

**FITOREMEDIASI AIR ASAM TAMBANG MENGGUNAKAN
TANAMAN COONTAIL (*Ceratophyllum demersum*)
DI PT BUKIT ASAM TBK.**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia**



Oleh:

Zesika Ananda Putri

08031282126058

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

**FITOREMEDIASI AIR ASAM TAMBANG MENGGUNAKAN
TANAMAN COONTAIL (*Ceratophyllum demersum*)
DI PT BUKIT ASAM TBK.**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia**

Oleh:

ZESIKA ANANDA PUTRI

NIM 08031282126058

Indralaya, 21 Mei 2025

Menyetujui,

Pembimbing

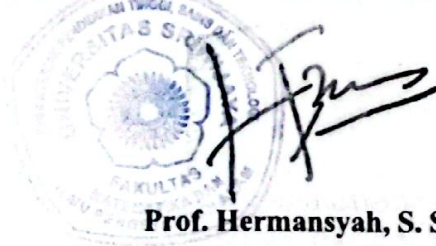


Dr. Suheryanto, M. Si

NIP. 196006251989031006

Mengetahui

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Hermansyah, S. Si., M. Si., Ph.D

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Zesika Ananda Putri (08031282126058) dengan judul "Fitoremediasi Air Asam Tambang menggunakan Tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*) di PT Bukit Asam Tbk." telah disidangkan dihadapan Tim Penguji Sidang Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 19 Mei 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa. Serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 21 Mei 2025

Pembimbing

1. **Dr. Suheryanto, M. Si.**
NIP. 196006251989031006

(*Suheryanto*)

Penguji

1. **Prof. Dr. Poeji Loekitowati H, M. Si.**
NIP. 196808271994022001

(*Poeji Loekitowati H*)

2. **Prof. Dr.Elfitia, M. Si.**
NIP. 196903261994122001

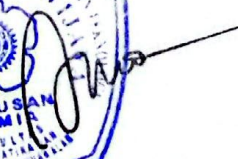
(*Elfitia*)

Mengetahui,

Dekan FMIPA


Prof. Hermansyah, S. Si., M. Si., Ph.D
NIP. 197111191997021001

Ketua Jurusan Kimia


Prof. Dr. Muharni, M.Si.
NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Zesika Ananda Putri

NIM : 08031282126058

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain. Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 21 Mei 2025

Penulis



Zesika Ananda Putri

NIM. 08031282126058

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Zesika Ananda Putri
NIM : 08031282126058
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “hak bebas royalti non-eksklusif (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : “Fitoremediasi Air Asam Tambang menggunakan Tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*) di PT Bukit Asam Tbk.” Dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikia pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 21 Mei 2025

Yang Menyatakan



Zesika Ananda Putri

NIM. 08031282126058

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap.”

(QS. Al-Insyirah : 6-8)

“Jika kamu telah bertekad, maka bertawakallah kepada Allah. Sesungguhnya Allah mencintai orang-orang yang bertawakal”

(QS. Ali ‘Imran: 159)

“ Man Jadda wa Jada”

Skripsi ini sebagai tanda syukurku kepada :

1. Allah SWT
2. Nabi Muhammad SAW

Dan kupersembahkan kepada:

1. Ayah bapak Zulkipli dan Ibu Ibu Essilinda, Orang tuaku tercinta yang selalu mendoakan, memberikan semangat, support dan kasih sayang tanpa batasnya.
2. Adik-adikku Meisy Salsadilla, Raisya Kayla Azzahra dan Nafizah Nadira Sakila.
3. Keluarga besar saya, keluarga Bapak Nangcik dan Bapak M.Yusuf.
4. Dosen pembimbing saya, Bapak Dr. Suheryanto, M. Si.
5. Sahabat- sahabatku dan teman seperjuanganku
6. Almamater Universitas Sriwijaya yang saya banggakan.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, nikmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Fitoremediasi Air Asam Tambang menggunakan Tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*) di PT Bukit Asam Tbk.” Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains bidang studi kimia. Penyusunan skripsi ini tentu tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan rahmat, segala nikmat, dan keberkahan yang begitu besar hingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Ayah dan Ibuku tercinta, Bapak Zulkipli dan Ibu Essilinda, terima kasih yang tak terhingga atas segala doa, dukungan, kesabaran, serta kasih sayang yang tiada henti. Terima kasih telah selalu sabar, menemani, dan menjadi saksi setiap langkah dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih telah selalu mengusahakan semua keinginan anak kalian ini. Gelar ini dipersembahkan untuk kalian.
3. Adik-adikku Meisy Salsadilla, Raisya Kayla Azzahra dan Nafizah Nadira Sakila, terima kasih sudah selalu menemani, mendoakan, menyemangati, dan menjadi penghibur.
4. Bapak Dr. Suheryanto, M. Si. selaku dosen pembimbing tugas akhir, yang sudah banyak meluangkan waktu dan membantu penulis dengan penuh kesabaran. Terima kasih tak terhingga bapak atas bantuan, waktu, ilmu, nasehat, dukungan dan kesabarannya terhadap penulis. Semoga semuanya menjadi Lillah dan Allah balaskan setiap kebaikan, selalu diberikan kesehatan, serta kebaikan oleh Allah SWT.
5. Bapak Prof. Hermansyah S.Si., M.Si., Ph.D selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
6. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya dan Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku Sekretaris Jurusan.

7. Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati, M. Si. dan Ibu Prof. Dr. Elfita, M.Si. selaku dosen penguji sidang sarjana yang telah banyak memberikan saran, bantuan dan arahan hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
8. Ibu Dr. Nova Yuliasari, M.Si. selaku dosen pembimbing akademik yang sudah banyak membantu, mendukung, dan membimbing selama masa perkuliahan. Terima atas bantuan, dukungan, bimbingan, dan perhatian ibu kepada penulis selamat ini. Semoga ibu selalu diberikan kesehatan, kebaikan, dan juga limpahan rahmat oleh Allah SWT.
9. Seluruh Dosen FMIPA Kimia Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama masa kuliah.
10. Satuan kerja Pengelolaan Lingkungan dan Laboratorium Penanganan dan Angkutan Batubara (PAB) PT Bukit Asam Tbk. yang telah menyediakan sarana dan prasarana, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
11. Kak iin dan mbak novi selaku admin jurusan, terima kasih atas bantuan dan penjelasan informasi yang telah melancarkan proses penyelesaian tugas akhir penulis.
12. Seluruh Analis jurusan kimia yang telah memberikan ilmu dan bimbingan selama masa kuliah.
13. Seluruh keluarga besar Nangcik dan M.Yusuf yang selalu mendoakan, memberikan dukungan dan semangat dalam bentuk apapun dari dulu sampai dengan saat ini. Setiap doa yang kalian panjatkan, setiap semangat dan bantuan sungguh menjadi kekuatan luar biasa di tengah perjalanan suka dan duka dalam menyusun karya ini. Terima kasih telah menemani setiap perjalanan penulis selaku (cucu, keponakan, dan saudara sepupu) kalian ini. Semoga Allah SWT senantiasa menjaga keutuhan, keharmonisan, dan melimpahkan kebahagiaan kepada seluruh keluarga besar kita.
14. Vira Alicia, selaku sahabat dan keluarga selama melewati masa perkuliahan. Orang yang menemani hari-hari di masa perkuliahan, magang, maupun di masa tugas akhir. Terima kasih atas semua waktunya, terima kasih selalu ada setiap penulis membutuhkan dan selalu siap mendengarkan segala keluh kesah. Semoga hubungan kita selalu terjalin, senantiasa abadi dan diberkahi oleh Allah.

15. Mutiah, selaku sahabatku yang menemani di masa perkuliahan. Terima kasih karena sudah selalu menemani penulis sejak awal perkuliahan offline hingga saat ini. Terima kasih atas semua waktu yang sudah kita lewati. Semoga hubungan kita selalu terjalin, senantiasa abadi dan diberkahi oleh Allah.
16. Rani Puspita Sari dan Riskia Nurul Khotimah, manusia-manusia baik yang selalu lemah lembut, menemani, dan membantu penulis. Terima kasih banyak sudah banyak membantu, menemani masa perkuliahan, dan menjadi saksi seberapa *hectic*nya penulis dalam menyelesaikan skripsi. Semoga tali persahabatan yang telah terjalin dapat terus terjaga dengan penuh rasa saling menghargai, mendukung, dan memperkuat satu sama lain.
17. Anora dan Okta, sahabat - sahabat baik yang mau membantu, menemani, membersamai penulis. Terima kasih karena selalu mau direpotkan, ikhlas dan sabar terhadap penulis.
18. Tri Mulyanita Sarah, Winda Pratiwi, Febi Ayu Damayanti, Suci Aisyah, Julia Ratna Sari Simbolon, Dia Faradilla, dan R.A Mayang Sari Khoirunnisa. Terima kasih sudah menjadi teman baik selama magang. Terima kasih sudah menemani dan membantu penulis selama magang, serta penyelesaian tugas akhir.
19. Awni Athalya, selaku partner bimbingan akademik hingga tugas akhir penulis. Terima kasih sudah menjadi teman bimbingan, magang, diskusi dan penyelesaian tugas akhir.
20. Aulia Rahmadini dan Cingka Kurnia Rizki, sahabat penulis yang menemani di masa perkuliahan hingga sama-sama menyelesaikan tugas akhir. Terima kasih sudah menemani dan membantu penulis.
21. Rita, selaku teman kos yang menemani selama masa perkuliahan penulis dari awal perkuliahan hingga penulis mendapatkan gelar sarjana. Terima kasih atas dukungan dan bantuannya selama ini.
22. Meidy dan Astrid adik asuh penulis yang selalu menyemangati penulis. Terima kasih sudah menyemangati dan membersamai seminar penulis.
23. Teman-teman seperjuangan Kimia Angkatan 2021
24. Teruntuk diriku, Zesika Ananda Putri terima kasih telah melewati proses

panjang ini dengan penuh perjuangan dan kesabaran. Semoga terus tumbuh, selalu semangat, dan tidak pernah berhenti berusaha menjadi versi terbaik dari diriku.

Demikian kata pengantar ini penulis sampaikan sebagai pengantar dari penyusunan karya ilmiah ini. Penulis menyadari bahwa di dalam penulisan masih banyak terdapat kesalahan serta kekurangan di dalamnya, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat serta menjadi bahan referensi yang berguna bagi pembaca.

Indralaya, 21 Mei 2025

Penulis

SUMMARY

PHYTOREMEDIATION OF ACID MINE DRAINAGE USING
COONTAIL PLANT (*Ceratophyllum demersum*)
AT PT BUKIT ASAM TBK.

Zesika Ananda Putri: Supervised by Dr. Suheryanto, M. Si.

Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University
x + 84, 13 Picture, 3 Tables, 19 Appendices.

Coal mining plays a role in helping to achieve economic growth targets in Indonesia. However, mining activities can produce acid mine drainage which, if it enters public waters, will threaten aquatic ecosystems, reduce water quality and can threaten aquatic fauna. One method that can be used to overcome acid mine drainage is phytoremediation using plants. Phytoremediation using coontail plants is one of the cheap and environmentally friendly methods to manage acid mine drainage. Coontail is a submerged macrophytes plant that can be used for the recovery of water contaminated with heavy metals, and is able to adapt well in a polluted environment, so it can be used as a phytoremediator. This study aims to determine the effect of mass and contact time of phytoremediation on increasing pH, reducing TSS, Fe, and Mn levels, and determining the effectiveness of coontail as a phytoremediator in accumulating Fe and Mn heavy metals.

