

**OPTIMASI ADSORPSI Fe DENGAN *RESPONSE SURFACE*
METHODOLOGY (RSM) MENGGUNAKAN KOMPOSIT $\text{CaO}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ DAN
APLIKASINYA PADA AIR ASAM TAMBANG (AAT) PT. BUKIT ASAM**

SKRIPSI

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



**Oleh
AMANDA NABILA PUTRI
08031282126039**

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

HALAMAN PENGESAHAN

OPTIMASI ADSORPSI Fe DENGAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY* (RSM) MENGGUNAKAN KOMPOSIT $\text{CaO/Fe}_3\text{O}_4$ DAN APLIKASINYA PADA AIR ASAM TAMBANG (AAT) PT. BUKIT ASAM

SKRIPSI

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

Oleh:

AMANDA NABILA PUTRI

08031282126039

Indralaya, 21 Juli 2025

Menyetujui,

Pembimbing I



Dr. Widia Perwaningrum, M.Si

NIP. 197304031999032001

Pembimbing II



Dr. Nirwan Syarif, M.Si

NIP. 197010011999031003

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 Amanda Nabila Putri (08031282126039) dengan judul "Optimasi Adsorpsi Fe Dengan *Response Surface Methodology* (RSM) Menggunakan Komposit $\text{CaO/Fe}_3\text{O}_4$ dan Pengaplikasiannya Pada Air Asam Tambang (AAT) PT. Bukit Asam". Telah disidangkan di hadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada 16 Juli 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 21 Juli 2025

Ketua :

1. Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si
NIP. 196808271994022001



Anggota :

1. Dr. Widia Purwaningrum, M.Si
NIP. 197304031999032001
2. Dr. Nirwan Syurif, M.Si
NIP. 197010011999031003
3. Fahma Riyanti, M.Si
NIP. 197204082000032001



Mengetahui,



Dekan FMIPA
Prof. Hermansyah, S.St., 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 : Amanda Nabila Putri

NIM : 08031282126039

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, 21 Juli 2025

Yang menyatakan,



Amanda Nabila Putri

NIM. 08031282126039

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Amanda Nabila Putri
NIM : 08031282126039
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya "Optimasi Adsorpsi Fe Dengan *Response Surface Methodology* (RSM) Menggunakan Komposit $\text{CaO}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ dan Aplikasinya pada Air Asam Tambang (AAT) PT. Bukit Asam". 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 Juli 2025

Yang menyatakan,



Amanda Nabila Putri

NIM. 08031282126039

HALAMAN PERSEMBAHAN

*“The only way to discover the limits of the possible is to go beyond
them into the impossible”*

(Arthur C. Clarke)

“Indeed, with hardship will be ease”

(QS. Al-Insyirah: 6)

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

1. Tuhan Yang Maha Esa
2. Bapak, Ibu, dan Adik yang senantiasa berjuang dengan penuh rasa cinta demi penulis dapat meraih gelar
3. Keluarga besar penulis yang selalu mendoakan dan mendukung.
4. Dosen pembimbing (Ibu Dr. Widia Purwaningrum, M.Si dan Bapak Dr. Nirwan Syarif, M.Si)
5. Seluruh dosen Jurusan Kimia
6. Teman-teman seperjuangan dan almamater yang penulis banggakan, Universitas Sriwijaya
7. Diri saya sendiri

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, serta petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi yang berjudul “Optimasi Adsorpsi Dengan *Response Surface Methodology* (RSM) Menggunakan Komposit $\text{CaO/Fe}_3\text{O}_4$ dan Aplikasinya pada Air Asam Tambang (AAT) PT. Bukit Asam” dengan baik, tepat waktu, dan penuh kesabaran. Penyusunan skripsi ini merupakan rangkaian dalam perjalanan akademik penulis di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan dalam skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu **Dr. Widia Purwaningrum, M.Si** dan Bapak **Dr. Nirwan Syarif, M.Si** yang telah banyak memberikan bimbingan, dan petunjuk kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT dan junjungannya Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan segala nikmat dan kasih sayang-Nya yang begitu besar hingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Kepada kedua orang tua penulis, Papa (Aiyup Ismail, S.E., M.Pd) dan Mama (Siti Nurhayati) tercinta. Terima kasih atas kesabaran dan kebesaran hati menghadapi penulis yang seringkali keras kepala dan senantiasa mendoakan, memberikan kasih sayang, dukungan, semangat, nasihat serta masukan kepada penulis. Terima kasih telah mengusahakan pendidikan penulis hingga di tahap ini, dan memberikan kepercayaan penuh untuk hidup di perantauan. Semoga Allah senantiasa memberikan kesehatan kepada Mama dan Papa agar bisa terus bersama-sama hingga hari tua, aamiin.
3. Kepada adik penulis, Rasyha. Terima kasih sudah mendoakan yang terbaik bagi penulis, telah mendengarkan keluhan penulis, dan selalu bangga dengan pencapaian penulis. Semoga selalu dimudahkan urusannya, dan bisa membanggakan orang tua.

4. Pemilik NIM 08031382126105, terima kasih telah hadir dalam bagian cerita hidup penulis. Terima kasih telah menjadi teman belajar, motivator, *support system*, pengingat, dan penghibur di kala penulis merasa sedih. Segala bantuan yang telah diulurkan selama proses penyusunan skripsi ini sangat berarti bagi penulis. Tidak terasa dari banyak hal yang kita mimpikan bersama, satu persatu telah tercapai. Selamat ya 105, akhirnya kita sarjana. Semoga kamu selalu bahagia dan menikmati hidup. Terakhir, terima kasih sudah memberikan penulis teman yang membantu agar tetap waras (nomor 5).
5. Kucing penulis, Joy. Terima kasih telah membuat penulis selalu tersenyum karena tingkahmu yang lucu. Temani penulis lebih lama lagi ya, Joy. Salam meow.
6. Bapak Prof. Hermansyah, M.Si., Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
7. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si selaku ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
8. Dosen pembimbing, Ibu Dr. Widia Purwaningrum, M.Si dan Bapak Dr. Nirwan Syarif, M.Si, terima kasih banyak atas bimbingan, motivasi, dan dukungan yang Ibu dan Bapak berikan hingga penulis dapat menyelesaikan karya ini. Dari banyaknya kekurangan penulis, terima kasih telah mengingatkan dan memberi arahan agar penulis menjadi pribadi yang lebih baik. Semoga Ibu dan Bapak senantiasa diberi kesehatan oleh Allah SWT.
9. Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si dan Ibu Fahma Riyanti, M.Si selaku dosen penguji penulis. Terima kasih atas ilmu, saran, dan masukan yang diberikan dalam menyempurnakan karya penulis. Semoga Ibu senantiasa diberi kesehatan oleh Allah SWT.
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 Mba Novi, selaku admin jurusan Kimia FMIPA. Terima kasih atas bantuannya dalam mengurus dan mengatur jadwal pelaksanaan seminar hingga sidang skripsi, sehingga dapat terlaksana dengan baik. Terima kasih telah membantu penulis mengurus segala pemberkasan hingga tahap akhir.
12. Rizky Azahra (Kaye, Kya, Rizki) terima kasih telah menemani hari-hari penulis di kala senang dan sedih. Terima kasih selalu memberikan afirmasi positif ketika penulis sedang tidak baik-baik saja, meskipun sebenarnya gengsinya setinggi pohon kelapa tapi tetap menghibur penulis dengan kelakuannya yang aneh. Semoga kita tetap bisa terus berkomunikasi meskipun sudah berpisah dan bisa bertemu lagi di lain waktu, ya!
13. Awny Athalia Syahrani (Auni), *roommate* yang terlambat akrab. Terima kasih telah menjadi "wartawan seminar" saat penulis butuh teman belajar, dan selalu senang membantu penulis ketika sedang merasa bingung. Tak lupa, terima kasih telah bersedia memberi tumpangan ke kampus kepada penulis semasa kuliah.
14. Ananda Cecilia Recoba (Cecil), terima kasih telah menjadi teman yang sangat baik sedari maba. Terima kasih atas bantuan yang diberikan kepada penulis saat kesulitan. Semoga suatu saat penulis dapat membalas segala kebaikanmu. Makan makanan yang sehat dan hidup lebih lama ya.
15. Cici Utami (Ciut), teman penulis dengan persentase mengobrol seputar akademik sebesar 70%. Terima kasih atas saran dan selalu siap sedia berdiskusi dengan penulis selama penelitian hingga penyusunan skripsi. Terima kasih telah menemani penulis ketika menjalani hari-hari di Tanjung Enim.
16. Gang Buntu (Aga, Kya, Aan, Cici, Cecil, Awny, Adit, Gilang, dan Tristan). Terima kasih telah menjadi tempat ternyaman bagi penulis dari awal hingga akhir perkuliahan. Terima kasih telah mengenalkan arti teman kepada penulis, mungkin jika tidak dipertemukan dengan kalian kehidupan kuliah bagi penulis adalah hal yang membosankan, namun dengan adanya kalian hidup penulis menjadi lebih berwarna. Semoga kita

