

**PENGARUH PERLAKUAN BIOCHAR DARI SEKAM PADI DAN  
SEDIMEN SAWAH DALAM REDUKSI KANDUNGAN SENGG (Zn) DAN  
SULFAT PADA AIR ASAM TAMBANG**

**SKRIPSI**

**NURUL FARADHILAH**

**H041191044**



**PROGRAM STUDI BIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**

**PENGARUH PERLAKUAN BIOCHAR DARI SEKAM PADI DAN  
SEDIMEN SAWAH DALAM REDUKSI KANDUNGAN SENGG (Zn) DAN  
SULFAT PADA AIR ASAM TAMBANG**

**SKRIPSI**

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
pada program studi strata satu (S1) Program Studi Biologi,  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin*



**Disusun dan diajukan oleh**

**NURUL FARADHILAH**

**H041191044**

**PROGRAM STUDI BIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**PENGARUH PERLAKUAN BIOCHAR DARI SEKAM PADI DAN  
SEDIMEN SAWAH DALAM REDUKSI KANDUNGAN SENG (Zn) DAN  
SULFAT PADA AIR ASAM TAMBANG**

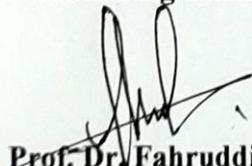
**Disusun dan diajukan oleh**

**NURUL FARADHILAH  
H041191044**

**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 31 Juli 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan**

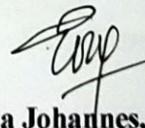
**Menyetujui,**

**Pembimbing Utama,**



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

**Pembimbing Pertama,**



**Dr. Eva Joharnes, M.Si.**  
NIP 196102171986012001

**Ketua Program Studi,**



**Dr. Magdalena Litaay, M.Sc.**  
NIP 196409291989032002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurul Faradhilah

NIM : H041191044

Program Studi : Biologi

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi dengan judul “Pengaruh Perlakuan Biochar dari Sekam Padi dan Sedimen Sawah dalam Reduksi Kandungan Seng (Zn) dan Sulfat pada Air Asam Tambang” adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila di kemudian hari skripsi karya saya terbukti bahwa sebagian atau keseluruhannya adalah hasil karya orang lain yang saya gunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 31 Juli 2023

Yang Menyatakan,



Nurul Faradhilah

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala berkah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “Pengaruh Perlakuan Biochar dari Sekam Padi dan Sedimen Sawah dalam Reduksi Kandungan Seng (Zn) dan Sulfat pada Air Asam Tambang” sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) dan memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi 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 alm. Bapak tercinta Wazir, S.Pd. yang telah kembali ke hadirat Allah SWT dan Ibu tercinta Wa Ode Irmawati, S.Pi, M.Si. sebagai orang tua penulis yang membesarkan, mendidik penulis dengan kasih sayang serta tiada hentinya mendoakan dan memberi dukungan moral serta materi kepada penulis.

Dalam penyusunan skripsi ini sampai selesai, tentunya tidak lepas dari bimbingan, dukungan, kerja sama dan bantuan dari berbagai pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Rektor Universitas Hasanuddin Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., beserta staf.

2. Bapak Dr. Eng. Amiruddin, M.Si., selaku Dekan Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin dan kepada seluruh staf yang telah membantu penulis dalam urusan akademik dan administrasi.
3. Ibu Dr. Magdalena Litaay, M.Sc., selaku ketua Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Terima kasih atas ilmu, kontribusi dan saran kepada penulis.
4. Bapak Drs. As'adi Abdullah, M.Si., selaku pembimbing akademik atas saran-saran yang diberikan penulis mulai dari awal perkuliahan hingga akhir masa studi di Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Prof. Fahrudin, M.Si., selaku pembimbing utama dan Ibu Dr. Eva Johannes, M.Si. selaku pembimbing pertama yang senantiasa membimbing, memberikan arahan dan motivasi berupa kritik dan saran serta waktunya yang terus menuntun penulis hingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
6. Tim penguji skripsi Ibu Dr. Syahribulan, M. Si., dan Bapak Drs. As'adi Abdullah, M. Si. atas bimbingan dan arahan yang diberikan kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.
7. 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.
8. Kak Fuad Gani, S.Si., Faisal, S.Si., Ibu Dewi Setiowati, S.Si. dan Ibu Sriwati, S.Si. yang telah membantu, membimbing, dan memberikan ilmu selama penelitian dalam laboratorium.

9. Teman seperjuangan sekaligus partner penelitian Aurelia Salsabila, Satriani dan Lulu Dwiyanti yang selalu berbagi informasi mengenai penelitian dan bersama-sama melalui suka dan duka selama penelitian.
10. Sahabat penulis Aurelia Salsabila, Satriani, Noer Zakiah Derajat Sam dan Lusiana yang selalu bersama dan mendengarkan keluh kesah penulis, memberikan kasih sayang, motivasi dan dukungan selama berkuliah di Universitas Hasanuddin hingga masa penyusunan skripsi ini.
11. Partner terbaik penulis Tengku Mochamad Taqy yang selalu memberikan motivasi dan kasih sayang selama penulis berkuliah hingga menyelesaikan skripsi ini.
12. Teman-teman Biologi angkatan 2019 yang selalu bersama selama menempuh pendidikan dari mahasiswa baru hingga telah membuat banyak kenangan indah dan pahit dalam masa perkuliahan.
13. Keluarga Himbio FMIPA Unhas dan KM FMIPA UNHAS sebagai wadah penulis dalam berorganisasi dan mengembangkan skill yang tidak didapatkan di perkuliahan.
14. Keluarga dan teman-teman KKN Tematik UMKM Bantaeng Posko 5 Gelombang 108 Universitas Hasanuddin, Desa Papanloe, Kec. Pajukukkang, Kab. Banteng yang sudah penulis anggap sebagai keluarga sendiri, terimakasih atas motivasi dan doa yang diberikan kepada penulis.
15. Seluruh pihak yang terlibat dalam kelancaran penelitian penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terimakasih atas segala bantuan yang telah diberikan dan semoga dapat bernilai pahala.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari akan kekurangan atau keterbatasan, pengetahuan, pengalaman dan kemampuan yang penulis miliki. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan skripsi ini. Penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan informasi bagi semua pihak yang memerlukan.

