

SKRIPSI

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

Disusun dan diajukan oleh

SITTI NURAINI RAHMAH

H041171509



DEPARTEMEN BIOLOGI

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

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

Disusun dan diajukan oleh

**SITTI NURAINI RAHMAH
H041171509**


**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 01 Maret 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan**

Menyetujui,

Pembimbing Utama


Prof. Dr. Fahrudin, M.Si
NIP. 196509151991031002

Pembimbing Pertama


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

Ketua Departemen



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sitti Nuraini Rahmah
NIM : H041171509
Program Studi : Biologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul Pengaruh Penambahan Kompos Pada Perlakuan Sedimen Bakau 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 Januari 2022
Yang Menyatakan



Sitti Nuraini Rahmah

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena dengan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Pengaruh Penambahan Kompos Pada Perlakuan Sedimen Bakau Dalam Reduksi Sulfat Pada Air Asam Tambang*”. Shalawat serta salam tak lupa penulis curahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang mengantarkan manusia dari zaman kegelapan ke zaman yang terang benderang ini.

Skripsi ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) Sarjana Sains di Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

Selama pelaksanaan penelitian hingga penulisan skripsi ini, penulis mengalami berbagai macam kendala namun penulis banyak pula menerima bantuan dan dukungan sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih setulus-tulusnya dan sebesar-besarnya kepada Bapak tercinta Drs. Nasaruddin, M. Si dan Ibu tercinta Hairah, S. Pd sebagai orang tua penulis yang membesarkan, mendidik penulis dengan kasih sayang serta tiada hentinya mendoakan dan memberi dukungan moral serta materi kepada penulis.

Penulis tak lupa mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Bapak Prof. Dr. Fahrudin, M. Si selaku Pembimbing Utama dan Bapak Drs. As'adi Abdullah, M. Si selaku Pembimbing Pertama atas bimbingan, arahan, dan

motivasi berupa kritik dan saran serta waktunya yang dengan sabar menuntun penulis hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Pada kesempatan kali ini penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Rektor Universitas Hasanuddin Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina P., M.A., beserta staf dan jajarannya.
2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Bapak Dr. Eng. Amiruddin, M.Sc., beserta staf yang telah membantu penulis dalam hal akademik maupun administrasi.
3. Ketua Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Ibu Dr. Nur Haedar, M.Si., atas ilmu dan saran-sarannya.
4. Bapak Dr. Ir. Slamet Santosa, M. Si selaku pembimbing akademik atas saran-saran yang diberikan kepada penulis dari awal masa studi hingga selesai masa studi.
5. Tim penguji skripsi Bapak Dr. Ir. Slamet Santosa, M. Si dan Bapak Drs. Ambeng, M. Si atas bimbingan dan arahan yang diberikan kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.
6. Bapak/Ibu Dosen Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, yang telah mendidik dan memberikan ilmunya kepada penulis selama proses perkuliahan. Serta kepada staf dan pegawai Departemen Biologi yang telah membantu dalam bidang administrasi.
7. Kak Fuad Gani, S.Si., Kak Heriadi, S.Si., M. Si, dan Kak Syahdan Aska, S. Si yang telah membantu, membimbing, dan memberikan ilmu dalam perkuliahan serta penelitian.

8. Teman sefrekuensi, teman seperjuangan, sekaligus partner penelitian Awaluddin Tansi, S. Si yang selalu berbagi informasi mengenai penelitian dan bersama-sama melalui suka dan duka selama penelitian.
9. Sahabat penulis Fadhilah Ananda Putri S. Si dan Dian Ramadhani S. Si yang selalu ada saat suka dan duka untuk penulis dan memberikan dukungan, kasih sayang serta semangat dan motivasi untuk penulis selama menempuh masa studi hingga masa penyusunan skripsi ini.
10. Teman seperjuangan di kampus Ainun Regita Cahyani, Nadhila Idris, Nur Sofiea Binti Syarifuddin, Naspira Binti Jabir, Putri Fahrani, Rensi Piri, Arini Kusuma Wardani, S. Si, Ummi Chaera, Anugrah Prima Dirgahayu, S. Si, Masykur, S.Si, dan Muh. Rhofli N.I, S.Si untuk segala canda tawa serta telah membantu penulis selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.
11. Teman-teman Biologi Angkatan 2017 yang tidak bisa disebutkan satu persatu atas segala momen indah sejak awal masa studi dan juga yang telah membantu dan mendukung penulis selama masa studi.
12. Sahabat penulis di SMA Tri Asmayanti, Gabriella A.D.P.S. S. Ked., Dhica Auliah Yusran, A.Md.Stat., Addine Fithriane H, S. IP., Nur Hidayah Saputri, Wardatun Wahdaniyah R, S. Ft., Diasty Nuraisyah, dan Adinda Resky T. yang selalu saling mendukung satu sama lain meskipun terhalang oleh jarak.
13. Sahabat pena penulis Isnaini Nur Azizah R. dan Fadhilah Hanan R. atas segala dukungan dan motivasi yang diberikan kepada penulis untuk tetap

semangat meskipun terhalang oleh jarak dan perbedaan budaya.

14. Keluarga KMF MIPA UNHAS dan HIMBIO FMIPA UNHAS sebagai wadah dalam pengembangan *skill* organisasi yang telah memberikan ilmu yang tidak diperoleh di bangku perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, baik dari segi materi maupun pengalaman yang dimiliki. Oleh karena itu, semua kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan tugas akhir ini. Penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, Januari 2022

