

**PENGARUH PENAMBAHAN ZEOLIT SEBAGAI BIOADSORBEN  
DENGAN PERLAKUAN SEDIMEN SAWAH UNTUK MEREDUKSI  
LOGAM BERAT BESI (Fe) PADA LIMBAH AIR ASAM TAMBANG**

**NOER MADINAH TULMUNAWWARA**

**H041 19 1089**



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

**PENGARUH PENAMBAHAN ZEOLIT SEBAGAI BIOADSORBEN  
DENGAN PERLAKUAN SEDIMEN SAWAH UNTUK MEREDUKSI  
LOGAM BERAT BESI (Fe) PADA LIMBAH AIR ASAM TAMBANG**

*Skripsi*

*Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Biologi*

*Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*

*Universitas Hasanuddin*



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

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH PENAMBAHAN ZEOLIT SEBAGAI BIOADSORBEN  
DENGAN PERLAKUAN SEDIMEN SAWAH UNTUK MEREDUKSI  
LOGAM BERAT BESI (Fe) PADA LIMBAH AIR ASAM TAMBANG**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**NOER MADINAH TULMUNAWWARA  
H041191089**

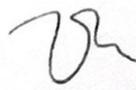
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 30 Agustus 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

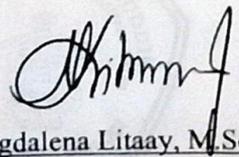
Pembimbing Utama,

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

Pembimbing Pertama,

  
Dr. Zaraswati Dwyana, M.Si.  
NIP 196512091990082001

Ketua Program Studi,

  
Dr. Magdalena Litaay, M.Sc.  
NIP 196409291989032002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Noer Madinah Tulmunawwara

NIM : H041 19 1089

Program Studi : Biologi

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Pengaruh Penambahan Zeolit sebagai Bioadsorben dengan Perlakuan Sedimen Sawah untuk Mereduksi Logam Berat Besi (Fe) pada Limbah Air Asam Tambang

Adalah karya saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut

Makassar, 30 Agustus 2023

Yang Menyatakan

  
METERAI TEMPEL  
33AKX605854015

Noer Madinah Tulmunawwara

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala berkah dan rahmat-Nyalah sehingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul **Pengaruh Penambahan Zeolit Sebagai Bioadsorben dengan Perlakuan Sedimen Sawah untuk Mereduksi Logam Berat Besi (Fe) pada Limbah Air Asam Tambang** sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) dan memperoleh gelar Sarjana Sains di Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

Selama pelaksanaan penelitian hingga penulisan skripsi ini, penulis mengalami banyak berbagai macam kendala yang dihadapi, namun penulis juga banyak menerima bantuan sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih setulus-tulusnya dan sebesar-besarnya kepada kedua orang tua tercinta Bapak Ansar dan Ibu Marlia selaku orang tua penulis yang membesarkan, mendidik, menasehati, mendoakan dan memberikan kasih sayang serta memberikan dukungan baik moral maupun materi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Tidak lupa saya berterima kasih kepada kedua adik-adik saya Sakinah Tulramadhani dan Ahmad Ansar yang selalu ada menemani apabila penulis memiliki banyak masalah dan menghibur penulis selama pengerjaan skripsi ini. Selain itu, saya juga berterima kasih pula kepada tante saya Jahra Rauf, S.Pd yang telah menjaga dan merawat serta menemani penulis selama penulis berada di Makassar.

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 Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Terima kasih atas ilmu, kontribusi dan saran kepada penulis.
4. Bapak Dr. Eddyman W. Ferial, S.Si.,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. Zaraswati Dwyana, 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 Bapak Dr. Eddyman W. Ferial, S.Si.,M.Si., dan ibu Dr. Andi Masniawati, S.Si., 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. Fuad Gani, S.Si., Faisal, S.Si., Ibu Dewi dan Ibu Sri yang telah membantu, membimbing, dan memberikan ilmu selama penelitian dalam laboratorium.
9. Sakinah Tulramadhani dan Ahmad Ansar yang telah memberikan semangat dan menghibur penulis serta memberikan dorongan saat mengerjakan skripsi.
10. Sahabat penulis Nur Aisyah, Nur Aulia dan Nur Wahida Al Qadri yang selalu bersama saling membantu dan mendengarkan semua keluhan penulis, memberikan motivasi dan dukungan serta menemani penulis selama berkuliah di Universitas Hasanuddin hingga masa penelitian dan penyusunan skripsi ini.
11. Teman seperjuangan Nur Aulia, Widya Safitri, dan Erni Pratiwi yang selalu menemani dan memberikan dukungan hingga saat ini.
12. Teman-teman Biologi angkatan 2019 yang selalu bersama selama menempuh pendidikan dari mahasiswa baru hingga telah membuat banyak kenangan indah dan pahit selama masa perkuliahan.
13. Seluruh pihak yang terlibat dalam kelancaran penelitian penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terimakasih atas segala bantuan dan masukan yang telah diberikan dan semoga dapat bernilai pahala.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari akan kelemahan, kekurangan atau keterbatasan, pengetahuan, pengalaman dan kemampuan yang penulis miliki baik. 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, 30 Agustus 2023  
Penulis,

