



TUGAS AKHIR - RE 184804

**STUDI LITERATUR KEMAMPUAN TUMBUHAN
Salvinia molesta DAN *Salvinia natans*
TERHADAP PENYERAPAN Fe DAN Mn PADA
PENGOLAHAN AIR ASAM TAMBANG**

RIFKI ADHI SAPUTRA
0321164000089

Dosen Pembimbing
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR - RE 184804

**STUDI LITERATUR KEMAMPUAN TUMBUHAN
Salvinia molesta DAN *Salvinia natans*
TERHADAP PENYERAPAN Fe DAN Mn PADA
PENGOLAHAN AIR ASAM TAMBANG**

RIFKI ADHI SAPUTRA
0321164000089

Dosen Pembimbing
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR - RE 184804

**STUDY LITERATURE OF *Salvinia molesta* AND
Salvinia natans TO ABSORB Fe AND Mn IN
ACID MINE DRAINAGE**

**RIFKI ADHI SAPUTRA
0321164000089**

**Supervisor
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering, Planning, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI LITERATUR KEMAMPUAN TUMBUHAN *Salvinia molesta* DAN *Salvinia natans* TERHADAP PENYERAPAN Fe DAN Mn PADA PENGOLAHAN AIR ASAM TAMBANG

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
RIFKI ADHI SAPUTRA
NRP. 0321164000089

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19710818 199703 2 001

SURABAYA, AGUSTUS 2020



STUDI LITERATUR KEMAMPUAN TUMBUHAN *Salvinia molesta* DAN *Salvinia natans* DALAM MEREDUKSI Fe DAN Mn PADA PENGOLAHAN AIR ASAM TAMBANG

Nama Mahasiswa : Rifki Adhi Saputra
NRP : 03211640000089
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Bieby Voijant Tangahu, ST, MT, PhD

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil batubara yang sebagian kegiatan penambangannya dilakukan dengan metode tambang terbuka (*open pit*). Kegiatan pertambangan mengakibatkan perubahan lingkungan yang dapat berdampak pada kualitas air tanah dan air permukaan. Selain itu kegiatan penambangan juga akan mengakibatkan terjadinya perubahan fisik berupa perubahan morfologi dan topografi lahan. Salah satu permasalahan yang terjadi pada air asam tambang penambangan batu bara adalah masalah air asam tambang. Air asam tambang merupakan air yang berasal dari pengaliran tambang yang berpotensi mencemari badan perairan jika tidak dikelola dan dikontrol dengan baik.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan studi literatur tentang pengolahan limbah air asam tambang yang efektif, artinya tidak membutuhkan jumlah biaya yang tinggi salah satunya yaitu dengan menggunakan teknik fitoremediasi. Pada studi literatur ini akan dibahas mengenai pengolahan air asam tambang. Studi literatur ini bertujuan menentukan kemampuan tumbuhan *Salvinia molesta* dan *Salvinia natans* sebagai penyerapan logam (Fe dan Mn) yang dapat digunakan pada pengolahan air asam tambang berdasarkan literatur dan menentukan efisiensi removal tumbuhan *Salvinia molesta* dan *Salvinia natans* berdasarkan studi kasus yang diambil.

Pemilihan tumbuhan juga perlu dipertimbangkan untuk efektifitas penyerapan logam berat. Tumbuhan yang digunakan dalam studi literatur ini adalah *Salvinia molesta* dan *Salvinia natans*. Tumbuhan ini dapat digunakan untuk pengolahan limbah

karena tingkat pertumbuhannya yang tinggi dan kemampuannya untuk menyerap hara langsung dari air limbah. Selain itu, tumbuhan ini dapat bertahan hidup di lingkungan tercemar dan cocok dimanfaatkan untuk fitoremediasi air tercemar. Studi kasus yang diambil adalah pengolahan air asam tambang pada PT. Semesta Centramas (Balangan Coal) Kabupaten Balangan, Provinsi Kalimantan Selatan.

Berdasarkan literatur fitoremediasi, *S.molesta* dapat menurunkan kadar Fe dan Mn hingga 29% dan 73%. *S.natans* mampu menurunkan kadar Fe dan Mn hingga 56% dan 69%. Sedangkan jika disesuaikan pada studi kasus pada air asam tambang yang memiliki kadar Fe 23,12 mg/L dan Mn 25,5 mg/L, *S. molesta* dan *S. natans* membutuhkan efisiensi removal sebesar 69,7 % dan 84,3 % untuk menurunkan Fe dan Mn supaya mencapai baku mutu.

Kata kunci: Air Asam Tambang, Fitoremediasi, Fe, Mn, *Salvinia molesta*, *Salvinia natans*

STUDI OF LITERATURE ABILITY SALVINIA MOLESTA AND SALVINIA NATANS TO ABSORB Fe AND Mn AS IN ACID MINE DRAINAGE TREATMENT

Nama Mahasiswa : Rifki Adhi Saputra
NRP : 0321164000089
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Bieby Voijant Tangahu, ST, MT, PhD

ABSTRACT

Indonesia is one of the coal-producing countries where some of its mining activities are carried out using the open pit method. Mining Activities environmental changes that can improve air quality and surface water. In addition mining activities will also change physically into changes in land morphology and topography. One of the problems that occur during coal mining is the acid mine drainage problem. Acid mine water is water that originates from mine drainage (mine drainage) which is moved to pollute the transportation agency if it is not managed and controlled properly.

Based on these problems, a literary study of effective acid mine waste water treatment is needed, meaning that it does not require a high amount of cost, one of which is by using phytoremediation techniques. In this literature study will be discussed regarding acid mine drainage treatment. This literature study aims to determine the ability of plants *Salvinia molesta* and *Salvinia natans* as metal (Fe and Mn) absorption which can be used in acid mine drainage treatment based on literature and determine the removal efficiency of plants of *Salvinia molesta* and *Salvinia natans* based on the taken case studies.

Plant selection is also needed for the effectiveness of heavy metals. The plants used in the study of this literature are *Salvinia molesta* and *Salvinia natans*. This plant can be used for waste treatment because of its high growth rate and its ability to absorb nutrients directly from wastewater. In addition, this plant can survive in a polluted environment and is suitable where acid

water is added for phytoremediation of polluted air. The case study taken is acid mine drainage treatment at PT. Semesta Centramas (Balangan Coal) Balangan Regency, South Kalimantan Province.

Based on the phytoremediation literature, *S.molesta* can reduce Fe and Mn levels by 29% and 73%. *S.natans* can reduce Fe and Mn levels up to 56% and 69%. Meanwhile, adjusted to the case study of acid mine drainage which has Fe levels of 23.12 mg / L and Mn 25.5 mg / L, *S. molesta* and *S. natans* require savings of 69.7% and 84.3% for improve Fe and support achieving quality standards.

Keywords: Mine Acid Water, Phytoremediation, Fe, Mn, *Salvinia molesta*, *Salvinia natans*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya, Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Studi Literatur Kemampuan Fitoremediasi Tumbuhan *Salvinia molesta* dan *Salvinia natans* Dalam Terhadap Penyerapan Fe dan Mn Pada Pengolahan air asam tambang” dapat diselesaikan.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan semangat, bimbingan dan nasehat dalam penyusunan dan penulisan Tugas Akhir terutama kepada:

1. Ibu Bieby Voijant Tangahu, ST, MT, PhD selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bimbingan, serta ilmu yang diberikan,
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MscES., Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., MSc., PhD., Bapak Alfa Purnomo, ST., MT., Ibu Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD., dan Ibu Ervin Nurhayati, ST., MT., PhD selaku dosen pengarah dan penguji Tugas Akhir, terima kasih atas saran serta bimbinganya,
3. Dosen-dosen pengajar Departemen Teknik Lingkungan ITS,
4. Orang Tua, Kakak, serta Keluarga yang telah menjadi motivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik, dan memberikan dorongan, serta tak lupa selalu mendoakan dari kejauhan,
5. Teman-teman bimbingan tugas akhir, Awaluddin, Awanda, dan Nakula yang telah bekerja sama dan saling mengingatkan satu sama lain terkait asistensi dan kemajuan dari Tugas Akhir,
6. Teman-teman angkatan 2016 yang selalu memberi semangat serta dorongan dan selalu mengingatkan satu sama lain.

Saya menyadari tentunya laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Banyak yang harus dibenahi dalam teknis dan isi dari penulisan. Kami berharap adanya saran dan kritik yang bersifat membangun, agar laporan ini dapat bermanfaat baik bagi penulis, perusahaan, serta pembaca.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Studi Literatur.....	4
1.4 Manfaat Studi Literatur.....	4
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Air Asam Tambang.....	5
2.2 Tipe Air Tambang.....	7
2.3 Sumber Air Asam Tambang.....	8
2.4 Pembentukan Air Asam Tambang.....	11
2.5 Karakteristik Air Asam Tambang.....	15
2.5.1 Power Of Hydrogen (pH).....	15
2.5.2 Total Suspended Solid (TSS).....	16
2.6 Logam Berat.....	17
2.6.1 Besi (Fe).....	18
2.6.2 Mangan (Mn)	20

2.7	Dampak Air Asam Tambang.....	20
2.8	Baku Mutu Air Limbah Pertambangan.....	22
2.9	Teknik Pengolahan Air Asam Tambang	23
2.9.1	Pengolahan Aktif.....	26
2.9.2	Pengolahan Pasif.....	28
2.10	Fitoremediasi.....	29
2.10.1	Pengertian Fitoremediasi	29
2.10.2	Fitoproses Tumbuhan	35
2.11	Tumbuhan <i>Salvinia molesta</i>	38
2.12	Tumbuhan <i>Salvinia natans</i>	40
2.13	Studi literatur Terdahulu.....	43
BAB III METODE PENULISAN.....		45
3.1	Kerangka Studi.....	45
3.2	Metode Studi	47
3.2.1	Kajian Pustaka.....	47
3.2.2	Studi Kasus	47
3.2.3	Sistematika Penulisan.....	48
BAB IV STUDI KASUS.....		51
4.1	Kondisi Eksisting Air Asam Tambang Secara Umum..	51
4.2	Kondisi Eksisting Air Asam Tambang Secara Khusus	52
4.2.1	Lokasi Studi Kasus	52
4.2.2	Kondisi Daerah Pertambangan	54
4.2.3	Kondisi Lingkungan di sekitar Pertambangan	54
4.3	Karakteristik Air Asam Tambang Pada Studi Kasus ...	58
4.4	Pemilihan Teknik Pengolahan Air Asam Tambang	60
4.5	Metode Fitoremediasi Air Asam Tambang.....	62
4.5.1	Fitoremediasi <i>Salvinia molesta</i>	63

4.5.2 Fitoremediasi <i>Salvinia natans</i>	67
4.6 Kesesuaian Dengan Baku Mutu.....	71
4.7 Kebutuhan Tumbuhan	72
4.7.1 Kebutuhan Tumbuhan Untuk Menyerap Fe	74
4.7.2 Kebutuhan Tumbuhan untuk Menyerap Mn	76
4.8 Efisiensi Removal Untuk Mencapai Baku Mutu.....	77
BAB V PENUTUP	79
5.1 Kesimpulan.....	79
5.2 Saran	79
DAFTAR PUSTAKA.....	81
BIOGRAFI PENULIS.....	87

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kerangka Studi literatur dengan Studi Kasus ... **Error!
Bookmark not defined.**

Gambar 3.1 Air asam tambang	5
Gambar 3.2 Warna Air asam tambang	8
Gambar 3.3 Model Sederhana Oksidasi Pirit	10
Gambar 3.4 Pembentukan Aktivitas Air asam tambang Sumber: gesi.co.id (diakses pada tanggal 17 Maret 2020)	13
Gambar 3. 5 Skala pH.....	16
Gambar 3.6 Penggolongan Logam Beracun Sumber: biology.co.id (diakses pada tanggal 17 Maret 2020).....	18
Gambar 3.7 Pengolahan Air asam tambang secara Aktif	27
Gambar 3 8 Pengolahan Air asam tambang secara Pasif Sumber: ejurnal.bppt.go.id (diakses pada tanggal 26 Februari 2020)	28
Gambar 3.9 Fitoremediasi Lahan Bekas Penambangan Sumber: Badan Litbang dan Inovasi.....	31
Gambar 3.10 Struktur Jaringan Tumbuhan.....	33
Gambar 3.11 Mekanisme Fitoremediasi	37
Gambar 3.12 <i>Salvinia Molesta</i>	39
Gambar 3.13 <i>Salvinia natans</i>	41
Gambar 4.1 Lokasi Ijin Usaha Pertambangan (IUP)	53
Gambar 4.2 Penurunan Kadar Fe dan Mn pada Air Limbah 50%	64
Gambar 4.3 Penurunan Kadar Fe dan Mn pada Air Limbah 25%	66
Gambar 4.4 Penurunan Kadar Fe Selama 10 Hari.....	67
Gambar 4.5 Persentase Penurunan Fe dan Mn pada Hari ke-10	69
Gambar 4.6 Persentase Penurunan Fe dan Mn pada Hari ke-20	69
Gambar 4.7 Persentase Penurunan Fe dan Mn pada Hari ke-30	70
Gambar 4.8 Persentase Penurunan Fe	70
Gambar 4.9 Persentase Penurunan Mn	71

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Faktor yang Mempengaruhi Oksidasi Pirit.....	10
Tabel 3.2 Baku Mutu Air Limbah Bagi Kegiatan Batubara.....	22
Tabel 3.3 Baku Mutu Limbah Cair Air asam tambang.....	23
Tabel 3.4 Kelebihan dan Kekurangan Teknologi Pengolahan Aktif dan Pasif	24
Tabel 3.5 Kelebihan dan Kekurangan Fitoremediasi.....	32
Tabel 3.6 Fitoremediasi Proses dan Mekanisme Pembuangan Kontaminan	38
Tabel 3.7 Fitoremediasi <i>Salvinia molesta</i> Dalam Menyerap Pencemar	40
Tabel 3.8 Fitoremediasi <i>Salvinia natans</i> Dalam Menyerap Pencemar	42
Tabel 3.9 Tumbuhan yang Dapat Meremediasi Fe dan Mn pada Air Asam Tambang	44
Tabel 4.1 Kondisi Daerah Pertambangan	54
Tabel 4.2 Flora di dalam lokasi pertambangan	55
Tabel 4.3 Flora di sekitar lokasi dan di dalam lokasi	56
Tabel 4.4 Fauna jenis Mamalia di sekitar area pertambangan ...	56
Tabel 4.5 Fauna jenis Amphibi di sekitar area pertambangan....	56
Tabel 4.6 Fauna jenis Reptile di sekitar area pertambangan.....	57
Tabel 4.7 Fauna jenis Insekta di sekitar area pertambangan	57
Tabel 4.8 Fauna jenis burung di sekitar area pertambangan.....	57
Tabel 4.9 Karakteristik Air asam tambang dan Kandungan di dalamnya.....	59
Tabel 4.10 Perbedaan Pengolahan Aktif dengan Pengolahan Pasif	61
Tabel 4.11 Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Pada Air Limbah 50%.....	63
Tabel 4.12 Persentase Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn).....	64
Tabel 4.13 Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Pada Air Limbah 25%.....	65
Tabel 4.14 Persentase Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn).....	65
Tabel 4.15 Penurunan Kadar Besi (Fe)	68
Tabel 4.16 Penurunan Mangan (Mn).....	68

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) Outlook Energi Indonesia (2013), Pengembangan industri adalah kebutuhan setiap negara untuk mendukung ekonominya karena meningkatkan pertumbuhan ekonomi yang tinggi, menciptakan lapangan kerja dan dapat menyediakan kebutuhan dasar manusia. Hal ini dapat meningkatkan populasi dan memajukan pembangunan industri dan meningkatkan kebutuhan energi. Untuk memenuhi kebutuhan energi Indonesia, sektor industri dan rumah tangga di Indonesia masih mengandalkan sumber energi fosil dari minyak dan batubara. Bahan bakar batubara masih digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Batubara adalah sisa tumbuhan dari jaman prasejarah yang berubah bentuk yang awalnya berakumulasi di rawa dan lahan gambut (World Coal Institute, 2016).

Menurut Badan Pusat Statistik (2016), Konsumsi batubara meningkat dua kali lipat sejak tahun 2010 dan pada tahun 2015 batubara menjadi bahan bakar dominan Indonesia (41,1% dari konsumsi energi). Indonesia adalah salah satu negara penghasil batubara yang cukup besar. Jumlah sumber daya batubara Indonesia berdasarkan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2018 adalah sebesar 166 miliar ton dan masih memiliki cadangan hingga 37 miliar ton. Menurut IMA (2014), disebutkan bahwa Indonesia menduduki peringkat ke-3 dalam ekspor batubara. Seiring dengan meningkatnya permintaan energi, maka eksplorasi dan eksploitasi penambangan batubara akan terus dilaksanakan (Yusron, 2009).

Permintaan batubara di Asia akan terus meningkat. Sebagai salah satu negara penghasil batubara di dunia, Indonesia berpeluang untuk terus meningkatkan hasil produksi batubaranya. Dengan semakin meningkatnya kegiatan penambangan batubara, potensi akan timbulnya dampak negatif yang timbul akibat adanya kegiatan penambangan pun akan semakin meningkat. Tambang batubara di Indonesia umumnya dilakukan dengan cara tambang terbuka, walaupun ada beberapa

yang menggunakan tambang bawah tanah (*underground mining*). Sehingga dengan demikian akan berdampak terhadap perubahan bentang alam, sifat kimia, fisik, biologis tanah dan air. Secara umum menimbulkan kerusakan pada permukaan bumi, antara lain terbentuknya air asam tambang.

Air asam tambang adalah salah satu permasalahan lingkungan yang dihasilkan oleh industri pertambangan. Air asam tambang merupakan hasil dari oksidasi batuan yang mengandung pirit (FeS_2) dan mineral sulfida dari sisa batuan yang terpapar oleh oksigen yang berada dalam air (Elberling *et al.*, 2008). Permasalahan air asam tambang adalah salah satu dampak potensial yang dihadapi industri pertambangan. Dalam kegiatan penambangan terbentuknya air asam tambang tidak dapat dihindari. Hal ini disebabkan karena pada dasarnya penambangan merupakan kegiatan pembongkaran mineral dari batuan induk untuk kemudian diangkut, diolah dan dimanfaatkan sehingga dalam proses penambangan terjadi penyingkapan batuan.

Permasalahan air asam tambang adalah salah satu dampak potensial yang dihadapi industri pertambangan. Air asam tambang juga mengandung logam berat, seperti besi (Fe) dan mangan (Mn). Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan atau Kegiatan Pertambangan Batu Bara, baku mutu total Fe adalah 7 mg/L sedangkan baku mutu total Mn adalah 4 mg/L.

Menurut Anggriawan *et al.* (2015) kandungan Fe dan Mn jika melebihi baku mutu akan memberi dampak yang buruk terhadap kesehatan manusia dan lingkungan, seperti rusaknya dinding usus, iritasi pada kulit dan mata serta gangguan ginjal. Selain itu gangguan teknis seperti mengotori bak, wastafel serta pembuntuan pada perpipaan karena endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$, juga gangguan fisik misalnya timbulnya warna, bau dan rasa pada air minum. Beberapa metode dalam mengatasi limbah air asam tambang diantaranya dengan metode fitoremediasi. Fitoremediasi adalah suatu teknologi yang menggunakan tumbuhan untuk memperbaiki sebagian atau substansi kontaminan tertentu dalam tanah, endapan, kotoran/ lumpur, air tanah, air permukaan, dan air sampah. Melalui metode ini air asam tambang dapat dikelola untuk meminimalisir penyebab terjadinya dampak lingkungan

yang utama, yakni penurunan pH yang disebabkan oleh asam sulfat, dan terlarutnya logam berat yang disebabkan oleh terlarutnya ion besi (Pivetz, 2001).

Tumbuhan yang biasa digunakan sebagai fitoremediasi adalah tumbuhan azolla, kiambang (*Salvinia molesta*), enceng gondok (*Eichhornia crassipes*), kangkung air (*Ipomea aquatic*). Dipilihnya tumbuhan kiambang (*Salvinia molesta*) karena tumbuhan ini dapat tumbuh di perairan dengan kadar nutrisi yang rendah. Kiambang memiliki diameter daun yang relatif kecil (rata-rata 2-4 cm) tetapi juga memiliki akar yang lebat dan panjang. Berdasarkan hal tersebut diharapkan kiambang (*Salvinia molesta*) dapat secara aktif menyerap polutan, namun tidak menghalangi proses penetrasi cahaya dalam perairan (Astuti dan Indriatmoko, 2018). Selain menggunakan *Salvinia molesta*, digunakan juga tumbuhan *Salvinia natans* guna membandingkan keefektifan kedua tumbuhan kiambang tersebut dalam mereduksi konsentrasi Fe dan Mn dalam air asam tambang.

Sebelumnya telah dilakukan studi literatur yang serupa yaitu menurunkan kadar tembaga (Cu) dalam air minum dengan menggunakan tumbuhan *Salvinia molesta* (Baroroh *et al.*, 2018) dan menurunkan kadar kromium (Cr) dalam air limbah industri penyamakan kulit menggunakan tumbuhan *Salvinia natans* (Isnaini *et al.*, 2015). Maka dari studi literatur tersebut peneliti akan menggunakan tumbuhan kiambang (*Salvinia molesta* dan *Salvinia natans*) untuk menurunkan kadar Fe dan Mn dalam air asam tambang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah pada studi literatur ini dapat dituliskan sebagai berikut:

1. Bagaimana cara menentukan kemampuan tumbuhan *Salvinia molesta* dan *Salvinia natans* sebagai fitoremediasi penyerapan logam (Fe dan Mn) yang dapat digunakan pada pengolahan air asam tambang?
2. Bagaimana cara menentukan efisiensi removal tumbuhan *Salvinia molesta* dan *Salvinia natans* yang dapat digunakan pada pengolahan air asam tambang?

1.3 Tujuan Studi Literatur

Adapun tujuan dari studi literatur ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kemampuan tumbuhan *Salvinia molesta* dan *Salvinia natans* sebagai penyerapan logam (Fe dan Mn) yang dapat digunakan pada pengolahan air asam tambang berdasarkan literatur.
2. Menentukan efisiensi removal tumbuhan *Salvinia molesta* dan *Salvinia natans* berdasarkan studi kasus yang diambil.

