

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN KOMPOS PADA SEDIMEN SAWAH
DALAM REDUKSI SULFAT PADA AIR ASAM TAMBANG**

**AWALUDDIN TANSI
H041 17 1008**



**DEPARTEMEN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN KOMPOS PADA SEDIMEN SAWAH
DALAM REDUKSI SULFAT PADA AIR ASAM TAMBANG**

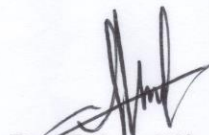
Disusun dan diajukan oleh

**AWALUDDIN TANSI
H041 17 1008**

**Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Biologi Fakultas
Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin
pada tanggal 23 Agustus 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan**

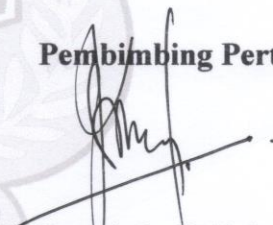
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



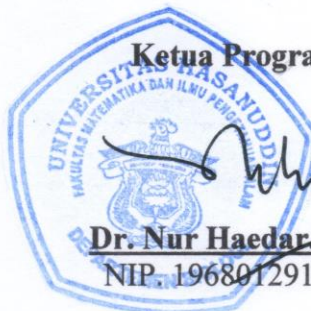
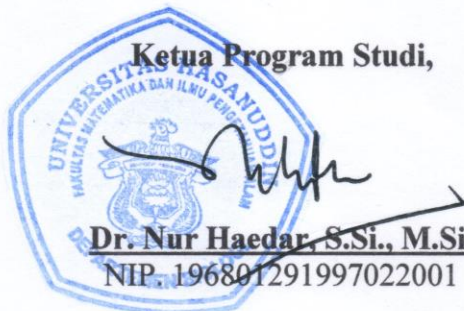
Dr. Fahrudin, M.Si.
NIP. 196509151991031002

Pembimbing Pertama,



Drs. As'adi Abdullah, M.Si.
NIP. 196203031989031007

Ketua Program Studi,



Dr. Nur Haedar, S.Si., M.Si.
NIP. 196801291997022001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Awaluddin Tansi

NIM : H041 17 1008

Program Studi : Biologi

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa Skripsi dengan judul Pengaruh Penambahan Kompos Pada Sedimen Sawah Dalam Reduksi Sulfat Pada Air Asam Tambang adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila di kemudian hari skripsi karya saya ini terbukti bahwa sebagian atau keseluruhannya adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 22 Juni 2021

Yang Menyatakan



Awaluddin Tansi
Nim. H041 17 1008

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. atas segala berkah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul Pengaruh Penambahan Kompos Pada Sedimen Sawah Dalam Reduksi Sulfat Pada Air Asam Tambang sebagai salah satu perwujudan Tri Darma Perguruan Tinggi serta syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Sains di Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa dalam pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi ini, masih banyak kekurangan yang tersirat didalamnya. Sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak untuk dapat menyempurnakan penelitian ini. Penulis berharap hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai sumber informasi tentang pentingnya penanggulangan air asam tambang dengan memanfaatkan sedimen *wetland* yang ditambahkan kompos sebagai salah satu alternatif efektif untuk pengolahan air asam tambang.

Ucapan terima kasih sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada kedua orang tua tercinta Ayahanda Tansi dan Ibunda Nur Alam. Berkat doa, dukungan dan nasihatnya penulis dapat semangat dalam menjalani dinamika perkuliahan selama ini. Tidak lupa pula ucapan terima kasih kepada keempat Saudara penulis, Risma, Ratna, Riska, Nurhidaya, atas doa dan dukungan yang telah diberikan.

Ucapan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya penulis sampaikan juga kepada Bapak dosen pembimbing yaitu Bapak Dr. Fahrudin, M.Si. dan Bapak Drs. As'adi Abdullah, M.Si. yang senantiasa membimbing penulis dalam menyelesaikan penelitian hingga penyusunan tugas akhir. Serta kepada tim dosen penguji yaitu Ibu Dr. Sjafaraenan, M.Si. dan Ibu Dr. Juhriah, M.Si. yang senantiasa memberikan kritik dan saran membangun sehingga penulis dapat banyak belajar selama pengerjaan penelitian ini.

Selain itu, tersusunnya skripsi ini tidak lepas dari doa dan dukungan berbagai pihak dan untuk itu ucapan terima kasih penulis juga di sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Dwia Aries Tina P., M.A., selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya.
2. Bapak Dr. Eng Amiruddin, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya.
3. Ibu Dr. Nur Haedar, M.Si. selaku Ketua Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
4. Ibu Dr. Sjafaraenan, M.Si. selaku dosen Penasehat Akademik (PA) sekaligus dosen penguji yang telah banyak membimbing penulis dalam menjalani kuliahnya dengan baik.
5. Ibu/Bapak Dosen Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Kata terima kasih tidak akan pernah cukup untuk membayar semua jasa beliau yang telah memberikan

ilmu, pesan moral dan pembelajaran etika yang sangat luar biasa kepada mahasiswanya.

6. Fuad Gani S.Si. yang telah banyak membimbing dan membantu penulis berupa kritik dan saranya selama penelitian di laboratorium Mikrobiologi dan penyusunan skripsi ini, terima kasih telah banyak memberikan semangat dan bantuannya.
7. Teman seperjuangan penelitian Sitti Nuraini Rahmah. Penulis mengucapkan terima kasih banyak atas semangat, motivasi dan kekompakan yang telah diberikan dan dibangun selama menjalankan penelitian.
8. Sahabat-sahabat penulis Vicky, Nanda, Amel, Irsan, Wahyu, Fatur, A. Oddang, Afdal yang senantiasa tidak pernah menyemangati penulis dalam menyelesaikan skripsinya, terima kasih selalu ada saat penulis membutuhkan teman untuk beristirahat dari dunia kampus.
9. Sahabat-sahabat penulis sejak mahasiswa baru yang telah menemani penulis dalam menjalani setiap drama kehidupan kampus. Canda dan tawa serta kebersamaan yang ditorehkan membuat penulis semangat dalam menyelesaikan perkuliahan dan tugas akhirnya.
10. Teman-teman di Biologi 2017, Biovergent'17 “Kami Datang, Kami Lihat, Kami Taklukkan” dan MIPA 2017 “Kami Satu Kami Bersaudara”. Terima kasih atas segala pengalaman dan kenangan indah yang telah diukir bersama dengan semangat kebersamaan dan kekeluargaan.

11. Teman-teman, kakak-kakak dan adik-adik di HIMBIO FMIPA “Janji Kami Mahasiswa Biologi Tak Akan Pernah Kami Lupakan” dan di KM FMIPA UNHAS. Terima kasih atas segala ilmu, nasehat, pengalaman, dan hangatnya rasa kekeluargaan yang telah diberikan dan dibangun selama penulis menjalani roda organisasi dan berada dalam jenjang pengaderan.
12. Teman-teman KKN Gel. 104 Posko Soppeng 4, terima kasih atas kenangan yang diukir bersama selama menjalani KKN di Kab. Soppeng dan dukungan serta doa yang telah diberikan kepada penulis.
13. Serta kepada seluruh pihak yang terlibat dalam kelancaran penelitian penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Semoga segala bantuan yang telah diberikan, dapat bernilai pahala.