Penulis

ABSTRAK

Pertambangan merupakan suatu bidang usaha yang sifatnya selalu menimbulkan perubahan pada alam lingkungan yakni timbulnya air asam tambang (AAT) sehingga terjadinya penurunan kualitas lingkungan. Telah dilaksanakan penelitian mengenai pengaruh penambahan kompos pada perlakuan sedimen bakau untuk reduksi sulfat pada air asam tambang (AAT). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan kompos dalam penurunan kadar sulfat, perubahan pH dalam air asam tambang serta mengetahui jumlah jumlah populasi bakteri pada perlakuan sedimen bakau. Kadar sulfat diukur dengan metode gravimetri, perubahan pH diukur dengan menggunakan pH meter, dan total mikroba dihitung dengan metode SPC (*Standard Plate Count*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan kompos pada perlakuan sedimen bakau mampu menurunkan kadar sulfat dari konsentrasi sulfat pada AAT dalam waktu 25 hari dari kadar awal berturut-turut sebesar P2 = 189 ppm, P1 = 236 ppm, P3 = 242 ppm, dan P4 = 338 ppm. Pemberian kompos pada perlakuan sedimen bakau juga mampu menaikkan pH secara berturut-turut dari P2 = 7,41, P1 = 6,0, P3 = 5,3 dan P4 = 3,8. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa jumlah mikroba pada perlakuan sedimen bakau secara berturut-turut adalah P1 = $1,1 \times 10^{24}$ CFU/mL, P2 = $9,9 \times 10^{23}$ CFU/mL, P3 = $3,6 \times 10^{21}$ CFU/mL, dan P4 = $1,6 \times 10^{12}$ CFU/mL.

Kata kunci: Kompos, Sedimen Bakau, Air Asam Tambang, Bakteri Pereduksi Sulfat

ABSTRACT

Mining is a field of business that always causes changes in the natural environment, namely the emergence of acid mine drainage (AMD) resulting in a decrease in environmental quality. Research has been carried out on the effect of adding compost to the treatment of mangrove sediments for sulfate reduction in acid mine drainage (AMD). This study aims to determine the effect of adding compost in reducing sulfate levels, changes in pH in acid mine drainage and to determine the total number of bacterial populations in the treatment of mangrove sediments. Sulphate levels were measured by the titration method, pH changes were measured using a pH meter, and total microbes were calculated using the SPC (Standard Plate Count) method. The results showed that the use of compost in the treatment of mangrove sediments was able to reduce sulfate levels from sulfate concentrations in AAT within 25 days from initial levels of P2 = 189 ppm, P1 = 236 ppm, P3 = 242 ppm, and P4 = 338 ppm. The addition of compost to the treatment of mangrove sediments was also able to increase the pH, respectively, from P2=7.41, P1=6.0, P3=5.3 and P4=3.8. This study also showed that the number of microbes in the treatment of mangrove sediments was P1 = 1.1×10^{24} CFU/mL, P2 = 9.9×10^{23} CFU/mL, P3 = $3,6 \times 10^{21}$ CFU/mL, and P4 = 1.6×10^{12} CFU/mL.

Keywords: Compost, Mangrove Sediment, Acid Mine Water, Sulfate Reducing Bacteria

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Tujuan Penelitian.....	6
I.3 Manfaat Penelitian.....	6
I.4 Waktu dan Tempat Penelitian.....	6
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
II.1 Pencemaran Lingkungan.....	7
II.1.1 Pencemaran Limbah Pertambangan	8
II.2 Air Asam Tambang (AAT).....	11
II.2.1 Dampak Air Asam Tambang.....	14
II.2.2 Penanggulangan Air Asam Tambang.....	16
II.3 Sedimen <i>Wetland</i>	17
II.3.1 Peranan Sedimen <i>Wetland</i>	17
II.4 Bakteri Pereduksi Sulfat.....	20
II.4.1 Peranan Bakteri Pereduksi Sulfat.....	23
II.5 Kompos	23
BAB III. METODE PENELITIAN	25
III.1 Alat	25

III.2 Bahan.....	25
III.3 Prosedur Penelitian.....	26
III.3.1 Sterilisasi Alat.....	26
III.3.2 Pengambilan Sampel.....	26
III.3.3 Air Asam Tambang (AAT).....	26
III.3.4 Karakterisasi Sedimen dan Kompos	26
III.3.5 Karakterisasi Air Asam Tambang (AAT).....	28
III.3.6 Pembuatan Perlakuan.....	29
III.4 Analisis Data	31
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	32
IV.1 Karakterisasi Awal Sedimen Bakau dan Kompos	32
IV.2 Pengukuran Kadar Sulfat.....	34
IV.3 Pengukuran Kadar pH.....	36
IV.4 Perhitungan Total Mikroba	39
BAB V. PENUTUP.....	43
V.1 Kesimpulan.....	43
V.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Pengukuran Kadar Sulfat pada Perlakuan	34
Gambar 2. Pengukuran Kadar pH pada Perlakuan	37
Gambar 3. Perhitungan Total Mikroba dengan Metode SPC pada Perlakuan	40

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Hasil Karakterisasi Sedimen Bakau dan Kompos	33
--	----

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Hasil Pengukuran	49
Lampiran 2. Foto Pengambilan Sampel	50
Lampiran 3. Foto Pembuatan Perlakuan AAT	50
Lampiran 4. Pembuatan Media dan Persiapan Pengerjaan	51
Lampiran 5. Pengenceran, Isolasi, dan Perhitungan Total Mikroba	52

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya akan sumber daya alam, khususnya dibidang pertambangan. Perkembangan pesat industri pertambangan di Indonesia beberapa tahun terakhir ini, mulai menghadapi permasalahan yakni timbulnya pencemaran lingkungan terutama pada sungai dan danau akibat dari berbagai jenis limbah yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan berupa air asam tambang (AAT). Selain pencemaran lingkungan yang terjadi, pertambangan juga dapat mengganggu kesehatan manusia dan menyebabkan kerusakan pada flora dan fauna (Fahrudin *et al.*, 2014).

Pertambangan merupakan suatu bidang usaha yang sifatnya selalu menimbulkan perubahan pada alam lingkungan sekitar. Sebagian besar pertambangan batubara di Indonesia dilakukan dengan pertambangan terbuka (*open pit mine*) (Damayanti *et al.*, 2018). Proses pertambangan menggunakan sistem pertambangan terbuka yang melibatkan banyak alat berat untuk penggalian tanah maupun menggunakan ledakan (*blasting*). Hal tersebut mengakibatkan hilangnya bentuk permukaan bumi sehingga terjadinya penurunan kualitas lingkungan. Salah satu dampak dari proses pertambangan adalah terbentuknya Air Asam Tambang (AAT). Pembentukan air asam tambang dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu air, udara, dan material yang mengandung mineral-mineral sulfida (Nugraha *et al.*, 2020).

