agar proses koagulasi dapat berjalan efektif. Tiga faktor penting yang harus diperhatikan dalam pemilihan koagulan adalah (Qasim et al, 2000):

1. Kation trivalen. Kation trivalen merupakan kation yang paling efektif untuk menjadi koagulan dimana kation trivalen memiliki efektivitas 600 - 700 kali lebih efektif dari kation monovalen.
2. Tidak beracun, hal ini jelas untuk memproduksi air yang aman.
3. Tidak terlarut dalam rentang pH netral. Koagulan yang ditambahkan haruslah dapat diendapkan dari larutan, sehingga tidak terdapat konsentrasi ion yang tinggi di dalam air.

Koagulan berdasarkan jenis bahan penyusunnya dapat digolongkan menjadi menjadi koagulan anorganik dan organik. Beberapa contoh koagulan anorganik yang umum digunakan adalah (Qasim et al, 2000):

1. Aluminium sulfat : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \sim 17\% \text{ Al}_2\text{O}_3$
2. Natrium aluminat: $\text{Na}_2\text{Al}_3\text{O}_4 \sim 55\% \text{ Al}_2\text{O}_3$
3. Ammonium alum : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 24 \text{ H}_2\text{O} \sim 11\% \text{ Al}_2\text{O}_3$
4. Cupras : $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O} \sim 55\% \text{ FeSO}_4$
5. Ferric sulfat : $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \sim 90\% \text{ Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

Koagulan-koagulan di atas, kecuali natrium aluminat, merupakan garam asam yang akan menurunkan pH dan alkalinitas air. Berikut ini adalah beberapa reaksi kimia menggunakan koagulan alum dan besi dengan konstituen yang ada di dalam air atau yang ditambahkan :



Koagulan organik merupakan polimer organik yang larut dalam air. Fungsi utamanya adalah sebagai koagulan primer namun dapat juga bertindak sebagai koagulan sekunder. Kadang-kadang disebut juga polyelectrolyte. Berdasarkan muatan polimernya, keagulan ini dapat dibedakan menjadi yaitu :

1. Anionik, akan terionisasi di dalam air membentuk bagian yang bermuatan negatif pada molekul polimernya.
2. Kationik, akan terionisasi di dalam air membentuk bagian yang bermuatan positif pada molekul polimernya.
3. Non-ionik, tidak terionisasi atau sangat sedikit terionisasi, dimana sifat ionisasinya dapat diabaikan.

Polimer yang umum digunakan sebagai koagulan primer adalah polimer kationik berberat molekul rendah (< 500.000). Namun, dengan densitas muatan kation sangat tinggi. Efisiensi koagulan organik tergantung pada sifat partikel penyebab kekeruhan, jumlah atau tingkat kekeruhan, dan pengadukan pada saat koagulasi. Pada kekeruhan yang rendah diperlukan pengadukan yang lebih lama untuk mendapatkan penetralan yang maksimum. Air dengan kekeruhan rendah ($<10 \text{ jtu}$), sulit untuk dijernihkan menggunakan polimer kationik. Hasil yang terbaik dapat diperoleh dengan mengkombinasikan koagulan organik (polimer

kationik) dengan koagulan anorganik, dengan menambahkan koagulen sekunder. Air dengan kekeruhan 10 - 60 jtu, dapat dijernihkan dengan baik menggunakan alum atau polimer kationik. Kekeruhan buatan ini akan memperluas permukaan penyerapan untuk memperangkap partikel-partikel halus. Biasanya koagulan yang umum dipakai untuk proses koagulasi adalah koagulan organik, karena memiliki beberapa keuntungan, diantaranya adalah:

1. Volume lumpur yang dihasilkan dapat berkurang 50% – 90%, berarti mengurangi masalah pembuangan lumpur.
2. Kadar air dalam lumpur yang dihasilkan sedikit, sehingga mudah dikeringkan.
3. Lumpur yang dihasilkan kurang asam dibandingkan lumpur alum.
4. Karena koagulan organik tidak mempengaruhi pH air hasil olahan, maka dapat dikurangi pemakaian senyawa basa sebagai pengendali pH.
5. Koagulan organik tidak menaikkan konsentrasi padatan terlarut total.

Analisis sifat kimia dan fisika air berfungsi untuk menunjukkan kualitas air tersebut. Tetapi tidak banyak menolong dalam memperkirakan kondisi koagulasi yang optimum. Penetapan dosis koagulan yang cocok dapat melalui simulasi menggunakan air baku yang akan digunakan dengan mengikuti tahapan pengoperasian clarifier dalam skala laboratorium. Cara simulasi ini dilakukan melalui jar test yang terdiri dari seperangkat beaker glass dilengkapi dengan pengaduk mekanis yang kecepatan pengadukannya dapat diatur (Qasim et al, 2000).