Makassar, 22 Juni 2021

Awaluddin Tansi

ABSTRAK

Air asam tambang (AAT) merupakan limbah hasil pertambangan yang berbahaya bagi lingkungan dan dapat ditanggulangi dengan menggunakan bakteri pereduksi sulfat (BPS) yang bersumber dari sedimen dan penambahan kompos sebagai sumber nutrisi sederhana. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan kompos pada penurunan kandungan sulfat, meningkatkan pH dan meningkatkan jumlah populasi mikroba. Kadar sulfat diukur menggunakan metode gravimetri, perubahan pH diukur menggunakan pH meter, dan total mikroorganisme dihitung dengan metode SPC (*Standar plate count*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kompos pada perlakuan AAT yang paling baik dalam mereduksi sulfat adalah perlakuan P2 yaitu 298.4 ppm (77.83%), sedangkan perlakuan P4 (kontrol) hanya mampu mereduksi sulfat sebesar 135.1 ppm (33.76%). Penambahan kompos pada perlakuan AAT yang paling baik dalam meningkatkan pH AAT adalah perlakuan P2 yaitu 5.03 (64.16%), sedangkan perlakuan P4 (kontrol) hanya mampu meningkatkan pH AAT sebesar 2.79 (55.8%). Penambahan kompos juga mampu meningkatkan jumlah populasi mikroba paling baik pada perlakuan P3 yaitu 11.71 log CFU/mL, sedangkan perlakuan P4 (kontrol) hanya mampu meningkatkan jumlah populasi mikroba sebesar 7.35 log CFU/mL.

Kata Kunci : Sedimen, Kompos, Air Asam Tambang, Bakteri Pereduksi Sulfat.

ABSTRACT

Acid mine drainage (AMD) is a mining waste that is harmful to the environment and can be treated by using sulfate reducing bacteria (SRB) from sediment and adding compost as a source of nutrients. This study aims to determine the effect of adding compost on sulfate level reduce, pH increase and the number of microbial populations increase. Sulfate levels were measured using the gravimetric method, changes in pH were measured using a pH meter, and total microorganisms were calculated using the SPC (standard plate count) method. The results showed that the addition of compost to the AMD sample which was the best in reducing sulfate was P2 sample, which was 298.4 ppm (77.83%), while P4 sample (control) was only able to reduce sulfate by 135.1 ppm (33.76%). The addition of compost to AMD sample which was the best in increasing AMD pH was P2 sample, which was 5.03 (64.16%), while P4 sample (control) was only able to increase AMD pH by 2.79 (55.8%). The addition of compost was also able to increase the number of the microbial population which was the best in the P3 sample, which was 11.71 log CFU/mL, while the P4 sample (control) was only able to increase the microbial population by 7.35 log CFU/mL.

Keywords: Sediment, Compost, Acid Mine Drainage, Sulfate Reducing Bacteria.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Tujuan Penelitian	4
I.3 Manfaat Penelitian	5
I.4 Waktu dan Tempat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
II.1 Pencemaran Lingkungan	6
II.1.1 Tinjauan Umum Pencemaran Lingkungan.....	6
II.1.2 Pencemaran Limbah Pertambangan	7
II.2 Air Asam Tambang (AAT)	11
II.2.1 Tinjauan Umum Air Asam Tambang.....	11

II.2.2 Dampak Air Asam Tambang.....	14
II.2.3 Penanggulangan Air Asam Tambang.....	16
II.3 Sedimen <i>Wetland</i>	19
II.3.1 Peranan Sedimen <i>Wetland</i>	19
II.3.2 Sedimen Sawah	20
II.4 Bakteri Pereduksi Sulfat.....	21
II.4.1 Peranan Bakteri Pereduksi Sulfat	23
II.5 Kompos.....	24
BAB III METODE PENELITIAN	26
III.1 Alat.....	26
III.2 Bahan.....	26
III.3 Prosedur Penelitian.....	26
III.3.1 Sterilisasi Alat	26
III.3.2 Pengambilan Sampel.....	27
III.3.3 Air Asam Tambang (AAT)	27
III.3.4 Karakterisasi Sedimen dan Kompos	27
III.3.5 Karakterisasi Air Asam Tambang (AAT)	29
III.3.6 Pembuatan Perlakuan.....	29
III.4 Analisis Data	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
IV.1 Karakterisasi Awal Sedimen Sawah dan Kompos.....	33
IV.2 Pengukuran Kadar Sulfat	35
IV.3 Pengukuran pH.....	38

IV.4 Perhitungan Total Mikroba	40
BAB V PENUTUP	43
V.1 Kesimpulan.....	43
V.2 Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Tabel Kandungan C, N, P, K, Sedimen Sawah dan Kompos	34
2. Tabel Hasil Pengukuran Sulfat	49
3. Tabel Hasil Pengukuran pH	49
4. Tabel Hasil Perhitungan Total Mikroba	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pengukuran Kadar Sulfat	35
2. Pengukuran pH	38
3. Perhitungan Total Mikroba	40
4. Foto Pengambilan Sampel	51
5. Foto Pembuatan Perlakuan AAT	51
6. Foto Pembuatan Media dan Persiapan Pengerjaan	52
7. Foto Pengenceran, Inokulasi, dan Perhitungan Total Mikroba	52
8. Gambar Hasil Pengamatan Jumlah Total Mikroba	53
a. Hari Ke-0 (T0)	53
b. Hari Ke-5 (T1)	54
c. Hari Ke-10 (T2)	55
d. Hari Ke-15 (T3)	55
e. Hari Ke-20 (T4)	56
f. Hari Ke-25 (T5)	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Tabel Hasil Pengukuran	49
2. Alur Penelitian	50
3. Foto Pengambilan Sampel	51
4. Foto Pembuatan Perlakuan AAT	51
5. Foto Pembuatan Media dan Persiapan Pengerjaan	52
6. Pengenceran, Inokulasi, dan Perhitungan Total Mikroba	52
7. Gambar Hasil Pengamatan Jumlah Total Mikroba	53

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Perkembangan pembangunan yang pesat dalam dunia industri seringkali menjadi penyebab utama dalam pencemaran lingkungan yang dapat memberikan dampak buruk jika tidak diatasi dengan benar. Pencemaran yang dapat merusak tatanan lingkungan hidup biasanya berasal dari limbah-limbah yang sangat berbahaya dalam arti memiliki daya racun atau toksitas yang tinggi. Limbah-limbah yang sangat beracun pada umumnya merupakan limbah kimia (Fahrudin, 2018).

Negara Indonesia mempunyai berbagai macam industri termasuk salah satunya adalah industri pertambangan yang mengalami perkembangan pesat, karena Indonesia memiliki potensi alam sebagai lahan pertambangan. PT.Freeport di Irian Jaya merupakan salah satu industri pertambangan yang besar yang ada di Indonesia. Namun persoalan mendasar dari kegiatan pertambangan ini adalah adanya batuan limbah dan *tailing* yang dihasilkan dapat mencemari lingkungan (Soehoed, 2005).

