

**FITOREMEDIASI AIR ASAM TAMBANG MENGGUNAKAN
GANGGANG HIJAU (*Hydrilla verticillata*) DI PT BUKIT ASAM Tbk.**

SKRIPSI

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



AWNY ATHALIA SYAHRANI

08031282126054

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

2025

HALAMAN PENGESAHAN

**FITOREMEDIASI AIR ASAM TAMBANG MENGGUNAKAN
GANGGANG HIJAU (*Hydrilla verticillata*) DI PT BUKIT ASAM Tbk.**

SKRIPSI

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

Diusulkan Oleh :

AWNY ATHALIA SYAHRANI

08031282126054

Indralaya, 22 Mei 2025

Dosen 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 hasil Awny Athalia Syahrani (08031282126054) dengan judul "Fitoremediasi Air Asam Tambang Menggunakan Ganggang Hijau (*Hydrilla verticillata*) di PT Bukit Asam Tbk." telah disidangkan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 21 Mei 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 22 Mei 2025

Ketua :

1. Dr. Fatma, M.Si

NIP. 1962707151991022001

()

Anggota :

1. Dr. Suheryanto, M.Si

NIP. 196006251989031006

()

2. Prof. Dr. Elfita, M.Si

NIP. 196903261994122001

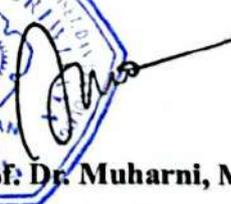
()

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 : Awny Athalia Syahrani

NIM : 08031282126054

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 (SI) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lainnya. 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

Yang menyatakan,



Awny Athalia Syahrani
NIM.08031282126054

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

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

Nama Mahasiswa : Awny Athalia Syahrani

Nim : 08031282126054

Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya "Fitoremediasi Air Asam Tambang Menggunakan Ganggang Hijau (*Hydrilla verticillata*) di PT Bukit Asam Tbk." dengan hak bebas royalti non eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, 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.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 21 Mei 2025

Yang Menyatakan,



Awny Athalia Syahrani

NIM. 08031282126054

HALAMAN PERSEMBAHAN

“it’s not about perfect. It’s about effort.”

“Keberhasilan adalah perjalanan panjang dari satu kegagalan ke kegagalan berikutnya tanpa kehilangan semangat.”

-Winston Churchill

“Masa-masa sulitmu-lah yang akan mengajarkanmu bagaimana menjadi kuat dan bagaimana terus berharap kepada Allah.”

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”

(QS. Al-Baqarah : 286)

Dengan rasa syukur yang mendalam, skripsi ini penulis persembahkan untuk :

1. Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, dan kekuatan yang diberikan sepanjang proses penyusunan skripsi ini.
2. Orang Tua tercinta (mama dan ayah) yang selalu mendoakan, memberikan kasih sayang, dukungan dan semangat
3. Adik penulis yang selalu memberi semangat
4. Dosen Pembimbing (Bapak Dr. Suheryanto, M.Si)
5. Seluruh Dosen Jurusan Kimia
6. Almamater (Universitas Sriwijaya)
7. Untuk diriku sendiri—yang tetap betahan, bahkan saat rasanya ingin menyerah

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Fitoremediasi Air Asam Tambang Menggunakan Ganggang Hijau (*Hydrilla verticillata*) di PT Bukit Asam Tbk.” Penyusunan skripsi ini ditunjukkan untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia Universitas Sriwijaya.

Proses penyusunan skripsi ini tentunya bukan hal yang mudah bagi penulis. Dalam perjalanannya, penulis menghadapi berbagai rintangan, mulai dari pencarian dan pengumpulan literatur, pelaksanaan penelitian, proses pengambilan dan pengolahan data, hingga menyusunnya dalam bentuk tulisan yang utuh. Namun, berkat kesabaran, kerja keras, dan rasa tanggung jawab sebagai mahasiswa, serta dukungan dari berbagai pihak, akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih yang mendalam kepada Bapak Dr. Suheryanto, M.Si yang telah banyak membimbing, membantu, memberikan motivasi, saran, serta petunjuk dengan sangat sabar kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, pertolongan dan kekuatan yang diberikannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Tanpa izin dan kehendak-Nya, mustahil kiranya penulis mampu melewati setiap proses dari awal penyusunan hingga sampai pada tahap akhir.
2. Orang tua tercinta Mama (Wenny Siliwangi, S.E) dan Ayah (M. Amin Alimin, S.E., M.Si.) yang tak pernah lelah mendoakan, memberikan kasih sayang, dukungan, semangat, dan selalu menjadi sumber kekuatan disetiap langkah penulis. Mama dan Ayah adalah alasan terbesar penulis mampu bertahan dan menyelesaikan setiap proses dalam penulisan skripsi ini. Terimakasih telah menjadi tempat pulang terbaik, sumber semangat terkuat, dan alasan utama untuk tidak menyerah. Segala pencapaian ini adalah buah dari kasih sayang dan pengorbanan kalian. Semoga karya ini dapat menjadi salah satu bentuk kecil dari rasa terima kasih dan kebanggaan untuk kalian.

3. Adik penulis (Dhifan Adli Vaitel) yang selalu memberi warna ditengah penatnya perjuangan ini, terima kasih telah menjadi sosok kecil yang penuh semangat, teruslah tumbuh menjadi pribadi yang hebat dan membanggakan. Kakak yakin, dengan semangat yang kamu miliki, kamu bisa melewati segala tantangan yang ada. Jangan pernah ragu pada dirimu sendiri, terus berjuang dan percaya bahwa segala usaha yang kamu lakukan akan membawa hasil yang indah.
4. Bapak Prof. Hermansyah, M.Si., Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya
5. Ibu Prof. Dr. Muharni, M. Si. selaku ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya
6. Bapak Dr. Addy Rachmat, M. Si. selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya
7. Bapak Dr. Suheryanto, M.Si selaku dosen pembimbing tugas akhir. Terimakasih atas segala bimbingan, arahan, serta kesabaran yang telah bapak berikan kepada penulis selama proses penelitian sampai penyusunan tugas akhir ini. Bapak tidak hanya memberikan ilmu dan panduan secara akademik, namun juga motivasi dan semangat yang sangat berarti, terutama ketika penulis menghadapi berbagai kendala di tengah proses penelitian. Arahan dan masukan dari bapak sangat berarti bagi penulis dalam Menyusun tugas akhir ini dengan lebih baik. Semoga segala dedikasi, ilmu, dan ketulusan yang bapak berikan menjadi kebaikan yang tak terputus.
8. Ibu Nova Yuliasari, M.Si selaku dosen pembimbing akademik. Terima kasih telah mendampingi penulis sejak awal perkuliahan, memberikan arahan, nasihat, dan dukungan selama menempuh pendidikan di bangku perkuliahan. Terima kasih atas perhatian yang telah ibu berikan kepada penulis dan bimbingan yang selalu menjadi bagian penting dalam perjalanan akademik penulis. Semoga segala ilmu yang telah ibu berikan dapat bermanfaat bagi penulis untuk kedepannya.
9. Bapak Dr. Muhammad Said, M.T., Ibu Prof. Dr. Elfita, M.Si. dan Ibu Dr. Fatma, M.Si. selaku pembahas sekaligus penguji sidang sarjana. Terima kasih atas ilmu, saran, serta bimbingannya yang telah bapak dan ibu berikan kepada

penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan lebih baik.