Noer Madinah Tulmunawwara

## ABSTRAK

Industri pertambangan banyak memberikan dampak negatif bagi lingkungan salah satunya air asam tambang (AAT). Air asam tambang merupakan limbah yang memiliki kandungan logam dan sulfat yang tinggi dan pH rendah atau bersifat asam. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh zeolit sebagai bioadsorben dalam mereduksi logam berat besi (Fe), peningkatan pH, kandungan sulfat dan jumlah populasi bakteri pada limbah AAT dengan perlakuan sedimen sawah. Konsentrasi kadar sulfat diukur dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis, kadar logam berat besi (Fe) dianalisis dengan menggunakan *atomic absorption spectrophotometer* (AAS), perubahan pH diukur dengan menggunakan pH meter, dan jumlah populasi mikroba dihitung dengan *standard plate count* (SPC). Hasil penelitian menunjukkan penambahan zeolit dengan sedimen sawah menurunkan kadar sulfat yang optimal pada perlakuan 1 hingga 69,75 mg/L sedangkan perlakuan yang kurang baik yaitu pada perlakuan 4 yang hanya menurunkan hingga 194 mg/L. Penambahan zeolit dengan perlakuan sedimen sawah dapat menurunkan kadar logam yang optimal yakni pada perlakuan 1 yakni sebesar 0,245 mg/L sedangkan pada perlakuan 4 hanya menurunkan kadar logam besi hingga 1,3 mg/L. Penambahan zeolit dengan perlakuan sedimen sawah dapat meningkatkan pH pada air asam tambang hingga meningkat menjadi pada 6,7 pada perlakuan 1, 5,8 pada perlakuan 2, 5,4 pada perlakuan 3 dan 3,2 pada perlakuan 4. Selain itu diamati pula pertumbuhan mikroba selama masa inkubasi 30 hari yang secara berturut-turut, perlakuan 1 =  $5,0 \times 10^{14}$  CFU/mL, perlakuan 2 =  $3,0 \times 10^{13}$  CFU/mL, perlakuan 3 =  $4,1 \times 10^{11}$  CFU/mL dan perlakuan 4 =  $1 \times 10^{12}$  CFU/mL.

**Kata kunci:** Zeolit, sedimen sawah, bakteri pereduksi sulfat, air asam tambang.

## ABSTRACT

The mining industry has many negative impacts on the environment, one of which is acid mine drainage (AAT). Acid mine drainage is waste that has a high metal and sulfate content and a low pH or is acidic. This study aims to analyze the effect of zeolite as an adsorbent in reducing the heavy metal iron (Fe), increasing pH, sulfate content, and the number of bacterial populations in AAT waste treated with paddy field sediment. Sulfate concentrations were measured using UV–Vis spectrophotometry, levels of the heavy metal iron (Fe) were analyzed using an *atomic absorption spectrophotometer* (AAS), changes in pH were measured using a pH meter, and the microbial population was calculated with a *standard plate count* (SPC). The results showed that the addition of zeolite with paddy field sediment reduced the optimal sulfate content in treatment 1 to 69.75 mg/L while the less good treatment was in treatment 4 which only reduced it to 194 mg/L. The addition of zeolite with paddy field sediment treatment can reduce the optimal metal content, namely in treatment 1 which is equal to 0.245 mg/L while in treatment 4 it only reduces ferrous metal content to 1.3 mg/L. The addition of zeolite to the paddy field sediment treatment increased the pH of acid mine drainage to 6.7 in treatment 1, 5.8 in treatment 2, 5.4 in treatment 3, and 3.2 in treatment 4. In addition, growth was also observed microbes during the incubation period of 30 consecutive days, treatment 1 =  $5.0 \times 10^{14}$  CFU /mL, treatment 2 =  $3.0 \times 10^{13}$  CFU//mL, treatment 3 =  $4 \times 10^{11}$  CFU/mL and treatment 4 =  $1 \times 10^{12}$  CFU/mL.

**Keywords:** Zeolite, paddy field sediment, sulfate-reducing bacteria, acid mine drainage.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<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 .....	5
I.3 Manfaat Penelitian .....	5
I.4 Waktu dan Tempat Penelitian .....	5
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
II.1 Limbah Pertambangan .....	6
II.1.1 Air Asam Tambang .....	7
II.1.2 Pembentukan Air Asam Tambang (AAT) .....	8
II.1.3 Penanggulangan Air Asam Tambang.....	9
II.2 Pencemaran Logam Berat.....	11
II.3 Zeolit.....	13
II.4 Sedimen Sawah.....	14
II.5 Bakteri Pereduksi Sulfat .....	16
<b>BAB III. PROSEDUR KERJA</b> .....	<b>18</b>
III.1 Alat .....	18
III.2 Bahan.....	18
III.3 Prosedur Kerja.....	18
III.3.1 Sterilisasi alat.....	18
III.3.2 Pengambilan Sampel.....	19