Salah satu limbah yang berbahaya yang dihasilkan dari industri pertambangan adalah terbentuknya air asam tambang (AAT). Air asam tambang adalah air tambang dengan pH rendah yang berasal dari oksidasi pirit yang mengandung sulfida sehingga menghasilkan asam sulfat (H_2SO_4). Sulfat merupakan komponen utama yang akan menimbulkan masalah keasaman dan melarutkan logam berat yang sangat berbahaya bagi kehidupan dan kelestarian

lingkungan. Air asam tambang akan sangat berbahaya jika sampai ke pemukiman masyarakat melalui pengaliran langsung ke sungai, danau, dan lingkungan akuatis lainnya karena AAT memiliki pH yang sangat rendah dan banyak mengandung logam dengan tingkat toksisitas yang tinggi seperti logam tembaga (Cu), timbal (Pb), besi (Fe), kadmium (Cd), kobalt (Co), dan masih banyak lagi (Munawar, 2017).

Air asam tambang merupakan masalah lingkungan di negara-negara yang memiliki sejarah industri pertambangan yang lama hingga sekarang. Pencegahan pembentukannya atau mitigasi AAT dari sumbernya biasanya lebih disukai, meski terkadang tidak cocok untuk dilakukan di semua tempat, karena harus mengumpulkan, mengolah dan menyalurkan air tersebut yang sudah memiliki pH normal ke lingkungan di sekitarnya. Berbagai macam cara dapat dilakukan untuk remediasi air asam tambang, baik melalui mekanisme kimia dan biologis untuk menetralkan air asam tambang dan menghilangkan logam dari drainase air tambang (Johnson *et al.*, 2005).

Untuk itu berbagai teknologi telah berkembang dalam meminimalkan pembentukan air asam tambang. Pengelolaan kerusakan lingkungan ini dilakukan sesuai dengan ketentuan peraturan yang ada dan berlaku. Salah satu kerusakan yang timbul pada kegiatan penambangan batubara adalah penurunan pH air akibat adanya interaksi antara atmosfer, air dan batuan atau bahkan batubara itu sendiri yang dapat menimbulkan air asam tambang, karena umumnya batubara memiliki kisaran kelembaban antara 2–40 %, kandungan belerang 0,2–8 % dan kandungan abu 5–40 %, yang dapat menimbulkan efek pada nilai batubara sebagai sumber energi yang dapat mengakibatkan polusi dalam penggunaannya (Tresnadi, 2014).

Namun penanggulangan atau remediasi air asam tambang dengan menggunakan senyawa kimia sangat tidak efisien dan biaya yang dibutuhkan cukup mahal (Hard and Hinggins, 2003). Maka alternatif yang baik dan ramah lingkungan sebaiknya menggunakan mekanisme biologi yaitu salah satunya melalui bioremediasi dengan memanfaatkan *Sulphate Reduction Bacteria* (SRB) atau dikenal Bakteri Pereduksi Sulfat (BPS) untuk mendekontaminasi sulfat yang banyak terdapat pada lahan basah. Disamping itu BPS juga mampu menurunkan konsentrasi logam berat misalnya besi, seng, tembaga, dan lain-lain, melalui proses reduksi sehingga dapat menurunkan konsentrasi sulfat dengan cara BPS mereduksi sulfat menjadi sulfit yang tidak larut (Fahrudin *et al.*, 2014). Beberapa spesies BPS dapat mereduksi logam berat menjadi *immobil*, misalnya *Desulfovibrio vulgaris* yang dapat mereduksi uranium VI (U VI) menjadi U (IV) (Hard and Hinggins, 2003).

Bakteri pereduksi sulfat dapat diperoleh dari substrat-substrat berlumpur seperti pada sedimen. Sedimen sawah pada air asam tambang mampu meningkatkan pH air asam tambang, menurunkan kadar sulfat dan meningkatkan pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat (BPS) sehingga dapat digunakan untuk penanggulangan pencemaran lingkungan akibat air asam tambang. Kandungan materi organik yang tinggi dalam sedimen *wetland* menyediakan lingkungan yang ideal untuk populasi bakteri pereduksi sulfat (BPS) untuk proses presipitasi kompleks logam (May, 2007).

Bakteri pereduksi sulfat tidak bisa bekerja dengan efektif pada sedimen sawah jika tidak ada sumber nutrisi atau sumber karbon sederhana. Kompos

merupakan senyawa organik yang dapat menyediakan berbagai sumber nutrisi terutama sumber karbon alami seperti glukosa dan sukrosa untuk kinerja bakteri pereduksi sulfat. Unsur karbon (C) yang terdapat pada jerami merupakan sumber energi bagi mikroorganisme dalam proses pengomposan dan menghasilkan energi dalam bentuk panas pada tumpukan kompos (Atmaja *et al.*, 2017).

Adanya bakteri pereduksi sulfat yang bersumber dari sedimen sawah ini diharapkan dapat mengatasi limbah air asam tambang dengan indikator kenaikan pH yang menandakan adanya peningkatan populasi bakteri pereduksi sulfat dan penurunan kadar sulfat. Dengan adanya penambahan kompos yang merupakan sumber karbon sederhana kedalam inokulum diharapkan bakteri pereduksi sulfat dapat bekerja secara optimal. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian ini sebagai salah satu bentuk dari penanggulangan pencemaran air asam tambang dengan menggunakan sedimen sawah yang ditambahkan kompos sebagai sumber inokulum BPS.

I.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh penambahan kompos pada penurunan kandungan sulfat dalam air asam tambang yang diperlakukan dengan sedimen sawah.
2. Mengetahui pengaruh penambahan kompos pada perubahan pH dalam air asam tambang yang diperlakukan dengan sedimen sawah.
3. Mengetahui jumlah populasi bakteri dalam air asam tambang yang diperlakukan dengan sedimen sawah.

I.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang pentingnya penanggulangan air asam tambang dengan memanfaatkan sedimen *wetland* (sedimen sawah) yang ditambahkan kompos sebagai salah satu alternatif efektif untuk pengolahan air asam tambang. Disamping itu juga membuktikan bahwa betapa pentingnya prinsip-prinsip biologi itu sendiri dalam menangani pencemaran di alam.

I.4 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret – April 2021, di Laboratorium Mikrobiologi, Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar. Pengambilan sampel sedimen sawah berada di persawahan Teaching Industri Universitas Hasanuddin Makassar dan sampel air asam tambang diperoleh dari pertambangan batu bara Lamuru, Bone.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Pencemaran Lingkungan

II.1.1 Tinjauan Umum Pencemaran Lingkungan

Pencemaran atau polusi adalah suatu kondisi yang telah berubah dari bentuk asal pada keadaan yang lebih buruk. Pergeseran bentuk tatanan dari kondisi asal pada kondisi yang buruk ini dapat terjadi sebagai akibat masukan dari bahan-bahan pencemar atau polutan. Bahan polutan tersebut pada umumnya mempunyai sifat racun atau toksik yang berbahaya bagi organisme hidup. Toksisitas atau daya racun dan polutan itulah yang kemudian menjadi pemicu terjadinya pencemaran (Palar, 1994).