10. Seluruh Dosen FMIPA Kimia yang telah mendidik dan membimbing selama di bangku perkuliahan. Terima kasih atas ilmu yang telah bapak dan ibu berikan, semoga ilmu tersebut dapat bermanfaat bagi penulis untuk seterusnya.
11. Kak Iin dan mbak Novi, Selaku Admin Jurusan Kimia FMIPA. Terima kasih banyak atas bantuannya dalam mengurus dan mengatur jadwal pelaksanaan seminar sampai sidang skripsi sehingga semuanya dapat terlaksana dengan baik.
12. Staf Analis Laboratorium Kimia FMIPA UNSRI yang telah banyak memberikan bantuan selama masa perkuliahan.
13. Seluruh keluarga besar yang telah memberikan dukungan, semangat dan bantuan selama proses penelitian sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
14. Teman-teman seperjuangan “Buntu’s” (Cecil, Manda, Kyaa, Cici, Aan, Aga, Titan, Gilsat, AditW). Terima kasih untuk semua momen yang udah kita lewatin bareng-bareng selama perkuliahan, untuk semua suka duka yang kita lewatin bersama. Terima kasih telah membuat hari hari penulis menjadi lebih berwarna dikala pusingnya menghadapi dunia perkuliahan. Tapi, berkat kalian seberapa sulit masalah yang ada semuanya akan terasa baik baik saja. Walaupun udah banyak momen yang kita lewatin bersama, penulis harap itu semua bukan akhir dari perjalanan, masih banyak hal lain yang bisa kita jalanin bareng, masih banyak tantangan baru yang belum kita coba, masih banyak pengalaman baru yang akan kita hadapi. jadi, walaupun nanti kita ada di tempat yang berbeda penulis harap pertemanan kita tidak berhenti sampai disini. Terima kasih sudah menjadi bagian penting dari perjalanan ini. *love u guys <3*.
15. Teman teman SMAN 5 Bekasi (Qifa, Dihya, Zahra) Terima kasih sudah bertahan sejauh ini, meskipun waktu dan kesibukan sering memisahkan, dukungan dan semangat dari kalian sangat berarti bagi penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
16. Sesi (Ananda Cecilia Recoba). Terima kasih sudah bertahan sejauh ini dengan banyaknya masalah yang gak ada selesainya. Terima kasih sudah tetap ada

disaat stressnya masa masa magang dengan segala permasalahan yang ada. Kita pernah ada di titik capek menghadapi semuanya dan cuma bisa nangis, tapi sekarang kita bisa sampai di tahap ini dan bisa ngelewatin semuanya bareng. Mungkin awalnya semuanya terasa berat, tapi ternyata kita bisa kok ngelewatin itu semua walaupun terkadang kenyataan ga sesuai ekspektasi kita.

17. Diyan Priyani (Dey) teman penulis selama perkuliahan. Terimakasih telah menjadi bagian dari perjalanan perkuliahan penulis yang penuh warna ini, dengan banyak hal yang sudah kita lewati bersama.
18. Zesika Ananda Putri terima kasih sudah menjadi teman seperjuangan yang luar biasa dalam perjalanan penelitian ini, dengan melewati proses yang cukup panjang dan penuh tantangan.
19. Teman Magang PT Bukit Asam terima kasih untuk semua yang telah dilewati bersama, dengan pengalaman yang kita punya semoga bermanfaat untuk kita kedepannya.
20. PT Bukit Asam (Jajaran manajemen dan staf) Terima kasih kepada kakak-kakak satuan kerja pengelolaan lingkungan (kak asef, kak abi, kak erwin, kak wihar, kak yudha, pak yogi, pak dll.) terima kasih atas bantuannya dalam proses penelitian penulis, terima sudah mau direpotkan dalam proses pengambilan sampel. Terima kasih juga untuk satker laboratorium PAB atas segala fasilitas yang telah diberikan untuk mendukung proses penelitian penulis sehingga bisa mendapatkan data data yang diperlukan. Tak lupa juga untuk satuan kerja Briket dan PHRDAS yang sudah memberikan ilmu dan pengalaman untuk penulis.
21. Wadahku untuk tumbuh dan berkembang HIMAKI (Himpunan Mahasiswa Kimia) FMIPA UNSRI. Terima kasih untuk kesempatan, dukungan, dan pengalaman berharga yang telah diberikan selama penulis menjadi bagian dari keluarga ini. Bersama kalian, penulis belajar banyak hal mengenai kerja sama, tanggung jawab, dan solidaritas. Semoga HIMAKI UNSRI terus menjadi wadah yang menginspirasi generasi mahasiswa yang berdampak positif.
22. Teman Seperjuangan Angkatan 2021 (*Lawrensium*), Terima kasih untuk setiap momen yang kita lewati bersama sebagai satu Angkatan dari awal perkuliahan sampai akhir, kalian bukan hanya sebagai teman seperjuangan tetapi sebagai

keluarga yang tumbuh bersama di masa masa penting hidup ini. Terima kasih sudah saling mendukung dan membantu satu sama lain sampai sejauh ini semoga kita bisa terus melangkah maju.

23. Seseorang yang pernah hadir dan kemudian pergi, terima kasih untuk segala luka yang diberikan, Terima kasih telah mengajarkan bahwa tidak semua yang terlihat indah layak untuk dipertahankan. Dari kehilangan, aku belajar bahwa tidak semua yang hadir ditakdirkan untuk tinggal, dan tidak semua perpisahan berarti akhir dari segalanya. Terima kasih atas segala janji yang belum bisa kau tepati. Terima kasih telah menjadi bagian yang menyenangkan dan menyakitkan dari proses pendewasaan peneliti. Sampai jumpa dalam versi terbaik menurut takdir.
24. Untuk diriku sendiri—terima kasih telah bertahan sejauh ini, ditengah rasa lelah yang tak selalu terlihat, di balik senyum yang kadang hanya untuk menutupi luka. Terima kasih tetap bertahan, bahkan disaat dunia seakan tidak berpihak padamu. Semoga kamu tetap ingat bahwa setiap luka, air mata, dan perjuangan itu adalah bagian dari perjalanan menuju versi terbaik dirimu.