1.4 Manfaat Studi Literatur

Manfaat dari studi literatur ini antara lain:

1. Merangkum literatur mengenai kemampuan tumbuhan *Salvinia molesta* dan *Salvinia natans* dalam meningkatkan kualitas pengolahan Air asam tambang terutama pada kandungan Fe dan Mn yang tinggi.
2. Memberikan informasi serta pertimbangan untuk dapat mengatasi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh konsentrasi Fe dan Mn yang tinggi pada pengolahan Air asam tambang.
3. Memberikan alternatif lain untuk melakukan kegiatan yang berhubungan dengan pengolahan air asam tambang yang terdapat konsentrasi Fe dan Mn secara fitoremediasi.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup atau batasan dalam studi literatur ini sebagai berikut:

1. Dalam studi ini menggunakan tumbuhan sebagai fitoremediasi untuk pengolahan air asam tambang.
2. Jenis tumbuhan yang digunakan dalam studi ini adalah jenis tumbuhan air yaitu *Salvinia molesta* dan *Salvinia natans*.
3. Jenis referensi pengolahan air asam tambang pada studi ini dilakukan pada perusahaan pertambangan yang ada di Indonesia secara umum.
4. Studi kasus pada Tugas akhir ini adalah pengolahan air asam tambang pada PT Semesta Centramas Balangan Coal.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Asam Tambang

Menurut Elberling *et al.* (2008), air asam tambang adalah salah satu permasalahan lingkungan yang dihasilkan oleh industri pertambangan. Air asam tambang merupakan hasil dari oksidasi batuan yang mengandung pirit (FeS_2) dan mineral sulfida dari sisa batuan yang terpapar oleh oksigen yang berada dalam air. Permasalahan air asam tambang adalah salah satu dampak potensial yang dihadapi industri pertambangan. Air asam tambang juga mengandung logam berat seperti besi (Fe), aluminium (Al), mangan (Mn). Kesalahan dalam pemantauan, pengumpulan dan pengolahan air asam tambang dapat menyebabkan kontaminasi terhadap air tanah dan air permukaan yang berdampak kepada ekosistem, manusia dan struktur bangunan. Contoh air asam tambang dapat dilihat pada Gambar .1.



Gambar 2.1 Air asam tambang

Sumber: acidminedrainage.co.id (diakses pada tanggal 10 Februari 2020)

Air asam tambang atau *acid mine drainage* merupakan air yang terbentuk akibat kegiatan pertambangan terbuka maupun tertutup dimana terjadi reaksi antara air, oksigen, dan batuan-batuan yang mengandung mineral-mineral sulfida sehingga menyebabkan terbentuknya air asam tambang. Selain itu, air asam

tambang dapat juga disebabkan oleh adanya batubara itu sendiri karena banyak mengandung belerang sehingga jika berkontak dengan air, maka akan terjadi penurunan pH dan menyebabkan air menjadi asam (Nasir *et al.*, 2014). Air asam tambang merupakan limbah pencemar lingkungan yang terjadi akibat aktivitas pertambangan. Limbah ini terjadi karena adanya proses oksidasi bahan mineral pirit (FeS_2) dan bahan mineral sulfida lainnya yang tersingkap ke permukaan tanah dalam proses pengambilan bahan mineral tambang (Wahyudin *et al.*, 2018).

Menurut Suryadi dan Kusuma (2019), Air asam tambang merupakan salah satu dampak negatif yang ditimbulkan oleh kegiatan penambangan karena dapat merusak lingkungan. Dengan demikian, air asam tambang penting untuk dikelola dengan baik terlebih pada kegiatan penambangan di daerah yang mempunyai curah hujan tinggi. Kondisi ini, terutama terjadi hampir di semua kegiatan penambangan di Indonesia. Air dari sumber mana pun yang terdapat di lokasi penambangan adalah sesuatu yang harus diperhitungkan dan diperhatikan dengan baik keberadaannya. Air dapat berperan sebagai *reactant* (pereaksi) dan media bakteri dalam proses oksidasi pembentukan air asam tambang (Ferguson *et al.*, 1988).

Menurut Said (2014), tipe air asam tambang merupakan hasil dari reaksi kimia yang menghasilkan berbagai macam spesies senyawa kimia yang mengalami degradasi secara alami dan mengakibatkan ditemukannya berbagai macam tipe atau bentuk senyawa air asam tambang tersebut. Dalam menentukan kualitas air asam tambang diperlukan beberapa kriteria yang dapat menentukan apakah air asam tambang dapat untuk kehidupan manusia, seperti air minum, air mandi dan cuci, air toilet, air irigasi untuk pertanian, air minum untuk peternakan atau air untuk usaha budidaya perikanan atau juga sebagai wilayah pariwisata. Pada wilayah kolam air dapat juga digunakan untuk tempat pengembangan pemukiman atau sering dimanfaatkan sebagai *water front city area*. Menurut Komarawidjaja (2011), adanya kegiatan penambangan batubara selain telah menciptakan kolam-kolam raksasa juga diperkirakan akan timbul tekanan terhadap ekosistem lingkungan sekitarnya, akibat adanya perubahan struktur batuan yang diikuti dengan perubahan kualitas fisika dan kimia tanah serta air di sekitarnya.

2.2 Tipe Air Tambang

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

1) Air Tambang Tipe 1

Pada tipe ini adalah air asam tambang yang tidak atau sedikit mengandung alkalinitas ($\text{pH} < 4,5$) dan mengandung Fe, Al, Mn, dan logam lainnya, asam (H^+) dan oksigen dengan konsentrasi yang tinggi. Air asam tambang tipe ini disebut air asam tambang (*Acid Mine Drainage*). 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

Pada tipe ini kondisi air tambang adalah 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 dapat turun secara tajam sehingga berubah menjadi air tipe 1.

3) Air Tambang Tipe 3

Pada 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 asam tambang alkali (*alkaline mine drainage*). 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

Pada air tambang 4 ini adalah seperti Air asam tambang tipe 1 yang dinetralkan hingga $\text{pH} > 6$ 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

Pada tipe 5 ini adalah air tambang yang telah dinetralkan sehingga $\text{pH} > 6$ 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 asam tambang tipe 5 ini tidak akan terbentuk. Contoh warna air asam tambang yang mempunyai pH rendah dan terdapat Fe dan Mn di dalamnya ada pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Warna Air asam tambang

Sumber: ejurnal.bppt.go.id (diakses pada tanggal 25 Maret 2020)

2.3 Sumber Air Asam Tambang

Menurut Nasir *et al.* (2014), air asam tambang dapat terjadi pada kegiatan penambangan baik itu tambang terbuka maupun tambang tertutup. Keadaan ini terjadi karena sulfur yang terdapat di dalam batuan teroksidasi secara alamiah didukung dengan curah hujan tinggi yang semakin mempercepat perubahan oksida sulfur menjadi asam. Sumber-sumber air asam tambang berasal dari kegiatan sebagai berikut:

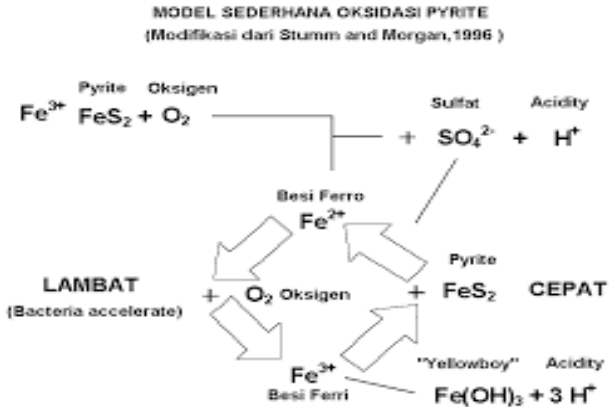
- 1) Air dari tambang terbuka. Air asam tambang dalam ini mudah dikenali atau diidentifikasi karena pH yang rendah. Air asam tambang ini memengaruhi peralatan tambang yang terbuat dari metal menjadi mudah mengalami korosi sehingga dapat menjadi hambatan

dalam pengoperasiannya, seperti air dari tambang terbuka, air dari unit pengolahan batuan buangan, air dari penimbunan bijih, air dari unit pengolahan limbah tailing.

- 2) Air dari unit pengolahan batuan buangan, material yang banyak terdapat pada limbah kegiatan penambangan adalah batuan buangan. Jumlah batuan buangan ini akan semakin meningkat seiring dengan kegiatan penambangan. Akibatnya, batuan buangan yang banyak mengandung sulfur akan banyak berkontak langsung dengan udara sehingga membentuk senyawa sulfur oksida. Selanjutnya dengan adanya air akan terbentuk air asam tambang.
- 3) Air dari penimbunan bijih, timbunan bijih ini berasal dari batuan sulfida dapat menghasilkan air asam tambang karena adanya kontak langsung dengan udara bebas yang kemudian terjadi pelarutan akibat adanya air yang berasal dari hujan. Air dari lokasi penimbunan ini merupakan sumber utama air asam tambang.
- 4) Air dari unit pengolahan limbah tailing, kandungan sulfur dalam tailing diketahui mempunyai potensi yang besar dalam membentuk air asam tambang di industri-industri pertambangan. Kolam pengendap (*tailing pond*) biasanya mempunyai permeabilitas yang kecil dan selalu diisi air yang mengandung limbah dari unit pengolahan, pH dalam kolam pengendap tailing ini biasanya cukup tinggi karena adanya penambahan kapur untuk menetralkan air yang bersifat asam dibuang ke dalamnya. Air yang masuk ke dalam kolam pengendap tailing bersifat asam tersebut diperkirakan akan menyebabkan limbah asam bila merembes keluar kolam pengendap *tailing*.

Menurut Suryandi dan Kusuma (2019), pembentukan air asam tambang dimungkinkan karena tersedianya Mineral sulfida sebagai sumber sulfur atau asam, oksigen (dalam udara) sebagai pengoksidasi, dan Air sebagai pencuci hasil oksidasi) . Reaksi pertama adalah reaksi pelapukan dari pirit disertai proses oksidasi. pirit dioksidasi menjadi sulfat dan besi fero. Dari reaksi ini

dihasilkan dua mol keasaman dari setiap mol pirit yang teroksidasi. Oksigen (O₂) terlarut dapat juga mengoksidasi tetapi kurang penting karena kelarutannya sangat terbatas. Reaksi ini dapat terjadi baik pada kondisi abiotik maupun biotik. Selain oksidasi langsung, pirit dapat juga terlarut dan selanjutnya teroksidasi. Contoh model sederhana oksidasi pirit dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Model Sederhana Oksidasi Pirit

Sumber: Stumm dan Morgan (1996)

Persamaan untuk oksidasi pirit menunjukkan bahwa material yang mengandung 1% sulfur dalam bentuk pirit akan menghasilkan reaksi sempurna membentuk sejumlah asam sulfat yang memerlukan 31,25 mg CaCO₃ untuk menetralkan 1000 mg material (Sobek 1978). Reaksi oksidasi pyrite dipengaruhi oleh beberapa faktor. Reaksi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Faktor yang Mempengaruhi Oksidasi Pirit

Reaksi	Sumber (Tahun)
Luas permukaan aktif dari pirit	Singer dan Stumm (1968)
Bentuk formasi dari pirit	Caruccio <i>et al.</i> (1988)

Reaksi	Sumber (Tahun)
Konsentrasi oksigen	Smith & Shumate (1970)
pH larutan	Caruccio <i>et al.</i> (1988)
Frekuensi pencucian	Caruccio <i>et al.</i> (1988)
Adanya bakteri <i>Tiobacillus</i>	U.S. Environmental Protection Agency (1971)

Sumber: Said, (2014)

2.4 Pembentukan Air Asam Tambang

Proses terjadinya air asam tambang merupakan proses fisika dan kimia yang kompleks dan menyangkut banyak faktor. Faktor-faktor utama dalam pembentukan air asam tambang yaitu adanya oksigen (O_2), air, dan mikroorganisme serta sumber kimiawi air asam tambang antara lain mineral-mineral sulfida (Johnson dan Hallberg, 2005). Sumber pembentukan air asam tambang ialah mineral sulfida yang terkandung pada batuan. Kegiatan penggalian dan penimbunan memungkinkan mineral sulfida yang awalnya terkandung dalam batuan di bawah permukaan, menjadi terekspos di udara terbuka dengan kondisi dimana terdapat air dan oksigen yang menyebabkan terjadinya proses oksidasi dan menghasilkan kondisi asam (Gautama, 2014). Terbentuknya air asam tambang ditandai dengan pH rendah (1,5 – 4), konsentrasi logam terlarut yang tinggi (besi, kadmium, mangan, tembaga, dll), nilai *acidity* yang tinggi (50 – 1500 mg/L $CaCO_3$), nilai sulfat yang tinggi (500 – 10000 mg/L), nilai salinitas (1 – 20 ms/cm) dan konsentrasi oksigen terlarut yang rendah.

Menurut Kaharapenni dan Noor (2015), Pembentukan air asam dimulai ketika adanya kontak antar udara dan air dengan batuan sekitar yang mengandung unsur sulfida. Batuan dan batubara yang mengandung mineral besi sulfida teroksidasi sehingga melepaskan besi fero, ion sulfat dan asam. Besi fero

selanjutnya teroksidasi kembali dan membentuk besi feric yang terhidrolisa membentuk ferichidroksida dan air asam. Besi feric berperan sebagai katalisator penguraian pada besi sulfida, dan yang menentukan besi fero, sulfat dan asam dalam jumlah yang besar. Ada 3 jenis sulfida dalam air maupun air limbah yaitu:

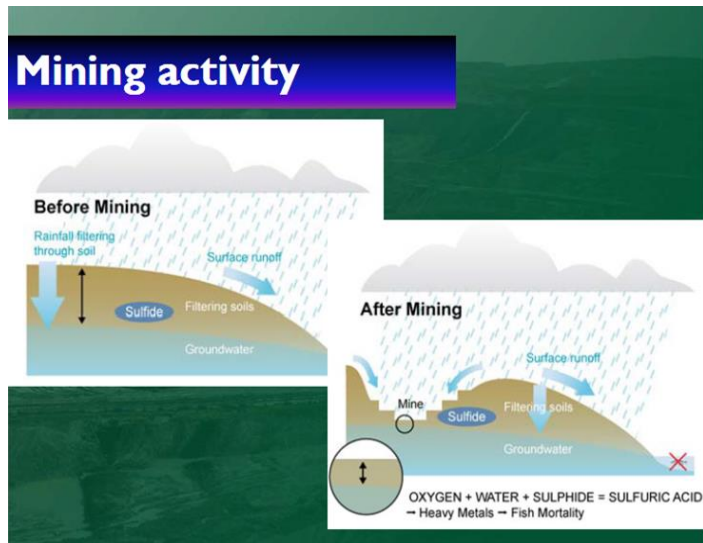
- Total sulfida: mencakup H_2S terlarut dan sulfida-sulfida logam tersuspensi yang dapat dihidrolisis dengan asam
- Sulfida terlarut: sulfida yang tertinggal setelah padatan tersuspensi dalam air dihilangkan dengan cara fluktuasi maupun pengendapan
- H_2S yang tidak terionisasi: H_2S jenis ini dapat dihitung dari konsentrasi H_2S terlarut, pH air, dan konstanta ionisasi H_2S .

Faktor-faktor kimia yang menentukan pembentukan air asam tambang adalah:

- pH (Derajat keasaman)
- Temperatur
- Kandungan Oksigen pada fase gas, dengan kejenuhan $<100\%$
- Kandungan Oksigen pada fase cair:
- Akumulasi kimia dari Fe^{3+}
- Luas permukaan mineral sulfida yang terpajang
- Energi Kimia yang dibutuhkan untuk menurunkan asam
- Peranan bakteri.

Menurut Patria (2008), untuk membedakan dengan air asam yang timbul akibat kegiatan lain seperti penggalian untuk pembangunan fondasi bangunan, pembuatan tambak dan sebagainya. Beberapa mineral sulfida yang ditemukan pada proses air asam tambang FeS_2 , CuS_2 , CuS , $CuFeS_2$, MoS_2 , NiS , PbS dan ZnS . Pirit merupakan mineral sulfida yang umum ditemukan pada kegiatan penambangan terutama batubara. Terbentuknya air asam tambang ditandai oleh pH yang rendah (1,5-4) konsentrasi logam terlarut yang tinggi, nilai acidity yang tinggi, nilai sulfat yang tinggi dan konsentrasi O_2 yang rendah. Cukup banyak teori yang menjelaskan mengenai air asam tambang yang dihasilkan dari kegiatan penambangan, seperti mineral logam, mineral bukan logam atau batuan lainnya (UU Pertambangan Mineral dan Batubara No. 4, 2009).

Menurut Suryadi dan Kusuma (2019), oksidasi mineral sulfida yang menghasilkan air asam terdiri dari beberapa rangkaian reaksi kimia. Setiap mineral sulfida mempunyai kecepatan reaksi yang berbeda-beda, hal ini terjadi karena jenis mineral dan karakteristik setiap batuan juga berbeda. Sebagai contoh *marcasite* dan *framboidal pyrite* akan teroksidasi lebih cepat dibandingkan dengan *crystalline pyrite* yang teroksidasi lebih lambat. Contoh aktivitas pembentukan air asam tambang sebelum dan sesudah dilakukan pertambangan dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Pembentukan Aktivitas Air Asam Tambang
 Sumber: gesi.co.id (diakses pada tanggal 17 Maret 2020)

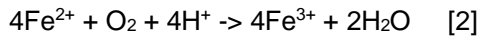
Menurut Mend Project, (1995). Rangkaian reaksi yang terjadi pada air asam tambang terjadi pembentukan air asam tambang dibagi berdasarkan beberapa reaksi, berikut adalah penjelasannya:

- Reaksi kimia pertama : pelapukan pyrite dan proses oksidasi.



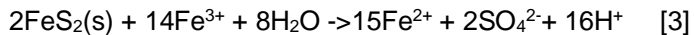
Pada reaksi di atas, oksidasi ion hydrogen dan sulfat akan menghasilkan asam sulfur dalam larutannya dan ion Fe²⁺ bebas untuk bereaksi lebih lanjut. Oksidasi ion ferrous menjadi ion ferric terjadi pada pH lebih rendah.

- Reaksi kimia kedua : perubahan dari ion ferrous menjadi ion ferric.



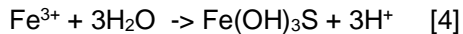
Pada pH di antara 3,5 dan 4,5, oksida besi sebagai katalis dari variasi metallogenium (filamentous bacterium). Pada pH di bawah 3.5 reaksi yang sama sebagai katalis besi dari *bacterium Thiobacillus Ferrooxidans*. Apabila ion ferri bertemu dengan pirit maka akan terjadi reaksi melebur dengan pirit.

- Reaksi kimia ketiga : perubahan ion ferric menjadi ion ferrous karena dengan kehadiran air dan pyrite.



Reaksi ini menghasilkan lebih banyak asam. Terputusnya ikatan pyrite oleh ion ferric (Fe³⁺) berkaitan dengan ion ferrous. Ion ferric mengendap sebagai hidroksi besi oksida dicirikan oleh reaksi di bawah ini.

- Reaksi kimia keempat : hidrolisa besi yang memisahkan molekul air.



Fe(OH)₃ mengendap dan diidentifikasi sebagai deposit dari amorphous, warna kuning, oranye, atau merah yang terendap di dasar aliran air dikenal sebagai "yellow boy". Apabila pH di bawah 2,5, maka larutan kimia dicirikan dengan konsentrasi sulfat dan total iron yang tinggi dan ratio Fe³⁺/ Fe²⁺ juga tinggi.

2.5 Karakteristik Air Asam Tambang

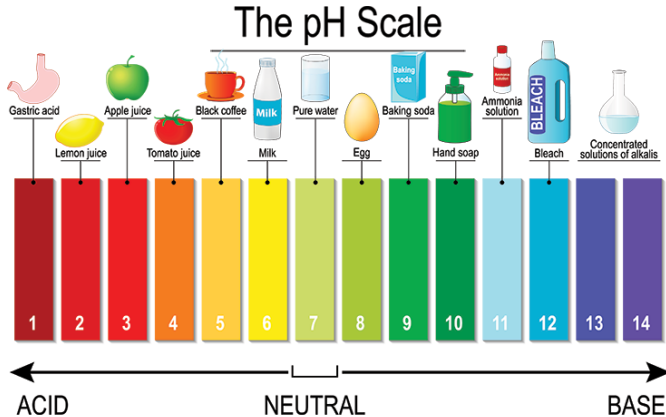
Pada pertambangan batubara, terdapat 4 parameter menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 tahun 2003 dan Peraturan Gubernur Kalimantan Selatan No.036 Tahun 2008 yaitu pH, *Total Suspended Solid* (TSS), Besi (Fe), dan Mangan (Mn). Oleh karena itu, Air asam tambang cenderung relatif tinggi mengandung unsur-unsur tersebut. Menurut Suryadi dan Kusuma (2019), karakterisasi air asam dari dinding tambang sangat penting diketahui terutama untuk penambangan skala besar dan secara geokimia sebagian besar dinding tambangnya pada air asam tambang mencapai pit limit tergolong batuan *Potential Acid Forming* (PAF).

Apabila karakterisasi air asam dinding tambang tidak diketahui, akan mengalami kesulitan dalam pengelolaan air asam di *pit lake*. Kesulitan lain akan muncul pada air asam tambang kegiatan penutupan tambang. Hal ini dapat menyebabkan program pengelolaan air asam tambang mengalami kesulitan teknis untuk menentukan program pengelolaan yang efektif. Oleh sebab itu, pemetaan air asam dinding tambang perlu diketahui lebih awal untuk diproyeksikan ke kondisi dinding tambang pada air asam tambang penutupan tambang (*mine closure*). Menurut Binnie *et al.* (2002), Dengan mengetahui karakteristik air asam yang akan diolah maka proses pengolahan limbah akan berjalan efektif. Maka sangat penting dan perlu dilakukan studi literatur ini untuk mengetahui karakterisasi air asam yang berada dalam kolam bekas tambang batubara dan dampaknya terhadap lingkungan sekitar. Beberapa peneliti telah menemukan bahwa air asam tambang memiliki pH yang rendah, sulfat yang tinggi, dan mengandung logam berat dan bersifat toksik seperti Fe, Mn, Pb, Cd, Hg, As, Al, Cr, Ni, Zn, Co, Cu (Yunus, 2014; Prihantini, 2014; Elisa *et al.*, 2006; Blodau, 2006; Dowling *et al.*, 2004; Achterberg *et al.*, 2003).

2.5.1 Power of Hydrogen (pH)

Menurut Annisa (2018), pH merupakan istilah yang digunakan menunjukkan intensitas asam atau basa dari suatu larutan. Nilai pH merupakan nilai yang menunjukkan konsentrasi ion hidrogen atau aktivitas ion hidrogen. Secara definisi pH adalah ukuran aktivitas hidrogen bebas dalam air dan dapat dinyatakan sebagai: $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$. 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. Contoh keterangan skala pH dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skala pH.

Sumber: sciencenew.co.id (diakses pada tanggal 17 Maret 2020).

Air limbah dengan pH rendah dapat dinetralkan dengan berbagai jenis bahan kimia misalnya sodium hidroksida atau sodium karbonat, yang 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 *dolomitic lime* (kapur dengan kadar kalsium tinggi).

