

TESIS

**SINTESIS ZEOLIT DARI ABU DASAR BATU BARA
DENGAN METODE HIDROTERMAL SEBAGAI
ADSORBEN LOGAM BERAT Cd, Pb, Fe DAN Cu**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan
Gelar Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**



YAYAT SETIAWAN
03012682125008

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

HALAMAN PENGESAHAN

SINTESIS ZEOLIT DARI ABU DASAR BATU BARA DENGAN METODE HIDROTHERMAL SEBAGAI ADSORBEN LOGAM BERAT Cd, Pb, Fe, DAN Cu

TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan
Gelar Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

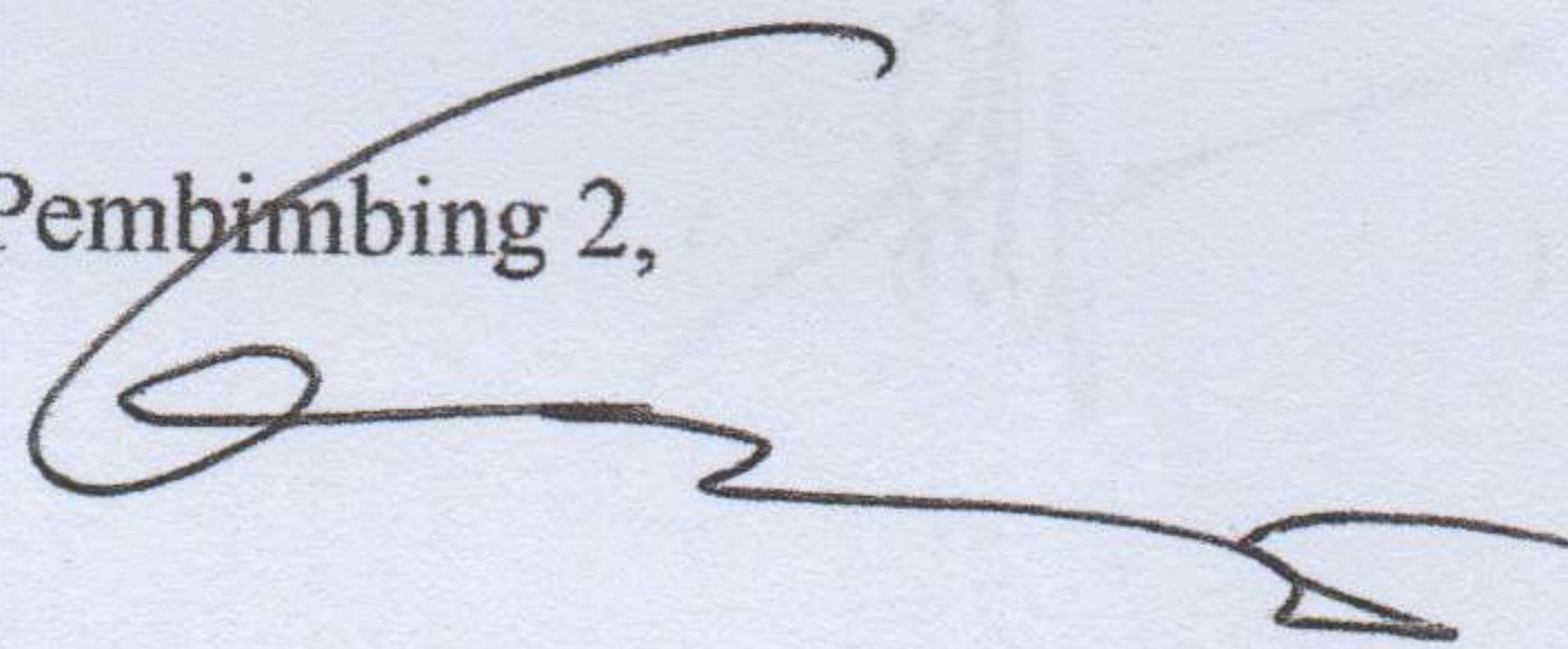
Palembang, Juli 2025
Menyetujui,

Pembimbing 1,



Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T.
NIP. 198010312005011003

Pembimbing 2,



Dr. Ir. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T.
NIP. 197503261999032002

Mengetahui,

Dean Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya,



Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM
NIP. 197502112003121002

✓ Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP. 197809192003122001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Laporan Tesis ini dengan judul “Sintesis Zeolit Dari Abu Dasar Batu Bara dengan Metode Hydrothermal sebagai Adsorben Logam Berat Cd Pb Fe dan Cu” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 10 Juli 2025 dan dinyatakan sah melakukan penelitian lebih lanjut.

Palembang, 10 Juli 2025

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Tesis :

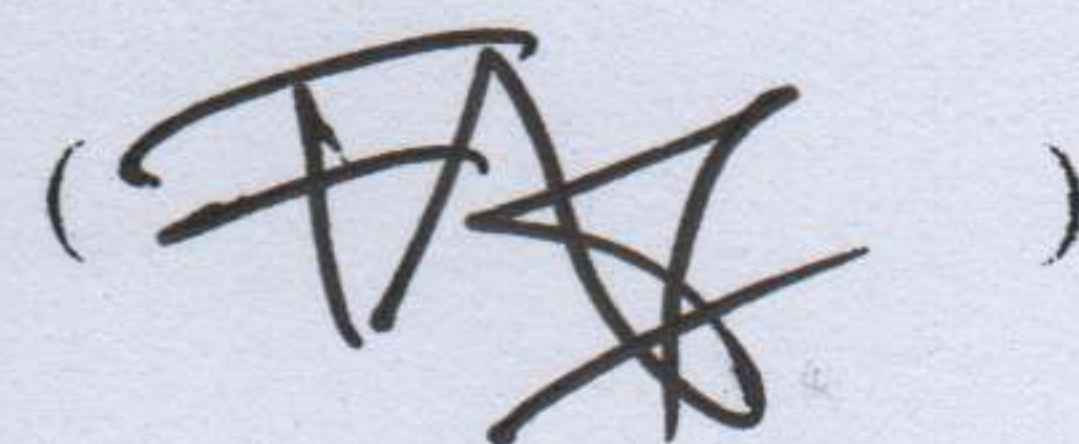
Ketua :

1. Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA, IPU
NIP. 195610241981032001



Penguji :

1. Dr. Ir. Selpiana, S.T, M.T
NIP. 197809192003122001
2. Dr. Ir. Fitri Hadiah, S.T, M.T, IPM
NIP. 197808222002122001



Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya,



Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM
NIP. 197502112003121002

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP. 197809192003122001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

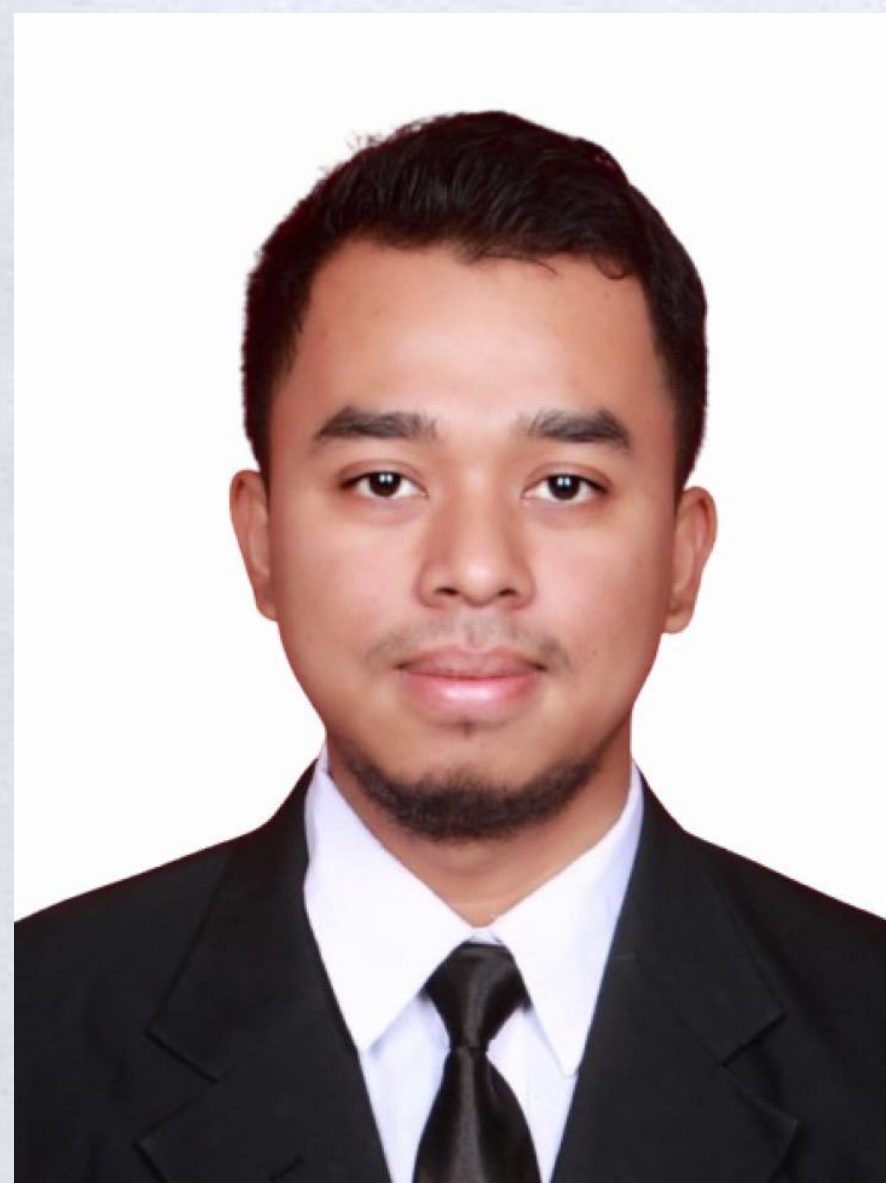
Nama : Yayat Setiawan

NIM : 03012682125008

Judul : Sintesis Zeolit Dari Abu Dasar Batu Bara dengan Metode Hidrothermal sebagai Adsorben Logam Berat Cd, Pb, Fe dan Cu.

Menyatakan bahwa Laporan Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam Laporan Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Juli 2025

Yang membuat pernyataan,



Yayat Setiawan

NIM. 03012682125008

RINGKASAN

SINTESIS ZEOLIT DARI ABU DASAR BATU BARA DENGAN METODE HIDROTHERMAL SEBAGAI ADSORBEN LOGAM BERAT Cd, Pb, Fe DAN Cu
Hasil Penelitian Tesis, disajikan pada Juli 2025

Yayat Setiawan, Dibimbing oleh Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T., dan Dr. Ir. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T.

Synthesis of Zeolite from Coal Bottom Ash by Hydrothermal Method as Adsorbent for Heavy Metals Cd, Pb, Fe, and Cu