AAT mempunyai pH yang rendah juga mengandung konsentrasi ion logam berat yang tinggi seperti aluminium (Al), besi (Fe), dan mangan (Mn). Logam berat merupakan jenis polutan yang terdistribusi secara luas di dalam tanah dan mendapat perhatian secara khusus karena sifatnya yang tidak dapat terdegradasi serta dapat bertahan lama di dalam lingkungan. Limbah padat dan atau cair yang dihasilkan dari berbagai proses industri dan pertambangan mengandung logam berat toksik (Essa *et al.*, 2002 dalam Suryani, 2011).

Menurut Hidayat (2017), Air asam tambang terbentuk sebagai hasil oksidasi dari mineral sulfida tertentu yang terkandung dalam batuan, yang bereaksi dengan oksigen di udara pada lingkungan berair. Penampakan air asam tambang di tahap awal adalah adanya air di lokasi penambangan yang berwarna hijau. Timbulnya air asam tambang bukan hanya berasal dari hasil pencucian batubara di aktivitas penambangan, tetapi juga dari dibukanya suatu potensi keasaman batuan sehingga menimbulkan permasalahan kepada kualitas air dan juga tanah.

Air asam tambang penting untuk dikelola dengan baik terlebih pada kegiatan penambangan di daerah yang mempunyai curah hujan tinggi. Kondisi ini, terutama terjadi hampir di semua kegiatan penambangan di Indonesia. Air dari sumber mana pun yang terdapat di lokasi penambangan adalah sesuatu yang harus diperhitungkan dan diperhatikan dengan baik keberadaannya. Air dapat berperan sebagai *reactant* (pereaksi) dan media bakteri dalam proses oksidasi pembentukan AAT. Potensi AAT dapat berasal dari beberapa sumber yang merupakan hasil kegiatan penambangan, antara lain: (1) penimbunan (*bijih/ore*, *medium/lowgrade*,

limbah batuan/*waste*), (2) batuan sisa pemrosesan (*tailing*), dan (3) daerah terbuka dan dinding tambang (*pitwall*) (Suryadi *et al.*, 2019).

Dampak lingkungan yang dapat ditimbulkan yaitu dampak terhadap badan air, terutama terhadap kualitas air. Apabila air asam tambang yang telah terbentuk dialirkan langsung ke sungai atau laut, maka dapat menimbulkan dampak buruk terhadap biota perairan, baik secara langsung karena tingkat keasaman yang tinggi maupun karena peningkatan kandungan logam di dalam air (air yang bersifat asam mudah melarutkan logam. Disamping itu, kualitas air yang telah terkontaminasi dengan air asam tambang dapat mengganggu kesehatan manusia (Metboki *et al.*, 2018).

Pengolahan air asam tambang dapat digolongkan menjadi pengolahan aktif (*active treatment*) dan pengolahan pasif (*passive treatment*). Pengolahan aktif (*active treatment*) dapat dilakukan dengan cara penetralan. Sedangkan pengolahan pasif (*passive treatment*) merupakan proses pengolahan yang tidak memerlukan intervensi, operasi atau perawatan oleh manusia secara reguler. Sistem ini memanfaatkan sumber energi yang tersedia secara alami seperti gradien topografi, energi metabolisme mikroba, fotosintesis dan energi kimia (Metboki *et al.*, 2018).

Salah satu alternatif proses penanganan pencemaran secara biologis dengan memanfaatkan aktivitas mikroba yaitu dengan menggunakan Bakteri Pereduksi Sulfat. Bakteri ini mampu mendekontaminasi sulfat dan mampu menurunkan konsentrasi logam. Bakteri Pereduksi Sulfat pada umumnya bersifat anaerob dan dapat bereaksi dengan berbagai logam menghasilkan hidrogen sulfida (H₂S) (Widyati, 2006 dalam Purnamaningsih *et al.*, 2017).

Bakteri pereduksi sulfat (BPS) merupakan salah satu bakteri yang memanfaatkan senyawa anorganik sebagai elektron donor atau elektron akseptor dalam aktivitas metabolismenya. Bakteri jenis ini memanfaatkan ion sulfur dalam bentuk sulfat dan tiosulfat sebagai akseptor elektron terminal dalam respirasi metabolismenya, yang kemudian direduksi menjadi sulfida. Bakteri pereduksi sulfat memiliki banyak peranan untuk mengurangi tingkat pencemaran lingkungan, salah satunya yaitu mereduksi sulfat terlarut yang bisa memulihkan tingkat keasaman badan air menjadi pH 6-7, memicu terjadinya pengendapan logam berat sehingga akan menghilangkan pencemaran logam berat yang terlarut dalam perairan (Posumah *et al.*, 2018).

Habitat pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat cukup luas. Selain di lautan, bakteri ini juga ditemukan di perairan darat seperti lahan sawah atau lahan bakau. Bakteri pereduksi sulfat lebih banyak ditemukan pada lingkungan anoksik, terutama di bagian bawah sedimen, namun ada pula kelompok bakteri pereduksi sulfat yang mampu tumbuh pada kondisi oksik, sehingga terdapat keragaman bakteri yang tumbuh dalam sedimen. Keberadaan bakteri pereduksi sulfat akan sangat membantu mengurangi kandungan sulfat pada air asam tambang, sehingga dapat meningkatkan pH limbah air asam tambang (Yusron *et al.*, 2009).

Salah satu komponen utama yang digunakan dalam pengendalian air asam tambang adalah limbah organik atau bahan organik (*organic matter*). Keuntungan penggunaan bahan organik dalam pengendalian air asam tambang adalah memacu pertumbuhan mikroba yakni Bakteri Pereduksi Sulfat (BPS) dan menghasilkan lingkungan yang anaerob melalui reduksi sulfat (Skousen & Jage, 1998 dalam

Nugraha *et al.*, 2020).

Bahan organik dapat diperoleh dari sisa-sisa hewan maupun residu tanaman seperti akar, batang dan daun gugur yang dikembalikan ke tanah. Bahan-bahan organik tersebut dapat berupa pupuk organik yang proses perubahannya dapat terjadi secara alami atau buatan (Atikah, 2013). Bahan organik idealnya dapat diperoleh dari kompos. Menurut Prasetyono (2015), kompos merupakan salah satu bahan yang dapat digunakan untuk meminimalisasi logam berat yang ada pada tanah ataupun permukaan lainnya.