The mass variation used in coontail plants was 3 variations (30, 45, and 60 g) and contact time was 3 variations (7, 14, and 21 days) with acid mine drainage used in each bioreactor as much as 3 L. Testing of pH values was carried out using a pH meter, TSS was analysed gravimetrically, and heavy metal levels (Fe and Mn) were analysed using AAS. The results of Kruskal-Wallis nonparametric analysis at the 5% level showed that the mass of coontail plant phytoremediation significantly affected pH, Fe, and Mn and not TSS, while contact time did not significantly affect pH, TSS, Fe and Mn. With the best mass and time the results were obtained at a mass of 60 g and contact time on day 7 for each parameter (except pH on day 14). The results of the calculation of the effectiveness of Fe and Mn metal absorption show that coontail plants are effective in reducing Fe and Mn metal levels with the highest effectiveness of Fe levels of 99.22% and Mn levels of 92.99% in the mass variation of 60 g and day 7 at a testing volume of 3 L of acid mine water.

Keywords : Acid Mine Drainage, Phytoremediation, Coontail, Heavy Metals, Absorption Effectiveness.

Citation : 69 (2004-2025)

RINGKASAN

FITOREMEDIASI AIR ASAM TAMBANG MENGGUNAKAN
TANAMAN COONTAIL (*Ceratophyllum demersum*)
DI PT BUKIT ASAM TBK.

Zesika Ananda Putri: Dibimbing oleh Dr. Suheryanto, M. Si.

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
x + 84, 13 gambar, 3 tabel, 19 lampiran

Penambangan batubara berperan dalam membantu pencapaian target pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Namun, kegiatan penambangan dapat menghasilkan air asam tambang yang apabila masuk ke perairan umum, maka akan mengancam ekosistem perairan, menurunkan kualitas air dan dapat mengancam fauna perairan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi air asam tambang adalah fitoremediasi menggunakan tanaman. Fitoremediasi dengan menggunakan tanaman coontail menjadi salah satu metode yang murah dan ramah lingkungan untuk mengelola air asam tambang. Coontail adalah tumbuhan makrofita yang terendam dan dapat digunakan untuk pemulihan air yang terkontaminasi logam berat, serta mampu beradaptasi dengan baik di lingkungan yang tercemar, sehingga dapat digunakan sebagai fitoremediator. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh massa dan waktu kontak fitoremediasi terhadap peningkatan pH, penurunan kadar TSS, Fe, dan Mn, serta menentukan efektivitas coontail sebagai fitoremediator dalam mengakumulasi logam berat Fe dan Mn.

Variasi massa yang digunakan pada tanaman coontail sebanyak 3 variasi (30, 45, dan 60 g) dan waktu kontak sebanyak 3 variasi (7, 14, dan 21 hari) dengan air asam tambang yang digunakan di setiap bioreaktor sebanyak 3 L. Pengujian nilai pH dilakukan menggunakan pH meter, TSS dianalisis secara gravimetri, dan kadar logam berat (Fe dan Mn) dianalisis menggunakan AAS. Hasil analisis nonparametrik Kruskal-Wallis pada taraf 5% menunjukkan bahwa massa fitoremediasi tanaman coontail mempengaruhi pH, Fe, dan Mn secara signifikan dan tidak untuk TSS, sementara waktu kontak tidak berpengaruh secara signifikan terhadap pH, TSS, Fe dan Mn. Dengan massa dan waktu terbaik hasil penelitian didapatkan pada massa 60 g dan waktu kontak pada hari ke-7 untuk setiap parameter (kecuali pH di hari ke-14). Hasil perhitungan efektivitas penyerapan logam Fe dan Mn menunjukkan tanaman coontail efektif dalam menurunkan kadar logam Fe dan Mn dengan efektivitas tertinggi kadar Fe sebesar 99,22 % dan kadar Mn sebesar 92,99 % di variasi massa 60 g dan hari ke-7 pada volume pengujian 3 L air asam tambang.

Kata Kunci : Air Asam Tambang, Fitoremediasi, Coontail, Logam Berat, Efektivitas Penyerapan

Sitasi : 69(2004-2025)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY	viii
RINGKASAN	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvx
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Proses Penambangan Batubara.....	4
2.2 Air Asam Tambang (AAT)	5
2.3 Pengelolaan Air Asam Tambang.....	7
2.4 Kolam pengendapan lumpur (KPL)	8
2.5 Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LHK) Nomor 5 Tahun 2022	9
2.5.1 Derajat Keasamaan (pH)	9
2.5.2 <i>Total Suspended Solid</i> (TSS).....	10
2.5.3 Besi (Fe)	10
2.5.4 Mangan (Mn).....	11
2.6 Fitoremediasi	11
2. 6.1 Mekanisme Fitoremediasi	12
2.7 Tanaman Coontail (<i>Ceratophyllum demersum</i> L.).....	14