2.5.2 Total Suspended Solid (TSS)

Menurut Jiyah (2017), Total Suspended Solid (TSS) merupakan zat yang tersuspensi biasanya terdiri dari zat organik dan anorganik yang melayang-layang dalam air, secara fisika zat ini sebagai penyebab kekeruhan pada air. Limbah cair asam tambang yang mempunyai kandungan zat tersuspensi tinggi tidak

boleh langsung dialirkan ke badan air karena dapat menghalangi sinar matahari masuk kedalam dasar air sehingga proses fotosintesa mikroorganisme tidak dapat berlangsung, TSS juga dapat menyebabkan pendangkalan pada badan air. Menurut Effendi (2002), TSS adalah kepadatan tersuspensi yang umumnya terdapat dalam senyawa organik dan senyawa anorganik. Pada pemeriksaan laboratorium TSS merupakan padatan yang tertahan pada saringan yang terdiri dari bagian yang bisa mengendap dan bagian yang tidak bisa mengendap. TSS merupakan padatan yang menyebabkan kekeruhan, tidak terlarut dan tidak mengendap langsung.

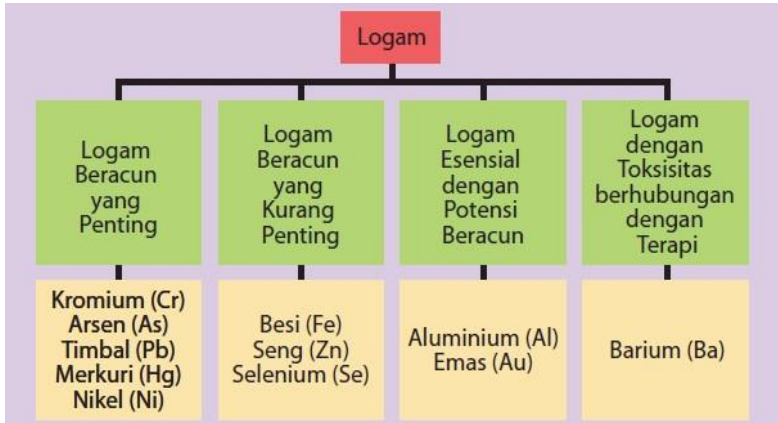
2.6 Logam Berat

Menurut Palar 2008 dalam Rosmiati (2015), berbeda dengan logam biasa, logam berat menimbulkan efek-efek khusus pada makhluk hidup dapat dikatakan semua logam berat dapat menjadi bahan racun yang akan dapat meracuni tubuh makhluk hidup. Sebagai contoh adalah logam air raksa (Hg), cadmium (Cd), timah hitam (Pb), mangan (Mn), besi (Fe). Meskipun semua logam berat dapat mengakibatkan keracunan atas makhluk hidup, sebagian dari logam berat tersebut tetap dibutuhkan oleh makhluk hidup. Karena dibutuhkan dalam tubuh maka disebut logam esensial, logam beresensial ini adalah tembaga (Cu), seng (Zn), besi (Fe), magnesium (Mg).

Menurut Andrinaldi (2019), logam berat adalah unsur yang mempunyai densitas lebih dari 5 gr/cm^3 . Logam-logam berat merupakan salah satu dari bahan pencemar lingkungan, dan beberapa dari unsur logam tersebut merupakan logam yang paling berbanaya, diantara unsur-unsur logam berat pencemar tersebut adalah Arsen (As), Timbal (Pb), Merkuri (Hg) dan Kadmium (Cd).

Sifat dari logam-logam ini adalah mempunyai afinitas yang besar dengan sulfur (belerang). Logam-logam ini menyerang ikatan sulfida pada molekul-molekul penting sel misalnya protein (enzim), sehingga enzim tidak berfungsi. Ion-ion logam berat bisa terikat pada molekul penting membran sel yang menyebabkan terganggunya proses transpor melalui membran sel.

Contoh penggolongan logam yang dapat dikategorikan beracun dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Penggolongan Logam Beracun
Sumber: biology.co.id (diakses pada tanggal 17 Maret 2020).

Retensi logam berat pada konsentrasi tinggi di lingkungan memberikan efek toksik pada fauna dan flu (Xue *et al.*, 2010). Menurut Hanif *et al.* (2009), metode konvensional (fisik dan kimia) untuk menghilangkan logam beracun tersedia, tetapi metode biologis telah direkomendasikan sebagai alternatif yang lebih murah dan efektif untuk menghilangkan dan memulihkan logam berat dari larutan berair. Menurut Dhir *et al.* (2009), Biomassa tumbuhan air merupakan sumber daya hayati yang melimpah yang memiliki kapasitas besar untuk mengakumulasi logam berat dan karenanya telah dieksploitasi di seluruh dunia untuk mengembangkan teknologi pengolahan air limbah ramah lingkungan untuk menghilangkan logam berat.

2.6.1 Besi (Fe)

Menurut Febrina dan Ayuna (2014), besi adalah salah satu elemen kimia yang ditemui hampir setiap tempat di bumi, pada semua lapisan geologis dan semua badan air. Pada umumnya, besi yang ada di dalam air dapat bersifat terlarut sebagai Fe^{2+} (ferro) atau Fe^{3+} (ferri): tersuspensi sebagai butir koloidal (diameter $< 1 \mu\text{m}$) atau lebih besar, seperti Fe_2O_3 , FeO , $\text{Fe}(\text{OH})_2$,

$\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan sebagainya: bergabung dengan zat organik atau zat padat yang inorganik (seperti tanah liat). Pada air permukaan jarang ditemui kadar Fe lebih besar dari 1 mg/L, tetapi di dalam air tanah kadar Fe dapat jauh lebih tinggi. Konsentrasi Fe yang tinggi ini dapat dirasakan dan dapat menodai kain dan perkakas dapur. Besi merupakan zat tunggal yang secara kimia tidak dapat diuraikan lagi menjadi zat-zat lain yang lebih sederhana dengan karakteristik antara lain: permukaan mengkilap, penghantar listrik dan panas, pada suhu kamar berwujud padat, masuk golongan VIII dari tabel periodik, lambang atom Fe, nomor atom 26 (Supriyadi, 2010).

Di dalam tanah berada dalam batuan yang tidak mudah larut dan berbentuk ferrioksida serta ferrous karbonat yang sedikit larut dalam air. Apabila konsentrasi besi terlarut dalam air melebihi batas yang dipersyaratkan maka akan menyebabkan masalah yaitu gangguan teknis, fisik dan kesehatan. Besi (Fe) dibutuhkan tubuh untuk pembentukan hemoglobin. Banyaknya besi dalam tubuh dikendalikan oleh fase adsorpsi. Air minum yang mengandung besi cenderung menimbulkan rasa mual apabila dikonsumsi. Sekalipun Fe diperlukan oleh tubuh, tetapi dalam dosis yang besar dapat merusak dinding usus. Kematian sering disebabkan oleh rusaknya dinding usus ini. Kadar Fe yang lebih dari 1 mg/L akan menyebabkan terjadinya iritasi pada mata dan kulit. Apabila kelarutan besi dalam air melebihi 10 mg/L akan menyebabkan air berbau seperti telur busuk. Debu Fe juga dapat diakumulasi dalam alveoli dan menyebabkan berkurangnya fungsi paru-paru (Slamet, 2004).

Menurut Organisasi Kesehatan Dunia *World Health Organization* (WHO) (1993), merekomendasikan 0,3 mg/L sebagai batas konsentrasi maksimum zat besi dalam air minum. Peraturan federal dan negara bagian membatasi kandungan besi air minum hingga <1 ppm, meskipun zat besi mudah ditentukan dalam air yang terkontaminasi yang mengandung >1 ppm (1 mg/L). Zat besi lebih dari 0,2 hingga 0,3 mg/L dapat menyebabkan gangguan walaupun keberadaannya tidak mempengaruhi kualitas air higienis (0 hingga 0,3 mg/L dapat diterima. Pada 0,3 hingga 1,0 mg/L memuaskan dan lebih dari 1,0 mg/L (tidak memuaskan) (Adebayo *et al.*, 2011).

2.6.2 Mangan (Mn)

Mangan adalah kation logam yang memiliki karakteristik kimia serupa dengan besi. Mangan berada dalam bentuk manganous (Mn^{2+}) dan manganik (Mn^{4+}) (Nasir *et al.*, 2014). Pada perairan dengan kondisi anaerob akibat dekomposisi bahan organik dengan kadar Mn tinggi, Mn^{4+} senyawa mangan dioksidasi mengalami reduksi menjadi Mn^{2+} yang bersifat larut. Mn^{2+} berikatan dengan nitrat, sulfat, dan klorida dapat larut dalam air (Cole, 1998). Jika perairan mendapat cukup aerasi, Mn^{2+} mengalami oksidasi menjadi Mn^{4+} selanjutnya mengalami pengendapan di dasar perairan (Moore, 1991).

Kadar mangan pada perairan alami terdapat 0,2 mg/L atau kurang dari nilai tersebut. Kadar lebih besar terdapat pada air tanah dan danau yang dalam. Perairan yang asam dapat mengandung mangan sekitar 10 – 150 mg/L. Sedangkan pada perairan laut terdapat 0,002 mg/L (McNelly *et al.*, 1979). Kadar mangan pada perairan tawar bervariasi antara 0,002 – 4,0 mg/L dan pada air minum kandungan mangan yang diperbolehkan memiliki nilai 0,05 mg/L (Moore, 1991).

2.7 Dampak Air Asam Tambang

Dampak yang dapat ditimbulkan akibat Air asam tambang adalah terjadinya pencemaran lingkungan, dimana komposisi atau kandungan air di daerah yang terkena dampak tersebut akan berubah sehingga dapat mengurangi kesuburan tanah, mengganggu kesehatan masyarakat sekitarnya, dan dapat mengakibatkan korosi pada peralatan tambang (Baiquni, 2007). Menurut Nasution (2015), terbentuknya air asam tambang di lokasi penambangan akan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, antara lain sebagai berikut:

a. Masyarakat di Sekitar Wilayah Tambang

Air asam tambang memiliki dampak yang cukup berbahaya dalam kehidupan manusia. Logam berat yang terkandung dalam air asam tambang bersifat sangat beracun bagi makhluk hidup. Jika masuk ke dalam tubuh, logam berat akan mengalami bioakumulasi atau tinggal di dalam jaringan hidup dan dapat berpindah melalui rantai makanan. Pada tubuh manusia, tembaga (Cu) dapat mengakibatkan depresi, mempengaruhi fungsi hati dan

ginjal serta menimbulkan gangguan pada pembuluh darah.

b. Biota Perairan

Dampak negatif untuk biota perairan adalah terjadinya perubahan keanekaragaman biota perairan seperti *plankton* dan *benthos*. Kehadiran *benthos* dalam suatu perairan dapat digunakan sebagai indikator kualitas perairan. Pada perairan yang baik dan subur *benthos* akan mengalami kelimpahan, sebaliknya pada perairan yang kurang subur *benthos* tidak akan mampu bertahan hidup. Selain itu, air asam tambang dapat mengganggu kehidupan flora dan fauna pada lahan bekas tambang maupun kehidupan yang berada di sepanjang aliran sungai yang terkena dampak dari aktivitas penambangan.

c. Bagi kualitas air permukaan Terbentuknya Air asam tambang hasil oksidasi pirit akan menyebabkan menurunnya kualitas air permukaan. Parameter kualitas air yang mengalami perubahan diantaranya pH, padatan terlarut, sulfat, besi dan mangan.

d. Kualitas air tanah Ketersediaan unsur hara merupakan faktor yang paling penting untuk pertumbuhan tumbuhan. Tanah yang asam banyak mengandung logam-logam berat seperti besi, tembaga, seng yang semuanya ini merupakan unsur hara mikro. Akibat kelebihan unsur hara mikro dapat menyebabkan keracunan pada tumbuhan, ini ditandai dengan busuknya akar tumbuhan sehingga tumbuhan menjadi layu dan akhirnya akan mati.

Apabila air asam tambang tidak dikelola dengan baik dan mengalir ke badan air (sungai, danau, air tanah, dan sebagainya), maka akan menyebabkan kehidupan biota air menjadi terganggu atau bahkan punah. Menurut Chris Clarke (2015), hal ini disebabkan keseimbangan lingkungan air terganggu karena air yang bersifat asam dan mudah melarutkan logam-logam yang akan meracuni biota air. Keberadaan air asam tambang merupakan salah satu dampak penting akibat kegiatan penambangan yang harus dikelola dengan serius dan bertanggung jawab. Hal ini dilakukan karena sudah banyak kejadian pencemaran air asam tambang yang tidak dikelola dengan baik dan telah menyebabkan pencemaran lingkungan.

Perlu dipahami bahwa apabila air asam tambang sudah terbentuk, maka akan sulit sekali menghentikannya, kecuali salah satu komponen pembentuk asam habis.

2.8 Baku Mutu Air Limbah Pertambangan

Operator tambang batubara harus memenuhi standar kinerja untuk reklamasi tanah bekas tambang, terutama yang berhubungan dengan air asam tambang. Oleh karena itu, pengolahan air asam tambang perlu dilakukan agar efluen air limpasan dari bekas tambang yang masuk ke perairan tidak mencemari lingkungan. Standar efluen atau baku mutu air limbah kegiatan penambangan menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup RI No.113 Tahun 2003 diberikan pada Tabel di atas.

Berdasarkan baku mutu limbah pertambangan batubara yaitu Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batubara, maka parameter untuk mengukur limbah air asam tambang dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Baku Mutu Air Limbah Bagi Kegiatan Batubara

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6 – 9
Padatan Tersuspensi (TSS)	mg/L	400
Besi (Fe)	mg/L	7
Mangan (Mn)	mg/L	4

Sumber: Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 113 tahun 2003

Selain peraturan mengenai baku mutu limbah pertambangan batubara yaitu Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batubara, terdapat

peraturan lain yang mengatur tentang pertambangan pada daerah Kalimantan Selatan yaitu Peraturan Gubernur Kalimantan Selatan No.36 Tahun 2008 yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Baku Mutu Limbah Cair Air Asam Tambang

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
TSS	-	200
pH	mg/L	6-7
Besi (Fe) total	mg/L	7
Mangan (Mn) total	mg/L	4

Sumber : Peraturan Gubernur Kalimantan Selatan No.036 Tahun 2008

Pada kedua baku mutu di atas (Tabel 3.2 dan Tabel 3.3), ada perbedaan baku mutu mengenai TSS (Total Suspended Solid) dan pH. Pada peraturan baku mutu air limbah Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 tahun 2003 Total Suspended Solid (TSS) adalah 400 mg/L dan pH berada diantara 6-9, sedangkan pada peraturan Peraturan Gubernur Kalimantan Selatan No.036 Tahun 2008 Total Suspended Solid (TSS) adalah 200 mg/L dan pH berada diantara 6-7.

2.9 Teknik Pengolahan Air Asam Tambang

Menurut Yusron (2009), teknologi pengolahan air asam tambang dapat dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu proses pengolahan aktif dan proses pasif. Proses aktif dilakukan dengan cara penambahan bahan alkali secara terus menerus untuk menetralkan limbah air asam tambang, sedangkan istilah proses pasif adalah penggunaan lahan basah (*wetland*) baik secara alami maupun buatan. Beberapa peneliti mengemukakan bahwa kelebihan dari proses pasif adalah biaya yang dibutuhkan lebih sedikit dibandingkan proses aktif.

Menurut Dewani (2015), air asam tambang merupakan limbah yang berbahaya sebab mengandung logam-logam berat dan sulfat yang tinggi. Pengolahan air asam tambang dapat dilakukan melalui dua cara, yaitu secara aktif maupun pasif. Pengolahan secara aktif adalah melalui penambahan bahan kimia bersifat alkali. Pengolahan yang paling umum digunakan adalah dengan metode mengolah debit air asam tambang dengan pengolahan aktif dimana pengolahan menggunakan kimia penetral yang ditambahkan terus menerus ke air asam tambang, (Johnson and Hallberg dalam Newcombe, (2009).

Pengolahan air asam tambang dapat dilakukan dengan cara netralisasi, yaitu dengan menambahkan bahan kimia yang bersifat basa. Bahan kimia yang umum digunakan untuk netralisasi ini adalah kapur (CaCO_3), hydrated lime (Ca(OH)_2), soda-ash (Na_2CO_3), atau caustic soda (NaOH).

Di bawah ini, akan dijelaskan mengenai kelebihan serta kekurangan dari masing-masing pengolahan berdasarkan beberapa literatur pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Kelebihan dan Kekurangan Teknologi Pengolahan Aktif dan Pasif

Metode Pengolahan	Kelebihan	Kekurangan
Pengolahan Aktif	Sejauh ini dianggap efektif untuk pengolahan air asam tambang karena menggunakan bahan-bahan kimia untuk menetralsasi air asam tambang secara cepat dibandingkan pengolahan pasif (Womal dan Nurkhamin, 2019)	Biaya peralatan yang dibutuhkan sangat mahal (Womal dan Nurkhamin, 2019)

Metode Pengolahan	Kelebihan	Kekurangan
		Biaya untuk membeli bahan kimia yang mahal (Batu kapur/ <i>Limestone</i> , Kapur Tohor, dan lain-lain) (Suryadi dan Kusuma, 2019)
		Mebutuhkan tenaga kerja untuk operasi dan pemeliharaan (Womal dan Nurkhamin, 2019)
Pengolahan Pasif	Biaya yang dikeluarkan lebih murah daripada pengolahan aktif (Said, 2014)	Mebutuhkan lahan yang luas sebagai tempat untuk pengaliran air asam tambang serta waktu yang lama (Said, 2014)
	Tidak membutuhkan tenaga kerja yang banyak serta <i>stand by</i> karena sifatnya yg alamiah (Hidayat, 2017)	
	Lebih efisien karena memanfaatkan tumbuhan sebagai fitoremediasi untuk air asam tambang (Hidayat, 2017)	
	Perawatan secara periodik tidak terlalu sering dilakukan karena	

Metode Pengolahan	Kelebihan	Kekurangan
	sifatnya yang alami (Said, 2014)	
	Dapat menyesuaikan kontur lahan.	

Sumber: Hidayat,(2017), Said (2014), Suryadi dan Kusuma (2019), Womal dan Nurkhamin (2019)

2.9.1 Pengolahan Aktif

Sistem pengolahan aktif adalah pengolahan air asam tambang menggunakan bahan kimia alkali untuk meningkatkan pH air, menetralkan keasaman dan pengendapan logam. Meskipun efektif, pengolahan aktif menghabiskan biaya yang cukup banyak (Skousen, 1990). Pengolahan air asam tambang secara aktif (*active treatment*) umumnya menggunakan bahan kimia yang mengandung kapur, bisa dalam bentuk CaCO_3 , Ca(OH)_2 , CaO atau penambahan soda kaustik (NaOH) dan amoniak (NH_3). Menurut Sayoga (2012), pengelolaan aktif adalah mencampur air asam tambang dengan jenis material yang bersifat basa (alkali), misalnya: batu kapur (CaCO_3), hydrated lime $\{\text{Ca(OH)}_2\}$, kapur tohor (CaO), soda abu (Na_2CO_3), caustic soda (NaOH), magna lime (MgO), dan lain-lain. Pengolahan secara aktif memerlukan sumber daya (material dan tenaga kerja) yang menerus dan dengan biaya sangat mahal. Salah satu contoh pengolahan secara aktif yang menggunakan penambahan kapur dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Pengolahan Air Asam Tambang Secara Aktif

Sumber: ejurnal.bppt.go.id (diakses pada tanggal 26 Februari 2020)

Pengelolaan aktif adalah cara mengelola air asam tambang yang sifatnya sementara dan umumnya berlangsung selama kegiatan penambangan saja. Menurut Said (2014), untuk melakukan pemilihan sistem pengolahan aktif, beberapa hal yang harus diperhatikan antara lain adalah debit aliran air baku, pH, Total Suspended Solid (TSS), keasaman atau alkalinitas dalam mg/L sebagai CaCO_3 , konsentrasi Fe dan Mn, badan air penerima dan penggunaannya, ketersediaan listrik, jarak antara penambahan bahan kimia dan tempat air masuk ke kolam pengendap, volume serta bentuk kolam pengendap. Setelah mengevaluasi variabel-variabel tersebut selama periode waktu tertentu, operator dapat mempertimbangkan secara ekonomi terhadap bahan kimia berbeda dan alternatif sistem pengolahan aktif. Bahan kimia yang sering digunakan di dalam pengolahan Air asam tambang secara aktif antara lain adalah batu kapur (*limestone*), kalsium hidroksida (*hydrate lime*), Kalsium oksida atau kapur tohor (*quick lime*), soda api atau caustic soda, amoniak dan lainnya.

2.9.2 Pengolahan Pasif

Menurut Pulles *et al.*, (2004), pengelolaan pasif adalah pengelolaan secara alami yang tidak memerlukan intervensi manusia, walaupun infrastrukturnya dibuat oleh manusia. Pengelolaan sumber daya yang tersedia di alam seperti gradien topografi, mikroba, fotosintesis dan energi kimia), tetapi tetap memerlukan pemeliharaan secara reguler untuk dapat berfungsi selamanya. Teknik pengolahan pasif yang banyak digunakan dalam pengolahan air asam tambang adalah dengan menggunakan lahan basah buatan (*constructed wetland*) yang meliputi lahan basah aerob dan lahan basah anaerob. Lahan basah aerob adalah sistem lahan basah yang relatif dangkal yang beroperasi dengan aliran permukaan. Air asam tambang dialirkan pada permukaan *wetland* yang biasanya ditumbuhi oleh tumbuhan sejenis cattail (*Typha sp.*) yang tumbuh di atas tanah atau substrat organik. Salah satu contoh pengolahan secara pasif dalam air asam tambang dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Pengolahan Air Asam Tambang Secara Pasif
Sumber: ejurnal.bppt.go.id (diakses pada tanggal 26 Februari 2020)

Menurut Johnson dan Hallberg (2002), tumbuhan lahan basah yang ditanam pada sistem aerob ditanam untuk mengatur aliran air dan menyaring serta menstabilkan endapan besi yang terakumulasi. Selain itu, adanya tumbuhan pada sistem lahan basah aerob memberikan kontribusi meningkatkan kandungan

bahan organik melalui zat-zat hasil sekresi dan dekomposisi sisa tumbuhan. Pada sistem lahan basah aerob, pengurangan konsentrasi logam sebagian terjadi karena proses pengendapan logam dengan adanya reduksi sulfat secara biologi, dan sebagian kecil juga diserap oleh tumbuhan. Keuntungan dari sistem ini adalah biaya yang dibutuhkan relatif kecil dibandingkan dengan sistem aktif. Namun demikian sistem ini juga mempunyai kelemahan, diantaranya adalah membutuhkan lahan yang luas dan hasil kinerja dari sistem ini tidak dapat diprediksi seperti pada pengolahan aktif.

Menurut Sayoga (2012), Contoh sistem pengelolaan pasif antara lain: lahan basah aerobik (aerobic wetlands), anoxic limestone drains (ALD), lahan basah anaerobik (anaerobic wetlands), reducing and alkalinity producing systems (RAPS) dan open limestone drains (OLD). Pengelolaan pasif adalah cara pengelolaan air asam tambang jangka panjang dan dapat terus berlangsung selama dan setelah penambangan selesai (*mine closure*).