xii + 81 halaman, 10 Tabel, 15 Gambar, 4 Lampiran

RINGKASAN

Peningkatan penggunaan batu bara menghasilkan limbah abu dasar (*bottom ash*) yang berpotensi mencemari lingkungan. Di sisi lain, limbah industri seringkali mengandung logam berat seperti Kadmium (Cd), Timbal (Pb), Besi (Fe), dan Tembaga (Cu) yang berbahaya bagi makhluk hidup dan tidak dapat terurai secara alami. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis zeolit dari limbah abu dasar batu bara dan menguji efektivitasnya sebagai adsorben untuk menurunkan kadar keempat logam berat tersebut. Sintesis zeolit dilakukan dengan metode peleburan alkali yang dilanjutkan dengan proses hidrotermal. Variabel penelitian meliputi waktu hidrotermal (6, 12, dan 24 jam) untuk sintesis, serta variasi pH (5, 7, dan 9) dan waktu kontak (15, 30, 60, 120 menit) untuk uji adsorpsi. Karakterisasi zeolit dilakukan menggunakan analisis SEM-EDX dan XRF, sedangkan analisis konsentrasi logam berat menggunakan AAS. Hasil penelitian menunjukkan waktu hidrotermal 12 jam merupakan kondisi optimal untuk sintesis, menghasilkan zeolit dengan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 3,73 dan morfologi partikel yang merata. Zeolit hasil sintesis terbukti efektif menurunkan kadar logam berat dengan persentase penurunan yang tinggi. Kondisi adsorpsi optimum untuk masing-masing logam adalah sebagai berikut: Logam Kadmium (Cd): Penurunan tertinggi (99,47%) pada pH 7 dengan waktu kontak 120 menit. Logam Timbal (Pb): Penurunan tertinggi (97,84%) pada pH 5 dengan waktu kontak 120 menit. Logam Besi (Fe): Penurunan tertinggi (99,73%) pada pH 5 dengan waktu kontak 120 menit. Logam Tembaga (Cu): Penurunan tertinggi (99,91%) pada pH 5 dengan waktu kontak 120 menit.

Kata Kunci : Zeolit, Abu Dasar Batubara, Hidrotermal, Adsorpsi, Logam Berat.

Kepustakaan : 57 (1990-2025)

SUMMARY

SYNTHESIS OF ZEOLITE FROM COAL BOTTOM ASH BY HYDROTHERMAL METHOD AS AN ADSORBENT FOR HEAVY METALS Cd, Pb, Fe, AND Cu

Thesis Research Results, presented in July 2025

Yayat Setiawan, Supervised by Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T., and Dr. Ir. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T.

xii + 81 pages, 10 Tables, 15 Figures, 4 Appendices

SUMMARY

The increasing use of coal generates bottom ash waste, which has the potential to pollute the environment. On the other hand, industrial waste often contains heavy metals such as Cadmium (Cd), Lead (Pb), Iron (Fe), and Copper (Cu), which are harmful to living organisms and do not biodegrade naturally. This research aims to synthesize zeolite from coal bottom ash waste and test its effectiveness as an adsorbent to reduce the concentration of these four heavy metals. Zeolite synthesis was carried out using an alkali fusion method followed by a hydrothermal process. The research variables included hydrothermal time (6, 12, and 24 hours) for synthesis, as well as pH variations (5, 7, and 9) and contact time (15, 30, 60, 120 minutes) for the adsorption test. The zeolite was characterized using SEM-EDX and XRF analysis, while the analysis of heavy metal concentrations was performed using AAS. The results showed that a hydrothermal time of 12 hours was the optimal condition for synthesis, producing a zeolite with a $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ratio of 3.73 and a uniform particle morphology. The synthesized zeolite proved effective in reducing heavy metal levels with a high removal percentage. The optimum adsorption conditions for each metal are as follows: Cadmium (Cd): The highest removal (99.47%) was achieved at pH 7 with a contact time of 120 minutes, and also at pH 9 with a contact time of 30 minutes. Lead (Pb): The highest removal (97.84%) was achieved at pH 5 with a contact time of 120 minutes. Iron (Fe): The highest removal (99.73%) was achieved at pH 5 with a contact time of 120 minutes. Copper (Cu): The highest removal (99.91%) was achieved at pH 5 with a contact time of 120 minutes.

Keywords: Zeolite, Coal Bottom Ash, Hydrothermal, Adsorption, Heavy Metals.

Bibliography: 57 (1990-2025)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis yang berjudul "SINTESIS ZEOLIT DARI ABU DASAR BATU BARA DENGAN METODE HIDROTHERMAL SEBAGAI ADSORBEN LOGAM BERAT Cd, Pb, Fe DAN Cu". Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Magister Teknik Kimia di Universitas Sriwijaya. Penulis menyadari bahwa penyusunan tesis ini tidak akan terwujud tanpa bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing 1, atas segala waktu, arahan, masukan, dan dukungan yang telah diberikan selama proses penelitian dan penyusunan tesis ini.
2. Dr. Ir. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing 2, atas bimbingan, saran, dan motivasi yang sangat berarti bagi penulis.
3. Dr. Selpiana, S.T., M.T., selaku Kepala Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, atas kesempatan dan fasilitas yang diberikan.
4. Seluruh dosen Program Studi Magister Teknik Kimia Universitas Sriwijaya atas ilmu dan pengetahuan yang telah diberikan.
5. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Magister Teknik Kimia angkatan 2021 atas dukungan dan semangat kebersamaannya.
6. Keluarga tercinta, atas doa, dukungan moral, dan material yang tiada henti.

Penulis berharap penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan pemanfaatan limbah abu dasar batu bara menjadi material bernilai tambah, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang.

Palembang, Juli 2025

Yayat Setiawan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Hipotesa	4
1.5. Ruang Lingkup	5
1.6. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Abu Batu Bara	6
2.1.1. Proses Pembentukan Abu Dasar Batu Bara di PLTU	6
2.1.2. Komposisi Kimia dan Mineralogi Abu Dasar Batu Bara	7
2.1.3. Sifat Fisik Abu Dasar Batu Bara (Ukuran Partikel, Densitas, Morfologi)	7
2.1.4. Permasalahan Lingkungan Akibat Limbah Abu Dasar Batu Bara.....	9
2.1.5. Potensi Pemanfaatan Abu Dasar Batu Bara sebagai Material Bernilai Tambah.....	10
2.2. Sintesis Zeolit dari Abu Dasar Batu Bara	10
2.2.1. Metode Sintesis Zeolit dari Abu Dasar Batu Bara	11
2.3. Struktur Zeolit	12
2.3.1. Struktur Zeolit	13
2.3.2. Zeolit Sebagai Katalis	13
2.3.3. Zeolit Sebagai Adsorben	15
2.4. Natrium Aluminat	15
2.5. Metode Sintesis Zeolit	16

