

**TESIS**

**DEGRADASI FOTOKATALITIK LOGAM BERAT Cd, Cu,  
Fe DAN Pb MENGGUNAKAN NANOKOMPOSIT ZnO-  
ZEOLIT**

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



**TRI KARIMAH RAMADHINI**

**03012682125007**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA  
JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2024**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**DEGRADASI FOTOKATALITIK LOGAM BERAT Cd, Cu,  
Fe DAN Pb MENGGUNAKAN NANOKOMPOSIT ZnO-  
ZEOLIT**

**TESIS**

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

Palembang, Januari 2024

Menyetujui,  
Pembimbing I,



Prof. Hj. Tuty Emilia Agustina, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197208092000032001

Pembimbing II,



Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197505112000122001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya,



Prof. Dr. Eng. Ir. N. joni Arliansyah., M.T.  
NIP. 19670615 199512 1002



Ketua Jurusan Teknik Kimia

Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.  
NIP. 19750201 200012 2001

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Laporan Tesis ini dengan judul “Degradasi Fotokatalitik Logam Berat Cd, Cu, Fe Dan Pb Menggunakan Nanokomposit ZnO-Zeolit” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada 8 Januari 2024.

Palembang, Januari 2024

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Tesis



Ketua :

1. Prof. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA.  
NIP. 196010111985032002

(  , Januari 2024)

Anggota :

1. Dr. David Bahrin, S.T., M.T.  
NIP. 198010312005011003
2. Tine Aprianti, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 198204252023212029

(  , 16 Januari 2024)  
(  , 11 Januari 2024)

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya,



Prof. Dr. Eng. Ir. H. joni Arliansyah., M.T.  
NIP. 19670615 199512 1002

 Ketua Jurusan Teknik Kimia

  
Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.  
NIP. 19750201 200012 2001

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Tri Karimah Ramadhini  
NIM : 03012682125007  
Judul : Degradasi Fotokatalitik Logam Berat Cd, Cu, Fe dan  
Pb Menggunakan Nanokomposit ZnO-Zeolit

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, 8 Januari 2024  
Yang membuat Pernyataan,

  
AOE1FALX034767290  
Tri Karimah Ramadhini  
NIM. 030126821255007

## RINGKASAN

### DEGRADASI FOTOKATALITIK LOGAM BERAT Cd, Cu, Fe DAN Pb MENGGUNAKAN NANOKOMPOSIT ZnO-ZEOLIT

Karya ilmiah berupa Tesis, Januari 2024

Tri Karimah Ramadhini, Dibimbing Oleh Prof. Hj. Tuty Emilia Agustina, S.T., M.T., Ph.D dan Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D.

Photocatalytic Degradation of Heavy Metals Cd, Cu, Fe and Pb Using ZnO-Zeolite Nanocomposite

Xvi+ 105 halaman, 13 tabel, 28 Gambar, 5 Lampiran

## RINGKASAN

Logam berat adalah zat polutan utama di lingkungan. Logam berat adalah jenis logam dengan densitas yang tinggi dan sangat berbahaya bagi makhluk hidup, terutama manusia. Organisme hidup dapat mengabsorpsi bioakumulasi dan sedimentasi dari logam berat yang mengendap di dalam air. Beberapa senyawa yang terdapat dalam air limbah antara lain Kadmium (Cd), Tembaga (Cu), Besi (Fe), dan Timbal (Pb). Logam berat ini tidak dapat terurai secara alami, diperlukan pengolahan khusus sebelum dilepaskan ke lingkungan. Untuk mencegah dampak pencemaran lingkungan, air limbah yang mengandung logam berat harus ditangani dengan tepat dan optimal. Salah satu metode yang dapat diterapkan untuk pengolahan air limbah adalah degradasi dengan fotokatalisis, yang memanfaatkan bantuan cahaya. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh pH dan waktu penyinaran terhadap degradasi logam berat. Untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik, dilakukan sintesis nanokomposit ZnO-Zeolit. Nanokomposit ZnO-Zeolit yang terbentuk selanjutnya dikarakterisasi dengan SEM-EDX dan XRD. Pemanfaatan nanokomposit ZnO-Zeolit dinilai efektif dalam menurunkan kandungan logam berat. Degradasi dengan paparan sinar Ultraviolet (UV) berlangsung selama 15-120 menit dengan variasi pH antara 4-8. Degradasi logam berat berjalan pada waktu 60 menit dan 120 menit yang menunjukkan persentase penyisihan logam yang optimal mendekati 100%. Nilai pH optimum untuk Cd, Cu, Fe, dan Pb secara berurutan adalah pH 8, pH 7, pH 6 dan pH 8 dengan persen degradasi sebesar 98,96%, 95,43%, 96,07% dan 95,53%.

**Kata Kunci :** Fotokatalitik, Logam Berat, Nanokomposit ZnO-Zeolit

Kepustakaan : 91 (2005-2022)

## SUMMARY

### PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF HEAVY METALS Cd, Cu, Fe AND Pb USING ZnO-ZEOLITE NANOCOMPOSITE

Scientific paper in the form of Tesis, January 2024

Tri Karimah Ramadhini, Supervised by Prof. Hj. Tuty Emilia Agustina, S.T., M.T., Ph.D dan Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D.

Degradasi Fotokatalitik Logam Berat Cd, Cu, Fe Dan Pb Menggunakan Nanokomposit ZnO-Zeolit

Xvi+ 105 Pages, 13 Table, 28 Pictures, 5 Appendix

### SUMMARY

Heavy metals are the main pollutant substances in the environment. Heavy metals are a type of metal with high density and are very dangerous to living organisms, specially humans. Living organisms can adsorb the bioaccumulative and sedimentation of heavy metals that settle in water. Some compounds which found in wastewater including Cadmium (Cd), Copper (Cu), Iron (Fe), and Lead (Pb). These heavy metals cannot naturally degrade, additional processing is required before it being released into the environment. To prevent environmental pollution impacts, wastewater containing heavy metals must be handled properly and optimally. One method that can be applied for wastewater treatment is degradation by photocatalysis, utilizing the assistance of light. This research is to investigate the effect of pH and irradiation time on the degradation of Cd (cadmium), Cu (Copper), Fe (Iron), and Pb (Lead) heavy metals. To enhance the photocatalytic activity, the synthesis of ZnO-Zeolite nanocomposites was conducted. The ZnO-Zeolite nanocomposites produced were analyzed by SEM-EDX and XRD. The utilization of ZnO-Zeolite nanocomposites is deemed effective in reducing heavy metal concentrations. The degradation with Ultraviolet (UV) light exposure runs within 15-120 minutes with pH variation between 4-8. The degradation of heavy metal runs at 60 minutes and 120 minutes showing an optimum percentage removal of metals approaching 100%. The optimum pH values for Cd, Cu, Fe, and Pb are pH 8, pH 7, pH 6, and pH 8, respectively. The sequential metal degradation percentages are 98.96%, 95.43%, 96.07%, and 95.53%, respectively.

