

**ADSORPSI LOGAM Fe PADA AIR ASAM TAMBANG BATUBARA
MENGUNAKAN BIOCHAR**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Bidang Studi Kimia**



Oleh:

CICI UTAMI

08031282126061

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

2025

HALAMAN PENGESAHAN

**ADSORPSI LOGAM Fe PADA AIR ASAM TAMBANG BATUBARA
MENGUNAKAN BIOCHAR**

SKRIPSI

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

Oleh:

CICI UTAMI

08031282126061

Indralaya, 17 Juli 2025

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I



Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si

NIP. 197211092000032001

Dosen Pembimbing II



Dr. Eliza, M.Si

NIP. 196407291991022001

Mengatahui,

Dekan Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Cici Utami (08031282086061) dengan judul "Adsorpsi Logam Fe pada Air Asam Tambang Batubara Menggunakan Biochar" telah disidangkan di hadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada Tanggal 14 Juli 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 17 Juli 2025

Ketua :

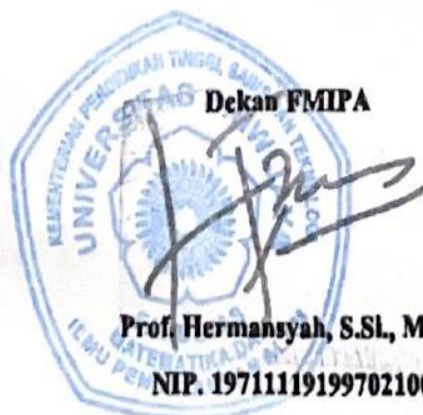
1. **Dr. Neza Rahayu Palapa, M.Si**
NIP. 199505292022032017

(Ny)

Anggota :

1. **Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si**
NIP. 197211092000032001
2. **Dr. Eliza, M.Si**
NIP. 196407291991022001
3. **Dr. Heni Yohandini, M.Si**
NIP. 197011152000122004

(Nurlisa)
(Eliza)
(Heni)



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



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

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Cici Utami

NIM : 08031282126061

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 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, 17 Juli 2025



Penulis

Cici Utami

NIM. 08031282126061

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama Mahasiswa : Cici Utami
NIM : 08031282126061
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “Adsorpsi Logam Fe pada Air Asam Tambang Batubara Menggunakan Biochar.” 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, 17 Juli 2025

Yang menyatakan,



Cici Utami

NIM. 08031282126061

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Solat dan berdoa nak, Cuma Allah yang bisa bantu semua hal di dunia ini.”

(Ayah dan mama)

“Apa yang terjadi sekarang, percayalah itu yang paling terbaik dari yang terbaik”

“And if you would count the graces of Allah, Never could you be able to count them.”

(QS. Ibrahim : 34)

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

1. Tuhan Yang Maha Esa
2. Mama, Ayah dan Farel selaku orang tua dan adik penulis yang telah memberikan doa, cinta, kasih, semangat serta dukungan bagi penulis.
3. Keluarga besar yang selalu mendoakan dan mendukung penulis.
4. Raihan Ahmaddani yang senantiasa menjadi orang pertama yang mendengar dan memberi semangat kepada penulis.
5. Dosen Pembimbing (Ibu Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si dan Ibu Dr. Eliza, M.Si).
6. Seluruh dosen jurusan Kimia.
7. Universitas Sriwijaya sebagai tempat penulis mencapai impian.
8. Diri saya sendiri-yang telah kuat berjuang sampai akhir.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan kemudahan, kelancaran dan keberkahan bagi penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Adsorpsi Logam Fe pada Air Asam Tambang Batubara Menggunakan Biochar.” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Sains bidang studi Kimia Universitas Sriwijaya. Dengan segenap cinta dan kasih, penulis persembahkan ucapan terimakasih untuk:

1. Allah SWT. Yang telah memberikan penulis keberkahan, kelancaran serta keridhaan nya sehingga penulis dapat melewati ini semua dengan penuh ketenangan.
2. Mamaku Reni Miftahul Janah, terimakasih telah mengusahakan anaknya untuk sampai di bangku perkuliahan walaupun beliau hanya sampai di sekolah dasar tetapi berkat motivasi, dukungan dan doa yang senantiasa beliau berikan membuat penulis bertahan hingga mampu menyelesaikan masa perkuliahan tepat waktu. Terimakasih telah membuktikan kepada orang orang yang telah merendahkan kita bahwa orang yang berasal dari “dusun” juga mampu untuk setara dengan orang lain. Terimakasih telah membuat penulis percaya bahwa penulis bisa sampai akhir perkuliahan.
3. Ayahku Suyanto, terimakasih telah melakukan segalanya untuk penulis, terimakasih telah menjadi ayah terbaik hingga penulis tidak pernah merasakan kekurangan apapun dan bisa melakukan hal yang penulis impikan. Beliau juga memang belum sempat merasakan masa perkuliahan, namun beliau dapat mendidik, mendukung dan mendoakan yang tiada henti kepada penulis hingga mampu menyelesaikan pendidikannya sampai sarjana.
4. Adikku Farel Faturrohman, terimakasih telah menjadi penghibur penulis dikala sedang terpuruk dan bersedih. Terimakasih telah menjadi adik yang baik, yang selalu mendukung dan memotivasi penulis, tetaplah bersinar dimanapun kamu berada, semoga apa yang kamu impikan bisa kamu dapatkan.