2.5.1.	Metode sintetis solvotermal	16
2.5.1.1.	Metode Hidrotermal	17
2.5.2.	Metode <i>Alkali-fusion</i> dan <i>Leaching</i>	18
2.5.3.	Sol-Gel	20
2.5.4.	Metode <i>Microwave</i>	20
2.5.5.	Metode <i>Ultrasound Energy</i>	21
2.6.	Sumber Logam Berat dalam Industri	21
2.7.	Keunggulan Zeolit sebagai Adsorben	24
2.8.	Karakterisasi Zeolit.....	25
2.8.1.	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	25
2.8.2.	<i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	26
2.8.3.	<i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	27
2.9.	Analisa Logam Berat.....	27
2.10.	Penelitian Terkait	29
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian	33
3.2.	Alat dan Bahan	33
3.2.1.	Alat.....	33
3.2.2.	Bahan.....	33
3.3.	Variabel Penelitian	34
3.3.1.	Variabel Tetap.....	34
3.3.2.	Variabel Bebas	34
3.4.	Prosedur Penelitian	34
3.4.1.	Pembuatan Adsorben Zeolit.....	34
3.4.2.	Degradasi Logam Berat dengan adsorben Zeolit	35
3.4.3.	Analisis sampel	35
3.5.	Skema Proses Penelitian	35
3.6.	Analisa Sampel.....	36
3.6.1.	Metode Analisa <i>X-ray Diffraction</i> (XRD)	36
3.6.2.	Metode Analisa SEM-EDX.....	37
3.7.	Analisa Hasil Degradasi Logam Berat	37
3.8.	Matriks Penelitian	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

3.9. Diagram Alir Penelitian	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1. Hasil Karakterisasi Zeolit.....	41
4.1.1. Hasil Analisa SEM EDX.....	41
4.1.2. Hasil Analisa XRF	47
4.2. Hasil Degradasi Logam Berat Cd, Pb, Fe dan Cu.....	48
4.2.1. Pengaruh waktu degradasi terhadap penurunan kadar logam berat Cd, Pb, Fe dan Cu.	49
4.2.2. Pengaruh pH Larutan Terhadap Persentase Degradasi Logam Berat Cd, Pb, Fe dan Cu.	53
BAB V KESIMPULAN.....	viii
DAFTAR PUSTAKA	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Komposisi dari Abu Bakar	7
Tabel 2.2. Sifat Kimia dan Fisika Abu Dasar, Pasir, dan Kerikil	8
Tabel 2.3. Sifat Fisika dan kimia Natrium Aluminat	16
Tabel 3.1. Variasi Waktu Kristalisasi Sampel HCl	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 3.2. Variasi waktu dan pH pada proses Degradasi logam berat..	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 4.1. Hasil SEM-EDS Zeolit sebelum aktivasi	42
Tabel 4.2. Hasil SEM-EDS Zeolit Sintesis Aktivasi 6 jam	43
Tabel 4.3. Hasil SEM-EDS Zeolit Sintesis Aktivasi 12 jam	44
Tabel 4.4. Hasil SEM-EDS Zeolit Sintesis Aktivasi 24 jam	45
Tabel 4.5. Hasil analisa XRF sampel zeolit	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram perakitan SiO_4 dan AlO_4 tetrahedral.....	Kesalahan!
Bookmark tidak ditentukan.	
Gambar 2.2. Skema Proses Fusi Alkali untuk Sintesis Zeolit.....	19
Gambar 2.3. Skema Proses Fusi Alkali Leaching untuk Sintesis Zeolit	20
Gambar 3.1. Skema Proses Hidrotermal	36
Gambar 3.2. Skema Proses Hidrotermal	36
Gambar 3.3. Diagram Alir Sintesis	38
Gambar 3.4. Diagram Alir Degradasi Logam Cd, Pb, Cu, dan Fedengan Adsorben Zeolit	39
Gambar 4.1. Hasil Analisa SEM Zeolit Sintetis Sebelum Aktivasi Perbesaran (a) 1500x dan (b) 2500x	41
Gambar 4.2. Hasil Analisa SEM Zeolit Sintetis Aktivasi 6 jam Perbesaran (a) 1500x dan (b) 2500x	42
Gambar 4.3. Hasil Analisa SEM Zeolit Sintetis Aktivasi 12 jam Perbesaran (a) 1500x dan (b) 2500x	43
Gambar 4.4. Hasil Analisa SEM Zeolit Sintetis Aktivasi 24 jam Perbesaran (a) 1500x dan (b) 2500x	44
Gambar 4.5. Grafik pengaruh adsorpsi terhadap degradasi logam berat pada pH 5	49
Gambar 4.6. Grafik pengaruh adsorpsi terhadap degradasi logam berat pada pH 7	51
Gambar 4.7. Grafik pengaruh adsorpsi terhadap degradasi logam berat pada pH 9	51
Gambar 4.8. Grafik pengaruh nilai Ph dengan waktu kontak 15 menit terhadap degradasi logam berat.	54
Gambar 4.9. Grafik pengaruh nilai Ph dengan waktu kontak 30 menit terhadap degradasi logam berat.	54
Gambar 4.10. Grafik pengaruh nilai Ph dengan waktu kontak 60 menit terhadap degradasi logam berat.	55