**Keywords :** Photocatalytic, Heavy Metals, ZnO-Zeolite Nanocomposite

Citations : 91 (2005-2022)



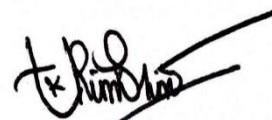
## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT yang berkat rahmat dan karunia-Nya laporan tesis yang berjudul **“Degradasi Fotokatalitik Logam Berat Cd, Cu, Fe dan Pb Menggunakan Nanokomposit ZnO- Zeolit”** dapat terselesaikan dengan baik. Semoga laporan tesis ini bermanfaat dan dapat menjadi acuan dalam pengembangan pengolahan limbah logam berat. Laporan tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) pada Program Studi Magister Teknik Kimia BKU Teknologi Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Keseluruhan rangkaian laporan tesis ini dapat terselesaikan dengan baik oleh bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

- 1) Orang tua dan keluarga tercinta yang telah memberikan dukungan, doa dan motivasi yang bijaksana sehingga laporan tesis dapat diselesaikan.
- 2) Ibu Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.
- 3) Bapak Dr. David Bahrin, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi Magister Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.
- 4) Ibu. Prof. Hj. Tuty Emilia Agustina, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing 1 yang turut serta dalam membantu dan mengarahkan proses penelitian sehingga tesis berjalan lancar.
- 5) Ibu Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberi ilmu dan membimbing agar tesis ini menjadi lebih baik.
- 6) Kepala Laboratorium dan Analis Laboratorium Riset Terpadu Pascasarjana Universitas Sriwijaya

Akhir kata diharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar laporan tesis ini dapat bermanfaat sebagaimana mestinya.

Palembang, 8 Januari 2024



Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS .....	Error! Bookmark not defined.
RINGKASAN .....	v
SUMMARY .....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN .....	xv
DAFTAR SIMBOL.....	xvi
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. Air Limbah.....	6
2.1.1 Klasifikasi air limbah berdasarkan sumbernya .....	7
2.1.2 Karakteristik air limbah .....	7
2.2. Fotokatalitik .....	9
2.3. Zinc Oxide (ZnO) .....	11
2.3.1 Sifat Fisika ZnO .....	11
2.3.2 Sifat Kimia ZnO.....	12
2.4. Zeolit.....	13
2.4.1 Zeolit Alam .....	14



2.4.2 Zeolit Sintetis .....	14
2.4.3 Zeolit Sebagai Katalis .....	15
2.4.4 Zeolit Sebagai Adsorben .....	16
2.4.5 Mekanisme Kerja Zeolit Sebagai Adsorben.....	16
2.5. Nanokomposit .....	17
2.6. Nanokomposit ZnO-Zeolit Sebagai Fotokatalis .....	18
2.7. Macam – Macam Metode Pembuatan Nanokomposit .....	18
2.7.1 Proses Sol – Gel .....	19
2.7.2 Proses Ko-presipitasi .....	19
2.7.3 Proses Hidrotermal.....	20
2.8. Penggunaan Cahaya Matahari Dan Sinar UV .....	20
2.8.1 Penggolongan Sinar UV .....	21
2.8.2 Macam – Macam Sumber Sinar UV .....	22
2.9. Logam Berat Cd, Cu, Fe dan Pb .....	22
2.9.1 <i>Cadmium</i> (Cd).....	23
2.9.2 Tembaga (Cu).....	24
2.9.3 Besi (Fe).....	24
2.9.4 Timbal (Pb) .....	25
2.10. Mekanisme Adsorpsi .....	26
2.10.1 Adsorpsi Fisika.....	26
2.10.2 Adsorpsi Kimia .....	28
2.11. pH Adsorpsi Logam Berat Cd, Cu, Fe dan Pb.....	29
2.12. Baku Mutu Air Limbah Laboratorium.....	30
2.13. Penelitian Terdahulu .....	32
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>35</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	35
3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian .....	35
3.2.1 Bahan Penelitian .....	35
3.2.2 Peralatan Penelitian.....	35
3.3 Rancangan Penelitian .....	36
3.3.1 Variabel dan Matriks Penelitian.....	36
3.3.1.1 Variabel Penelitian .....	36
3.3.2 Prosedur Penelitian .....	37

3.3.2.1	Preparasi bahan .....	37
3.3.2.2	Preparasi Nanokomposit ZnO-Zeolit .....	38
3.3.2.3.	Degradasi Fotokatalitik Logam Berat Limbah Sintetik .....	38
3.3.2.4.	Adsorpsi Logam Berat Limbah Sintetik .....	39
3.3.2.5	Analisis Hasil Degradasi Logam Berat .....	39
3.3.3	Diagram Alir Penelitian .....	40
3.4	Skema Alat Reaktor yang Dilengkapi Lampu Ultraviolet (UV).....	44
3.5	Metode Pengolahan dan Analisis Data.....	44
3.5.1	Metode Analisa Dengan XRF ( <i>X-ray Fluorescence</i> ) .....	44
3.5.2	Metode Analisa SEM-EDX.....	44
3.5.3	Metode Analisa Dengan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	45
3.5.4	Metode Analisa Dengan <i>Brunauer-Emmet-Teller</i> (BET).....	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		46
4.1.	Preparasi Nanokomposit ZnO - Zeolit.....	46
4.2.	Hasil Karakterisasi Nanokomposit ZnO-Zeolit .....	48
4.2.1	Hasil Analisa SEM EDX.....	48
4.2.2.	Hasil Analisa Brunauer-Emmet-Teller (BET).....	55
4.2.3	Hasil Analisa <i>X-ray Diffraction</i> (XRD) .....	57
4.2.4	Hasil Degradasi Logam Berat Cd, Cu, Fe dan Pb.....	60
4.2.5	Pengaruh Waktu Degradasi dan Penggunaan Nanokomposit ZnO-Zeolit Terhadap Persentase Degradasi Logam Berat Cd, Cu, Fe Dan Pb .....	61
4.2.6.	Pengaruh pH Larutan Terhadap Persentase Degradasi Logam Berat Cd, Cu, Fe dan Pb.....	64
4.2.7	Mekanisme Degradasi Fotokatalitik Dengan Nanokomposit ZnO-Zeolit.....	68
BAB V KESIMPULAN .....		73
5.1	Kesimpulan .....	73
5.2	Tindak Lanjut .....	73
DAFTAR PUSTAKA .....		74
LAMPIRAN.....		84