III.3.3 Karakterisasi Air Asam Tambang (AAT).....	19
III.3.4 Aktivasi Zeolit .....	19
III.3.5 Pembuatan Perlakuan.....	19
III.3.6 Pengukuran Sulfat.....	20
III.3.7 Pengukuran Kadar Besi .....	21
III.3.8 Pengukuran pH .....	21
III.3.9 Menghitung total mikroba dengan metode plate count .....	22
III.4 Analisis Data .....	22
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>23</b>
IV.1 Perubahan Fisik Air Asam Tambang .....	23
IV.2 Perubahan Kadar Sulfat.....	25
IV.3 Perubahan Kadar Logam Berat Besi (Fe) .....	27
IV.4 Pengukuran pH.....	31
IV. 5 Perhitungan Total Mikroba .....	33
<b>BAB V. PENUTUP.....</b>	<b>36</b>
V.1 Kesimpulan.....	36
V.2 Saran .....	36
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>37</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>42</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
1. Kondisi fisik air asam tambang hari ke-0.....	23
2. Kondisi fisik air asam tambang hari ke-30.....	24
3. Pengukuran kadar sulfat pada perlakuan.....	25
4. Pengukuran kadar logam berat besi (Fe) pada perlakuan.....	28
5. Pengukuran pH pada perlakuan.....	31
6. Jumlah total bakteri pada perlakuan.....	33

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	<b>Halaman</b>
1. Tabel Hasil Pengukuran.....	41
2. Foto Pengambilan Sampel.....	42
3. Foto Aktivasi zeolit.....	42
4. Foto Pembuatan Perlakuan AAT.....	43
5. Pembuatan Media.....	44
6. Pengukuran Perhitungan Total Mikroba.....	44
7. Perhitungan Perhitungan pH dan Kadar Sulfat dan Logam Berat.....	45

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

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

Industri Pertambangan merupakan salah satu bidang usaha yang membantu peningkatan ekonomi di Indonesia, tetapi disamping itu pertambangan juga memberikan banyak dampak negatif terutama bagi lingkungan. Menurut Hidayat (2017), industri pertambangan umumnya melakukan pertambangan terbuka (*open mining*), yang menyebabkan perubahan bentang alam, sifat fisik, kimia dan biologis tanah. Selain itu, salah satu dampak lingkungan yang ditimbulkan yakni terkait dengan air asam tambang (AAT) atau *acid mine drainage* (AMD).

Air asam tambang adalah salah satu limbah tambang yang mengganggu lingkungan. Limbah AAT memiliki pH rendah atau bersifat asam yang berasal dari mineral sulfida (*pyrite*) yang teroksidasi dengan udara dan air sehingga menghasilkan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) yang mengandung sulfat bebas. Menurut Fahrudin, dkk., (2020) kandungan sulfat dengan konsentrasi 250 mg/l pada air dapat menjadi komponen utama yang menyebabkan pH menjadi rendah dan dapat pula melarutkan logam berat yang berbahaya bagi lingkungan. Seperti logam berat tembaga (Cu), timbal (Pb), besi (Fe), kadmium (Cd), dan kobalt (Co).

Menurut Sulistyana dan Umar (2015) air asam tambang (aat) yang bersifat asam dapat membentuk logam-logam berat menjadi reaktif sebagai ionnya. Hal ini akan memicu terjadinya pencemaran logam berat pada lingkungan. Selain itu menurut Rembah (2015), adanya kandungan logam berat yang terdapat dalam

batubara juga dapat menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan. Hal ini dikarenakan unsur-unsur pembentuk dari batubara itu sendiri berasal dari unsur utama (C, H, O, N, S, Al, dan Si). Kemudian unsur kedua adalah (Fe, Mn, Ca, K, Na, P, dan Ti), sedangkan untuk unsur lainnya yakni (As, Ba, Cd, Cr, Pb, Cu, Hg, Zn, dan Ag). Sehingga, meningkatkan resiko pencemaran logam berat terutama pada lingkungan perairan (Kaharapenni dan Noor, 2015).

Salah satu logam berat yang banyak ditemui dan cukup berbahaya bagi lingkungan yakni logam berat Fe (besi). Logam berat Fe yang ada di dalam air dapat berbentuk kation  $\text{Fe}^{2+}$  (ferro) atau kation  $\text{Fe}^{3+}$  (ferri). Hal ini tergantung kondisi pH dan oksigen terlarut dalam air. Fe (besi) terlarut dapat berbentuk senyawa tersuspensi seperti ferioksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), besi(II) oksida ( $\text{FeO}$ ), dan ferihidroksida ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ). Pada air tanah umumnya mengandung besi terlarut berbentuk ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), apabila air tanah terpompa keluar dan kontak dengan udara (oksigen) maka besi  $\text{Fe}^{2+}$  akan teroksidasi menjadi ferihidroksida ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ). Ferihidroksida dapat mengendap dan berwarna kuning kecoklatan (A. Firmansyaf, 2013). Logam berat Fe (besi) merupakan logam esensial yang dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dapat bersifat toksik atau beracun dalam jumlah berlebih.

Menurut Febrina dan Ayuna (2014), pada lingkungan perairan logam berat Fe (besi) dianggap membahayakan atau bersifat toksik apabila memiliki kadar logam  $> 1 \text{ mg/L}$  dan dapat menyebabkan terjadinya iritasi pada mata dan kulit. Tingkat toksisitas logam berat Fe juga bergantung pada nilai pH di lingkungan perairan. Menurut Krupioska (2019) hal ini dikarenakan nilai pH akan mempengaruhi tingkat konsentrasi logam di perairan. pH yang rendah atau kurang

dari 7 dapat melarutkan besi dan logam lainnya yang dikenal dengan proses korosif, sehingga mengakibatkan toksisitas logam berat Fe (besi) semakin tinggi. Sehingga air asam tambang dengan nilai pH yang relatif rendah bersifat toksik karena mempunyai kandungan logam berat Fe (besi) tinggi.