Kompos mengandung bahan organik dengan alkalinitas yang dapat meningkatkan pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat sehingga dapat membantu menaikkan pH air asam tambang dan menciptakan keadaan reduktif pada air asam tambang karena bahan organik mempunyai fungsi mempertahankan suasana reduksi sehingga oksidasi pirit dapat ditekan. Bakteri pereduksi sulfat menggunakan donor elektron H_2 dan sumber C yang dapat diperoleh dari bahan organik. Ketika sulfat menerima elektron dari bahan organik maka akan mengalami reduksi membentuk senyawa sulfida (Ramadhan *et al.*, 2018).

Adanya penambahan bahan organik dari kompos pada sedimen bakau sebagai sumber inokulum dan media pertumbuhan dari bakteri pereduksi sulfat dalam mengatasi limbah air asam tambang. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian ini sebagai salah satu bentuk dari penanggulangan pencemaran air asam tambang dengan menggunakan sedimen bakau dengan penambahan bahan organik berupa kompos sebagai sumber inokulum Bakteri Pereduksi Sulfat.

I.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh penambahan kompos pada penurunan kadar sulfat dalam air asam tambang dengan perlakuan sedimen bakau.
2. Mengetahui pengaruh penambahan kompos pada perubahan pH dalam air asam tambang dengan perlakuan sedimen bakau.
3. Mengetahui jumlah populasi bakteri dalam air asam tambang pada perlakuan sedimen bakau.

I.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang pentingnya penanggulangan air asam tambang dengan memanfaatkan sedimen *wetland* (sedimen bakau) dengan pemberian bahan organik berupa kompos sebagai salah satu alternatif yang 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 2021 hingga selesai di Laboratorium Mikrobiologi, Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Pengambilan sampel sedimen bakau dilakukan di kawasan bakau di Kera-Kera, Kecamatan Tamalanrea, Kota Makassar dan sampel air asam tambang dibuat secara sintesis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Pencemaran Lingkungan

Polusi atau pencemaran adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (UU Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup No. 4 Tahun 1982). Pencemaran dapat timbul sebagai akibat kegiatan manusia ataupun disebabkan oleh alam (misal gunung meletus, gas beracun) (Wahyudin, 2017).

Lingkungan merupakan suatu media sesuatu yang berisi makhluk hidup, benda maupun kondisi termasuk manusia dan perilakunya yang mempunyai pengaruh dalam keberlangsungan hidup manusia maupun makhluk hidup lain. Semakin meningkat hidup, semakin meningkat pula populasi dan eksploitasi terhadap sumber daya alam guna untuk mencukupi berbagai kebutuhan manusia, sehingga banyak permasalahan lingkungan yang timbul, diantaranya seperti pemanasan global, berkurangnya sumber daya alam, pencemaran lingkungan baik air, tanah maupun udara, dan masalah lainnya. Lingkungan yang terjaga akan menciptakan kehidupan yang sehat pula, baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Akan lebih banyak masalah yang akan ditimbulkan oleh kerusakan lingkungan hidup jika tidak segera ditangani (Anjelita *et al.*, 2020).

Pencemaran lingkungan merupakan keadaan di mana bahan kimia buatan manusia masuk dan merubah lingkungan alami. Pencemaran ini biasanya terjadi karena oleh kebocoran limbah cair atau bahan kimia industri atau fasilitas komersial, penggunaan pestisida, masuknya air permukaan tanah tercemar ke dalam lapisan sub permukaan, kecelakaan kendaraan pengangkut minyak, zat kimia, atau limbah, air limbah dari tempat penimbunan sampah serta limbah industri yang langsung dibuang ke tanah secara tidak memenuhi syarat (illegal dumping). Salah satu limbah zat kimia yaitu limbah logam berat. Merkuri merupakan salah satu logam berat yang sangat toksik (Suryani, 2011).

Zat atau bahan yang dapat mengakibatkan pencemaran di sebut polutan. Syarat-syarat suatu zat disebut polutan bila keberadaannya dapat menyebabkan kerugian terhadap mahluk hidup. Contohnya, karbon dioksida dengan kadar 0,033% di udara berfaedah bagi tumbuhan, tetapi bila lebih tinggi dari 0,033% dapat memberikan efek merusak (Wahyudin, 2017).

II.1.1 Pencemaran Limbah Pertambangan

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

Salah satu potensi masalah dari kegiatan pertambangan adalah risiko

terbentuknya air asam tambang yaitu air yang terbentuk akibat dari adanya oksidasi batuan sulfida tertentu yang berada di dalam lapisan batubara, sehingga mengakibatkan air yang ada di lokasi pertambangan bersifat asam dan biasanya air asam ini mengandung logam berat seperti besi dan mangan, dan seringkali mengandung zat padat tersuspensi yang memiliki konsentrasi tinggi. Dampak yang ditimbulkan air asam tambang bukan hanya di dalam lokasi pertambangan saja namun yang lebih dikhawatirkan adalah tercemarnya sumber air yang terdapat di luar kawasan tambang dan sangat membahayakan lingkungan khususnya bagi makhluk hidup (Andrawina *et al.*, 2020).

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

disebabkan oleh bentuk dan kandungan logam berat dalam limbah yang sangat bervariasi. Berlebihnya logam berat yang tercemar dapat merusak ekosistem kehidupan yang ada disekitarnya (Nuriadi *et al.*, 2013).

Tailing berupa sisa pengolahan bijih yang biasanya terdiri atas beraneka ukuran butir, yaitu fraksi berukuran pasir, lanau, dan lempung. Ketika *tailing* dibuang dalam bentuk bubur, fraksi pasir cenderung mengendap di sekitar titik pembuangan dan lumpur akan mengendap jauh dari titik pembuangan sebagai suspensi dalam waktu yang cukup lama. Fraksi pasir kadang-kadang dimanfaatkan untuk pembuatan konstruksi tanggul atau sebagai bahan pengisi *backfilling* pada tambang bawah permukaan atau bekas galian-galian pada tambang terbuka (Herman, 2006).