Lingkungan dapat diartikan sebagai media atau suatu areal tempat atau wilayah di dalamnya terdapat bermacam-macam bentuk aktifitas yang berasal dari ornamen-ornamen penyusunnya. Ornamen-ornamen yang membentuk lingkungan merupakan suatu bentuk sistem yang saling mengikat dan saling menyokong kehidupan mereka. Karena itu suatu tatanan lingkungan yang mencakup segala bentuk aktivitas dan interaksi didalamnya disebut sebagai suatu ekosistem yang dapat saling berpengaruh antara faktor biotik dan abiotiknya (Fahrudin, 2018).

Menurut UU Tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup, pencemaran lingkungan hidup adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya.

II.1.2 Pencemaran Limbah Pertambangan

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

Kegiatan pertambangan menimbulkan banyak dampak lingkungan dan sosial ekonomi yang negatif. Banyak perubahan terjadi pada wilayah pemukiman dan masyarakat, seperti perubahan penggunaan tanah, variasi ekosistem, polusi, kekurangan air dan gangguan aliran air tanah, terjadinya perubahan pada jaringan infrastruktur, pembangunan industri yang tidak seimbang, pemindahan paksa, dan perubahan pada struktur ekonomi dan penduduk lokal satu sama lain (Sánchez *et al.*, 2018).

Beberapa tahun terakhir ini seiring dengan meningkatnya jumlah aktivitas pertambangan di beberapa daerah, Indonesia mulai menghadapi berbagai permasalahan yakni timbulnya pencemaran lingkungan terutama pada air sungai dan danau akibat dari berbagai jenis limbah yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan yaitu berupa air tambang, limbah batuan/overburden, larutan sisa proses, tailing, bijih sisa dan sludge. Selain itu kegiatan pertambangan menghasilkan limbah yang dapat menyebabkan dampak pada air permukaan, juga

terjadi pencemaran air tanah, pencemaran udara, mengganggu kesehatan manusia dan menyebabkan kerusakan pada flora dan fauna (Fahrudin, 2018).

Daerah yang diperkirakan mengandung bahan tambang yang tinggi sering berada pada tempat yang sulit. Hal ini tidak saja menimbulkan tantangan bagi operasi penambangan melainkan juga implikasi terhadap lingkungan baik selama operasi, pasca operasi dan proses remediasi. Estimasi terhadap batuan limbah baik dari sumber batuan maupun sebagai hasil dari proses operasi harus ditentukan untuk kepentingan penanganan limbahnya. Limbah pertambangan yang dapat menimbulkan masalah kemasaman dapat berasal dari batuan penutup (*overburden*) dan lumpur (*tailing*) dari proses ekstraksi logam. Tanah dan batuan ini dianggap tidak mempunyai nilai secara ekonomis dan dibuang sebagai limbah (Downing *et al.*, 2002).

Limbah tambang berupa lumpur merupakan cairan dari sisa bahan tambang (*bijih*) dan bahan-bahan kimia yang digunakan dalam proses ekstraksi. Limbah tersebut harus ditentukan juga tingkat toksisitasnya untuk penentuan metode penanganan. Bahan-bahan tersebut berasal dari dalam tanah yang jauh dari permukaan bumi yang merupakan daerah tereduksi, yang akan teroksidasi ke permukaan bumi dan berpotensi menimbulkan kemasaman dengan kandungan ion-ion logam berat berbahaya yang tinggi (Downing and Giroux, 1993).

Salah satu permasalahan yang terjadi pada saat kegiatan penambangan batu bara adalah masalah air asam tambang, yaitu air hujan atau air tanah yang tercampur dengan batuan yang mengandung sulfida tertentu yang ada di dalam batubara, sehingga air tersebut bersifat sangat asam dan biasanya mengandung zat

besi serta mangan dengan konsentrasi yang tinggi. Selain itu pada saat penambangan air tanah atau air hujan yang terkumpul di dalam kolam tambang selain bersifat asam juga seringkali mengandung zat padat tersuspensi (*suspended solids*, SS) dengan konsentrasi yang tinggi (Said, 2014).

Air asam tambang batubara mengandung banyak senyawa logam yakni sulfida yang mudah larut dalam air, namun tergantung pH pada badan perairan itu sendiri. Air asam tambang terbentuk saat mineral sulfida tertentu yang ada pada batuan terpapar dengan kondisi dimana terdapat air dan oksigen yang menyebabkan terjadinya proses oksidasi dan menghasilkan air dengan kondisi asam. Logam berat yang terlarut dalam badan perairan pada konsentrasi tertentu dapat berubah fungsi menjadi sumber racun bagi kehidupan perairan (Ardika *et al.*, 2016).

Dampak yang ditimbulkan dari adanya logam berat dalam perairan tergantung dari keberadaan logam dalam air dan sedimen, daya toksik dan konsentrasinya dalam lingkungan. Logam berat jika masuk dalam tubuh makhluk hidup akan mengalami tiga proses yang dapat terjadi yaitu biokonsentrasi, bioakumulasi, dan biomagnifikasi. Biokonsentrasi adalah masuknya bahan pencemar secara langsung dari air oleh makhluk hidup melalui jaringan seperti insang atau kulit. Sedangkan bioakumulasi adalah masuknya bahan pencemar oleh makhluk hidup dari suatu lingkungan melalui suatu mekanisme atau lintasan. Sementara biomagnifikasi adalah proses dimana bahan pencemar konsentrasinya semakin meningkat dengan meningkatnya posisi makhluk hidup pada suatu rantai makanan (Hidayah *et al.*, 2014).

Bioakumulasi terjadi dalam jaringan tubuh setelah terjadi absorpsi logam dari air atau melalui pakan yang terkontaminasi. Bioakumulasi bahan kimia dalam suatu perairan merupakan kriteria penting dalam mengevaluasi ekologi dan tingkat pencemaran suatu lingkungan. Untuk mengukur tingkat pencemaran suatu perairan oleh bahan kimia yang disebabkan oleh kegiatan industri, pertanian dan limbah rumah tangga adalah dengan mengukur biokonsentrasi biota yang hidup didalamnya (Darmono, 2001).

Biasanya senyawa kimia yang sangat beracun bagi organisme hidup dan manusia adalah senyawa-senyawa kimia yang mempunyai bahan aktif dari logam berat. Fenomena pengikatan logam ke dalam jaringan organisme perairan berkaitan dengan kemampuan ikatan logam-logam. Protein yang mempunyai gugus yang mampu berikatan dengan ion-ion logam disebut metalotionin yang memainkan peranan pengikatan logam-logam dalam metabolisme (Palar, 1994).