bisa melanjutkan pertemanan ini sampai tua nanti, dan mewujudkan segala *wishlist* yang pernah kita rencanakan.

17. Dian Annisa, terima kasih telah mengisi hari-hari penulis sejak duduk di bangku sekolah. Terima kasih tetap menjaga komunikasi hingga saat ini meskipun memiliki kesibukan masing-masing. Semoga kita bisa segera *meet up* dan bermain lagi ya.
18. Nurfitria Oktarini, S.Psi (Sarayu), psikolog pribadi kebanggaan penulis. Terima kasih banyak telah menemani dan menjadi saksi kehidupan penulis. Terima kasih selalu memberikan *advice* yang penulis butuhkan, terima kasih selalu hadir setiap saat dan selalu menghibur dengan segala kelucuannya. Penulis sangat bersyukur telah dihadirkan seorang Sarayu dalam hidup penulis. Tetap menjadi pribadi yang ceria dan bersinar ya Sarayu, dan semoga Roblox tidak akan pernah musnah dari dunia ini, hidup Roblox!
19. Allyssa Nethania (Netha), teman pertama penulis sedari pengumuman SBMPTN. Terima kasih telah kebersamaan penulis hingga tahap akhir. Semoga kita bisa bermain dan makan sushi bersama lagi, tapi kali ini di Lampung.
20. R. A. Mayang Sari Khoirunnisa (Mayang), teman seperbimbingan Ibu Widia. Terima kasih atas bantuan yang diberikan saat penelitian, dan menjadi teman yang baik selama magang. Tetap semangat dan semoga dilancarkan segala urusannya.
21. Adik-adik asuh penulis yang cantik, Ibel, Merry, dan Fara. Terima kasih telah menjadi adik yang lucu dan baik semasa perkuliahan. Semangat kuliah dan menyusun skripsi sampai S.Si, ya.
22. Kepada Kakak-Kakak satker Keloling, Lab, Briket, dan PHRDAS yang namanya tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih telah banyak membantu penulis ketika magang, baik urusan pekerjaan maupun bantuan saat penelitian. Semoga Kakak-Kakak sukses selalu dan tetap semangat.
23. Kak Novi dan Kak Avga BRIN, terima kasih telah membantu penulis dalam mengolah data penelitian dan membuka pikiran penulis agar dapat berpikir lebih jernih. Semoga kalian sukses selalu.

24. HIMAKI, tempat dimana penulis bertumbuh dan menyalurkan ide-idenya. Terima kasih telah menjadi naungan penulis di kala penulis jenuh, menjadi tempat penulis berkembang dengan proker yang dijalankan. Terima kasih telah memberikan banyak penulis pengalaman terutama dalam bidang organisasi dan kepemimpinan serta bagaimana meng-*handle* acara-acara besar.
25. Teman seperjuangan Angkatan 2021 “Lawrensium”, terima kasih telah menjadi bagian besar dalam kehidupan penulis selama 4 tahun berkuliah.
26. Terima kasih untuk diriku sendiri, yang pelan-pelan belajar bertahan meski tak selalu mudah. Terima kasih telah percaya bahwa langkah kecil pun berarti, dan setia merawat mimpi meski sering digoda ragu. Telah sampai di sini pun sudah cukup jadi alasan untuk tersenyum, menepuk bahu, dan melanjutkan hidup dengan hati yang lebih lapang. Terima kasih sudah setia melangkah sejauh ini, semoga langkahmu esok tetap ringan dan hatimu tetap tenang, Amanda.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan 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, 21 Juli 2025
Penulis

Amanda Nabila Putri
NIM. 08031282126039

SUMMARY

OPTIMIZATION OF Fe ADSORPTION WITH RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM) USING CaO/Fe₃O₄ COMPOSITE AND ITS APPLICATION IN ACID MINE WATER (AMD) PT. BUKIT ASAM

Amanda Nabila Putri : Supervised by Dr. Widia Purwaningrum, M.Si and Dr. Nirwan Syarif, M.Si

Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Sriwijaya
+ xi, 80 Pages, 13 Table, 15 Pictures, 11 Appendices

Coal mining activities cause sulfide minerals contained in coal to be exposed which causes the formation of acid mine drainage (AAT). Acid mine drainage with a high concentration of Fe metal needs to be treated before flowing so that it can meet the wastewater quality standards set by KLHK, which is 7 mg/L. To reduce or remove Fe levels in AAT, several methods can be used, one of which is adsorption. Adsorption can take place optimally if the adsorbent used is suitable. One of the adsorbents that can be used for AAT treatment is CaO. This research uses bamboo clam shells as a CaO precursor which is then composited with Fe₃O₄ in a weight ratio of 2:1. The addition of Fe₃O₄ can improve adsorbent performance because its magnetic properties can facilitate post-adsorption separation. The CaO/Fe₃O₄ composite was characterized using XRD, BET and FTIR. Optimization of Fe adsorption process by CaO/Fe₃O₄ composite was conducted using Response Surface Methodology (RSM) model Central Composite Design (CCD) type Face-Centered run with Design Expert 13 application.