2.10 Fitoremediasi

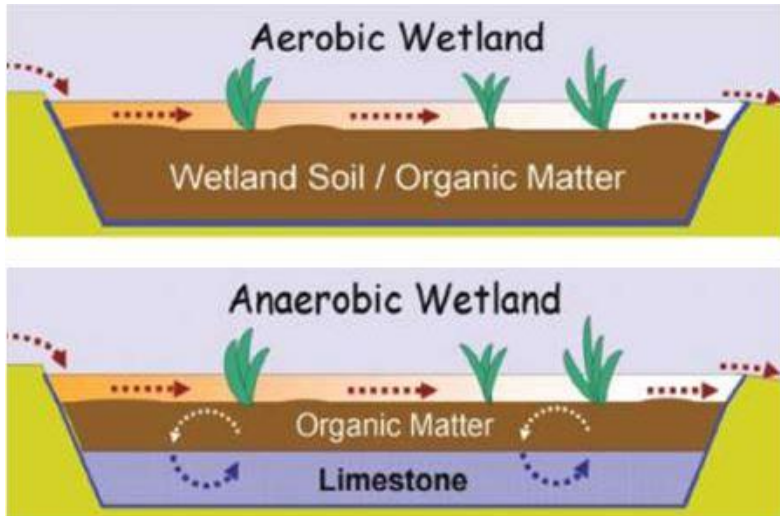
2.10.1 Pengertian Fitoremediasi

Menurut Sumarsih 2008, fitoremediasi terdiri dari dua kata, phyto yang berasal dari bahasa Yunani yang berarti tumbuhan dan remediasi yang berarti penyembuhan. Fitoremediasi dapat diartikan sebagai pemecahan masalah atau kekurangan. Fitoremediasi adalah proses bioremediasi yang menggunakan berbagai tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan dan / atau menghancurkan kontaminan dalam tanah dan air bawah tanah. Oleh karena itu, fitoremediasi dapat didefinisikan sebagai penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan, atau menghancurkan polutan, baik senyawa organik maupun anorganik. Dengan kata lain, fitoremediasi dapat diterapkan pada limbah organik dan anorganik serta elemen logam (As, Cd, Cr, Hg, Pb, Fe, Mn, Zn, Ni dan Cu) dalam bentuk padat, cair atau gas (Salt *et al.*, 1998).

Sedangkan menurut Aslam (2017), fitoremediasi merupakan suatu metode yang dapat mengubah zat kontaminan menjadi kurang atau tidak berbahaya lagi dengan bantuan tumbuhan hijau, dimana tumbuhan tersebut dapat menstabilkan,

dan menghancurkan zat kontaminan. Fitoremediasi merupakan strategi remediasi yang murah, efisien, dapat diterapkan secara insitu, dan ramah lingkungan yang dikendalikan oleh sinar matahari dengan tumbuhan untuk mengurangi pengaruh bahan pencemar dalam lingkungan (Handayanti, 2017). Fitoremediasi juga merupakan bagian dari konsep teknologi alami yang memusatkan peran tumbuhan sebagai solusi penyelesaian permasalahan lingkungan, atau dikenal dengan istilah Fitoteknologi (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010). Fitoremediasi umumnya menggunakan tumbuhan akuatik dalam lahan basah buatan sebagai pengolahan perairan dari pencemaran limbah cair.

Menurut Verbruggen *et al.* (2009), peran kunci lain dalam hiperakumulasi logam berat pada tumbuhan tampaknya dipimpin oleh akar, yang merupakan bagian tumbuhan pertama yang menghadapi polusi logam berat. Oleh karena itu mekanisme serapan molekuler pada permukaan akar adalah subjek dari studi intensif pada spesies yang terakumulasi secara berlebihan. Tumbuhan yang termasuk *hyperaccumulator* dengan cepat dan efisien mentranslokasi elemen-elemen ini dari akar ke bagian lebih dalam melalui xilem, karena fitur spesifik tonoplast sel akar. Mengenai penyerapan dan translokasi logam berat, ada pengetahuan yang sangat terbatas tentang hubungannya dengan organisasi dan pengembangan jaringan akar (Lasat *et al.*, 2000). Contoh fitoremediasi pada lahan bekas penambangan batu bara dengan *aerobic wetland* dan *anaerobic wetland* dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Fitoremediasi Lahan Bekas Penambangan
 Sumber: Badan Litbang dan Inovasi

Menurut Obinna dan Ebere (2019), fitoremediasi adalah metode yang ramah lingkungan dan tidak mahal dengan menggunakan tumbuhan untuk membersihkan media yang terkontaminasi. Prosesnya melibatkan polutan mengumpul pada tumbuhan oleh akar dan dapat terurai menjadi kurang bentuk berbahaya atau menumpuk di jaringan. Menurut Serang dkk. (2018), tumbuhan yang mampu mengakumulasi pencemar dalam konsentrasi yang tinggi disebut sebagai hiperakumulator. Beberapa tumbuhan air yang seringkali menjadi gulma telah banyak dalam remediasi pencemaran logam berat dalam lingkungan perairan. Selain itu menurut Laghimi *et al.* (2015), menggunakan metode fitoremediasi memiliki kelebihan dan kekurangan. Berikut kelebihan dan kekurangan metode fitoremediasi menurut Laghimi *et al.* (2015) pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Kelebihan dan Kekurangan Fitoremediasi

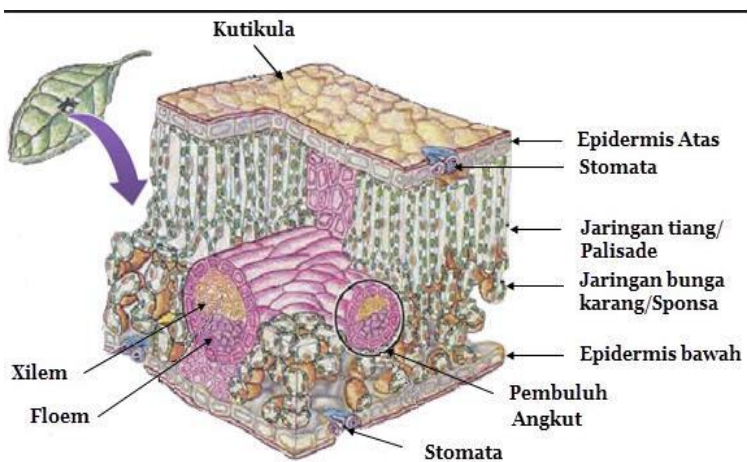
Kelebihan Fitoremediasi	Kekurangan Fitoremediasi
Biaya untuk operasi dan pengadaan murah	Waktu yang dibutuhkan untuk meremediasi lama
Berpotensi untuk meremediasi berbagai kontaminan dalam satu tempat pencemaran	Hiperakumulasi cenderung lebih lambat jika dibandingkan dengan operasi yang sebenarnya
Solusi remediasi tetap atau permanen	Tidak dapat mereduksi pencemar 100% dengan sempurna
Secara ekonomi, fitoremediasi lebih menguntungkan jika dibandingkan dengan metode lain	Kontaminan mengandung pencemar yang tinggi menjadikan tumbuhan toksik
Tumbuhan dapat digunakan untuk keperluan yang lain	Terbatas untuk tempat dengan konsentrasi pencemar rendah
Aman bagi lingkungan	Fitoremediasi hanya dapat dijangkau pada jangkauan tumbuhan
Cocok untuk memberi mineral pada bahan organik	Tumbuhan harus dapat tumbuh di tempat pencemar

Sumber: Laghimi *et al.*, 2015

Menurut Oh *et al.* (2014), proses fitoremediasi bergantung pada kemampuan tumbuhan dalam mengambil dan memetabolisme polutan menjadi zat yang kurang beracun. Penyerapan, akumulasi dan degradasi kontaminan bervariasi dari tumbuhan ke tumbuhan. tumbuhan digunakan dalam fitoremediasi umumnya dipilih berdasarkan tingkat pertumbuhan dan biomassa, kemampuannya untuk menoleransi dan menumpuk kontaminan, kedalaman zona akar, dan potensi mereka untuk mengambil air tanah. Menurut Siahaan dkk. (2014), jenis tumbuhan untuk fitoremediasi harus tepat dalam meremediasi pencemar. Sedangkan menurut Obinna dan Ebere (2019), fitoremediasi dapat didefinisikan sebagai penggunaan yang efisien tumbuhan untuk

menghilangkan, mendetoksifikasi atau melumpuhkan kontaminan lingkungan dalam matriks pertumbuhan (tanah, air, dan sedimen) melalui aktivitas dan proses biologis alami, kimia atau fisik tumbuhan.

Kemampuan fitoremediasi lebih efisien bila menggunakan konsentrasi polutan yang sesuai. Konsentrasi polutan yang sangat tinggi tidak memungkinkan tumbuhan untuk tumbuh atau bertahan hidup. Konsentrasi polutan terlalu rendah menyebabkan fitoremediasi tidak efisien karena penurunan konsentrasi polutan yang terjadi lebih rendah daripada kemampuan optimum tumbuhan yang dapat dilakukan tumbuhan dalam menurunkan konsentrasi polutan. Di bawah ini adalah contoh struktur jaringan tumbuhan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Struktur Jaringan Tumbuhan

Sumber: Authorstream (Diakses pada tanggal 12 Mei 2020)

Gambar berikut ditujukan untuk memudahkan serta memberi gambaran terkait kemampuan tumbuhan dalam menyerap pencemar. Mengacu pada data sekunder dan telah dilakukan pada studi literatur sebelumnya, didapatkan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kemampuan tumbuhan dalam

menyerap pencemar. Pada dasarnya kemampuan menyerap logam memang dimiliki oleh semua tumbuhan, hanya saja jumlah logam yang diserapnya bervariasi tergantung dari jenis tumbuhan dan jenis pencemarnya. Berikut adalah penjelasan mengenai kemampuan fitoremediasi tumbuhan secara umum menurut Irawanto *et al.* (2014), Dalam prosesnya logam akan diserap oleh akar yang nantinya akan ditranslokasikan ke bagian lainnya seperti batang, daun, dan bunga untuk selanjutnya disimpan, diolah, dan dibuang.

Selain itu terdapat tiga (3) proses yang terjadi pada mekanisme penyerapan logam pada tumbuhan yaitu: penyerapan oleh akar, translokasi logam ke bagian tumbuhan lainnya, dan lokalisasi (penempatan) logam pada sel dan jaringan tumbuhan (Hardiani, 2009). Proses pertama dalam mekanisme penyerapan logam adalah penyerapan oleh akar yang disebut dengan rhizofiltrasi. Rhizofiltrasi adalah proses untuk mengabsorpsi, mengkonsentrasi, dan mempresipitasi logam oleh akar tumbuhan dari lingkungan yang terkontaminasi. Tumbuhan hiperakumulator mampu mengeluarkan senyawa organik dan enzim yang disebut dengan eskudat akar (Irawanto *et al.*, 2014) untuk menjadikan logam dari bentuk yang tidak dapat diserap menjadi logam yang dapat diserap.

Menurut Siswanto (2009), pada bagian akar logam akan diakumulasi dan masuk melalui korteks di dekat endodermis, hal ini berfungsi sebagai partial barrier terhadap pemindahan logam dari akar. Selain itu menurut Hidayati (2013), terdapat juga beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses penyerapan logam oleh akar pada tumbuhan yang ditentukan oleh permeabilitas, transpirasi, dan tekanan akar serta kehadiran dari sistem pemacu penyerapan logam (*enchanced metal uptake system*) yang diperkirakan hanya dimiliki oleh tumbuhan hiperakumulator.

Selanjutnya adalah proses translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan seperti batang, daun, dan akar. Pada proses ini terdapat dua proses utama yakni pergerakan oleh xilem dan volume fluks dalam xilem yang dimediasi oleh tekanan akar dan transpirasi oleh daun. Dengan adanya proses ini juga dapat mengindikasikan adanya sistem translokasi logam dari akar ke tajuk dengan efisien. Setelah proses translokasi logam dari akar

ke bagian tumbuhan adalah proses yang dilalui oleh logam untuk menentukan bentuk ikatan logam yang akan diakumulasi oleh tumbuhan lalu akan disimpan yang disebut dengan sequestrasi (*sequestration*) dan kompleksasi (*complexation*) (Hidayati, 2013). Menurut Priyanto dan Prayitno (2004), proses terakhir yang terjadi dalam penyerapan logam oleh tumbuhan adalah logam akan masuk ke jaringan tumbuhan (plasmalema, sitoplasma, dan vakuola) setelah itu logam akan terakumulasi (pada vakuola) yang bertujuan untuk menjaga agar logam tidak mengganggu proses metabolisme pada tumbuhan.

2.10.2 Fitoproses Tumbuhan

Menurut Mangkoedihardjo (2010), tumbuhan tidak dapat memilih apa yang akan diserap karena akarnya akan menyerap segala zat dalam cairan. Dalam kondisi demikian tumbuhan akan memberikan berbagai respon terhadap lingkungan. Menurut Sanusi *et al.* (2005), terdapat 2 jenis pencemaran yang dihasilkan oleh limbah, yaitu organik dan anorganik. Limbah organik adalah bahan sisa atau bahan buangan yang merupakan bentuk-bentuk organik yang dapat terurai dan habis dalam tatanan lingkungan dengan adanya organisme-organisme pengurai. Contohnya adalah bangkai hewan dan tumbuhan, bekas daun, pembungkus, kertas dan lain-lain. Sedangkan pencemar anorganik adalah berupa padatan maupun berupa cairan yang berasal dari limbah industri, pabrik, rumah tangga yang dibuang ke sungai dan akan mencemarkan airnya sehingga mengandung virus-virus penyakit.

Selanjutnya akan dijelaskan mengenai mekanisme fitoremediasi yang terjadi pada keduanya baik secara organik maupun anorganik. Menurut Irawanto (2010), mekanisme fitoremediasi terdiri dari beberapa tahapan, yaitu:

1. Fitoakumulasi (*Phytoaccumulation*)

Merupakan proses tumbuhan dalam menarik zat kontaminan dalam tanah dan diakumulasi di sekitar akar tumbuhan kemudian meneruskan senyawa tersebut ke bagian tumbuhan seperti akar, batang, dan daun tumbuhan. Kontaminan dihilangkan dengan cara memanen tumbuhan.

2. Rizofiltrasi (*Rhizofiltration*)

Merupakan proses akar tumbuhan dalam mengadsorpsi

zat kontaminan untuk menempel pada akar. Ini didefinisikan sebagai penggunaan tumbuhan, baik darat dan air: untuk menyerap, berkonsentrasi, dan mengendapkan kontaminan dari sumber air yang tercemar dengan konsentrasi kontaminan rendah di akarnya. Rhizofiltrasi dapat menangani sebagian buangan industri, limpasan pertanian, atau drainase tambang asam. Ini dapat digunakan untuk timbal, kadmium, tembaga, nikel, seng dan kromium, yang terutama disimpan di dalam akar.

3. Fitostabilisasi (*Phytostabilization*)

Merupakan proses tumbuhan dalam menarik zat-zat kontaminan tertentu ke bagian akar tumbuhan karena tidak dapat diteruskan ke bagian lain tumbuhan. Pada sebagian besar digunakan untuk remediasi tanah, sedimen dan lumpur dan tergantung pada kemampuan akar untuk membatasi mobilitas kontaminan dan bioavailabilitas dalam tanah.

4. Rizodegradasi (*Rhizodegradation*)

Proses tumbuhan dalam menguraikan zat-zat kontaminan dengan aktivitas mikroba yang berada di sekitar akar tumbuhan.

5. Fitodegradasi (*Phyto-transformation*)

Proses penyerapan polutan oleh tumbuhan untuk proses metabolisme tumbuhan. Proses ini berlangsung pada daun, batang, akar maupun diluar sekitar akar dengan bantuan enzim yang dikeluarkan tumbuhan itu sendiri

6. Fitovolatilasi (*Phytovolatilization*)

Proses penyerapan polutan oleh tumbuhan dan merubahnya menjadi bersifat volatil agar tidak berbahaya lagi untuk diuapkan ke atmosfer.

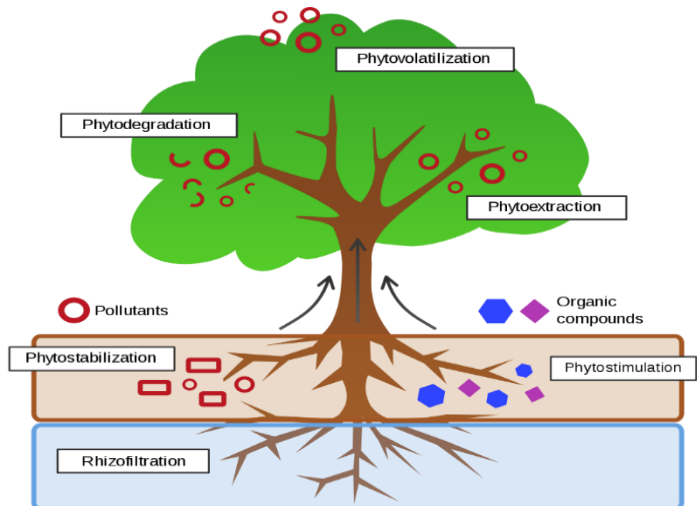
Menurut Hidayati (2005), beberapa tumbuhan terbukti memiliki kemampuan menyerap logam yang tinggi atau disebut dengan hiperakumulator. Hiperakumulator adalah sifat yang dimiliki beberapa tumbuhan untuk mampu mengakumulasi logam tertentu pada jaringan akar atau tajuk dengan konsentrasi yang tinggi. Dengan adanya sifat hiperakumulator ini, tumbuhan digunakan sebagai agen fitoremediasi.

Menurut Patadungan *et al.* dalam Handayani (2013), Mekanisme tumbuhan dalam melakukan penyerapan dan

akumulasi pada logam berat dibagi menjadi tiga tahapan yaitu:

1. Penyerapan oleh akar tumbuhan
Dalam proses penyerapan oleh akar tumbuhan, polutan-polutan tersebut harus dalam bentuk larutan agar dapat diserap oleh akar tumbuhan.
2. Translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain
Pada proses ini, setelah polutan menembus lapisan endodermis akar tumbuhan, maka akan diteruskan ke bagian atas tumbuhan melalui jaringan pengangkut (*xylem* dan *phloem*) ke bagian tumbuhan lainnya.
3. Lokalisasi (pembatasan) logam pada sel jaringan
Disini tumbuhan pada bagian sel berusaha untuk mencegah agar tidak keracunan logam dengan menimbun logam di dalamnya agar tidak menghambat proses metabolisme tumbuhan.

Contoh gambar mengenai mekanisme kerja fitoremediasi dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Mekanisme Fitoremediasi

Sumber: <https://8villages.com> Diakses pada tanggal 7 Januari 2020

Hal-hal di atas adalah penjelasan secara umum mengenai mekanisme fitoremediasi yang dilakukan oleh tumbuhan untuk memberikan respon atau meremediasi pencemar. Di bawah ini akan dijelaskan mengenai fitoremediasi meliputi proses dan mekanisme pembuangan kontaminan Menurut Ghosh dan Singh (2005) pada Tabel 3.6.

Tabel 2.6 Fitoremediasi Proses dan Mekanisme Pembuangan Kontaminan

Proses	Mekanisme	Kontaminan
Rizofiltrasi (Rhizofiltration)	Akumulasi rizosfer	Organik/ anorganik
Fitostabilisasi (Phytostabilisation)	Kompleksasi (menetapkan kelarutan suatu senyawa dengan penambahan zat pengompleks)	Anorganik
Fitoakumulasi (<i>Phytoaccumulation</i>)	Akumulasi hiper/ <i>Hyperaccumulation</i> (tumbuhan yang mampu tumbuh di tanah atau air dengan konsentrasi logam yang sangat tinggi)	Anorganik
Fitovolatilisasi (<i>Phytovolatilization</i>)	Volatilisasi oleh daun	Organik/ anorganik
Fitodegradasi (<i>Phytotransformation</i>)	Degradasi pada tumbuhan	Organik

Sumber: Ghosh dan Singh (2005)

2.11 Tumbuhan *Salvinia molesta*

Salvinia molesta (kiambang) yang berasal dari kata (ki: pohon, tumbuhan dan kata ambang: mengapung) merupakan nama umum bagi tumbuhan paku air dari genus *Salvinia*.hidup mengapung pada permukaan air. Biasanya ditemukan di sawah, kolam, sungai dan saluran-saluran air. Tumbuhan ini dalam bahasa Sunda disebut Kayambang dan dalam bahasa Jawa disebut Kiambang (Soerjani *et al.*, 1987). Berikut adalah bentuk fisik dari tumbuhan tersebut disajikan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 *Salvinia Molesta*

Sumber : USDA, 2002.

Berikut adalah lasifikasi *Salvinia molesta* menurut USDA (2002):

Kingdom : *Plantae*
Subkingdom : *Tracheobionta*
Divisi : *Pteridophyta*
Kelas : *Filicopsida*
Ordo : *Hydropteridales*
Familia : *Salviniaceae - Floating Fern family*
Genus : *Salvinia Seg. - watermoss*
Spesies : *Salvinia Molesta Mitchell - kariba-weed*

Tumbuhan *Salvinia molesta* memiliki kemampuan alami untuk menyerap logam dalam jumlah yang bervariasi karena beberapa logam berat merupakan unsur yang esensial bagi pertumbuhan tumbuhan. Beberapa jenis tumbuhan memiliki sifat hipertoleran, yakni mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya, sehingga bersifat hiperakumulator. Menurut Oomen *et al.* (2009), tumbuhan hiperakumulator mampu mengakumulasi konsentrasi logam berat hingga 10-100 kali lipat dari tumbuhan non hiperakumulator, tanpa menunjukkan gejala toksisitas yang nyata. Dengan demikian,

aktivitas penyerapan logam oleh tumbuhan dapat untuk mengatasi pencemaran akibat logam berat.

