

**KEMAMPUAN KONSORSIUM BAKTERI SEDIMEN RAWA DALAM
MENURUNKAN KANDUNGAN SULFAT DAN KANDUNGAN LOGAM
BERAT TIMBAL (Pb) PADA AIR ASAM TAMBANG BATUBARA**

ABDUL WAHAB

H411 15 012



**DEPARTEMEN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2020**

**KEMAMPUAN KONSORSIUM BAKTERI SEDIMEN RAWA DALAM
MENURUNKAN KANDUNGAN SULFAT DAN KANDUNGAN LOGAM
BERAT TIMBAL (Pb) PADA AIR ASAM TAMBANG BATUBARA**

ABDUL WAHAB

H411 15 012

SKRIPSI

KEMAMPUAN KONSORSIUM BAKTERI SEDIMEN RAWA DALAM
MENURUNKAN KANDUNGAN SULFAT DAN KANDUNGAN LOGAM BERAT
TIMBAL (Pb) PADA AIR ASAM TAMBANG BATUBARA

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

2020

**KEMAMPUAN KONSORSIUM BAKTERI SEDIMEN RAWA DALAM
MENURUNKAN KANDUNGAN SULFAT DAN KANDUNGAN LOGAM
BERAT TIMBAL (Pb) PADA AIR ASAM TAMBANG BATUBARA**

Disusun dan di diajukan oleh

ABDUL WAHAB

H411 15 012

Disetujui oleh :

Pembimbing Utama



Dr. Fahrudin, M.Si.
NIP. 19650915 199103 1 002

Pembimbing Pertama



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

Makassar, Juli 2020

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi ini merupakan karya orisinil saya dan sepanjang pengetahuan saya tidak memuat bahan yang pernah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain dalam rangka tugas akhir untuk memperoleh gelar akademik di Universitas Hasanuddin atau di lembaga pendidikan lainnya, dimanapun, kecuali yang telah dikutip sesuai kaidah yang berlaku. Saya juga menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri dan dibantu oleh pihak pembimbing.

Makassar, 14 Agustus 2020

Penulis

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'W' followed by a vertical line and a horizontal stroke at the bottom.

Abdul Wahab

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur atas kemuliaan dan rahmat yang telah diberikan sepatutnya penulis panjatkan kehadirat Allah subhanahu wataala. Salam serta salawat taklupa tercurahkan pada Nabi Muhammad sallallahu alaihi wasallam, keluarga, sahabat serta pengikutnya. Alhamdulillah skripsi yang berjudul “Kemampuan Konsorsium Bakteri Sedimen Rawa Dalam Menurunkan Kandungan Sulfat Dan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Air Asam Tambang Batubara” dapat terselesaikan dengan baik dan lancar. Skripsi ini sebagai syarat dalam menyelesaikan jenjang Pendidikan tinggi di Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin Makassar.

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan skripsi ini tidak sedikit halangan. Namun, doa dan dorongan dari berbagai pihak selalu menjadi semangat lebih dalam menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Terima kasih yang tiada putusnya penulis ucapkan kepada orang tua, ayahanda **Abdul. Rachman** dan ibunda **Hj. Wahida Tajuddin** tercinta atas segenap doa dan kasih sayang yang tiada batas serta adik-adikku **Muh. Ikhlas, Muhammad Ilham dan Muhammad Abdillah** yang selalu memotivasi diri penulis. Selesaiannya skripsi ini juga menjadi bukti dedikasi dan tanggung jawab besar dari yang terhormat bapak **Dr. Fahrudin, M.Si.** selaku pembimbing utama sekaligus sebagai penasehat akademik dan ibu **Dr. Nur Haedar, M.Si.** selaku pembimbing pertama yang telah meluangkan diri dalam membimbing dan mendidik penulis sejak awal penelitian hingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang baik, penulis ucapkan pula kepada:

1. Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, M.Si.** selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin yang selalu memberikan petunjuk dan dorongan untuk menyelesaikan studi.
2. Bapak **Dr. Andi Ilham L, M.Si.** selaku wakil dekan bidang kemahasiswaan, alumni Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin yang banyak membangun karakter yang baik bagi penulis.
3. Ibunda **Dr. Nurhaedar, M.Si.** selaku ketua Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin beserta segenap staf pegawai yang tidak pernah melepas perhatian beliau kepada setiap mahasiswanya.
4. Ibu **Prof. Dr. Hj. Dirayah R. Husain, DEA.** selaku penanggungjawab Laboratorium Mikrobiologi Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin
5. Segenap bapak dan ibu dosen yang banyak membekali ilmu pengetahuan pada penulis dalam bangku kuliah maupun kegiatan lain.
6. Segenap bapak dosen penguji yang meluangkan waktu dan pikirannya dalam pelaksanaan ujian.
7. Saudara-saudaraku **Bioclemat15** teman seperjuangan dalam menjalani perkuliahan, tempat berbagi keluh kesah, memberikan pelajaran tentang dinamika kehidupan mahasiswa dan akan selalu ada.
8. Kawan-kawan **MIPA 2015** yang telah menemani penulis dalam membangun arah dan jatidiri bersama

9. Kanda **Fuad Gani, S.Si**, kanda **Heriadi, S.Si** dan **Dwi Nur Anggraeni S.Farm** yang sangat banyak membimbing dan membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Sahabatku **Muhammad Rifaat, Muammar, Agus Rahman, Ahmad Alfarid, Ansar Abdullah, Hardiono, Reza Adriansyah** sebagai sahabat yang selalu menemani dalam suka, susah, duka dan memberikan arti sahabat seutuhnya.
11. Sahabatku **Emmy Squad** yang selalu kebersamai dalam menjalani kehidupan perantauan dengan hal – hal gila yang selalu membuat tertawa dan menemani dalam suka dan duka.
12. Kanda-kanda, adik-adik dan teman-teman di **HIMBIO FMIPA Unhas** dan **UKH Canopy Biologi**, yang banyak mengajar dan memberikan semangat.
13. Semua pihak yang ikut terlibat dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih sangat jauh dari kesempurnaan dan masih tetap perlu dikembangkan. Oleh karena itu kritik serta saran yang membangun akan sangat membantu dan memotivasi khususnya pada diri penulis. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua dan mengambil peran yang baik dalam kemajuan ilmu pengetahuan, Aamiin.