The results of XRD characterization of the CaO/Fe₃O₄ composite showed the highest peak at an angle of $2\theta = 30.45^\circ$ belonging to Fe₃O₄ with an average Fe₃O₄ size of 32.37 nm and CaO crystals of 35 nm. The Ca-O bond is in the absorption region of 447.49 and 875.68 cm⁻¹, and the Fe-O bond in the absorption region of 555.14 cm⁻¹. The surface area of the composite was found to be 50.3762 m²/g with a pore volume of 0.1007 cc/g, and an average pore size of 4.0008 nm. The optimum condition for Fe adsorption based on RSM is at concentration 55, pH 2.5 and contact time 35 minutes. Fe adsorption on acid mine drainage samples in MT-01 Sludge Settling Pond (SSP) at PT. Bukit Asam using CaO/Fe₃O₄ composite with pH 2.5 and contact time of 35 minutes can reduce Fe level from 21.08 mg/L to 1.02 mg/L with efficiency of 95%. The adsorption of Fe³⁺ by CaO/Fe₃O₄ composite followed the Langmuir model with R² of 0.9711 indicating a monolayer mechanism on a homogeneous surface. The second-order pseudo kinetic model was best fit with an R² value of 0.9997 and a K₂ value of 0.0437 g/mg.min.

Keywords : Fe adsorption, CaO/Fe₃O₄, Response Surface Methodology (RSM)

Citation : 81 (2008-2024)

RINGKASAN

OPTIMASI ADSORPSI Fe DENGAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY* (RSM) MENGGUNAKAN KOMPOSIT CaO/Fe₃O₄ DAN APLIKASINYA PADA AIR ASAM TAMBANG (AAT) PT. BUKIT ASAM

Amanda Nabila Putri : Dibimbing oleh Dr. Widia Purwaningrum, M.Si dan Dr. Nirwan Syarif, M.Si

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya + xi, 80 halaman, 13 Tabel, 15 Gambar, 11 Lampiran

Aktivitas penambangan batubara menyebabkan mineral sulfida yang terkandung di dalam batubara akan terekspos yang menyebabkan terbentuknya air asam tambang (AAT). Air asam tambang dengan konsentrasi logam Fe yang tinggi perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dialirkan agar dapat memenuhi baku mutu air limbah yang telah ditetapkan KLHK yaitu 7 mg/L. Untuk mengurangi atau menghilangkan kadar Fe pada AAT dapat menggunakan beberapa metode, salah satunya adalah adsorpsi. Adsorpsi dapat berlangsung dengan optimal apabila adsorben yang digunakan sesuai. Salah satu adsorben yang dapat digunakan untuk pengolahan AAT adalah CaO. Penelitian ini menggunakan cangkang kerang bambu sebagai prekursor CaO yang kemudian dikompositkan dengan Fe₃O₄ dengan perbandingan berat 2:1. Penambahan Fe₃O₄ dapat meningkatkan kinerja adsorben karena sifatnya yang magnetik dapat memudahkan pemisahan pasca adsorpsi. Komposit CaO/Fe₃O₄ dikarakterisasi menggunakan XRD, BET dan FTIR. Optimasi proses adsorpsi Fe oleh komposit CaO/Fe₃O₄ dilakukan menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) model CCD (*Central Composite Design*) tipe *Face-Centered* yang dijalankan dengan aplikasi Design Expert 13.

Hasil karakterisasi XRD pada komposit CaO/Fe₃O₄ menunjukkan puncak tertinggi pada sudut $2\theta = 30,45^\circ$ milik Fe₃O₄ dengan rata-rata ukuran Fe₃O₄ sebesar 32,37 nm dan kristal CaO sebesar 35 nm. Ikatan Ca-O berada pada daerah serapan 447,49 dan 875,68 cm⁻¹, serta ikatan Fe-O pada daerah serapan 555,14 cm⁻¹. Luas permukaan komposit diketahui sebesar 50,3762 m²/g dengan volume pori sebesar 0,1007 cc/g, dan rata-rata ukuran pori sebesar 4,0008 nm. Kondisi optimum untuk adsorpsi Fe berdasarkan RSM adalah pada konsentrasi 55, pH 2,5 dan waktu kontak 35 menit. Adsorpsi Fe pada sampel air asam tambang pada Kolam Pengendapan Lumpur (KPL) MT-01 di PT. Bukit Asam menggunakan komposit CaO/Fe₃O₄ dengan pH 2,5 dan waktu kontak 35 menit dapat menurunkan kadar Fe dari 21,08 mg/L menjadi 1,02 mg/L dengan efisiensi sebesar 95%. Adsorpsi Fe³⁺ oleh komposit CaO/Fe₃O₄ mengikuti model Langmuir dengan R² sebesar 0,9711, menunjukkan mekanisme monolayer pada permukaan homogen. Model kinetika pseudo orde dua paling sesuai dengan nilai R² sebesar 0,9997 dan nilai K₂ sebesar 0,0437 g/mg.menit.

Kata Kunci : Adsorpsi Fe, CaO/Fe₃O₄, *Response Surface Methodology* (RSM)

Sitasi : 81 (2008-2024)

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
SUMMARY.....	xii
RINGKASAN.....	xiii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
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.....	Error! Bookmark not defined.
2.1 Air Asam Tambang (AAT) dan Cara Pengolahannya.....	Error! Bookmark not defined.
2.2 Logam Fe	Error! Bookmark not defined.
2.3 Kerang Bambu	Error! Bookmark not defined.
2.4 Kalsium Oksida (CaO).....	Error! Bookmark not defined.

2.5	Magnetit (Fe_3O_4)	Error! Bookmark not defined.
2.6	Komposit $\text{CaO}/\text{Fe}_3\text{O}_4$	Error! Bookmark not defined.
2.7	Adsorpsi	Error! Bookmark not defined.
2.8	Isoterm Adsorpsi	Error! Bookmark not defined.
2.9	Kinetika Adsorpsi	Error! Bookmark not defined.
2.10	X-Ray Diffraction (XRD)	Error! Bookmark not defined.
2.11	<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i>	Error! Bookmark not defined.
2.12	Brunauer Emmett Teller (BET)	Error! Bookmark not defined.
2.13	<i>Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)</i>	Error! Bookmark not defined.
2.14	<i>Response Surface Methodology (RSM)</i> ...	Error! Bookmark not defined.
2.15	Central Composite Design (CCD)	Error! Bookmark not defined.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN**Error! Bookmark not defined.**

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.2	Alat dan Bahan	Error! Bookmark not defined.
3.2.1	Alat	Error! Bookmark not defined.
3.2.2	Bahan	Error! Bookmark not defined.
3.3	Prosedur Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.3.1	Sintesis CaO	Error! Bookmark not defined.
3.3.2	Sintesis Komposit $\text{CaO}/\text{Fe}_3\text{O}_4$	Error! Bookmark not defined.
3.4	Penentuan pH_{pzc}	Error! Bookmark not defined.
3.5	Penentuan Kondisi Optimum	Error! Bookmark not defined.