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Domestik.....	6
Tabel 2. 2 Sifat Fisika ZnO .....	12
Tabel 2. 3 Sifat Fisika dan Kimia Cadmium (Cd).....	23
Tabel 2. 4 Sifat Fisika dan Kimia Tembaga (Cu).....	24
Tabel 2. 5 Sifat Fisika dan Kimia Besi (Fe).....	25
Tabel 2. 6 Sifat Fisika dan Kimia Timbal (Pb).....	25
Tabel 2. 7 Baku Mutu Air Limbah .....	30
Tabel 4. 1 Hasil Analisa EDX Zeolit Sintetis Sebelum Aktivasi .....	52
Tabel 4. 2 Hasil Analisa EDX Zeolit Sintetis Setelah Aktivasi.....	53
Tabel 4. 3 Hasil Analisa EDX Nanokomposit ZnO-Zeolit .....	55
Tabel 4. 4 Hasil Karakterisasi dengan BET .....	55
Tabel 4. 5 Data Ukuran Kristal Rata-Rata .....	59
Tabel 4.6 Perbandingan Persen Degradasi Menggunakan Lampu UV dan Kondisi Gelap .....	72

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Serbuk <i>Zinc Oxide</i> .....	11
Gambar 2. 2 Struktur Kristal ZnO.....	12
Gambar 2. 3 Zeolit Sintetis .....	15
Gambar 2. 4 Degradasi Polutan oleh ZnO dengan penyinaran UV .....	21
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	40
Gambar 3. 2 Diagram Alir Proses Aktivasi Zeolit Sintetis .....	41
Gambar 3. 3 Diagram Alir Proses Preparasi Nanokomposit ZnO-Zeolit.....	42
Gambar 3. 4 Diagram Alir Proses Degradasi Fotokatalitik Logam Berat Dalam Air Limbah Sintetik.....	43
Gambar 3.5 Skema Peralatan untuk Proses Degradasi Logam Berat Limbah Sintetik .....	44
Gambar 4. 1 Hasil Analisa SEM Zeolit Sintesis Sebelum Aktivasi Perbesaran (a) 30.000x dan (b) 50.000x .....	48
Gambar 4. 2 Hasil Analisa SEM Zeolit Sintetis Setelah Aktivasi Perbesaran (a) 30.000x dan (b) 50.000x .....	49
Gambar 4. 3 Hasil Analisa SEM Nanokomposit ZnO-Zeolit Perbesaran (a) 10.000x (b) 30.000x (c) 50.000x.....	51
Gambar 4. 4 Spektrum EDX Zeolit Sintetis Sebelum Aktivasi .....	52
Gambar 4. 5 Spektrum EDX Zeolit Sintetis Setelah Aktivasi .....	53
Gambar 4. 6 Spektrum EDX Nanokomposit ZnO-Zeolit .....	54
Gambar 4.7 Hasil Analisa XRD Zeolit Sintetis Sebelum Aktivasi .....	57
Gambar 4.8 Hasil Analisa XRD Zeolit Sintetis Setelah Aktivasi.....	57
Gambar 4. 9 Hasil Analisa XRD Nanokomposit ZnO-Zeolit .....	58
Gambar 4.10 Grafik Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Degradasi Logam Berat pH 4.....	62
Gambar 4.11 Grafik Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Degradasi Logam Berat pH 5.....	62
Gambar 4.12 Grafik Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Degradasi Logam Berat pH 6.....	63

Gambar 4.13 Grafik Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Degradasi Logam Berat pH 7.....	63
Gambar 4.14 Grafik Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Degradasi Logam Berat pH 8.....	64
Gambar 4. 15 Grafik Pengaruh nilai pH dengan waktu kontak 15 menit Terhadap Degradasi Logam Berat.....	66
Gambar 4.16 Grafik Pengaruh Nilai pH dengan Waktu Kontak 30 Menit Terhadap Degradasi Logam Berat.....	67
Gambar 4.17 Grafik Pengaruh Nilai pH dengan Waktu Kontak 60 Menit Terhadap Degradasi Logam Berat.....	67
Gambar 4.18 Grafik Pengaruh Nilai pH dengan Waktu Kontak 90 Menit Terhadap Degradasi Logam Berat.....	68
Gambar 4.19 Grafik Pengaruh Nilai pH dengan Waktu Kontak 120 Menit Terhadap Degradasi Logam Berat.....	68

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN A. Penelitian Terdahulu .....	84
LAMPIRAN B. Skema Peralatan Untuk Proses Degradasi Limbah Logam Berat .....	88
LAMPIRAN C. Data Hasil Penelitian .....	89
LAMPIRAN D. Gambar Dokumentasi Penelitian.....	90
LAMPIRAN E. Data Hasil Analisa .....	99

## DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>
BOD	<i>Biological Oxygen Demand</i>
BET	<i>Brenaeur Emmet Teller</i>
SEM	<i>Scanning Electron Microscopy</i> Mikroskop Scan Elektron
EDX	<i>Energy Dispersive X-ray</i>
XRD	<i>X-ray Diffraction</i> Difraksi Sinar-X
XRF	<i>X-ray Fluorescence</i>
UV	Ultraviolet
FWHM	<i>Full Width Half Maximum</i>
Cd	<i>Cadmium</i> Kadmium
Cu	<i>Cupprum</i> Tembaga
Fe	<i>Ferrum</i> Besi
Pb	<i>Plumbum</i> Timbal



## DAFTAR SIMBOL

D	Ukuran Kristal
K	Faktor bentuk kristal (0,9 – 1)
$\lambda$	Panjang gelombang sinar X
B	Nilai <i>Full Width Half Maximum</i>
$\theta$	Sudut Difraksi

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kegiatan pertambangan, proses pada industri, aktivitas laboratorium serta kegiatan rumah tangga kerap kali menghasilkan air limbah. Jumlah air limbah yang dihasilkan dipengaruhi oleh kuantitas aktivitas masyarakat dan industri. Sama halnya seperti industri yang memproduksi barang bernilai jual tinggi, industri juga menghasilkan sejumlah besar limbah berbahaya. Limbah dari proses industri yang mengandung nitrat dan logam berat dianggap berbahaya karena beracun dan berpotensi mencemari lingkungan.