Demikian ucapan terimakasih ini penulis sampaikan. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya

Indralaya, 22 Mei 2025

Penulis

SUMMARY

PHYTOREMEDIATION OF ACID MINE DRAINAGE USING GREEN ALGAE (*Hydrilla verticillata*) AT PT BUKIT ASAM Tbk.

Awny Athalia Syahrani: Supervised by Dr. Suheryanto, M.Si.
Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University
xix + 85 pages, 8 figures, 7 tables, 21 attachments.

Acid mine drainage is a common environmental issue caused by coal mining activities, primarily due to its high heavy metal content, such as Fe and Mn, as well as its low pH and high Total Suspended Solids (TSS) levels. If not properly managed, Acid mine drainage can pollute the environment and disrupt aquatic ecosystems. One of the effective methods for addressing this pollution problem is phytoremediation, which utilizes aquatic plants to absorb, stabilize, and remove contaminants from the environment. This method has advantages such as being environmentally friendly, relatively low-cost, and applicable as a wastewater treatment solution in the mining industry.

This research, *Hydrilla verticillata* was used as a phytoremediation agent to increase pH, reduce TSS levels, and decrease the concentrations of Fe and Mn in acid mine drainage at PT Bukit Asam Tbk. The research was conducted by placing *Hydrilla verticillata* in acid mine drainage with variations in plant weight (15, 25, and 35 g) and contact time (4, 8, and 12 days). Parameter analysis was performed before and after phytoremediation using Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) to measure Fe and Mn concentrations.

The results showed that *Hydrilla verticillata* can increase water pH to a more neutral level, reduce TSS concentration, and decrease Fe and Mn levels in acid mine drainage. The highest phytoremediation effectiveness for Fe absorption was observed at a plant weight variation of 35 g on day 12, reaching 79.80%. Similarly, the highest Mn absorption effectiveness was also at 35 g on day 12, reaching 83.21%. The variation in plant weight had a significant effect on increasing pH levels, reducing TSS concentration, and lowering Fe and Mn levels. However, the variation in contact time did not show a significant effect on pH increase, TSS concentration reduction, or Fe reduction but did show a significant difference in Mn reduction.

Keywords : Acid mine drainage, phytoremediation, *Hydrilla verticillata*

Citation : 87 (2008-2024)

RINGKASAN

FITOREMEDIASI AIR ASAM TAMBANG MENGGUNAKAN GANGGANG HIJAU (*Hydrilla verticillata*) DI PT BUKIT ASAM TBK.

Awny Athalia Syahrani: Dibimbing oleh Dr. Suheryanto, M.Si.
Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
xix + 85 halaman, 8 Gambar, 7 Tabel, 21 lampiran.

Air asam tambang merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang sering ditemukan akibat aktivitas pertambangan batu bara, terutama karena kandungan logam berat seperti Fe dan Mn serta tingkat keasaman dan kadar TSS-nya yang tinggi. Air asam tambang yang tidak dikelola dengan baik dapat mencemari lingkungan dan mengganggu ekosistem perairan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menanggulangi masalah pencemaran ini yaitu metode fitoremediasi dimana memanfaatkan tanaman air untuk menyerap, menstabilkan, dan menghilangkan zat-zat pencemar dari lingkungan sekitar. Metode ini memiliki keunggulan karena bersifat ramah lingkungan, biayanya yang relatif rendah, dan dapat diterapkan sebagai solusi pengolahan limbah industri pertambangan.

Pada penelitian ini, tanaman *Hydrilla verticillata* digunakan sebagai agen fitoremediasi untuk meningkatkan pH, menurunkan kadar *Total Suspended Solid* (TSS), serta mengurangi kadar logam berat Fe dan Mn pada air asam tambang di PT Bukit Asam Tbk. Penelitian ini dilakukan dengan menempatkan *Hydrilla verticillata* pada air asam tambang dengan variasi berat tanaman (15, 25, dan 35 g) serta waktu kontak (4, 8, dan 12 hari). Analisis parameter dilakukan sebelum dan sesudah fitoremediasi dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) untuk mengukur kadar logam berat Fe dan Mn.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Hydrilla verticillata* mampu meningkatkan pH air menjadi lebih netral, menurunkan kadar TSS, serta menurunkan kadar Fe dan Mn pada air asam tambang. Efektivitas fitoremediasi penyerapan Fe tertinggi berada pada variasi berat 35 g (hari ke-12) sebesar 79,80% dan efektivitas penyerapan Mn tertinggi berada pada variasi berat 35 g (hari ke-12) sebesar 83,21%. Variasi berat tanaman memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kenaikan nilai pH, penurunan kadar TSS, dan penurunan kadar Fe dan Mn. Sedangkan variasi waktu kontak tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap kenaikan nilai pH, penurunan kadar TSS dan penurunan kadar Fe, namun menunjukkan perbedaan yang signifikan pada penurunan kadar Mn

Kata Kunci : Air asam tambang, fitoremediasi, *Hydrilla verticillata*

Kutipan : 87 (2008-2024)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
SUMMARY	vi
RINGKASAN	xiii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Proses Penambangan Batu Bara.....	4
2.2 Air Asam Tambang dan Cara Pengelolaannya	5
2.3 Kolam Pengendapan Lumpur (<i>Settling pond</i>).....	7
2.4 Baku Mutu Air Limbah Pertambangan	7
2.5 Ganggang Hijau (<i>Hydrilla verticillata</i>).....	8
2.6 Fitoremediasi.....	10
2.6.1 Pengertian Fitoremediasi.....	10
2.6.2 Mekanisme Fitoremediasi.....	11

2.7	Fitoremidasi Air Asam Tambang dengan <i>Hydrilla verticillata</i>	12
2.8	Derajat Keasaman (pH).....	13
2.9	<i>Total Suspended Solid</i> (TSS)	14
2.10	Logam Berat.....	14
2.10.1	Besi (Fe).....	15
2.10.2	Mangan (Mn).....	16
2.11	<i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i> (AAS).....	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		18
3.1	Waktu dan Tempat	18
3.2	Alat dan Bahan.....	18
3.2.1	Alat.....	18
3.2.2	Bahan.....	18
3.3	Prosedur Penelitian.....	18
3.3.1	Pengambilan Sampel.....	18
3.3.2	Aklimatisasi Tanaman <i>Hydrilla verticillata</i>	19
3.3.3	Preparasi Sampel.....	19
3.3.4	Perlakuan Fitoremediasi.....	19
3.3.5	Pengujian pH.....	20
3.3.6	Pengujian <i>Total Suspended Solid</i> (TSS).....	20
3.3.7	Pembuatan Larutan Standar.....	21
3.3.8	Analisis Konsentrasi Logam Fe dan Mn pada Air Asam Tambang.....	21
3.3.9	Analisis Konsentrasi Logam Fe dan Mn pada <i>Hydrilla verticillata</i>	22
3.4	Analisis Data.....	22