Gambar 4.11. Grafik pengaruh nilai Ph dengan waktu kontak 120 menit terhadap degradasi logam berat. 55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan penghasil batu bara yang berlimpah sebagai bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui. Batu bara digunakan secara masif sebagai sumber energi yang penting bagi dunia yang dimanfaatkan sebagian besar sebagai sumber energi listrik. Indonesia adalah salah satu negara yang memanfaatkan batu bara sebagai sumber energi listriknya. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan industri *manufacture* memilih batu bara sebagai sumber energi untuk menghasilkan panas karena nilai batu bara lebih terjangkau dibandingkan dengan menggunakan minyak bumi. Penggunaan batu bara yang terus meningkat menyebabkan semakin tinggi dampak buruk yang dihasilkan dari limbah penggunaan batu bara yang mana hal ini dapat membahayakan lingkungan, sehingga diperlukan pengolahan atau penggunaan kembali limbah yang dihasilkan. *Fly Ash* dan *Bottom Ash* (FABA) dihasilkan dari pembakaran batu bara, yang didominasi oleh abu terbang (*fly ash*) 80-90% dan sisanya *bottom ash* (Ramme dan Tharainiyil, 2013). Abu dasar mengandung senyawa alumina yang merupakan komponen penting dalam pembuatan katalis dan adsorben (Rashidi dan Yusuf, 2016).

Pada tahun 2018 Pupuk Sriwidjaja menggunakan batu bara sebagai sumber energi untuk menunjang dalam proses produksi pupuk, semisal untuk bahan bakar *boiler* pada unit utilitas yang bertujuan untuk menghasilkan listrik dan *steam*. Penggunaan batu bara selain menjadi sumber energi menghasilkan limbah yang berasal dari pelepasan abu sisa pembakaran dan polutan seperti CO₂, CO, SO₂, dan NO_x. Abu batu bara diprediksi memiliki alkalinitas yang tinggi karena kandungan fraksi kapur. Penumpukan abu batu bara di lokasi penimbunan secara terus menerus akan memberikan dampak bagi lingkungan dan pengolahan yang kurang tepat dapat mengurangi lahan produktif. Hal ini menjadikan abu batu bara menjadi penyumbang pencemaran bagi lingkungan jika tidak ditangani dengan tepat (Damayanti, 2018). Hasil pembakaran batu bara menghasilkan sisa pembakaran berupa 25% limbah padat abu dasar dan 75% abu terbang (Lestiani dkk., 2010).

Abu dasar batu bara sebelumnya dikategorikan sebagai limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) telah diubah melalui peraturan pemerintah (PP)

nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, *Fly ash*, *bottom ash* atau disebut FABA dari kegiatan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batu bara dan kegiatan lain yang menggunakan pembakaran batu bara dikeluarkan dari katagori limbah B3 dan diubah menjadi limbah Non-B3, sehingga memiliki potensi yang dapat digunakan kembali. Pemanfaatan secara umum abu batu bara baru mencapai 25%, dan 75% sisanya terbuang (Anggara dkk., 2021). Pemanfaatan yang umumnya dilakukan salah satunya dengan memanfaatkan abu batu bara sebagai katalis. Katalis yang terbentuk dari pemanfaatan suatu limbah abu batu bara dapat berupa suatu katalis zeolit. Sintesis katalis dapat dilakukan dengan berbagai metode, yaitu hidrotermal, impregnasi, ekstraksi, dan lain-lain.

Zeolit mempunyai struktur berongga yang diisi oleh air dan kation yang dapat dipertukarkan. Rongga ini memiliki ukuran pori tertentu yang memungkinkan molekul-molekul dengan ukuran tertentu untuk masuk ke dalam pori dan berinteraksi dengan zeolit. Zeolit dapat diaplikasikan sesuai dengan fungsinya, diperlukan proses tertentu agar dapat diperoleh zeolit dengan kualitas yang baik. Kualitas Zeolit dapat ditingkatkan melalui proses aktivasi dan pengolahan, baik dengan cara pemanasan, penambahan asam atau basa, maupun pelapisan dengan senyawa kimia tertentu (Wulan, 2017).

Jenis dan sifat zeolit dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu komposisi bahan dasar yang digunakan, komposisi perbandingan Si/Al dari bahan dasar, tingkat alkalinitas, suhu dan waktu pada proses, serta jenis dan komposisi medium basa yang digunakan (Pratama dan Muttaqin, 2017). Zeolit yang dihasilkan dengan menggunakan suatu metode alkali hidrotermal memiliki kristalinitas dan kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan zeolit yang dihasilkan dengan metode hidrotermal langsung. Kristalisasi zeolit sintetis dipengaruhi oleh faktor-faktor tertentu, yakni komposisi larutan, waktu kristalisasi, dan suhu kristalisasi (Szostak, 1989). Semakin lama waktu pertumbuhan kristal dan semakin rendah suhu yang digunakan, maka ukuran kristal akan semakin besar (Ojha dkk., 2004). Proses regenerasi zeolit juga menjadi salah satu faktor yang dapat diaktifkan kembali metode kalsinasi menggunakan panas untuk memulihkan kapasitas adsorpsinya (Gales, 2014).

Kemajuan dalam sektor Industri menimbulkan tantangan baru terkait masalah pencemaran logam berat seperti Cd, As, Cu, Fe, dan Pb yang dapat membahayakan baik bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Logam berat seperti timbal (Pb), Kadmium (Cd), Arsenik (As), merkuri (Hg) dan kromium (Cr) memiliki sifat non *biodegradable*, yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme atau mengurai secara alami dalam waktu yang singkat. Ketahanan degradasi dan stabilitas ini memungkinkan logam berat dapat bertahan di lingkungan selama ribuan tahun (Zhang dkk., 2023). Ketidakmampuan logam berat untuk terurai menyebabkan progresif di tanah, air, dan sedimen baik konsentrasi tinggi maupun pada konsentrasi yang rendah (Kumar dkk., 2022). Logam-logam berat ini sering ada dalam air limbah industri, pertambangan, dan pertanian dengan konsentrasi yang melebihi ambang batas dapat menimbulkan penyakit seperti gangguan ginjal, kerusakan sistem saraf, dan kanker pada makhluk hidup baik manusia maupun hewan walau hanya dengan konsentrasi yang rendah (Nordhberg dkk, 2014).