Makassar, 31 Juli 2023

Nurul Faradhilah

## ABSTRAK

Pertambangan merupakan kegiatan yang mengeksploitasi serta membuka bentang alam dari isolasi geografis. Pertambangan memiliki dampak negatif bagi lingkungan karena membentuk limbah air asam tambang (AAT), sehingga perlu dilakukan upaya untuk menanggulangi AAT. Telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan biochar sekam padi dengan sedimen sawah dalam reduksi kandungan logam berat seng (Zn) dan peningkatan pH air asam tambang (AAT). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan biochar dalam mereduksi kandungan seng (Zn) AAT, perubahan pH dan sulfat dalam AAT serta mengetahui jumlah populasi bakteri dalam AAT yang diperlakukan dengan sedimen sawah. Kadar seng (Zn) diukur dengan metode AAS (Atomic Absorption Spectrofotometer), kadar sulfat diukur dengan metode Spektrofotometri UV-Vis, perubahan pH diukur dengan pH meter, dan total mikroba dihitung dengan metode SPC (*Standard Plate Count*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan biochar sekam padi yang diperlakukan dengan sedimen sawah menurunkan kadar seng yang terbaik pada P1 sebesar 0,33 ppm dibandingkan P2 yang hanya mampu menurunkan kadar seng sebesar 0,51 ppm. Penambahan biochar sekam padi mampu menurunkan kadar sulfat paling baik pada P1 yakni sebesar 189 mg/L dibandingkan P3 yang hanya mampu menurunkan sulfat sebesar 258 mg/L. Penambahan biochar sekam padi juga mampu meningkatkan pH AAT yang terbaik pada P1 sebesar 6,3 dibandingkan P3 yang hanya sebesar 5,1. Penelitian ini juga menunjukkan peningkatan jumlah populasi bakteri selama 30 hari inkubasi secara berturut-turut adalah P1 =  $2,0 \times 10^{12}$  CFU/mL, P2 =  $1,0 \times 10^{12}$  CFU/mL, P3 =  $3,0 \times 10^7$  CFU/mL, dan P4 =  $1,3 \times 10^5$  CFU/mL.

**Kata kunci:** Biochar, Sekam Padi, Sedimen Sawah, Air Asam Tambang, Bakteri Pereduksi Sulfat

## ABSTRACT

Mining is an activity that exploits and opens landscapes from geographical isolation. Mining harms the environment because it forms acid mine drainage (AMD), so efforts need to be made to tackle AMD. Research has been carried out on the effect of adding rice husk biochar to paddy field sediments in reducing the heavy metal zinc (Zn) and increasing the pH of acid mine drainage (AMD). This study aims to determine the effect of adding biochar in reducing the zinc (Zn), changes in pH and sulfate in AMD, and determine the number of bacterial populations in AMD treated with paddy field sediment. Zinc (Zn) levels were measured using the AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer) method, sulfate levels were measured using the UV-Vis Spectrophotometry method, pH changes were measured with a pH meter, and total microbes were calculated using the SPC (Standard Plate Count) method. The results showed that the best use of rice husk biochar treated with paddy field sediment reduced zinc levels at P1 of 0.33 ppm, while P2 was only able to reduce zinc levels by 0.51 ppm. The addition of rice husk biochar was able to reduce sulfate levels best at P1, which was 189 mg/L, while P3 was only able to reduce sulfate by 258 mg/L. The addition of rice husk biochar was also able to increase the best pH of AMD at P1 of 6.3 compared to P3 which was only 5.1. This study also showed that the increase in the number of bacterial populations for 30 days of incubation was P1 =  $2.0 \times 10^{12}$  CFU/mL, P2 =  $1.0 \times 10^{12}$  CFU/mL, P3 =  $3.0 \times 10^7$  CFU/mL, and P4 =  $1.3 \times 10^5$  CFU/mL.

**Keywords:** Biochar, Rice Husk, Paddy Field Sediment, Acid Mine Drainage, Sulfate Reducing Bacteria

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Tujuan Penelitian .....	6
I.3 Manfaat Penelitian .....	6
I.4 Waktu dan Tempat Penelitian .....	6
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
II.1 Pencemaran Lingkungan.....	7
II.1.1 Pencemaran Limbah Pertambangan.....	8
II.1.2 Pencemaran Logam Berat Seng (Zn) .....	10
II.2 Air Asam Tambang (AAT).....	12
II.2.1 Dampak Air Asam Tambang .....	14
II.2.2 Penanggulangan Air Asam Tambang.....	15
II.3 Sedimen <i>Wetland</i> .....	16
II.3.1 Peranan Sedimen <i>Wetland</i> .....	16
II.3.2 Sedimen Sawah .....	17
II.4 Bakteri Pereduksi Sulfat .....	18
II.4.1 Peranan Bakteri Pereduksi Sulfat .....	20
II.5 Biochar.....	20
II.5.1 Biochar Sekam Padi .....	22

II.5.2 Pembuatan dan Modifikasi Biochar .....	23
<b>BAB III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>26</b>
III.1 Alat .....	26
III.2 Bahan.....	26
III.3 Prosedur Penelitian.....	26
III.3.1 Sterilisasi Alat.....	26
III.3.2 Pengambilan Sampel.....	27
III.3.3 Pembuatan Air Asam Tambang (AAT).....	27
III.3.4 Aktivasi Arang Sekam Padi.....	27
III.3.5 Pembuatan Perlakuan.....	28
A. Analisis Kandungan Logam Berat.....	29
B. Pengukuran Kadar Sulfat.....	29
C. Pengukuran pH .....	29
D. Menghitung Total Mikroba dengan Metode SPC ( <i>Standard Plate Count</i> )..	30
III.4 Analisis Data .....	31
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>32</b>
IV.1 Perubahan Fisik Air Asam Tambang .....	33
IV.2 Pengukuran Kadar Logam Berat Zn.....	35
IV.3 Pengukuran Kadar Sulfat .....	37
IV.4 Pengukuran pH.....	40
IV.5 Jumlah Total Mikroba .....	43
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>47</b>
V.1 Kesimpulan.....	47
V.2 Saran .....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>49</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>55</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Sekam padi dan biochar sekam padi.....	22
<b>Gambar 2.</b> Sekam padi hasil karbonisasi.....	23
<b>Gambar 2.</b> Kondisi fisik air asam tambang hari ke-0 pada perlakuan.....	33
<b>Gambar 3.</b> Kondisi fisik air asam tambang hari ke-30 pada perlakuan.....	34
<b>Gambar 4.</b> Pengukuran kadar logam berat Zn pada perlakuan.....	35
<b>Gambar 5.</b> Pengukuran kadar sulfat pada perlakuan.....	38
<b>Gambar 6.</b> Nilai pH pada perlakuan.....	41
<b>Gambar 7.</b> Jumlah total mikroba pada pada perlakuan.....	43

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Tabel Hasil Pengukuran.....	55
<b>Lampiran 2.</b> Foto Pengambilan Sampel.....	56
<b>Lampiran 3.</b> Foto Persiapan dan Aktivasi Arang Sekam Padi.....	56
<b>Lampiran 4.</b> Foto Pembuatan Perlakuan AAT.....	57
<b>Lampiran 5.</b> Pembuatan Media dan Persiapan Pengerjaan.....	57
<b>Lampiran 6.</b> Pengukuran pH dan Perhitungan Total Mikroba.....	58
<b>Lampiran 7.</b> Perhitungan Kadar Sulfat dan Logam Berat.....	59

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Indonesia dikenal memiliki potensi sumber daya tambang yang besar dengan beragam jenis bahan tambang yang tersebar dari Sabang sampai Merauke. Kawasan Timur Indonesia, khususnya Papua dan Kepulauan Maluku banyak mengandung deposit tembaga yang potensial (Male *et al.*, 2019). Sebagai industri yang mulai berkembang, pertambangan memerlukan investasi besar karena membutuhkan pembangunan infrastruktur yang membuka suatu wilayah dari isolasi geografis. Kegiatan pertambangan yang mengeksploitasi serta membuka bentang alam memiliki dampak negatif bagi lingkungan karena menghasilkan berbagai jenis limbah, salah satunya air asam tambang (AAT). Air asam tambang menjadi salah satu hal penting dari kegiatan pertambangan karena dampaknya yang dapat berlangsung dalam jangka waktu yang panjang sehingga dalam pengelolaannya harus dilakukan dengan tepat.