3.5.1	Pembuatan Larutan Induk Fe	Error! Bookmark not defined.
3.5.2	Pembuatan Kurva Kalibrasi Fe	Error! Bookmark not defined.
3.5.3	Desain RSM Adsorpsi Fe Menggunakan Komposit CaO/Fe ₃ O ₄	Error! Bookmark not defined.
3.6	Aplikasi Kondisi Optimum Adsorpsi Fe Menggunakan Metode RSM pada AAT	Error! Bookmark not defined.
3.6.1	Penentuan Kadar Fe Awal dan pH Awal pada AAT.....	Error! Bookmark not defined.
3.6.2	Adsorpsi Fe pada AAT (Pada Waktu Kontak Optimum)	Error! Bookmark not defined.
3.6.3	Adsorpsi Fe pada AAT (Pada pH Optimum dan Waktu Kontak Optimum).....	Error! Bookmark not defined.
3.7	Penentuan Isoterm Adsorpsi	Error! Bookmark not defined.
3.8	Penentuan Kinetika Adsorpsi.....	Error! Bookmark not defined.
3.9	Analisis Data	Error! Bookmark not defined.
3.9.1	Karakterisasi XRD	Error! Bookmark not defined.
3.9.2	Karakterisasi FTIR	Error! Bookmark not defined.
3.9.3	Karakterisasi BET	Error! Bookmark not defined.
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		Error! Bookmark not defined.
4.1	CaO Hasil Sintesis.....	Error! Bookmark not defined.
4.2	CaO/Fe ₃ O ₄ Hasil Sintesis	Error! Bookmark not defined.
4.3	Hasil Karakterisasi Komposit CaO/Fe ₃ O ₄ ..	Error! Bookmark not defined.
4.3.1	Hasil Karakterisasi Komposit CaO/Fe ₃ O ₄ Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	Error! Bookmark not defined.
4.3.2	Hasil Karakterisasi Komposit CaO/Fe ₃ O ₄	

Menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).....**Error! Bookmark not defined.**

4.3.3 Hasil Karakterisasi Komposit CaO/Fe₃O₄
Menggunakan Brunauer Emmett Teller (BET) **Error! Bookmark not defined.**

4.4 Hasil Penentuan pH Point Zero Charge (pHpzc) pada
Komposit CaO/Fe₃O₄.....**Error! Bookmark not defined.**

4.5 Hasil Analisis Menggunakan *Response Surface Methodology*
(RSM)**Error! Bookmark not defined.**

4.6 Pengaplikasian Komposit CaO/Fe₃O₄ untuk Adsorpsi Fe
pada Air Asam Tambang**Error! Bookmark not defined.**

4.7 Isoterm Adsorpsi Komposit CaO/Fe₃O₄.. **Error! Bookmark not defined.**

4.8 Kinetika Adsorpsi Komposit CaO/Fe₃O₄ **Error! Bookmark not defined.**

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**Error! Bookmark not defined.**

4.9 Kesimpulan**Error! Bookmark not defined.**

4.10 Saran.....**Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR PUSTAKA **5**

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Difraktogram a) CaO, b) Fe ₃ O ₄ , dan c) Komposit CaO/Fe ₃ O ₄ (Purwaningrum <i>et al.</i> , 2024)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. a) Serbuk cangkang kerang bambu b) CaO hasil sintesis	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. Komposit CaO/Fe ₃ O ₄ hasil sintesis.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. Difraktogram CaO dan komposit CaO/Fe ₃ O ₄ hasil sintesis.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 5. Spektra FTIR komposit CaO/Fe ₃ O ₄ hasil sintesis.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 6. Grafik pH _{pzc} komposit CaO/Fe ₃ O ₄ hasil sintesis.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 7. Grafik prediksi vs. aktual	Error! Bookmark not defined.
Gambar 8. Hasil 3D <i>surface</i> interaksi konsentrasi dan pH..	Error! Bookmark not defined.
Gambar 9. Hasil 3D <i>surface</i> interaksi konsentrasi dan waktu kontak	Error! Bookmark not defined.

Gambar 10. Hasil 3D *surface* interaksi pH dan waktu kontak.... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 11. Diagram efisiensi adsorpsi Fe pada AAT menggunakan komposit CaO/Fe₃O₄..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 12. Grafik isoterm Langmuir komposit CaO/Fe₃O₄ **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 13. Grafik isoterm Freundlich komposit CaO/Fe₃O₄ **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 14. Grafik pseudo orde satu komposit CaO/Fe₃O₄. **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 15. Grafik pseudo orde dua komposit CaO/Fe₃O₄ . **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1. Data XRD CaO, Fe₃O₄, dan komposit CaO/Fe₃O₄ dibandingkan dengan data JCPDS (Purwaningrum *et al.*, 2024) . **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 2. Analisis FTIR komposit CaO/Fe₃O₄ (Khoo *and* Esmaeili, 2018) ... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 3. Hasil analisis BET CaO dan CaO/ Fe ₃ O ₄ (Khoo <i>and</i> Esmaeilli, 2018).....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. Parameter untuk eksperimen adsorpsi Fe menggunakan RSM model CCD	Error! Bookmark not defined.
Tabel 5. Rancangan RSM untuk adsorpsi Fe menggunakan komposit CaO/Fe ₃ O ₄	Error! Bookmark not defined.
Tabel 6. Sudut 2θ material standar CaO, Fe ₃ O ₄ , CaO hasil sintesis dan komposit CaO/Fe ₃ O ₄ hasil sintesis	Error! Bookmark not defined.
Tabel 7. Daerah serapan dan jenis ikatan pada komposit CaO/Fe ₃ O ₄	Error! Bookmark not defined.
Tabel 8. Hasil optimasi RSM untuk adsorpsi Fe menggunakan komposit CaO/Fe ₃ O ₄	Error! Bookmark not defined.
Tabel 9. Analisa kesesuaian rangkaian model	Error! Bookmark not defined.
Tabel 10. Analisa ANOVA untuk respon efisiensi	Error! Bookmark not defined.
Tabel 11. Kriteria variabel dan respon untuk optimasi	Error! Bookmark not defined.
Tabel 12. Data parameter isoterm adsorpsi Fe ³⁺ oleh komposit CaO/Fe ₃ O ₄ .	Error! Bookmark not defined.
Tabel 13. Data parameter kinetika adsorpsi Fe ³⁺ oleh komposit CaO/Fe ₃ O ₄	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian.....	57
Lampiran 2. Perhitungan Perbandingan Massa Pembentukan Komposit CaO/Fe ₃ O ₄	61
Lampiran 3. Hasil Karakterisasi CaO/Fe ₃ O ₄ Menggunakan XRD	62
Lampiran 4. Hasil Karakterisasi CaO/Fe ₃ O ₄ Menggunakan FTIR.....	68
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi CaO/Fe ₃ O ₄ Menggunakan BET	69
Lampiran 6. Pengukuran pH Point Zero (pHpzc)	70
Lampiran 7. Kurva Kalibrasi Fe.....	71
Lampiran 8. Data Optimasi RSM.....	72
Lampiran 9. Perhitungan Isoterm Adsorpsi	74
Lampiran 10. Perhitungan Kinetika Adsorpsi.....	76
Lampiran 11. Dokumentasi Penelitian	78

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penambangan batubara merupakan salah satu kegiatan industri yang dapat mengakibatkan perubahan terhadap lingkungan berupa memicu terjadinya perubahan kimiawi yang berdampak pada kualitas air dan tanah. Mineral sulfida yang terkandung di dalam batuan dan batubara akan terekspos sehingga terjadi reaksi antara mineral dengan udara dan air, hal tersebut menyebabkan terbentuknya air asam tambang. Air asam tambang dapat muncul karena adanya proses oksidasi bahan mineral pirit (FeS_2) dan bahan mineral sulfida lainnya seperti CuS_2 , CuS , CuFeS_2 , MoS_2 , NiS_2 , PbS_2 dan ZnS yang tersingkap ke permukaan tanah dalam proses pengambilan bahan mineral tambang. Terbentuknya air asam tambang ditandai oleh pH yang rendah seperti 1,5-4 dan konsentrasi logam terlarut yang tinggi (Wahyudin *et al.*, 2018).