Secara umum, pembuangan *tailing* dilakukan di lingkungan darat yaitu pada depresi topografi atau penampung buatan; sungai atau danau, dan laut. *Tailing* sering mengandung konsentrasi mineral berharga yang tidak memenuhi syarat untuk diambil pada saat ditambang, tetapi disimpan untuk penggunaan di masa yang akan mendatang. Secara mineralogi, *tailing* dapat terdiri atas beraneka mineral seperti silika, silikat besi, magnesium, natrium, kalium, dan sulfida. Dari mineral-mineral tersebut, sulfida mempunyai sifat aktif secara kimiawi, dan apabila bersentuhan dengan udara maka akan mengalami oksidasi sehingga membentuk garam-garam bersifat asam dan aliran asam mengandung sejumlah logam beracun seperti As, Hg, Pb, dan Cd dapat mencemari atau merusak lingkungan (Herman, 2006).

Selain itu, penambangan air tanah atau air hujan yang terkumpul di dalam

kolam tambang selain bersifat asam juga seringkali mengandung zat padat yang tersuspensi (*suspended solids*) dengan konsentrasi yang tinggi. Pada saat pengerukan atau penambangan batubara air tersebut harus dikeringkan atau dibuang dan sebelum dibuang atau dialirkan ke badan air harus diolah terlebih dahulu sampai memenuhi baku mutu sesuai dengan peraturan yang berlaku (Said, 2014).

Baku mutu air limbah batubara merupakan ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan atau jumlah unsur pencemaran yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah batubara yang akan dibuang atau dilepas ke air permukaan. Parameter yang wajib dilakukan pemantauan pada air limbah kegiatan penambangan batubara itu sendiri adalah terdiri atas pH, TSS, total Fe dan total Mn (Mukhlisah, 2020).

Jika limbah air asam tambang yang mengandung asam sulfat yang menjadi penyebab utama pencemaran sudah masuk di lingkungan, maka akan terus terbentuk asam oleh adanya kelompok bakteri *Thiobacillus* yang menjadi pemicunya. Mengingat sedemikian banyaknya limbah air asam tambang yang dihasilkan dari aktivitas pertambangan dengan dampak atau risiko kerusakan lingkungan yang sangat besar, maka teknologi penanganan limbah air asam tambang haruslah sedemikian efektif serta memiliki dampak yang minimal terhadap terjaganya kelestarian lingkungan yaitu dengan memanfaatkan bakteri pereduksi sulfat (Fahrudin *et al.*, 2018).

II.2 Air Asam Tambang (AAT)

Air asam tambang atau biasa disebut *Acid Mine Drainage* (AMD) dan

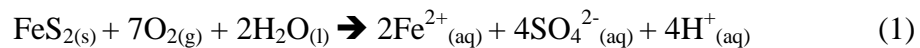
juga sering digunakan secara bergantian dengan beberapa istilah lain, seperti *Acid Rock Drainage* (ARD) dan *Acid Drainage* (AD) adalah air yang berasal dari tambang atau batuan yang mengandung mineral sulfida tertentu yang terpapar dan dalam keadaan teroksidasi. Beberapa sulfida logam yang sering dijumpai 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*) (Munawar, 2017; Said, 2014).

Air asam tambang (AAT) dihasilkan oleh pelapukan mineral sulfur atau sulfida yang terdapat di tapak tambang, bijih, atau berbagai jenis limbah yang dihasilkan oleh kegiatan pertambangan. Lapisan batuan penutup, bahan tambang (batubara atau bijih mineral), atau limbahnya yang kaya mineral sulfida, terutama pirit (FeS₂), yang terdedah (*exposed*) ke permukaan bumi mengalami oksidasi menghasilkan asam sulfat dan logam-logam larut (Munawar, 2017).

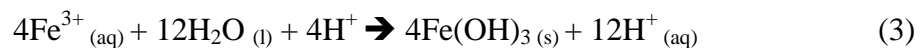
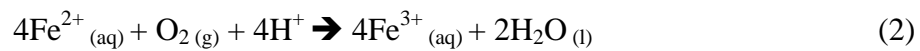
Belakangan ini, air asam tambang menjadi masalah global yang cukup mengkhawatirkan karena dampaknya terhadap lingkungan dan organisme hidup dapat menyebabkan efek paling berbahaya. Air asam tambang kebanyakan dihasilkan sebagai produk sampingan dari berbagai proses industri pertambangan dan industri terkait lainnya. Permasalahan air asam tambang cukup serius pada lokasi pertambangan yang sudah tidak aktif dan sudah ditinggalkan karena proses oksidasi mineral sulfida lebih cepat prosesnya karena paparannya terhadap air dan oksigen. Selain itu, aliran asam dengan kandungan sulfat tinggi biasanya disebabkan oleh paparan dan oksidasi mineral atau batuan yang terikat sulfida. Air

asam tambang umum terjadi di banyak pertambangan dan penyulingan pertambangan industri mineral. Reaksi kimia yang mendasari pembentukan (Rambabu *et al.*, 2020).

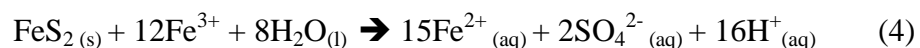
Proses pembentukan AAT dapat digambarkan oleh reaksi-reaksi di bawahini (Munawar, 2018):



Jika bersentuhan dengan oksigen (O_2) dan air (H_2O), mineral pirit (FeS_2) akan bereaksi membentuk asam sulfat (H_2SO_4), yang mengakibatkan penurunan pH dan pembebasan ion Fe^{2+} (fero) ke dalam air. Akibatnya, padatan terlarut total (*total dissolved solids*, TDS) dan kemasaman air meningkat. Kemudian, ion-ion Fe^{2+} teroksidasi menjadi Fe^{3+} (feri) dan akan mengalami hidrolisis membentuk besi (III) hidroksida [$\text{Fe}(\text{OH})_3$], seperti ditunjukkan oleh reaksi-reaksi berikut:



Reaksi ini membebaskan ion-ion H^+ ke lingkungan, sehingga meningkatkan kemasaman (penurunan pH). Besi (III) hidroksida yang terbentuk dalam reaksi ini biasa disebut sebagai “*yellow boy*”, yang berupa endapan berwarna oranye-kekuningan, sehingga air menjadi seperti berwarna merahoranye. Besi feri (III) tersebut dapat bertindak sebagai oksidator, yang mengoksidasi pirit dan menghasilkan besi ferro (II), sulfat, dan kemasaman, seperti ditunjukkan oleh reaksi berikut:



Reaksi perubahan besi fero (II) menjadi besi feri (III) merupakan tahap pembatas laju (*rate limiting step*) oksidasi pirit. Reaksi (4) tersebut terjadi pada pH yang sangat rendah, sehingga oksidasi pirit pada kondisi tersebut sangat lambat.