Berbagai metode dikembangkan untuk menghilangkan dan mengendalikan pencemaran logam berat, baik metode fisik maupun biologi. Metode konvensional untuk menghilangkan logam berat dalam air limbah dapat menggunakan cara koagulasi, osmosis, pertukaran ion, dan presipitasi atau dengan cara yang lebih modern seperti penggunaan filtrasi membran, Adsorpsi muncul sebagai metode yang efektif dan ekonomis untuk menghilangkan logam berat dari air. Adsorpsi unggul karena efektivitas yang baik, penggunaan peralatan yang sederhana, kemudahan penggunaan dan biaya yang relatif rendah. Penggunaan zeolit dalam proses adsorpsi dikenal memiliki tingkat penyerapan logam berat yang tinggi tetapi juga dapat digunakan kembali dalam jangka waktu yang lama dalam penanganan limbah industri. Berdasarkan permasalahan tersebut maka disusunlah penelitian ini untuk mempelajari efektivitas dari penggunaan zeolit dari abu dasar batu bara sebagai adsorben untuk menurunkan logam berat Cd, Pb, Fe, dan Cu.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah:

- 1) Bagaimana pengaruh variasi waktu hidrotermal terhadap karakteristik (struktur, morfologi, dan komposisi) zeolit yang disintesis dari abu dasar batu bara?
- 2) Bagaimana efektivitas zeolit hasil sintesis dari abu dasar batu bara sebagai adsorben dalam menurunkan kadar logam berat Cd, Pb, Fe, dan Cu ditinjau dari variasi waktu kontak dan pH larutan?
- 3) Pada kondisi waktu kontak dan pH larutan manakah zeolit menunjukkan efektivitas adsorpsi optimum untuk masing-masing logam berat (Cd, Pb, Fe, dan Cu) ?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Menganalisis pengaruh variasi waktu hidrotermal terhadap karakteristik (struktur, morfologi, dan komposisi) zeolit yang disintesis dari abu dasar batu bara.
- 2) Menguji efektivitas zeolit hasil sintesis dari abu dasar batu bara sebagai adsorben dalam menurunkan kadar logam berat Cd, Pb, Fe, dan Cu berdasarkan variasi waktu kontak dan pH larutan.
- 3) Menentukan kondisi waktu kontak dan pH larutan yang menghasilkan efektivitas adsorpsi optimum zeolit untuk masing-masing logam berat (Cd, Pb, Fe, dan Cu).

1.4. Hipotesa

- 1) Variasi lama waktu pada proses hidrotermal diduga memengaruhi karakteristik zeolit yang dihasilkan, waktu hidrotermal yang lebih lama berpotensi meningkatkan kristalinitas dan pembentukan pori zeolit.
- 2) Perlakuan aktivasi dengan variasi waktu hidrotermal dan penggunaan HCl diduga akan menghasilkan luas permukaan pori zeolit yang lebih besar dan optimal untuk adsorpsi.
- 3) Zeolit yang disintesis dari abu dasar batu bara diduga mampu menurunkan kadar logam berat Cd, Pb, Fe, dan Cu dalam larutan.

- 4) Efektivitas adsorpsi zeolit terhadap logam berat Cd, Pb, Fe, dan Cu diduga dipengaruhi oleh waktu kontak dan pH larutan, dengan kondisi optimum yang berbeda untuk setiap jenis logam.

1.5. Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

- 1) Bahan baku yang digunakan merupakan limbah hasil pembakaran batu bara di *Steam Turbin Generator* PT Pupuk Sriwidjadja berupa abu dasar.
- 2) Metode yang digunakan untuk pembuatan zeolit merupakan metode peleburan alkali yang dilanjutkan dengan proses hidrotermal.
- 3) Karakterisasi suatu zeolit meliputi struktur menggunakan peralatan *X-Ray Diffraction* (XRD), mikro struktur dan morfologi menggunakan peralatan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)
- 4) Variabel bebas yang digunakan di penelitian ini adalah lama waktu hidrotermal (0, 6, 12, dan 24 jam) dan pH larutan logam (5, 7, dan 9)
- 5) Variabel tetap yang digunakan dalam penelitian sintesis zeolit adalah suhu hidrotermal 100°C, suhu peleburan 750°C, waktu peleburan 3 jam, waktu pengadukan 1 jam, suhu pengeringan 100°C, waktu pengeringan 12 jam, dan konsentrasi natrium aluminat 1,5 M. Pada proses adsorpsi variabel tetap pada masa adsorben 0.1 gram.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Memperoleh pengetahuan tentang proses sintesa dan karakterisasi zeolit dan pengaruh penggunaan zeolit sebagai adsorben untuk menurunkan kadar logam berat.
- 2) Memberikan alternatif untuk meningkatkan pemanfaatan limbah hasil pembakaran batu bara dalam upaya pengurangan limbah abu dasar batubara.
- 3) Sebagai salah satu upaya pengurangan logam berat yang ada dilingkungan dengan harga yang lebih murah serta proses pembuatan yang lebih mudah.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdan, M., Batubara, A. S., Nur, F. M., Yulianto, D., Sugito, S., & Muchlisin, Z. A. (2020). Intensitas dan prevalensi ektoparasit dan endoparasit pada ikan belanak *Liza macrolepis* (Smith, 1846) di perairan pantai Barat-Selatan Aceh. *DEPIK*, 9(3), 484. <https://doi.org/10.13170/depik.9.3.17959>
- Al-Absi, M. A., Mohammad, A. W., & Amid, A. (2022). Influence of pH on the Removal Mechanisms of Copper and Iron Ions from Aqueous Solutions using Zeolite Synthesized from Waste Materials. *Journal of Water Process Engineering*, 47, 102750. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102750>
- Al Muttaqii, M., Birawidha, D. C., Isnugroho, K., Amin, M., Hendronursito, Y., Istiqomah, A. D., & Dewangga, D. P. (2019). Pengaruh Aktivasi Secara Kimia Menggunakan Larutan Asam dan Basa Terhadap Karakteristik Zeolit Alam . *JRTI (Jurnal Rekayasa Teknologi Industri)* , 13(2), 266–271.
- Amara, N., Ratsimba, B., Wilhelm, A., dan Delmas, H. 2001. Crystallization of Potash Alum: Effect of Power Ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*. Vol. 8: 265-270.
- Brinker dan Scherer. 1990. *Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. Cambridge: Academic press.
- Damayanti, R. 2018. Abu Batu Bara dan Pemanfaatannya: Tinjauan Teknis Karakteristik secara Kimia dan Toksikologinya. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batu bara*. Vol 14. (3): 213-231
- Derbe, T., Temesgen, S., dan Bitew, M. 2021. A Short Review on Synthesis, Characterization, and Applications of Zeolites. *Advances in Materials Science and Engineering*. Vol. 2021: 1-17.
- Dewi, D.D., 2015. “*Produksi Biodiesel Dari Minyak Jarak (Ricinus Communis) Dengan Microwave*”. Tesis. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Diska, Alista, I., 2023. “*Sintesis Zeolit-X Sebagai Katalis Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel Dan Optimasi Pengolahannya Dengan Penerapan Response Surface Methodology (RSM)*”, Tesis. Lampung: Universitas Lampung.