Salah satu zat polutan pencemar utama di lingkungan adalah logam berat, jika berada di perairan dapat mengendap membentuk sedimen sehingga terjadi bioakumulasi yang teradsorpsi oleh organisme hidup. Logam berat yang terkandung dalam organisme menunjukkan bahwa keberadaan logam berat bersumber dari alam serta tindakan manusia (Mohiuddin et al., 2011). Logam berat yang sering ditemukan pada limbah meliputi unsur Timbal (Pb), Krom (Cr), Cobalt (Co), Cadmium (Cd), Besi (Fe), tembaga (Cu), Mangan (Mn) dan Timah (Sn) (Kamarati dkk., 2018). Pembuangan limbah dengan kandungan logam berat dalam jumlah besar akan menyebabkan kerusakan lingkungan (Nurhidayati dkk., 2021).

Timbal (Pb) bersifat lunak dan beracun yang apabila terpapar oleh tubuh akan berdampak negatif bagi kesehatan seperti memperpendek umur eritrosit, mempengaruhi sistem syaraf, memberikan racun kronis terhadap tubuh manusia, mengakibatkan epilepsi dan kerusakan otak besar.

Tembaga (Cu) dan Cadmium (Cd) bersifat bioakumulatif dan toksik. Rendahnya tingkat kelarutan Cu menyebabkan Cu mudah teradsorpsi ke dalam partikel yang terlarut dalam air (Jundana dkk., 2016). Paparan logam Cu dapat menimbulkan kerusakan hati dan ginjal, anemia serta iritasi pada perut dan usus. Keracunan kadmium akan menyebabkan penyakit ginjal dan pada fase lanjutan ditemukan pelunakan serta patah pada tulang (Said, 2010). Sedangkan keberadaan zat besi (Fe) memang diperlukan oleh tubuh manusia, namun jika berlebihan dalam

jumlah tertentu akan memicu efek beracun yang menyebabkan iritasi mata dan kulit serta meningkatkan resiko gagal jantung (Winarmadani, 2019).

Logam berat Cd, Cu, Fe dan Pb merupakan polutan yang tidak bisa terdegradasi ataupun dihancurkan secara alami maka diperlukan pengelolaan lebih lanjut sebelum dilepaskan ke lingkungan. Oleh karena itu, para peneliti telah mengembangkan berbagai metode pengolahan air limbah berbahaya dan beracun diantaranya melalui proses adsorpsi, biodegradasi, dan klorinasi (Amri dan Utomo, 2017). Namun, setiap metode tetap memiliki kekurangan yakni kurang efektif, biaya operasional relatif tinggi, hasil degradasi kurang maksimal dan menghasilkan polutan sekunder (Gayatri et al., 2020)

Salah satu cara alternatif yang efektif untuk pengolahan limbah logam berat adalah melalui proses degradasi fotokatalitik polutan. Fotokatalitik adalah proses aktivasi reaksi kimia oleh katalis dengan menggunakan cahaya sebagai sumber energinya (Sharfan et al., 2018). Katalis yang digunakan pada proses fotokatalitik disebut fotokatalis. Fotokatalis adalah bahan yang berfungsi untuk mempercepat laju reaksi, reaksi ini mengubah energi cahaya menjadi energi kimia dan menghasilkan radikal hidroksil. Radikal hidroksil akan membentuk senyawa antara yang berperan dalam mereduksi kontaminan dan mengubah senyawa beracun menjadi senyawa yang tak berbahaya, seperti CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O (Hidayatuloh dkk., 2012).

Bahan fotokatalis yang paling sering digunakan dalam proses degradasi fotokatalitik adalah bahan semikonduktor *Zinc Oxide* (ZnO) dan Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>). Jika kedua bahan ini dibandingkan, ZnO lebih unggul karena ketersediaannya melimpah, lebih ekonomis dan mampu menyerap spektrum matahari yang lebih besar, hal ini menjadikan aktivitas fotokatalitik ZnO lebih tinggi daripada TiO<sub>2</sub> (Saravanan et al., 2013). ZnO menjadi bahan fotokatalis yang sering digunakan karena memiliki kestabilan kimia yang baik, efektivitas tinggi dan termasuk ke dalam bahan tak beracun (Kusdianto et al., 2019). Menurut Wismayanti dkk (2015), terdapat suatu masalah pada proses fotokatalitik yaitu lemahnya kapasitas adsorpsi fotokatalis, maka untuk mengatasi masalah ini dilakukan penggabungan bahan fotokatalis dengan adsorben.

Penggabungan fotokatalis dan adsorben bertujuan untuk mengoptimalkan kontak fotokatalitik zat kontaminan. Bahan semikonduktor fotokatalis akan langsung mendegradasi kontaminan yang diserap oleh adsorben sehingga adsorben yang digunakan tidak perlu diregenerasi kembali.

Bahan yang sudah umum digunakan sebagai adsorben adalah karbon aktif dan zeolit. Zeolit memiliki pori yang luas sebagai katalis, adsorben serta media pertukaran ion (Rahman et al., 2018). Zeolit dapat membantu proses adsorpsi katalitik karena permukaannya yang besar dan sifat adsorpsinya yang baik. Zeolit terbagi jadi dua tipe yakni zeolit alam dan zeolit sintesis, zeolit alam masih mengandung banyak *impurities*, yang menghambat proses adsorpsi. Oleh karena itu, penelitian kali ini akan menggunakan zeolit sintesis karena memiliki ukuran yang lebih seragam dan terdistribusi secara merata dan bebas dari pengotor, sehingga memungkinkan adsorpsi akan lebih optimal. Hal ini melandasi pertimbangan keputusan untuk menggabungkan adsorben zeolit sintesis dengan fotokatalis ZnO. Penggabungan ini diyakini memperoleh komposit yang memiliki aktivitas fotokatalitik lebih maksimal dengan ukuran nano.

Berdasarkan referensi penelitian terdahulu, metode impregnasi, proses hidrotermal, dan metode sol gel adalah metode sintesis komposit yang paling umum dilakukan. Namun, metode sol-gel adalah metode yang paling sering digunakan untuk membuat material oksida logam berukuran nano. Metode ini diaplikasikan pada pembuatan film tipis dan material berbahan bubuk, alkohol menghidrolisis alkoksida menjadi logam hidroksida (Rahman et al., 2018). Oleh karena itu, metode sol gel sangat cocok diterapkan dalam proses sintesa nanokomposit ZnO-Zeolit untuk proses degradasi logam berat secara fotokatalitik.

Dilansir dari penelitian yang dilakukan oleh Oktaviani dan Haris (2016), sintesa komposit ZnO-SiO<sub>2</sub> mampu menurunkan kadar logam berat Cd sebesar 60%, sementara Agustina et al (2022) hanya menggunakan ZnO mampu mendegradasi logam berat. Atas dasar referensi penelitian terdahulu, maka penelitian kali ini akan menggabungkan ZnO dan Zeolit menjadi nanokomposit untuk meningkatkan dan mempelajari pengaruh nanokomposit ZnO-Zeolit dalam degradasi logam berat.