Air asam tambang (AAT) merupakan limbah pencemar lingkungan yang terjadi akibat aktivitas pertambangan. Limbah ini terbentuk karena adanya proses oksidasi bahan mineral pirit dan bahan mineral sulfida lainnya yang tercampur ke permukaan tanah selama 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 ini dapat mempengaruhi kualitas lingkungan dan kehidupan organisme

lainnya (Wahyudin *et al.*, 2018). Apabila air asam tambang sudah terbentuk maka akan sulit untuk mencegahnya. Air tersebut akan dialirkan ke lingkungan sehingga dalam pengolahannya sangat perlu diperhatikan (Sari *et al.*, 2020).

Pencemaran logam berat di lahan sekitar penambangan, perairan dan pertanian akan sangat meningkatkan kandungan logam berat di dalam tanah. Hal ini terjadi karena residu dari kegiatan tersebut akan dibuang atau ditimbun di dalam tanah. Dalam jumlah yang sedikit tanah dapat mengurai logam berat, namun dalam jangka waktu yang panjang tanah akan terakumulasi dan tercemar oleh logam berat tersebut (Hatika, 2022).

Toksisitas air asam tambang terutama disebabkan oleh pH asam dan kandungan logam. Efek sinergis antara pH asam dan logam berat meningkatkan biotoksisitas. Paparan logam berat dari limbah tambang dapat dikaitkan dengan banyak gangguan dan penyakit. Air asam tambang menyebabkan perubahan dan ekosistem mengalami kerusakan, hilangnya keanekaragaman hayati dan pemupukan bahan pencemar di lingkungan. Selain itu juga dapat berpengaruh pada keseimbangan ekosistem sehingga berdampak negatif pada gaya hidup organisme asli. Meskipun demikian, limbah air asam tambang tidak mengganggu pertumbuhan dan populasi mikroba yang memainkan peran fungsional dalam tanah dengan pH yang tinggi. Hal ini karena mikroba tersebut dapat mengontrol kandungan logam yang tinggi yang terdapat pada limbah tambang dan merupakan bentuk metabolismenya untuk terus bertumbuh (Ayangbenro *et al.*, 2018).

Menurut (Romimohtarto, 1991) dalam (Hatika, 2022), sumber pencemaran logam berat seng (Zn) yang paling utama berasal dari aktivitas manusia dan

terakumulasi dalam air. Logam berat yang telah masuk kedalam air akan menjadi encer dan tersebar oleh adukan atau turbulensi dan arus laut. Air yang mengandung berbagai jenis logam berat termasuk seng (Zn) tersebut kemudian mengalami proses hidrologi. Sebagian dari air tersebut terserap tanaman dalam bentuk ion lalu bercampur dan mengendap dalam tanah.

Kandungan seng (Zn) pada limbah tambang dengan konsentrasi yang tinggi dapat mengganggu kualitas perairan dan ekosistem di sekitar pertambangan. Dampak yang ditimbulkan akibat masuknya logam berat seng (Zn) pada limbah tambang ke dalam lingkungan sangat berbahaya bagi banyak organisme seperti tumbuhan. Tingkat konsentrasi seng yang tinggi dapat mempengaruhi klorofil sehingga menghambat proses fotosintesis. Kandungan seng pada limbah tambang juga berdampak pada manusia. Kelebihan logam berat Zn dapat memberikan efek racun bagi tubuh, menyebabkan kelelahan, anemia dan gangguan reproduksi (Asriza dan Fabiani, 2019).

Menurut (Defriansyah, 2018), upaya untuk mengurangi dampak negatif air asam tambang dapat dilakukan melalui dua cara, yaitu secara *passive treatment* dan *active treatment*. Pengolahan secara *passive treatment* salah satunya adalah melalui lahan basah buatan karena biayanya lebih murah dan ramah lingkungan. Akan tetapi dalam segi waktu pengolahannya kurang efektif karena sistem pengolahan berlangsung dalam jangka panjang. Sedangkan secara *active treatment* dapat melalui penambahan bahan kimia yang bersifat alkali seperti kapur dan larutan NaOH. Pengelolaan air asam tambang dengan sistem ini dinilai efektif dapat menaikkan pH air dan menurunkan kadar logam walaupun biayanya relatif mahal.

Cara lain yang dapat memberikan keuntungan lebih besar adalah dengan memanfaatkan bakteri pereduksi sulfat untuk meningkatkan pH dan mengimobilisasi logam-logam berbahaya. Bakteri pereduksi sulfat dapat digunakan untuk memulihkan air asam tambang dengan memanfaatkan  $O_2$  dan sumber karbon yang diperkaya. Bakteri ini dapat menghilangkan racun secara efektif dari limbah tambang karena kemampuannya membentuk sulfida yang tidak terlarut. Keuntungannya ialah memiliki biaya perawatan yang rendah serta produk hasil reduksinya tertahan di dalam sedimen lahan yang basah (Ayangbenro *et al.*, 2018).

Sedimen basah (*wetland*) seperti sawah memiliki kandungan nutrisi yang cukup tinggi. Hal ini disebabkan oleh bercampurnya mineral dari tanah sawah dengan jerami padi yang terurai menjadi bagian yang lebih kecil dan kemudian dikonsumsi oleh mikroorganisme dalam sedimen sawah. Kandungan materi organik yang tinggi dalam sedimen sawah menyediakan lingkungan yang ideal untuk pertumbuhan populasi bakteri pereduksi sulfat sehingga dapat menurunkan kandungan sulfat serta meningkatkan pH tanah. Hal ini menunjukkan bahwa *wetland* sangat cocok digunakan dalam penanggulangan air asam tambang.

Bakteri pereduksi sulfat merupakan salah satu bakteri yang memanfaatkan senyawa anorganik sebagai elektron donor atau elektron akseptor dalam aktivitas metabolismenya. Umumnya bakteri ini dapat ditemukan pada sedimen basah seperti sawah, rawa, maupun bakau. Bakteri jenis ini memanfaatkan ion sulfur dalam bentuk sulfat dan tiosulfat sebagai akseptor elektron terminal dalam metabolismenya yang kemudian direduksi menjadi sulfida sehingga dapat digunakan untuk memperbaiki limbah tambang (Posumah dan Rondonuwu, 2018).