Logam berat yang memiliki tingkat toksisitas baik yang rendah, sedang, dan tinggi jika masuk ke dalam tubuh organisme hidup terutama manusia akan terakumulasi di dalam tubuh dan menyebabkan keracunan dan mengganggu proses metabolisme yang ada. Daya racun yang dimiliki oleh bahan aktif dari logam berat akan bekerja sebagai penghalang kerja enzim dalam proses metabolisme. Metabolisme yang terganggu akibat keracunan logam berat akan membuat proses fisiologis tubuh seseorang akan tidak terkendali. Seperti misalnya jika logam timbal (Pb) jika banyak terdapat di dalam tubuh dapat menyebabkan gangguan pada fungsi ginjal dan neurologi (Adhani dan Husaini, 2017)

II.2 Air Asam Tambang (AAT)

II.2.1 Tinjauan Umum Air Asam Tambang

Air asam tambang ini terbentuk karena adanya mineral FeS (*pyrite*) yang teroksidasi. Air asam tambang (*acid mine drainage, AMD*) atau air asam batuan, yang secara keseluruhan disebut air asam (*acid drainage, AD*), adalah air yang berasal dari tambang atau batuan yang mengandung mineral sulfida tertentu yang terpapar dan dalam keadaan teroksidasi. Beberapa sulfida logam yang sering dijumpai pada wilayah pertambangan antara lain FeS (*pyrite*), FeS₂ (*marcasite*), Fe_xS_x (*pyrrhotite*), PbS (*galena*), Cu₂S (*chalcocite*), CuS (*covellite*), CuFeS₂ (*chalcopyrite*), MoS₂ (*molybdenite*), NiS (*millerite*), ZnS (*sphalerite*), dan FeAsS (*arsenopyrite*) (Said, 2014).

Air Asam Tambang (AAT) atau disebut juga Acid Mine Drainage (AMD), yang disebut juga Acid Rock Drainage (ARD) adalah air yang terbentuk di lokasi penambangan dengan pH rendah (pH<6) sebagai dampak dibukanya suatu potensi keasaman batuan sehingga menimbulkan permasalahan terhadap kualitas air dan tanah, dimana pembentukannya dipengaruhi oleh tiga faktor utama yaitu air, oksigen, dan batuan yang mengandung mineral-mineral sulfid seperti pirit, kalkopirit, markasit dan lain-lain (Koesyarno, 2007).

Air asam tambang terutama yang mengalir memiliki kemampuan untuk melarutkan logam berat dari material yang dilewatinya, umumnya material tanah/batuan penutup pada pertambangan terbuka. Jenis logam berat yang biasa terlarut antara lain sulfid, tembaga, perak dan seng. Sebagian besar permasalahan AAT berhubungan dengan penambangan batubara dan bijih primer, karena pada

kedua sumber sulfid terkadang banyak mineral sulfid yang terkandung didalamnya terutama mineral pirit (FeS_2) baik pada bijih maupun batuan (Mukhopadhyai and Mukherjee, 2013).

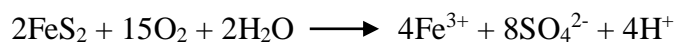
AAT yang terbentuk dari oksidasi mineral mengandung besi sulfur, seperti pirit (FeS_2) dan pirotit (FeS) oleh oksidator seperti air, oksigen dan karbondioksida dengan bantuan katalis bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* dan produk-produk lain sebagai akibat dari reaksi oksidasi tersebut. Asam sulfat merupakan produk antara yang terbentuk dari proses oksidasi yang sangat berpengaruh terhadap penurunan pH. Kemasaman pH air asam dapat berkembang dengan dihasilkannya besi sulfat yang merupakan oksidator kuat, dan di atas pH 3 akan terhidrolisis menghasilkan oksida besi yang memberi warna karat pada air asam. Pada pH 2,5 hingga 3,5 asam sulfat akan melarutkan ion-ion logam dari bentuk karbonat dan oksidanya dan relatif rendah terhadap sulfida logam (Fahrudin, 2018).

Prinsip terjadinya air asam tambang adalah adanya reaksi pembentukan H^+ yang merupakan ion pembentuk asam akibat oksidasi mineral-mineral sulfida dan bereaksi dengan air (H_2O). Kemudian oksidasi dari Fe^{2+} , hidrolisis Fe^{3+} dan pengendapan logam hidroksida. Prinsip tersebut bila dilihat secara kimia, sedangkan secara biologi terjadi air asam tambang akibat adanya bakteri-bakteri tertentu yang sanggup untuk mempercepat proses (katalisator) dari oksida mineral- mineral sulfida dan oksida-oksida besi (Wijaya, 2009).

Air asam tambang yang terbentuk dari oksidasi mineral mengandung besi sulfur, seperti pirit (FeS_2) dan pirotit (FeS) oleh oksidator seperti air, oksigen dan

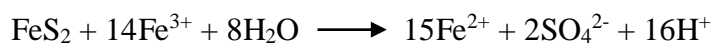
karbon dioksida dengan bantuan katalis bakteri *Thiobacillus ferroxidans* dan produk-produk lain sebagai akibat dari reaksi oksidasi tersebut. Reaksi terbentuknya AAT dapat dinyatakan dengan persamaan reaksi sebagai berikut (Fahrudin, 2018):

1. Oksidasi dari mineral sulfide. Proses oksidasi mineral sulfida dapat terjadi akibat adanya udara, air dan bakteri. Reaksi yang terbentuk adalah :

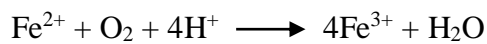


Dampaknya, lingkungan sedikit asam dengan indikator pH menurun sehingga memicu perkembangan bakteri *Thiobacillus ferroxidans*. Sumber energi diperoleh bakteri tersebut dari senyawa anorganik yang mengandung S dan Fe, akibatnya terjadi oksidasi pirit.

2. *Thiobacillus ferroxidans* mempercepat laju reaksi secara kimia oksidasi pirit dari 500.000 – 1.000.000 kali. Ion Fe^{3+} merupakan oksidan sangat kuat, sehingga reaksi yang terbentuk adalah :



3. Reaksi tersebut menyebabkan pH larutan turun secara drastis dan terbentuk :



Ion Fe^{3+} yang dihasilkan akan digunakan lagi oleh *Thiobacillus ferroxidans* membentuk AAT secara berulang, sehingga sekali saja AAT muncul, maka tidak dapat dihentikan hingga ratusan tahun.

Berdasarkan persamaan reaksi tersebut, bahan mineral yang dioksidasi adalah pirit (FeS_2) selanjutnya *Thiobacillus ferroxidans* menggunakan sulfur sebagai sumber energi dan memperoleh kebutuhan nutrisi dari atmosfer dan

mineral seperti sulfur dan fosfor. Bakteri ini berfungsi sebagai agen yang mempercepat terjadinya reaksi oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} dan ion sulfat.

Ion Fe yang terdapat pada mineral pirit akan terlarut menjadi presipitat yang dibebaskan ke dalam air dan membentuk senyawa $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang membentuk selaput seperti *jelly* berwarna merah orange sehingga disebut *yellow boy*. *Yellow boy* melapisi dasar perairan menghambat pertukaran udara sehingga dapat membunuh organisme yang hidup di dasar perairan (Stanford *et al.*, 2013).