Wassalamualaikum Wwarahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, Juni 2020



Penulis

ABSTRAK

Permasalahan Air Asam Tambang (AAT) dilingkungan dapat di tanggulangi dengan cara bioremediasi menggunakan inokulum konsorsium bakteri yang dapat diidolasi dari sedimen rawa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan konsorsium bakteri asal sedimen rawa dalam mereduksi sulfat dan kandungan logam Timbal (Pb) pada air asam tambang. Perubahan nilai pH diukur dengan pH meter, pengukuran kadar sulfat dengan metode gravimetri, kadar logam timbal (Pb) dengan metode AAS (*Atomic Absorbsion Spektrophotometri*) dan perhitungan jumlah bakteri dengan metode SPC (*standart Plate Count*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Inokulum konsorsium bakteri sedimen rawa mampu mereduksi kadar sulfat pada AAT dalam waktu 30 hari dari kadar awal 439,00 ppm menjadi 81,00 ppm pada perlakuan AAT yang ditambah kompos steril dan konsorsium bakteri. Sedangkan pada perlakuan AAT ditambah kompos tidak steril dan konsorsium bakteri kadar sulfat awal yaitu 432,22 ppm menjadi 45,00 ppm. Inokulum konsorsium bakteri sedimen rawa mampu mereduksi kadar logam timbal (Pb) pada AAT dalam waktu 30 hari dari kadar awal 1,00 ppm menjadi 0,089 ppm pada perlakuan AAT yang ditambah kompos steril dan konsorsium bakteri. Pada perlakuan AAT ditambah kompos tidak steril dan konsorsium bakteri kadar logam timbal (Pb) awal yaitu 0,97 ppm menjadi 0,037 ppm

Kata Kunci : Konsorsium Bakteri, Air Asam Tambang (AAT), Timbal (Pb), Sulfat

ABSTRACT

Problem of mine acid water (AAT) at the environment can be coped with bioremediation uses inoculum consortium of bacteria which can be isolated from sediment of swamp. This research intends to know ability of consortium bacteria of origin swamp in reducing sulfate and lead metal content (Pb) on the mine acid water. Value change of pH is measured with meter pH, measurement of sulfate level with gravimetric method. Lead metal content (Pb) with Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) and calculation of bacterial count with Standard Plate Count. Research results show even bacterial consortium inoculum of sediment swamp is capable to reduce sulfate level in AAT within 30 days from initial rate in 439,00 to be 81,00 ppm on AAT behavior which added on sterile composition and bacterial consortium. While on ATT behavior added doesn't sterile composition and bacterial consortium of early sulfate content is 432,33 ppm to become 45,00 ppm. Bacterial consortium inoculum of swamp sediment able to reduce lead metal content (Pb) on AAT within 30 days from early rate 1,00 ppm to become 0,089 ppm on AAT behavior with sterile composition and bacterial consortium. While on AAT behavior added doesn't sterile composition and bacterial consortium of early lead metal content (pb) is 0,97 ppm to be 0,037 ppm

Key words : bacterial consortium, mine acid water (AAT), Timbal (pb) sulfate

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	vi
ABSTRACK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Tujuan Penelitian	3
I.3 Manfaat Penelitian	3
I.4 Waktu dan Tempat Penelitian	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1 Pertambangan	5
II.1.1 Pengertian Pertambangan	5
II.1.2 Pertambangan Batubara	6
II.1.3 Dampak Pertambangan Bagi Lingkungan	8
II.2 Air Asam Tambang (AAT)	9
II.2.1 Pengertian Air asam Tambang	9
II.2.2 Pembentukan Air Asam Tambang	11

II.2.3 Tipe – tipe Air Asam Tambang	12
II.2.4 Dampak Air Asam Tambang (AAT)	14
II.3 Logam Berat Pada Limbah Tambang	15
II.3.1 Logam Timbal (Pb)	16
II.4 Bakteri Pereduksi Sulfat (BPS)	18
BAB III. METODE PENELITIAN	22
III.1 Alat.....	22
III.2 Bahan	22
III.3 Cara Kerja	22
III.3.1 Pengambilan Sampel	22
III.3.2 Sterilisasi Alat	23
III.3.3 Pembuatan Media	23
A. Media Nutrient Agar (NA)	23
B. Media Triptone Soy Broth (TSB)	23
III.3.4 Isolasi Bakteri Sedimen	23
III.3.5 Pemurnian Isolat Bakteri	24
III.3.6 Pembuatan Inokulum Konsorsium Bakteri	24
III.3.7 Penyiapan Wadah Perlakuan	24
III.3.8 Penyiapan Wadah Perlakuan	25
A. Perhitungan Total Bakteri	25
B. Pengukuran pH	25
C. Analisa kandungan sulfat.....	25
D. Analisa kandungan logam berat Pb	26
III.3.9 Penyiapan Wadah Perlakuan	26