Menurut Nurisman *et al.* (2012), air asam tambang yang terakumulasi pada kolam pengendap lumpur masih memiliki nilai pH yang rendah di bawah standar baku mutu lingkungan. Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2022, setiap penanggung jawab usaha dan kegiatan pertambangan batubara wajib melakukan pengolahan air limbah yang berasal dari kegiatan penambangan sehingga mutu air limbah yang dibuang ke lingkungan tidak melampaui baku mutu air limbah yang ditetapkan. Kadar maksimum Fe total pada air limbah yang diizinkan adalah 7 mg/L.

Air asam tambang yang akan dialirkan ke lingkungan perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu agar dapat memenuhi baku mutu air limbah yang telah ditetapkan. Salah satu metode yang dapat dilakukan untuk mengolah limbah air asam tambang adalah metode adsorpsi. Adsorpsi merupakan salah satu metode penting dalam penghilangan kontaminan logam berat. Adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya pH, konsentrasi, dan waktu kontak. Semakin besar konsentrasi dan waktu kontak maka adsorpsi logam akan semakin meningkat, namun pada kondisi tertentu proses adsorpsi akan mengalami penurunan karena terjadi kejenuhan antara adsorben dengan adsorbat (Adha *et al.*, 2017). Dalam proses adsorpsi pH merupakan variabel penting dalam penyerapan logam melalui

protonasi atau deprotonasi dari gugus fungsi adsorben (Nata *et al.*, 2020). Untuk mencapai efisiensi yang tinggi, adsorben yang digunakan harus memiliki karakteristik unggul seperti luas permukaan yang besar, ukuran partikel yang kecil, kemampuan selektif, dan stabilitas kimia yang baik (Ginting *et al.*, 2008). Salah satu adsorben yang dapat dimanfaatkan dalam peningkatan kualitas air asam tambang adalah kalsium oksida (CaO) karena memiliki pori-pori besar sehingga memiliki efektivitas yang baik dalam mengadsorpsi logam dalam air (Arifah, 2023).

Kalsium oksida (CaO) dapat disintesis dari biomassa seperti cangkang telur, cangkang kerang, dan tulang yang mengandung kalsium karbonat (CaCO_3). Salah satu cangkang kerang yang dapat digunakan yaitu cangkang kerang bambu. Pembentukan CaO dari cangkang kerang bambu dapat melalui proses kalsinasi CaCO_3 pada temperatur tinggi. Kinerja adsorben dapat ditingkatkan dengan menambahkan zat lain sebagai bahan komposit. Komposit adalah kombinasi lebih dari satu senyawa dengan sifat penyusun yang berbeda. Kombinasi CaO dan Fe_3O_4 sebagai komposit akan memudahkan proses adsorpsi, hal ini disebabkan Fe_3O_4 memberikan sifat magnetik yang memudahkan pemisahan pasca adsorpsi sehingga dapat menggunakan magnet eksternal tanpa penyaringan (Faulina *et al.*, 2023). Penelitian Purwaningrum *et al.*, (2024) telah menggunakan CaO/ Fe_3O_4 untuk adsorpsi Fe. Komposit CaO/ Fe_3O_4 digunakan sebanyak 0,1 g pada 100 mL larutan Fe dengan konsentrasi 10 mg/L dan pH 6 selama 60 menit menghasilkan kapasitas adsorpsi sebesar 75,758 mg/g.

Isoterm dan kinetika adsorpsi digunakan untuk memahami dan merancang proses adsorpsi secara efektif. Isoterm adsorpsi menjelaskan hubungan kesetimbangan antara adsorben dan adsorbat sehingga dapat diketahui kapasitas maksimum dan sifat permukaan adsorben. Model isoterm Langmuir mengasumsikan bahwa adsorpsi terjadi pada permukaan yang homogen sehingga membentuk *monolayer*, sedangkan Freundlich menggambarkan adsorpsi pada permukaan heterogen dan membentuk *multilayer*. Sementara itu, kinetika adsorpsi pseudo orde dapat menggambarkan laju penyerapan serta mekanisme adsorpsi yang terjadi. Model kinetika pseudo orde satu biasanya diasosiasikan dengan proses adsorpsi fisik. Sebaliknya, model pseudo orde dua mengasumsikan bahwa adsorpsi berlangsung melalui interaksi kimia antara molekul adsorbat dan situs aktif pada

permukaan adsorben. Optimasi proses adsorpsi digunakan agar adsorpsi berjalan secara optimal. Optimasi dapat dilakukan menggunakan suatu metode yaitu *Response Surface Methodology* (RSM) yang akan memberikan hasil berupa kondisi optimum, data statistik ANOVA serta persamaan matematika tentang hubungan diantara variabel yang digunakan. *Response Surface Methodology* (RSM) merupakan metode pengoptimalan yang dapat digunakan untuk mendesain dan menganalisis respon yang diinginkan dengan menentukan pengaruh beberapa variabel. *Central Composite Design* (CCD) digunakan secara efisien untuk mengoptimalkan respons terhadap variabel yang terlibat untuk meningkatkan kinerja adsorpsi dan meminimalisir kesalahan saat eksperimen (Ghaedi *et al.*, 2015). Salah satu keunggulan CCD adalah fleksibilitasnya dalam menangani berbagai jumlah faktor dan kemampuannya menghasilkan model prediktif yang kuat. Berdasarkan hal tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit CaO/Fe₃O₄ dengan bahan cangkang kerang bambu sebagai prekursor CaO dan dilakukan optimasi proses adsorpsi Fe menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) model *Central Composite Design* (CCD) dengan variabel pH, konsentrasi, dan waktu kontak dan ditentukan isoterm adsorpsi serta kinetika adsorpsi yang digunakan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik komposit CaO/Fe₃O₄ hasil sintesis cangkang kerang bambu berdasarkan karakterisasi XRD, FTIR, dan BET?
2. Bagaimana kondisi optimum proses adsorpsi Fe oleh komposit CaO/Fe₃O₄ dengan variabel konsentrasi, pH, dan waktu kontak menurut desain CCD?
3. Bagaimana efektivitas komposit CaO/Fe₃O₄ dalam mengadsorpsi Fe pada limbah air asam tambang (AAT)?
4. Bagaimana persamaan respon efisiensi adsorpsi Fe oleh komposit CaO/Fe₃O₄ yang dihasilkan desain CCD?
5. Bagaimana isoterm adsorpsi dan kinetika adsorpsi dari komposit CaO/Fe₃O₄ terhadap Fe³⁺?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan karakteristik komposit CaO/Fe₃O₄ hasil sintesis menggunakan

XRD, FTIR, dan BET.

