

**TESIS**  
**PREPARASI DAN KARAKTERISASI**  
**NANOKOMPOSIT ZNO-ZEOLIT UNTUK DEGRADASI**  
**FOTOKATALITIK ZAT WARNA TEKSTIL PROCION**  
**RED**



**RIANYZA GAYATRI**  
**03012681923004**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA**  
**JURUSAN TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**  
**2020**

**TESIS**  
**PREPARASI DAN KARAKTERISASI**  
**NANOKOMPOSIT ZNO-ZEOLIT UNTUK DEGRADASI**  
**FOTOKATALITIK ZAT WARNA TEKSTIL PROCION**  
**RED**

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



**RIANYZA GAYATRI**  
**03012681923004**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA**  
**JURUSAN TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**  
**2020**

HALAMAN PENGESAHAN

PREPARASI DAN KARAKTERISASI NANOKOMPOSIT  
ZNO-ZEOLIT UNTUK DEGRADASI FOTOKATALITIK  
ZAT WARNA TEKSTIL PROCION RED

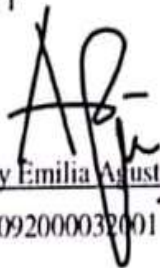
TESIS

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

Palembang, Desember 2020

Menyetujui,

Pembimbing I



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

NIP. 197208092000032001

Pembimbing II



Dr. David Bahrin, S.T., M.T.

NIP. 198010312005011003

Mengetahui,



Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya,

Prof. Dr. Subriyer Nasir, M.S. Ph.D

NIP. 196009091987031004

Koordinator Program Studi  
Magister Teknik Kimia,



Dr. David Bahrin, S.T., M.T.

NIP. 198010312005011003


## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tesis ini dengan judul "Preparasi dan Karakterisasi Nanokomposit ZnO-Zeolit untuk Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Tekstil *Procion Red*" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada 22 Desember 2020.

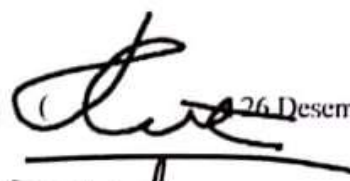
Palembang, Desember 2020


Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Tesis


Ketua:

1. Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA (  , 28 Desember 2020)  
NIP. 195610241981032001

Anggota:

1. Dr. Ir. H.M. Hatta Dahlan, M.Eng (  , 26 Desember 2020)  
NIP. 195910191987111001


2. Dr. Ir. H. Muhammad Faizal, DEA (  , 28 Desember 2020)  
NIP. 195805141984031001

3. Dr. rer.nat. Risfidian Mohadi, M.Si (  , 26 Desember 2020)  
NIP. 197711272005011003

Mengetahui,

  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya,  
  
Ir. Subriyer Nasir, M.S. Ph.D  
NIP. 196009091987031004

Koordinator Program Studi  
Magister Teknik Kimia,

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

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rianya Gayatri

NIM : 03012681923004

Judul : Preparasi dan Karakterisasi Nanokomposit ZnO-Zeolit untuk Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Tekstil *Procion Red*

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, Desember 2020



Rianya Gayatri

NIM. 03012681923004

## RINGKASAN

### PREPARASI DAN KARAKTERISASI NANOKOMPOSIT ZNO-ZEOLIT UNTUK DEGRADASI FOTOKATALITIK ZAT WARNA TEKSTIL PROCION RED

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, Desember 2020

Rianya Gayatri, Dibimbing oleh Prof. Hj. Tuty Emilia Agustina, S.T., M.T., Ph.D. dan Dr. David Bahrin, S.T., M.T.

Preparation and Characterization of ZnO-Zeolite Nanocomposite For Photocatalytic Degradation Of Procion Red Textile Dye