5. Kepada seluruh keluarga besar yang telah memberikan doa dan semangat kepada penulis hingga penulis mampu menyelesaikan kuliah tepat waktu.
6. Kepada seseorang yang selalu ada untuk penulis, Raihan Ahmaddani yang juga sedang berjuang untuk mendapatkan gelarnya di fakultas ungu itu. Terimakasih telah menemani perjalanan penulis dari awal perkuliahan hingga sampai di titik sekarang. Terimakasih telah menjadi orang yang selalu memperhatikan keadaan penulis dan membuat penulis tidak putus asa dalam mengerjakan skripsi. Semoga selalu diberikan kemudahan dan kesuksesan untuk segala hal yang akan maupun sedang dilakukan.
7. Kepada semua kucing kucing penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih telah menjadi penghibur penulis dikala sedang bersedih. Terimakasih telah menjadi makhluk tuhan yang lucu dan banyak tingkah.
8. Bapak Prof. Hermansyah, M.Si., Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
9. Ibu Prof. Dr. Muharni, M. Si. selaku ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
10. Ibu Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si. selaku dosen pembimbing tugas akhir terimakasih banyak atas bimbingan, arahan, dan motivasi bagi penulis selama mengerjakan penelitian dan skripsi. Terimakasih ibu telah menjadi sosok pembimbing yang sangat saya syukuri dengan segala kebaikan yang ibu punya.
11. Ibu Dr. Eliza, M.Si selaku dosen pembimbing akademik penulis terimakasih banyak atas bimbingan dari awal sampai akhir perkuliahan. Terimakasih telah sabar membimbing dan memberi arahan mengenai kehidupan terhadap penulis.
12. Ibu Dr. Neza Rahayu Palapa, M.Si dan ibu Dr. Heni Yohandini, M.Si. selaku dosen penguji seminar dan sidang saya, terimakasih telah memberi masukan, kritik dan saran yang membangun sehingga saya bisa menyelesaikan dan memperbaiki skripsi saya.
13. 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.

14. 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. Terimakasih telah mengurus surat menyurat penulis sampai akhirnya penulis bisa sampai di titik ini.
15. Kepada pembimbing magang PTBA pak hendri, mbak sinta serta para staf yang telah membantu saya selama magang dan jugan mengambil data untuk tugas akhir saya.
16. Kepada teman sekaligus musuh yang sangat saya sayangi Deviriana ivada (yuk dep). Terimakasih telah menjaga dan membantu saya dari zaman online dengan menjadi alarm ketika ada berita penting hingga zaman offline. Terimakasih telah menemani saya dan berjuang bersama sama untuk *survive* di dunia kimia yang ternyata “sekompleks” itu. Semoga sukses dimanapun berada dan jangan lupakan permusuhan kita itu.
17. Rizky Azahra, terimakasih atas semua kalimat penenang yang selalu diberikan kepada penulis. Terimakasih atas *word affirmation* yang selalu diberikan kepada penulis disemua keadaan penulis. Tidak terasa pertemanan yang dimulai dari curhat kecil bisa langgeng sampai menjadi *sleepmate*, terimakasih juga telah menjadi orang yang serba tau dimana barang barang yang suka bersembunyi itu. Penulis cukup bangga telah berteman dari era kiki sampai era kya.
18. Ananda Cecilia Recoba (Cecil) terimakasih sudah mau menjadi teman offline pertama karena satu kelompok praktikum. Terimakasih atas semua kalimat yang membuka mata penulis tentang suatu masalah dan selalu meyakinkan penulis bahwa penulis bisa melakukannya. Penulis doakan semoga di pertemukan dengan orang yang baik dan tepat supaya tidak lagi merasakan *feeling lonely*. Satu pesan penulis jangan lupa makan nasi dan jangan minum kopi sebelum makan nasi.
19. Amanda Nabila (yang asli ada putri-nya) terimakasih telah menemani hari yang hijau selama magang dan mengambil data tugas akhir. Kehidupan

tanjung yang sangat aneh itu akan menjadi kenangan yang tidak pernah bisa dilupakan. Terimakasih telah membantu penulis saat di masa-masa kebingungan dalam mengerjakan skripsi.

20. Awny Athalia Syahrani alias aw, terimakasih atas semua tutorial yang diberikan selama mengerjakan skripsi. Terimakasih telah menjadi teman yang baik dan selalu memberi masukan kepada penulis, terimakasih juga telah mau memberikan tumpangan motornya.
21. Melin dan Risma terimakasih telah menjadi sahabat sekaligus keluarga yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis. Terimakasih sudah menemani penulis dari zaman main futsal sampai di titik ini. Semoga persahabatan kita yang dimulai karena tanggal 13 ini berlanjut sampai seterusnya, penulis doakan kalian diberikan kemudahan disetiap jalanya.
22. Melin, Janna, Rehan dan Dandi (Manusia-Manusia Sibuk) terimakasih telah menjadi sahabat sekaligus keluarga yang selalu ada disetiap penulis rindu dengan masa-masa SMA. Persahabatan yang dimulai karena kacang hijau ini harus tetap berlanjut sampai kita tua. Semoga tidak ada drama yang membuat kita berpisah dimasa depan. Terimakasih karena kalian penulis bisa merasakan rasanya menjadi adik bungsu yang lucu.
23. Risma, Melin, Janna, Anisa, Cahya, Riga, dan Tirta (Abnormal), terimakasih atas doa dan dukungan yang diberikan kepada penulis. Semoga persahabatan yang dibangun semasa SMP ini bertahan sampai seterusnya. Tetaplah seru saat kumpul dan main lagi.
24. Kya, Cecil, Manda, Awny, Aga, Aan, Tristan, Adit dan Gilang, Terimakasih telah menjadi teman yang ada di kehidupan layo ini, senang bisa berjuang bersama kalian. Terimakasih telah mewarnai gang buntu yang sepi dan rawan begal ini, terimakasih atas tumpangan, traktiran, dan semua cerita yang pernah kita jalani bersama. Penulis doakan kalian sukses dijalanya masing-masing, semua kenangan asam, manis, pahit, pedas sangat penulis syukuri.
25. Ketrin, Meli, Nadila, Janna, dan Pausma (Cucung Kajot) terimakasih telah menjadi teman yang selalu mendoakan dan mendukung penulis.