2. Menentukan kondisi optimum proses adsorpsi Fe oleh komposit $\text{CaO/Fe}_3\text{O}_4$ dengan variabel konsentrasi, pH, dan waktu kontak menurut desain CCD.
3. Menentukan efektivitas adsorpsi Fe pada air asam tambang (AAT) menggunakan komposit $\text{CaO/Fe}_3\text{O}_4$.
4. Menentukan persamaan respon efisiensi adsorpsi Fe oleh komposit $\text{CaO/Fe}_3\text{O}_4$ yang dihasilkan desain CCD.
5. Menentukan isoterm adsorpsi dan kinetika adsorpsi dari komposit $\text{CaO/Fe}_3\text{O}_4$ terhadap Fe^{3+} .

1.4 Manfaat Penelitian

1. Membantu mengurangi limbah cangkang kerang bambu.
2. Memberikan informasi terkait karakteristik komposit $\text{CaO/Fe}_3\text{O}_4$.
3. Memberikan informasi terkait kondisi optimum dan efektivitas adsorpsi Fe menggunakan komposit $\text{CaO/Fe}_3\text{O}_4$.
4. Memberikan kontribusi pengolahan limbah air asam tambang dengan komposit $\text{CaO/Fe}_3\text{O}_4$ untuk mengurangi atau menghilangkan kadar logam Fe.
5. Memberikan informasi tentang interaksi yang terjadi antara Fe^{3+} dengan komposit $\text{CaO/Fe}_3\text{O}_4$.

DAFTAR PUSTAKA

- Abriyani, E., Syalomita, D., Apriani, I. P., Puspawati, I., Adiputra, S. dan Nadeak, Z.T. 2024. Pengaruh Pengolahan Termal Terhadap Struktur Molekul Material Polimer Studi dengan Spektroskopi FTIR. *Journal of Social Science Research*, 8(3): 23-27.
- Adha, C. W., Ramli, M. dan Thamrin, M. 2017. Analisis Efektivitas Kapur Tohor dan Zeolit untuk Peningkatan pH dan Penurunan Kandungan Logam Fe dan Cu pada Pengolahan Air Asam Tambang. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi IV*. Universitas Mulawarman.
- Anggreni., Dwi. dan Griselda. 2022. Adsorpsi Zat Warna Tekstil Metilen Biru Menggunakan Serbuk Kulit Pisang Tanduk (*Musa paradisiaca*) Terenkapsulasi Kalsium Alginat, 5(2): 4–12.
- Apriyanti, H., Candra, N. dan Elvinawati. 2018. Karakterisasi Isoterm Adsorpsi dari Ion Logam Besi (Fe) pada Tanah di Kota Bengkulu. *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*, 2(1): 14-19.
- Arifah, A. 2023. Efektivitas Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*) Sebagai Adsorben untuk Meningkatkan Kualitas Air Gambut. *Jurnal Prisma Fisika*, 11(1): 10-15.
- Azwari. dan Fachruddin. 2020. Fitoremediasi Logam Fe dalam Air Asam Tambang Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*). *Buletin Loupe*, 15(2): 45.
- Bukit Asam Tbk. 2019. Tata Cara Kerja Analisis Logam Terlarut dan Logam Total Dalam Air Secara Spektrometri Serapan Atom (SSA)-Nyala.
- Chairunisa, N.A. 2022. Sintesis Komposit $\text{CaO/Fe}_3\text{O}_4$ Dari Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*) dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Zat Warna Congo Red. *Skripsi*. Universitas Sriwijaya.
- Dewi, M., Soerya. dan Sugito. 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– 71.
- Esthi, K., Sania, P. R. dan Budianto, A. 2024. Netralisasi Air Asam Tambang Menggunakan Pengolahan Aktif dan Pasif. *Jurnal Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana*, 22(3): 808–15.
- Fabiani, V. A., Julianti, E., Samsiar, A. dan Asriza, R. O. 2019. Efisiensi Adsorpsi Timbal dari Air Tambang Pasca Timah Menggunakan Cangkang Nanomagnetik Fe_3O_4 /Kitosan *Portunus pelagicus*. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*, 1(1): 25-28.
- Faulina, M., Sari, R. dan Nahar. 2023. Aplikasi Adsorben Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) untuk Penyisihan Metilen Biru dari Ferric Nitrate Nonahydrate

- dengan Metode Sol-Gel. *Jurnal Teknologi*, 23(2): 148-154.
- Fatmawati, R. A., Koesnarpadi, S. dan Wirawan, T. 2024. Adsorpsi Ion Logam Kadmium(II) Menggunakan Magnetit (Fe_3O_4)-Arang Aktif dari Kulit Buah Tarap (*Artocarpus odoratissimus*). *Jurnal Atomik*, 9(2): 110-119.
- Febrianto, J., Kosasih, A. N., Sunarso, J., Ju, Y.H., Indraswati, N. dan Ismadji, S. 2009. Equilibrium and Kinetic Studies in Adsorption of Heavy Metals Using Biosorbent: A Summary of Recent Studies. *Journal of Hazardous Materials*. 162(2): 616–645.
- Febrina., Laila. dan Ayuna. 2019. Studi Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dalam Air Tanah Menggunakan Saringan Keramik. *Jurnal Teknologi*, 7(1): 36– 44.
- Ginting., Deselev, F., Nasruddin. 2008. *Pengujian Alat Pendingin Sistem Adsorpsi Dua Adsorben dengan Menggunakan Metanol 1000 mL Sebagai Refrigeran*. Skripsi. Universitas Indonesia.
- Ghaedi, M., Hajati, S., Zare, M. and Jaber, S. 2015. Experimental Design for Simultaneous Analysis of Malachite Green and Methylene Blue; Derivate Spectrophotometry and Principal Component-Artificial Neural Network. *Journal of Royal Society of Chemistry*. 38939-38947.
- Hakim, L., Dirgantara, M. dan Nawir, M. 2019. Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, 1(1): 44- 51.
- Imani, A., Sukwika, T. dan Febrina, L. 2021. Karbon Aktif Ampas Tebu Sebagai Adsorben Penurun Kadar Besi dan Mangan Limbah Air Asam Tambang. *Jurnal Teknologi*, 13(1): 33-42.
- 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.
- Irwansyah, F. S., Amal, A. I., Diyanthi, E. W., Hadisantoso, E. P., Noviyanti, A. R., Eddy, D. R. and Risdiana. 2024. How to Read and Determine the Specific Surface Area of Inorganic Materials using the Brunauer-Emmett-Teller (BET) Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 4(1): 61-70.
- Jannah, N. W., Triantoro, A. dan Riswan, R. 2020. Analisis Pengaruh Fly Ash Dan Kapur Tohor Pada Netralisasi Air Skala Laboratorium Di PT. Jorong Barutama Greston. *Jurnal Himasapta*, 5(1): 1–4.
- Jefri. and Rodiah, S. 2022. CaO Adsorbent for Reducing Metal Content of Fe, Mn, and Zn from PET-SET Waste-Water. *Journal of Health Science*, 4(3): 969-975.