II.2.2 Dampak Air Asam Tambang

Air asam tambang merupakan limbah pencemar lingkungan yang terjadi akibat aktifitas 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. Proses kimia dan biologi dari bahan-bahan mineral tersebut menghasilkan sulfat dengan tingkat keasaman yang tinggi. Secara langsung maupun tidak langsung tingkat keasaman yang tinggi mempengaruhi kualitas lingkungan dan kehidupan organisme (Wahyudin *et al.*, 2018).

Ketika mineral sulfid bereaksi dengan air atau oksigen, ion-ion logam dan ion hidrogen akan terlepas, sedangkan ion sulfid akan teroksidasi menjadi ion sulfat terlarut. Ion H^+ akan mengakibatkan turunnya pH air seringkali mencapai dibawah pH 3. Tingginya tingkat keasaman akan berdampak lain, yaitu pH yang rendah akan mengakibatkan kelarutan logam berat. Ion sulfida yang terikat oleh logam-logam seperti Cu, Zn, Cd, Pb dan As akan mengalami reaksi kimiawi

sehingga terlepas ion-ion logam yang merupakan racun utama dalam perairan (Fahruddin, 2018).

AAT merupakan polutan yang unik karena pembentukan dan pembuangan asam terus terjadi bahkan setelah penambangan dihentikan. Sebagai akibat dari keasamannya hal ini tidak cocok untuk penggunaan pada hewan, tumbuhan, manusia, dan kehidupan akuatik. Masalah AAT tidak terbatas pada area lokal sekitar sumbernya saja, tetapi dapat meluas hingga jarak yang jauh jika air asam dibiarkan dibuang ke aliran air utama. AAT lebih sering berdampak pada kualitas air tanah daripada air permukaan. Jika tambang penghasil asam berada dalam formasi permeabel, air dengan pH rendah akan meresap ke dalam akuifer dan menyebar ke wilayah yang lebih luas melalui pergerakan air tanah yang pada akhirnya dikonsumsi oleh manusia melalui sumur dan sumur bor. Air asam tambang tidak hanya bertanggung jawab atas korosi pada pabrik dan peralatan tambang dan pembentukan kerak pada rangkaian pipa saluran, tetapi juga pada pencemaran lingkungan permukaan tambang, sehingga mempengaruhi ekologi permukaan (Lottermoser, 2003).

AAT menyebabkan ancaman serius bagi kesehatan manusia dan sistem ekologi karena mengandung kontaminan logam berat yang tidak dapat terdegradasi secara biologis sehingga cenderung terakumulasi dalam organisme hidup yang menyebabkan berbagai penyakit dan gangguan. pH rendah dari drainase tambang menyebabkan kelarutan logam berat dalam air dan konsentrasinya yang tinggi menyebabkan efek toksikologi pada ekosistem perairan. Paparan akut konsentrasi tinggi logam dapat membunuh organisme

secara langsung, sedangkan paparan jangka panjang yang lebih rendah dapat menyebabkan kematian atau efek lain, seperti pertumbuhan terhambat, tingkat reproduksi yang lebih rendah, kelainan bentuk dan lesi. AAT juga memiliki efek langsung pada ikan dengan menyebabkan berbagai gangguan fisiologis. Keasaman yang tinggi dapat mempengaruhi laju pertumbuhan dan reproduksi ikan. Penyebab utama kematian ikan dalam air asam adalah hilangnya ion natrium dari darah. Kurangnya ketersediaan oksigen ke sel dan jaringan menyebabkan anoksia dan kematian karena air asam meningkatkan permeabilitas insang ikan ke air, yang berdampak buruk pada fungsi insang (Carlson *et al.*, 2002).

Selain dampak kimiawi dari drainase tambang, dampak fisik seperti peningkatan kekeruhan dari erosi tanah, akumulasi butiran batubara yang halus dan aliran substrat dari senyawa logam yang diendapkan juga dapat terjadi. Pengendapan besi hidroksida dapat menghasilkan lapisan dasar sungai, mengisi celah-celah di bebatuan dan membuat substrat tidak stabil dan tidak cocok untuk dihuni oleh organisme bentik. Jejak logam, seperti seng, kadmium dan tembaga yang mungkin juga ada di drainase tambang bersifat toksik pada konsentrasi yang ekstrim (Sangita *et al.*, 2010).

II.2.3 Penanggulangan Air Asam Tambang

Tahap awal yang dapat dilakukan dalam mengatasi peningkatan penyebaran AAT yaitu melakukan pencegahan dengan memeriksa reaksi kimia yang menghasilkan reaksi asam dan mikroba yang mengkatalis proses tersebut. Karena air dianggap sebagai media transportasi dasar untuk kontaminan, oleh karena itu migrasi AAT dapat dikendalikan dengan mengatur aliran air,

mengalihkan aliran air permukaan ke lokasi pencemaran, mencegah infiltrasi air tanah, mencegah rembesan air hidrologi ke area yang terkena dampak dan pengelolaan limbah asam yang tepat. Banjir juga dapat mencegah AAT karena metode ini menghilangkan oksigen dan sangat membatasi pembentukan asam tetapi secara teknis lebih sulit dan kurang efektif dibandingkan metode lain dalam pencegahan AAT (Akcil dan Koldas, 2006).

Phosphatic clay (tanah liat fosfat), produk limbah yang dihasilkan selama produksi pupuk dulu digunakan untuk mencegah atau mengurangi pembentukan AAT. Penurunan keasaman 40 sampai 80% diamati seiring dengan penurunan konsentrasi Fe, Mn, Mg, Al dan sulfat. Surfaktan anionik dapat digunakan untuk mengontrol aktivitas *Ferroxidants thiobacillus* yang mempercepat oksidasi pirit. Senyawa organik, seperti asam benzoat, asam sorbat dan natrium lauril sulfat ditemukan sebagai surfaktan anionik yang efektif untuk menghambat oksidasi bakteri. Suatu studi menggunakan batuan fosfat sebagai inhibitor oksidasi pirit. Pelarutan batuan fosfat dalam air asam akan melepaskan ion fosfat yang sangat reaktif yang bergabung dengan besi membentuk besi fosfat yang tidak larut dan akan menghambat reaksi siklik atau besi dan pirit (Sangita *et al.*, 2010).

Pada pertambangan terbuka, AAT berpotensi untuk terbentuk di area penambangan aktif dan disposal. Keberadaan AAT di lingkungan terutama air permukaan maupun air tanah berpotensi memberikan dampak terhadap terganggunya kualitas dan habitat lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengelolaan AAT yang baik untuk mencegah dan mengolah AAT agar memenuhi

standar kualitas lingkungan sebelum dialirkan ke badan air penerima di sekitar (Gunawan, 2014).

Metode pengolahan baik secara aktif maupun pasif dikembangkan untuk mengevaluasi metode yang efektif dan efisien. Metode pengolahan secara pasif dikembangkan dengan menggunakan metoda *aerobic wetland*, *successive alkalinity producing system* (SAPS), dan *open limestone channel* (OLC). Debit dan asiditas pada inlet merupakan faktor utama yang mempengaruhi performa sistem pengolahan pasif. Sistem pengolahan pasif memberikan kemudahan dalam proses penanganan air asam tambang karena tidak diperlukan suplai material, energi, dan tenaga manusia secara kontinu namun memiliki keterbatasan dalam hal kapasitas pengolahan (Indra *et al.*, 2014).