Namun, ditemukan bahwa beberapa jenis bakteri tahan asam, seperti *Thiobacillus ferrooxidans*, dapat bertindak sebagai katalisator oksidasi besi ferro (III) pada kondisi sangat masam (pH 2,5-3,5). Bahkan peranan bakteri dalam pembentukan asam dijumpai di sebagian besar kasus. Oleh karena itu aktivitas bakteri sangat krusial pada pembentukan AAT (Munawar, 2018).

Tingkat kemasaman, komposisi dan konsentrasi logam dalam AAT tergantung kepada jenis dan jumlah mineral sulfida dan ada tidaknya material alkalin di dalam batuan. Keberadaan material alkalin dapat menjadi bahan penetral asam, sehingga dapat mengurangi jumlah AAT yang terbentuk. Sebagai contoh, batuan yang mengandung 5% mineral sulfida mungkin tidak menghasilkan asam akibat kandungan batuan kapur di dalam batuan yang dapat menetralkan seluruh asam yang dihasilkan. Sebaliknya, batuan yang hanya mengandung 2% mineral sulfida dapat menghasilkan banyak asam jika batuan tidak mengandung bahan alkalin. Jika laju pembentukan asam tetap tinggi dan potensial netralisasi di dalam batuan habis, pH akan turun di bawah 3 dan AAT semakin parah (Munawar, 2018).

II.2.1 Dampak Air Asam Tambang

Turunnya pH secara drastis akan meningkatkan kelarutan logam-logam berat pada suatu lingkungan. Sesuai dengan konsep ini tentunya kondisi

lingkungan dengan pH rendah mengakibatkan ketidakterediaan unsur hara makro dikarenakan unsur-unsur makro tersebut terikat oleh unsur logam sedangkan bersamaan dalam kondisi ini kelarutan dari pada unsur hara mikro akan semakin meningkat. Adapun dampak dari AAT ini di antaranya adalah perusahaan pertambangan mengalami dampak percepatan proses korosif pada peralatan yang berbahan besi atau baja sehingga menyebabkan kerusakan peralatan menjadi semakin cepat yang tentunya berpengaruh pada keuangan perusahaan sebagai beban belanja perusahaan penambang tersebut, pada biodiversity. Dengan adanya peristiwa ini maka kualitas air yang ada di sekitar area pertambangan akan mengganggu tingkat kesehatan manusia. Dampak lain yang ditimbulkan oleh AAT yaitu meningkatkan kesulitan saat melakukan reklamasi lahan bekas tambang tersebut karena kualitas tanah dan air yang terlalu asam bagi tanaman untuk tumbuh dan berkembang (Ashari *et al.*, 2015).

Adapun lingkungan yang akan merasakan dampak negatif dari air asam tambang yaitu (Asip *et al.*, 2015) :

1. Flora dan Fauna pada lingkungan air Air asam tambang yang mencemari lingkungan mengganggu ekosistem di lokasi penambangan karena dapat membuat flora dan fauna disekitarnya tidak dapat bertahan hidup akibat kontaminasi antara air permukaan dengan air asam tambang, air akan menjadi lebih asam. Tingkat kontaminan logam berbahaya seperti Besi, Seng, dan Mangan dapat menurunkan kualitas air yang ada pada lingkungan.
2. Masyarakat yang berada disekitar areal penambangan Air yang telah

terkontaminasi dengan air asam tambang akan mengandung logam berat seperti besi, seng dan lain-lain. Apabila dikonsumsi oleh masyarakat secara terus menerus akan mengganggu organ tubuh dimana logam yang akan mengendap dapat mengaktifkan sel kanker, sehingga dapat mengakibatkan keracunan bahkan kelumpuhan.

3. Kualitas Tanah dan Air Permukaan Kualitas tanah yang tercemar logam berat akan menurun sehingga tidak efektif untuk dijadikan lahan bercocok tanam.

II.2.2 Penanggulangan Air Asam Tambang

Pengolahan air asam tambang dapat diolah dengan dua metode yaitu metode aktif dan metode pasif. Metode aktif merupakan metode yang efektif dimana metode ini menggunakan bantuan bahan kimia dalam proses pengolahannya. Metode ini memerlukan bantuan manusia dan instrumen pendukung dalam peoperasiannya. Metode ini memiliki kelebihan dimana pengolahan AAT dengan metode ini dapat menghasilkan efisiensi yang cenderung lebih tinggi dan mudah dalam pengoperasiannya. Namun metode ini memerlukan biaya yang cukup besar yang harus dikeluarkan untuk membeli bahan kimia dan pengadaan eksternal yang dibutuhkan. Metode pasif merupakan metode yang mengandalkan proses bio-geokimiawi, dimana metode ini berlangsung secara alami dalam peningkatan pH dan pengikatan serta pengendapan terhadap logam-logam terlarut. Metode ini tidak memerlukan penambahan bahan kimia secara terus menerus. Namun metode ini membutuhkan area yang cukup luas untuk mengoperasikannya (Asip et al., 2015).

Salah satu alternatif yang banyak dikaji sekarang adalah pengolahan AAT secara biologis dengan menggunakan bakteri pereduksi sulfat (BPS) atau *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) untuk mendekontaminasi sulfat. Selain itu, BPS juga mampu menurunkan konsentrasi logam melalui proses pengendapan logam. Dalam proses pengolahan AAT secara biologis, perlu dilakukan secara lebih efisien dan ekonomis yaitu dengan menambahkan bahan organik dari sedimen lahan basah atau lumpur *wetland*. Bahan organik ini secara alami terdapat banyak BPS, sehingga tidak perlu lagi diinokulasikan mikroba dari luar, serta penambahan nutrisi. Kandungan bahan organik yang tinggi dalam sedimen *wetland* menyediakan lingkungan yang ideal untuk populasi bakteri pereduksi sulfat (Fahrudin, 2009).