Menurut Widiarso (2011), pemilihan *Salvinia molesta* sebagai tumbuhan fitoremediator didasarkan pada pertimbangan bahwa *Salvinia molesta* mampu tumbuh pada perairan dengan kadar nutrisi yang rendah. Selain itu, secara morfologi *Salvinia molesta* memiliki diameter daun yang relatif kecil (rata-rata 3-6 cm) tetapi memiliki perakaran yang lebat dan panjang. Berdasarkan hal tersebut, diharapkan *Salvinia molesta* dapat secara aktif menyerap polutan, namun tidak menghalangi penetrasi cahaya ke dalam perairan. Tumbuhan *Salvinia molesta* adalah eksotik invasif di Amerika Serikat dan negara lain yang menyebar dengan cepat melalui perbanyakan vegetatif. Spesies *Salvinia* dapat ditemukan di perairan yang terkontaminasi dan diketahui dapat menurunkan kandungan logam terlarut (Rai, 2009). Di bawah ini adalah rangkuman yang ditemukan berdasarkan studi literatur dilakukan menggunakan tumbuhan *Salvinia molesta* pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Fitoremediasi *Salvinia molesta* Dalam Menyerap Pencemar

Jenis Tumbuhan	Pencemar
<i>Salvinia molesta</i>	Kromium (Cr)
	Besi (Fe)
	Timbal (Pb)
	Mangan (Mn)

Sumber: Shim dan Chang (2017)

2.12 Tumbuhan *Salvinia natans*

Tumbuhan *Salvinia natans* adalah tumbuhan kiambang yang berasal dari kata (ki: pohon, tumbuhan dan kata ambang: mengapung) merupakan nama umum bagi tumbuhan paku air dari genus *Salvinia*. Tumbuhan ini biasa ditemukan mengapung di air menggenang, seperti kolam, sawah dan danau, atau di sungai yang mengalir tenang. Tumbuhan ini merupakan gulma air yang memiliki karakteristik laju biaknya sangat cepat dengan sifat adaptasi yang tinggi di berbagai kondisi lingkungan, terutama pada air buangan aktivitas industri, limbah domestik, limbah pertanian

dan kehutanan (Sitorus *et al.*, 2013). Pertumbuhan tumbuhan kiambang dipengaruhi oleh ruang tumbuh, makin sempit ruang tumbuhnya maka pertumbuhannya akan makin lambat dan sebaliknya. Disamping itu, pertumbuhannya juga dipengaruhi oleh kedalaman air, kandungan hara air, intensitas penyinaran, suhu dan pH air tempat tumbuhnya (Yuliani *et al.*, 2013). Berikut adalah contoh gambar *Salvinia Natans* yang dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.13 *Salvinia natans*

Sumber: Yuliani *et al.*, 2013

Dalam tata nama atau sistematika (taksonomi) tumbuhan-tumbuhan, tumbuhan kiambang dimasukkan ke dalam klasifikasi berikut:

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Subkingdom	: <i>Tracheobionta</i>
Divisi	: <i>Pteridophyta</i>
Kelas	: <i>Filicopsida</i>
Ordo	: <i>Hydropteridales</i>
Familia	: <i>Salviniaceae - Floating Fern family</i>
Genus	: <i>Salvinia Seg. - watermoss</i>
Spesies	: <i>Salvinia natans - floating watermoss</i>

Secara morfologi *Salvinia molesta* memiliki diameter daun yang relatif kecil (rata-rata 2-5 cm) bentuk daunnya kecil, mengambang di air dengan batang merayap yang disebut stolon, bercabang, rambut bantalan tetapi tidak ada akar yang sesungguhnya. Daun di ruas berjumlah 3, dengan 2 daun hijau, sessile atau pendek-petioled, datar, dan mengambang. Setiap *S. natans* memiliki dua nikel daun yang berbaring secara datar menghadap permukaan air, dan daun ketiga selalu terendam dan berfungsi sebagai akar. Flotasi ini dimungkinkan oleh kantung udara di dalam daun. Kutikula papila berfungsi agar daun tidak cepat basah jadi tidak mudah busuk, kutikula papila terdapat pada permukaan daun.

Menurut Olguin *et al.*, (2007), beberapa studi literatur tersedia pada spesies lain dari genus *Salvinia*, seperti, *Salvinia molesta* yang cukup efisien meremajakan air limbah organik dan *Salvinia natans*, yang dapat mengakumulasi logam seperti Cd, Cu, Pb, Cr, Fe, Ni, Co, Mn, dan Zn dari solusi multi-logam, menunjukkan efisiensi perbaikannya. Menurut Dhir dan Srivastava (2011), dengan ini bertujuan untuk memahami strategi detoksifikasi biokimia dari *Salvinia* terhadap efisiensi contohnya pada penelitian yang dilakukan yaitu pabrik kertas terhadap potensi akumulasi logamnya dan kemampuan akar untuk mentolerir beban logam tinggi. Berikut adalah rangkuman yang ditemukan berdasarkan studi literatur yang sudah dilakukan menggunakan tumbuhan *Salvinia natans* pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Fitoremediasi *Salvinia natans* Dalam Menyerap Pencemar

Jenis Tumbuhan	Pencemar
<i>Salvinia natans</i>	Kadmium (Cd)
	Tembaga (Cu)
	Timbal/ Timbel (Pb)
	Kromium (Cr)
	Besi (Fe)

Jenis Tumbuhan	Pencemar
	Nikel (Ni)
	Karbon monoksida (Co)
	Mangan (Mn)
	Seng/ Timah Sari (Zn)

Sumber: Olguin *et al.*, (2007)

2.13 Studi literatur Terdahulu

Studi literatur terdahulu terkait pengolahan air asam tambang memang sudah banyak dilakukan. Selain itu pustaka tentang fitoremediasi menggunakan tumbuhan *Salvinia molesta* dan *Salvinia natans* juga telah banyak dibuat, namun belum ada yang menggunakan tumbuhan tersebut untuk fitoremediasi dalam pengolahan air asam tambang. Selain itu penulis belum menemukan pula kajian yang terkait pengolahan air asam tambang yang diakibatkan oleh bekas penambangan dengan fitoremediasi menggunakan tumbuhan *Salvinia molesta* dan *Salvinia natans*.

Maka dari itu menurut Isnaini *et al.* (2015), tumbuhan *Salvinia natans* dapat mereduksi kadar krom total dalam alir limbah industri penyamakan kulit. Dalam studi literatur tersebut terbukti penyerapan kromium oleh tumbuhan *Salvinia natans* menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan tumbuhan lain yang digunakan dalam penelitiannya.

Sedangkan menurut Viobeth *et al.* (2012), tumbuhan *Salvinia molesta* dapat mereduksi kadar timbal dan nikel dalam air limbah industri dan menurut Baroroh *et al.* (2018), *Salvinia molesta* juga dapat mereduksi kadar Cu dalam air minum.

Selain itu juga menurut Pertiwi dkk. (2013), pertumbuhan *Salvinia (molesta dan natans)* digunakan untuk fitoremediasi limbah cair contohnya pada minyak bumi diperoleh pada konsentrasi limbah 60%, dengan penambahan berat basah selama 30 hari sebesar 68,85 g. Dari hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi limbah cair minyak bumi yang tepat untuk proses fitoremediasi dan pertumbuhan *Salvinia*

diperoleh pada konsentrasi limbah 60%, dengan penurunan sebanyak 1157 ppm.

Salah satu kelebihan *salvinia* dengan tumbuhan lain adalah daya serap logamnya yang tinggi serta dapat hidup dalam air dengan kondisi nutrient yang rendah. Penggunaan tumbuhan sebagai fitoremediasi pada pengolahan air asam tambang memang tidak banyak dilakukan. Maka dari itu data yang diperoleh juga hanya terbatas. Berikut adalah tumbuhan yang dapat dilakukan untuk pengolahan air asam tambang beserta persentase removal yang dihasilkan pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Tumbuhan yang Dapat Meremediasi Fe dan Mn pada Air Asam Tambang

Nama Tumbuhan	Persentase Removal	Sumber
Purun Tikus (<i>Eleocharis dulcis</i>)	Fe: 72,46% Mn: 74,79%	Ariyani <i>et al.</i> , 2014
Lonkida (<i>Nauclea orientalis L.</i>)	Fe: (14,5-51,5)% Mn: (0,2-6,4)%	Tuheteru, 2015
Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes L.</i>)	Mn: 55,56%	Purnama <i>et al.</i> , 2018
Enceng Gondok (<i>Eichornia crassipes</i>)	Fe: 35,7% Mn: 38,4%	Arief <i>et al.</i> , 2014

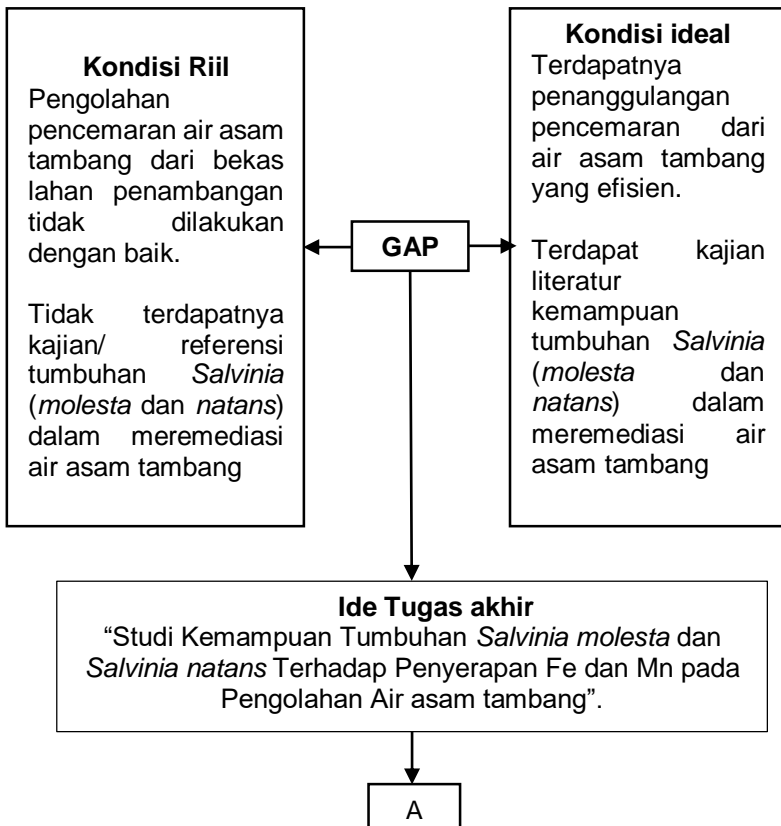
Tabel 2.10 Perbedaan dan Persamaan Kedua Tumbuhan

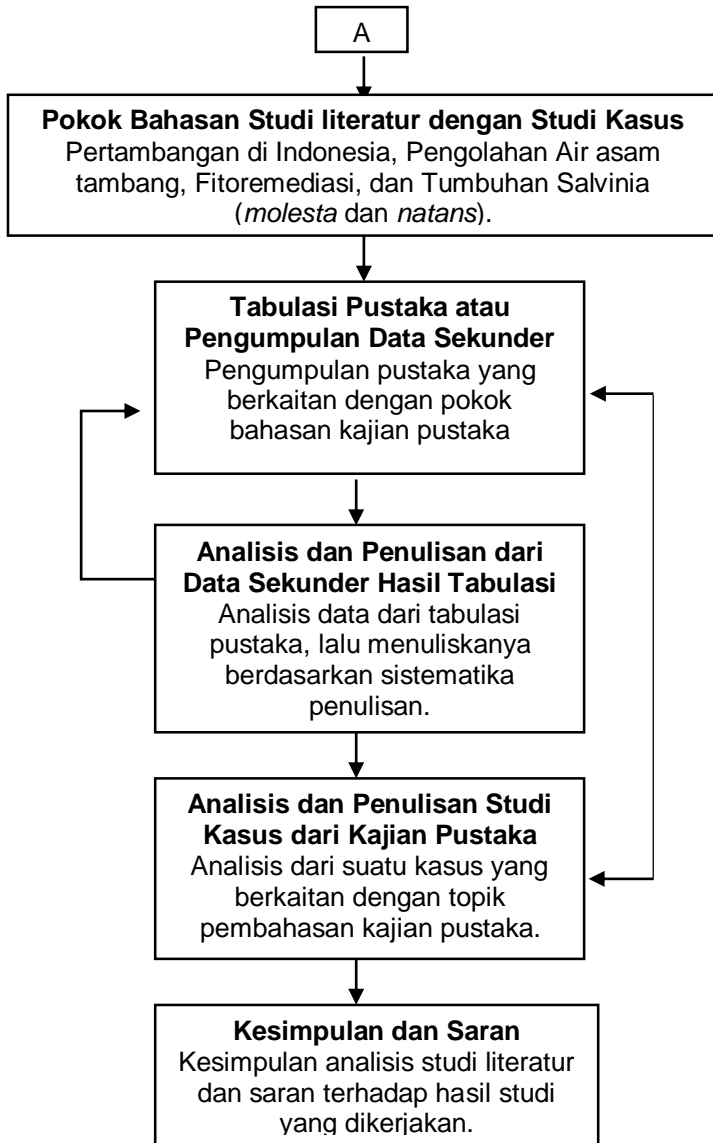
<i>Salvinia molesta</i>	<i>Salvinia natans</i>
Memiliki kemampuan alami untuk menyerap logam	Memiliki kemampuan alami untuk menyerap logam
Mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya	Mengakumulasi logam melalui jaringan akar
Bersifat hiperakumulator	Mempunyai stolon pada batang
Memiliki diameter daun rata-rata 3-6 cm	Memiliki diameter daun yang relatif kecil rata-rata 2-5 cm
Kutikula papila berfungsi agar daun tidak cepat basah jadi tidak mudah busuk	Kutikula papila berfungsi agar daun tidak cepat basah jadi tidak mudah busuk

BAB III METODE PENULISAN

3.1 Kerangka Studi

Kerangka kajian pustaka dengan studi kasus merupakan rancangan alur jalannya proses pelaksanaan Tugas akhir. Kerangka dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 2.1 Kerangka Studi literatur dengan Studi Kasus

3.2 Metode Studi

Metode studi digunakan untuk memberi tahapan terhadap tugas akhir supaya pelaksanaan dan penulisan laporan sistematis. Studi kasus ini adalah penurunan kadar Fe dan Mn pada pengolahan Air asam tambang yang terdapat di dalamnya menggunakan teknik fitoremediasi dengan tumbuhan *Salvinia molesta* dan *Salvinia natans*. Dalam pelaksanaannya Tugas akhir ini memiliki tahapan diantaranya kajian pustaka dan studi kasus yang berkaitan dengan pengolahan Air asam tambang. Berikut adalah dua tahap yang dilakukan dalam pelaksanaan Tugas akhir ini:

3.2.1 Kajian Pustaka

Kajian pustaka dilakukan dengan cara mencari berbagai pustaka/ literatur yang berkaitan dengan pengolahan air asam tambang khususnya penurunan kadar Fe dan Mn. Selain itu, dilakukan juga kajian literatur yang berkaitan dengan fitoremediasi tumbuhan *Salvinia molesta* dan *Salvinia natans* sebagai pengolahan air asam tambang. Dari pustaka/ literatur ini, tulisan akan disusun dan ditulis kembali menggunakan bahasa penulis sendiri. Berikut adalah jenis kepustakaan yang meliputi:

1. Jurnal ilmiah
2. Buku Teks/ *Text Book*
3. Laporan studi literatur Tugas akhir terdahulu
4. Artikel
5. Peraturan dan Dokumen Pemerintah/ Perusahaan

3.2.2 Studi Kasus

Studi kasus pada penulisan Tugas akhir ini adalah pengolahan air asam tambang di Indonesia yang menyebabkan pencemaran khususnya kandungan Fe dan Mn yang tinggi pada air asam tambang yang juga dapat mencemari lingkungan serta membahayakan masyarakat sekitar daerah pertambangan. Data yang didapatkan akan dianalisa dengan kajian pustaka/ literatur yang telah dipelajari. Selain itu, data juga dapat didapatkan dengan studi literatur/literatur menggunakan data sekunder yang didapatkan dari:

1. Jurnal ilmiah
2. Buku Teks/ *Text Book*
3. Artikel

4. Peraturan dan Dokumen Pemerintah/ Perusahaan

3.2.3 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini berisi rangkaian langkah studi yang akan dilakukan hingga mendapatkan kesimpulan. Metode studi dibuat agar pelaksanaan studi terarah dan dapat mencapai tujuan. Sesuai dengan sistematika penulisan maka penulisan tugas akhir akan ditulis sebagai berikut:

- Bab 1 Pendahuluan

Pada bab pendahuluan akan menguraikan alasan atau latar belakang mulai dari sistematika penulisan dan lain sebagainya, sehingga tugas akhir ini dapat berisikan penjabaran perumusan masalah, tujuan yang akan dicapai dari penulis, ruang lingkup studi, serta didapatkan dari studi literatur dengan studi kasus ini.

- Bab 2 Metode Studi

Pada bab ini berisi rangkaian langkah-langkah studi yang akan dilakukan hingga mendapatkan kesimpulan. Metode studi dibuat agar pelaksanaan studi terarah dan dapat mencapai tujuan.

- Bab 3 Hasil dan Pembahasan

2.1 Air asam tambang

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai Air asam tambang serta diuraikan gambaran umum mengenai kegiatan Air asam tambang. Air asam tambang adalah salah satu permasalahan lingkungan yang dihasilkan oleh industri pertambangan. Air asam tambang merupakan hasil dari oksidasi batuan yang mengandung pirit (FeS_2) dan mineral sulfida dari sisa batuan yang terpapar oleh oksigen yang berada dalam air.

2.2 Tipe Air asam tambang

Pada bab ini akan diuraikan penjelasan tipe-tipe air asam tambang. Disini juga akan dijelaskan mengenai kandungan pH yang terdapat pada masing-masing tipe air asam tambang, serta apa saja yang membedakan dengan air asam tambang tipe lainnya.

2.3 Sumber Air asam tambang

Pada sumber Air asam tambang akan diuraikan tentang bagaimana air asam tambang ini berasal. Sumber-sumber air asam tambang berasal dari beberapa kegiatan diantaranya: air dari tambang terbuka, air dari unit pengolahan batuan buangan.

2.4 Pembentukan Air asam tambang

Pada proses pembentukan Air asam tambang akan diuraikan proses dimana air asam tambang terbentuk pada lahan bekas penambangan. Proses terjadinya Air asam tambang merupakan proses fisika dan kimia yang kompleks dan menyangkut banyak faktor. Faktor-faktor utama dalam pembentukan air asam tambang yaitu adanya oksigen (O₂), air, dan mikroorganisme serta sumber kimiawi Air asam tambang antara lain mineral-mineral sulfida.

2.5 Karakteristik Air asam tambang

Pada karakteristik air asam tambang akan dibahas mengenai kandungan yang berada pada Air asam tambang, khususnya kandungan Fe dan Mn yang terdapat di dalamnya.

2.6 Logam Berat

Pada logam berat akan diuraikan penjelasan mengenai apa saja yang termasuk di dalamnya. Seperti air raksa (Hg), cadmium (Cd), timah hitam (Pb), mangan (Mn), besi (Fe).

2.7 Dampak Air asam tambang

Pada dampak air asam tambang akan diuraikan mengenai dampak apa saja yang dihasilkan oleh air asam tambang.

2.8 Baku Mutu Air Limbah Pertambangan

Pada baku mutu air limbah pertambangan akan diuraikan mengenai aturan yang berlaku sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batubara.

2.9 Teknik Pengolahan Air asam tambang

Pada teknik pengolahan air asam tambang akan diuraikan teknik apa saja yang biasa digunakan pada pengolahan Air asam tambang, diantaranya: teknik pengolahan aktif, dan teknik pengolahan pasif.

2.10 Fitoremediasi

Pada fitoremediasi akan diuraikan pengertian fitoremediasi hingga bagaimana cara tumbuhan meremediasi pencemar atau yang

disebut dengan fitoproses tumbuhan. Fitoremediasi dapat didefinisikan sebagai penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan, atau menghancurkan polutan, baik senyawa organik maupun anorganik.

2.11 Tumbuhan *Salvinia molesta*

Pada tumbuhan *salvinia molesta* dijelaskan bagaimana teknik fitoremediasi oleh tumbuhan *salvinia molesta* pada pengolahan Air asam tambang. Penjelasan dilakukan dari mekanisme yang harus dilakukan, metode pemilihan tumbuhan yang tepat dengan pertimbangan besar dan jenis pencemaran yang dihasilkan dari air asam tambang.

2.12 Tumbuhan *Salvinia natans*

Pada tumbuhan *salvinia natans* dijelaskan bagaimana teknik fitoremediasi oleh tumbuhan *salvinia natans* pada pengolahan air asam tambang. Penjelasan dilakukan dari mekanisme yang harus dilakukan, metode pemilihan tumbuhan yang tepat dengan pertimbangan besar dan jenis pencemaran yang dihasilkan dari air asam tambang.

- Bab 4 Studi Kasus

Studi kasus ini adalah penurunan kadar Fe dan Mn pada pengolahan air asam tambang yang terdapat di dalamnya menggunakan teknik fitoremediasi dengan tumbuhan *Salvinia molesta* dan *Salvinia natans*. Pada studi ini, penulis memilih studi kasus PT. Semesta Centramas Balangan Coal, Kalimantan Selatan.

- Bab 5 Penutup

1. Kesimpulan

Kesimpulan merupakan jawaban dari studi literatur yang didapatkan dari hasil dan pembahasan serta menjawab tujuan.

2. Saran

Saran merupakan hal-hal yang membantu untuk menunjang keberhasilan dari studi literatur ini.

BAB IV STUDI KASUS

4.1 Kondisi Eksisting Air Asam Tambang Secara Umum

Kondisi eksisting air asam tambang pada pertambangan di Indonesia, secara umum memberikan sesuatu untuk pendapatan negara dan juga dampak bagi lingkungan sekitar. Menurut BPLHD Jabar (2005), pertambangan merupakan suatu bidang usaha yang karena sifat kegiatannya pada dasarnya selalu menimbulkan dampak pada alam lingkungannya. Pada dasarnya kegiatan penambangan dapat dilihat dari dua sudut pandang. Sudut pandang yang pertama adalah penambangan batu bara dapat memacu kemakmuran ekonomi negara. Namun, pada sudut pandang yang lain adalah dapat menimbulkan dampak lingkungan baik yang dihasilkan dari bekas lahan pertambangan atau lingkungan sekitar area pertambangan.

Menurut Witoro (2007), salah satu komoditi yang banyak diusahakan air asam tambang ini, untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia adalah batubara. Pada air asam tambang ini Indonesia memiliki potensi sumber daya batubara sekitar 60 miliar ton dengan cadangan 7 miliar ton. Namun menurut Subardja (2007), disisi lain pihak tambang batubara pada umumnya dilakukan pada tambang terbuka (*open mining*), sehingga akan berdampak terhadap perubahan bentang alam, sifat fisik, kimia, biologis tanah, serta secara umum menimbulkan kerusakan pada permukaan bumi. Dampak ini secara otomatis tentu akan mengganggu ekosistem di atasnya, termasuk dalam tata air.

Pada bahasan terkait air asam tambang menurut Sayoga (2007), salah satu permasalahan lingkungan dalam aktivitas penambangan batubara adalah terkait dengan air asam tambang atau *Acid Mine Drainage* (AMD). Air tersebut terbentuk sebagai hasil oksidasi dari mineral sulfida tertentu yang terkandung dalam batuan, yang bereaksi dengan oksigen di udara pada lingkungan berair. Penampakan air asam tambang di tahap awal adalah adanya air di pit tambang yang berwarna hijau. Pada kegiatan penambangan, yaitu sejak pencarian dan eksplorasi atau tahap perencanaan perlu dilakukan untuk mengetahui dan menghitung besarnya potensi air asam tambang yang akan ditimbulkannya. Mengetahui potensi keasaman dari suatu tambang sangat penting

karena keasaman batuan tersebut baru merupakan potensi yang kehadirannya belum tentu akan menjadi persoalan setelah dilakukan pengambilan (eksploitasi).