Metode pengolahan aktif merupakan metode untuk menetralisasi AAT yang dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metoda, yaitu: pemberian kapur tohor dengan pembubuhan kering, pemberian larutan kapur dengan instalasi tanpa elektrik, dan pemberian larutan kapur dengan pengadukan secara mekanis dengan elektrik. Metode netralisasi secara mekanik memiliki efektivitas yang cukup tinggi namun sistem ini membutuhkan energi listrik yang besar. Netralisasi AAT dengan pemberian produk *caustic soda* berupa *flake* dan *liquid* tengah dikaji untuk diterapkan sebagai alternatif pengganti kapur. Kelarutan *caustic soda* yang tinggi diharapkan mampu menetralkan AAT dengan lebih efektif dibandingkan penggunaan kapur terutama pada kondisi aliran rendah (Skousen *et al.*, 2000).

Kajian bioteknologi untuk pengelolaan air asam tambang merupakan langkah yang baik dan bijaksana, karena akan mengurangi pencemaran

lingkungan perairan seminimal mungkin. Salah satu alternatif yang banyak dikaji sekarang adalah pengelolaan air asam tambang (AAT) secara biologis dengan menggunakan bakteri pereduksi sulfat (BPS) atau *Sulphate Reduction Bacteria* (SRB) yang berasal dari sedimen *wetland* untuk mendekontaminasi sulfat. Selain itu, bakteri pereduksi sulfat juga mampu menurunkan konsentrasi logam melalui pengendapan logam (Fahrudin, 2018).

II.3 Sedimen *Wetland*

II.3.1 Peranan Sedimen *Wetland*

Sedimen merupakan bahan atau partikel yang terdapat di permukaan bumi (di daratan maupun lautan), yang dapat mengalami proses pengangkutan dari kawasan yang satu ke kawasan yang lainnya. Air dan angin sebagai agen penyalur utama. Sedimen tersebut jika mengeras akan menjadi batu sedimen. Sedimen adalah pecahan, mineral, atau material organik dari berbagai sumber diendapkan oleh media udara, angin, es, air dan juga termasuk didalamnya material yang diendapkan dari material yang melayang dalam air atau dalam bentuk larutan kimia (Sulaiman, 2008).

Pengolahan AAT dengan perlakuan *wetland* akan lebih murah dan mengurangi tenaga kerja dibandingkan jika pengolahan AAT dengan cara penambahan kapur. Sedimen *wetland* dapat dijadikan sebagai sumber bahan organik, reduksi logam dalam air terkontaminasi menggunakan *wetland* dapat menurunkan kandungan seng 150 menjadi 0,2 mg/l, tembaga 55 menjadi 0,05 mg/l, besi 700 menjadi 1 mg/l dan mangan 80 menjadi 1 mg/l. Remediasi dengan *wetland* merupakan gabungan dari kemampuan mikroba yang meliputi: adsorpsi

logam, bioakumulasi logam, oksidasi logam dan reduksi sulfat. Reduksi sulfat menghasilkan sulfida yang mengendapkan logam sehingga mengurangi konsentrasi logam dalam larutan. Kandungan materi organik yang tinggi dalam sedimen *wetland* menyediakan lingkungan yang ideal untuk populasi bakteri pereduksi sulfat (BPS) untuk proses presipitasi kompleks logam (Fahrudin, 2018).

Para peneliti di Idaho National Engineering and Environmental Laboratory (INEEL) telah mengembangkan suatu teknologi yang menyamakan dengan proses alam pada air yang terkontaminasi asam sulfat. Dalam lumpur *wetland* terdapat bakteri yang secara alami melepaskan kontaminan. Cara ini dilakukan dalam bioreaktor yang tidak diinokulasi lagi mikroba dari luar, karena secara alami sudah terdapat bakteri menetap dalam sedimen *wetland*. Secara alami fungsi dalam serbuk gergaji, laktat, asetat, propionate, butirat, format, etanol dan sumber karbon lain lebih sederhana senyawa sederhana yang berbobot molekul rendah yang dapat dimanfaatkan oleh bakteri pereduksi sulfat sebagai donor elektron bagi BPS, pada gilirannya mereduksi sulfat dan sulfit yang mengendap dari larutan bersama dengan logam. Sistem ini telah diuji oleh ilmuwan di INEEL yang hasilnya mampu melepaskan beberapa logam dalam AAT diantaranya adalah tembaga, kobal dan besi sampai 99% (May, 2007).

II.3.2 Sedimen Sawah

Sedimen sawah memiliki kandungan nutrisi yang cukup tinggi yang disebabkan oleh bercampurnya mineral dari tanah sawah dengan jerami padi yang akan terurai menjadi bagian yang lebih kecil dan akan tersuspensi dan dikonsumsi oleh mikroorganisme dalam sedimen sawah. Sumber hara pada sedimen sawah

terutama berasal dari kandungan mineral tanah sawah tersebut. Peranan mineral di sedimen sawah sangatlah penting, selain sebagai sumber hara juga berperan dalam menentukan muatan tanahnya. Pelapukan mineral di dalam tanah menghasilkan unsur-unsur hara baik unsur hara makro primer (P dan K), maupun unsur hara makro sekunder (Ca dan Mg) yang banyak diperlukan untuk pertumbuhan tanaman. Pengembalian jerami padi ke tanah sawah sangat direkomendasikan karena dapat meningkatkan kandungan C-organik dan N, P, K, N, Ca, Mg, dan Zn (Prasetyo dan Setyorini, 2008).

II.4 Bakteri Pereduksi Sulfat

Bakteri Pereduksi Sulfat (BPS) adalah bakteri yang pada kondisi tertentu mampu mereduksi senyawa sulfat menjadi sulfida. Bakteri pereduksi sulfat yang masuk dalam genus *Desulfovibrio* dan *Desulfotomaculum* mengoksidasi senyawa organik maupun H_2 menggunakan sulfat sebagai akseptor elektron terakhir menghasilkan H_2S dan bikarbonat. Sulfida yang dihasilkan kemudian bereaksi dengan ion logam berat untuk selanjutnya membentuk logam sulfida yang mengendap dan sukar larut (Ambrawati, 2002).

Berdasarkan morfologi dan metabolismenya, bakteri pereduksi sulfat (BPS) atau *Sulphate Reduction Bacteria* dibagi ke dalam 8 genus, yaitu *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum*, *Desulfomonas*, *Desulfotobacter*, *Desulfolobus*, *Desulfococcus*, *Desulfonema*, dan *Desulfosarcina*. Mereka hidup optimal pada temperatur 25-40°C, namun beberapa spesies dapat hidup dalam rentang temperatur 4-75°C. BPS merupakan salah satu mikrobia penting. Bakteri ini ditemukan hampir di semua lingkungan di bumi: tanah, air tawar, air laut dan air

payau, sumber air panas, daerah geothermal; sumur minyak dan gas, cadangan sulfur, endapan lumpur, selokan, besi berkarat, rumina kambing dan usus serangga. Hidupnya obligat anaerob, namun dapat bertahan dalam waktu yang cukup lama pada kondisi aerasi yang baik bila tersedia nutrisi yang berlimpah (Taroreh *et al.*, 2015).