2.8	<i>Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)</i>	15
2.9	Uji Kruskal-Wallis	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		18
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.2	Alat dan Bahan	18
3.2.1	Alat	18
3.3.2	Bahan.....	18
3.3	Prosedur Penelitian	18
3.3.1	Sampling.....	18
3.3.1.1	Sampling Air asam tambang	18
3.3.1.2	Sampling Tanaman Coontail.....	19
3.3.2	Persiapan dan Aklimatisasi Tanaman Coontail	19
3.3.3	Analisis Pendahuluan.....	19
3.3.4	Perlakuan Fitoremediasi	20
3.3.5	Pengujian pH.....	20
3.3.6	Pengujian TSS.....	20
3.3.7	Pembuatan larutan standar Fe dan Mn.....	21
3.3.8	Analisis Kandungan Logam berat	21
3.4	Analisis data.....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		24
4.1	Nilai pH setelah Fitoremediasi menggunakan Tanaman Coontail.....	24
4.2	Nilai TSS setelah Fitoremediasi menggunakan Tanaman Coontail.....	26
4.3	Kadar Fe dan Mn setelah Fitoremediasi menggunakan Tanaman Coontail ..	27
4.4	Analisis Pengaruh Variasi Massa dan Waktu Kontak Fitoremediasi terhadap pH, TSS, Fe dan Mn.....	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		35
5.1	Kesimpulan.....	35
5.2	Saran.....	35
DAFTAR PUSTAKA		36
LAMPIRAN.....		42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Mekanisme Okidasi Pirit.....	7
Gambar 2. Tanaman Coontail	14
Gambar 3. Skema umum komponen alat AAS	16
Gambar 4. Denah KPL MT 01.....	18
Gambar 5. Perlakuan Fitoremediasi.....	20
Gambar 6. Pengaruh Massa dan Waktu Fitoremediasi terhadap pH	24
Gambar 7. Pengaruh Massa dan Waktu Fitoremediasi terhadap TSS	26
Gambar 8. Pengaruh Massa dan Waktu Fitoremediasi terhadap Kadar Fe.....	28
Gambar 9. Pengaruh Massa dan Waktu Fitoremediasi terhadap Kadar Mn	28
Gambar 10. Efektivitas Penghilangan Logam Fe	31
Gambar 11. Efektivitas Penghilangan Logam Mn.....	31
Gambar 12. Nilai BCF Fe	32
Gambar 13 . Nilai BCF Mn.....	32

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Baku Mutu Air Limbah Pertambangan Batubara dan Lignit.....	9
Table 2. Hasil uji Kruskal-Wallis untuk Variasi Massa.....	33
Tabel 3. Hasil uji Kruskal-Wallis untuk Variasi Waktu Kontak	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Aklimatisasi Tanaman coontail	43
Lampiran 2. Skema Perlakuan Fitoremediasi	43
Lampiran 3. Skema Pengujian pH	44
Lampiran 4. Skema Pengujian <i>Total Suspended Solid</i> (TSS)	44
Lampiran 5. Skema Pembuatan larutan standar	45
Lampiran 6. Skema Analisis Kadar Fe dan Mn pada Air	49
Lampiran 7. Skema Analisis kadar Fe dan Mn pada Tanaman.....	50
Lampiran 8. Perhitungan Larutan Standar Fe dan Mn	51
Lampiran 9. Kurva Kalibrasi.....	53
Lampiran 10. Absorbansi Hasil Pengujian.....	64
Lampiran 11. Contoh Perhitungan Konsentrasi	66
Lampiran 12. Contoh Perhitungan TSS	69
Lampiran 13. Data Hasil Pengujian	71
Lampiran 14. Perhitungan Efektivitas.....	76
Lampiran 15. Perhitungan BCF	77
Lampiran 16. Uji Normalitas	79
Lampiran 17. Uji Homogenitas.....	81
Lampiran 18. Uji Kruskal Wallis	82
Lampiran 19. Dokumentasi Kegiatan	83

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penambangan merupakan kegiatan mengekstraksi material bernilai ekonomis dari dalam bumi, biasanya dari badan bijih, lapisan, terumbu, atau endapan placer (Masere and Zvikwete, 2023). Salah satunya adalah penambangan batubara di Indonesia yang mengalami peningkatan produksi dari tahun ke tahun, batubara juga menempati posisi penting dalam membantu pencapaian target pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Namun, kegiatan penambangan batubara ini dapat menimbulkan dampak buruk, salah satunya karena kegiatan eksploitasinya dapat menyebabkan terbentuknya air asam tambang (Nurwanty *et al.*, 2022). Air asam tambang yang dibiarkan tanpa pengelolaan dan pengawasan yang memadai dapat menimbulkan bahaya bagi lingkungan karena mampu mencemari perairan. Air asam tambang yang terbentuk dipengaruhi oleh tiga faktor utama yaitu air, udara dan mineral-mineral sulfida (Anshariah dkk, 2015).

Air asam tambang merupakan air limbah yang terbentuk dari aktivitas penambangan ketika terpaparnya batuan tambang yang mengandung mineral sulfida yang ketika terkontak dengan oksigen dan air yang menyebabkan terjadinya reaksi oksidasi sulfida, serta dengan adanya bakteri pengoksidasi, seperti *Acidithiobacillus* akan bertindak sebagai katalisator yang akan meningkatkan laju oksidasi mineral sulfida. Selanjutnya, sulfat dan logam berat terlepas ke dalam air dan menyebabkan pH air dan tanah menurun (Sekarjannah *et al.*, 2023). Keberadaan air asam tambang mengakibatkan terancamnya ekosistem perairan, menurunkan kualitas air, dan berpotensi membahayakan kesehatan manusia dan fauna perairan (Simamora, 2024). Peraturan Menteri LHK No. 5 Tahun 2022 menetapkan standar kualitas air limbah tambang batubara dan lignit yang diolah melalui lahan basah buatan sebelum dibuang ke perairan, yaitu pH 6-9, TSS maksimal 200 mg/L, Fe maksimal 7 mg/L, dan Mn maksimal 4 mg/L.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan air asam tambang adalah fitoremediasi. Fitoremediasi adalah metode yang melibatkan tumbuhan tertentu untuk dapat menyerap, mengakumulasi, dan mengubah senyawa beracun menjadi bentuk yang tidak terlalu berbahaya bagi lingkungan (Simamora, 2024). Fitoremediasi menjadi metode yang memiliki

banyak kelebihan, yakni secara ekonomi biaya pemasangan dan pemeliharaannya rendah, ramah terhadap lingkungan, dan mudah dikelola (Yusuf dkk, 2023). Penelitian untuk mengatasi permasalahan air asam tambang dengan fitoremediasi menggunakan tumbuhan sudah pernah dilakukan dan memberikan hasil bahwa fitoremediasi dapat digunakan dalam pengelolaan limbah air asam tambang (Simamora, 2024).