Dalam upaya mengatasi pencemaran lingkungan oleh logam berat juga dapat memanfaatkan biochar sekam padi. Biochar merupakan arang aktif yang dihasilkan dari limbah biomassa seperti seperti sekam padi, tempurung kepala, tongkol jagung, kulit kopi, limbah gergaji kayu, kulit buah kakao, sisa pakan ternak, dan bahan lain sejenisnya. Proses pembuatannya melalui proses pirolisis, yaitu pembakaran tanpa menggunakan oksigen atau dengan sedikit oksigen. Pembakaran dengan pirolisis akan menghasilkan luas permukaan yang lebih besar serta membuka pori-pori pada biochar sehingga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi logam-logam berat. Penggunaan sekam padi sebagai bahan pembuatan biochar bertujuan agar limbah pertanian yang tidak terpakai dapat digunakan untuk mengatasi pencemaran di lingkungan, seperti pencemaran logam berat pada tanah akibat pengendapan air asam tambang (Jindo, 2014).

Menurut (Nigussie *et al.*, 2012) dalam (Haviz *et al.*, 2021), logam berat memiliki sifat *non-biodegradable* dan dapat bertahan untuk waktu yang lama pada tanah yang tercemar, sehingga untuk menghilangkannya membutuhkan waktu yang relatif lama dan relatif mahal. Oleh karena itu biochar sekam padi digunakan sebagai alternatif pembenah tanah yang lebih efisien dan murah. Biochar sekam padi telah teruji memiliki kemampuan menstabilkan logam berat pada tanah yang tercemar limbah tambang karena sifatnya sebagai adsorben yang mampu mengikat kontaminan berbahaya seperti logam berat. Selain itu biochar sekam padi dapat meningkatkan kualitas tanah dengan memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah karena memiliki kandungan C-organik lebih dari 35% serta kandungan unsur hara makro (N, P, dan K) yang cukup tinggi (Nurida *et al.*, 2012).

Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan penelitian ini sebagai salah satu bentuk dari penanggulangan pencemaran air asam tambang dengan menggunakan biochar sekam padi dengan perlakuan sedimen sawah sebagai sumber inokulum bakteri untuk mengolah limbah pencemaran air asam tambang.

## **I.2 Tujuan Penelitian**

1. Mengetahui pengaruh penambahan biochar sekam padi dengan perlakuan sedimen sawah dalam mereduksi kandungan seng dalam AAT.
2. Mengetahui pengaruh penambahan biochar sekam padi dengan perlakuan sedimen sawah pada perubahan pH dan sulfat dalam AAT.
3. Mengetahui jumlah populasi bakteri dalam AAT pada penambahan biochar sekam padi dengan perlakuan sedimen sawah.

## **I.3 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang pentingnya penanggulangan air asam tambang dengan memanfaatkan sedimen *wetland* (sedimen sawah) dengan pemberian biochar sebagai salah satu alternatif untuk pengolahan air asam tambang. Disamping itu juga untuk membuktikan pentingnya prinsip-prinsip biologi dalam menangani pencemaran lingkungan di alam.

## **I.4 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari – Maret 2023 di Laboratorium Mikrobiologi, Departemen Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Hasanuddin serta di Laboratorium Kimia Kesehatan BBLK Makassar. Pengambilan sampel sedimen sawah berlokasi di Moncongloe, Kabupaten Maros dan sampel AAT dibuat secara sintesis.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Pencemaran Lingkungan**

Menurut (Ponirah, 2021), polusi atau pencemaran lingkungan adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat energi dan komponen lain ke dalam lingkungan, atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia dan proses alam sehingga kualitas lingkungan menurun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sebagaimana mestinya. Suatu zat disebut polutan bila keberadaannya dapat menyebabkan kerugian terhadap makhluk hidup. Polutan dapat mengakibatkan pencemaran terhadap lingkungan baik pada udara, tanah, maupun air.

Lingkungan merupakan ruang yang dipergunakan oleh makhluk hidup untuk berinteraksi demi keberlangsungan hidupnya. Lingkungan juga dicirikan sebagai kesatuan dari komponen-komponen pembentuk suatu proses kehidupan seperti makhluk hidup, keadaan dan kekuatan yang saling mempengaruhi. Kerusakan lingkungan yang terjadi dapat disebabkan oleh banyak hal diantaranya adalah karena perbuatan manusia. Keinginan manusia yang tidak terbatas akan mendorong untuk terus melakukan eksploitasi terhadap lingkungan. Selain itu pola hidup yang kurang memperhatikan kebersihan juga dapat menjadi salah satu faktor pemicunya (Siregar dan Nation, 2020).

Umumnya, pencemaran lingkungan lebih besar di negara-negara berpenghasilan menengah dan rendah daripada di negara maju. Hal ini mungkin

disebabkan karena kemiskinan, undang-undang yang buruk, dan masyarakat yang tidak menyadari bentuk polusi. Manusia menghadapi polusi setiap hari tanpa menyadarinya atau mungkin menjadi kebal terhadapnya karena tidak menyadari bentuk-bentuk polusi. Hal ini mengakibatkan manusia melakukan aktivitas yang menghasilkan produk sampingan yang merusak lingkungan dan mengakibatkan lingkungan tidak dapat lagi mengimbangi tanpa pemulihan langsung dari sistemnya. Misalnya penggundulan hutan, pembakaran semak, pembuangan hasil pertanian dan limbah rumah tangga di air, penggunaan bahan kimia dalam pemanenan hewan di air, pembuangan limbah elektronik yang tidak tepat, semuanya berkontribusi terhadap polusi udara, tanah, dan air. Selain dari itu, seiring meningkatnya kepadatan penduduk, aktivitas manusia juga meningkat dan berdampak terhadap lingkungan. Dampaknya tidak hanya pada manusia, tetapi juga pada mikroorganisme lain yang justru dapat mempertahankan fungsi biogeokimia di alam karena kelimpahan dan keanekaragamannya untuk mempertahankan ekosistem (Ukaogo *et al.*, 2020).

### **II.1.1 Pencemaran Limbah Pertambangan**

Proses penambangan dan eksplorasi menghasilkan berbagai tingkat pencemaran yang mempengaruhi kualitas udara, air, dan tanah. Tingkat pencemaran tersebut bergantung pada fase dan besarnya pekerjaan yang dilakukan. Limbah yang dihasilkan dari pertambangan dapat mencemari lingkungan sekitar melalui berbagai jalur, seperti adanya tumpahan *tailing* tambang, emisi debu yang mengandung logam berat ke atmosfer, lalu menghasilkan sejumlah besar asam drainase yang mengandung logam berat yang dapat mencemari tanah dan air.

Kegiatan pertambangan skala kecil terdapat di seluruh dunia dan tersebar luas di negara-negara berkembang di Afrika, Asia, dan Amerika Selatan. Hal ini terjadi karena pengawasan pemerintah yang buruk dan kurangnya kesadaran lingkungan. Tambang skala kecil, terutama yang ilegal, bisa sangat merusak lingkungan dan memiliki dampak serius terhadap kesehatan dan keselamatan bagi masyarakat sekitar (Sun *et al.*, 2018).