Bakteri Pereduksi Sulfat mempunyai sifat yang khas, yaitu hidup pada sedimen anoksik atau bagian dasar dari lingkungan akuatik air tawar, marin, dan hipersalin. Disamping itu, spesies termofilik mempunyai kemampuan untuk tumbuh pada lingkungan dengan suhu tinggi seperti sumber air panas. Kelompok bakteri tersebut merupakan anaerob sejati, dengan peranan sebagai spesies pereduksi sulfat utama pada bagian bawah (sedimen) ekosistem dengan pengairan yang buruk, seperti tempat pembuangan limbah, tanah sawah, sedimen perairan tawar anoksik, payau, laut dan usus binatang (Holt *et al.*, 1993).

Secara umum, keberadaan bakteri pereduksi sulfat pada lingkungan anoksik dapat diketahui dari pembentukan sedimen yang berwarna hitam dan bau khas dari hidrogen sulfida. Bakteri pereduksi sulfat hidup secara anaerob dan dapat tumbuh pada kisaran pH 2 sampai pH 9, tetapi optimalnya pada pH 7. Bakteri ini ditemukan hampir pada semua tanah, dan air, terutama yang banyak mengandung bahan organik suasana anaerob, asam sulfat akan direduksi oleh bakteri pereduksi sulfat menghasilkan gas H₂S dan H₂O. Bakteri pereduksi sulfat dapat diperoleh dari substrat-substrat berlumpur seperti pada sedimen (Sulfita *et al.*, 1997).

II.4.1 Peranan Bakteri Pereduksi Sulfat

BPS sangat berperan dalam pembentukan endapan (deposit) sulfur. Kandungan endapan sulfur dalam suatu sedimen bermula dari reduksi sulfat pada kondisi anaerob oleh *Desulvibrio* dengan menghasilkan hidrogen sulfida. Selanjutnya hidrogen sulfide dioksidasi oleh *Thiobacillus* menjadi unsur sulfur yang merupakan proses pembentukan deposit sulfur, yang dapat berupa persenyawaan organik maupun anorganik (Atlas and Bartha, 1981).

Salah satu alternatif penanggulangan pencemaran limbah AAT adalah bioremediasi dengan BPS untuk mendekontaminasi sulfat, disamping itu BPS juga mampu menurunkan konsentrasi logam berat, seperti besi, seng, tembaga dan lain-lain. Seperti diketahui AAT dan air limbah asam tambang mengandung kadar logam dalam jumlah tinggi, antara lain seng, tembaga, besi, mangan, aluminium, kadmium dan arsen. Dalam aktivitas metabolismenya BPS mereduksi sulfat menjadi logam sulfida yang tidak larut. Presipitasi logam menjadi sulfida ini menghilangkan logam dari dalam perairan. Beberapa spesies BPS dapat mereduksi logam menjadi immobil (Fahrudin, 2018).

Dalam melakukan reduksi sulfat, BPS menggunakan sulfat sebagai sumber energi yaitu sebagai akseptor elektron dan menggunakan bahan organik sebagai sumber karbon (C). Karbon tersebut berperan sebagai donor elektron dalam metabolisme juga merupakan bahan penyusun selnya. BPS menggunakan donor elektron H_2 dan sumber C (CO_2) yang dapat diperoleh dari bahan organik. Reduksi sulfat dapat terjadi dalam kisaran nilai pH, tekanan, suhu dan kondisi salinitas yang luas. Reduksi sulfat dapat dihambat dengan adanya oksigen, nitrat dan ion

ferric. Peran BPS dapat diterapkan antara lain untuk pengolahan AAT (Air Asam Tambang) untuk mengurangi pencemaran lingkungan seminimal mungkin; mendekontaminasi sulfat dan menurunkan konsentrasi logam melalui proses pengendapan logam. BPS juga telah didemonstrasikan untuk bioremediasi tanah bekas tambang batu bara (Taroreh *et al.*, 2015).

II.5 Kompos

Pengomposan merupakan salah satu metode pengelolaan sampah organik yang bertujuan mengurangi dan mengubah komposisi sampah menjadi produk yang bermanfaat. Pengomposan merupakan salah satu proses pengolahan limbah organik menjadi material baru seperti halnya humus. Kompos umumnya terbuat dari sampah organik yang berasal dari dedaunan dan kotoran hewan, yang sengaja ditambahkan agar terjadi keseimbangan unsur nitrogen dan karbon sehingga mempercepat proses pembusukan dan menghasilkan rasio C/N yang ideal. Kotoran ternak kambing, ayam, sapi ataupun pupuk buatan pabrik seperti urea bisa ditambahkan dalam proses pengomposan. Selama proses pengomposan, sejumlah jasad hidup seperti bakteri dan jamur, berperan aktif dalam penguraian bahan organik kompleks menjadi lebih sederhana (Suwatanti dan Widiyaningrum, 2017).

Kompos merupakan salah satu pupuk organik yang digunakan pada pertanian untuk mengurangi penggunaan pupuk anorganik. Penggunaan kompos dapat memperbaiki sifat fisik tanah dan mikrobiologi tanah. Kompos memiliki kandungan unsur hara seperti nitrogen dan fosfat dalam bentuk senyawa kompleks argon, protein, dan humat.. Berbagai upaya untuk meningkatkan status hara dalam

kompos telah banyak dilakukan, seperti penambahan bahan alami tepung tulang, tepung darah kering, kulit batang pisang dan *biofertilizer* (Elpawati *et al.*, 2015).

Substrat organik yang kompleks merupakan sumber karbon bagi mikroorganisme yang memanfaatkan karbon sebagai donor elektron di alam. Dalam penelitian Fahrudin (2009), dijelaskan bahwa kompos merupakan komponen pendukung dalam pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat karena kompos mengandung bahan organik sederhana sebagai nutrisi dalam kinerja bakteri pereduksi sulfat. Hal ini dapat dibuktikan dalam penelitian Fahrudin *et al.*, (2014), yaitu pada pengolahan AAT dengan penambahan sedimen rawa dan sedimen sawah yang kemudian ditambahkan kompos, pada sedimen rawa terjadi peningkatan pH yakni dari pH 3 menjadi pH 6,263 pada hari ke-30, sedangkan pada sedimen sawah terjadi peningkatan dari pH 3 menjadi pH 6,557 pada hari ke-30, sementara perlakuan yang tidak ditambahkan sedimen maupun kompos hanya terjadi peningkatan dari pH 3 menjadi pH 3,380. Hal ini disebabkan karena tidak adanya penambahan sedimen sebagai sumber inokulum mikroba dan kompos yang berperan sebagai sumber nutrisi seperti unsur karbon (C), nitrogen (N), fosfor (P) untuk dapat mendukung pertumbuhan mikroba dengan baik yang dapat mereduksi sulfat menjadi sulfida dan mereduksi logam berat kadmium, tidak adanya sumber nutrisi dari kompos sehingga mikroba tidak dapat bertahan hidup pada kondisi lingkungan yang asam (Fahrudin, 2018).