- Khoo., Shakerian. and Esmaeili, H. 2018. Synthesis of $\text{CaO}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ Magnetic Composite for The Removal of Pb(II) and Co(II) from Synthetic Wastewater. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 83(2): 237–49.
- Kurniawan, T. A., Chan, G. Y. S., Lo, W.-H. dan Babel, S. 2020. Comparisons of Low-Cost Adsorbents for Treating Wastewaters Laden with Heavy Metals. *Science of The Total Environment*. 366(2-3): 409-426.
- Kusdarini, E., Sania, P. R. dan Budianto, A. 2024. Netralisasi Air Asam Tambang Menggunakan Pengolahan Aktif dan Pasif. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3): 808-815.
- Krisbiantoro, P. A., Santosa, S. J. and Kunarti, E. S. 2017. Synthesis of Fulvic Acid-Coated Magnetite ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-FA}$) and its Application for the reductive Adsorption of $[\text{AuCl}_4]^-$. *Indonesian Journal of Chemistry*, 17(3): 453-460.
- Maisaroh. dan Purwanto, W. 2019. Tinjauan Termodinamika dan Keseimbangan Kimia dalam Hubungan Perubahan Suhu Terhadap Konversi Reaksi Epoksidasi Asam Oleat Berbasis Sawit. *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat*. 1–11.
- Maisyarah, A. O., Shofiyani, A. dan Rudiyanasyah. 2019. Sintesis CaO dari Cangkang Kerang Ale-Ale (*Meretrix meretrix*) pada Suhu Kalsinasi 900°C . *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 8(1): 32-35.
- Manga, J. dan Widiyanti, S. E. 2020. Studi Proses Hidrotermal pada Sintesis Material Mesopori dan Karakteristik Stabilitas Adsorpsi. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat*.
- Mardani, H. R., Forouzani, M., Moradi, N. and Kheibarian, Z. A. 2020. Comparative Study on Physicochemical Properties of Two Nanomagnetic Compuonds $\text{CaO}@ \text{Fe}_3\text{O}_4$ and $\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{CaO}$ and Their Catalytic Role on Biodiesel Preparation. *Environtmental Progress and Sustainable Energy*, 39(4): 28-35.
- Marsyahyo, E. 2009. Analisis Brunnaeur Emmet Teller (BET) Topografi Permukaan Serat Rami (*Boehmeria nivea*) Untuk Media Penguatan pada Bahan Komposit. *Jurnal Flywheel*, 2(2): 33-41.
- Masruroh., Manggara, A., Papilaka, T. dan Triandi, R. 2013. Penentuan Ukuran Kristal (Crytallite Size) Lapisan Tipis PZT Melalui Pendekatan Persamaan Debye Scherrer. *Jurusan Fisika dan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya*. 1(2): 24-29.
- Mohadi, R., Lesbani, A. dan Susie, Y. 2013. Preparasi dan Karakterisasi Kalsium Oksida (CaO) dari Tulang Ayam. *Chemistry Progress*, 6(2): 76-80.
- Montgomery, D. C. 2017. *Design and Analysis of Experiments Ninth Edition*. John Wiley and Sons: Arizona.

- Munasir., Triwikantoro., Zainuri, M. dan Darminto. 2012. Uji XRD dan XRF pada Bahan Mineral (Batuhan dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO_3 dan SiO_2). *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya*, 2(1): 20-19.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. 2016. *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. John Wiley and Sons: Canada.
- Nata, I. F., Mirwan, A., Wicakso, D. R., Irawan, C., Isnaini, M. D. and Fitriani, R. 2020. Adsorption of Fe^{3+} Ion from Aqueous Solution onto Rice Husk Biocomposite Magnetic Nanoparticle. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Nitsae, M., Solle, H. R. L., Martinus, S. M. dan Emola, I. J. 2021. Studi Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Arang Aktif Tempurung Lontar (*Borassus flabellifer* L.) Asal Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Kimia Riset*, 6(1): 46-57.
- Nur'aini, S., Arsyad, F. S., Setyabudidaya, D., Soerya, B. dan Sari, B. R. L. 2023. Review Sifat-Sifat dan Karakteristik Fotokatalitik $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ Untuk Mengatasi Polusi Air. *Jurnal Penelitian Sains*, 25(2): 180.
- Nur, U. M., Ogara, A., Heru., Mukti, M. D. A., Khatami, M. R. dan Fitriani, M. 2021. Optimalisasi Pemanfaatan Cangkang Kerang untuk Penjernihan Air Rawa Desa Burai Ogan Ilir. *Seminar Nasional*, 3(2): 289–95.
- Nurmiah, S., Syarief, R., Sukarno., Peranginangin, R. dan Nurtama, B. 2013. Aplikasi Response Surface Methodology pada Optimalisasi Kondisi Proses Pengolahan Alkali treated Cottonii (ATC). *Jurnal Kelautan dan Perikanan*, 8(1): 9-22.
- Nurisman, E., Cahyadi, R. dan Hadriansyah, I. 2012. Studi Terhadap Dosis Penggunaan Kapur Tohor (CaO) pada Proses Pengolahan Lumpur Tambang Air Laya PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. *Perhitungan Analisa & Kebutuhan SumberDaya Energi Minyak, Gas dan Batubara*. 1-11.
- Pambudi., Setya, D.R. dan Zainuri, M. 2016. Pengaruh Waktu Tahan Proses Kalsinasi Prekursor Silika sebagai Material Pelapis Hidrofobik. *Jurnal Sains Dan Seni Its*, 5(2): 80–83.
- Prisitama, J. E., Magdalena, H., Devy, S. D., Winarno, A. dan Hasan, H. 2023. Efektivitas Kapur Tohor Terhadap Peningkatan pH dan Penurunan Kadar Logam Fe dan Mn di Sttling Pond 11 PT. Alam Jaya Pratama Site Bara Kumala Sakti Kecamatan Loa Kulu, Kabupaten Kutai Kertanegara, Provinsi Kalimantan Timur. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVIII*. Universitas Mulawarman.
- Purnamasari., Rohmah, A.N., Mubarak, A.S. and Mulyono. 2021. Analysis of Cadmium (Cd) Heavy Metal Using the Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) Method in Canned Crab Products at Balai Pengujian