Nanokomposit ZnO-Zeolit memiliki keunggulan yakni komposit berukuran nano sehingga aktivitas fotokatalitiknya lebih optimal dalam mendegradasi polutan logam berat. Penggunaan bahan baku fotokatalis ZnO dan adsorben zeolit yang lebih murah dari pada bahan lain dapat menekan biaya yang dibutuhkan hingga jadi lebih terjangkau.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana proses preparasi Nanokomposit ZnO – Zeolit melalui metode sol dan karakterisasi dengan metode XRD, SEM-EDX dan BET?
2. Bagaimana pengaruh waktu degradasi dan pH larutan dalam proses fotokatalitik menggunakan nanokomposit ZnO- Zeolit terhadap penurunan kadar logam berat ?
3. Bagaimana mekanisme degradasi fotokatalitik menggunakan nanokomposit ZnO- Zeolit terhadap penurunan kadar logam berat ?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Mempelajari dan menganalisis proses preparasi nanokomposit ZnO - Zeolit dengan metode sol gel dan karakteristik nya dengan metode XRD, SEM-EDX dan BET
2. Mengkaji dan menganalisis pengaruh waktu degradasi dan pH larutan pada proses fotokatalitik nanokomposit ZnO - Zeolit terhadap penurunan kadar logam berat.
3. Menganalisis dan mengkaji mekanisme degradasi fotokatalitik dengan nanokomposit ZnO-Zeolit terhadap penurunan kadar logam berat.

## **1.4 Hipotesa**

1. Dihasilkan komposit berukuran nano yang mengandung komponen ZnO dan Zeolit (Gayatri et al., 2020).
2. Persentase penurunan kadar logam akan meningkat seiring lama nya waktu penyinaran (Dhandole et al., 2020), tingginya tingkat keasaman nilai pH mempengaruhi rendahnya adsorpsi logam berat (Mahdavi et al., 2012).
3. Penurunan kadar logam berat diawali dengan proses adsorpsi pada permukaan fotokatalis, kemudian terjadi proses fotokatalitik dengan bantuan

sinar UV. Semakin banyak elektron yang tersedia maka hasil fotodegradasi logam berat juga akan meningkat (Ingrid dkk., 2015).

### 1.5 Ruang Lingkup

1. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Analisa Politeknik Negeri Sriwijaya
2. Bahan baku menggunakan pre-kursor *Zinc Acetate*, zeolit sintetis dan komponen limbah sintetis  $Pb(NO_3)_2$ ,  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ,  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  dan  $Cd(NO_3)_2$ .
3. Variabel tetap penelitian meliputi rasio berat prekursor *Zinc Acetate* dan zeolit sintetis (2:1), konsentrasi komponen limbah sintetis 20 mg/L, rasio katalis dengan limbah sintetis sebesar  $\frac{100\text{ mg}}{25\text{ ml}}$ , pengadukan konstan pada temperatur ruang.
4. Kondisi penyinaran proses degradasi fotokatalitik menggunakan lampu Ultraviolet dan kondisi gelap.
5. Waktu degradasi logam berat selama 15, 30, 60, 90, dan 120 menit.
6. Nanokomposit ZnO - Zeolit sebagai media adsorpsi fotokatalitik.

### 1.6 Manfaat Penelitian

Setelah penelitian dilakukan, diharapkan dapat memberi manfaat berupa:

1. Memperoleh pengetahuan tentang proses preparasi dan karakterisasi nanokomposit ZnO - Zeolit serta pengaruh penggunaannya terhadap penurunan kadar logam berat.
2. Mengoptimalkan dan memberikan alternatif proses pengolahan air limbah logam berat sehingga mampu mengurangi pencemaran dan lingkungan terjaga dari bahaya air limbah beracun.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhani, R. dan Husaini. 2017. *Logam Berat Sekitar Manusia*. Lambung Mangkurat University Press, Banjarmasin.
- Agustina, T.E., Melwita, E., Bahrin, D., Gayatri, R, Purwaningtyas, I.F. 2020. Synthesis of Nano-Photocatalyst ZnO-Natural Zeolite to Degrade Procion Red. *International Journal of Technology*, 11(3), Hal. 472–481.
- Agustina, T.E. Habiburrahman, M., Amalia, F., Arita, S., Faizal, M., Novia., Gayatri, R.. 2022. Reduction Of Copper, Iron, And Lead Content in Laboratory Wastewater Using Zinc Oxide Photocatalyst Under Solar Irradiation. *Journal of Ecological Engineering*, 23(10) : 107–115.
- Alkherraz, A. M., Ali, A. K., dan Elsherif, K. M. 2020. Removal of Pb (II), Zn (II), Cu (II) and Cd (II) from Aqueous Solutions by Adsorption onto Olive Branches Activated Carbon: Equilibrium And Thermodynamic Studies. *Journal of Chemistry International*, 6(1), 11–20.
- Amri, S. Dan Utomo, M.P. 2017. Preparasi Dan Karakterisasi Komposit Zno-Zeolit Untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red. *Jurnal Kimia Dasar*, 6(2), Hal. 29–36.
- Andika, B., Wahyuningsih, P. Dan Fajri, R. 2020. Penentuan Nilai BOD Dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air Dan Baku Mutu Air Limbah Di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan. *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, 2(1) : 14–22.
- Anggoro, D.D. 2018. *Buku Ajar Teori Dan Aplikasi Rekayasa Zeolit*. UNDIP Press, Semarang.
- Anggriani, U. M., Hasan, A., & Purnamasari, I. 2021. Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif Dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb). *Jurnal Kinetika*, 12(02), 29–37
- Angraini, Novi., Agustina, T.E., Hadiah, F., 2022. Pengaruh pH dalam Pengolahan Air Limbah Laboratorium Dengan Metode Adsorpsi untuk Penurunan Kadar Logam Berat Pb, Cu, dan Cd. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(2) : 345-355