Timbulnya air asam tambang (*Acid Mine Drainage*) bukan hanya berasal dari hasil pencucian batubara, tetapi juga dari dibukanya suatu potensi keasaman batuan sehingga menimbulkan permasalahan kepada kualitas air dan juga tanah. Potensi air asam tambang harus diketahui dan dihitung agar langkah-langkah preventif serta pengendaliannya dapat dilakukan.

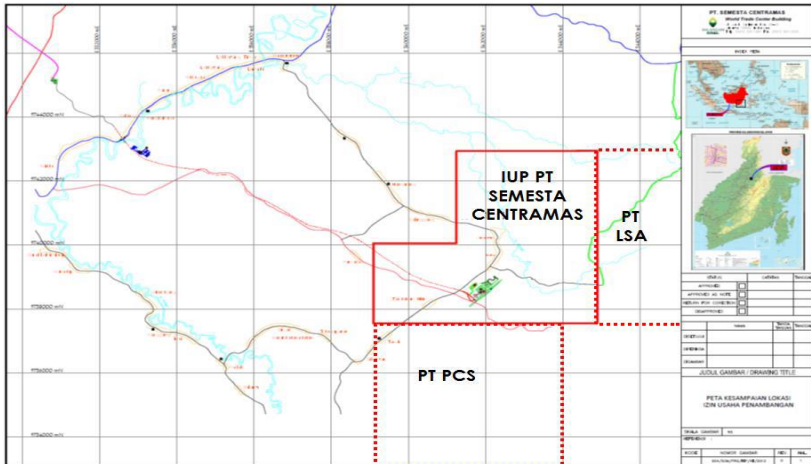
Pengendalian terhadap air asam tambang merupakan hal yang perlu dilakukan selama kegiatan penambangan berlangsung dan setelah kegiatan penambangan berakhir. Air asam tambang (*Acid Mine Drainage*) dapat mengakibatkan penurunan kualitas air, air permukaan, dan air tanah. Selain itu jika dialirkan ke sungai akan berdampak terhadap masyarakat yang tinggal di sepanjang aliran sungai serta akan mengganggu biota yang hidup di darat juga biota perairan.

4.2 Kondisi Eksisting Air Asam Tambang Secara Khusus

4.2.1 Lokasi Studi Kasus

Studi kasus yang digunakan adalah pengolahan air asam tambang yang terjadi pada PT Semesta Centramas Balangan Coal, perusahaan ini adalah bagian dari strategi Adaro Energy untuk bertumbuh secara organik dari sumber daya dasar dan menciptakan nilai maksimum yang berkelanjutan dari batubara Indonesia, Adaro Energy melalui PT Alam Tri Abadi ("ATA") menambah sumber daya batubara dengan mengakuisisi 75% Balangan Coal (BC) pada tahun 2013 dan 24,6% Far East Investment (Portal Balangan Coal-mybalangan.com Diakses pada 17 April 2020). Wilayah konsesi Balangan Coal terletak di Desa Tawahan dan Sungai Batung, Kabupaten Balangan, Provinsi Kalimantan Selatan. Secara geografis Wilayah Izin Usaha Pertambangan ("WIUP") LSA terletak diantara 115° 36' 18.2" - 115° 38' 46.0" Bujur Timur dan 02° 19' 30" - 02° 22' 25.5" Lintang Selatan yang secara administratif termasuk ke dalam wilayah Kecamatan Juai dan Awayan, Kabupaten Balangan, Provinsi Kalimantan Selatan dengan luas area total 2.500 Ha. Daerah ini dilalui oleh jalan lintas Kalimantan yang menghubungkan kota Banjarmasin dengan kota Balikpapan. Pencapaian lokasi dapat di

tempuh menggunakan perjalanan darat maupun perjalanan udara. Berikut adalah lokasi Ijin Usaha Pertambangan (IUP) pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Lokasi Ijin Usaha Pertambangan (IUP)

Sumber: Adaro Mining PT. Semesta Centramas Balangan Coal (2019)

Sebagai tindak lanjut dari dikeluarkannya Surat Keputusan Bupati Balangan Nomor 188.45/131/Kum TAHUN 2009 tertanggal 21 Juli 2009 tentang Persetujuan Peningkatan Kuasa Pertambangan Eksplorasi Menjadi Izin Usaha Pertambangan Operasi Produksi Kepada PT Semesta Centramas, maka pada tanggal 21 Januari 2010 telah diberikan surat Izin Lokasi Untuk Keperluan Penambangan Batubara Seluas 1.1 Ha. Balangan Coal merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pertambangan batubara. Dengan eksplorasi pertama dilakukan pada tahun 2007, konstruksi dimulai pada tahun 2010 dan pada 2014 produksi pertama dimulai. Produksi komersial untuk yang pertama kali dilakukan pada tahun 2014, dengan demikian kontrak perusahaan dengan pemerintah untuk melakukan eksplorasi dan pertambangan berlaku hingga beberapa tahun ke depan.

4.2.2 Kondisi Daerah Pertambangan

Kondisi daerah pertambangan dapat dilihat pada Tabel

4.1.

Tabel 4.1 Kondisi Daerah Pertambangan

Sistem Penambangan Batu Bara	Kondisi Geologi, Topografi, dan Lingkungan
Kondisi geologi dan endapan batubara	Wilayah seluas 179.269 ha dataran/ pegunungan
Kondisi daerah prospek cadangan batu bara	Kelembaban udara rata-rata 82%, dimana variasi kelembaban dari bulan ke bulan relatif kecil.
Rencana dan skala produksi	Kondisi topografi di daerah pertambangan
Kondisi lapisan penutup	Temperatur udara di daerah ini rata-rata 26 °C yang beriklim tropis
Pertimbangan dampak lingkungan	

Sumber: (Portal Balangan Coal-mybalangan.com Diakses pada 17 April 2020)

4.2.3 Kondisi Lingkungan di sekitar Pertambangan

Morfologi di daerah pengamatan mempunyai penampakan yang relatif sama berupa perbukitan bergelombang dengan kondisi topografi yang tidak terlalu menonjol di setiap daerahnya. Namun sebagai akibat adanya aktivitas di sekitar pertambangan, banyak singkapan batubara disertai gundukan-gundukan tanah, sehingga kondisi topografi mengalami perubahan. Berikut adalah daerah perbatasan pada lokasi pertambangan:

1. Sebelah Utara: pertanian (sawah dan kebun)
2. Sebelah Selatan: pertanian (sawah dan kebun) serta pemukiman
3. Sebelah Timur: sungai dan pemukiman
4. Sebelah Barat: jalan raya dan pertanian

Kualitas air yang dikelola oleh air limbah yang berasal dari tambang dan *stockpile* (tempat penumpukan batubara), mengacu pada kriteria baku mutu air limbah batubara.

Pengelolaan yang dilakukan yaitu mengelola air limbah dari tambang tersebut dengan pembuatan *settling pond* pada *stockpile*. Di dalam pengelolaan air limbah pada *settling pond* terdapat proses pengendapan (sedimentasi), penggumpalan (koagulasi), pencampuran (flokasi) serta netralisasi. Pada koagulasi bahan yang digunakan berupa tawas untuk menjernihkan air serta mengendapkan lumpur dan bahan untuk netralisasi berupa kapur tohor yang berfungsi untuk menetralkan air sehingga pH memenuhi baku mutu pemerintah yaitu 6-9, kapur juga berfungsi menghilangkan Besi (Fe) dan Mangan (Mn) sehingga air yang keluar melalui outlet ke badan sungai memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan.

Kondisi flora dan fauna pada lokasi pemantauan dilakukan pada tempat area sarana dan prasarana bekas tambang yang telah direvegetasi. Beberapa tipe penutupan vegetasi yang terdapat pada lokasi pemantauan adalah hutan skunder, vegetasi belukar, vegetasi kebun karet rakyat, alang-alang dan vegetasi tumbuhan yang terdapat pada areal revegetasi. Pada lokasi itu, banyak flora dan fauna yg terdapat di area sekitar pertambangan. Contohnya terdapat vegetasi jenis pepohonan peneduh dan jenis tumbuhan hias. Kekayaan jenis flora dan fauna pada lokasi ini masih termasuk sedikit karena jumlahnya yang semakin punah, dan tak jarang juga hewan/ fauna banyak diburu oleh masyarakat sekitar.

Berdasarkan hasil survey dalam studi literatur Hidayat (2017), terdapat beberapa jenis flora dan fauna. Di bawah ini adalah jenis flora dan fauna yang terdapat pada lokasi dan sekitar daerah pertambangan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Flora di dalam lokasi pertambangan

Flora	Nama Latin
Palam	<i>Palmae spp</i>
Ketapang	<i>Terminalia</i>
Akasia daun lebar	<i>Accacia decurens</i>
Akasia daun kecil	<i>Acacia</i>
Pinus	<i>Pinus mercusi</i>

Flora	Nama Latin
Jati	<i>Tektona grandis</i>
Alaban	<i>Vitex pubescent</i>

Sumber: Hidayat (2017)

Tabel 4.3 Flora di sekitar lokasi dan di dalam lokasi

Flora	Nama Latin
Ubi kayu	<i>Manihot utilisima</i>
Hampalam	<i>Licuala spinas</i>
Jeruk	<i>Citrus SP</i>
Mengkudu	<i>Morinda citrifolia</i>
Kelapa	<i>Cocos mucifera</i>
Kuini	<i>Mangifera odorata</i>
Paku-pakuan	<i>Nephrolepis exaltata</i>

Sumber: Hidayat (2017)

Tabel 4.4 Fauna jenis Mamalia di sekitar area pertambangan

Fauna (Mamalia)	Nama Latin
Bekantan	<i>Nasalis larvatus</i>
Kelelawar	<i>Nasalis larvatus</i>
Warik	<i>Macaca fascicularis</i>
Trenggiling	<i>Manis javanica</i>
Kukang	<i>Nycticebus caucang</i>
Babi Hutan	<i>Sus barbutas</i>
Tupai	<i>Glyphates sumus</i>

Sumber: Hidayat (2017)

Berdasarkan Tabel di atas, jenis fauna mamalia lumayan banyak ditemukan di sekitar area pertambangan. Karena pada dasarnya daerah tersebut adalah dekat dengan hutan yang merupakan habitat dari fauna kebanyakan.

Tabel 4.5 Fauna jenis Amphibi di sekitar area pertambangan

Fauna (Amphibi)	Nama Latin
Katak Cokelat	<i>Rana sp.</i>
Katak Hijau	<i>Rana sp.</i>
Katak Hijau Teratai	<i>Rana limnocharis</i>

Sumber: Hidayat (2017)

Berdasarkan Tabel di atas, sangat sedikit ditemukan hewan/ fauna jenis amphi pada daerah sekitar area pertambangan.

Tabel 4.6 Fauna jenis Reptile di sekitar area pertambangan

Fauna (Reptile)	Nama Latin
Ular Tadung	<i>Bungarus</i>
Ular Daun	<i>Leptphis</i>
Ular Sawa	<i>Phyton sp.</i>
Ular Pucuk	<i>Trimeresurus</i>
Ular	<i>Naja saputrik</i>
Biawak	<i>Varanus salvator</i>
Angui/ Bunglon	<i>Gonychepalus sp.</i>
Bingkarungan/ Kadal	<i>Tiliqua sp.</i>

Sumber: Hidayat (2017)

Berdasarkan Tabel di atas, jenis reptil yang banyak ditemukan pada daerah sekitar pertambangan setempat adalah Biawak (*Varanus Salvator*), Ular Daun (*Bungarus Fasiatus*), Bunglon (*Mabouyo Multifasciata*) dan Bingkarungan (*Tiliqua sp.*).

Tabel 4.7 Fauna jenis Insekta di sekitar area pertambangan

Fauna (Insekta)	Nama Latin
Semut Salimbada	<i>Suku formicidae dan Isotera</i>
Kupu-kupu	<i>Rhopalocera</i>
Capung	<i>Anisoptera</i>

Sumber: Hidayat (2017)

Berdasarkan Tabel di atas sangat sedikit jenis fauna insekta yang terdapat pada area sekitar pertambangan. Meskipun begitu, aktivitas pada sekitar habitat mereka juga dapat menimbulkan gangguan ekosistem bagi fauna jenis insekta,

Tabel 4.8 Fauna jenis burung di sekitar area pertambangan

Fauna (Burung)	Nama Latin
Burung Hantu	<i>Strix leptogrammice</i>
Burung Sikatan	<i>Ficedula dumetoria</i>

Fauna (Burung)	Nama Latin
Burung Tinjau	<i>Copsychus saularis</i>
Punai	<i>Triton vernan</i>
Pipit Hirang	<i>Neiglyptes triptis</i>
Pipit Habang	<i>Lonchura mallanca</i>
Elang	<i>Harliantos Indus</i>
Layang-layang	<i>Delichon dasyopus</i>
Cekaka Kecil	<i>Todirhampus</i>
Codet	<i>Lanius sach</i>
Darakuku	<i>Streptopelia chinensis</i>
Pilatuk	<i>Dryocopus jevensis</i>
Keruang	<i>Pycnonotus goiavier</i>
Curiak	<i>Gerygone sulphurca</i>
Bubut	<i>Centropus sinensis</i>

Sumber: Hidayat (2017)

Berdasarkan Tabel di atas, beberapa jenis dari burung tersebut bersifat migran, sehingga pada air asam tambang pengamatan tidak semua jenis hewan di atas dapat ditemukan. Serta dari Tabel di atas memberikan gambaran bahwa habitat daerah pertambangan dan sekitarnya merupakan rumah tinggal burung.

4.3 Karakteristik Air Asam Tambang Pada Studi Kasus

Pada karakteristik air asam tambang ini, terutama pada PT. Balangan Coal sejatinya adalah sama dengan karakteristik air asam tambang secara umum. Terbentuknya air asam tambang dapat ditandai dengan nilai pH yang rendah, biasanya pH rendah berkisar antara (1,5-4,5). Selain itu yang dapat membedakan dengan air asam tambang lainya adalah pada nilai konsentrasi logam terlarutnya yang berbeda-beda, contohnya seperti: logam besi (Fe), aluminium, mangan (Mn), cadmium (Cd), timbal (Pb), seng (Zn), arsenik (As), dan merkuri (Hg). Selanjutnya adalah nilai keasaman yang tinggi, yaitu berada pada antara (50-1500 mg/L CaCO₃), nilai sulfat (SO₄) yang tinggi, yaitu berada pada antara (500-10.000 mg/L), nilai salinitas berada pad (1-20 ms/cm), dan terakhir konsentrasi oksigen terlarut (DO) yang rendah. Selanjutnya penjelasan mengenai air asam tambang secara umumn akan dirangkum pada Tabel 4.9 di bawah ini:

Tabel 4.9 Karakteristik Air Asam Tambang dan Kandungan di Dalamnya

Karakteristik Air asam tambang	Penjelasan
Nilai pH yang rendah	Berkisar antara (1,5-4)
Konsentrasi logam terlarut	Logam besi (Fe), aluminium, mangan (Mn), cadmium (Cd), timbal (Pb), seng (Zn), arsenik (As), dan merkuri (Hg) yang cenderung tinggi.
Nilai <i>acidity</i> yang tinggi	Berkisar antara (50 – 1500 mg/L CaCO ₃)
Nilai sulfat yang tinggi	Berkisar antara (500 – 10.000 mg/L)
Konsentrasi oksigen terlarut yang rendah	Oksigen terlarut/ Dissolved Oxygen (DO)
Nilai salinitas	Berkisar antara (1 – 20)

Sumber: Said (2014), Reza (2019), dan lain-lain.

Berdasarkan penjelasan pada Tabel 4.2 dan pada Tabel 4.8 (diatas), dapat diketahui bahwa air asam tambang banyak menyebabkan pengaruh apabila masuk ke dalam lingkungan umum (di luar tambang), maka beberapa faktor lingkungan dapat terpengaruh. Diantaranya adalah kualitas air dan kegunaannya sebagai bahan baku air minum, habitat biota air, sumber tumbuhan, kualitas tanah dan kegunaannya (habitat flora dan fauna).

Berdasarkan literatur mengenai air asam tambang, kandungan yang berada pada air asam tambang adalah hasil dari proses oksidasi mineral disertai dengan adanya air, berikut adalah tiga (3) komponen utama yang menyebabkan terjadinya air asam tambang:

a. Mineral sulfida

Mineral sulfida adalah ikatan antara sulfur dan logam. Pada kondisi terpapar udara bebas mkneral sulfida akan teroksidasi dan terlarut sehingga terbentuk air asam tambang.

b. Oksigen

Oksigen adalah satu komponen yang ada di udara, oksigen juga berpengaruh terhadap terbentuknya air asam tambang karena udara yang terpapar bebas lalu mengenai tanah serta batu-batuan dan tercampur dengan air

sehingga menyebabkan terbentuknya air asam tambang.

c. Air

Air juga menjadi komponen penting dalam terbentuknya air asam tambang, karena peningkatan keasaman air yang meningkatkan kelarutan sehingga terbentuk reaksi pembentukan air asam tambang.

Sebelum membahas mengenai karakteristik air asam tambang, maka perlu dilihat lagi baku mutu limbah pertambangan berdasarkan penjelasan yang ada pada (Bab 3 Hasil dan Pembahasan) Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batubara dan Peraturan Gubernur Kalimantan Selatan No.036 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Limbah Cair (asam tambang) yang akan dicantumkan kembali pada metode fitoremediasi setelah diketahui analisis dan data.

4.4 Pemilihan Teknik Pengolahan Air Asam Tambang

Berdasarkan penjelasan pada Bab 3 mengenai teknologi pengolahan air asam tambang dapat dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu proses pengolahan aktif dan proses pasif. Proses aktif dilakukan dengan cara penambahan bahan alkali secara terus menerus untuk menetralkan limbah air asam tambang, sedangkan istilah proses pasif adalah penggunaan lahan basah (*wetland*) baik secara alami maupun buatan.

Beberapa peneliti mengemukakan bahwa kelebihan dari proses pasif adalah biaya yang dibutuhkan lebih sedikit dibandingkan proses aktif. Teknik menggunakan pengolahan pasif ini adalah dapat dilakukan dalam jangka panjang walaupun telah terjadi penutupan pada lokasi pertambangan. Namun teknik pengolahan ini terdapat beberapa kelemahan

Pada Tabel 3.4, dijelaskan mengenai kelebihan dan kekurangan dari pengolahan berdasarkan beberapa literatur sebagai berikut:

Tabel 4.10 Perbedaan Pengolahan Aktif dengan Pengolahan Pasif

Metode Pengolahan	Kelebihan	Kekurangan
Pengolahan Aktif	Sejauh ini dianggap efektif untuk pengolahan air asam tambang karena menggunakan bahan-bahan kimia untuk menetralisasi air asam tambang secara cepat dibandingkan Pengolahan Pasif (Womal dan Nurkhamin, 2019)	Biaya peralatan yang dibutuhkan sangat mahal (Womal dan Nurkhamin, 2019)
		Biaya untuk membeli bahan kimia yang mahal (Batu kapur/ <i>Limestone</i> , Kapur Tohor, dan lain-lain) (Suryadi dan Kusuma, 2019)
		Membutuhkan tenaga kerja untuk operasi dan pemeliharaan (Womal dan Nurkhamin, 2019)
Pengolahan Pasif	Biaya yang dikeluarkan lebih murah daripada Pengolahan Aktif (Said, 2014)	Membutuhkan lahan yang luas ssebagai tempat untuk pengaliran air asam tambang serta waktu yang lama (Said, 2014)
	Tidak membutuhkan tenaga kerja yang banyak serta <i>stand by</i> karena sifatnya yg alamiah (Hidayat, 2017)	Efisiensi pengolahan cenderung tidak stabil dan lama dibandingkan dengan proses pengolahan aktif.
	Lebih efisien karena	

Metode Pengolahan	Kelebihan	Kekurangan
	tumbuhan sebagai fitoremediasi untuk air asam tambang (Hidayat, 2017)	
	Perawatan secara periodik tidak terlalu sering dilakukan karena sifatnya yang alami (Said, 2014)	
	Dapat menyesuaikan kontur lahan.	

Sumber: Hidayat,(2017), Said (2014), Suryadi dan Kusuma (2019), Womal dan Nurkhamin (2019)

Berdasarkan data kelebihan dan kekurangan mengenai teknologi Pengolahan air asam tambang, maka dipilihlah teknologi pengolahan air asam tambang secara pasif sebagai metode untuk pengolahan air asam tambang untuk diaplikasikan pada studi kasus yang diambil (PT. Balangan Coal). Salah satu alasan pemilihan metode pengolahan air asam tambang secara pasif adalah biaya yang dikeluarkan lebih murah dari pada dengan metode pengolahan aktif. Selain itu juga tidak membutuhkan tenaga kerja yang harus *stand by* karena sifatnya yang alamiah serta pemeliharaan dan pengoperasian yang tidak susah. Namun terdapat kelemahan juga pada efisiensi waktu pengolahan yang lama dari pada pengolahan air asam tambang secara aktif, hal ini dikarenakan pada pengolahan air asam tambang secara pasif adalah kemampuan tumbuhan untuk menyerap pencemar yang ada pada kandungan air asam tambang.

4.5 Metode Fitoremediasi Air Asam Tambang

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kemampuan masing-masing tumbuhan (*S. molesta* dan *natans*) dalam menyerap logam (Fe dan Mn) yang terkandung dalam air asam tambang berdasarkan data sekunder yang telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya serta kajian literatur yang menunjang tumbuhan sebagai agen fitoremediasi air asam tambang.

Selanjutnya akan diketahui kemampuan tumbuhan untuk menyerap limbah air asam tambang berdasarkan studi kasus yang diambil. Setelah itu akan disesuaikan dengan baku mutu air limbah pertambangan yaitu Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batubara dan Peraturan Gubernur Kalimantan Selatan No.036 Tahun 2008. Tumbuhan yang digunakan sebagai agen fitoremediasi adalah *S. molesta* dan *S. natans*. Tumbuhan ini dipilih karena dapat menyerap logam dengan konsentrasi yang tinggi.