Terimakasih karena tanpa kalian kehidupan penulis Himapali akan terasa kurang berwarna. Semoga kalian sukses dan terus menjaga pertemanan cucung kajot ini sampai kita sendiri yang akan menjadi kajotnya.

26. Manda dan Mayang, terimakasih telah menjadi tim magang yang baik selama di PTBA, terimakasih telah mendukung dan memberikan semangat kepada penulis disaat penulis hampir putus asa dengan penelitian tugas akhir.
27. Teman seperjuanganku Kimia 2021 "Lawrensium" terimakasih telah kebersamai masa perkuliahan penulis, senang bisa berjuang mendapatkan S.Si bersama. Semoga Kimia 2021 sukses dimanapun kalian berada.
28. Dan yang terakhir anak kecil yang terperangkap di usia hampir 22 tahun, terimakasih telah berjuang sampai akhir. Terimakasih telah kuat menamatkan apa yang sudah dimulai. Terimakasih sudah berani melawan semua ketakutan, ketidakpercayaan diri dan semua kemustahilan yang ada diotak mu. Selamat ya Cici kamu bisa membuktikan bahwa khayalanmu bisa menjadi kenyataan. Selamat berjuang ditahap selanjutnya. Teruslah kumpulkan impianmu mari kita berjuang untuk membuat mimpi mimpi itu menjadi kenyataan dan membahagiakan orang orang yang telah kebersamai jalan kita. Kamu Hebat Cici!

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

Indralaya, 17 Juli 2025

Penulis



Cici Utami

NIM. 08031282126061

SUMMARY

ADSORPTION OF Fe METAL IN COAL ACID MINE DRAINAGE USING BIOCHAR

Cici Utami : Supervised by Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si and Dr. Eliza, M.Si

Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Sriwijaya
Xvii + 68 pages, 14 pictures, 6 tables, 10 appendices

Mining activities carried out by PT Bukit Asam (Persero) Tbk produce liquid waste in the form of Acid Mine Drainage (AMD) which has the potential to contaminate the environment, especially the surrounding waters. AMD has a very low pH, ranging from 2 to 4, and contains dissolved heavy metals such as iron (Fe), which, if not managed properly, can threaten ecosystems and human health. One of the most popular methods for reducing metal content in liquid waste is adsorption, because this method is relatively simple, efficient, environmentally and friendly.

This research aims to examine the effectiveness of activated biochar and non-activated biochar made from coconut shell through the pyrolysis process, in adsorbing Fe metal from coal mine acidic water. The biochar was activated using a 1 M HCl solution. The selection of biochar as an adsorbent is due to its environmentally friendly nature, low cost, and porous structure that supports adsorption capability. Before applying it to AMD, an optimal adsorption process condition was determined using $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ solution as a Fe metal model. Activated biochar has optimum conditions at pH 6 with an adsorption capacity of 4.8083 mg/L, at a time of 60 minutes with an adsorption capacity of 4.7599 mg/L, and an adsorbent mass of 0.1 g with an adsorption capacity of 4.9424 mg/L, while non-activated biochar reaches optimum conditions at 90 minutes with an adsorption capacity of 4.4475 mg/L, at pH 6 with an adsorption capacity of 4.4475 mg/L, and a mass of 0.1 g with an adsorption capacity of 4.8909 mg/L. The adsorption process follows a pseudo second-order kinetics model and Freundlich isotherm model, with regression results approaching one, namely 0.9995 and 0.8005, indicating that the adsorption kinetics occur chemically and take place on heterogeneous adsorbent surfaces.

Testing on acid mine drainage water samples showed that activated biochar significantly reduced Fe concentration more effectively than non-activated biochar, with maximum adsorption efficiency of 93.5 % and 38.6 %, respectively. The characterization results using FTIR and BJH analysis indicated that the activation process is able to increase the surface area of the pores as well as the presence of active functional groups that play a crucial role in improving adsorption performance. Based on BJH analysis, the activated biochar has a pore surface area of 0.34909 m^2/g , a pore volume of 0.00136 cc/g , and an average pore radius of 7.7900 nm, which supports its ability to adsorb Fe metal more effectively.

Keywords : Adsorption, Acid Mining Water, Biochar, iron metals

Citations : 48 (2012-2025)

RINGKASAN

ADSORPSI LOGAM Fe PADA AIR ASAM TAMBANG BATUBARA MENGUNAKAN BIOCHAR

Cici Utami : Dibimbing oleh Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si dan Dr. Eliza, M.Si

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
Xvii + 68 halaman, 14 gambar, 6 tabel, 10 lampiran

Aktivitas pertambangan yang dilakukan oleh PT Bukit Asam (Persero) Tbk menghasilkan limbah cair berupa Air Asam Tambang (AAT) yang berpotensi mencemari lingkungan, terutama perairan dan tanah di sekitarnya. AAT memiliki pH yang sangat rendah, berkisar antara 2 hingga 4, serta mengandung logam berat terlarut seperti besi (Fe), yang jika tidak dikelola dengan baik dapat membahayakan ekosistem dan kesehatan manusia. Salah satu metode yang banyak diminati untuk mengurangi kandungan logam dalam limbah cair adalah adsorpsi, karena metode ini tergolong sederhana, efisien, dan ramah lingkungan,