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
IV. 1 Isolasi Bakteri Sedimen	28
IV. 2 Pembuatan Inokulum Konsorsium Bakteri Sedimen Rawa	30
IV.3 Hasil Parameter Pengamatan	31
A. Perhitungan Total Bakteri	32
B. Perubahan Kadar pH	34
C. Kadar Sulfat	37
D. Kadar Logam Timbal (Pb)	40
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	43
V.1 Kesimpulan	43
V.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Koloni bakteri sedimen <i>mangrove</i> pada media <i>Nutrient Agar</i>	31
Gambar 2. Koloni terpisah isolat dengan metode <i>quadran streak</i>	32
Gambar 3. Hasil pertumbuhan total bakteri	34
Gambar 4. Hasil pengukuran kadar sulfat	36
Gambar 5. Hasil pengukuran kadar pH	38
Gambar 6. Hasil pengukuran kadar logam besi (Fe)	40

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Karakteristik morfologi koloni isolat bakteri sedimen rawa	32

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Skema Kerja penelitian	49
2. Skema Kerja Isolasi, Pemurnian, dan Pengamatan Morfologi Bakteri dari Sedimen Rawa	50
3. Skema Kerja Pembuatan Inokulum Konsorsium Bakteri dari Sedimen Rawa	51
4. Hasil Pemurnian Isolat Bakteri dari Sedimen Rawa.....	52
5. Stok Isolat Bakteri dari Sedimen Rawa	53
6. Pembuatan Inokulum Konsorsium Bakteri Sedimen Rawa.....	54
7. Wadah Perlakuan Air Asam Tambang	56
8. Hasil Perhitungan Total Bakteri.....	57
9. Hasil Pengukuran Kadar pH	57
10. Hasil Pengukuran Kadar Sulfat.....	58
11. Hasil Pengukuran Kadar Logam Timbal (Pb)	58
12. Foto Prosedur Kerja.....	59

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pertambangan merupakan suatu salah satu sektor yang dapat menghasilkan devisa besar bagi negara, selain mendatangkan devisa dan menyedot lapangan kerja juga rawan terhadap pengrusakan lingkungan. Banyak kegiatan penambangan yang mengundang sorotan masyarakat sekitarnya karena pengrusakan lingkungan (Yudisthira, et al. 2011).

Salah satu komoditi tambang yang banyak diusahakan saat ini, untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia adalah batubara. Pertambangan batubara sangat menguntungkan bagi Negara terutama dalam ketersediaan energi dan sebagai sumber devisa untuk memacu kemakmuran ekonomi (Marganingrum, 2010).

Salah satu permasalahan yang terjadi pada saat penambangan batu bara adalah air asam tambang. AAT terjadi ketika mineral sulfid dalam batuan terkena udara dan air, mengubah sulfid menjadi asam sulfat. Hal ini dapat menghancurkan habitat perairan dan membutuhkan waktu yang lama dalam proses pemuliahan bagi lingkungan. AAT dapat terbentuk sepanjang proses penambangan berlangsung (Polawan, 2017).

Air asam tambang (AAT) atau *acid rock drainage* memiliki sifat asam, dapat mematikan ikan dan organism lain jika air tercemar AAT dan akan menghambat pertumbuhan tanaman karena juga mengubah pH tanah menjadi

asam karena melarutkan logam-logam berat, sehingga dengan demikian akan menimbulkan pencemaran logam pada lingkungan perairan (Fahrudin, 2009).

Logam berat yang biasanya larut dalam air asam tambang salah satunya adalah timbal (Pb). Timbal yang ikut larut dalam air asam tambang akan sangat berbahaya bagi lingkungan karena bersifat toksik terutamanya terhadap organisme air (Riwayati dan Indah, 2014).

Salah satu cara untuk mengatasi masalah air asam tambang adalah melakukan bioremediasi dengan menggunakan mikroorganisme dalam menanggulangi bahan pencemar untuk pemulihan lahan dan perairan tercemar. Salah satu alternatif bioremediasi adalah menggunakan bakteri pereduksi sulfat (BPS) untuk mereduksi sulfat, disamping itu juga mampu menurunkan konsentrasi logam berat. Pemanfaatan bakteri pereduksi sulfat sebagai agensia pendetoksifikasi merupakan pendekatan untuk proses bioremediasi lingkungan. Bakteri pereduksi sulfat mampu tumbuh dan berkembang pada lingkungan asam yang lebih efektif dengan membentuk biofilm (Purnamaningsih, 2017).

Penggunaan bakteri pereduksi sulfat dalam mengurangi pencemaran akibat limbah pertambangan salah satunya yaitu genus *Desulfovibrio*. Bakteri ini hidup pada kisaran pH 6 sampai netral. Salah satu bakteri pereduksi sulfat dari genus *Desulfovibrio* adalah *Desulfovibrio vulgaris* bakteri ini merupakan bakteri pertama yang ditemukan oleh W. M. Beijerinck seorang ahli mikrobiologi Belanda yang biasa digunakan dalam penanganan masalah lingkungan akibat limbah tambang (Figueiredo, 2013).

Penggunaan bakteri dalam mendegradasi logam Timbal (Pb) yang ditemukan, terdapat beberapa jenis bakteri yaitu *Pseudomonas*, *Listeria*, *Bacillus*,

Micrococcus, *Flavobacterium*. Bakteri jenis *Pseudomonas* memiliki kemampuan dalam menurunkan kadar timbal (Pb) dengan proses absorpsi logam berat pada dinding selnya (Junopia, 2015).