Berbagai cara dapat dilakukan untuk menanggulangi pencemaran air asam tambang (AAT) yakni dapat dilakukan secara fisik, kimiawi, dan biologis. Salah satu cara pengolahan AAT yaitu secara biologis dengan menggunakan bakteri pereduksi sulfat (BPS) atau *sulphate reduktion bacteria* (SRB) untuk mendekontaminasi sulfat. Selain itu, BPS juga mampu menurunkan konsentrasi logam melalui proses pengendapan logam. Bakteri pereduksi sulfat dapat diperoleh dari substrat-substrat berlumpur seperti pada sedimen, contohnya sedimen sawah, dimana sedimen sawah pada air asam tambang mampu meningkatkan pH air asam tambang, menurunkan kadar sulfat dan meningkatkan pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat (BPS) sehingga dapat digunakan untuk penanggulangan pencemaran lingkungan akibat air asam tambang. Kandungan materi organik yang tinggi dalam sedimen menyediakan lingkungan yang ideal untuk populasi bakteri pereduksi sulfat (BPS) untuk proses presipitasi kompleks logam (Fahrudin, dkk., 2014).

Banyak peneliti telah menggunakan sedimen sebagai sumber bahan organik dan sebagai inokulum bakteri pereduksi sulfat Fahrudin, dkk. (2014) kandungan logam pada air terkontaminasi dapat direduksi dengan menggunakan sedimen, dimana sedimen dapat menurunkan kandungan seng 150 menjadi 0,2 mg/l; tembaga 55 menjadi 0,05 mg/l; besi 700 menjadi 1 mg/l; dan mangan 80 menjadi 1 mg/l.

Selain itu cara pengelolaan air asam tambang dapat juga dilakukan menggunakan teknik adsorpsi yang merupakan metode untuk menghilangkan polutan. Proses adsorpsi merupakan teknik pemurnian dan pemisahan yang efektif dipakai dalam industri karena dianggap lebih ekonomis dalam pengolahan air dan limbah serta merupakan teknik yang sering digunakan untuk mengurangi ion logam dalam air. Beberapa tahun terakhir, banyak penelitian telah berfokus pada proses adsorpsi karena dinilai lebih efektif, preparasi mudah dan pembiayaan yang relatif murah dibanding metode lainnya (Zikra, dkk., 2016).

Salah satu adsorben yang dapat digunakan dalam proses adsorpsi logam dalam air adalah zeolit. Zeolit merupakan senyawa alumino silikat terhidrasi yang secara fisik dan kimia mempunyai kemampuan sebagai katalis, memiliki pori-pori terisi ion-ion K, Na, Ca, Mg dan H<sub>2</sub>O, sehingga memungkinkan terjadinya pertukaran ion dan pelepasan air secara bolak-balik. Selain sebagai penukar kation, zeolit juga berfungsi sebagai penyerap kation-kation atau adsorben bagi logam-logam berat yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan seperti Pb, Al, Fe, Mn, Zn, dan Cu. Sehingga dengan adanya zeolit tersebut dapat mengurangi pencemaran lingkungan. Oleh sebab itu, limbah air asam tambang yang mengandung logam berat seperti Fe dapat diolah dengan menggunakan zeolit (Nursanti dan Kemala, 2019).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan zeolit dengan perlakuan sedimen dalam menurunkan kadar logam berat Fe (besi) pada air asam tambang serta pengaruhnya terhadap perubahan pH dan pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat.

## **I.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui pengaruh penambahan zeolit dengan perlakuan sedimen sawah dalam menurunkan kadar logam besi pada air asam tambang.
2. Mengetahui pengaruh penambahan zeolit dengan perlakuan sedimen sawah terhadap perubahan pH dalam air asam tambang.
3. Mengetahui jumlah populasi bakteri dalam air asam tambang pada perlakuan sedimen sawah dan perlakuan zeolit.

## **I.3 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai penanggulangan air asam tambang dengan memanfaatkan zeolit dan sedimen sawah sebagai salah satu alternatif dalam menurunkan kadar logam pada air asam tambang.

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

Penelitian ini dilakukan pada bulan April-Juli 2023 hingga selesai di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, serta Balai Besar Laboratorium Kesehatan, Makassar. Pengambilan sampel air asam tambang dilakukan di Bone dan sampel sedimen diambil di Moncongloe, Sulawesi Selatan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Limbah Pertambangan**

Pertambangan merupakan suatu usaha dalam memanfaatkan kekayaan alam yang meliputi eksplorasi, eksploitasi, pengolahan, pemurnian, dan penjualan bahan galian. Menurut KepMen LH No 113 Tahun 2003, usaha atau kegiatan pertambangan batubara adalah serangkaian kegiatan penambangan dan pengolahan/pencucian batubara. Kegiatan penambangan adalah pengambilan batubara yang meliputi penggalian, pengangkutan dan penimbunan baik pada tambang terbuka maupun tambang bawah tanah. Kegiatan pengolahan/pencucian adalah proses peremukan, pencucian, pemekatan dan penghilangan batuan/mineral pengotor atau senyawa belerang dari batubara tanpa mengubah sifat kimianya. Sehingga keluaran dari kolam pengolahan limbah cair batubara harus sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan (Annisa, 2018).