Beberapa tahun terakhir ini seiring dengan meningkatnya jumlah aktivitas pertambangan di beberapa daerah, Indonesia juga mulai menghadapi berbagai permasalahan yakni timbulnya pencemaran lingkungan. Pencemaran terjadi pada air sungai dan danau akibat dari berbagai jenis limbah yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan berupa air tambang, limbah batuan atau *overburden*, larutan sisa proses penambangan, *tailing*, bijih sisa dan *sludge*. Selain itu kegiatan pertambangan juga menghasilkan limbah yang dapat mengganggu kesehatan manusia dan menyebabkan kerusakan pada flora dan fauna (Fahrudin, 2018).

Penambangan secara terbuka menyebabkan pencemaran air karena limbah tambang tersebut mengandung sulfur. Limbah ini mencemari air sungai, sehingga warna air menjadi keruh, asam, dan menyebabkan pendangkalan sungai akibat endapan yang terjadi. Limbah ini diduga mengandung logam berat berbahaya. Unsur-unsur dan senyawa kimia logam berat seperti besi, mangan dan kadmium yang berasal dari tanah dan batuan ikut terbawa pada saat proses eksploitasi tambang (Kiswanto *et al.*, 2020).

Menurut (Mardhiati *et al.*, 2021), aktivitas penambangan seperti kegiatan penggalian dan penimbunan pada penambangan secara terbuka juga dapat

menyebabkan mineral pirit dan bahan mineral sulfida lainnya terekspos ataupun tersingkap ke permukaan tanah sehingga memungkinkan adanya kontak dan terjadilah proses oksidasi dengan air dan juga oksigen. Proses oksidasi tersebut dapat menimbulkan limbah cair bersifat asam yang dikenal dengan air asam tambang (AAT) yang merupakan salah satu bahan pencemar lingkungan. AAT memiliki nilai pH rendah dan konsentrasi logam berat yang cukup tinggi dan mempengaruhi permukaan dan air tanah sehingga sangat berbahaya bagi kehidupan manusia maupun perairan secara umum.

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.1.2 Pencemaran Logam Berat Seng (Zn)**

Logam berat merupakan penyusun alami kerak bumi, dan beberapa dari jenisnya, misalnya Cu dan Zn, sangat penting untuk fungsi metabolisme normal dalam tumbuhan, hewan, dan manusia. Logam berat jarang terakumulasi ke tingkat yang akan menimbulkan efek merugikan bagi lingkungan dan ekosistem di bawah kondisi alam. Namun, dengan industrialisasi dan urbanisasi yang cepat,

pencemaran logam berat dapat disebabkan oleh aktivitas manusia seperti industri pertambangan dan telah terjadi secara luas di banyak negara berkembang. Keberadaan logam berat di dalam tubuh organisme dikarenakan adanya mekanisme perpindahan logam berat dari lingkungan ke dalam sel, jaringan maupun organ. Akumulasi logam berat yang berlebihan di dalam tubuh dapat menjadi racun bagi organisme (Kurniawan dan Mustikasari, 2019).

Logam berat memiliki sifat toksik dan esensial terlarut dalam air yang dapat mencemari lingkungan. Sumber pencemaran logam berat banyak berasal dari industri pertambangan, pemurnian logam atau jenis industri lainnya, dan juga dapat berasal dari kegiatan pertanian yang menggunakan pupuk yang mengandung logam berat. Pencemaran logam berat dapat merusak ekosistem dan keanekaragaman hayati di perairan. Kerusakan ekosistem perairan yang diakibatkan oleh pencemaran logam berat dapat dilihat dengan berbagai faktor seperti kadar dan jumlah logam berat yang masuk dalam perairan. Pencemaran logam berat juga dapat menyebabkan terjadinya perubahan bentuk dan kondisi fisik dari struktur perairan seperti rasa, warna, bau dan viskositas (Bubala *et al.*, 2019).

Logam Zn merupakan salah satu logam berat yang berpotensi mencemari lingkungan apabila konsentrasinya tinggi. Logam berat Zn di sedimen secara alami berasal dari pelapukan batuan dan erosi tanah. Adapun sumber utama Zn yaitu kawasan perindustrian maupun limbah rumah tangga. Kehadiran pencemar logam-logam berat seperti Zn akan berpengaruh terhadap proses-proses biologis organisme akuatik yang dapat mengancam keberlangsungan hidupnya termasuk manusia melalui jalur jaringan makanan. Konsentrasi Zn yang berlebih juga dapat

menghambat proses metabolisme tumbuhan, memperlambat pertumbuhan dan mempercepat penuaan dan berdampak pada lingkungannya (Amin *et al.*, 2019) (Patty *et al.*, 2018).

## **II.2 Air Asam Tambang (AAT)**

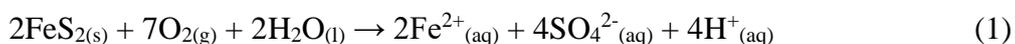
Air asam tambang (AAT) atau dalam bahasa asing *acid mine drainage* (AMD), atau *acid rock drainage* (ARD) merupakan limbah cair yang dapat menyebabkan pencemaran pada air permukaan. Dalam industri pertambangan batu bara juga disebut dengan *coal mine drainage* (CMD). Air asam tambang terbentuk akibat kegiatan pertambangan terbuka maupun tertutup (bawah tanah). Dalam prosesnya terjadi reaksi antara air, oksigen, dan batuan-batuan yang mengandung mineral-mineral sulfida sehingga menyebabkan air asam (Kiswanto *et al.*, 2020).

Air asam tambang (AAT) adalah istilah yang digunakan untuk merujuk pada air yang timbul akibat kegiatan penambangan serta sering juga disebut air rembesan (*seepage*), atau aliran (*drainage*). Air ini terjadi akibat pengaruh oksidasi alami mineral sulfida (mineral belerang) yang terkandung dalam batuan yang terpapar selama penambangan. Air asam tambang tidak hanya terbentuk akibat kegiatan penambangan saja, tetapi setiap kegiatan yang berpotensi menyebabkan terbuka dan teroksidasinya mineral sulfida akan menyebabkan terbentuknya air asam tambang. Air asam tambang dicirikan dengan rendahnya pH dan tingginya senyawa logam tertentu seperti besi (Fe), mangan (Mn), cadmium (Cd), aluminium (Al), dan sulfat. Pirit merupakan senyawa yang umum dijumpai di lokasi pertambangan. Selain pirit, juga terdapat berbagai macam mineral sulfida dalam batuan yang berpotensi membentuk air asam tambang seperti  $\text{FexSx}$  (*pyrrhotite*),

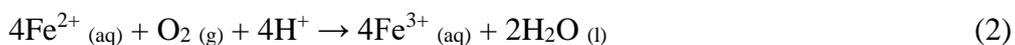
PbS (*galena*), Cu<sub>2</sub>S (*chalcocite*), CuS (*covellite*), CuFeS<sub>2</sub> (*chalcopyrite*), NiS (*millerite*), ZnS (*sphalerite*), dan masih banyak lagi (Nurbaiti *et al.*, 2021).