- Aprilia, A., Hanavi, D.P., Savriani, I., Bahtiar, A., Suryaningsih, S., Agustini, R.R. 2020. Sifat Fotokatalitik Serbuk ZnO Terdoping Aluminium Dalam Mendegradasi Larutan Metil Biru. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, 4(1) : 4–45.
- Arafah, Eka Nur. (2019). *Penerapan Augmented Reality Sebagai Media Pembelajaran Molekul Berbasis Android Studi Kasus SMAN 18 Bandung*. Skripsi, Universitas Komputer Indonesia.
- Azimi, A., Azari, A., Rezakazemi, M., dan Ansarpour, M. 2017. Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewaters: A Review. *ChemBioEng Reviews*, 4(1), 37–59.
- Ciptasari, N. I., Handayani, M., Kaharudin, C. L., Afkauni, A. A., Hatmanto, A. D., Anshori, I., Maksum, A., Riastuti, R., dan Soedarsono, J. W. 2022. Synthesis of Nanocomposites Reduced Graphene Oxide-Silver Nanoparticles Prepared By Hydrothermal Technique Using Sodium Borohydride As a Reductor for Photocatalytic Degradation of Pb Ions in Aqueous Solution. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(5–120), 54–62.
- Chandra, B. 2007. *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. Edisi 1. Buku Kedokteran EGC, Jakarta.
- Darmansyah, D., Ginting, S., Ardiana, L., & Saputra, H. 2016. Mesopori MCM-41 Sebagai Adsorben: Kajian Kinetika dan Isotherm Adsorpsi Limbah Cair Tapioka. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 11(1), 10–16
- Darmawan, R. 2017. *Sintesis Dan Karakterisasi Zeolit Naa Dari Kaolin dan Metakaolin Sebagai Adsorben Logam Tembaga (Cu), Besi (Fe), dan Timbal (Pb) Pada Limbah Logam Laboratorium*. Skripsi, UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Dhandole, L.K., Kim, S.G., Bae, H.S., Ryu.H.I, Chung, H.S. 2020. Simultaneous and Synergistic Effect of Heavy Metal Adsorption on The Enhanced Photocatalytic Performance of A Visible-Light-Driven RS-TONR/TNT Composite. *Environmental Research*, (180): 108651.
- Dionysiou, D., Kowalska, E., Rtimi, S., Han, C., Janczarek, M. 2022. Novel Photocatalysts for Environmental and Energy Applications. *Catalysts*, 12(5).
- Elboughdiri, N. 2020. The Use of Natural Zeolite to Remove Heavy Metals Cu (II), Pb

- (II) and Cd (II), from Industrial Wastewater. *Cogent Engineering*, 7(1).
- Famia, A.M. dan Muldarisnur, M. 2019. Pengaruh Temperatur Sintesis Hidrotermal Terhadap Diameter Nanopartikel Seng Oksida. *Jurnal Fisika Unand*, 8(2), hal. 127–132.
- Ferry, V. 2017. Ozonasi Fotokatalitik Untuk Pengolahan Air dan Air Limbah. *Jurnal Zenodo*, Hal. 1–10.
- Fitria, A.; Surya, P.K. 2016. Karakteristik Zeolit ZSM-5 Dengan Menggunakan Variasi Template Dalam Sintesis. Surabaya: *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, Hal. 2–6.
- Gayatri, R., Agustina, T. E., Bahrin, D., Moeksin, R., & Gustini, G. 2020. Preparation and Characterization of ZnO-Zeolite Nanocomposite for Photocatalytic Degradation by Ultraviolet Light. *Journal of Ecological Engineering*, 22(2), 178–186.
- Hasan, M. K., Shahriar, A., dan Jim, K. U. 2019. Water Pollution in Bangladesh And Its Impact on Public Health. *Heliyon*, 5(8), E02145.
- Hasanudin dan Rachmat, A. 2010. Isoterm Adsorpsi-Desorpsi dan Porositas Katalis Ag-TiO<sub>2</sub>/Zeolit. *Sainmatika*, 7(2), 17–25.
- Hegazi, H. A. 2013. Removal Of Heavy Metals From Wastewater Using Agricultural and Industrial Wastes As Adsorbents. *HBRC Journal*, 9(3), 276–282.
- Heidari, A., Younesi, H., Mehraban, Z., dan Heikkinen, H. 2013. Selective adsorption of Pb(II), Cd(II), and Ni(II) Ions From Aqueous Solution Using Chitosan-MAA Nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 61, 251–263.
- Hidayatuloh, R., Subagio, A. Dan Nurhasanah, I. 2012. Fotokatlitik ZnO:KA Pada Penjernihan Air Kali Banger Semarang. *Jurnal Sains Dan Matematika*, 20(4).
- Ijadpanah-Saravi, H., Dahestaniathar, S., Khodadadi-Darban, A., Zolfaghari, M., Saeezadeh, S. 2016. Photocatalytic Decomposition of Cyanide in Pure Water By Biphasic Titanium Dioxide Nanoparticles. *Desalination and Water Treatment*, 57(43), hal. 20503–20510.
- Ingrid, D., Susanti., Santosa, E., 2015. Fotokatlitik Reduksi Ion Cu(II) dan Fotodegradasi

- Parasetamol Yang Dikatalisis  $\text{TiO}_2$  Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, Vol.11 No.2: 163-174
- Irianti, T.T., Kuswandi, Nuranto,S., Budiyanti, A. 2017. *Logam Berat dan Kesehatan*. Acad UGM, Yogyakarta.
- Isawi, H. 2020. Using Zeolite/Polyvinyl Alcohol/Sodium Alginate Nanocomposite Beads For Removal of Some Heavy Metals From Wastewater. *Arabian Journal Of Chemistry*, 13(6), 5691–5716.
- Istiqomah, S. N. 2019. *Sintesis dan Karakterisasi ZnO Yang Diembankan Pada Zeolit Dengan Variasi Komposisi Menggunakan Metode Sonikasi*. Skripsi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Jayantri, D.R. 2021. *Analisis Heavy Metal Pollution Index (Hmpi) Pada Air Permukaan Di Sungai Winongo, Yogyakarta*. Skripsi, Universitas Islam Indonesia
- Jundana, A. F., Hastuti, E. D., Budihastuti, R. 2016. Daya Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) Pada Akar dan Daun *Avicennia marina* (Forsk.) Berdasarkan Fase Pertumbuhan Yang Berbeda Di Pantai Mangkang Semarang. *Jurnal Biologi*. Vol. 5. No. 3. Hal. 36-46.
- Kamarati, K.F.A., Marlon, I.A. dan M, S. 2018. Kandungan Logam Berat Besi (Fe), Timbal (Pb) dan Mangan (Mn) pada Air Sungai Santan Heavy Metal Content Iron (Fe), Lead (Pb) and Manganese (Mn) in The Water of The Santan River. *Jurnal Penelitian Ekosistem Dipterokarpa*, 4: 50–56.
- Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia. 2014. Peraturan Menteri LHK No.5 Th 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan, Hal. 1-85.
- Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia. 2016. Peraturan Menteri LHK No.68 Th 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan, Hal. 1–13.
- Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia. 2018. Permen LHK Nomor 93 Tahun 2018. Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan, Hal. 1–19.
- Kusdianto, K., Widyastuti, W., Shimada, M. Nurtono., T. Machmudah. S.dan Winardi, S.