- Dwi, Ardiana. dkk. 2009. “*Pengaruh Rasio Metanol/Minyak Terhadap Parameter Kecepatan Reaksi Metanolisis Minyak Jelantah dan Angka Setana Biodiesel*”. Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Echeverria, J. C., Rodriguez-Lugo, V., & Elizalde-Gonzalez, M. P. (2021). Sorption Mechanisms of Lead(II) on Natural Zeolite: Effect of pH and Ionic Strength. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232(8), 330. <https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.1007/s11356-021-15163-y>
- Fitria dan Ahmad Y., 2018. Pembuatan Bahan Bakar Alternatif dari Minyak Biji Jarak Menggunakan Gelombang Mikro. *Jurnal Program Studi Mesin*. Vol 7. No 2.
- Gales, S. S., Baharamsyah, A., & Cahyono, B. (2014). *Analisa regenerasi zeolit sebagai adsorben pada alat pendingin adsorpsi* (Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember). Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ghassani, K. N., & Titah, H. S. (2022). Kajian Fitoremediasi untuk Rehabilitasi Lahan Pertanian Akibat Tercemar Limbah Industri Pertambangan Emas. *Jurnal Teknik ITS*, 11(1). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v11i1.82682>
- Hench, L. L. dan West, J. K. 1990. The Sol-Gel Process. *Chemical Review*. Vol. 90: 33-72.
- Ibrahim, M.L., et al. (2020). Preparation of Na₂O Supported CNTs Nanocatalyst for Efficient Biodiesel Production from Waste-Oil. *Journal of Energy Convers. Manage.* 205: 112445.
- Ibrahim, M., Ahmad Zaidi, F. H., Wan Ibrahim, W. M., Abdullah, M. M. A. B., Ahmad, R., Noorlin, F. F., & Azahar, R. H. (2025). Investigating the efficacy of metakaolin based alkali activated materials for efficient removal of nickel and lead ions. *Materials Research Express*, 12, Article 3. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/adb9bd>
- Inayat, A., Schwidder, M., Pätzold, W., Werner-Zwanziger, U., Ernst, S., & Schwieger, W. (2011). Effect of iron on the synthesis and catalytic properties of ZSM-5 zeolites. *Applied Catalysis A: General* , 397(1–2), 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2011.02.032>

- Johnson, E. B. G., dan Arshad, S. E. 2014. Hydrothermally Synthesized Zeolites Based on Kaolinite: A Review. *Applied Clay Science*. Vol. 97-98: 215-221.
- Kahar. 2004. Respon Minyak Jelantah Terhadap Pemberian Sekam Padi. *Journal of Biotechnology*. Vol.5(10), Hal. 901-906.
- Kaur, M., Sharma, A., & Aditya, A. (2021). A review on heavy metal accumulation and toxicity in biotic and abiotic components [Review of A review on heavy metal accumulation and toxicity in biotic and abiotic components]. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 889(1), 12062. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/889/1/012062>
- Khaidir, Setyaningsih, D., dan Haerudin, H. 2011. Modifikasi Zeolit Alam sebagai Material Molekular Sieve pada Proses Dehidrasi Bioetanol. *Jurnal Zeolit Indonesia*. Vol. 8(2): 97-105.
- Khaleque, A., dkk. 2020. Zeolit Synthesis from Low-cost Materials and Enviromental Applications: A Review. *Enviromental Advances*. Vol. 2: 100019.
- Kumar, R., Singh, L., & Zularisam, A. W. (2021). Adsorption of Pb(II) and Cd(II) onto Chemically Modified Zeolite Y: Isotherms, Kinetics, and pH Optimization. *Chemosphere*, 270, 129455. <https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129455>
- Li, Z., Ding, S., Chen, C. et al. (2019). Recyclable Li/NaY Zeolit as a Heterogeneous Alkaline Catalyst for Biodiesel Production: Process Optimization and Kinetics Study. *Journal of Energy Convers. Manag.* 192: 335–345.
- Lin, F., Li, M., Purdy, S. C., Zhang, J., Wang, Y., Kim, S., ... & Wang, H. (2024). Restructuring of the Lewis Acid Sites in Y-Modified Dealuminated Beta-Zeolite by Hydrothermal Treatment. *ACS Omega* , 9(16), 17727–17738. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c00587>
- Martinez, L. M. T., dkk. 2018. *Synthesis and Identification Methods for Zeolites and MOFs*. Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Nguyen, T. H., Lin, C., Tran, H. N., Bui, X. T., Van Le, Q., & Juang, R. S. (2020). Synthesis of Zeolite from Rice Husk Ash for Effective Removal of Heavy