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1 Pengujian Parameter Awal Sebelum Fitoremediasi.....	24
4.1.1 Pengujian pH, TSS, serta Konsentrasi Logam Fe dan Mn awal pada Air Asam Tambang.....	24
4.1.2 Pengujian Konsentrasi Logam Fe dan Mn Awal pada Tanaman <i>Hydrilla verticillata</i>	25
4.2 Analisis pH, TSS, Konsentrasi Logam Fe dan Mn setelah Fitoremediasi	25
4.2.1 pH.....	25
4.2.2 <i>Total Suspended Solids</i> (TSS).....	28
4.2.3 Efektivitas Fitoremediasi.....	30
4.3 Penentuan <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF).....	35
4.4 Uji <i>Kruskal Wallis</i>	38
4.4.1 Analisa Perbedaan Variasi Berat.....	38
4.4.2 Analisa Perbedaan Variasi Waktu Kontak.....	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	40
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA.....	41
LAMPIRAN.....	49

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Tanaman <i>Hydrilla verticillata</i>	9
Gambar 2. <i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i> (AAS).....	17
Gambar 3. Perbandingan pH Air Asam Tambang Sebelum dan Setelah Fitoremediasi.....	26
Gambar 4. Perbandingan TSS Air Asam Tambang Sebelum dan Setelah Fitoremediasi.....	28
Gambar 5. Persentase Efektivitas Fitoremediasi Penyerapan Logam Fe.....	31
Gambar 6. Persentase Efektivitas Fitoremediasi Penyerapan Logam Mn	34
Gambar 7. Faktor Biokonsentrasi Logam Fe pada <i>Hydrilla verticillata</i>	36
Gambar 8. Faktor Biokonsentrasi Logam Mn pada <i>Hydrilla verticillata</i>	36

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Baku Mutu Air Limbah Pertambangan Batu Bara	8
Tabel 2. Hasil Pengujian Sampel Air Asam Tambang sebelum Fitoremediasi ...	24
Tabel 3. Hasil Pengujian Kadar Logam Fe dan Mn pada Tanaman <i>Hydrilla verticillata</i> sebelum Fitoremediasi.....	25
Tabel 4. Hasil Pengujian Kadar Logam Fe pada Air Asam Tambang setelah Fitoremediasi.....	30
Tabel 5. Hasil Pengujian Kadar Logam Mn pada Air Asam Tambang setelah Fitoremediasi.....	33
Tabel 6. Hasil Uji <i>Kruskal wallis</i> Pengaruh Variasi Berat Tanaman.....	38
Tabel 7. Hasil Uji <i>Kruskal wallis</i> Pengaruh Variasi Waktu Kontak.....	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Diagram Alir Prosedur Penelitian.....	50
Lampiran 2.	Absorbansi Hasil Pengujian logam Fe pada Air Asam Tambang	54
Lampiran 3.	Kurva Kalibrasi Larutan Standar Fe pada Air Asam Tambang ...	55
Lampiran 4.	Absorbansi Hasil Pengujian logam Mn pada Air Asam Tambang	57
Lampiran 5.	Kurva Kalibrasi Larutan Standar Mn pada Air Asam Tambang..	58
Lampiran 6.	Absorbansi Hasil Pengujian logam Fe pada <i>Hydrilla verticillata</i>	60
Lampiran 7.	Kurva Kalibrasi Larutan Standar Fe pada <i>Hydrilla verticillata</i> ...	61
Lampiran 8.	Absorbansi Hasil Pengujian Mn pada <i>Hydrilla verticillata</i>	63
Lampiran 9.	Kurva Kalibrasi Larutan Standar Mn pada <i>Hydrilla verticillata</i> ..	64
Lampiran 10.	Hasil Pengujian pH pada Air Asam Tambang	66
Lampiran 11.	Hasil Pengujian Kadar TSS pada Air Asam Tambang.....	67
Lampiran 12.	Hasil Pengujian Kadar Fe pada Air Asam Tambang	68
Lampiran 13	Hasil Pengujian Kadar Mn pada Air Asam Tambang.....	69
Lampiran 14.	Hasil Pengujian Kadar Fe pada <i>Hydrilla verticillata</i>	70
Lampiran 15.	Hasil Pengujian Kadar Mn pada <i>Hydrilla verticillata</i>	71
Lampiran 16.	Perhitungan Efektivitas Fitoremediasi Penyerapan Logam Fe ..	72
Lampiran 17.	Perhitungan Efektivitas Fitoremediasi Penyerapan Logam Mn ..	74
Lampiran 18.	Perhitungan Faktor Biokonsentrasi (BCF) Logam Fe.....	76
Lampiran 19.	Perhitungan Faktor Biokonsentrasi (BCF) Logam Mn	78
Lampiran 20.	Uji <i>Kruskal Wallis</i>	80
Lampiran 21.	Gambar Penelitian	84

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kegiatan penambangan batu bara memberikan dampak negatif bagi lingkungan yang dapat mengganggu ekosistem, termasuk tata air di sekitarnya. Salah satu dampak negatif akibat kegiatan pertambangan ini yaitu terbentuknya Air Asam Tambang (AAT) pada lokasi pertambangan (Hidayat, 2017). Air Asam Tambang terbentuk ketika air yang terpapar mineral sulfida mengalami oksidasi akibat berinteraksi dengan udara di atmosfer. Proses tersebut menyebabkan terbentuknya cairan yang mengandung asam sulfat dan meningkatkan sejumlah logam dalam air tersebut (Maulida dan Purwanti, 2023). Air asam tambang dapat merusak ekosistem sungai dan mencemari lingkungan, oleh karena itu air tersebut tidak boleh langsung dialirkan ke sungai (Susanto dkk., 2019). Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI Nomor 5 Tahun 2022 terdapat beberapa parameter penting yang harus diolah sebelum air tersebut dialirkan menuju badan sungai. Parameter tersebut diantaranya berupa pH, TSS serta kadar logam Fe dan Mn yang harus memenuhi standar baku mutu air limbah pertambangan batu bara yang telah ditetapkan.