- Mutu Hasil Perikanan (BPMHP) Semarang, Central Java. *Journal of Marine and Coastal Science*, 10(2):93.
- Purnama, R. C., Primadhamanti, A. dan Yanti, F. 2020. Uji Adsorben Limbah Kulit Singkong Terhadap Ion Logam Pb dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom. *Jurnal Analis Farmasi*, 5(2): 127-134.
- Purwaningrum, W., Hasanudin., Rachmat, A., Riyanti, F. dan Hariani, P. L. 2023. Magnetic Composite for Efficient Adsorption of Iron and Manganese Ions from Aqueous Solution. *Journal of Ecological Engineering and Environmental Technology*, 24(8): 143-154.
- Purwaningrum, W., Hasanudin., Rachmat, A., Riyanti, F. dan Hariani, P. L. 2022. Modification of Calcium Oxide from Green Mussel Shell with Iron Oxide as a Potential Adsorbent for The Removal of Iron and Manganese Ions from Acid Mine Drainage. *Journal of Ecological Engineering*, 23(11): 188-201.
- Purwaningrum, W., Riyanti, F., Julinar, J., Hariani, P. L., Ahadito, B. R., Chodijah, S. dan Safira, V. P. 2024. Synthesis and Characterization of Nanoparticles Composite CaO/Fe₃O₄ from Duck Egg Shells and Its Application for Congo Red and Procyon Red MX-5b Dyes Adsorption. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 2(4): 103-110.
- Rachmawaty, F. dan Sutanto, H. T. 2014. Penerapan Metode Permukaan Respon untuk Optimalisasi Proses Sealing pada Pengemasan Produk Makanan Jelly. *Jurnal Ilmiah Matematika*, 3(1): 1-6.
- Rahman, A. dan Sedyadi, E. 2020. Kajian Adsorpsi Komposit Fe₃O₄-Lempung Terhadap Ion Logam Pb(II). *Indonesian Journal of Materials Chemistry*, 3(2): 52-67.
- Rahmat, M. A., Haris, A. dan Ismadji, S. 2019. Adsorption Kinetics and Mechanism of Heavy Metals Removal Using Low-Cost Adsorbents: A Review. *Journal of Environmental Technology & Innovation*. 1(4): 100-377.
- Ratnawati, S. E., Ekantari, N., Pradipta, R. W. dan Paramita, L. 2018. Aplikasi *Response Surface Methodology* (RSM) pada Optimasi Ekstraksi Kalsium Tulang Lele. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 20(1): 41-48.
- Raturandang, R., Wenas, D. R., Mongan, S. dan Bujung, C. 2022. Analisis Spektroskopi FTIR Untuk Karakterisasi Kimia Fisik Fluida Mata Air Panas di Kawasan Wisata Hutan Pinus Tomohon Sulawesi Utara. *Jurnal Fisika dan Terapannya*, 3(1): 28-33.
- Reji, M. and Kumar, R. 2022. Response Surface Methodology (RSM): An Overview to Analyze Multivariate Data. *Indian Journal of Microbiology Research*, 9(4): 241-248.
- Rempengan. A.M. dan Tengker, S.M.T. 2021. Analisa Sifat Kemagnetan Polimer Poliethylen Glycol (PEG-4000)-coated Nanopartikel Magnetite Fe₃O₄

- Menggunakan Vibrating Sample Magnetometer (VSM). *Fullerene Jurnal of Chemistry*, 6(2): 161-164.
- Rismiarti, Z., Yuniati, Y. dan Alfanaar, R. 2016. Penerapan Metode Sonikasi Terhadap Adsorpsi Fe(III) pada Zeolit Alam Teraktivasi. *Journal of Chemistry*, 5(2): 63-68.
- Saadi, R., Saadi, Z., Fazaeli, R. and Fard, N. E. 2015. Monolayer and Multilayer Adsorption Isotherm Models for Sorption from Aqueous Media. *Korean Journal Chemistry*, 32(5): 787-799.
- Said. dan Idaman, N. 2018. Teknologi Pengolahan Air Asam Tambang Batubara: Alternatif Pemilihan Teknologi. *Jurnal Air Indonesia*, 10(5): 7(2).
- Sari, M. K. dan Rusdiarso, B. 2021. The Study of pH and Ionic Strength on Ni(II) and Pb(II) sorption using Humic Acid-Urea Formaldehyde (AHUF). *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology*, 5(1): 31-41.
- Sari, M., Wahyuni, S. dan Prasetya, B. 2022. Kinetic Modeling of Pb(II) Removal from Aqueous Solution Using Modified Activated Carbon. *Journal of Environmental Management*. 30(1): 113-866.
- Sartika, D. 2016. Sifat Magnetik Adsorben Nanopartikel Fe₃O₄ Terhadap Adsorpsi Logam Berat (Co dan Fe) dalam Larutan. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan*. Universitas Jember.
- Suarsa, I. W. 2018. Adsorpsi Zat Warna dari Larutan dengan Arang Aktif. *Skripsi*. Universitas Udayana.
- Sugito. dan 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): 67-71.
- Suhermono., Mursyid, A., Mahreda, E. S. dan Chairuddin, G. T. 2014. Analisis Kandungan Besi (Fe), Mangan (Mn), dan pH Air Tanah Hasil Pemboran Geoteknik di Tambang Batubara PT. Adaro Indonesia Kabupaten Tabalong dan Balangan Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Enviro Scienteae*, 10(1): 24-32.
- Tadjarodi., A., Ferdowsi, M., Dorabei, Z. dan Barzin, A. 2016. Highly Efficient Ultrasonic-Assisted Removal of Hg (II) Ions on Graphene Oxide Modified With 2-Pyridinecarboxaldehyde Thiosemicarbazone: Adsorption Isotherms and Kintetics Studies. *Journal of Ultrasonics Sonochemistry*, 33(1): 118-128.
- Tamjidi., Sajad. and Esmaeili, H. 2019. Chemically Modified CaO/Fe₃O₄ Nanocomposite by Sodium Dodecyl Sulfate for Cr (III) Removal from Water. *Journal of Chemical Engineering and Technology*, 42(3): 607-16.
- Tandiarang, J. Devy, S. D. dan Trides, T. 2016. Studi Perbandingan Penggunaan

- Tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) dan Kapur Padam ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) 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.
- Ulfa., Marya., Nasution, S. dan Tanjung, A. 2020. Karakteristik Habitat dan Struktur Populasi Kerang Bumbu di Zona Intertidal Desa Apiapi Kecamatan Bandar Laksamana. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 25(3): 184.
- Utami, W. 2022. Sintesis dan Karakterisasi Katalis Heterogen: Limbah Cangkang Kerang Ensis sp. *Jurnal Inovasi Pendidikan dan Sains*, 3(3): 137-142.
- Veronica. dan Yessi. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Nanokomposit Fe_3O_4 @PEG: ZnO. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 6(3): 30–36.
- Wahyudin., Indra., Widodo, S. dan Nurwaskito, A. 2018. Analisis Penanganan Air Asam Tambang Batubara. *Jurnal Geomine*, 6(2): 85–89.
- Wardiyati, S., Fisli, A. dan Ridwan. 2020. Penyerapan Logam Ni dalam Larutan Oleh Nanokomposit Fe_3O_4 -Karbon Aktif. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 12(3): 224-228.
- Wibowo, E. dan Setiawan, A. 2021. Adsorption of Heavy Metals Using Low-Cost Adsorbents: A Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 9(5): 106032.
- Widarsaputra, A. Y., Prawatya, Y. E. dan Sujana, I. 2022. Response Surface Methodology (RSM) Untuk Optimasi Pengolahan Keripik Nanas Menggunakan Mesin Vacuum Frying. *Jurnal Teknik Industri dan Sistem Manajemen*, 6(2): 70-77.
- Yao, L., Hong, C., Dashtifard, H. and Esmaeili, H. 2021. Selective Removal of Sodium Ions from Aqueous Media Using Effective Adsorbents: Optimization by RSM and Genetic Algorithm. *Acta Chim slov*, 68: 791-803.
- Yulianis., Husna, R., Zulva, N. D. dan Mahidin. 2022. Adsorpsi Ion Logam Fe^{3+} Dalam Air Asam Tambang Menggunakan Nano Zeolit Alam. *Indonesian Mining Professionals Journal*, 4(1): 29-38.
- Zahara, A., Bhernama, B. G. dan Harahap, M. R. 2020. Literature Review: Pengaruh Suhu Kalsinasi Terhadap Sintesis Katalis Heterogen CaO dari Cangkang Telur. *Jurnal AMINA*, 2(2): 84-91.
- Zhang, P. 2016. *Adsorption and Desorption Isotherms*. Darmouth College: Hanover.