2.21 Syarat Baku Mutu

Baku mutu air adalah ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi atau komponen yang ada atau harus ada dan atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air. Kualitas air telah diatur dengan ketentuan hukum sesuai dengan standar baku mutu lingkungan yang berlaku. Pemerintah telah menerbitkan Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 2022 tanggal 25 Maret 2022 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Peraturan tersebut bertujuan untuk menjaga agar air yang terbentuk di sekitar lokasi pertambangan berada dalam kondisi yang sesuai dengan peruntukannya. Baku mutu air untuk kegiatan penambangan batu bara dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Syarat baku mutu

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6 – 9
Residu Tersuspensi	PPM	200
Besi (Fe) Total	Mg/l	7
Mangan (Mn) Total	Mg/l	4

Berikut ini adalah uraikan beberapa elemen penting dari baku mutu air serta dampaknya terhadap lingkungan (Bratby, 2006).

1. Tingkatan Keasaman (pH)

Nilai pH adalah nilai yang menyatakan tingkat keasaman suatu air baik itu air permukaan, air tanah dan air dari sisa penambangan. Nilai pH air yang normal berada antara 6–9. *pH* air terpolusi berbeda-beda tergantung dari jenis buangnya. Buangan yang banyak mengandung asam-asam *organic* biasanya akan meningkatkan keasaman air. Air buangan industri - industri bahan *organic* pada umumnya mengandung asam mineral dalam jumlah yang tinggi, sehingga keasaman juga tinggi atau *pH* nya rendah. Perubahan keasaman pada air buangan, baik ke arah alkali (*pH* naik) maupun ke arah asam (*pH* turun) akan sangat mengganggu kehidupan ikan dan hewan air lainnya. Air buangan yang mempunyai *pH* rendah juga bersifat sangat korosif terhadap baja dan besi, bangunan semen atau beton mudah rusak pada kondisi asam dan dapat terjadi penyumbatan *aquifer* atau sumur akibat pengendapan besi (besi oksida).

2. Temperatur

Temperatur adalah suhu rata-rata pada daerah keadaan sekitar penambangan. Dalam berbagai proses industri air sering digunakan sebagai medium pendingin. Setelah digunakan air tersebut akan menerima panas dari bahan yang didinginkan lalu dibuang ke tempat asalnya. Air buangan ini jelas akan mempunyai temperatur yang lebih tinggi dari air bersih. Kenaikan temperatur ini akan berakibat sebagai berikut:

- a. Menurunnya oksigen terlarut

- b. Meningkatnya kecepatan reaksi kimia
 - c. Terganggunya kehidupan ikan dan hewan air lainnya
 - d. Jika batas temperatur yang mematikan terlampaui, ikan dan hewan air lainnya akan mati.
3. Warna, bau dan rasa

Warna air yang terdapat di alam sangat bervariasi. Warna air yang tidak normal biasanya menunjukkan adanya polusi. Warna air dapat dibedakan atas dua macam yaitu warna sejati (*true color*) yang disebabkan oleh bahan-bahan terlarut. Warna semu (*apparent color*), yaitu selain adanya bahan-bahan terlarut juga adanya bahan-bahan tersuspensi, termasuk diantaranya yang bersifat koloid. Bau air tergantung dari sumber airnya. Bau air dapat disebabkan oleh bahan-bahan kimia, ganggang, plankton, atau tumbuhan dan hewan air, baik yang masih hidup ataupun yang sudah mati. Air yang berbau *sulfite* disebabkan oleh reduksi sulfat dengan adanya bahan-bahan organik dan mikroorganisme *anaerobic*. Rasa tidak terdapat pada air yang normal. Timbulnya rasa yang menyimpang disebabkan oleh adanya polusi, dan rasa menyimpang tersebut dihubungkan dengan bau, karena pengujian terhadap rasa air jarang dilakukan. Bau yang tidak normal juga dianggap mempunyai rasa yang tidak normal.
4. Kesadahan air

Kesadahan air adalah kandungan mineral-mineral yang terdapat pada air. Kesadahan air disebabkan oleh adanya ion kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) di dalam air. Air yang mempunyai tingkat kesadahan pada alat-alat yang terbuat dari besi, menyebabkan sabun kurang berbusa. Keadaan ini akan meningkatkan konsumsi sabun yang terlalu tinggi. Sangat merugikan karena dapat menimbulkan korosi atau karatan dan juga menimbulkan kerak-kerak pada wadah-wadah pengolah.