Belakangan ini, air asam tambang menjadi masalah global yang cukup mengkhawatirkan karena dampaknya terhadap lingkungan dan organisme hidup yang 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. Air asam tambang umum terjadi di banyak pertambangan dan penyulingan pertambangan industri mineral (Rambabu *et al.*, 2020).

Pirit dan marcasit adalah dua jenis mineral sulfida yang banyak melimpah. Oksidasi pirit berlangsung melalui beberapa jalur yang melibatkan interaksi oksigen terlarut dan ion Fe<sup>2+</sup> yang membentuk besi terlarut dan hidrogen seperti pada persamaan dibawah ini. Namun, laju oksidasi dan produksi asam sangat bergantung pada variabilitas mineral, aktivitas mikroba dan ketersediaan oksigen dan air (Rambabu *et al.*, 2020).



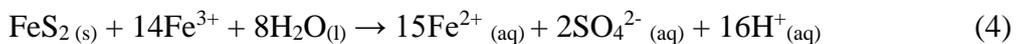
Keberadaan sulfat dalam limbah air asam tambang biasanya merupakan indikasi awal adanya paparan mineral sulfida dan oksidasi. Dalam lingkungan pengoksidasi dengan pH di atas 3,5 dan adanya mikroba, besi dapat dilepaskan (di oksidasi) menjadi besi feri menurut persamaan (Rambabu *et al.*, 2020):



Namun dalam kondisi kekurangan oksigen, persamaan diatas tidak akan berlanjut hingga pH naik menjadi 8,5. Hal ini menunjukkan bahwa oksidasi pirit menjadi besi terbatas, yaitu hanya dalam pH 5 dan dibawah 5. Selanjutnya pada pH 2,3 – 3,5, besi-besi yang telah terbentuk tadi dapat mengendap sebagai Fe(OH)<sub>3</sub> dan mengurangi jumlah Fe<sup>3+</sup> sambil terus menurunkan pH yang ada. Persamaannya sebagai berikut (Rambabu *et al.*, 2020):



Dalam kondisi yang sangat asam (pH<2), hidrolisis Fe(OH)<sub>3</sub> dari reaksi sebelumnya secara termodinamika tidak stabil dan mungkin tidak terbentuk. Selanjutnya, sisa Fe<sub>3</sub> dalam larutan digunakan untuk oksidasi bahan pirit tambahan, sehingga air asam tambang sudah dalam kondisi ultra asam seperti yang ditunjukkan oleh persamaan dibawah ini (Rambabu *et al.*, 2020):



Proses pembentukan AAT dipercepat dengan adanya reaksi biokimia yang melibatkan bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Adanya aktivitas bakteri pengoksidasi besi meningkatkan kecepatan pembentukan AAT 105 hingga 106 kali lipat dengan melarutkan logam sulfida (MS) menjadi ion sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) dan ion logam senyawa logam sulfat (MSO<sub>4</sub>). Oleh karena itu aktivitas bakteri ini sangat penting pada pembentukan AAT (Perala *et al.*, 2022).

## II.2.1 Dampak Air Asam Tambang

Terbentuknya air asam tambang di lokasi penambangan akan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Dampak negatif dari air asam tambang tersebut antara lain (Sari *et al.*, 2020):

1. Bagi masyarakat di sekitar wilayah tambang. Logam berat yang terkandung dalam air asam tambang bersifat toksik (beracun) bagi makhluk hidup. Di dalam tubuh manusia dapat mengakibatkan depresi, mempengaruhi fungsi hati dan ginjal serta menimbulkan gangguan pada pembuluh darah.
2. Bagi biota perairan. Dampak negatif untuk biota perairan adalah terjadinya perubahan keanekaragaman biota perairan seperti plankton dan benthos. Kehadiran benthos dalam suatu perairan dapat digunakan sebagai indikator kualitas perairan.
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, kandungan sulfat, besi dan mangan.
4. Kualitas tanah. Logam berat seperti besi, tembaga, seng terkandung dalam tanah yang asamnya banyak, yang pada dasarnya merupakan unsur hara mikro yang dibutuhkan tanaman, sementara unsur hara makro yang dibutuhkan tanaman seperti forfor, magnesium, kalsium sangat kurang. Akibatnya keracunan pada tanaman karena kelebihan unsur hara mikro ini ditandai dengan membusuknya akar tanaman sehingga tanaman menjadi layu dan akhirnya mati.

### **II.2.2 Penanggulangan Air Asam Tambang**

Telah banyak contoh AAT yang masih terbentuk sampai saat ini walaupun tambang tersebut telah berakhir puluhan, ratusan bahkan ribuan tahun yang lalu. Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan untuk memperoleh kualitas air yang

lebih baik berdasarkan standar baku mutu lingkungan yang sesuai dengan Kepmen LH Nomor 113 Tahun 2003 tentang baku mutu air limbah dari kegiatan pertambangan batubara. Teknologi pengolahan AAT terbagi menjadi tiga cara yaitu teknologi pengolahan aktif (*active treatment*), teknologi pengolahan pasif (*passive treatment*) dan teknologi pengolahan *in situ* (*in situ treatment*) (Said *et al.*, 2019).

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 *wetland*. Secara alami, pada bahan organik ini terdapat banyak BPS, sehingga tidak perlu lagi diinokulasikan mikroba dari luar serta penambahan nutrien. 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***

Salah satu penanganan penyebaran logam terlarut dan air asam tambang dilakukan dengan pengelolaan *wetland*. Pada awalnya *wetland* dimanfaatkan sebagai suatu sistem alami untuk tempat penampungan air limpasan permukaan seperti rawa, air payau, tanah gambut. *Wetland* juga diterapkan di daerah kering untuk sarana air bersih. Dalam perkembangan selanjutnya, *wetland* dipakai untuk proses ekosistem alami pada penetralan kualitas air seperti pH dan kandungan

logam terlarut dalam air. Tingkat keasaman air asam tambang berkisar 2 – 4. Pemanfaatan lahan basah untuk pengolahan air limbah bertujuan mengurangi dampak yang merugikan bagi manusia dan ekosistem telah dilakukan dua dekade terakhir ini di area penambangan terutama menangani air asam tambang untuk tambang batubara dan logam terlarut (Sucahyo *et al.*, 2018).

Penelitian tentang *wetland* terus berkembang. Air yang mengalir dalam *wetland* berasal dari air permukaan dan air tanah. *Wetland* juga diaplikasikan untuk mengelola pH air yang ekstrim. Pengelolaan pencemaran air dengan *wetland* menggunakan teknologi pasif remediasi. Teknologi konstruksi *wetland* bisa memisahkan logam terlarut seperti mineral Fe, Zn, Ni, Mn. Oleh karena itu sedimen *wetland* sebagai sarana atau fasilitas untuk menguraikan logam terlarut dalam air dan sarana untuk menetralkan air asam tambang sangat diperlukan. Penggunaan *wetland* sebagai teknologi remediasi cukup efektif untuk pengolahan air yang tercemar, yaitu air asam tambang dan logam terlarut (Sucahyo *et al.*, 2018).