2019. Photocatalytic Activity Of ZnO-Ag Nanocomposite Prepared By A One-Step Process Using Flame Pyrolysis. *International Journal of Technology* , 10(3):571-581
- Larasati, A. I., Susanawati, L. D. and Suharto, B. 2016. Efektivitas adsorpsi Logam Berat Pada Air Lindi Menggunakan Media Karbon Aktif, Zeolit, Dan Silika Gel Di TPA Tlekung, Batu. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, pp.44–48
- Lastriyanto, A., Kuncahyo, E.D. dan Komar, N. 2011. Berbasis Teknologi Irradiasi Ultraviolet (Kajian Dosis UV). *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2(1), hal. 7–16
- Lesley E, Smart, Elaine A dan Moore. 2005. *Solid State Chemistry: An Introduction 3<sup>rd</sup> Edition*. Taylor and Francis CRC Press, Boca Rotan Florida.
- Mahdavi, S., Jalali, M., Afkhami, A. 2012. Removal of Heavy Metal from Aqueous Solution Using Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, ZnO, and CuO Nanoparticles. *Journal of Nanoparticle Research*, 14(8).
- Mahreni. 2010. Sintesis Membran Nanokomposit Nafion-SiO<sub>2</sub> Menggunakan Metode Sol Gel. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, II(2), hal. 129–133.
- Mandal, S., Calderon, J., Marpu, S. B., Omary, M. A., dan Shi, S. Q. 2021. Mesoporous Activated Carbon As A Green Adsorbent For The Removal of Heavy Metals and Congo Red: Characterization, Adsorption Kinetics, And Isotherm Studies. *Journal of Contaminant Hydrology* 243 (2021).
- Margareta, S.N. 2019. *Analisis Kandungan Logam Berat Pb, Cu, Cd, Hg Pada Air Minum Isi Ulang Di Kota Malang Berbasis Spektroskopi Serapan Atom Menggunakan Metode PCA*. Skripsi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim
- Mawarni, T., H.C.Fadarina., Azury,M., Taufik, M., 2021. Degradation of Rhodamin B Using ZnO/NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Photocatalys And Applied To Industrial Liquid Waste Pulp And Paper. *Jurnal Kinetika*, 12(03), Hal. 44–50.
- Melany, S., Rahmayeni, dan Zilfa. 2021. Penentuan Penurunan Konsentrasi Ion Fe<sup>3+</sup> Hasil Degradasi Sampel Air Sungai Muara Padang dan Nilai COD, BOD, TSS Secara Fotolisis Menggunakan Katalis ZnO/Zeolit. *Jurnal Kimia Unand*, 10(1), 10–18.
- Mirandha, A. 2016. Efektivitas Limbah Media Tumbuh Jamur (Banglog) Dengan

- Enkapsulasi Alginate Gel Dalam Mengadsorpsi Ion Logam Kadmium. *Skripsi*, 4–18.
- Mohar, S. R., Soewoto, H.P., Garinas, W. 2021. Tinjauan Penggunaan Material Fotokatalis Untuk Peningkatan Reaksi Degradasi Sianida. *Jurnal Rekayasa Pertambangan*, 1(1), Hal. 34.
- Mohiuddin, K.M., Ogawa Y., Zakir HM., Otomo, K., Shikazono. 2011. Heavy Metals Contamination in Water And Sediments of Polluted Urban Rivers in Developing Countries. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 8(4) : 723–736.
- Mostafa, N. G., Yunnus, A. F., dan Elawwad, A. 2022. Adsorption of Pb(II) From Water Onto ZnO, TiO<sub>2</sub>, and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Process Study, Adsorption Behaviour, and Thermodynamics. *Adsorption Science and Technology*, 2022 : 1-13.
- Mukti, NIF., Hanifah, L.M., Haromain, Z.R., Arrazi, A.D., Nuraya, A. (2017). “Pengaruh Tingkat Keasaman Pada Karakteristik Zeolit Alam Sebagai Adsorben Ammonium Hidroksida (NH<sub>4</sub>OH). *Eksergi*, 14(1) : 1–6.
- Mursal, I.L.P. 2017. Karakterisasi XRD dan SEM Pada Material Nanopartikel Serta Peran Nanopartikel Dalam Drug Delivery System. 214-221
- Naimah, Siti dan E. Rahyani. 2014. Efek Fotokatalis Nano TiO<sub>2</sub> Terhadap Mekanisme Antimikroba E-Coli Dan Salmonella. *Jurnal Riset Industri*. 5(2):113-120
- Nasution, N. dan Fitri, A. 2018. Sintesis Nanopartikel TiO<sub>2</sub> Fasa Rutile dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Ilmu Fisika Dan Teknologi*, 2(2), 18–25
- NI Tisya Daniswari. 2021. *Pengaruh Dosis Serbuk Biji Kelor (Moringa Oliefera) Terhadap Kadar Biochemical Oxygen Demand Air Limbah*. Skripsi, Poltekkes Denpasar.
- Nugroho, F. Jati. 2017. *Pengelolaan Air Limbah*. [Http://Sipil.Polines.Ac.Id/Sipil/Node/69](http://Sipil.Polines.Ac.Id/Sipil/Node/69), Diakses Pada : 7 Februari 2023.
- Nurhidayati, Didik, L.A. dan Zohdi, A. 2021. Identifikasi Pencemaran Logam Berat Di Sekitar Pelabuhan Lembar Menggunakan Analisa Parameter Fisika Dan Kimia. *Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 18(2)

- Oktaviani, Z.P dan Haris, A. 2016. Sintesis ZnO-SiO<sub>2</sub> dan Aplikasinya Pada Fotokatalisis Degradasi Limbah Organik Fenol Dan Penurunan Kadar Cd(II) Secara Simultan. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* 19(2) : 45-49
- Ong, C.B., Ng, L.Y. dan Mohammad, A.W. 2018. A Review Of ZnO Nanoparticles As Solar Photocatalysts: Synthesis, Mechanisms And Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(August 2017) : 536–551.
- Puspita, C. 2016. *Sintesis dan Karakterisasi Lapis Tipis ZnO Dengan Rasio Variasi Konsentrasi Prekursor Dan Konsentrasi Basa*. Skripsi, Jurusan KiMIA FMIPA Universitas Jember.
- Rahman, A., Nurjayadi, M., Wartilah, R., Kusri, e., Adi P.E., dan Degermenci, V. 2018. Enhanced Activity Of TiO<sub>2</sub>/Natural Zeolite Composite For Degradation of Methyl Orange Under Visible Light Irradiation. *International Journal Of Technology*. 6 :1159-1167.
- Raziah, C., Putri, Z., Lubis, A.R., Sofyana, Zuhra, Suhendrayatna dan Mulyati, S. 2017. Penurunan Kadar Logam dalam Air Kadmium Menggunakan Adsorben Zeolit Alam. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6 (1), 1-6.
- Renu., Agarwal, M. dan Singh, K. 2017. Heavy Metal Removal From Wastewater Using Various Adsorbents: A review. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 7(4), 387–419.
- Rosika, K. Dian, A. dan Djoko, K. 2007. Pengujian Kemampuan XRF Untuk Analisis Komposisi Unsur Paduan Zr-Sn-Cr-Fe-Ni. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Nuklir*. Bandung: PTBNR - BATA, pp 161-166.
- Roy, N dan Chakraborty, S. 2020. ZnO as Photocatalyst: An Approach to Waste Water Treatment. *Materials Today: Proceedings*, 46(40), 6399–6403.
- Said, Nusi Idaman. 2010. Metoda Penghilangan Logam Berat (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pb, Ni dan Zn di dalam air limbah industri. *JAI*, 6 (2).
- Salam, A., Agustina, T.E. dan Mohadi, R. 2018. Photocatalytic Degradation of Procion Red Synthetic Dye Using ZnO-Zeolite Composites. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 7(8), hal. 54–59.
- Saravanan, R., Gupta, V.K., Narayanan, V., dan Stephen, A. 2013. Comparative Study on