- Metal Ions Cu(II) and Pb(II) from Aqueous Solutions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104121. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104121>
- Pedrolo, D. R. S., dkk. 2017. Synthesis of Zeolites from Brazilian Coal Ash and Its Application in SO₂ Adsorption. *Journal of Enviromental Chemical Engineering*. Vol. 5(5): 4788-4794.
- Qurotul, Aeni. 2020. “Analisis Timbulan Minyak Jelantah Dari Rumah Makan Di Kawasan Kuliner Alun-Alun Kecamatan Kendal” Skripsi. DIY: Univeristas Islam Indonesia.
- Ramadhani, D. G., dkk. 2017. Sintesis Ni/Zeolit Alam Teraktivasi Asam sebagai Katalis pada Biodiesel Minyak Biji Ketapang. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*. Vol. 2 (1): 72-79.
- Ramme, B., & Tharainiyil, M. (2013). *Beneficial use of coal combustion products in Texas: Status report* (Report No. 7564-P1, p. 12). Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin. https://www.utexas.edu/research/ctr/pdf_reports/7564_P1.pdf
- Rashidi, N. A., & Yusup, S. (2018). Production of palm kernel shell-based activated carbon by direct physical activation for carbon dioxide adsorption. *Environmental Science and Pollution Research*, 26 (1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1903-8>
- Rao, K. J., dkk. 1999. Synthesis of Inorganic Solids Using Microwaves. *Chemistry of Materials*. Vol. 11: 882-895.
- Riza, Abrar. 2021. “Biodisel Ditinjau dari Berbagai Aspek”. Skripsi. Tarumanegara: Univeristas Tarumanagara.
- Saraswati, I. 2015. Zeolit-A Synthesis from Glass. *Jurnal Sains dan Matematika*. Vol. 23(4): 112-115.
- Sari, D. P., Ratnaningsih, E., & Prasetya, A. (2023). Studi Kinetika dan Isoterm Adsorpsi Ion Logam Fe(III) dan Cu(II) Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi Asam. *Jurnal Kimia Valensi*, 9(1), 85-94. <https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.15408/jkv.v9i1.30678> (*Contoh Jurnal Dalam Negeri*)

- Sarno, M., & Iuliano, M. (2019). Biodiesel Production from Waste Cooking Oil. *Journal Green Processing and Synthesis*. Vol. 8(1): 828–836.
- Setiawati, Evi dan Fatmir Edwar. 2012. Tekonologi Pengolahan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Teknik Mikrofiltrasi dan Tranesterifikasi sebagai Alternatif Bahan Bakar Mesin Diesel. *Jurnal Riset Industri*. Vol. VI(2): 117-127.
- Singh, D., Bhoi, R., Ganesh, A., and Mahajani, S. (2014). Synthesis of Biodiesel from Vegetable Oil Using Supported Metal Oxide Catalysts. *Journal of Energy Fuels*. Vol. 28(4): 2743–2753.
- Siti, N.W., T. Dewanti, dan Kuntanti. 2001. “Studi Tingkat Kerusakan dan Keamanan Pangan Minyak Goreng Bekas (Kajian dari Perbedaan Jenis Minak Goreng dan Bahan Pangan yang digoreng)”. Laporan penelitian. Malang: Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.
- Subash, S. M., & Mahendran, N.. Exploitation of Bottom Ash and Fly Ash in Road Construction. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 9, 76-80. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33330.66246>
- Suwarsono, dkk., 2008. Sintesis Biodisel dari Minyak Biji Ketapang yang berasal dari Pohon Ketapang yang Tumbuh di Kampus UI Depok. *Jurnal Valensi*. Vol.1.
- Tran, H. N., You, S. J., Hosseini-Bandegharai, A., & Chao, H. P. (2020). Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: A critical review. *Water Research*, 173, 115584. <https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115584>
- Triana, G. Y., & Warmadwanthi, I. D. A. A. (2015). Pengaruh Aktivasi dan Dosis Adsorben Sekam Padi untuk Mengurangi Konsentrasi Methylene Blue pada Limbah Cair Industri Tekstil.
- Visa, M. (2020). Zeolites as Versatile Materials for Environmental Applications: A Review of Recent Advances. *Materials*, 13(21), 4888. <https://doi.org/10.3390/ma13214888>

- Wibowo, E., Rokhmat, M., Sutisna, S., Khaydarov, R., & Maming. (2021). Effective Removal of Pb(II) from Aqueous Solution using Zeolite Na-P Synthesized from Indonesian Coal Fly Ash. *Journal of Ecological Engineering*, 22(5), 224–234. <https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.12911/22998993/136157>
- Wiley, John. 2022. *Biodiesel Production (Feedstocks, Catalysts, and Technologies)*. India: John Wiley & Sons published.
- Xu, X., Yang, W., Liu, J., dan Lin, L. 2001. Synthesis of NaA Zeolit Membrane by Microwave Heating. *Separation and Purification Technology*. Vol. 25: 241-249.
- Yadav, V. K., & Fulekar, M. H. (2020). Advances in Methods for Recovery of Ferrous, Alumina, and Silica Nanoparticles from Fly Ash Waste. *Ceramics*, 3(3), 384. <https://doi.org/10.3390/ceramics3030034>
- Zhang, Y., Liu, H., Li, J., & Li, A. (2022). Enhanced Adsorption Performance of Cd(II) and Cu(II) from Aqueous Solution by EDTA-Modified Zeolite X Synthesized from Coal Fly Ash. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(32), 48915–48928. <https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.1007/s11356-022-19169-y>