II.3 Sedimen *Wetland*

II.3.1 Peranan Sedimen *Wetland*

Sedimen *wetland* merupakan media perlakuan yang paling umum digunakan untuk remediasi air asam tambang. Sedimen *wetland* memiliki ekosistem yang sangat kompleks karena pengaruh interaksi fisik, kimia dan proses biologis yang mempengaruhi kualitas air. Secara umum, ada dua jenis sistem pengolahan air asam tambang, yakni sedimen *wetland* aerobik dan anaerobik. *Wetland* yang bersifat aerobik melibatkan air bersih alkali, sedangkan *wetland* yang bersifat anaerobik melibatkan pencelupan bahan organik yang kaya akan substrat, batu kapur dan inokulum BPS untuk memperbaiki air asam metalik dan memungkinkan tercapainya reduksi besi dan senyawa sulfat (Ramambu *et al.*, 2020).

Pengolahan AAT dengan perlakuan *wetland* akan lebih murah dan mengurangi tenaga kerja dibandingkan jika pengolahan AAT dengan cara penambahan kapur. Remediasi dengan *wetland* merupakan gabungan dari kemampuan mikroba yang meliputi absorpsi 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. Presipitasi logam juga dapat terjadi melalui pembentukan mineral karbonat (MEND, 1990).

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 yang menetap dalam sedimen *wetland*. Secara alami fungsi dalam serbuk gergaji, laktat, asetat, propionate, butirir, 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 Bakau

Mangrove adalah tumbuhan berkayu yang menempati daerah pasang surut zona muara dan pantai tropis dan subtropis. Ekosistem mangrove dikenal dengan karakteristik yang produktivitas dan tingkat dekomposisi yang tinggi dan memainkan peran penting dalam aliran energi dan siklus material ekosistem pesisir. Karena produktivitasnya yang tinggi, ekosistem mangrove memasukkan sejumlah besar serasah ke dalam lingkungan datar pasang surut tahun, dan dekomposisi cepat serasah oleh mikroorganisme adalah signifikansi yang besar untuk sirkulasi karbon dan nitrogen dan elemen makro lainnya di ekosistem. Berbagai kelompok fungsional bakteri, seperti bakteri pengikat nitrogen, bakteri pelarut fosfat, bakteri pereduksi sulfat, dan bakteri logam, semuanya memiliki kelimpahan tinggi di habitat mangrove. Kelompok fungsional bakteri ini berperan peran penting dalam mempromosikan pemanfaatan unsur hara oleh tanaman bakau (Yin *et al.*, 2020).

Mangrove atau bakau adalah zona peralihan antara darat dan laut lingkungan yang memiliki fungsi ekologis yang baik termasuk konservasi keanekaragaman hayati, perlindungan garis pantai dan air serta pemurnian atmosfer. Umumnya, sedimen bakau bersifat anaerobik, bercirikan salinitas tinggi, tinggi potensi redoks, dan kaya bahan organik dan sumber belerang. Bakau memang dikenal memiliki sedimen yang tinggi kapasitas untuk menahan dan mengakumulasi logam berat dari limbah industri dan limbah rumah tangga, dan biasanya menahan berat yang ditularkan melalui air logam, bertindak sebagai sink untuk logam berat. Sebagian besar penelitian sebelumnya tentang pengaruh

kondisi lingkungan terutama kontaminan di ekosistem mangrove dianggap dipilih logam berat. Dalam kondisi lapangan, konsentrasi logam berat adalah faktor lingkungan vital yang mengatur komunitas bakteri. Dan beberapa penelitian telah mengkonfirmasi bahwa kontaminasi logam berat dalam jangka panjang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kelimpahan, keanekaragaman dan aktivitas dari bakteri pereduksi sulfat. Komunitas BPS tersebar luas di sedimen mangrove, tetapi hanya sedikit yang diketahui respon komunitas BPS terhadap kontaminasi logam berat dan mekanisme intrinsik dalam sedimen bakau (Wu *et al.*, 2019).

Sumber sedimen di kawasan mangrove berasal dari daratan maupun lautan (*allocthonous*) dan dari kawasan mangrove itu sendiri (*autochthonous*). Sumber sedimen tersebut berupa timbunan guguran daun, ranting, dan organisme mati yang terdeposisi di daerah mangrove dan mengandung banyak bahan organik dan mineral (N, P, K, Fe dan Mg) (Nugroho *et al.*, 2013).

Jenis-jenis bakteri pereduksi sulfat yang mendominasi sedimen bakau terdiri atas genus *Proteobacteria*, *Nitrospirae*, *Firmicutes*, *Gemmatimonadetes* dan *Thermodesulfobacteria*. *Desulfacinum* merupakan bakteri pereduksi sulfat yang bersifat anaerobik dan tersebar luas di sedimen mangrove dan paling banyak tersebar di pantai-pantai kecil. Berdasarkan hasil penelitian Li *et al.*, (2020), penyebaran dan aktivitas BPS di sedimen bakau dipengaruhi oleh kedalaman sedimen.

II.4 Bakteri Pereduksi Sulfat

Bakteri yang mampu menggunakan sulfat sebagai akseptor elektron terakhirnya dikenal sebagai bakteri pereduksi sulfat. Bakteri pereduksi sulfat

memanfaatkan sulfat (SO_4^{2-}), tiosulfat ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) dan sulfid (SO_3^{2-}) sebagai akseptor elektron terminal dalam respirasi metabolisanya, yang kemudian direduksi menjadi sulfida (Punjung Sari, 2017).

Berdasarkan penggunaan sulfat, bakteri pereduksi sulfat dibedakan menjadi dua yaitu kelompok yaitu *assimilatory sulfate reduction* dan *dissimilatory sulfate reduction*. Kelompok mikrobial *assimilatory sulfate reduction* mereduksi sejumlah kecil sulfat untuk mensintesis komponen sel yang mengandung sulfur, sedangkan *dissimilatory sulfate reduction* menggunakan sulfat untuk mendapatkan energi (Fahrudin, 2010).