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas biochar teraktivasi dan biochar tanpa aktivasi yang dibuat dari tempurung kelapa melalui proses pirolisis, dalam mengadsorpsi logam Fe dari air asam tambang batubara. Biochar diaktivasi menggunakan larutan HCl 1 M. Pemilihan biochar sebagai adsorben karena bersifat ramah lingkungan, murah, dan memiliki struktur pori yang mendukung kemampuan adsorpsi. sebelum diterapkan pada AAT, dilakukan terlebih dahulu penentuan kondisi optimum proses adsorpsi menggunakan larutan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebagai model Fe. Biochar teraktivasi memiliki kondisi optimum pada pH 6 dengan kapasitas adsorpsi 4,8083 mg/L, waktu 60 menit dengan kapasitas adsorpsi 4,7599 mg/L, dan massa adsorben 0,1 g dengan kapasitas adsorpsi 4,9424 mg/L, sedangkan biochar tanpa aktivasi mencapai kondisi optimum pada waktu 90 menit dengan kapasitas adsorpsi 4,4475 mg/L, pH 6 dengan kapasitas adsorpsi 4,4475 mg/L dan massa 0,1 g dengan kapasitas adsorpsi 4,8909 mg/L. Proses adsorpsi mengikuti model kinetika pseudo orde dua dan isoterm Freundlich yang didapatkan hasil regresi mendekati satu yaitu 0,9995 dan 0,8005, mengindikasikan bahwa kinetika adsorpsi berlangsung secara kimia dan terjadi pada permukaan adsorben yang heterogen.

Pengujian pada sampel air asam tambang menunjukkan bahwa biochar teraktivasi secara signifikan menurunkan konsentrasi Fe lebih efektif daripada biochar tanpa aktivasi, dengan efisiensi adsorpsi maksimum masing-masing 93,5 % dan 38,6 %. Hasil karakterisasi menggunakan FTIR dan analisis BJH menunjukkan bahwa proses aktivasi mampu meningkatkan luas permukaan pori serta keberadaan gugus fungsional aktif yang berperan penting dalam peningkatan kinerja adsorpsi. Berdasarkan analisis BJH, biochar teraktivasi memiliki luas permukaan pori sebesar $0,34909 \text{ m}^2/\text{g}$, volume pori sebesar $0,00136 \text{ cc/g}$, dan rata-rata jari-jari pori sebesar $7,7900 \text{ nm}$, yang mendukung kemampuannya dalam mengadsorpsi logam Fe secara lebih efektif.

Kata kunci : Adsorpsi, Air Asam Tambang, Aktivasi, Biochar, logam besi

Kutipan : 48 (2012-2025)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY	xi
RINGKASAN	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Air Asam Tambang	5
2.1.1 Pengertian Air Asam Tambang	5
2.1.2 Pembentukan Air Asam Tambang	5
2.2 Kualitas air.....	6
2.3 Adsorpsi.....	7
2.4 Biochar	9
2.5 Logam Fe.....	11
2.6 Analisis Logam Fe.....	12
BAB III METODOLOGI	14
3.1 Waktu dan Tempat	14
3.2 Alat dan Bahan	14
3.2.1 Alat	14
3.2.2 Bahan	14
3.3 Prosedur.....	14
3.3.1 Aktivasi Biochar	14
3.3.2 Pembuatan Kurva Kalibrasi.....	14
3.3.3 Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi	15
3.3.3.1 Penentuan pH Optimum.....	15

3.3.3.2 Penentuan Waktu Optimum	15
3.3.3.3 Penentuan Massa Optimum	15
3.3.3.4 Penentuan Konsentrasi Optimum	16
3.3.4 Adsorpsi Logam Pada Limbah Air Asam Tambang Pada Kondisi Optimum.....	16
3.3.5 Karakterisasi Biochar Menggunakan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR).....	16
3.3.6. Analisis Data.....	17
3.3.6.1 Penentuan Konsentrasi Akhir Larutan Fe	17
3.3.6.2 Menghitung Kapasitas Adsorpsi	17
3.3.6.3 Menghitung Efisiensi Adsorpsi.....	17
3.3.6.4 Menentukan Kinetika Adsorpsi.....	18
3.3.6.5 Menentukan Isoterm Adsorpsi	19
3.3.6.6 Karakterisasi Biochar Menggunakan FTIR	19
3.3.6.7 Karakterisasi Pori Biochar Menggunakan <i>Barrett-Joyner-Halenda</i> (BJH)	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	20
4.1 Preparasi Biochar Teraktivasi	20
4.2 Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi	20
4.2.1 Penentuan pH Optimum	20
4.2.2 Penentuan Waktu Optimum	22
4.2.3 Penentuan Massa Optimum	23
4.2.4 Penentuan Konsentrasi Optimum Larutan Fe.....	24
4.3 Isoterm Adsorpsi.....	28
4.5 Pengaplikasian Biochar Pada Air Asam Tambang	31
4.6 Analisis Gugus Fungsional Biochar dengan FTIR.....	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	38
5.1 Kesimpulan	38
5.2 Saran	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN.....	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Grafik Penentuan pH Larutan Proses Adsorpsi Menggunakan Biochar Teraktivasi dan Biochar Tanpa Aktivasi.....	21
Gambar 2.	Grafik Penentuan Waktu Interaksi Biochar Teraktivasi dan Biochar Tanpa Aktivasi.....	22
Gambar 3.	Grafik Penentuan Massa Biochar Teraktivasi dan Biochar Tanpa Aktivasi	23
Gambar 4.	Grafik Penentuan Konsentrasi Optimum Larutan Fe Biochar Teraktivasi dan Biochar Tanpa Aktivasi	25
Gambar 5.	Grafik Pseudo Orde Satu Biochar Teraktivasi	26
Gambar 6.	Grafik Pseudo Orde Satu Biochar Tanpa Aktivasi.....	26
Gambar 7.	Grafik Pseudo Orde Dua Biochar Teraktivasi.....	27
Gambar 8.	Grafik Pseudo Orde Dua Biochar Tanpa Aktivasi	27
Gambar 9.	Grafik Isoterm Langmuir Adsorpsi Biochar Teraktivasi.....	29
Gambar 10.	Grafik Isoterm Langmuir Adsorpsi Biochar Tanpa Aktivasi	29
Gambar 11.	Grafik Isoterm Freundlich Adsorpsi Biochar Teraktivasi	30
Gambar 12.	Grafik Isoterm Freundlich Adsorpsi Biochar Tanpa Aktivasi.....	30
Gambar 13.	Spektrum FTIR biochar (a) teraktivasi (b) Tanpa Aktivasi Sebelum Adsorpsi	34
Gambar 14.	Spektrum FTIR Biochar sesudah mengadsorpsi Logam Fe Tanpa Aktivasi Fe (a) KPL 01 (b) KPL 02 dan Teraktivasi (c) KPL 01 (d) KPL 02	36