Beberapa teknik yang telah digunakan dalam mengelola limbah air asam tambang adalah presipitasi, penukar ion, teknologi membran, elektrokimia, dan adsorpsi (Yulianis dkk., 2022). Penelitian terdahulu melakukan pengolahan air asam tambang menggunakan koagulan kapur tohor (Rahmi dkk., 2023) kemudian juga dilakukan pencampuran tawas dengan *fly ash* (Tasya dkk., 2023). Namun, kedua bahan tersebut masih kurang efektif dalam pengelolaan air asam tambang dikarenakan pH yang dihasilkan justru mengalami penurunan atau masih bersuasana asam. Salah satu cara lain yang efektif dan efisien untuk mengatasi pencemaran air asam tambang adalah metode bioremediasi. Metode ini dapat menghilangkan zat berbahaya ataupun polutan dengan memanfaatkan makhluk hidup (Lestari dan Aminatun, 2018). Fitoremediasi merupakan salah satu metode bioremediasi yang telah banyak digunakan dalam pengelolaan air asam tambang. Metode Fitoremediasi memiliki beberapa keunggulan seperti biaya operasionalnya yang relatif lebih murah dibandingkan pengolahan limbah lainnya, serta sebagai

teknik remediasi yang paling aman untuk lingkungan karena menggunakan tumbuhan (Herniwati, 2021).

Metode fitoremediasi memanfaatkan berbagai jenis tanaman untuk menghilangkan kontaminan yang terdapat pada air asam tambang. Tanaman yang biasa digunakan dalam meremediasi air asam tambang yaitu melati air. Tanaman ini dapat menyerap berbagai logam berat serta dapat tumbuh di berbagai habitat, namun tanaman ini mempunyai pertumbuhan yang relatif lambat sehingga penyerapannya membutuhkan waktu yang lama. Tanaman kiambang juga telah digunakan dalam pengelolaan air asam tambang, namun tanaman ini dapat dengan cepat menutupi permukaan air sehingga merugikan ekosistem air yang ada (Leka dan Nasution, 2024). Tanaman fitoremediator lain yang dapat digunakan adalah ganggang hijau (*Hydrilla verticillata*).

Ganggang Hijau (*Hydrilla verticillata*) adalah salah satu fitoremediator yang memiliki kemampuan dalam mengurangi kadar logam berat (Novi dkk., 2019). Tanaman ini juga dapat menaikkan pH serta menurunkan kadar TSS pada air dengan cara menyerap unsur pencemar sebagai nutrisi (Rahmawati dkk., 2017). Keunggulan lain tanaman ini yaitu sifatnya yang mudah tumbuh dalam berbagai kondisi pH, nutrisi dan suhu serta memiliki toleransi yang tinggi terhadap beberapa logam dan mengakumulasinya dalam jumlah yang signifikan (Shrivastava and Srivastava, 2021). Oleh karena itu, *Hydrilla verticillata* efektif dan efisien dalam meremediasi air asam tambang. Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, menjelaskan bahwa *Hydrilla verticillata* sebagai agen fitoremediator telah mampu mengurangi kadar logam Pb 90% lebih besar dari kadar awal (Farobi, 2019), efisiensi pengurangan logam Zn sampai 84,35% (Rahmawati, 2023), efisiensi pengurangan logam Cr^{6+} sebesar 85,89% (Ramli, 2023) serta mampu mentoleransi keberadaan logam Cu dengan total akumulasi lebih dari 280 mg/kg (Aqli, 2019).

Berdasarkan hal tersebut, dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai potensi penggunaan tanaman *Hydrilla verticillata* sebagai fitoremediator dalam menangani masalah pencemaran Air Asam Tambang (AAT). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji efektivitas *Hydrilla verticillata* dalam menaikkan pH, mengurangi kadar TSS dan menurunkan kadar logam berat Fe dan

Mn. Variasi berat tanaman dan waktu kontak digunakan untuk mengetahui bagaimana pengaruhnya dalam meremediasi air asam tambang sehingga dapat mengurangi kontaminan dan limbah yang dibuang menjadi lebih aman serta memperbaiki kondisi lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Air asam tambang menjadi suatu permasalahan lingkungan yang sering terjadi di area pertambangan. Air asam tambang mengandung logam berat seperti logam Fe dan Mn serta memiliki nilai pH rendah dan kadar *Total Suspended Solid* (TSS) tinggi yang dapat mencemari ekosistem sungai dan merusak lingkungan sekitar. Pengolahan air asam tambang sangat penting untuk memastikan kualitas air telah memenuhi standar baku mutu limbah cair yang ditetapkan. Fitoremediasi dengan *Hydrilla verticillata* merupakan salah satu solusi ramah lingkungan yang dapat digunakan untuk mengelola air asam tambang. Oleh karena itu, diperlukan penelitian mengenai efektivitas *Hydrilla verticillata* dalam mengurangi kadar logam berat Fe dan Mn, serta bagaimana pengaruh berat tanaman dan waktu kontak terhadap perubahan nilai pH air, penurunan kadar TSS, serta penurunan kadar logam berat Fe dan Mn pada air asam tambang.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan efektivitas tanaman *Hydrilla verticillata* dalam mengurangi kadar logam berat Fe dan Mn pada air asam tambang.
2. Menentukan pengaruh berat dan waktu kontak tanaman *Hydrilla verticillata* terhadap perubahan nilai pH air, penurunan kadar *Total Suspended Solid* (TSS), serta penurunan kadar logam berat Fe dan Mn pada air asam tambang.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan mengenai fitoremediasi serta dapat dijadikan acuan untuk menggunakan *Hydrilla verticillata* sebagai agen fitoremediasi guna mendukung pengembangan metode penanganan limbah industri yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, Y. dan Atina. (2022). Analisis Kualitas Air Anak Sungai Sekanak Berdasarkan Parameter Fisika Tahun 2020. *Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya*, 4(1), 13-19.
- Aini, N. N., Lisminingsih, R. D. dan Syauqi, A. (2023). Bioremediasi Limbah Cair Tahu Menggunakan EM4 dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes L.*). *e-journal Ilmiah Mahasiswa Sains UNISMA Malang*, 1(2), 66-73.
- Alhabsyi., Audina, G., Runggu., Bunga, R., Syamsuddin., Sani. dan Hendra. (2024). *Pengenalan Kegiatan Pertambangan*. Jambi: PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Alya, F. dan Haryanto. (2022). Pengaruh Waktu Kontak dan Bobot Biomassa Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) terhadap Penurunan Kadar *Total Suspended Solid* (TSS) Air Limbah Rumah Sakit dengan Metode Fitoremediasi. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan*, 4(2), 1-8.
- Amalia, S., Fasya, A. G., Hasanah, U. dan Aqli, M. R. (2023). Efektivitas *Limncharis* dan *Hydrilla verticillata* sebagai Fitoremediator Logam Tembaga. *Journal of Chemistry*, 11(2), 43-50.
- Anshariah., Widodo, S. dan Nuhung, R. (2015). Pengelolaan Air Asam Tambang pada PT. Rimau Energy Mining Kabupaten Barito Timur Provinsi Kalimantan Tengah. *Jurnal Geomine*, 1, 45-54.
- Aqli, M. R. (2019). Fitoremediasi oleh Tumbuhan Hydrilla (*Hydrilla verticillata* (L. F) Royle) Danau Ranu Grati Pasuruan dengan Variasi Kadar Logam Tembaga (Cu). Universitas Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Ariyani, A., Sukarno, N. dan Listiyowati, S. (2019). Potensi Cendawan Asal *Hydrilla verticillata* sebagai Pengendali Hayati *Fusarium Oxysporum* dan *Ganoderma boninense*. *Jurnal Sumberdaya Hayati*, 5(2), 43-51.
- Arza, A. dan Martuti, N. K. T. (2023). Bioakumulasi Logam Besi (Fe) dan Seng (Zn) pada Ikan Bandeng (*Chanos chanos*) di Keramba Jaring Tancap Kelurahan Tanjung Mas, Semarang. *Jurnal of Biology life Science*, 12(2), 107-116.
- Awa, M. Y. R. L. A. dan Hambakodu, M. (2023). Status Hara Mikro Tanah dan Produksi Berat Kering Alfalfa (*Medicago sativa L.*) dengan Pemberian Bokashi Feses Kambing dengan Level yang berbeda. *Sustainable Agricultural Technology Innovation*, 2(1), 93-103.
- Ayu, D., Mirino, T. dan Alfius, B. (2024). Analisis Parameter Kualitas Air Sungai Kampung Salak Kota Sorong Papua Barat Daya. *Environmental Engineering Journal*, 1(2), 1-4.

- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Air dan Air Limbah – Cara Uji Derajat Keasaman (pH) dengan Menggunakan pH Meter (SNI 6989.11:2019). Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Air dan Air Limbah – Cara Uji Padatan Tersuspensi Total secara Gravimetri (SNI 6989.3:2019). Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Air dan Air Limbah – Cara Uji Kadar Logam Terlarut dan Logam Total secara Spektrometri Serapan Atom (SNI 6989.84-2019). Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Air dan Air Limbah – Metode Pengambilan Contoh Air Limbah (SNI 6989.59:2008). Badan Standardisasi Nasional.
- Chanchlani, V. and Goyal, P. (2023). Digital pH Meter. *International Journal of Creative Research Thoughts*, 11(12), 2320-2882.
- Cointry, V and Vert, G. (2019). The Bifunctional Transporter-Receptor IRT1 at the Heart of Metal Sensing and Signalling. *New Phytologist Trust*, 223, 1173-1178.
- Connorton, J. M., Balk, J. and Celma, J. R. (2017). Iron Homeostasis in Plants. *The Royal Society of Chemistry*. 9(1), 813-823.
- Dewi, L., Hadisoebroto, G. dan Anwar, K. (2021). Penentuan Kadar Logam Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) pada Sumber Air di Kawasan Gunung Salak Kabupaten Sukabumi dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *Jurnal Sabdariffarma*, 9(2), 15-24
- Dharmaningtyas, N., Muskananfola, M. R. dan Taufani, W. T. (2022). Kemampuan Mangrove *Avicennia sp.* dan *Rhizophora sp.* Dalam Fitoremediasi Logam Berat Timbal (Pb), Tembaga (Cu) dan Kadmium (Cd) di Kawasan Mangrove, Trimulyo, Genuk, Semarang. *Jurnal Pasir Laut*, 6(1), 29-32.
- Fadli., Widodo, S., Budiman, A. A. (2015). Desain Pit Penambangan Batubara Blok C Pada PT. Intibuana Indah Selaras Kabupaten Nunukan Provinsi Kalimantan Utara. *Jurnal Geomin*, 1, 55-62.
- Farobi, W. A. (2019). Fitoremediasi oleh *Hydrilla verticillata* (L.f) Royle Danau Ranu Grati Pasuruan dengan Variasi Kadar Logam Timbal (Pb). Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Fatikasari, R. N. dan Purnomo, T. (2022). Efektivitas *Hydrilla verticillata* dan *Lemna minor* sebagai Fitoremediator LAS pada Deterjen Limbah Domestik. *Jurnal UNESA*. Vol 11(2):263-272.

- Ferdian, I. (2020). Analisis Keberhasilan Penanganan Air Asam Tambang Berdasarkan Parameter pH, TSS, Fe dan Mn pada KPL AL 01 PT Bukit Asam, Tbk. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal*. Palembang: 20 Oktober 2020, 1080-1090.
- Ginting, M., Marbun, N. R., Sinaga, M., Fitri dan Leny. (2023). Formulasi dan Evaluasi Sediaan Gummy Candies dari Sari Ganggang *Hydrilla (Hydrilla verticillata L.)* yang Tumbuh di Perairan Danau Toba. *Majalah Farmasetika*, 8(1), 13-26.
- Harahap, M. R., Amanda, L. D. dan Matondang, A. H. (2020). Analisis Kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan TSS (*Total Suspended Solid*) dan TSS (*Total Suspended Solid*) pada Limbah Cair dengan Menggunakan Spektrofotometer UV-VIS. *Journal Ar-Raniry*, 2(2), 79-82.
- 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(2), 340-346.
- Harvyandha, A., Kusumawardani, M. dan Rosyid, A. (2019). Telemetri Pengukuran Derajat Keasaman secara Realtime Menggunakan Raspberry PI. *Jurnal JARTEL*, 9(4), 519-524.
- Herlina, L., Widianarko, B. dan Sunoko, H. R. (2020). Phytoremediation Potential Of Cordyline Fruticosa for Lead Contaminated Soil. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*. 9(1), 42-49.
- Hermansyah, M. H., Putri, Y. P. dan Setiawan, A. A. (2024). Uji Padatan Tersuspensi Total (TSS) pada Sampel Air Limbah Sawit secara Gravimetri. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 2(2), 27-33.
- Herniwanti. (2021). *Fitoremediasi Pengelolaan Limbah Air Asam Tambang (Phytoremediation of Acid Mine Drainage Management)*. Solok: CV. Mitra Cendekia Media.
- Hidayat, L. (2017). Pengelolaan Lingkungan Areal Tambang Batubara (Studi Kasus Pengelolaan Air Asam Tambang (Acid Mining Drainage) di PT. Bhumi Rantau Energi Kabupaten Tapin Kalimantan Selatan). *Jurnal ADHUM*, 7(2), 44-52.
- Indra, H., Lepong, Y., Gunawan, F. dan Abfertiawan, M. S. (2014). Penerapan Metode Active dan Passive Treatment Dalam Pengelolaan Air Asam Tambang Site Lati. *Seminar Air Asam Tambang ke-5 dan Pascatambang di Indonesia*. Bandung: 28 Oktober 2014, 1-9.
- Irawanto, R., Damayanti, A., Tangahu, B. V. dan Purwanti, I. (2015). Kadar Logam Berat (Pb dan Cd) pada Bagian Tumbuhan Akuatik *Coix lacryma-jobi* (Jali).