Dalam melakukan bioremediasi untuk pemulihan lingkungan yang tercemar dengan menggunakan mikroorganisme seperti bakteri tidak dapat dilakukan dengan menggunakan satu jenis bakteri saja, oleh karena itu perlu dilakukan konsorsium bakteri yaitu percampuran beberapa jenis bakteri dengan tujuan efektivitas bakteri dalam proses bioremediasi dengan saling berinteraksi untuk menghasilkan enzim dan hasil metabolisme lainnya untuk proses bioremediasi.

Berdasarkan uraian di atas maka dilakukan penelitian ini untuk mengetahui kemampuan konsorsium bakteri dalam mereduksi sulfat dan kandungan logam berat pada air asam tambang dari industri pertambangan batubara.

I.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Untuk mengetahui kemampuan konsorsium bakteri asal sedimen rawa dalam mereduksi sulfat pada air asam tambang.
2. Untuk mengetahui kemampuan konsorsium bakteri asal sedimen rawa dalam mereduksi kandungan logam berat Pb (Timbal) pada air asam tambang.

I.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi mengenai kemampuan konsorsium bakteri yang diisolasi dari sedimen rawa Antang untuk mereduksi sulfat dan kandungan logam berat Timbal (Pb) dalam air asam tambang.

I.4 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus 2019-selesai di Laboratorium Mikrobiologi, Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Pertambangan

II.1.1 Pengertian Pertambangan

Pertambangan merupakan salah satu sektor yang dapat menghasilkan devisa besar bagi negara. Tercatat bahwa pada tahun 2007, penerimaan Negara perpajakan umum dari sektor pertambangan mencapai Rp 24.000 miliar. Tetapi selain devisa, industri pertambangan (terutama dengan metode pertambangan terbuka) telah menghasilkan dampak ikutan berupa kerusakan lingkungan yang sangat parah terutama pada hutan hujan tropika yang merupakan dominasi lapisan penutup dari permukaan bentang lahan yang ditambang (Budiana, et al. 2017)

Usaha pertambangan adalah sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka penelitian, pengelolaan dan pengusahaan mineral dan batubara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan serta kegiatan pasca tambang (Pasal 1 butir 6 Undang-Undang No.4 tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara). Pertambangan mempunyai beberapa karakteristik yaitu tidak dapat diperbaharui (*non renewable*) mempunyai resiko relatif lebih tinggi dan pengusahaannya mempunyai dampak lingkungan baik fisik maupun lingkungan yang relatif lebih tinggi dibandingkan pengusahaan komoditi lain pada umumnya. Pentingnya penerapan kegiatan industri atau pembangunan yang berbasis lingkungan, perlu disadari oleh setiap elemen bangsa, karena persoalan lingkungan merupakan permasalahan bersama. Hanya saja dalam

praktiknya, diperlukan lembaga formal pengendali yang secara yuridis berwenang untuk itu. Pengendalian kegiatan dan operasionalisasi industri dalam prakteknya terwujud dalam konsep dan program kerja sistematis dalam bentuk perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Pengelolaan lingkungan hidup harus bermuara pada terjaminnya kelestarian lingkungan seperti tercantum dalam Pasal 1 butir 2 Undang-Undang No.32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (Manik, 2018).

Pertambangan di Indonesia umumnya dilakukan dengan cara pertambangan terbuka, walaupun ada beberapa yang menggunakan tambang bawah tanah (*underground mining*), sehingga akan berdampak terhadap perubahan bentang alam, sifat fisik, kimia, dan biologis tanah, serta secara umum menimbulkan kerusakan pada permukaan bumi, secara otomatis akan mengganggu ekosistem di atasnya, termasuk tata air (Subardja, 2007). Demikian juga populasi hayati tanah yang ada di tanah lapisan atas menjadi terbenam, sehingga hilang atau mati dan tidak berfungsi sebagaimana mestinya (Subowo, 2011).

II.1.2 Pertambangan Batubara

Salah satu komoditi tambang yang banyak diusahakan saat ini, untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia adalah batubara. Pertambangan batubara sangat menguntungkan bagi Negara terutama dalam ketersediaan energi dan sebagai sumber devisa untuk memacu kemakmuran ekonomi (Marganingrum, 2010).

Bahan tambang yang saat ini masih menjadi primadona adalah batubara, yang digunakan sebagai salah satu sumber energi primer. Indonesia merupakan

salah satu negara yang memiliki potensi sumberdaya energi dan mineral yang cukup besar, termasuk didalamnya batubara. Ada 20 provinsi yang memiliki sumberdaya batubara, dengan Sumatera Selatan dan Kalimantan Timur merupakan provinsi dengan tingkat sumberdaya batubara tertinggi di Indonesia, yaitu setara dengan 82% dari total sumberdaya batubara di Indonesia (Fitriyanti, 2016)

Salah satu pertambangan yang menghasilkan bagi investor Indonesia adalah pertambangan batubara. Bahan galian batubara adalah bahan galian yang terbentuk dari sisa tumbuhan yang terperangkap dalam sedimen dan dapat dipergunakan sebagai bahan bakar, jenis sedimen ini terperangkap dan mengalami perubahan material organik. Batu bara awalnya merupakan bahan organik yang terakumulasi dalam rawa-rawa yang dinamakan peat (Widyati, 2009). Batu bara juga batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk. Pembentukan batu bara memerlukan kondisi-kondisi tertentu dan hanya terjadi pada era-era tertentu sepanjang sejarah geologi (Rois dan Andrizal, 2018)

Kegiatan pertambangan batubara merupakan kegiatan jangka panjang, melibatkan teknologi tinggi dan padat modal. Selain itu, karakteristik mendasar industri pertambangan batubara adalah membuka lahan dan mengubah bentang alam sehingga mempunyai potensi menimbulkan dampak terhadap lingkungan, sosial dan ekonomi masyarakat (Fitriyanti, 2016)