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Parameter Kinetika Adsorpsi.....	28
Tabel 2. Parameter Isoterm Adsorpsi	31
Tabel 3. Konsentrasi Fe sebelum dan sesudah Adsorpsi.....	32
Tabel 4. Persentase Efisiensi Adsorpsi Biochar Terhadap Logam Fe pada Air Asam Tambang	33
Tabel 5. Daerah Serapan dan Jenis Ikatan Pada Biochar Teraktivasi dan Tanpa Aktivasi Sebelum Adsorpsi	35
Tabel 6. Daerah Serapan dan Jenis Ikatan Biochar Teraktivasi dan Tanpa Aktivasi Sesudah Adsorpsi	36

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Diagram Alir Penelitian	45
Lampiran 2.	Pembuatan Larutan Sampel Fe dari $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	50
Lampiran 3.	Kurva kalibrasi	52
Lampiran 4.	Perhitungan Kapasitas Adsorpsi menggunakan Biochar Teraktivasi	53
Lampiran 5.	Perhitungan Kapasitas Adsorpsi menggunakan Biochar Tanpa Aktivasi	54
Lampiran 6.	Data dan Perhitungan Efisiensi Adsorpsi Sampel Air Asam Tambang	55
Lampiran 7.	Perhitungan Kinetika Adsorpsi	56
Lampiran 8.	Perhitungan Isoterm Adsorpsi	60
Lampiran 9.	Hasil Analisis BJH	64
Lampiran 10.	Gambar Penelitian	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aktivitas pertambangan dilakukan untuk mengambil endapan yang memiliki nilai ekonomis serta berharga dari dalam perut bumi. Hasil dari aktivitas pertambangan dapat bermacam macam, salah satunya adalah batubara. Proses dari pengambilan batubara melalui banyak rangkaian seperti prospeksi, eksplorasi, eksploitasi, dan pengolahan (Rahma *et al.*, 2022). Batubara adalah batuan sedimen yang terdiri dari karbon yang berasal dari sisa-sisa tumbuhan yang mengalami panas dan tekanan geologis. Batubara juga berasal dari tumbuhan yang tidak mengalami peruraian dengan sempurna dan terjaga dengan baik dengan keadaan bebas oksigen. Batubara merupakan sumber energi terpenting yang banyak dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik bahkan hampir setengah konsumsi batubara domestik dimanfaatkan sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Selain itu, batubara juga dimanfaatkan sebagai sumber energi utama dalam mendukung operasional kegiatan industri (Pahlevi *et al.*, 2024). Sebelum diubah menjadi energi lainnya, batubara harus melalui beberapa tahapan berupa penambangan, pengolahan, dan pengangkutan (Rahma *et al.*, 2022).

Perusahaan tambang batubara terbesar di Indonesia yakni PT. Bukit Asam (Persero) Tbk berlokasi di Tanjung Enim Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan. Perusahaan ini melakukan tahapan pengolahan batubara dengan sistem tambang terbuka metode *open pit* dengan siklus penambangan berupa pengeboran untuk memecahkan batuan dan peledakan, dengan operasi penggalian material, pemuatan dan mangkutan batubara ke tempat penyimpanan sementara. Pertambangan metode *open pit* akan menghasilkan berbagai dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu dampak negatif yang timbul dan berpotensi merusak lingkungan adalah terbentuknya Air Asam Tambang (AAT) (Kadafi *et al.*, 2018).

Pembentukan Air Asam Tambang dikarenakan adanya proses oksidasi dari batuan yang mengandung mineral sulfida (FeS_2), air dan udara. AAT merupakan sebutan untuk limbah cair dari pertambangan batubara yang memiliki nilai pH rendah berkisar antara 2-4 dengan kandungan logam berat seperti Fe dan Mn. Air

yang memiliki keasaman yang diatas batas maksimum akan mengurangi kualitas lingkungan dan kehidupan organisme baik secara langsung ataupun tidak langsung. Terbentuknya AAT berdampak pada penurunan kualitas badan perairan umum. Proses eksplotasi batubara mengangkut unsur dan senyawa kimia logam berat seperti besi, mangan dan cadmium yang bersumber oleh tanah dan batuan (Ferdian, 2020).

Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengelola AAT. Biasanya dua metode yang digunakan dalam pengolahan AAT, berupa teknologi pengolahan aktif dan teknologi pengolahan pasif. Pengolahan secara aktif adalah pengolahan AAT dengan bahan kimia untuk meningkatkan pH air, menetralkan keasaman dan kandungan AAT dan pengendapan logam. Sementara itu, pengolahan secara pasif, hanya menggunakan proses kimia dan biologi yang terjadi di alam tanpa penambahan bahan kimia pada AAT (Said, 2014).