Tumbuhan akuatik secara umum memiliki kemampuan menetralkan komponen tertentu sehingga sangat bermanfaat dalam proses pengolahan limbah cair salah satunya adalah coontail. Tumbuhan coontail (*Ceratophyllum demersum*) dikenal juga sebagai hornwort merupakan tanaman air yang terendam, mengapung bebas, tidak memiliki akar, dan tumbuh di air yang tenang atau bergerak lambat (Kastratović *et al.*, 2014). Tumbuhan yang terendam lebih bermanfaat dalam menghilangkan pencemaran logam berat di lingkungan perairan, karena tumbuhan terendam dapat mengakumulasi logam berat dalam jumlah yang lebih banyak. Coontail merupakan tumbuhan makrofita yang terendam dan dapat digunakan untuk pemulihan air yang terkontaminasi logam berat (Dogan *et al.*, 2018). Coontail juga mampu beradaptasi dengan baik di lingkungan yang tercemar, sehingga sebagai tanaman air dapat digunakan sebagai fitoremediator (Abu, 2017). Berdasarkan penelitian Al-Edani *et al.*, (2019) didapatkan bahwa tanaman coontail dapat menyerap logam (Cd, Cu, Fe dan Pb) lebih baik dari tanaman berakar, yakni tanaman alang-alang (*Phragmites australis* L.) dan rumput teki (*Cyperus rotundus* L.).

Menurut Suryadi dkk., (2017) didapatkan hasil bahwa coontail memiliki kemampuan dalam meningkatkan pH pada air limbah. Berdasarkan penelitian Kastratović *et al.*, (2014) menyatakan bahwa coontail dapat menyerap beberapa jenis logam diantaranya logam Mn, Zn, Ni, Cr, Co, Cu, Pb, V, Sr dan Cd dengan akumulasi kadar logam yang didapat lebih tinggi di daun dari kadar logam di batang untuk setiap logam kecuali pada logam Cd dan Sr. Menurut Mohan *et al.*, (2023) juga membuktikan bahwa coontail efektif dalam mengurangi kadar logam Fe dan Mn dengan persentase penurunan sebesar 46,30 % untuk Fe dan 47,06 % untuk Mn selama 60 hari pengamatan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh massa dan waktu kontak fitoremediasi terhadap peningkatan pH dan penurunan

kadar Fe, Mn dan TSS, serta menentukan efektivitas coontail sebagai fitoremediator dalam mengakumulasi logam berat Fe dan Mn.

1.2 Rumusan Masalah

Air asam tambang merupakan limbah hasil operasional kegiatan penambangan yang dapat mengakibatkan terancamnya ekosistem perairan, menurunkan kualitas air, dan berpotensi membahayakan kesehatan manusia dan fauna perairan. Pengelolaan air asam tambang sangat penting untuk menjaga kualitas perairan sesuai baku mutu. Fitoremediasi dengan menggunakan tanaman coontail menjadi salah satu metode yang murah dan ramah lingkungan untuk mengelola air asam tambang. Tanaman coontail adalah tumbuhan makrofita yang terendam dan dapat digunakan untuk pemulihan air yang terkontaminasi logam berat. Sehubungan dengan itu, diperlukan penelitian tentang efektivitas tanaman terendam seperti coontail sebagai fitoremediator dalam mengakumulasi logam Fe dan Mn dalam air asam tambang, serta bagaimana pengaruh variasi massa dan waktu kontak dalam meningkatkan pH, dan menurunkan TSS, logam berat (Fe, dan Mn).

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk menentukan pengaruh variasi massa dan waktu kontak fitoremediasi menggunakan tanaman coontail dalam meningkatkan pH, menurunkan TSS, dan logam berat (Fe dan Mn).
2. Untuk menentukan efektivitas tanaman coontail sebagai fitoremediator dalam mengakumulasi logam berat Fe dan Mn.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi potensi tanaman coontail dalam meremediasi air asam tambang sebagai upaya untuk mengatasi dampak penambangan batubara, dapat membantu perusahaan pertambangan dalam pengelolaan air asam tambang, memperluas pengetahuan serta menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu, T. (2017). A Review: Aquatic Macrophyte *Ceratophyllum demersum* L. (Ceratophyllaceae): Plant Profile, Phytochemistry and Medicinal Properties. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 6(7), 394–399. <https://doi.org/10.21275/art20174667>
- Al-Edani, T., Al-Tameemi, H., and Jasim, Z. (2019). Phytoremediation of Heavy Metals (Cd, Cu, Fe, and Pb) by Using Aquatic Plants in Shatt Al-Arab River. *Engineering and Technology Journal*, 37(3C), 365–369. <https://doi.org/10.30684/etj.37.3c.10>
- Aini, Z. (2023). Fitoremediasi Air Limbah Industri Pupuk Di Aceh Menggunakan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*). *Tugas Akhir*. Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Banda Aceh.
- Anshariah, A. (2015). Studi Pengelolaan Air Asam Tambang Pada Pt. Rimau Energy Mining Kabupaten Barito Timur Provinsi Kalimantan Tengah. *Jurnal Geomine*, 1(1), 46–54. <https://doi.org/10.33536/jg.v1i1.9>
- Baktiar, A. H., dan Basith, A. (2020). Analisis Kandungan *Total Suspended Solid* (TSS) Menggunakan Citra Satelit Worldview 3 diperairan Karimunjawa. *Elipsoida : Jurnal Geodesi Dan Geomatika*, 3(02), 112–118. <https://doi.org/10.14710/elipsoida.2020.9210>
- Badan Standar Nasional (BSN). (2008). 6989.59: 2008 *tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah*. Jakarta: Badan Standar Nasional.
- Chen, M., Zhang, L.L., Li, J., He, X.J., and Cai, J.C. (2015). Bioaccumulation and tolerance characteristics of a submerged plant (*Ceratophyllum demersum* L.) exposed to toxic metal lead. *Ecotoxicol and Environmetal Safety*. 122, 313–321.
- Badan Standar Nasional (BSN). (2019). SNI 6989.3: 2019 *tentang Cara Uji Padatan Tersuspensi Total atau Total Suspended Solids/ (TSS) Secara Gravimetri Pada Air dan Air Limbah*. Jakarta: Badan Standar Nasional.
- Badan Standar Nasional (BSN). (2019). SNI 6989.11: 2019 *tentang Cara Uji Kadar Logam Terlarut dan Logam Total Secara AAS pada Air dan Air Limbah*. Jakarta: Badan Standar Nasional.
- Badan Standar Nasional (BSN). (2019). SNI 6989.84: 2019 *tentang Cara Uji Derajat Keasaman (pH) dengan menggunakan pH Meter pada Air dan Air Limbah*. Jakarta: Badan Standar Nasional.
- Chukwu, E. C., and Gulser, C. (2025). Morphological, physiological, and anatomical effects of heavy metals on soil and plant health and possible remediation technologies. *Soil Security*, 18(December 2024), 100178. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2025.100178>
- Das, P. K. (2018). Phytoremediation and Nanoremediation : Emerging Techniques for Treatment of Acid Mine Drainage Water. *Defence Life Science Journal*, 3(2), 190. <https://doi.org/10.14429/dlsj.3.11346>
- Dewi, D. C., Mahmudah, Ri., Kumalawati, O. R., dan Amalullia, D. (2019). Analisis