- Seminar Nasional Konservasi dan Pemanfaatan Sumber Daya Alam*, 138-146.
- Irhamni, Pandi, S., Purba, E. dan Hasan, W. (2017). Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan Air dalam Menyerap Logam Berat secara Fitoremediasi. *Jurnal Serambi Engineering*, 1(2), 75-85.
- Ismaini., Tosani, N. dan Sutanto, D. (2023). Perbandingan Unjuk Kinerja Berbagai Tipe pH-Meter Digital pada Pengujian Sampel Tanah dan Air Berdasarkan ISO 17025:2017. *Jurnal Penelitian Sains*, 25(1), 24-28.
- Julisti, R., Gumanti, S. dan Yovanda, R. (2024). Analisis Biaya Pengurasan Sedimentasi pada Kolam Pengendap Lumpur di PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Tanjung Enim Sumatera Selatan. *Journal of Comprehensive Science*, 3(10), 4692-4699.
- Kiswanto., Wintah. dan Rahayu. (2020). Analisis Logam Berat (Mn, Fe, Cd,) Sianida dan Nitrit pada Air Asam Tambang Batu Bara. *Jurnal Litbang Kota Pekalongan*, 18(1), 20-26.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2022). Pengolahan Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan dengan Metode Lahan Basah Buatan Nomor 5. Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.
- Leka, E. S. K. dan Nasution, R. K. (2024) Metode Fitoremediasi dalam Pengelolaan Air Asam Tambang Batubara (Fe dan Mn) berdasarkan *Literature Review*. *Jurnal Kimia dan Ilmu Lingkungan*, 2(1), 97-104.
- Lestari, Y. P. dan Aminatun, T. (2018). Efektivitas Variasi Biomassa Tanaman *Hydrilla verticillata* dalam Fitoremediasi Limbah Batik. *Jurnal Prodi Biologi*, 7(4), 1-9.
- Lestari, Y. D. (2023). Fitoremediasi Kandungan Bahan Pencemar Besi (Fe) pada Air Baku Sungai Kaligarang menggunakan Tumbuhan *Hydrilla verticillata* (L.f) Royle. Universitas Islam Negeri Walisongo.
- Leonard, F. dan Wahyuni. (2024). Identifikasi Risiko Pencemaran Air Limbah Domestik. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 2(1), 33-42.
- Lucyan, A. (2021). *Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Kimia Menggunakan NaOH dan Fitoremediasi Hydrilla verticillata untuk Meurunkan Kadar Logam Tembaga (Cu) dan Nikel (Ni)*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.

- Marzuki, I., Johra., Ramli, M., Musmulyadi., Harimuswarah, M. R., Asrudin., Arwansyah., Artawan, I. P., Iqbal, M. dan Zenal. (2019). *Operasi dan Remediasi Lingkungan*. Makassar: CV. Tohar Media.
- Maulida, S. A. dan Purwanti, I. F. (2023). Kajian Pengolahan Air Asam Tambang Industri Pertambangan Batu Bara dengan Constructed Wetlan. *Jurnal Teknik ITS*, 1, 46-51
- Melati, I. (2020). Teknik Bioremediasi: Keuntungan, Keterbatasan dan Prospek Riset. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*.
- Misno, I., Nirmala, A. dan Winardi. (2016). Kajian Penyebaran Limbah Logam Berat Mangan (Mn) dan Timbal (Pb) pada Air Tanah Bebas di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah di Batu Layang Kota Pontianak. *Jurnal Teknik Kelautan*, 1(1), 1-9.
- Mudasir dan Wahyuni. (2024). *Metode Spektrometri*. Yogyakarta: UGM PRESS.
- Mutmainnah, F., Arinafril. dan Suheryanto. (2015). Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) dengan Menggunakan *Hydrilla verticillata* dan *Najas Indica*. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*, 12(2), 90-103.
- Nasir, M. (2019). *Spektrometri Serapan Atom*. Aceh: Syiah Kuala University Press.
- Nigel, C., Syafriadiman. dan Pamukas, N. A. (2024). Pengaruh Biomassa Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) terhadap Perubahan Parameter Kimia Air Gambut Kolam Ikan Lele Lokal (*Clarias batrachus*). *South East Asian Aquaculture*. 1(2), 34-45.
- Novi, C., Sartika, S. dan Shobah, A. N. (2019). Fitoremediasi Logam Seng (Zn) Menggunakan *Hydrilla sp.* pada Limbah Industri Kertas. *Jurnal Kimia Valensi*, 5(1), 108-114.
- Oktaviani, L., Nilandita, W. dan Suprayogi, D. (2020). Fitoremediasi Tanaman Apu-Apu (*Pistia stratiotes*) terhadap Kadar Logam Zn berdasarkan Variasi Jumlah Tanaman. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1), 44-52.
- Paulina, M dan Faradika, M. (2024). Fitoremediasi dengan Berbagai Jenis Tumbuhan. *Jurnal of Global Forest and Environmental Sciences*, 4(1), 127-131.
- Rahayuningtyas, I., Wahyuningsi, N. E. dan Budiyono. (2018). Pengaruh Variasi Lama Waktu Kontak dan Berat Tanaman Apu-Apu (*Pistia stratiotes L.*) terhadap Kadar Timbal pada Irigasi Pertanian. *Journal Kesehatan Masyarakat*, 6(6), 166-174.

- Rahmawati, A. (2023) Fitoremediasi Tanaman Hydrilla (*Hydrilla verticillata*) untuk Menurunkan Kadar Logam Berat Seng (Zn) dengan Menggunakan Sistem Batch. Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.
- Rahmawati, T., Sukandar, D., Karmini, M. dan Roni, T. (2017). Penurunan Kadar *Total Suspended Solid* (TSS) Air Limbah Pabrik Tahu dengan Metode Fitoremediasi. *Jurnal Permukiman*, 12(1), 25-32.
- Ramadhani dan Juswardi. (2022). Efektivitas Kombinasi Vegetasi *Salvinia molesta* Mitchell dan *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms dalam Fitoremediasi Logam Berat Pb Limbah Cair Kain Jumputan. *Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek*. Palembang, 354-361.
- Rahmi, H., Nelvi, A. dan Situmorang, B. (2023). Pengaruh *Fly Ash* dan Kapur Tohor terhadap Kualitas Air Asam Tambang (pH, TSS) di PT. Bara Prima Pratama. *e-Journal Teknologi Infrastruktur*, 2(1), 25-31.
- Ramli, R. O. (2023). *Fitoremediasi menggunakan Tanaman Hydrilla verticillata* untuk Menurunkan Kadar Logam Berat Kromium Heksavalen (Cr^{6+}) dengan Sistem Batch. UIN Sunan Ampel Surabaya.
- Ratnawati, N. A., Prasetya, A. T. dan Rahayu, E. F. (2019). Validasi Metode Pengujian Logam Berat Timbal (Pb) dengan Destruksi Basah Menggunakan FAAS dalam Sedimen Sungai Banjir Kanal Barat Semarang. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 8(1), 61-68.
- Robi., Aritonang, A. B., Sofiana, M. S. J. (2021). Kandungan Logam Berat Pb, Cd, dan Hg pada Air dan Sedimen di Perairan Samudera Indah Kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 4(1), 20-28.
- Roeswitawati, D., Zamzami, A. F. and Machmudi. (2023). The Role of Hydrilla (*Hydrilla Verticillata* Royle) As Soil Protectant In Improving Soil, Physical chemical, and biological properties. *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*, 1, 47-54.
- Rumhayati, B. (2019). *Sedimen Perairan (Kajian Kimiawi, Analisis, dan Peran)*. Malang: UB Press.
- Rusdianto., Susanti., Kusmita, T., Aryanto, L., Talitha dan Mursid. (2023). Analisis Uji Chemical Oxygen Demand (COD) pada Air Limbah Sawit di Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Provinsi Bangka Belitung. *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, 3(2), 26-31.
- Sa'adah, N. dan Widyaningsih, S. (2018). Pengaruh Pemberian CO₂ terhadap pH Air pada Pertumbuhan *Caulerpa racemosa* var. *uvifera*. *Jurnal Kelautan Tropis*, 21(1), 17-22.