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk menetralkan kandungan AAT, salah satunya menggunakan metode adsorpsi. Adsorpsi menjadi alternatif pengolahan yang banyak diminati karena mampu menghilangkan parameter pencemar, proses yang sederhana, dan membutuhkan biaya yang rendah (Gobel, Nursanto dan ratminah., 2018). Salah satu material yang digunakan adalah adsorben berbasis komposit. Penelitian oleh Paradise *et al.*, (2024) mengevaluasi efektivitas komposit yang terdiri dari *claystone*, zeolit, dan arang aktif tempurung kelapa dalam mengadsorpsi ion besi (Fe) dari AAT. Selain itu, Aprianti *et al.*, (2022) mengembangkan adsorben komposit yang terdiri dari karbon aktif bubuk (PAC) dan keramik untuk menghilangkan ion Fe dan Al dari AAT. Meskipun penggunaan komposit adsorben menunjukkan hasil yang sangat baik, dalam konteks pengolahan AAT yang berkelanjutan, diperlukan alternatif adsorben lain yang lebih ekonomis, tersedia melimpah, dan ramah lingkungan. Salah satu bahan yang menjanjikan adalah biochar.

Biochar dikenal sebagai bahan padat kaya karbon yang dihasilkan melalui proses pirolisis biomassa, seperti limbah pertanian dan kayu, pada suhu tinggi dalam lingkungan dengan oksigen terbatas. Biochar memiliki porositas tinggi dan luas permukaan yang besar, memungkinkan kapasitas adsorpsi yang signifikan. Sifat kimianya, seperti kandungan karbon tinggi dan pH basa, menjadikannya

efektif dalam meningkatkan kesuburan tanah dan sebagai adsorben untuk kontaminan (Ingle *et al.*, 2024). Fahrudin *et al.*, (2024) mengevaluasi kemampuan biochar dari tempurung kelapa dalam mengurangi konsentrasi sulfat dan logam berat Cd dalam AAT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biochar dapat menurunkan konsentrasi sulfat hingga 72,03% dan Cd hingga 80,16%, serta meningkatkan pH air, menjadikannya metode yang efektif dalam pengolahan AAT.

Untuk meningkatkan kemampuan biochar sebagai adsorben dilakukan dengan cara mengaktivasi biochar menggunakan senyawa kimia. Sulistyorini *et al.*, (2025) melakukan aktivasi biochar dengan menggunakan larutan HCl, dimana biochar direndam selama 48 jam. Aktivasi bertujuan untuk meningkatkan daya adsorpsi biochar terhadap logam, memperbesar pori-pori, dan menghilangkan senyawa oksida pengotor yang ada di permukaan logam (Verayana, Patupang dan Iyabu., 2018).

Berdasarkan penjabaran di atas, maka dalam penelitian ini dilakukan adsorpsi logam Fe dari AAT dengan memanfaatkan biochar yang terbuat dari tempurung kelapa. Biochar diaktivasi menggunakan HCl selama 48 jam. Biochar yang telah aktivasi kemudian digunakan sebagai adsorben untuk mengurangi kandungan logam Fe dari Air Asam Tambang batubara. Pada penelitian ini ditentukan kondisi optimum adsorpsi dengan mempertimbangkan pH, waktu kontak, massa optimum adsorben dan penentuan konsentrasi optimum adsorbat. Analisis kadar Fe dilakukan dengan metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS), yang memiliki sensitivitas tinggi, selektivitas baik, serta mampu mendeteksi logam pada konsentrasi rendah.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat dipelajari dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh biochar teraktivasi terhadap efektivitas adsorpsi logam Fe?
2. Bagaimana efisiensi adsorpsi maksimum biochar terhadap logam Fe pada Air Asam Tambang?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan pengaruh biochar teraktivasi terhadap efektivitas adsorpsi logam Fe.
2. Menentukan efisiensi adsorpsi maksimum biochar terhadap logam Fe pada Air Asam Tambang.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat menambah ilmu pengetahuan tentang pemanfaatan tempurung kelapa yang dibuat sebagai biochar untuk adsorpsi logam Fe pada Air Asam Tambang dan dapat dijadikan sebagai referensi maupun literatur untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abfertiawan, M.S. (2016). Model Transpor Air Asam Tambang Melalui Pendekatan Daerah Tangkapan Air. *Disertasi*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Ademiluyi, F. T., & David-West, E. O. (2012). Effect of chemical activation on the adsorption of heavy metals using activated carbons from waste materials. *International Scholarly Research Notices*, 2012(1), 674209.
- Alfiandari, Y., Manfarizah, M., & Darusman, D. (2023). Analisis Karakteristik Biochar Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*) dan Kayu Pulai (*Alstonia scholaris* (L.) R. Br). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 8(4), 817-826.
- Anjani, R. P. (2014). Pesaingion Na⁺ Determination of Optimum Mass and the Time Contact of Thegranular Activated Carbon Adsorption Used for Adsorbentto Removal Heavy Metal Pb (Ii) With Competitor Ion Na⁺. *Unesa Journal of Chemistry*, 3(3).
- Aprilianti, W., Wahyuni, N. & Zaharah, T. A. (2023). Adsorpsi Ion Besi Pada Lindi Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi Asam Klorida (HCl). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(2), 571-578.
- Arifiyana, D., & Devianti, V. A. (2020). Biosorpsi Logam Besi (Fe) Dalam Media Limbah Cair Artifisial Menggunakan Adsorben Kulit Pisang Kepok (*Musa Acuminate*). *Jurnal Kimia Riset*, 5(1), 1–8.
- Chindikia, I., Oktavia, B., Putra, A., & Nasra, E. (2024). Optimasi Adsorpsi Ion Fe³⁺ Menggunakan Adsorben Silika Gel Sulfonat. *Periodic*, 13(1), 67-70.
- Djana, M. (2023). Analisis Kualitas Air Dalam Pemenuhan Kebutuhan Air Bersih di Kecamatan Natar Hajimena Lampung Selatan. *Jurnal Redoks*, 8(1), 81–87. <https://doi.org/10.31851/redoks.v8i1.11853>
- Evizal, R., Fembriarti, D., & Prasmatiwi, E. (2023). Biochar: Pemanfaatan dan Aplikasi Praktis Biochar: Beneficial and Best Practices. *Jurnal Agrotropika* , 22(1), 1–12.
- Fahrudin, F., Fauziah, S., Samawi, M. F., Johannes, E., Tambaru, E., Abdullah, A. ... Dwiyantri, L. (2024). Biochar from Coconut Shell Biomass for the Removal of Sulfate and Cadmium Reduction in Acid Mine Drainage Treatment. *Polish Journal of Environmental Studies*, 33(5), 5627-5634. <https://doi.org/10.15244/pjoes/183175>
- Faris, S., & Titah, H. S. (2024). Remediasi Air Tercemar Logam Berat Kromium menggunakan Biochar dari Sekam Padi. *Jurnal Teknik ITS*, 13(1), F1-F6.
- Fatimah, Effendi, S. R. E., & Sofith, C. D. (2021). Pengaruh Ukuran Partikel Zeolit Alam yang Diaktivasi dan Diimpregnasi HCl dan Mg²⁺ pada Penjerapan Ion Fosfat. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 10(1), 13–18. <https://doi.org/10.32734/jtk.v10i1.4010>
- Ferdian, I. (2020). Analisis Keberhasilan Penanganan Air Asam Tambang berdasarkan Parameter pH, TSS, Fe dan Mn pada KPL AL 01 PT Bukit Asam, Tbk. *Seminar Nasional Lahan Suboptimal* (No. 1, pp. 1080-1090).