4.5.1 Fitoremediasi *Salvinia molesta*

Pada fitoremediasi *Salvinia molesta*, menurut Wolff *et al.* (2009) *Salvinia molesta* banyak diamati sebagai macrophy akuatik yang mengambang bebas, distribusinya yang luas, laju pertumbuhan yang lebih cepat dan hubungan yang erat dengan pakis air lainnya, termasuk *Azolla* dan *Lemna*, menjadikannya potensi untuk fitoremediasi. Fitoremediasi menggunakan *Salvinia molesta* telah dilakukan oleh Manjunath dan Kousar (2015) pada penelitian fitoremediasi limbah industri tekstil. Dalam penelitiannya, menggunakan 2 bak yang masing-masing berisi 25% dan 50% air limbah selama 5 hari, dengan sebelumnya sudah dilakukan aklimatisasi untuk penyesuaian tumbuhan selama 7 hari. Pada bak volume yang berisi konsentrasi 50% air limbah, didapatkan hasil reduksi kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Pada Air Limbah 50%

Logam Berat	Tanpa Tumbuhan (mg/L)	Dengan Tumbuhan (mg/L)
Kadar besi (Fe)	10,75	10,20
Mangan (Mn)	4,46	4,13

Sumber: Manjunath dan Kousar (2015)

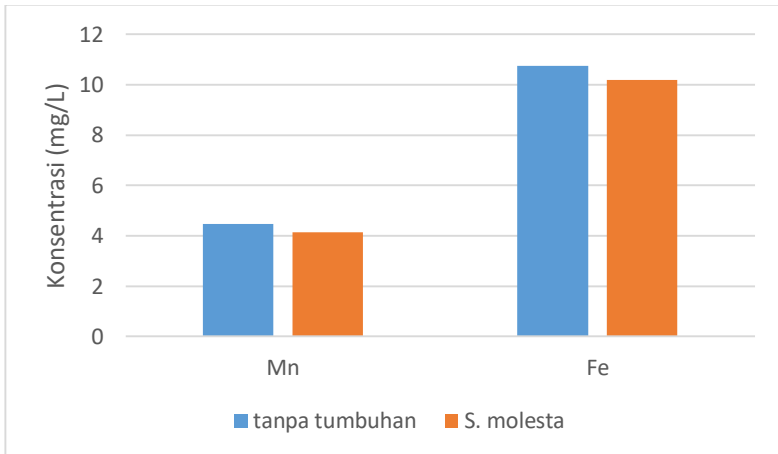
Kemudian didapatkan persentase penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Persentase Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn)

Logam Berat	Removal Dengan Tumbuhan (%)
Kadar besi (Fe)	5,11
Mangan (Mn)	7,39

Sumber: Manjunath dan Kousar (2015)

Berdasarkan pada Tabel diatas (Tabel 4.9 dan 4.10), didapatkan grafik penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) pada air limbah konsentrasi 50%, serta persentase removal seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) pada Air Limbah 50%

Setelah diketahui penurunan Fe dan Mn pada konsentrasi air limbah 50%, selanjutnya didapatkan data pada konsentrasi air limbah 25% sebagai hasil reduksi kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) pada Tabel 4.11.

Tabel 4.13 Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Pada Air Limbah 25%

Logam Berat	Tanpa Tumbuhan (mg/L)	Dengan Tumbuhan (mg/L)
Kadar besi (Fe)	5,90	4,19
Mangan (Mn)	3	0,8

Sumber: Manjunath dan Kousar (2015)

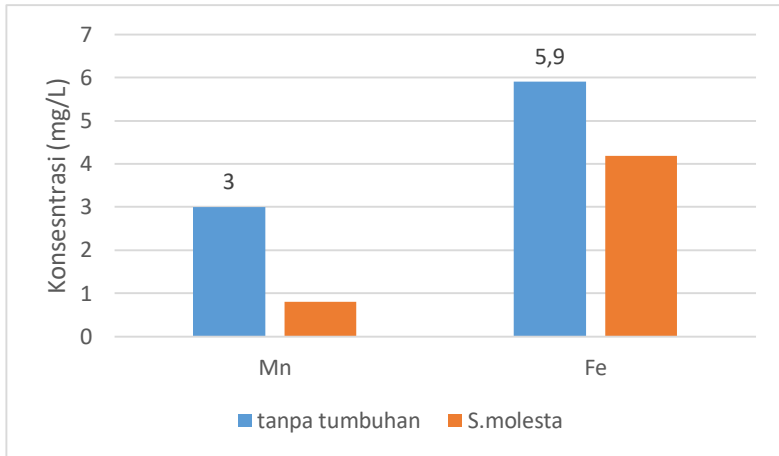
Kemudian didapatkan persentase penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Persentase Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn)

Logam Berat	Removal Dengan Tumbuhan (%)
Kadar besi (Fe)	29
Mangan (Mn)	73,33

Sumber: Manjunath dan Kousar (2015)

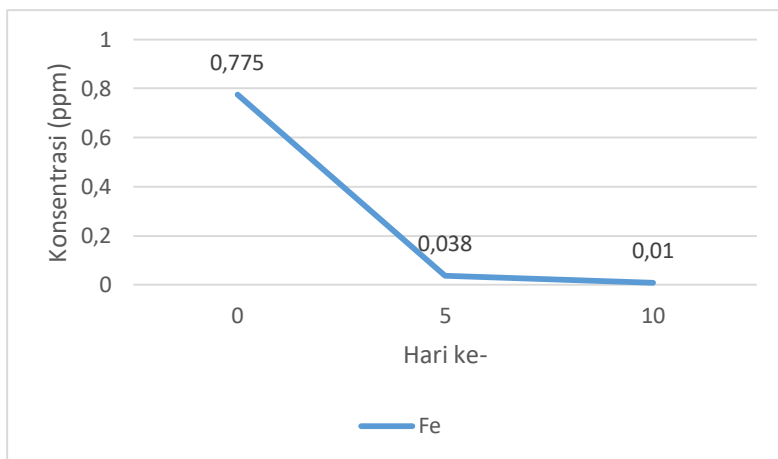
Berdasarkan pada Tabel diatas (Tabel 4.11 dan 4.12), didapatkan grafik seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) pada Air Limbah 25%

Berdasarkan Tabel 4.10 dan 4.12, maka dapat diketahui *Salvinia molesta* mereduksi lebih baik pada konsentrasi 25% air limbah, dibandingkan pada konsentrasi 50% air limbah. Hal ini dapat dilihat pada hasil efisiensi removal lebih tinggi pada saat konsentrasi 25% air limbah.

Selain itu penelitian menggunakan tumbuhan *Salvinia molesta* juga dilakukan pada air limbah perkotaan yang didalamnya terkandung pH rendah serta kadar besi (Fe) oleh George dan Gabriel (2017). Pada penelitian tersebut terdapat 2 bak yaitu pada bak pertama dilakukan fitoremediasi selama 5 hari, dan pada bak kedua dilakukan fitoremediasi selama 10 hari. Sampling dilakukan pada satu titik di salah satu kota Thrissur, India. Daerah tersebut merupakan area industri sehingga banyak air limbah yang dihasilkan pada area tersebut. Salah satunya air limbah yang mengandung kadar besi (Fe). Air limbah tersebut memiliki pH rendah sebesar 5 yang artinya cenderung asam. Penurunan kadar besi (Fe) pada hari ke 5 dan hari ke 10, dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Penurunan Kadar Besi (Fe) Selama 10 Hari

Berdasarkan hasil penelitian pada Gambar 4.4, *Salvinia molesta* dapat menurunkan kadar besi (Fe) dari 0,775 ppm menjadi 0,038 ppm pada hari ke 5, dan menjadi 0,01 ppm pada hari ke 10. Setelah 10 hari, pH sampel mengalami peningkatan dari 5 menjadi 6,5. Sehingga *Salvinia molesta* dapat mengurangi tingkat keasaman pada air limbah. Dari data tersebut tidak digunakan untuk penelitian karena mempunyai konsentrasi awal yang rendah namun dapat diketahui kemampuan *tumbuhan s. molesta*.

4.5.2 Fitoremediasi *Salvinia natans*

Pada fitoremediasi *Salvinia natans*, jenis tumbuhan yang dipakai adalah pada saat masa vegetasi (tumbuh tunas) dengan ukuran yang relatif sama. Menurut penelitian yang dilakukan Mardalena *et al.* (2018) mengenai penyerapan tumbuhan *salvinia natans* pada kadar besi (Fe), dan mangan (Mn) dalam air limbah pertambangan, perlakuan tumbuhan dilakukan dengan tiga (3) perlakuan pengulangan pada hari yang berbeda, antara lain:

1. Tumbuhan ditanam selama 10 hari
2. Tumbuhan ditanam selama 20 hari
3. Tumbuhan ditanam selama 30 hari

Selain itu juga terdapat satu perlakuan tanpa adanya tumbuhan

yang ditujukan sebagai variabel kontrol. Setiap sampel dari hasil yang diperiksa akan dicatat sebagai bukti tumbuhan dapat mengurangi kandungan logam, dalam air limbah tambang sebagai t1, t2 dan t3.

Kemudian, logam yang diserap oleh tumbuhan akan mereduksi kandungan logam dalam air limbah dan dihitung dengan satuan mg/L. Menurut penelitian yang dilakukan Mardalena *et al.* (2018), pengukuran kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) dilakukan pada sampel tumbuhan di hari ke 0, hari ke 10, hari ke 20, dan hari ke 30. Hasil penurunan pengukuran kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) dari hari ke 0 sampai hari ke 30, dapat dilihat pada Tabel 4.15 dan 4.16.

Tabel 4.15 Penurunan Kadar Besi (Fe)

Tumbuhan	Hari ke						
	0	10	%	20	%	30	%
<i>Salvinia natans</i>	1,3	0,45	34,61	0,82	63,07	0,74	56,92
Tanpa Tumbuhan	1,3	0,60	46,15	0,160	12,30	0,14	10,76

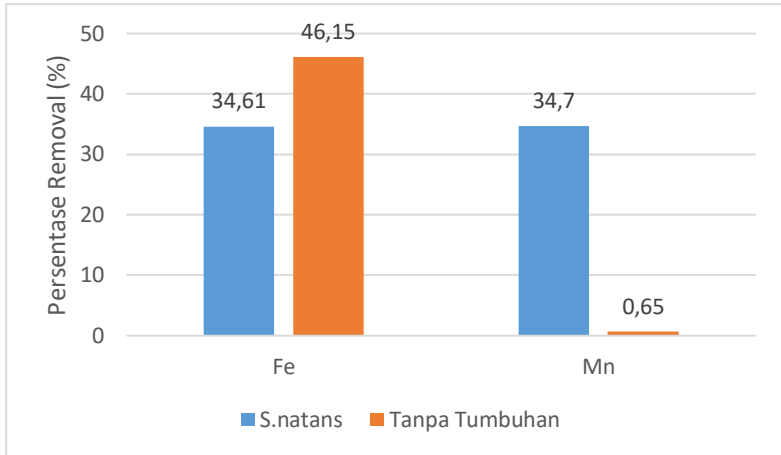
Sumber: Mardalena *et al.* (2018)

Tabel 4.16 Penurunan Mangan (Mn)

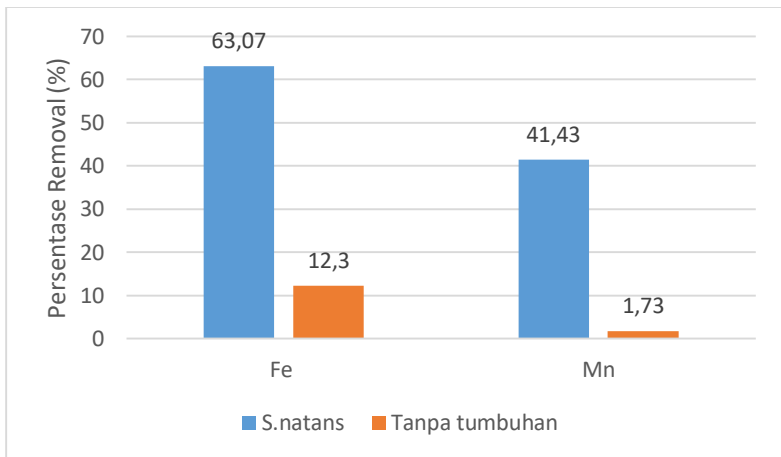
Tumbuhan	Hari ke						
	0	10	%	20	%	30	%
<i>Salvinia natans</i>	4,61	1,60	34,70	1,97	41,43	3,20	69,41
Tanpa Tumbuhan	4,61	0,03	0,65	0,08	1,73	0,05	1,08

Sumber: Mardalena *et al.* (2018)

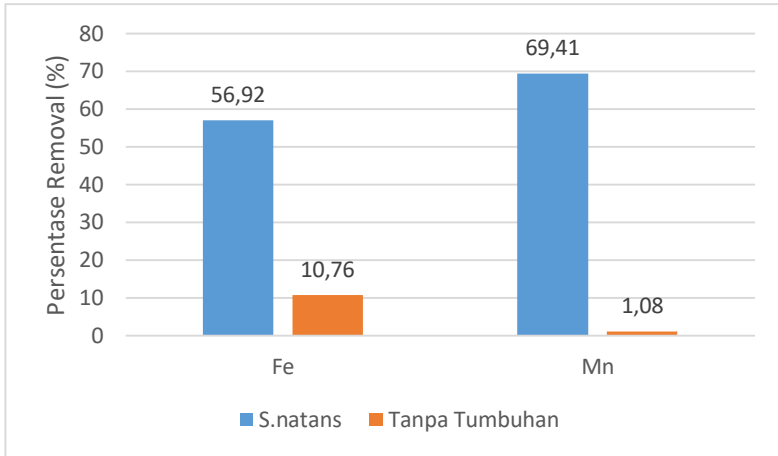
Berdasarkan data dari Tabel 4.15 dan Tabel 4.16 didapatkan grafik perbedaan persentase removal Fe dan Mn dengan menggunakan *Salvinia natans* dan tanpa tumbuhan di hari ke-10, ke-20, dan ke-30 yang dapat dilihat pada Gambar 4.5, 4.6, dan 4.7.



Gambar 4.5 Persentase Penurunan Fe dan Mn pada Hari ke-10

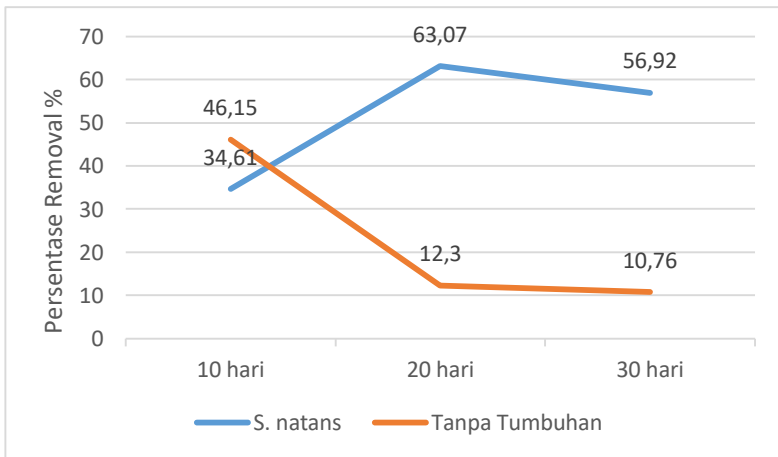


Gambar 4.6 Persentase Penurunan Fe dan Mn pada Hari ke-20

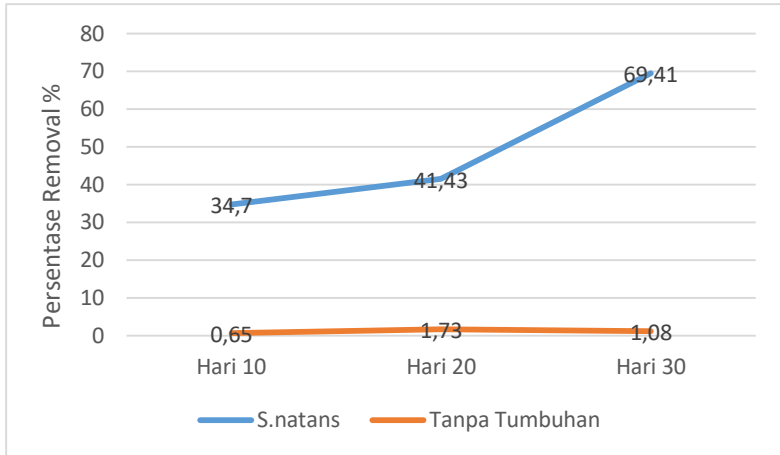


Gambar 4.7 Persentase Penurunan Fe dan Mn pada Hari ke-30

Persentase penurunan kadar besi (Fe) dan Mn secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan 4.9.



Gambar 4.8 Persentase Penurunan Kadar Besi (Fe)



Gambar 4.9 Persentase Penurunan Mangan (Mn)

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.8, persentase optimum removal kadar besi (Fe) berada pada hari ke 20. Sedangkan pada Gambar 4.9, persentase optimum removal mangan (Mn) berada pada hari ke 30.

4.6 Kesesuaian Dengan Baku Mutu

Berdasarkan hasil analisis data studi literatur fitoremediasi menggunakan tumbuhan *S. molesta* dan *natans* dalam menyerap kadar besi (Fe) dan mangan (Mn), serta disesuaikan dengan baku mutu air limbah pertambangan yaitu Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batubara. Fitoremediasi menggunakan tumbuhan *salvinia molesta*, didapatkan hasil removal optimum pada saat konsentrasi air limbah 25% yaitu sebesar 29% removal kadar besi (Fe) dan 73,33% removal mangan (Mn). Sedangkan pada fitoremediasi menggunakan tumbuhan *salvinia natans* didapatkan hasil removal optimum yaitu sebesar 56,92% kadar besi (Fe) dan 69,41% mangan (Mn).

Berdasarkan literatur mengenai kondisi air asam tambang, kadar besi (Fe) adalah 10 mg/L dan mangan (Mn) adalah 8 mg/L.

Jika fitoremediasi menggunakan *S.molesta* maka kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) mengalami penurunan sebesar:

- Removal kadar besi (Fe) = $10 \text{ mg/L} \times 29\%$
= 2,9 mg/L
Hasil akhir kadar besi (Fe) = $10 \text{ mg/L} - 2,9 \text{ mg/L}$
= 7,1 mg/L
- Removal kadar mangan (Mn) = $8 \text{ mg/L} \times 73,33\%$
= 5,84 mg/L
Hasil akhir kadar mangan (Mn) = $8 \text{ mg/L} - 5,84 \text{ mg/L}$
= 2,16 mg/L

Sedangkan fitoremediasi menggunakan *S.natans* maka kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) mengalami penurunan sebesar:

- Removal kadar besi (Fe) = $10 \text{ mg/L} \times 56,92\%$
= 6,8 mg/L
Hasil akhir kadar besi (Fe) = $10 \text{ mg/L} - 6,8 \text{ mg/L}$
= 3,2 mg/L
- Removal kadar mangan (Mn) = $8 \text{ mg/L} \times 69,41\%$
= 5,5 mg/L
Hasil akhir kadar mangan (Mn) = $8 \text{ mg/L} - 5,5 \text{ mg/L}$
= 2,44 mg/L

Menurut hasil diatas, jika melakukan fitoremediasi menggunakan *S.molesta* kadar mangan (Mn) sudah memenuhi baku mutu dibawah 4 mg/L yaitu 2,16 mg/L. Namun untuk kadar besi (Fe) belum mencapai baku mutu dibawah 7 mg/L karena masih berada di angka 7,1 mg/L. Sedangkan fitoremediasi menggunakan *S.natans* dapat menurunkan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) sampai dibawah baku mutu yaitu 3,2 mg/L dan 2,44 mg/L.

4.7 Kebutuhan Tumbuhan

Dalam menentukan kebutuhan tumbuhan yang digunakan dalam uji fitoremediasi, perlu diketahui kondisi eksisting air asam tambang di lokasi studi kasus. Data tersebut didapatkan berdasarkan jurnal dan studi literatur yang menggambarkan pada daerah tersebut. Kondisi eksisting air asam tambang pada studi kasus dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Kondisi Eksisting Air Asam Tambang

Parameter	Data Air asam tambang PT. Balangan Coal	Baku Mutu Air Limbah Pertambangan
pH	3,2	6-9
Fe (Besi)	23,12 mg/L	7 mg/L
Mn (Mangan)	25,5 mg/L	4 mg/L

Dalam percobaan ini akan digunakan wadah berukuran 15 L dengan dimensi 29 x 28 x 24 cm sebanyak 2 unit untuk masing-masing tumbuhan *Salvinia molesta* dan *Salvinia natans*. Volume air yang digunakan sebanyak 10 L. Berikut adalah perhitungan untuk menentukan kedua jumlah tumbuhan yang digunakan:

- Massa *S. molesta* Air = Densitas *S. molesta* x Volume Air

$$= 0,015 \text{ gr/cm}^3 \times 10000 \text{ cm}^3$$

$$= 150 \text{ gram}$$

Jumlah tumbuhan = $\frac{\text{massa tumbuhan}}{\text{berat basah}}$

$$= \frac{150 \text{ gram}}{3 \text{ gram}}$$

$$= 50 \text{ Tumbuhan}$$
- Massa *S. natans* Volume Air = Densitas tumbuhan *S. natans* x Volume Air

$$= 0,012 \text{ gr/ cm}^3 \times 10000 \text{ cm}^3$$

$$= 120 \text{ gram}$$

Jumlah tumbuhan = $\frac{\text{massa tumbuhan}}{\text{berat basah}}$

$$= \frac{120 \text{ gram}}{2,85 \text{ gram}}$$

$$= 42 \text{ Tumbuhan}$$

4.7.1 Kebutuhan Tumbuhan Untuk Menyerap Fe

Selanjutnya perhitungan untuk mengetahui kemampuan *uptake* yang dilakukan oleh 1 unit tumbuhan dalam menyerap air limbah. Berikut perhitungannya:

a. Tumbuhan *S. Molesta*

Diketahui:

$$\begin{aligned}\text{Fe} &= 23,12 \text{ mg/L} \\ \text{Volume} &= 10 \text{ L} \\ \text{Jumlah tumbuhan yang digunakan} &= 50 \text{ Tumbuhan} \\ \text{Berat tumbuhan} &= 3 \text{ g}\end{aligned}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}\text{Beban limbah yang diterima oleh 50 tumbuhan} & \\ \text{Volume air x Fe} &= 10 \text{ L x } 23,12 \text{ mg/L} \\ &= 231 \text{ mg Fe/ 50 tumbuhan} \\ \text{Total berat tumbuhan} &= 50 \times 3 \text{ g} \\ &= 150 \text{ g} \\ \text{Maka dalam 10 L} &= \frac{231 \text{ mg}}{150 \text{ g}}\end{aligned}$$

Kemudian disesuaikan dengan volume air limbah dalam studi kasus, yaitu 5000 L.

$$\begin{aligned}\text{Beban Fe} &= 5000 \text{ L x } 23,12 \text{ mg/L} \\ &= 115.600 \text{ mg} \\ \text{Jumlah tumbuhan} &= \frac{115.600 \text{ mg}}{\frac{231 \text{ mg}}{150 \text{ g}}} \\ &= 115.600 \text{ mg x } \frac{150 \text{ g}}{231 \text{ mg}} \\ &= \frac{75.064 \text{ g}}{3 \text{ g}} \\ &= 25.021 \text{ tumbuhan}\end{aligned}$$

b. Tumbuhan *S. natans*

Diketahui:

$$\begin{aligned}\text{Fe} &= 23,12 \text{ mg/L} \\ \text{Volume} &= 10 \text{ L} \\ \text{Jumlah tumbuhan yang digunakan} &= 42 \text{ tumbuhan} \\ \text{Berat tumbuhan} &= 2,85 \text{ g}\end{aligned}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}\text{Beban limbah yang diterima oleh 42 tumbuhan} &= 10 \text{ L} \times 23,12 \text{ mg/L} \\ \text{Volume air x Fe} &= 231 \text{ mg Fe/ 42 tumbuhan} \\ \text{Total berat tumbuhan} &= 42 \times 2,85 \text{ g} \\ &= 120 \text{ g} \\ \text{Maka dalam 10 L} &= \frac{231 \text{ mg}}{120 \text{ g}}\end{aligned}$$

Kemudian disesuaikan dengan volume air limbah dalam studi kasus, yaitu 5000 L.

$$\begin{aligned}\text{Beban Fe} &= 5000 \text{ L} \times 23,12 \text{ mg/L} \\ &= 115.600 \text{ mg} \\ \text{Jumlah tumbuhan} &= \frac{115.600 \text{ mg}}{\frac{231 \text{ mg}}{120 \text{ g}}} \\ &= 115.600 \text{ mg} \times \frac{120 \text{ g}}{231 \text{ mg}} \\ &= \frac{60.000 \text{ g}}{2,85 \text{ g}} \\ &= 21.052 \text{ tumbuhan}\end{aligned}$$

4.7.2 Kebutuhan Tumbuhan untuk Menyerap Mn

a. Tumbuhan *S. Molesta*

Diketahui:

Mn	= 25,5 mg/L
Volume	= 10 L
Jumlah tumbuhan yang digunakan	= 50 Tumbuhan
Berat tumbuhan	= 3 g

Perhitungan :

Beban limbah yang diterima oleh 50 tumbuhan	= 10 L x 25,5 mg/L
Volume air x Mn	= 255 mg Mn/ 50 tumbuhan
Total berat tumbuhan	= 50 x 3 g
	= 150 g
Maka dalam 10 L	= $\frac{255 \text{ mg}}{150 \text{ g}}$

Kemudian disesuaikan dengan volume air limbah dalam studi kasus, yaitu 5000 L.