- Saptawartono., Murati, F., Lashania, Y., Firdayanti, N., Melinda, S. dan Reba, I. Y. (2024). Pengelolaan dan Pengendalian Air Asam Tambang Pada Kegiatan Pertambangan Batubara. *Jurnal Teknik Pertambangan (JTP)*, 24(1), 44-51.
- Sari, F. G. T., Hidayat, D. dan Septiani, D. (2016). Kajian Kandungan Logam Berat Mangan (Mn) dan Nikel (Ni) pada Sedimen di Pesisir Teluk Lampung. *Analytical and Environmental Chemistry*, 1(1), 17-25.
- Setianingrum, N. dan Yulianti, R. (2020). Evaluasi Kolam Pengendapan Lumpur (SP 10) terhadap Debit Air Pompa yang Masuk (Studi Kasus : PT Trisensa Mineral Utama, Tani Aman, Kalimantan Timur). *Indonesian Mining and Energy Journal*, 3(2), 59-64.
- Setiawan, A. dan Agustin, A. (2019). Perancangan Sistem Analisa Regulasi di Departemen *Customs and Excise Compliance* pada PT. X. *Jurnal Tirta*, 7(2).
- Shrivastava, M. and Srivastava, S. (2021). Application and Research progress of *Hydrilla verticillata* in Ecological Restoration of Water Contaminated with Metals and Metalloid. *Environmental Challenges*, 4, 100177.
- Sinaga, G. Z. dan Putra, R. (2021). Evaluasi Pengolahan Air Asam Tambang PT Bukit Asam Tbk Unit Dermaga Kertapati. *Prosiding Seminar Nasional Hari Air Dunia*, 73-77.
- Sujiman., Untung, M dan Kurniawan, E. (2022). Estimasi Sumberdaya Batubara Pada PT. Bumi Jaya Prima Etam Block Utaradesa Lebak Cilong Kecamatan Muara Wis Dan Desa Kotabangun III Kecamatan Kotabangun Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Geologi Pertambangan*, 28(2), 1-13.
- Sulaiman, A., Nilandita, W. dan Suprayogi, D. (2023). Fitoremediasi Memanfaatkan Tanaman Coontail untuk Menurunkan Kadar Timbal (Pb) menggunakan Sistem Batch. *Jurnal Ilmiah Lingkungan Kebumihan*, 6(1), 9-18.
- Supriyantini, E., dan Endrawati, H. (2015). Kandungan Logam Berat Besi (Fe) pada Air, Sedimen, dan Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 18(1), 38-45.
- Susanto, D., Arlay, Y. S. dan Ratminah, W. D. (2019). Kajian Teknis Penanganan Air Asam Tambang dengan Menggunakan Metode *Active Treatment* di Kolam Pengendap Lumpur (KPL) Pit 3 Barat Baru PT. Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XIV*, 152-159.
- Tambunan, Y. K. (2023). Analisis Pengaruh Kapur Tohor (CaO) dan Tawas terhadap Parameter TSS dan pH di Desa Huta Dame Kecamatan Penyabungan Utara

- Kabupaten Mandailing Natal. *Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan*, 2(1), 251-255.
- Tasya., Ardiansah. dan Albar, M. A. (2023). Pemanfaatan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* sebagai Media Netralisasi Air Asam Tambang. *Jurnal Sains dan Teknik Terapan*, 1(1), 1-10.
- Tom, I. N., Adnyano, A. I. dan Sumarjono, I. (2020). Kajian Teknis Pencegahan Dan Penanganan Air Asam Tambang Pada Penambangan Batubara Pt Kayan Putra Utama Coal – Site Separi. *Mining Insight*, 1(2), 203-210.
- Wafiq, M. dan Munfarida, I. (2023). Fitoremediasi Logam Berat Merkuri (Hg) Menggunakan Tanaman *Myriophyllum aquaticum* dengan Sistem Batch. *Jurnal Ilmiah Lingkungan Kebumihan*, 6(1), 51-60.
- Yulianis., Husna, R., Mahidin. (2022). Adsorpsi Ion Logam Fe dalam Air Asam Tambang menggunakan Nano Zeolit Alam. *indonesian Mining Professional Journal*, 1(2), 27-31.
- Yunus, R. dan Prihatini, N. S. (2018). Fitoremediasi Fe dan Mn Air Asam Tambang Batubara dengan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) dan Purun Tikus (*Eleocharis*) pada sistem LBB di PT. JBG Kalimantan Selatan. *Jurnal Siansmat*, 6(1), 73-85.
- Yustinah., Hudzaifah., Aprilia, M. dan Syamsudin. (2020). Kesetimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) dengan Adsorben Tanah Diatomit secara Batch. *Jurnal Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 9(1), 17-28.
- Zulkhaidir, T. (2015). *Pertumbuhan Benih Ikan Belanak (Mugil dusemmeric) di Tinjau dari Pemberian Jenis Pakan yang Berbeda*. Skripsi. Meulaboh: Universitas Teuku Umar.
- Zulsusyanto, (2015). *Kinerja produksi benih ikan nila oreochromis niloticus ukuran 4-4 dengan Hydrilla verticillata sebagai fitoremediator*. Skripsi. Departemen Budidaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Perairan Bogor.
- Zurfi, S. K. L., Tabatabai, H. H. M. (2020). Aquatic Plant (*Hydrilla verticillata*) Roles in Bioaccumulation of Heavy Metals. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*. 51(2), 574-584.