- Gobel, A. P., Nursanto, E. dan Ratminah, W. D. (2018). Efektifitas Pemanfaatan Fly Ash Batubara sebagai Adsorben dalam Menetralkan Air Asam Tambang pada *Settling Pond* Penambangan Banko PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. *Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan*, 2(1), 1-11.
- Habib, M., Ariyani, D dan Junaidi, A. B. (2025). Synthesis and Characterization of Acid-Activated Sago Dregs Biochar and Testing its Ability as an Adsorbent for Rhodamine B Dyes. *Jurnal Berkala Ilmiah Sains dan Terapan Kimia*, 19(1), 37-51.
- Hasibuan, R., & Pardede, H. M. (2023). Pengaruh Suhu dan Waktu Pirolisis Terhadap Karakteristik Arang dari Tempurung Kelapa. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 12(1), 46-53.
- Ingle, S. R., Kamble, B. M. and Patil, V. S. (2024). Biochar: A Comprehensive Review of Production, Properties and Applications. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, SP-8(1): 21-29
- Imani, A., Sukwika, T., & Febrina, L. (2021). Karbon Aktif Ampas Tebu sebagai Adsorben Penurun Kadar Besi dan Mangan Limbah Air Asam Tambang. *Jurnal Teknologi*, 13(1), 33-42.
- Irawan, C. (2018). Pengaruh Konsentrasi Adsorbat Terhadap Efektivitas Penurunan Logam Fe dengan Menggunakan Fly Ash sebagai Adsorben. *Jurnal Seminastika*, 291-293.
- Kadafi, M. T., Arief, A. T., Iskandar, H., & Pertambangan, J. T. (2018). Analisis Teknis Sistem Penanganan dan Pemanfaatan Air Asam Tambang di Wiup Tambang Air Laya (Tal) Pt. Bukit Asam (Persero) Tbk. Tanjung Enim Sumatera Selatan.. *Skripsi*. Universitas Sriwijaya.
- Kurniawan, P., & Kasmiyatun, M. (2020). Reduksi Kandungan Logam Berat Fe pada Air Sungai Jetis Salatiga secara Adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif. *CHEMTAG Journal of Chemical Engineering*, 1(1), 12-17.
- Lestari, I., Azira, A., & Farid, F. (2023). Adsorpsi Zat Warna Remazol Brilliant Blue Menggunakan Abu Terbang Cangkang Sawit HCl Teraktivasi. *al Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, 10 (2), 114-122.
- Lolo, A., Patandean, C. F., & Ruslan, E. (2020). Karakterisasi Air Daerah Panas Bumi Pencong dengan Metode Aas (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) di Kecamatan Biringbulu, Kabupaten Gowa Propinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Geoelebes*, 4(2), 102-110.
- Maghfiroh, E. N., & Wibowo, Y. M. (2021). Analysis of Iron (Fe) Levels in Pump Well Water at Mojotegalan Village Using an Atomic Absorption Spectrophotometer: Analisis Kadar Logam Besi (Fe) pada Air Sumur Pompa di Desa Mojotegalan Menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom. *Jurnal Kimia dan Rekayasa*, 2(1), 9-15.
- Mentari, A. V., Handika, G., & Maulina, S. (2018). Perbandingan Gugus Fungsi dan Morfologi Permukaan Karbon Aktif dari Pelempah Kelapa Sawit Menggunakan Aktivator Asam Fosfat (H_3PO_4) dan Asam Nitrat (HNO_3).

Jurnal Teknik Kimia USU, 7(1), 16–20.