- Photocatalytic Activity of ZnO Prepared by Different Methods. *Journal of Molecular Liquids*. 181 : 133-141
- Satria, T. 2015. Pembuatan Karbon Aktif Dari Batubara Subbituminus Sebagai Bahan Penyerap Kadar Ion Besi (Fe) Dan Tembaga (Cu) Pada Limbah Cair Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya. Tugas Akhir, Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Sharfan, N., Shobri, A., Anindria, F., Mauricio, R., Tafsili, M.A.B. dan Slamet. 2018. Treatment of Batik Industry WASTE With A Combination of Electrocoagulation and Photocatalysis. *International Journal of Technology*. 5 : 936-943
- Sharma, M., Poddar, M., Gupta, Y., Nigam, S., Avasthi, D.K., Adelung, R., Abolhassani, R., Fiutowski, J., Joshi, M., Mishra, Y.K. 2020. Solar Light Assisted Degradation of Dyes and Adsorption of Heavy Metal Ions from Water by CuO-ZnO Tetrapodal Hybrid Nanocomposite". *Materials Today Chemistry*, 17, 100336.
- Sholeha, N. Amalia. 2017. Karakteristik Pori Pada Zeolit : Modifikasi Dan Aplikasi". A Review. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Shon, H.K., Vigneswaran, S., Kandasamy, J., Cho, J. 2007. Characteristics of Effluent Organic Matter In Wastewater," UNESCO - Encyclopedia Of Life Support System, *Water And Wastewater Treatment Technologies*, Hal. 1–17.
- Shruthi, L., Jagadish, K., Shyni, Srikantaswamy, D.S. 2016. Photocatalytic Degradation And Re-Moval Of Heavy Metals In Pharmaceutical Waste By Selenium Doped ZnO Nano Composite Semi-Conductor. *Journal for Research*. 2(5):008
- Sucahya, T.N., Permatasari, N. dan Nandiyanto, A.B.D. 2016. REVIEW: Fotokatalisis untuk Pengolahan Limbah Cair,. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(1), hal. 1–15.
- Sulaiman, M., Aziza, Y., Rahmat. 2018. Pengembangan Nanokomposit Termoplastik Yang Diperkuat Serat Kenaf Pada Bumper Mobil. *Proton*, 10(2), 1-6
- Suyasa, Wayan Budiarsa. 2013. Pencemaran Air Dan Pengolahan Air Limbah. 1 Ed. Diedit Oleh J. Atmaja. Udayana University Press, Denpasar.
- Suyono, Y. 2012. Studi Awal Pembuatan Nanokomposit Dengan Filler Organoclay Untuk Kemasan. *Biopropal Industri*. 3(2) : 63-69.
- Tuas, A. dan Masduqi, A. 2019. *Removal Of Copper And Iron Content In Jewelry Industry Wastewater Using Activated Carbon With Precipitation And Adsorption Methods*.



- Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Trenggono, A., Herbirowo, S., Milandia, A., Sudrajat, A. 2014. Sintesis Dan Karakterisasi Epoksi Nanokomposit Berpenguat Fe-Ni Nanopartikel Dengan Variasi Fraksi Berat Serta Waktu Sonikasi. *Teknika - Jurnal Sains Dan Teknologi*, 10(2).
- Wijayanti, Maria S. 2022. *Pengolahan Air Limbah Laboratorium Menggunakan AOPs Secara Terintegrasi*. Tesis. Palembang: Universitas Sriwijaya
- Winarmadani, S. 2019. Analisis Kandungan Logam Berat Pb, Cd, Cu Dan Fe Pada Tanah Di Rawa Pening Kabupaten Semarang Jawa Tengah. Dspace UII, Yogyakarta.
- Wismayanti, D., Diantariani, N. Dan Santi, S. 2015. Pembuatan Komposit ZnO-Arang Aktif Sebagai Fotokatalis Untuk Mendegradasi Zat Warna Metilen Biru. *Jurnal Kimia*, 9(1), Hal. 109–116.
- Witjaksono, A. 2011. *Karakterisasi Nanokristalin ZnO Hasil Presipitasi Dengan Perlakuan Pengeringan, Anil Dan Pasca-Hidrotermal*. Tesis, Universitas Indonesia.
- ulandari, I.O., Wardhani, S. Dan Purwonugroho, D. 2014. Sintesis Dan Karakterisasi Fotokatalis ZnO Pada Zeolit. *Jurnal Ilmu Kimia Universitas Brawijaya*, 1(2), Hal. 241–247
- Yustinah, Hudzaifah, Aprilia, M., dan Syamsuddin. 2019. Kesetimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) Dengan Adsorben Tanah Diatomit Secara Batch. *Jurnal Konversi*, 9(1), 17–28.
- Zawadzki, P., Kudlek E dan Dudziak M. 2018. Kinetics of The Photocatalytic Decomposition of Bisphenol A on Modified Photocatalysts. *Journal of Ecological Engineering*, 19(4), 260-268.
- Zhafirah, A. 2019. *Studi Struktur Kristal, Morfologi, dan Sifat Optik Film Tipis ZnO Doping Mg Yang Dideposisikan Dengan Metode Sol-Gel Spin Coating*. Skripsi, Universitas Negeri Semarang.
- Zega, R.F. 2017. *Kekuatan Tarik Nanokomposit Dari Campuran Bentonit Dan Polyvinyl Alcohol (PVA)*. Skripsi, Universitas Negeri Medan.