### **II.3.2 Sedimen Sawah**

Sedimen sawah memiliki kandungan nutrisi yang cukup tinggi karena bercampurnya mineral dari tanah sawah dengan jerami padi yang terurai menjadi bagian yang lebih kecil dan dikonsumsi oleh mikroorganisme dalam sedimen sawah. Asetat adalah zat yang paling melimpah dalam dekomposisi anaerobik bahan organik, termasuk dalam sedimen sawah (Liu *et al.*, 2017). Selain itu juga terdapat kandungan mineral lain seperti mangan, nitrogen, fosfat, aluminium dan ferri yang khususnya banyak terdapat pada tanah-tanah masam (Setiawati, 2014). Bakteri pereduksi sulfat dapat ditemukan pada substrat atau sedimen basah seperti

sawah. Bakteri ini mempengaruhi secara langsung siklus karbon di lahan basah karena mampu memanfaatkan berbagai macam bahan organik mulai dari asam lemak rantai pendek, etanol, laktat, hingga asam amino dan senyawa aromatik lainnya (Pester *et al.*, 2012). Sedimen sawah mampu meningkatkan pH air asam tambang, menurunkan kadar sulfat, dan meningkatkan pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat sehingga dapat digunakan untuk penanggulangan pencemaran lingkungan akibat air asam tambang (Fadilla *et al.*, 2018).

#### **II.4 Bakteri Pereduksi Sulfat**

Bakteri pereduksi sulfat (BPS) merupakan salah satu bakteri yang memanfaatkan senyawa organik maupun anorganik sebagai elektron donor atau elektron akseptor dalam aktivitas metabolismenya. Bakteri jenis ini mengubah ion sulfur dalam bentuk sulfat dan tiosulfat sebagai akseptor elektron terminal dalam respirasi metabolismenya, yang kemudian direduksi menjadi sulfida. Bakteri pereduksi sulfat menggunakan sumber karbon (C) sebagai donor elektron untuk menyusun sel-selnya (Posumah dan Rondonuwu, 2018).

Bakteri pereduksi sulfat bersifat anaerob heterotrof, sehingga sering ditemukan di bagian bawah sedimen dan membutuhkan substrat organik untuk pertumbuhan dan aktivitasnya. Bakteri ini berkembang baik di lingkungan anaerobik dengan kisaran pH 5 – 8. Kondisi ini sangat penting untuk bakteri agar dapat menghilangkan logam dan sulfat dari limbah asam tambang. Bakteri pereduksi sulfat sebagian besar bersifat mesofilik juga beberapa di antaranya merupakan spesies termofilik dan psikofilik. Organisme ini dapat mentolerir suhu dibawah 5°C hingga 75°C (Ayangbenro *et al.*, 2018).

Penelitian (Phyo *et al.*, 2020) menunjukkan bahwa penambahan substrat organik meningkatkan pertumbuhan BPS secara signifikan dan menurunkan populasi bakteri yang bersifat *autotrophic bioleaching* seperti bakteri pengoksidasi besi yang menyebabkan peningkatan pH AAT. Hal ini menunjukkan bahwa BPS dapat digunakan untuk memulihkan asam tambang. BPS memanfaatkan oksigen dan sumber karbon yang diperkaya dan menggunakan sulfat sebagai akseptor elektron terminal dengan  $\text{SO}_4^{2-}$  diubah menjadi  $\text{H}_2\text{S}$  (Perala *et al.*, 2022).

Sejumlah besar bakteri pereduksi sulfat termasuk *Desulfovibrio*, *Desulfainum*, *Desulfobacca*, *Desulfobulbus*, *Desulfococcus*, *Desulfonema*, *Desulfosarcina*, *Desulfobacter*, *Desulfobacula*, *Desulfofaba*, *Desulfotigumof*, *Desulfatibacillum*, *Desulfatitaleof*, *Desulfatitalea* memainkan peran penting dalam siklus karbon dan sulfur (ph *et al.*, 2021). BPS terbagi ke dalam 2 genus, yaitu *Desulfotomaculum* dan *Desulfovibrio*. Genus *Desulfovibrio* mampu hidup pada kisaran pH 6 hingga netral, sedangkan *Desulfotomaculum* merupakan kelompok yang menyukai suhu yang tinggi (termofil) (Sutanto *et al.*, 2021).

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 di dalamnya dan menetap pada sedimen *wetland*. Sedimen basah atau *wetland* 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.*, 2018).

#### **II.4.1 Peranan Bakteri Pereduksi Sulfat**

Bakteri pereduksi sulfat memiliki banyak peranan untuk mengurangi tingkat pencemaran lingkungan seperti 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. Bakteri ini efektif digunakan dalam proses bioremediasi tanah bekas tambang batubara. Bioremediasi tanah menggunakan BPS akan sangat membantu kegiatan rehabilitasi lahan bekas tambang (Posumah dan Rondonuwu, 2018).

Bakteri pereduksi sulfat dapat digunakan untuk memulihkan air asam tambang dengan memanfaatkan  $O_2$  dan sumber karbon yang diperkaya. Ia dapat menghilangkan racun secara efektif dari limbah tambang karena banyak dari mereka yang membentuk sulfida tidak larut. Keuntungan dari bioremediasi ini adalah memiliki biaya perawatan yang rendah serta produk hasil reduksinya tertahan di dalam sedimen lahan yang basah (Ayangbenro *et al.*, 2018).

#### **II.5 Biochar**

Biochar atau biasa disebut karbon aktif adalah produk yang dihasilkan ketika limbah biomassa seperti limbah pertanian dipanaskan tanpa udara atau dengan udara yang sangat sedikit. Proses pembuatan arang ini sering disebut *pyrolysis*. Bahan baku yang bisa digunakan untuk pembuatan biochar adalah sampah biomassa yang tidak dimanfaatkan seperti sekam padi, tongkol jagung, kulit buah kakao atau cokelat, cangkang kemiri, kulit kopi, limbah gergaji kayu, ampas daun minyak kayu putih, ranting kayu seperti pada limbah sisa pakan ternak, tempurung kelapa dan sejenisnya. Biochar dapat dipakai dalam mengatasi

permasalahan pada tanah dan banyak digunakan sebagai pembenah tanah. Biochar biasanya bermanfaat dalam menaikkan pH tanah dan menyediakan unsur hara nitrogen, fosfor, dan kalium (Widiastuti dan Lantang, 2017).