Beban Mn	= 5000 L x 25,5 mg/L
	= 127.500 mg
Jumlah tumbuhan	= $\frac{127.500 \text{ mg}}{\frac{255 \text{ mg}}{150 \text{ g}}}$
	= 127.500 mg x $\frac{150 \text{ g}}{255 \text{ mg}}$
	= $\frac{75.000 \text{ g}}{3 \text{ g}}$
	= 25.000 tumbuhan

b. Tumbuhan *natans*

Diketahui:

$$\begin{aligned} \text{Mn} &= 25,5 \text{ mg/L} \\ \text{Volume} &= 10 \text{ L} \\ \text{Jumlah tumbuhan yang digunakan} &= 42 \text{ Tumbuhan} \\ \text{Berat tumbuhan} &= 2,85 \text{ g} \end{aligned}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Beban limbah yang diterima oleh 42 tumbuhan} &= 10 \text{ L} \times 25,5 \text{ mg/L} \\ \text{Volume air x Mn} &= 255 \text{ mg Mn/ 42 tumbuhan} \\ \text{Total berat tumbuhan} &= 42 \times 2,85 \text{ g} \\ &= 120 \text{ g} \\ \text{Maka dalam 10 L} &= \frac{255 \text{ mg}}{120 \text{ g}} \end{aligned}$$

Kemudian disesuaikan dengan volume air limbah dalam studi kasus, yaitu 5000 L.

$$\begin{aligned} \text{Beban Mn} &= 5000 \text{ L} \times 25,5 \text{ mg/L} \\ &= 127.500 \text{ mg} \\ \text{Jumlah tumbuhan} &= \frac{127.500 \text{ mg}}{\frac{255 \text{ mg}}{120 \text{ g}}} \\ &= 127.500 \text{ mg} \times \frac{120 \text{ g}}{255 \text{ mg}} \\ &= \frac{60.000 \text{ g}}{2,85 \text{ g}} \\ &= 21.052 \text{ tumbuhan} \end{aligned}$$

4.8 Efisiensi Removal Untuk Mencapai Baku Mutu

Dalam menentukan efisiensi removal supaya mencapai baku mutu dilakukan dengan mencari Indeks Fitoremediasi atau IFR. Perhitungan IFR adalah sebagai berikut:

$$\text{Indeks Fitoremediasi} = \frac{[\text{awal}] - [\text{akhir}]}{[\text{awal}]} \times 100\%$$

$$\text{Fe} = \frac{23,12 - 7}{23,12} \times 100 \%$$

$$= \frac{16,12}{23,12} \times 100 \%$$

$$= 69,7 \%$$

$$\text{Mn} = \frac{25,5 - 4}{25,5} \times 100 \%$$

$$= \frac{21,5}{25,5} \times 100 \%$$

$$= 84,3 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan, efisiensi removal Fe untuk mencapai baku mutu adalah 69,7 % sedangkan untuk Mn adalah 84,3%.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari studi literatur pada tugas akhir ini adalah:

1. Berdasarkan hasil analisis data studi literatur Tumbuhan *salvinia molesta* dapat menyerap kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) sebesar 7,1 mg/L dan 2,16 mg/L, dan *salvinia natans* dapat menyerap kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) sebesar 3,22 mg/L dan 2,44 mg/L.
2. Efisiensi removal yang dibutuhkan oleh tumbuhan *Salvinia molesta* dan *Salvinia natans* untuk menurunkan kadar Fe supaya mencapai baku mutu adalah sebesar 69,7%. Sedangkan untuk menurunkan kadar Mn efisiensi removal yang harus dicapai adalah 84,3%.

5.2 Saran

Saran dari studi literatur pada Tugas akhir ini adalah:

1. Melakukan validasi data terhadap kajian literatur yang diambil.
2. Melakukan penelitian yang [selanjutnya dapat dilakukan verifikasi pada uji laboratorium.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Adebayo, B. K., Ayejuyo, S. 2011. "Spectrophotometric Determination of Iron (III) in Tap Water Using 8-hydroxyquinoline as a Chromogenic Reagent". **African Journal of Biotechnology** vol 10(71) : 16051-16057.
- Anggriawan, A., Saputa, E., Olivia M. 2015. *Penyisihan Kadar Logam Fe dan Mn pada Air Gambut dengan pemanfaatan Geopolimer dan Kaolin sebagai Adsorben*. **Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau**.
- Astuti, L. P., dan Indriatmoko. 2018. Kemampuan Beberapa Tumbuhan Air dalam Menurunkan Pencemaran Bahan Organik dan Fosfat untuk Memperbaiki Kualitas Air. *Jurnal Teknologi Lingkungan* Vol. 19 (2) : 183-190
- Baiquni, H. 2007. *Praktek Unggulan Berkelanjutan Untuk Industri Pertambangan: Mengelola Drainase Asam dan Logam*. Commonwealth Copyright Administration, Intellectual Property Branch. Departement of Communication, Information Technology and Arts. Australia.
- Baroroh, F., Handayanto, E., dan Irawanto, R. 2018. Fitoremediasi Air Tercemar Tembaga (Cu) Menggunakan *Salvinia molesta* dan *Pistia stratiotes* Serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Tanaman. **Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan** Vol. 5 (1) : 689-700.
- Boyd, C. E. 1998. *Water Quality Management For Pond Fish Cultura*. Elsevier:Amsterdam.
- Cole, G.A. 1998. *Water Quality. Textbook of Limnolgy Third Edition*. Waveland Press, Inc., Illinois, USA.
- Chorom M. A., dan Parnianand J., N. 2012. Nickel Removal by the Aquatic Plant (*Ceratophyllum Demersum* L.) **International Journal of Environmental Science and Development** Vol. 3:372-375
- Dasmin, E. 2017. *Kajian Teknis Penanganan Air asam tambang*. Text Book. Yogyakarta:
- Damron, B.L., Eldred, A.R. 2002. **Journal of Tolerance of**

- white leghorn hens to iron in drinking Water** Vol 1: 406 -409.
- Dhir, B., Kumar, R. (2010). *Adsorption of heavy metals by Salvinia biomass and agricultural residues.* **Journal of International Environmental Research** Vol. 4(3), 427-432.
- Diehl, D. and W. Stumm. 1984. *Is Dissolved Mn²⁺ Being Oxidized by O₂ in Absence of Mn- Bacteria or Surface Catalysts.* **Journal of Science Geochemica et Cosmochimica Acta** Vol 48: 1,571-1,573.
- Duruibe, J. Ogwuegbu, O., MOC And Egwurugwu. *Heavy Metal Pollution and Human Biotoxic Effects.* **Journal of Physical Sciences** Vol. 2 (5): 112-118.
- Elberling, B., Asmund G. 2008. *Metal speciation and bioavailability in acid mine drainage from a high Arctic Coal mine waste rock pile.* **Journal of Cold Regions Science and Technology** Vol. 54 (2): 89-96.
- Febriansyah, Nugroho dan Heri, S. 2015. *Potensi dan Penyebaran PAF-NAF di Area Penambangan.* **Text Book Mining Drainage.**
- George, G., T., and Gabriel, J., J. 2017. *Phytoremediation of Heavy Metals from Municipal Waste Water by Salvinia molesta Mitchell.* **The Saudi Journal of Life Sciences** Vol. 2 (3) : 108-115.
- Ghosh, M., Singh SP. (2005). *Comparative Uptake and Phytoextraction Study of Soil Induced Chromium by Accumulator and High Biomass Weed Species.* **Journal of Applied Ecology and Environmental Research** Vol. 3(2): 67-79.
- Gusniani. 1996. *Karakteristik Limbah Cair Industri.* **Text Book of waste water.** Jakarta.
- Hedin, R.S., Nairn RW, Kleinmann R.L.P.: 1994: *Passive treatment of coal mine drainage:* **Journal of USBM IC Acid Mine Drainage** Vol. 1: 35.
- Hedin, R.S.: Watzlaf, G.R.: Nairn, R.W.: 1994b: *Passive treatment of acid mine drainage with limestone.* **Journal of Environ Quality** Vol. 23(6): 1338–1345.

- Herlambang. 2002. *Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri*. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan. **Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi**. Pemerintah Kota Samarinda
- Hermawati, Wiyanto, E., and Solichatun. 2005. *Fitoremediation of Detergent Waste Using Wood Apu (Pistiastratoites) and Genjer (Limnocharis flava L)*. **Journal of International SMART**.
- Hidayat, L. 2017. *Pengelolaan Lingkungan Areal Tambang Batubara (Studi Kasus Pengelolaan Air asam tambang (Acid Mine Drainage) di PT. Bhumi Rantau Energi Kabupaten Tapin Kalimantan Selatan*. **Jurnal ADHUM**. Vol. 7: 44-52.
- Hidayati, N. 2004. *Fitoremediasi dan Tumbuhan Hiperakumulator*. Hayati. 12(1): 35-40
- Irawanto, R., Damayanti, A., Tangahu, B.V., & Purwanti, I.F. 2015. Konsentrasi Logam Berat (Pb dan Cd) pada Bagian Tumbuhan Akuatik Coix lacryma-jobi (Jali). **Prosiding KPSDA** Vol 1(1): 139-146.
- Isnaini, A., Rohman, F., dan Tuarita, H. 2015. *Pengaruh Jenis Gulma Air Terhadap Penurunan Kadar Kromium (Cr) dalam Limbah Industri Penyamakan Kulit di Kota Malang*. **Jurnal FMIPA Universita Negeri Malang**.
- Johnson, D.B: Hellberg, K.B. 2005. *Acid Mine Drainage Remediation Options:Review Science of The Total Environment*. **Journal of Engineering Acid Mine Drainage**.
- Kaharapenni, M., Noor R. M. 2015. *Pencemaran Kualitas Air dari Adanya Potensi Air asam tambang Akibat Penambangan Batubara (Studi Kasus Pada Sungai Patangkep)*. **Jurnal INTEKNA** Vol 2.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 113 tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batu Bara.
- Kiswanto, Susanto, H., Sudarno. 2018. *Karakteristik Air Asam Batubara Di Kolam Bekas Tambang Batubara*. **Text Book Acid Mine Drainage**.
- Lesley, Batty: Daniel, Hooley: Paul, Younger. 2008. Iron and manganese removal in wetland treatment systems:

- Rates, processes and implications for management. **Journal Science of Total Environment**. Vol. 1: 1-8.
- Mangkoehardjo, S., dan Samudro, G. 2010. *Fitoteknologi Terapan*. Text Book Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Manjunath, S., dan Kousar, H. 2016. *Phytoremediation of Textile Industry Effluent Using Aquatic Macrophytes*. **International Journal of Environmental Sciences** Vol. 5 (2) : 65-74.
- Mardalena, Faizal, M., and Napoleon, A. 2018. *The Absorption of Iron (Fe) and Manganese (Mn) from Coal Mining Wastewater with Phytoremediation Technique Using Floating Fern (Salvinia natans), Water Lettuce (Pistia stratiotes) and Water Hyacinth (Eichornia crassipes)*. **BIOLOGICAL RESEARCH JOURNAL** Vol. 4: ISSN 2477-1392
- Marganingrum, D., and Noviardi R. 2010. *Water and Soil Pollution in Coal Mining Areas at PT. Berau Coal, East Kalimantan*. **Journal of Geology and Mining Research** Vol. 20 (1):11-20.
- Moore, J.W. 1991. *Inorganic Contaminants of Surface Water*. Springer-Verlag. Text Book Inorganic Contaminants. New York.
- Nasution, A., R. 2015. *Pengendalian Kualitas Air asam tambang di Kolam Pengendap Lumpur Stockpile I IUP TAL PT. Bukit Asam tbk*. **Journal of Engineering Acid Mine Drainage**.
- Nugraha, Sumiyati S., and Ganjar Samudro. 2010. *Elimination of Wastewater from Coal Mining Activities Using Biokoagulants: Decreased Study of TSS Levels, Total Total Fedan Mn Using Moringa Seeds (Moringaoleifera)*. **Journal of Precipitation** Vol 7 (2): 85-87.
- Nurhayati, O. 2013. *Phytoremediation of Zinc (Zn) in Liquid Waste by Apu Wood (Pistiastratiotes) and Kiambang (Salvinia molesta) on the Laboratory Scale*. **Journal of Online Scripta Biologica**.
- Oh, Chamteut: Ji, Sangwoo: Cheong, Youngwook: Yim, Giljae: Hong, Ji-hye: 2016. *Evaluation of Design Factors for Cascade Aerator To Enchance Efficiency of Oxidation Pond for Feruuginous Mine Drainage*. **Journal of**

Environmental Technology.

- Otto: 2014. *Pengolahan Air asam tambang Dengan Menggunakan Membran Keramik Berbahan Tanah Liat, Tepung Jagung dan Serbuk Besi.* **Jurnal Teknik Kimia** No.3 Vol. 20.
- Peraturan Gubernur Kalimantan Selatan No.036 Tahun 2008. *Tentang Baku Mutu Limbah Cair (Asam Tambang).*
- Pivetz, B. E. 2001. *Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites.* **Journal Ground Water Issue.**
- Rump, H. dan Krist, H. 1992. *Laboratory Manual for the Examination of Water, Wastewater, and Soil. Text Book of Waste Water.* Cambride.
- Rohman, Nur. 2008. *Penurunan TS (Total Solid) pada Limbah Cair Industri Perminyakan dengan Teknologi AOP.* **Journal of Reduction Waste Water** Vol 1: 670- 673 and 778-779.
- Salt, E., Blaylock M., Kumar, P. B. A., Dushenkov V., Chet, I., Raskin, I. 1995. *Phytoremediation: A Novel Strategy for the Removal of Toxic Metals from the Environmental Using Plants.* **Journal Nature Biotechnology.**
- Sayoga. 2007. *Pengelolaan Air asam tambang: Aspek Penting dalam Pertambangan yang Berwawasan Lingkungan. Pidato Ilmiah, majelis Guru Besar ITB.* *Journal of Mining.* Bandung.
- Singh D., Tiwari Archana dan Gupta Richa. 2012. *Pytoremedition of Lead from Waste Water Using Aquatic Plants.* **Journal of Agricultural Technology** Vol 8 (1): 1-11.
- Skousen, James. Rose G., A. 1998. *Handbook of Tecnologies for Avoidance and Remediation of AMD. Text Book The National Mine Land Reclamation Centre.*
- Skousen, Jeff. 2014. *Acid Mine Drainage, Rock Drainage, and Acid Sulfate Soil: Causes, Assesment, Prediction, Prevention, and Remediation, First Edition. Text Book of John Wiley & Sons, Inc.*
- Suhartono, E. 2011. *Uji Efektivitas dan Efisiensi Filter Biomassa Menggunakan Sabut Kelapa Sebagai Bioremoval Untuk*

- Menurunkan Kadar Logam (Cd, Fe, Cu) Total Padatan Tersuspensi dan Meningkatkan pH pada Limbah Air asam tambang Batubara. **Jurnal Studi Literatur Fitoremediasi** Vol (1) : 17-22. ISSN 2089-9122.*
- Suyono, Titisariwati, I., Mustaqfirin, A. 2015. *Rancangan Teknis Sistem Penyaliran Tambang pada Pit 3000 Block 5 South Block PT. Trubaindo Coal Mining Kabupaten Kutai Barat Provinsi Kalimantan Timur. **Jurnal Teknologi Pertambangan** Vol (1): 52-57.*
- Tarigan, M., S. 2000. *Kandungan Total Zat Padat Tersuspensi (Total Suspended Solid) di Perairan Raha. Sulawesi Tenggara.*
- United States., Environmental Protection Agency. 2000. *Guiding Principles For Constructed Treatment Wetlands: Providing for Water Quality and Wildlife Habitat. **U. S. Environmental Protection Agency.** Washington, DC.*
- Rathinakumar, V. 2014. *Aeration capacity of Stepped Cascade System for Selected Geometry. **Journal of Aeration capacity.***
- Widyati, E. 2009. *Peranan Mikroba Tanah pada Kegiatan Rehabilitasi Lahan Bekas Tambang. **Jurnal Pertambangan Batu Bara** Vol 2 (2): 151-1*

BIOGRAFI PENULIS



Rifki Adhi Saputra adalah nama lengkap penulis Tugas akhir ini. Penulis dilahirkan di Magelang pada tanggal 20 Agustus 1998. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari SD N 1 Salam , melanjutkan ke SMP N 1 Sleman, dan SMA Muhammadiyah 1 Yogyakarta, dan sekarang menempuh masa kuliah di S1 Departemen Teknik Lingkungan terdaftar pada NRP 03211640000089 Fakultas Teknik Sipil dan Kebumihan (FTSPK) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis juga aktif di dunia organisasi dan olahraga semasa kuliah. Dalam organisasi lingkup mahasiswa penulis pernah menjadi staff Dalam Negeri, dan Kepala Divisi Dalam Negeri Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) serta pernah menjadi staff BEM Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan (FTSLK). Penulis juga aktif mengikuti berbagai lomba di bidang olahraga. Berbagai pelatihan juga pernah ditempuh sebagai bentuk pengembangan diri sebagai mahasiswa. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberi serta sebagai acuan untuk dapat melakukan studi literatur dengan teknik fitoremediasi dan dapat melakukan penelitian sebagai validasi data terkait literatur yang dikaji. Penulis dapat dihubungi via email saputraadhirifki@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FORM FTA-03

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Rifki Adhi Saputra
NRP : 0321164000089
Judul : Studi Literatur Kemampuan Tumbuhan *Salvina Molesta* dan
Salvina Natans Terhadap Penyerapan Fe dan Mn pada
Pengolahan Air Asam Tambang

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	10-2-2020	Fiksasi proposal penelitian setelah seminar proposal, penentuan variabel penelitian, penentuan tumbuhan	
2	24-2-2020	Perlakuan Tumbuhan dan analisis data pada Laboratorium	
3	7-3-2020	Perubahan Tugas Akhir menjadi studi literatur	
4	27-3-2020	Draft laporan Tugas Akhir (format laporan studi literatur)	
5	13-4-2020	Bab 1 Pendahuluan: latar belakang, tujuan, ruang lingkup Bab 2 Metode Studi: kerangka studi, metode	
6	1-5-2020	Bab 3 Hasil dan Pembahasan; tabulasi literatur tentang pokok bahasan	
7	9-5-2020	Bab 4 Studi Kasus: prioritas lokasi, hasil perhitungan, langkah aplikasi	
8	17-5-2020	Abstrak: poin poin pokok yang dimuat Bab 5 Kesimpulan dan Saran: poin kesimpulan kuantitatif, saran merujuk ke perbaikan hasil tugas akhir	
9	26-5-2020	Draft laporan tugas akhir untuk seminar kemajuan	
10	8-6-2020	Konten Power Point untuk seminar kemajuan	
11	6-7-2020	Draft Laporan Tugas Akhir dan konten ppt untuk sidang lisan	
12	5-8-2020	Jurnal POMITS dan Finalisasi Laporan Tugas Akhir	

Surabaya, 6 Agustus 2020
Dosen Pembimbing

Bieby Vojant Tangahu, ST., MT., Ph.D.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Saran Perbaikan Ujian Lisan TA Genap 2019/2020

Lisan Remediasi

Lab Remediasi Lingkungan

Input NRP anda (tanpa spasi,format: 32xxxxxxxxxxx) *

Rifki Adhi Saputra (321164000089)

Dosen Pembimbing: Bieby Vojant Tangahu, ST, MT, PhD

Saran:

Tambahkan tabel rekap penelitian terdahulu tentang berbagai jenis tanaman yang dapat digunakan untuk remediasi maupun pengolahan air limbah, khususnya yang sesuai dengan karakteristik air asam tambang

LULUS

Dosen Penguji 1: Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MSCEs

Saran:

Hapus fitoremediasi: dan perdalam syarat pengolahan menggunakan tumbuhan

LULUS

Dosen Penguji 2: Ipung Fitri Purwanti, ST, MT, PhD

Saran:

penulisan: rapikan daftar gambar/tabel, ada hy 1 kalimat pd 1 hal, cek kesalahan ketik, tdk boleh ada hal kosong tambahkan tabel jenis2 tumbuhan yg bisa digunakan utk menurunkan Fe, Mn --> ada alasan utk memilih salvinia

LULUS

Dosen Penguji 3: Ir. Eddy Setiadi Soedjono, MSc., PhD

Saran:

1. Mungkin lebih baik juga diberikan nama lokal dari tumbuhan yang diselidiki!
2. Bagaimana dapat terjadi air asam tambang...fokus pada tambang batubara!
3. Mengapa air asam tambang kaya akan Fe dan Mn?
4. Buatlah ringkasan/tabel antara beda dan Samanya dari kedua tumbuhan tsb!
5. Berdasarkan pertanyaan nomor 4: jelaskan mengapa tumbuhan yang satu lebih baik dari yang lainnya?
6. Perhatikan Pedoman TA TL 2019 untuk penulisan TA: khususnya terkait dengan Tinjauan Pustaka!

LULUS

Ok

SEARCH 

Open Talk Program Pascasarjana Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan ITS
(http://enviro.its.ac.id/?u_event=open-talk-program-pascasarjana-fakultas-teknik-sipil-perencanaan-dan-kebumihan-its)

13/06/2020

Guest Lecture Series 2019 #8-Pencapaian Pembangunan Sanitasi Pemukiman di Indonesia
(http://enviro.its.ac.id/?u_event=guest-lecture-series-2019-8-pencapaian-pembangunan-sanitasi-pemukiman-di-indonesia)

25/04/2019