- Kadar Timbal (Pb) pada Bedak Tabur dan Eyeshadow dengan Variasi Metode Destruksi dan Zat Pengoksidasi dengan Spektroskopi Serapan Atom. *Alchemy*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.18860/al.v7i1.7016>
- Dogan, M., Karatas, M., and Aasim, M. (2018). Cadmium and lead bioaccumulation potentials of an aquatic macrophyte *Ceratophyllum demersum* L.: A laboratory study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148(October 2017), 431–440. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.10.058>
- Faizan, M., Alam, P., Hussain, A., Karabulut, F., Tonny, S. H., Cheng, S. H., Yusuf, M., Adil, M. F., Sehar, S., Alomrani, S. O., Albalawi, T., & Hayat, S. (2024). Phytochelatins: Key regulator against heavy metal toxicity in plants. *Plant Stress*, 11(December 2023), 100355.
- Farizky, C. K., Fitriani, M., Hidayati, N. V., Rahardja, B. S., dan Andriyono, S. (2022). Studi Bioakumulasi Logam Berat (Pb, Cd, Dan As) pada Rumpun Laut (*Caulerpa racemosa*) Dari Tambak Tradisional Di Brondong, Lamongan. *Jurnal Perikanan Unram*, 12(4), 722–733.
- Febrina, L., dan Ayuna, A. (2019). Studi Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dalam Air Tanah Menggunakan Saringan Keramik. *Jurnal Teknologi*, 7(1), 36–44.
- Firdaus, F., Suroso, E., Alimuddin, A., Bakri, S., Yuwono, S. D., dan Utomo, T. P. (2023). Evaluasi Kinerja Kolam Pengendap Lumpur (KPL) Batubara di Stockpile PT Bukit Asam Tbk Unit Pelabuhan Tarahan. *Jurnal Hutan Tropis*, 11(1), 84. <https://doi.org/10.20527/Jht.V11i1.15995>
- Fitriyanti, R. (2015). Pertambangan Batubara: Dampak Lingkungan, Sosial dan Ekonomi. *Jurnal Redoks*, 1(1), 34–40.
- Hariyadi., Kamil, M., dan Ananda, P. (2020). Sistem Pengecekan pH Air Otomatis Menggunakan Sensor pH Probe Berbasis Arduino Pada Sumur Bor. *Rang Teknik Journal*, 3(2y), 1–9.
- Herniwanti. (2021). *Pengelolaan Limbah Air Asam Tambang (Aat): Acid Mine Drainage (Amd) Waste Management*. Lombok: FP. Aswaja.
- Inagurasi, L. H. (2015). Tambang Batu Bara Oranje Nassau, Kalimantan Selatan, dalam Pandangan Arkeologi Industri. *Amerta*, 33(2), 111. <https://doi.org/10.24832/amt.v33i2.219>
- Jozefczak, M., Remans, T., Vangronsveld, J., and Cuypers, A. (2012). Glutathione is a key player in metal-induced oxidative stress defenses. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(3), 3145–3175.
- Karim, M. A., Juniar, H., dan Ambarsari, M. F. P. (2018). Adsorpsi Ion Logam Fe dalam Limbah Tekstil Sintesis dengan menggunakan Metode Batch. *Jurnal Distilasi*, 2(2), 68. <https://doi.org/10.32502/jd.v2i2.1205>
- Kastratović, V., Krivokapić, S., Bigović, M., Durović, D., and Blagojević, N. (2014). Bioaccumulation and translocation of heavy metals by *Ceratophyllum demersum* from the Skadar Lake, Montenegro. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 79(11), 1445–1460.

- Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia. (2022). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2022 tentang Pengolahan Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pertambangan Dengan Menggunakan Metode Lahan Basah Buatan*. Jakarta. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/210853/permen-lhk-no-5-tahun-2022>
- Keskinkan, O., Goksu, M. Z. L., Basibuyuk, M., and Forster, C. F. (2004). Heavy metal adsorption properties of a submerged aquatic plant (*Ceratophyllum demersum*). *Bioresource Technology*, 92(2), 197–200.
- Khoirunnisa, A., Nur, A. V., Rahmasari, K. S., dan Wirasti. (2023). Analisis Kadar Seng (Zn) dan Besi (Fe) Pada Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forssk.) Berdasarkan Tempat Tumbuh dengan Metode AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry). *Bioma*, 23(2), 106-112.
- Kusdarini, E., Sania, P. R., & Budianto, A. (2024). Netralisasi Air Asam Tambang Menggunakan Pengolahan Aktif dan Pasif. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 808–815. <https://doi.org/10.14710/jil.22.3.808-815>
- Lidiana, R., Suprayogi, D., dan Nengse, S. (2022). Kemampuan Tanaman Genjer (*Limnocharis flava*) dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Timbal pada Aor Limbah Artifisial. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 8(1), 72-83.
- Mardalena. Faizal, M., and Napoleon, A. (2018). The Absorption of Iron (Fe) and Manganese (Mn) from Coal Mining Wastewater with Phytoremediation Technique Using Floating Fern (*Salvinia natans*), Water Lettuce (*Pistia stratiotes*) and Water Hyacinth (*Eichornia crassipes*). *Biological Research Journal*, 32(1), 2477–1392.
- Nasution, D. A., Yahya, H., Rahman, A. dan Irhami. (2024). The Effectiveness of Coontail Plant (*Ceratophyllum demersum* L.) for Removal of Iron (Fe) Artificial Waste . *SJAT: Serambi Journal of Agricultural Technology*, 5(1), 59–63.
- Nobahar, A., Fitas, E. T., Costa, M. C., and Carlier, J. D. (2024). Acid Mine Drainage Bioremediation Using Bacteria Enriched From The Confluence Zone Between Its Flow And Treated Sewage. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/s13762-024-06160-z>
- Mariwy, A., Sunarti, S., dan Tewernussa, C. T. (2024). Bioakumulasi Ion Logam Pb (II) oleh Tumbuhan Mangrove (*Sonneratia alba*) di Ambon. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia Studi* 20(2), 267–277.
- Masere, T. P., and Zvikwete, K. (2023). Impacts of Coal Mining on Deka River Water Quality and Livelihoods of the Surrounding Community. *International Journal of Environmental Pollution and Environmental Modelling*, 6(3), 160–176.
- Mohan, J., Pandey, A., & Singh, V. (2023). Application of Aquatic Plant *Ceratophyllum demersum* (L.) in Phytoremediation of Wastewater. *Agricultural Science Digest*, 43(5), 655–660. <https://doi.org/10.18805/ag.D-5443>

- Mohanpuria, P., Rana, N. K., and Yadav, S. K. (2007). Cadmium Induced Oxidative Stress Influence on Glutathione Metabolic Genes of *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze. *Wiley InterScience*.
- Nata, R. A., dan Restiawati, T. (2019). Media Filtrasi untuk Penurunan Kandungan (Fe, Mn) serta pH di PT. Allied Indo Coal Jaya Parambahan, Sawahlunto, Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*, 4(1), 182–186.
- Nurwanty, I. I., Afinnas, M. A. A., Rachmawati, I., Hepasari, A. N., and Fauzi, M. (2022). Coal Business in Indonesia Dilemma of Environmental Sustainability and Economic Development. *International Journal of Multicultural and Multireligious Understanding*, 9(3), 245–254.
- Padmaningrum, R.T., T. Aminatun, dan Yuliati. (2014). Pengaruh Biomasa Melati Air (*Echinodorus paleaefolius*) dan Teratai (*Nyphae firecrest*) terhadap Kadar Fosfat, BOD, COD, TSS dan Derajat Keasaman Limbah Cair Laundry. *Jurnal Penelitian Saintek*. 19 (2): 64-74.
- Paulina, Maria dan Faradika, M. (2024). Fitoremediasi dengan Berbagai Jenis Tumbuhan: Review. *Journal of Forest and Environment Science*, 4(1), 127–131.
- Pranoto. (2013). Fitoteknologi Dan Ekotoksikologi Dalam Pengolahan Sampah Menjadi Kompos. *Indonesian Journal of Conservation*, 2(1), 66–73.
- Putri, D., dan Juswardi, J. (2023). Efektivitas kombinasi *Pistia stratiotes* L. dan *Salvinia molesta* Mitchell dalam fitoremediasi air asam tambang batubara. *Sriwijaya Bioscientia*, 4(1), 32–37.
- Quraissy, A., dan Hasni, N. (2021). Analisis Kruskal-Wallis Terhadap Kemampuan Numerik Siswa. *VARIANSI: Journal of Statistics and Its Application on Teaching and Research*, 3(3), 156–161.
- Rachmawati, R., Yona, D., dan Kasitowati, R. D. (2018). Potensi mangrove *Avicennia alba* sebagai agen fitoremediasi timbal (Pb) dan tembaga (Cu) di Perairan Wonorejo, Surabaya. *Depik*, 7(3), 227–236.
- Ramdani, N., Mustam, M. dan Azis, H. A. (2023). *Bahan Ajar Kimia Instrumentasi*. Banyumas: Omera Pustaka.
- Rozi, F., Irma, dan Maulidiya, D. (2022). Analisis Perubahan Inflasi Beberapa Kota Besar di Indonesia dengan Menggunakan Uji Kruskal-Wallis. *Multi Proximity: Jurnal Statistika Universitas Jambi*, 1(2), 103–115. <https://online-journal.unja.ac.id/multiproximityhttps://doi.org/10.22437/multiproximity.v1i2.21418>
- Ruhmawati, T., Sukandar, D., Karmini, M., dan Roni, T. S. (2017). Penurunan Kadar *Total Suspended Solid* (TSS) Air Limbah Pabrik Tahu Dengan Metode Fitoremediasi. *Jurnal Permukiman*, 12(1), 25–32.
- Samanlangi, A. I. (2016). *Sistem Penambangan*. Yogyakarta: Penerbit Andi. <https://books.google.co.id/books?id=mC1LDwAAQBAJ>
- Santana, I. K. Y. T., Julyantoro, P. G. S., dan Wijayanti, N. P. P. (2018). Akumulasi Logam Berat Seng (Zn) pada Akar dan Daun Lamun *Enhalus acoroides* di Perairan Pantai Sanur, Bali. *Current Trends in Aquatic Science*, 1(1), 47.