Baku mutu air limbah batubara merupakan ukuran batas atau kadar unsur pencemar dalam limbah batubara yang akan dibuang atau dilepas kepermukaan. Dimana parameter yang diamati yakni pH, total suspended solid (TSS), total Fe dan Mn. Pengukuran baku mutu air limbah pertambangan ini diperlukan karena dalam proses pertambangan berpotensi menimbulkan resiko pencemaran terhadap lingkungan (Harahap, 2017).

Menurut Listiyani, N. (2017), berbagai dampak negatif kegiatan pertambangan adalah sebagai berikut:

1. Usaha pertambangan dalam waktu relatif singkat dapat mengubah bentuk topografi tanah dan keadaan muka tanah (*land impact*) sehingga dapat mengubah keseimbangan sistem ekologi bagi daerah sekitarnya.
2. Usaha pertambangan dapat menimbulkan berbagai macam gangguan, antara lain pencemaran akibat debu dan asap yang mengotori udara dan air, limbah air, tailing, serta buangan tambang yang mengandung zat-zat beracun.
3. Pertambangan yang dilakukan tanpa mengindahkan keselamatan kerja dan kondisi geologi lapangan dapat menimbulkan tanah longsor, ledakan tambang, keruntuhan tambang, dan gempa.

### **II.1.1 Air Asam Tambang**

Salah satu dampak yang banyak merugikan masyarakat yaitu limbah air. Limbah air yang dihasilkan dari industri pertambangan umumnya disebut air asam tambang. Menurut Shane, dkk. (2021) air asam tambang adalah limbah tambang yang pada pH rendah dapat meningkatkan kadar logam berat dan sulfida. Asam tambang terbentuk ketika pirit, besi sulfida terpapar dan bereaksi dengan udara dan air kemudian membentuk asam sulfat dan besi. Sebagian atau seluruh besi ini dapat mengendap membentuk endapan merah, jingga atau kuning didasar sungai atau perairan yang mengandung air asam tambang.

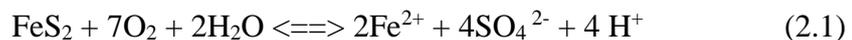
Limbah air asam tambang terjadi karena adanya proses oksidasi bahan mineral pirit ( $\text{FeS}_2$ ) dan bahan mineral sulfida lainnya yang tersingkap ke permukaan tanah dalam proses pengambilan bahan mineral tambang. Proses kimia dan biologi dari bahan-bahan mineral tersebut menghasilkan sulfat dengan tingkat kemasaman yang tinggi. Baik secara langsung maupun tidak langsung tingkat

keasaman tinggi dapat mempengaruhi kualitas lingkungan dan kehidupan organisme. Beberapa mineral sulfida yang banyak ditemui pada proses air asam tambang yaitu  $\text{FeS}_2$ ,  $\text{CuS}_2$ ,  $\text{CuS}$ ,  $\text{CuFeS}_2$ ,  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{NiS}$ ,  $\text{PbS}$  dan  $\text{ZnS}$  (Wahyudin, dkk., 2018). Menurut Azwari dan Suprpto (2016) limbah air asam tambang yang dibuang ke lingkungan dalam jumlah besar merupakan limbah yang dominan menimbulkan pencemaran lingkungan karena dapat merusak kehidupan organisme perairan termasuk komunitas makrozoobentos pada perairan sungai.

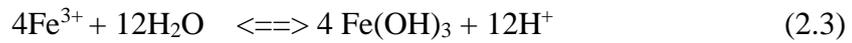
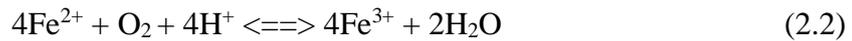
### II.1.2 Pembentukan Air Asam Tambang (AAT)

Sifat air asam tambang sangat beragam pada berbagai tambang. Hal ini disebabkan karena pembentukannya ditentukan oleh banyak faktor seperti jenis tambang, hidrogeologi dan geografi daerah tambang. Secara umum air asam tambang memiliki satu atau lebih dari empat komponen, yaitu tingkat kemasaman tinggi (pH rendah), konsentrasi logam tinggi (terutama pada logam berat Fe, Al, dan Mn), konsentrasi sulfat tinggi, dan kandungan padatan terlarut tinggi.

Proses pembentukan AAT dapat digambarkan oleh reaksi-reaksi dibawah ini (Munawwar,2017):



Proses diawali dengan mineral pirit ( $\text{FeS}_2$ ) bereaksi dengan oksigen ( $\text{O}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) membentuk asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), yang mengakibatkan penurunan pH dan pembebasan ion  $\text{Fe}^{2+}$  (fero) ke dalam air. Akibatnya, padatan terlarut total (*total dissolved solids*, TDS) dan kemasaman air meningkat. Kemudian ion-ion  $\text{Fe}^{2+}$  teroksidasi menjadi  $\text{Fe}^{3+}$  (feri) dan kemudian mengalami hidrolisis membentuk besi (III) hidroksida [ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ], dengan reaksi:



Reaksi ini kemudian membebaskan ion-ion  $\text{H}^+$  ke lingkungan, sehingga menyebabkan meningkatnya kemasaman yang ditandai dengan penurunan pH. Besi (III) hidroksida yang terbentuk dalam reaksi ini biasa disebut *yellow boy*, yang merupakan endapan berwarna oranye-kekuningan, sehingga air menjadi seperti bewarna merah-oranye. Besi feri (III) bertindak sebagai oksidator, yang mengoksidasi pirit dan menghasilkan besi ferro (II), sulfat dan kemasaman. Seperti yang ditunjukkan dengan reaksi:



Reaksi diatas terjadi pada pH yang sangat rendah, sehingga oksidasi pirit pada kondisi tersebut sangat lambat. Namun, ditemukan bahwa beberapa jenis bakteri dapat bersifat tahan asam, seperti bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*. Bakteri ini dapat bertindak sebagai katalisator oksidasi besi ferro (III) pada kondisi pH sangat asam yaitu pada pH 2,5-3,5. Tingkat kemasaman, komposisi dan konsentrasi logam dalam air asam tambang tergantung pada jenis dan jumlah mineral sulfida serta ada atau tidaknya material alkalin didalam batuan. Keberadaan material alkalin dapat menjadi bahan peneteral asam, sehingga dapat mengurangi jumlah air asam tambang yang terbentuk.

### II.1.3 Penanggulangan Air Asam Tambang

Air asam tambang dapat diatasi dengan menggunakan cara fisik, kimia dan biologi. Secara fisik pencegahan terbentuknya air asam tambang dilakukan dengan mencegah atau menahan transport dari kontaminan ke badan air, dengan cara

*recycling treatment* dan pengamanan serta penanganan material timbunan. Material timbunan dapat ditangani dengan pemisahan antara material yang bersifat pembentuk asam atau *non acid forming* (NAF). Selanjutnya dilakukan dengan metode enkapsulasi. Metode enkapsulasi diterapkan dengan menempatkan material cover atau material dengan sifat tidak meloloskan air atau udara sehingga menghindari terbentuknya air asam tambang atau dengan kata lain mencegah terjadinya oksidasi mineral sulfida dan air dengan udara (Tuheteru, dkk., 2016).

Secara kimia penanggulangan air asam tambang umumnya menggunakan berbagai jenis kapur yakni kapur tohor. Jenis kapur lainnya yang juga dapat digunakan yaitu kapur pertanian atau kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), kapur silika ( $\text{CaSiO}_3$ ), kapur dinding ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) dan kapur tohor ( $\text{CaO}$ ). Setiap jenis kapur biasa memiliki tingkat penetrasi berbeda. Penggunaan kapur ini termasuk metode aktif dalam mereduksi logam berat, sedangkan untuk metode pasif dapat dilakukan dengan lahan basah aerob dan anaerob, kolam batu kapur, satuan batu kapur terbuka (*open limeston channels*), reaktor aliran vertikal, kolam sedimentasi dan sumur pengalihan batu gamping (Utami, dkk., 2020).

Penanggulangan air asam tambang secara biologi yaitu dengan menggunakan teknik bioremediasi dengan memanfaatkan bakteri yang terdapat di alam secara melimpah. Cara ini dilakukan dengan menggunakan bioreaktor yang mikrobanya tidak diinokulasikan lagi dari luar namun sudah secara alami terdapat pada sedimen. Sedimen sendiri merupakan substrat berlumpur yang banyak mengandung bakteri pereduksi sulfat (BPS). Sehingga didalam sedimen terjadi aktivitas biokimia akibat adanya mikroba tersebut dan secara alami dapat melepaskan kontaminan seperti logam berat (Arnol, dkk., 2018).

Penanggulangan AAT juga dapat dilakukan dengan metode aktif dan pasif. Metode aktif merupakan metode penanggulangan AAT dengan cara mengaplikasikan bahan penetral seperti kapur. Metode ini dinilai dapat meningkatkan nilai pH dalam waktu yang singkat. Namun, metode ini memiliki kekurangan yaitu memerlukan biaya yang tinggi dan perawatan yang intensif. Oleh karena itu, metode aktif ini sudah mulai ditinggalkan (Suryatmana, dkk., 2020).

Sedangkan metode pasif menawarkan sistem yang dapat bekerja tanpa penambahan input dengan frekuensi yang tinggi. Metode ini dinilai tidak memerlukan perawatan intensif dibandingkan perlakuan aktif. Sedangkan perlakuan pasif, yaitu membiarkan reaksi kimia dan biologi berlangsung secara alami. Parameter penting yang harus diperhatikan dalam *passive treatment* adalah kemasaman, konsentrasi logam, dan konsentrasi oksigen terlarut (Sandrawati, dkk., 2019). Penanganan AAT secara pasif digolongkan ke dalam empat metode, yaitu metode *natural wetland*, *constructed wetland*, *anoxic limestone drains*, dan *vertical flow system* dimana setiap metode memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing (Suryatmana, dkk., 2020).