- Murraya, M., Taufiq-Spj, N., & Supriyanti, E. (2018). Kandungan Logam Berat Besi (Fe) dalam Air, Sedimen dan Kerang Hijau (*Perna Viridis*) Di Perairan Trimulyo, Semarang. *Journal of Marine Research*, 7(2), 133-140.
- Nafsiyah, N., Shofiyani, A., & Syahbanu, I. (2017). Studi Kinetika dan Isoterm Adsorpsi Fe (III) pada Bentonit Teraktivasi Asam Sulfat. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 6(1).
- Ozcan, D. O., Hendekci, M. C., & Ovez, B. (2024). Enhancing the adsorption capacity of organic and inorganic pollutants onto impregnated olive stone derived activated carbon. *Helicon*, 10(12), e32792. <https://doi.org/10.1016/j.helicon.2024.e32792>
- Pahlevi, R., Thamrin, S., Ahmad, I., & Nugroho, F. B. (2024). Masa Depan Pemanfaatan Batubara sebagai Sumber Energi di Indonesia. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 5(2), 50-60.
- Pranoto, P., Martini, T., & Maharditya, W. (2020). Uji Efektivitas dan Karakterisasi Komposit Tanah Andisol/Arang Tempurung Kelapa untuk Adsorpsi Logam Berat Besi (Fe). *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, 16(1), 50-66.
- Prasetyo, H. I., Anastasia, T. T., & Faiz, A. N. (2024). Penurunan Kadar Besi Sedimen Hasil Dredging Menggunakan Biochar Sekam Padi dan Potensi Pemanfaatannya Sebagai Soil Block. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 15(2).
- Rahma, N. D., Rizka, Y., Nufus, W., Saraswati, N. A., & Chairani, S. (2022). Dampak Pertambangan BatuBara pada Kesehatan Lingkungan: A Systematic Review. *Health Safety Environment Journal*, 2(2), 1–19.
- Rampe, M. J., & Santoso, I. R. S. (2021). *Difraktogram X-Ray Diffraction Arang Tempurung Kelapa*. Penerbit NEM.
- Said, N. I. (2014). Teknologi Pengolahan Air Asam Tambang Batubara “Alternatif Pemilihan Teknologi”. *Jurnal Air Indonesia*, 7(2), 246-269.
- Saptawartono, Murati, F., Iashania, Y., Murati, F., Fidayanti, N., Melinda, S., & Reba, I. Y. (2024). Pengelolaan dan Pengendalian Air Asam Tambang pada Kegiatan Pertambangan Batubara: Management and Control of Acid Mine Water in Coal Mining Activities. *Jurnal Teknik Pertambangan*, 24(1), 44-51.
- Sianipar, L. D., Zaharah, T. A., & Syahbanu, I. (2016). Adsorpsi Fe (II) dengan Arang Kulit Buah Kakao (*Theobroma Cacao* L.) Teraktivasi Asam Klorida. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 5(2).
- Siregar, L. H., Nasution, Z., & Fatimah, F. (2021). Pengelolaan Air Asam Tambang dari Batuan Sisa di Pit Barani dan Ramba Joring serta Aplikasi Model Enkapsulasi pada Bendungan Tailing di Tambang Emas Martabe. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(3).
- Sulistyorini, L. D., Lutfi, M. & Sultan, S. M. (2015). Pemanfaatan Kulit Siwalan (*Borassus Flabellifer*) sebagai Biochar dengan Pengaruh Konsentrasi dan

- Lama Perendaman HCl pada Proses Aktivasi. *Jurnal Bioproces Komoditas Tropis*, 3(2), 74-80.
- Supriyanti, E., & 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).
- Sylvia, N., Masrullita, M., Wijaya, Y. A. & Safriwardy, F. (2021). Efektivitas Karbon Aktif Kulit Singkong (*Manihot Esculenta* Crantz) Terhadap Adsorpsi Ion Logam Fe^{2+} Dengan Aktivator NaoH. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 10(2), 83-91.
- Tahad, A., & Sanjaya, A., S. (2017). Isoterm Freundlich, Model Kinetika dan Penentuan Laju Reaksi Adsorpsi Besi dengan Arang Aktif dari Ampas Kopi, *Jurnal Chemurgry*, 1(2): 14.
- Tandiarrang, J. Devy, S. D. dan Trides, T. (2016). Studi Perbandingan Penggunaan Tawas ($Al_2(SO_4)_3$) dan Kapur Padam ($Ca(OH)_2$) Pada Pengolahan Air Asam Tambang di Pt Kaltim Diamond Coal Kecamatan Loa Kulu Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*. 4(1): 36-51.
- Tiwow, V. A., Rampe, M. J., Rampe, H. L., & Apita, A. (2022). Pola Inframerah Arang Tempurung Kelapa Hasil Pemurnian Menggunakan Asam. *Kemajuan Kimia*, 14 (2), 116–123.
- Verayana, Paputungan, M. & Iyabu, H. (2018). Pengaruh Aktivator HCl dan H_3PO_4 terhadap Karakteristik (Morfologi Pori) Arang Aktif Tempurung Kelapa Serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb). *Jurnal Entropi*, 13(1), 67-75.
- Wahyuni, S., Ningsih, P., & Ratman, R. (2017). Pemanfaatan Arang Aktif Biji Kapuk (*Ceiba Pentandra L.*) sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb). *Jurnal Akademika Kimia*, 5(4), 191-196.
- Wang, Y., Chen, L., Zhu, Y., Fang, W., Tan, Y., He, Z., & Liao, H. (2024). Research Status, Trends, and Mechanisms of Biochar Adsorption for Wastewater Treatment: A Scientometric Review. *Environmental Sciences Europe*, 36(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00859-z>
- Wijayanti, A., Susatyo, E. B., Sukarjo, S., & Kurniawan, C. (2018). Adsorpsi Logam Cr (VI) dan Cu (II) Pada Tanah dan Pengaruh Penambahan Pupuk Organik. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(3), 242-248.
- Yantyana, I., Amalia, V., & Fitriyani, R. (2018). Adsorpsi Ion Logam Timbal (II) menggunakan Mikrokapsul Ca-alginat. *al Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, 5(1), 17-26.
- Yustinah, Y., Hudzaifah, H., Aprilia, M., & Ab, S. (2020). Keseimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) dengan Adsorben Tanah Diatomit secara Batch. *Jurnal Konversi*, 9(1), 12.

Zulfania, F., Fathoni, A. R. dan Nur, A, M. (2022). Kemampuan Adsorpsi Logam Berat Zn dengan Menggunakan Adsorben Kulit Jagung (*Zea Mays*) *Jurnal Chemurgy*, Vol. 6(2): 65 – 69.