Pertambangan batubara sebagaimana pertambangan secara umum adalah serangkaian kegiatan yang meliputi tahapan kegiatan penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan pemurnian,

pengangkutan dan penjualan serta pasca tambang. Kegiatan pertambangan merupakan kegiatan usaha yang kompleks dan sangat rumit, sarat resiko, merupakan kegiatan jangka panjang, melibatkan teknologi tinggi, padat modal dan aturan regulasi yang dikeluarkan beberapa sektor. Selain itu, karakteristik mendasar industri pertambangan adalah membuka lahan dan mengubah bentang alam sehingga mempunyai potensi merubah tatanan ekosistem suatu wilayah baik dari segi biologi, geologi dan fisik maupun tatanan sosio ekonomi dan budaya masyarakat. Keberadaan industri pertambangan batu bara dapat menimbulkan dampak terhadap lingkungan, sosial dan ekonomi masyarakat setempat (Fitriyanti, 2016)

II.1.3 Dampak Pertambangan Bagi Lingkungan

Kegiatan pertambangan menghasilkan limbah, dapat menyebabkan dampak pada lingkungan yaitu pencemaran: air permukaan, air tanah, udara. Hal ini menyebabkan kerusakan pada flora dan fauna, bahkan mengganggu kesehatan manusia. Salah satu limbah pertambangan yang berbahaya adalah cairan asam sulfur yang dapat menurunkan pH air di bawah 3 dan melarutkan ion – ion logam. Asam sulfur yang terbentuk dari kegiatan pertambangan dikenal dengan air asam tambang (AAT) atau *acid rock drainage*. Karena sifatnya asam, dapat mempengaruhi aktifitas organisme termasuk mikroba (Fahrudin, 2010).

Kerusakan lingkungan akibat pencemaran akan berdampak pada menurunnya kemampuan lingkungan untuk memenuhi kebutuhan manusia karena terjadi perubahan fisik, kimia dan biologi dari lingkungan tersebut, bahkan pencemaran dan kerusakan lingkungan dapat menimbulkan berbagai dampak buruk bagi manusia seperti penyakit dan bencana alam (Syarifuddin, 2013).

Permasalahan lingkungan dalam aktivitas pertambangan umumnya terkait dengan Air Asam Tambang (AAT) atau *Acid Mine Drainage* (AMD). Air tersebut terbentuk sebagai hasil oksidasi mineral sulfida tertentu yang terkandung dalam batuan oleh oksigen di udara pada lingkungan berair (Sayoga, 2007). Air asam tambang ini akan mengikis tanah dan batuan yang berakibat pada larutnya berbagai logam seperti besi (Fe), cadmium (Cd), mangan (Mn), dan seng (Zn). Dengan demikian, selain dicirikan oleh pH yang rendah, air asam tambang juga akan mengandung logam-logam dengan konsentrasi tinggi, sehingga dapat berakibat buruk pada kesehatan lingkungan maupun manusia (Juari, 2006).

Pencemaran/polusi lingkungan oleh logam berat dapat terjadi apabila proses produksi oleh industri dan pertambangan yang menggunakan logam berat tidak memperhatikan keselamatan lingkungan, khususnya dalam membuang limbah. Tanah dan air merupakan dua komponen yang menjadi sasaran pencemaran, bila tanah dan air tercemar logam berat maka logam berat akan masuk ke dalam rantai makanan dan membentuk jaring-jaring makanan dan berakhir pada manusia sehingga memungkinkan timbulnya berbagai macam penyakit (Ahmad, 2018).

II.2 Air Asam Tambang (AAT)

II.2.1 Pengertian Air Asam Tambang

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. 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).

Air asam tambang dihasilkan oleh pembentukan asam sulfat ketika sulfur yang mengandung mineral seperti pirit mengalami pelapukan di lingkungan. Secara alamiah, bakteri pengoksidasi sulfat memiliki peranan penting dalam proses produksi asam ini. Asam sulfat yang dihasilkan dalam proses oksidasi ini kemudian dapat melarutkan logam seperti tembaga, yang selanjutnya dilepaskan di lingkungan (Gaikwad, et al. 2011).

Salah satu permasalahan yang terjadi pada saat 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 (AAT) atau dalam bahasa asing *acid mine drainage* (AMD) , atau *acid rock drainage* (ARD) merupakan air yang terbentuk akibat kegiatan pertambangan terbuka maupun tertutup (bawah tanah) dimana terjadi reaksi antara air, oksigen, dan batuan-batuan yang mengandung mineral-mineral sulfida air yang terbentuk di lokasi penambangan dengan nilai pH yang rendah ($\text{pH} < 4$). Nilai pH yang rendah pada air asam tambang menyebabkan mudahnya

logam-logam tertentu larut dalam air sehingga menyebabkan terjadinya air asam tambang (Nasir, 2014)

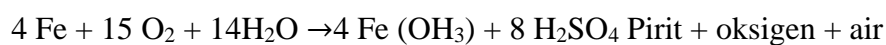
II.2.2 Pembentukan Air Asam Tambang

Prinsip terjadinya air asam tambang adalah adanya reaksi pembentukan H^+ yang merupakan ion pembentuk asam akibat oksidasi mineral-mineral sulfida dan reaksi dengan air (H_2O). Kemudian oksidasi dari Fe_{2+} , terhidrolisis 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 (Fahrudin, 2018).