## **II.2 Pencemaran Logam Berat**

Logam berat merupakan bahan beracun yang dapat menimbulkan kerusakan pada organisme akuatik. Beberapa sumber pencemaran logam berat yakni industri pertambangan, peleburan logam, dan dapat juga berasal dari limbah domestik yang menggunakan logam, serta lahan pertanian yang menggunakan pupuk yang mengandung logam. Logam berat biasanya ditemukan sangat sedikit dalam air secara alami yang  $> 1 \mu\text{g}$  (Pertiwi, 2020). Menurut Yudo (2006), berdasarkan sudut

pandang toksikologi, logam berat terbagi atas dua yakni logam berat esensial dan non esensial. Logam berat non esensial atau beracun merupakan logam yang keberadaannya dalam tubuh belum diketahui manfaatnya atau bahkan bersifat racun. Contoh logam non esensial yakni seperti Hg, Cd, Pb, Cr, dan lain sebagainya. Sedangkan logam berat esensial merupakan logam berat yang pada jumlah tertentu keberadaannya sangat dibutuhkan bagi organisme hidup, namun dapat menimbulkan racun apabila jumlahnya berlebih. Contoh logam berat jenis ini yaitu Zn, Cu, Fe, Co, Mn, Ni, dan sebagainya.

Logam berat Fe merupakan salah satu logam berat esensial yang dimana logam ini dibutuhkan dalam proses menghasilkan oksidasi enzim cytochrome dan pigmen pernapasan (hemoglobin). Kandungan logam berat yang menumpuk pada air laut dan sedimen akan masuk ke dalam sistem rantai makanan dan berpengaruh pada kehidupan organisme. Kandungan besi (Fe) > 1 mg/L dapat dianggap membahayakan kehidupan organisme akuatik (Supriyantini dan Endrawati, 2015).

Kandungan Fe dalam air dapat berasal dari larutan batu-batuan yang mengandung senyawa Fe seperti *Pyrit*. Buangan limbah industri dapat mengandung kandungan besi yang berasal dari korosi pipa-pipa air mineral logam sebagai hasil elektro kimia yang terjadi pada perubahan air yang mengandung padatan larut mempunyai sifat menghantarkan listrik dan ini mempercepat terjadinya korosi (Kamarati, dkk., 2018). Tingginya kandungan logam Fe akan berdampak terhadap kesehatan manusia diantaranya bisa menyebabkan keracunan (muntah), kerusakan usus, penuaan dini hingga kematian mendadak, radang sendi, diabetes, gusi berdarah, diare, pusing, mudah lelah, hepatitis, hipertensi, cacat lahir, insomnia, kanker. (Supriyantini dan Endrawati, 2015).

### II.3 Zeolit

Zeolit adalah bahan galian non logam atau bahan galian mineral industri. Zeolit sendiri dapat terbentuk karena adanya reaksi antara batuan tufa asam berbutir halus dan bersifat riolitik dengan air meteorik atau air hujan. Zeolit merupakan kelompok aluminosilikat terhidrasi dengan unsur utama terdiri dari kation, alkali dan alkali tanah, serta mempunyai pori-pori yang dapat diisi oleh molekul air (Juniansyah, dkk., 2017). Zeolit mempunyai struktur kerangka tiga dimensi yang terbentuk oleh tetrahedral  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  dan  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  yang dihubungkan oleh atom-atom oksigen sehingga membentuk kerangka tiga dimensi terbuka (Renni, dkk., 2018).

Zeolit memiliki struktur tiga dimensi yang menguntungkan, karena apabila terjadi pertukaran ion tidak terjadi perubahan dimensi. Ion-ion yang terdapat pada zeolit dapat bergerak bebas. Ion-ion pada rongga zeolit memiliki muatan negatif. Zeolit memiliki muatan negatif karena keberadaan atom aluminium, sehingga untuk menjaga zeolit tetap bersifat netral zeolit akan mengikat kation-kation pada air seperti H, Fe, Al, Ca dan Mg. Selain itu zeolit juga akan dengan mudah melepaskan kation dan digantikan dengan kation lainnya, misalnya zeolit melepas natrium dan digantikan dengan mengikat kalsium atau magnesium. Dengan demikian, zeolit berfungsi sebagai *ion exchanger* dan adsorben dalam pengolahan air (Khimayah, 2015). Selain sebagai penukar kation (*ion exchanger*), adsorben logam zeolit juga mampu menyerap zat organik maupun anorganik, sebagai penjernih air, katalisator (*catalysit*) dan penyaring molekul berukuran halus (*molecular sieving*) hal ini disebabkan karena sifat-sifat fisika dan kimia yang dimiliki oleh zeolit (Oktaviani, dkk., 2019).

Zeolit dapat digunakan sebagai adsorben karena memiliki struktur berpori dan luas permukaan yang besar. Zeolit berfungsi sebagai adsorben dengan cara mengikat senyawa dengan molekul tertentu dengan adanya interaksi secara fisik oleh gaya *Van Der Waals* dan interaksi kimia dengan adanya sifat elektrostatik (Atmono, dkk., 2017). Zeolit sebagai adsorban juga memiliki kekurangan yakni banyak mengandung bahan pengotor seperti Na, K, Ca, dan Mg sehingga perlu dilakukan aktivasi (Renni, dkk., 2018). Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Hasni dkk., (2015) yang memperoleh hasil penurunan tingkat logam besi dengan menggunakan zeolit alam teraktivasi sebesar 58,50% sedangkan penurunan logam berat besi dengan zeolit alam tidak teraktivasi sebesar 37,81%.

#### **II.4 Sedimen Sawah**

Wetland adalah area transisi antara tanah dan air. Wetland atau lahan basah meliputi berbagai lingkungan basah, termasuk rawa-rawa, sawah, padang rumput basah, lahan basah di daerah pasang surut, dataran banjir, dan lahan di tepi saluran sungai. Lahan basah biasanya merupakan cekungan dangkal penuh dengan semacam substrat, biasanya tanah atau kerikil, dan ditanami dengan vegetasi yang memiliki tingkat jenuh tinggi (Bul dan Rito, 2017).