<https://doi.org/10.24843/ctas.2018.v01.i01.p07>

- Sari, D., Arza, S., Fiona, F., Novita, N., Ega, E., & Darmawan, B. (2024). Analisis Kandungan Karbon Dioksida dan pH Pada Air. *Journal of Food Security and Agroindustry*, 2(2), 44–48. <https://doi.org/10.58184/jfsa.v2i2.279>
- Sari, D, K., Kusniawati, E., dan Srimardani, R. (2020). Peningkatan Kualitas Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit Dan Bakteri Sebagai Media Adsorpsi Dengan Metode Sedimentasi Secara Anaerob Di Pt Bukit Asam, Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Jurnal Teknik Patra Akademika*. 11(01), 13–21.
- Sarie, F., Suhartawan, B., Priana, S. E., Jasman, J., Marlina, L., Sari, M. W., Moniaga, F., Haksami, A. M. T., Taufik, M., dan utomo, B. (2024). *Pengantar Teknik Lingkungan*. Padang: CV. Gita Lenter.
- Sekarjannah, F. A., Mansur, I., Abidin, Z., and Fauzi, A. M. (2023). Phytoremediation of Acid Mine Drainage with *Melaleuca cajuputi*, *Nauclea orientalis*, and *Vetiveria zizanioides* in Floating Treatment Wetland. *HAYATI Journal of Biosciences*, 30(3), 491–499. <https://doi.org/10.4308/hjb.30.3.491-499>
- Setiawati, M. R., Silfani, Y., Kamaluddin, N. N., dan Simarmata, T. (2021). Aplikasi Pupuk Urea, Pupuk Hayati Penambat Nitrogen dan Amelioran Untuk Meningkatkan pH, C-Organik, Populasi Bakteri Penambat Nitrogen dan Hasil Jagung pada Inceptisols. *Soilrens*, 18(2), 1–10.
- Simamora, E. (2024). Literature Study on Coal Acid Mine Drainage Management Using Phytoremediation Method. *International Journal of Regional Innovation*, 4(1), 32–37. <https://doi.org/10.52000/ijori.v4i1.99>
- Singh, M. C. O. P. (2016). Coal mining in northeast India: an overview of environmental issues and treatment approaches. *International Journal of Coal Science & Technology*, 3(2), 87–96. <https://doi.org/10.1007/s40789-016-0126-1>
- Sugito, S., and Marliyana, S. D. (2021). Uji Performa Spektrofotometer Serapan Atom Thermo Ice 3000 Terhadap Logam Pb Menggunakan CRM 500 dan CRM 697 di UPT Laboratorium Terpadu UNS. *Indonesian Journal of Laboratory*. 4(2), 67. <https://doi.org/10.22146/ijl.v4i2.67438>
- Sukono, G. A. B., Hikmawan, F. R., Evitasari, E., dan Satriawan, D. (2020). Mekanisme Fitoremediasi: Review. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 2(2), 40–47. <https://doi.org/10.35970/jppl.v2i2.360>
- Suryadi., Apriani, I., dan Kadaria, U. (2017). Uji Tanaman Coontail (*Ceratophyllum demersum*) sebagai Agen Fitoremediasi Limbah Cair Kopi. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 5(1). <https://doi.org/10.26418/jtlb.v5i1.18541>
- Suwarsono, Nf., Haryani, N. S., Prasasti, I., Fitriana, H. L., Priyatna, M., and Khomarudin, M. R. (2018). Detecting The Area Damage Due to Coal Mining Activities Using Landsat Multitemporal (Case Study: Kutai Kartanegara, East Kalimantan). *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 14(2), 151. <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2017.v14.a2851>

- Syed, I., Fatima, H., Mohammed, A., and Siddiqui, M. A. (2018). *Ceratophyllum demersum* a Free-floating Aquatic Plant: A Review. *Indian Journal of Pharmaceutical and Biological Research*, 6(02), 10–17. <https://doi.org/10.30750/ijpbr.6.2.3>
- Tandiarrang, J., Devy, S. D., dan Trides, T. (2016). Studi Perbandingan Penggunaan Tawas dalam Pengolahan Air Asam Tambang di PT. Kaltim (Research Ratio Employing Aluminium Sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) and Calcium Hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) In Processing Acid Mine Drainage At PT Kaltim Diamond Coal Subdistri. *Jurnal Teknologi Mineral*, 4(1), 23–30.
- Vyawahre, A., and Rai, S. (2016). ACID Mine Drainage : A Case Study of An Indian Coal Mine Acid Mine. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 2(2), 2395-1990 |.
- Wibowo, Y. G., Fadhillah, R., Syarifuddin, H., Maryani, A. T., and Putri, I. A. (2021). A Critical Review of Acid Mine Drainage Treatment. *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 18(3), 524–535. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v18i3.524-535>
- Yunita, R., Rosadi, F. N., Sari, W. P., dan Ramadhan, N. (2024). *Aspek Biologi, Genetik, Budidaya, dan Pascapanen Tanaman Bunga Matahari (Helianthus Annuus)*. Yogyakarta: Deepublish Digital.
- Yusuf, W. A., Lina, H., Wihardjaka, A., Harsanti, E. S., Adriany, T. A., Dewi, T., Pramono, A., Kurnia, A., dan Y, I. F. (2023). *Kerusakan dan Pencemaran Lingkungan Pertanian: Karakteristik dan Penanggulangannya*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Yusron, M., Lay, B. W., Fauzi, A. M. dan Santosa, D. A. (2009). Isolasi Dan Identifikasi Bakteri Pereduksi Sulfat pada Area Pertambangan Batu Bara Muara Enim, Sumatera Selatan. *Jurnal Matematika Sains Dan Teknologi*, 10(1), 26–35.
- Zakhyar, M. F., Syaputra, R., Agustin, F., Broto, A., Andriansyah, R., Khasanah, I. N., dan Zahwa, A. F. (2024). Karakterisasi Pembentukan Air Asam Tambang Pada Endapan Batubara Formasi Warukin Kalimantan Selatan. *Unistek: Jurnal Pendidikan Dan Aplikasi Industri*, 11(1), 72–80.