Air asam tambang terbentuk ketika mineral sulfida langsung mengalami proses oksidasi dalam logam, penambangan batubara, konstruksi jalan raya dan penggalian skala lainnya. Ada banyak jenis mineral sulfida. Logam sulfida biasa ditemukan di tambang batubara, pirit dan marcasite (FeS_2), tetapi beberapa logam lain juga dapat dilengkapi dengan sulfida pembentuk kalkopirit ($CuFeS_2$), covellite (CuS), galena (PbS) dan sphalerite (ZnS) (Jamal, et al. 2015).

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

Reaksi Pembentukan Air Asam Tambang :



Reaksi antara besi, oksigen dan air akan membentuk asam sulfat dan endapan besi hidroksida. Warna kekuningan yang mengendap di dasar saluran tambang atau pada dinding kolam pengendapan lumpur merupakan gambaran visual dari endapan besi hidroksida (*Yellowboy*). Di dalam reaksi umum pembentukan air asam tambang terjadi empat reaksi pada pirit yang menghasilkan ion-ion hydrogen yang apabila berikatan dengan ion-ion negatif dapat membentuk asam (Nasir, 2014)

AAT yang terbentuk dari oksida 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. Keasaman pH air asam dapat berkembang dengan dihasilkannya besi sulfat yang merupakan oksidator kuat dan diatas pH 3 akan terhidrolisis menghasilkan oksidasi 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 relative rendah terhadap sulfida logam (Fahrudin, 2018).

II.2.3 Tipe-Tipe Air Asam Tambang

Menurut Skousen dan Ziemkiewicz (1996) dalam Said (2014) air tambang dapat dikelompokkan ke dalam 5 tipe yaitu:

- a. Air Tambang Tipe 1 adalah air tambang yang mengandung Fe, Al, Mn dan logam lainnya, asam (H^+), mengandung alkalinitas dan oksigen dengan konsentrasi yang tinggi. Air tambang tipe ini disebut AAT. Air asam

tambang mungkin juga merujuk pada air yang mempunyai $\text{pH} < 6$ dan mengandung keasaman bersih (*net acidity*), yaitu keasamannya lebih besar daripada alkalinitasnya.

- b. Air Tambang Tipe 2 adalah air tambang yang mempunyai kandungan zat padat terlarut yang tinggi yakni mengandung besi ferro dan Mn yang tinggi, sedikit atau tanpa mengandung oksigen dan $\text{pH} > 6$. Pada kondisi teroksidasi, pH air tipe ini dapat turun secara tajam sehingga berubah menjadi air tipe 1.
- c. Air Tambang Tipe 3 adalah air tambang yang mengandung zat padat terlarut dengan konsentrasi sedang sampai tinggi, mengandung besi ferro dan Mn dengan konsentrasi rendah sampai sedang atau sedikit mengandung oksigen, $\text{pH} > 6$ dan alkalinitas lebih besar dari keasaman (*acidity*). Umumnya disebut juga dengan air 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.
- d. Air Tambang Tipe 4 adalah air asam tambang tipe 1 yang dinetralkan hingga pH -nya > 6 dan mengandung partikel tersuspensi dengan konsentrasi yang tinggi. Pengendapan hidroksida logam di dalam air belum terjadi. Dengan waktu tinggal yang cukup di dalam kolam, maka partikel tersuspensi akan mengendap.
- e. Air Tambang Tipe 5 adalah air asam tambang yang telah dinetralkan sehingga pH -nya > 6 dan mengandung zat padat terlarut dengan konsentrasi yang tinggi. Setelah hampir seluruh hidroksida logam

diendapkan di dalam kolam pengendap, kation utama yang masih tertinggal di dalam air dengan konsentrasi yang tinggi umumnya adalah kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) terlarut. Anion terlarut seperti bikarbonat dan sulfat masih tertinggal di dalam air. Jika pada proses netralisasi mengalami kekurangan alkalinitas, air tambang tipe 5 ini tidak akan terbentuk.

II.2.3 Dampak Air Asam Tambang

Dampak negatif dari asam tambang tersebut antara lain yaitu (Indrajaya, 2017):

1. Bagi Masyarakat Sekitar

Dampak terhadap masyarakat disekitar wilayah tambang tidak dirasakan secara langsung karena air yang dipompakan kesungai telah dinetralkan dan selalu dilakukan pemantauan setiap hari untuk mengetahui temperatur, kekeruhan, dan pH. Namun apabila terjadi pencemaran dan biota perairan terganggu maka binatang seperti ikan akan mati akibatnya mata pencaharian penduduk akan terganggu.

2. Bagi Biota Perairan

Dampak negatif untuk biota perairan adalah terjadinya perubahan keanekaragaman biota perairan seperti plankton dan benthos, kehadiran benthos dalam suatu perairan dijadikan sebagai indikator kualitas perairan. Pada perairan yang baik dan subur benthos akan melimpah, sebaliknya pada perairan yang kurang subur bentos tidak akan mampu bertahan hidup.

3. 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.

4. Kualitas Air Tanah

Ketersediaan unsur hara merupakan faktor yang paling penting untuk pertumbuhan tanaman. 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 tanaman, ditandai dengan busuknya akar tanaman sehingga tanaman menjadi layu dan mati.

II.3 Logam Berat Pada Limbah Tambang

Sumber pencemaran logam berat di suatu lahan secara umum berasal dari proses alam (misalnya aktivitas gunung berapi) atau akibat kegiatan manusia, misalnya pertambangan (minyak, emas dan batubara), pembangkit listrik, peleburan logam, pabrik pupuk dan penggunaan bahan sintetik. Beberapa logam polutan yang penting untuk diketahui yaitu arsenik (As), boron (B), kadmium (Cd), tembaga (Cu), merkuri (Hg), molybdenum (Mo), nikel (Ni), timbal (Pb), selenium (Se) dan seng (Zn). Logam berat dan cemarannya berbahaya untuk lingkungan (Ahmad, 2018).