Sawah merupakan lahan basah buatan yang umumnya mempunyai warna *glei* dan karatan, karena tanah sawah ini terbentuk pada kondisi muka air tanah yang dangkal. Pada musim kering tanah sawah sering menjadi retak-retak dengan kedalaman yang bervariasi. Pada kondisi ini oksigen dapat masuk melalui retakan atau melalui lubang-lubang akar, sehingga  $Fe^{2+}$  yang terbebaskan pada waktu penggenangan dan berada di permukaan retakan akan teroksidasi menjadi  $Fe^{3+}$  dan

mengendap sebagai karatan dari oksida besi pada permukaan ped. Model semacam ini banyak dijumpai pada tanah sawah yang bersifat vertikal. Ketika terjadi penggenangan lagi, oksida besi (karatan) yang di permukaan ped akan tereduksi, dan  $Fe^{2+}$  yang terbawa air dapat meresap masuk ke dalam struktur tanah, sehingga teroksidasi lagi dan terendapkan di bagian dalam dari ped (Prasetyo dan Setyorini, 2008).

Selain itu menurut Agus F., dkk (2004) reduksi akibat penggenangan pada sawah akan merubah aktivitas mikroba tanah dimana mikroba aerob akan digantikan oleh mikroba anaerob yang menggunakan sumber energi dari senyawa teroksidasi yang mudah direduksi. Tanah yang digenangi akan menurunkan persediaan oksigen sampai nol dalam waktu kurang dari sehari. Mikroba aerob akan menghabiskan udara yang tersisa dan kemudian mati selanjutnya mikroba anaerob dan obligat aerob kemudian mengambil alih dekomposisi bahan organik tanah dengan menggunakan komponen tanah teroksidasi.

Bercampurnya mineral dari tanah sawah dengan jerami padi yang kemudian akan terurai menjadi bagian yang lebih kecil dan kemudian tersuspensi serta dikonsumsi oleh mikroorganisme dalam sedimen sawah yang kemudian akan meningkatkan kandungan nutrisi pada sedimen sawah seperti meningkatkan kandungan C-organik dan N, P, K, N, Ca, Mg, dan Zn. Selain itu, sumber hara pada sedimen sawah dapat pula berasal dari kandungan mineral tanah sawah tersebut. Pada sawah kandungan mineral memiliki peranan yang penting. Pelapukan mineral di dalam tanah menghasilkan unsur-unsur hara baik unsur hara makro primer (P dan K), maupun unsur hara makro sekunder (Ca dan Mg) yang banyak diperlukan untuk pertumbuhan tanaman (Prasetyo dan Setyorini, 2008).

## II.5 Bakteri Pereduksi Sulfat

Bakteri Pereduksi Sulfat (BPS) merupakan sekeolompok mikroorganisme prokariotik yang tersebar luas di lingkungan anoksik (dasar laut, dasar sungai, dan lumpur, serta pembuangan logam). Bakteri pereduksi sulfat merupakan bakteri yang bersifat anaerob heterotrof, sehingga sering ditemukan di bagian bawah sedimen dan membutuhkan substrat organik untuk pertumbuhan dan aktivitasnya.

Peran BPS dalam pengolahan AAT yaitu untuk mengurangi pencemaran seminimal mungkin dengan mendekontaminasi sulfat dan menurunkan konsentrasi logam melalui proses pengendapan logam. Proses reduksi sulfat ini akan menghasilkan endapan sulfida logam dan meningkatkan alkalinitas. Kandungan logam seperti Fe dan Mn di dalam AAT dapat diturunkan seiring peningkatan aktivitas BPS. Hidrogen sulfida yang dihasilkan di dalam aktivitas BPS bersifat reaktif sehingga menyebabkan reaksi cepat dengan logam-logam membentuk senyawa logam sulfida yang sukar larut (*insolubel metal-sulphides*). Aktifitas BPS tersebut menyebabkan logam akan terpresipitasi sehingga tingkat kelarutan logam akan lebih rendah (Sandrawati, dkk., 2019).

Dalam mereduksi sulfat, BPS menggunakan sulfat sebagai sumber energi yaitu sebagai akseptor elektron dan menggunakan bahan organik sebagai sumber karbon (C). Karbon tersebut berperan sebagai donor elektron dalam metabolisme juga merupakan bahan penyusun selnya (Taroreh, 2015). Penurunan konsentrasi sulfat oleh bakteri pereduksi sulfat akan meningkatkan pH tanah (Sudarsono Y., dkk., 2018). Menurut Puspitasari (2014) menyatakan bahwa bakteri pengoksidasi sulfat dapat hidup pada lingkungan ekstrim dengan kisaran pH 2-6 dan suhu optimal  $30^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$ .

Perala dkk., (2022) menambahkan bahwa sebagian BPS masih mampu hidup pada pH 4 atau disebut *acidophilic sulfate reducing bacteria*. Hasil penelitian Perala dkk., (2022) menunjukkan bahwa pada pH 2 masih terdapat BPS dari famili Clostridiaceae sebanyak 5,5%, dan pada pH 3 meningkat menjadi 67,9% (Clostridiaceae), 18,7% (Desulfosporosinus).