Tingginya penyerapan logam pada proses penambangan akan mempengaruhi akumulasi logam berat di dalam tanah. Untuk mempercepat penyerapan logam berat diperlukan penambahan bahan berupa biochar. Penambahan biochar dapat meningkatkan kesuburan tanah dan mampu memulihkan kualitas tanah yang tercemar. Penggunaan biochar dapat memperbaiki struktur tanah, tekstur, porositas, distribusi ukuran partikel dan densitasnya. Biochar menunjukkan tingkat stabilitas yang tinggi karena memiliki senyawa aromatik sehingga lebih lama bertahan di dalam tanah. Biochar memiliki struktur yang berpori dan luas permukaan yang besar. Struktur ini dapat menyediakan tempat berlindung bagi mikroba tanah yang menguntungkan seperti mikoriza dan bakteri, dan mempengaruhi pengikatan kation dan anion (Gafur *et al.*, 2021).

Mekanisme pemindahan polutan oleh biochar terjadi melalui pertukaran ion, adsorpsi fisika, interaksi elektrostatis, presipitasi dan kompleksasi. Pertukaran ion terjadi melalui gugus fungsi pada permukaan biochar yang mengalami ionisasi dengan melepaskan  $H^+$  atau permukaan yang basa dengan melepaskan ion seperti  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  atau ion lain yang kemudian dipertukarkan dengan ion dari logam berat beracun dalam larutan. Disamping itu, pemindahan logam berat juga terjadi melalui mekanisme adsorpsi fisika. Biochar memanfaatkan karakteristik permukaannya seperti porositas dan luas permukaan sehingga dapat mengadsorpsi kontaminan yang ada (Ahmed *et al.*, 2016).

### II.5.1 Biochar Sekam Padi

Sekam padi merupakan sisa dari pengolahan padi dan merupakan salah satu sumber daya yang paling banyak di negara-negara Asia. Kandungan karbon yang tinggi pada biomassa seperti sekam padi memungkinkan sekam padi dibuat menjadi biochar yang kaya akan karbon melalui proses termokimia, yaitu pembakaran dengan suhu tinggi dan aktivasi dengan bahan kimia (Bushra dan Remya, 2020). Biochar sekam padi diketahui memiliki kandungan 50% selulosa, lignin 25-30%, silika 15-20%, serta memiliki kelembaban hingga 10-15% (Karam *et al.*, 2022). Mengubah sekam padi menjadi biochar lalu mendaur ulangnya kembali sebagai pembenah tanah merupakan solusi yang efektif dalam pengelolaan limbah padi. Menurut (Li *et al.*, 2023), sebagai salah satu dari sekian banyak jenis biochar, sekam padi banyak diminati karena mudah ditemukan. Biochar sekam padi diaplikasikan secara luas dalam beberapa bidang termasuk untuk mengolah limbah tambang yang mencemari tanah dan ekosistem perairan.



**Gambar 1.** Sekam padi (a) (Fernandes, 2016) dan biochar sekam padi (b) (Jatav *et al.*, 2017)

Secara fisik biochar sekam padi berwarna abu-abu seperti arang dengan tekstur tidak beraturan dan tidak berbau. Permukaan biochar sekam padi

mengandung sejumlah besar asam karboksilat, laktonik, dan fenolik serta gugus fungsional dasar seperti gugus quinonoid karbonil, piron dan benzopiraniil. Struktur biochar sekam padi ini menyediakan fungsi utama biochar sekam padi sebagai bahan untuk remediasi limbah tambang. Biochar sekam padi menunjukkan adsorpsi yang baik pada logam berat, bahan organik, dan polutan lainnya yang terdapat pada air tambang. Biochar sekam padi tidak hanya meningkatkan sifat fisikokimia dan mereduksi logam berat pada air, tetapi juga dapat mereduksi logam berat pada tanah sehingga tidak membahayakan tanaman (Li *et al.*, 2023).

### **II.5.2 Pembuatan dan Modifikasi Biochar**

Salah satu cara produksi biochar yaitu karbonisasi dengan pembakaran biomassa dilakukan dengan tanpa oksigen atau dengan oksigen rendah yang dikenal sebagai proses pirolisis. Suhu pada pirolisis merupakan parameter penting dalam proses pembentukan biochar. Biasanya pirolisis dilakukan dengan kisaran suhu 250-900°C. Proses ini dapat mengubah limbah biomassa menjadi produk bernilai tambah seperti *syngas*, *bio-oil*, termasuk biochar.



**Gambar 2.** Sekam padi hasil karbonisasi (Rinawati *et al.*, 2019)

Selama proses pirolisis, komponen lignoselulosa pada biomassa mengalami serangkaian reaksi seperti depolimerisasi, fragmentasi, dan ikatan silang sehingga menghasilkan wujud produk yang berbeda-beda seperti padat, cair, dan gas (Subarkhah dan Titah, 2023). Namun, seringkali biomassa yang tidak terpirolisis dapat menutupi pori-pori biochar dan menurunkan fungsi biochar sebagai adsorben. Untuk meningkatkan efektifitas biochar dalam mereduksi kontaminan seperti logam berat, biochar dapat dimodifikasi untuk meningkatkan daya adsorpsinya dengan meningkatkan porositas dan memperbesar luas permukaannya. Modifikasi biochar bertujuan untuk meningkatkan efisiensinya dan membuatnya menjadi adsorben yang selektif terhadap kontaminan yang ada (Patrick *et al.*, 2019).

Menurut (Bushra dan Remya, 2020), terdapat beberapa modifikasi biochar sebagai metode umum yang digunakan untuk mendapatkan biochar dengan luas permukaan, sifat morfologi, dan sifat kimia yang lebih baik dibandingkan dengan biochar yang hanya diperoleh melalui proses pirolisis, yaitu:

1. Modifikasi fisik. Dalam metode ini biochar mengalami gasifikasi parsial menggunakan uap dan karbondioksida sebagai agen pengaktifnya. Gasifikasi dapat mengurangi senyawa aromatik dan polaritas biochar. Dengan gasifikasi, pori-pori biochar dapat meningkat karena terjadi penghilangan biomassa yang tidak terpirolisis yang terperangkap pada pori biochar.
2. Modifikasi kimia, terdiri atas modifikasi asam dan basa. Dalam modifikasi asam, permukaan biochar dioksidasi dengan senyawa-senyawa asam seperti HCl, HNO<sub>3</sub> dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Modifikasi asam dapat meningkatkan hidrofilitas

biochar dengan meningkatkan gugus fungsi yang mengandung oksigen seperti gugus karboksil (-COOH). Pada modifikasi basa permukaan biochar direduksi dengan agen pereduksi seperti NaOH, KOH, dan NH<sub>4</sub>OH. Modifikasi basa dapat meningkatkan porositas dan luas permukaan biochar dengan menghilangkan bahan organik yang tidak terpirolisis serta kadar abu dari pori-pori.

3. Impregnasi/penjenuhan logam, yaitu modifikasi katalis yang dilakukan dengan memenuhi pori biochar menggunakan larutan logam garam seperti ZnCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, FeCl<sub>3</sub> dan bahan lain dengan konsentrasi yang cukup untuk meningkatkan daya adsorpsi pada pori biochar.