Menurut Palar (2008) dalam Nur (2013) salah satu bahan pencemar lingkungan yang banyak menarik perhatian adalah pencemaran oleh logam berat. Pencemaran logam berat merupakan salah satu faktor penyebab timbulnya isu perubahan lingkungan terutama dalam hal pencemaran lingkungan oleh

senyawa logam berat beracun. Penyebaran logam berat di tanah, perairan, ataupun udara dapat melalui berbagai hal, seperti pembuangan secara langsung limbah industri, baik limbah padat maupun limbah cair, dapat pula melalui udara karena banyak industri yang membakar begitu saja limbahnya dan membuang hasil pembakaran ke udara tanpa melalui pengolahan lebih dulu.

Limbah pertambangan seperti batubara biasanya tercemar asam sulfat dan senyawa besi, yang dapat mengalir ke luar daerah pertambangan. Air yang mengandung kedua senyawa ini dapat berubah menjadi asam. Bila air yang bersifat asam ini melewati daerah batuan karang atau kapur akan melarutkan senyawa Ca dan Mg dari batuan tersebut (Fahrudin, 2018).

Salah satu limbah yang berbahaya yang dihasilkan dari industry pertambangan adalah terbentuknya air asam tambang (AAT). 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), cadmium (Cd), kobalt (Co) dan masih banyak lagi (Fahrudin, 2018).

II.3.1 Logam Timbal (Pb)

salah satu dampak pencemaran tanah akibat perbuatan manusia adalah kegiatan penambangan batubara, penambangan batubara merupakan penambangan endapan karbon yang terdapat di dalam bumi, kebiasaan buruk manusia setelah melakukan kegiatan penambangan batubara yaitu area bekas penambangan tersebut dibiarkan begitu saja. Penelarantaran area 2 bekas penambangan batubara berakibat terhadap lingkungan di sekitarnya. Beberapa

dampak yang ditimbulkannya adalah berkurangnya tingkat kesuburan di sekitar area tersebut, belum adanya penanganan terhadap air asam tambang sehingga di sekitar area tersebut menjadi lebih asam, masih terkandung logam-logam berat (Pb, Zn, Fe, dan Mg) di sekitar area bekas penambangan batubara (Hakiki, 2018)

Timbal (Pb) termasuk dalam kelompok berat golongan IVA dalam Sistem Periodik Unsur Kimia, mempunyai nomor atom 82 dengan berat atom 207,2, berbentuk padat pada suhu kamar, bertitik lebur 327,4 °C dan memiliki berat jenis sebesar 11,4/l. Pb jarang ditemukan di alam dalam keadaan bebas melainkan dalam bentuk senyawa dengan molekul lain, misalnya dalam bentuk $PbBr_2$ dan $PbCl_2$ (Gusnita, 2012).

Logam Pb merupakan logam yang keberadaannya di bumi sangat sedikit. Pb ditemukan dalam kerak bumi berjumlah 12,5 mg/kg. Logam Pb merupakan logam nonesensial yang keberadaannya dalam tubuh makhluk hidup dapat dikatakan tidak diharapkan. Keberadaan logam Pb dalam tubuh seringkali menggantikan logam esensial dalam aktivitas kerja enzim dan bersifat menghambat kerja enzim. Timbal dapat masuk ke dalam air karena kontak langsung dengan udara, tanah yang tercemar timbal maupun adanya limbah pabrik dan juga korosi pipa (Sihotang, et al. 2017).

Timbal (*Pb*) dengan nama lain timah hitam (*lead*) merupakan salah satu logam berat berbahaya bagi kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya. Industri yang berpotensi sebagai sumber pencemaran timbal adalah semua industri yang memakai timbal sebagai bahan baku maupun bahan penolong, misalnya industri pengecoran maupun pemurnian, industri *battery*, industri bahan bakar, industri kabel, serta industri kimia yang menggunakan bahan pewarna. Selain itu,

sumber timbal dapat berasal dari sisa pembakaran kendaraan bermotor dan proses penambangan. Semua sisa buangan yang mengandung timbal menimbulkan pencemaran lingkungan. (Viobeth, et al. 2014).

Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang bersifat toksik dan berbahaya, banyak ditemukan sebagai pencemar dan cenderung mengganggu kelangsungan hidup organisme perairan. Kadar dan toksisitas timbal dipengaruhi oleh kesadahan, pH, alkalinitas dan konsentrasi oksigen. Toksisitas timbal terhadap organisme akuatik berkurang dengan meningkatnya kesadahan dan kadar oksigen terlarut. Timbal biasanya ditemukan di dalam batu-batuan, tanah, tumbuhan dan hewan. Logam ini 95 % bersifat anorganik dan umumnya dalam bentuk garam anorganik yang bersifat kurang larut dalam air (Riwayati dan Indah Hartati, 2014).

Logam Pb yang terkandung sangatlah berbahaya, efek yang ditimbulkan tidak main-main. Salah satunya yaitu kemuduran IQ dan kerusakan otak yang ditimbulkan dari emisi timbal ini. Pada orang dewasa umumnya ciri-ciri keracunan timbal adalah pusing, kehilangan selera, sakit kepala, anemia, sukar tidur, lemah, dan keguguran kandungan. Selain itu timbal berbahaya karena dapat mengakibatkan perubahan bentuk dan ukuran sel darah merah yang mengakibatkan tekanan darah tinggi (Gusnita, 2012).