Disamping itu, untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, bakteri pereduksi sulfat juga memerlukan substrat organik (umumnya asam organik rantai pendek) seperti asam laktat dan piruvat, yang dihasilkan oleh aktivitas fermentasi bakteri anaerob lainnya. Bakteri pereduksi sulfat merupakan organisme heterotrof anaerob. Sampai saat ini telah dikenal lebih dari 10 genus bakteri pereduksi sulfat. Bakteri pereduksi sulfat yang dikenal dan ditemukan secara luas di alam antara lain adalah *Desulfovibrio* dan *Desulfotomaculum* (Punjung Sari, 2017).

Berdasarkan cara penguraian asam organik, bakteri pereduksi sulfat dikelompokkan menjadi dua kelompok. Kelompok pertama mengoksidasi senyawa donor secara tidak sempurna, dan menghasilkan senyawa asetat. Kelompok *Desulfotomaculum* yang membentuk spora dan *Desulfovibrio* yang tidak membentuk spora merupakan bakteri yang mengoksidasi senyawa organik secara tidak sempurna. Kelompok kedua mampu tumbuh menggunakan alkohol, asetat, asam lemak berbobot molekul tinggi, dan benzoat, seperti

Desulfotomaculum acetoxidans, *Desulfobacter*, *Desulfococcus*, *Desulfosacrina* dan *Desulfonema*. Beberapa spesies dan genus bakteri anaerob dapat bertahan sementara dengan adanya oksigen, namun membutuhkan lingkungan anaerob (tanpa oksigen) untuk pertumbuhannya (Fahrudin, 2010).

Beberapa faktor pertumbuhan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan BPS, antara lain (Fahrudin, 2010) :

1. Suhu, merupakan salah satu faktor pertumbuhan yang sangat berpengaruh pada pertumbuhan mikrobial. Penentuan suhu yang tepat sangat penting dalam efektifitas penerapan BPS di dalam bioreaktor. BPS memiliki toleransi suhu yang cukup luas yaitu 20 – 50°C.
2. pH, pertumbuhan BPS mempunyai kisaran pH yang luas, namun aktifitasnya tidak sama pada setiap kondisi pH. Kelompok mikrobial ini dapat tumbuh pada kisaran pH 3-9; Ion logam berat, BPS memiliki kemampuan untuk mengoksidasi berbagai macam logam berat seperti Cu, Zn, Mn, Cd dan Pb.

Bakteri pereduksi sulfat dapat diperoleh dari substrat-substrat berlumpur seperti pada sedimen. Cara ini dilakukan dalam bioreaktor yang tidak diinokulasikan lagi mikroba dari luar karena secara alami sudah ada mikroba didalamnya dan menetap pada sedimen *wetland*. Sedimen rawa maupun 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 (Fahrudin *et al.*, 2014).

II.4.1 Peranan Bakteri Pereduksi Sulfat

Salah satu alternatif proses penanganan pencemaran secara biologis dengan memanfaatkan aktivitas mikrobial yaitu dengan menggunakan Bakteri Pereduksi Sulfat. Bakteri ini mampu mendekontaminasi sulfat dan mampu menurunkan konsentrasi logam. Bakteri Pereduksi Sulfat pada umumnya bersifat anaerob dan dapat bereaksi dengan berbagai logam menghasilkan hidrogen sulfida (H_2S) (Fahrudin *et al.*, 2018).

Toleransi BPS terhadap konsentrasi logam berat dan sulfat yang tinggi dapat ditingkatkan dengan metode imobilisasi menggunakan zeolit alam. Peningkatan toleransi BPS terhadap konsentrasi logam berat dan sulfat yang tinggi selain dengan teknik imobilisasi dengan menggunakan zeolit, juga dapat dengan pemilihan bahan organik yang tepat untuk pertumbuhan BPS.

Menurut Mosaa *et al.* (2002) bahan organik digunakan oleh BPS sebagai donor elektron. Pemilihan donor elektron akan berpengaruh terhadap kecepatan reduksi sulfat. Donor elektron pada BPS biasanya berupa senyawa organik dengan berat molekul yang rendah seperti asam organik (laktat, piruvat, format dan asetat) atau alkohol (ethanol, propanol) sebagai sumber karbon.

II.5 Kompos

Pengomposan adalah proses perombakan (dekomposisi) bahan-bahan organik dengan memanfaatkan peran atau aktivitas mikroorganisme. Melalui proses tersebut, bahan-bahan organik akan diubah menjadi pupuk kompos yang kaya dengan unsur-unsur hara baik makro ataupun mikro yang sangat diperlukan oleh tanaman. Penambahan bioaktivator dapat mempercepat proses pengomposan

dan kualitas produk kompos. Penambahan kotoran sapi sebagai bioaktivator bermanfaat sebagai sumber nutrisi untuk membangun sel-sel baru mikroorganisme agar proses dekomposisi berjalan dengan baik atau mempercepat proses pematangan (Widarti *et al.*, 2015).

Kompos merupakan pupuk organik yang berasal dari hasil pelapukan jaringan atau bahan-bahan tanaman atau limbah organik serta kotoran hewan dan dapat berisi senyawa-senyawa kimia dan unsur hara seperti P dan K juga penting dalam proses pengomposan karena unsur hara tersebut akan dimanfaatkan oleh mikroba selama proses pengomposan yang akan dimanfaatkan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah karena perannya yang sangat penting terhadap perbaikan sifat fisik, kimia dan biologi dari tanah. Selama perubahan dan peruraian bahan organik, unsur hara akan bebas menjadi bentuk yang larut dan dapat diserap oleh tanah (Yuliantini *et al.*, 2018).

Kompos mengandung bahan organik yang dapat meningkatkan massa pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat yang akan mendegradasi bahan organik yang ada di lingkungan anaerob karena bakteri pereduksi sulfat mempunyai kemampuan untuk memetabolisme senyawa sederhana seperti laktat, asetat, propionat, butirir, dan benzoat. Selain itu, kompos yang mengandung bahan organik juga membantu menaikkan pH air asam tambang serta menurunkan pengaruh senyawa-senyawa yang bersifat toksik untuk lingkungan seperti Al, Fe, Mn (Guspratomo *et al.*, 2018).