II.4 Bakteri Pereduksi Sulfat

Bakteri pereduksi sulfat merupakan bakteri obligat anaerob yang menggunakan H₂ sebagai donor elektron (chemolithotrophic). BPS dapat mereduksi sulfat pada kondisi anaerob menjadi sulfida, selanjutnya H₂S yang dihasilkan dapat mengendapkan logam-logam toksik (Cu, Zn, Cd) sebagai logam sulfida. BPS memerlukan substrat organik yang berasal dari asam organik berantai

pendek seperti asam piruvat. Dalam kondisi alamiah, asam tersebut dihasilkan oleh aktivitas anaerob lainnya (Hanafiah, et al. 2009).

Bakteri Pereduksi Sulfat (BPS) atau *Sulphate Reduction Bacteria* 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 (Postgate, 1984). Hidupnya obligat anaerob, namun dapat bertahan dalam waktu yang cukup lama pada kondisi aerasi yang baik bila tersedia nutrisi yang berlimpah. Walaupun BPS umumnya lebih suka berada dalam lingkungan yang agak basa (Jalaludin, 2005).

Habitat pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat cukup luas. Selain dilautan, bakteri ini juga ditemukan di lahan sawah dan perairan darat. Mengingat bakteri ini merupakan bakteri anaerob obligat, bakteri pereduksi sulfat lebih banyak ditemukan pada lingkungan anoksik, terutama dibagian bawah sedimen. Namun demikian, ada kelompok bakteri pereduksi sulfat yang mampu tumbuh pada kondisi oksik. Hal ini yang menyebabkan ada keragaman bakteri yang tumbuh dalam sedimen. Areal pertambangan merupakan habitat yang cukup sesuai untuk pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat. Hal ini dikarenakan aktivitas pertambangan menyebabkan terbentuknya limbah air asam tambang (Muchamad et al., 2009).

Bakteri pereduksi sulfat (BPS) termasuk bakteri yang memanfaatkan senyawa anorganik sebagai electron donor atau electron akseptor dalam aktivitas metabolismenya. Bakteri jenis ini memanfaatkan ion sulfur dalam bentuk sulfat dan tiosulfat sebagai akseptor electron terminal dalam respirasi metabolismenya, yang kemudian direduksi menjadi sulfida. Spesies bakteri pereduksi sulfat paling

banyak ditemukan di dalam sedimen laut karena kandungan sulfat cukup tinggi (Muchamad et al., 2009).

Bakteri pereduksi sulfat mempunyai kemampuan mereduksi sulfat menjadi hidrogen sulfida, contohnya adalah bakteri *Vibrio desulfuricans*. Bakteri tersebut berbentuk koma, gram negatif, anaerobik, dapat diisolasi dari tanah. Mikroba tersebut berkembang pada suhu 30-55 °C dan mempunyai kemampuan menggunakan garam-garam organik sebagai sumber energi. Kultur pada temperatur rendah, misalnya 30 °C akan terlihat sebagai spiral-spiral kecil, motil dengan satu atau dua flagella polar, sedangkan pada suhu lebih tinggi 55 °C, bergranula atau butiran (Waluyo, 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 selain sebagai donor elektron dalam metabolisme juga merupakan bahan penyusun selnya. Pada kondisi anaerob bahan organik akan berperan sebagai donor elektron (Groudev *et al.*, 2001 ; Widyati, 2006). Ketika sulfat menerima elektron dari bahan organik maka akan mengalami reduksi membentuk senyawa sulfida. Penurunan konsentrasi sulfat akan meningkatkan pH tanah. Hal ini terjadi karena beberapa proses yang saling berkaitan, yaitu karena penggenangan, penambahan bahan organik dan aktivitas BPS (Widyati, 2006).

Meningkatnya pH terjadi karena BPS menggunakan sulfat sebagai akseptor elektron dan karbon (C) dari kompos sebagai donor elektron dengan menghasilkan hidrogen sulfida. Hidrogen sulfida akan segera berikatan dengan logam membentuk logam sulfida yang tidak larut sehingga ketersediaan logam turun.

Keseluruhan reaksi reduksi sulfat dan logam yang melibatkan BPS (Widyati, 2007).

Siklus sulfur merupakan salah satu proses biogeokimia utama di alam. Terdapat empat jenis stok senyawa sulfur alamiah utama berdasarkan tingkat oksidasinya dalam siklus sulfur, yaitu senyawa sulfida sulfur elemental dan sulfur-organik, Oksidasi senyawa sulfur melibatkan mikroorganisme kemoautotrof atau fotoautotrof, seperti bakteri dari genus *Thiobacillus* dan bakteri-sulfur fotosintetik (*Chlorobiaceae* dan *Chromatiaceae*). Berdasarkan kelompok bakteri pengoksidasi sulfat, hanya kelompok bakteri *thiobacillus* yang mampu menghasilkan sulfat secara langsung tanpa mengakumulasi sulfur dalam proses oksidasi H₂S pada tekanan oksigen normal. Kelompok bakteri lainnya mengakumulasi sulfur. Sulfur yang terakumulasi tersebut akan dioksidasi lebih lanjut menjadi sulfat ketika suplai H₂S menurun atau hilang (Ehrlich dan Newman, 2009).

Di alam BPS sering berasosiasi dengan BPB (*iron reduction bacteria*) dalam melaksanakan bioremediasi lingkungan. Keduanya dapat dijumpai di lingkungan yang tanpa oksigen. Jika bakteri pereduksi sulfat menggunakan sulfat sebagai akseptor elektron, bakteri pereduksi besi menggunakan besi (III) sebagai akseptor elektron terminal (Luef, et al. 2013).