xviii + 144 halaman, 11 Tabel, 30 Gambar, 5 Lampiran

#### RINGKASAN

Pertumbuhan industri tekstil yang semakin meningkat tidak hanya memberikan keuntungan di bidang ekonomi tetapi juga berpotensi merusak lingkungan karena mengandung limbah cair zat warna yang sulit terurai. *Procion red* merupakan salah satu pewarna tekstil sintetik yang bersifat toksik bagi lingkungan perairan dan perlu diproses dengan baik. Metode fotokatalitik dalam mengolah limbah cair pewarna paling efektif karena dapat menguraikan komponen zat warna agar aman bagi lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menyiapkan dan mengkarakterisasi Nanokomposit ZnO-Zeolit untuk aplikasi fotokatalitik yang diuji dengan sampel *procion red* 50 mg/L. Nanokomposit terdiri dari semikonduktor ZnO dan adsorben zeolit sintetik yang dibuat dengan metode sol-gel. Uji degradasi zat warna dilakukan pada kondisi iradiasi dengan lampu ultraviolet (UV), matahari, dan kondisi gelap. Selain nanokomposit ZnO-Zeolit, pengujian juga dilakukan dengan zeolit sintetik dan ZnO. Hasil karakterisasi SEM-EDX dan XRD membuktikan bahwa komponen pembentuk nanokomposit adalah ZnO dan zeolit dan dapat dilihat dari puncak yang dihasilkan. Hasil BET menunjukkan nilai luas permukaan nanokomposit ZnO-Zeolit meningkat menjadi 95,9813 m<sup>2</sup>/g, ukuran pori nanokomposit ZnO-Zeolit 4,42240 nm, dan volume pori total 0,07863 cm<sup>3</sup>/g. Ukuran kristal rata-rata nanokomposit ZnO-Zeolit yang diperoleh sebesar 32,87 nm. Persentase degradasi zat warna tertinggi sebesar 98,24%, diperoleh dengan nanokomposit ZnO-Zeolit di bawah sinar matahari selama 120 menit. Proses degradasi zat warna *procion red* menggunakan nanokomposit ZnO-Zeolit mengikuti pola isotherm adsorpsi Langmuir dengan persamaan linier  $y = 8,0978x + 0,7049$ ,  $R^2 = 0,995$ , konstanta b sebesar 11,488 L/mg dan a sebesar 0,1235 mg/g.

**Kata Kunci:** nanokomposit; ZnO; zeolit sintesis; sol-gel; fotodegradasi; *procion red*

Kepustakaan: 100 (1966-2020)

## SUMMARY

### PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF ZNO-ZEOLITE NANOCOMPOSITE FOR PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF PROCION RED TEXTILE DYE

Scientific Paper in the form of Tesis, December 2020

Rianzya Gayatri, Supervised by Prof. Hj. Tuty Emilia Agustina, S.T., M.T., Ph.D. and Dr. David Bahrin, S.T., M.T.

Preparasi dan Karakterisasi Nanokomposit ZnO-Zeolit untuk Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Tekstil *Procion Red*

xviii + 144 pages, 11 Tables, 30 Pictures, 5 Attachments

## SUMMARY

The increasing growth of the textile industry not only provides benefits in the economic sector but also has the potential to damage the environment because it contains dye wastewater which is difficult to decompose. Procion red is one of the synthetic textile dyes that are toxic to the aquatic environment and it needs to be processed properly. The photocatalytic method of processing dyes wastewater is the most effective because it can decompose the dye component to be safe for the environment. This study aims to prepare and characterize ZnO-Zeolite Nanocomposites for photocatalytic applications tested with a 50 mg/L procion red dye sample. The nanocomposites consisted of ZnO semiconductors and synthetic zeolite adsorbents prepared by the sol-gel method. The dye degradation test was carried out in irradiation conditions with an ultraviolet (UV) lamp, sunlight, and dark condition. Apart from the ZnO-Zeolite nanocomposite, testing was also carried out with the synthetic zeolite and ZnO. The results of SEM-EDX and XRD characterization proved that the nanocomposite forming components were ZnO and zeolite and could be seen from the resulting peaks. BET showed that the surface area value of the ZnO-Zeolite nanocomposite increased to 95.9813 m<sup>2</sup>/g, the pore size of the ZnO-Zeolite nanocomposite was 4.42240 nm, and the total pore volume was 0.07863 cm<sup>3</sup>/g. The average crystal size of the ZnO-Zeolite nanocomposite obtained was 32.87 nm. The highest percentage of dye degradation was 98.24%, obtained by using ZnO-Zeolite nanocomposite under sunlight for 120 minutes. The degradation process of procion red dye using ZnO-Zeolite nanocomposite followed the Langmuir adsorption isotherm pattern with the linear equation  $y = 8,0978x + 0,7049$ ,  $R^2 = 0.995$ , and Langmuir constant  $b = 11,488$  L/mg and  $a = 0,1235$  mg/g.

**Keywords:** nanocomposite; ZnO; synthetic zeolite; sol-gel; photodegradation; procion red

Citations: 100 (1966-2020)



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa berkat Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga laporan tesis dengan judul “Preparasi dan Karakterisasi Nanokomposit ZnO-Zeolit untuk Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Tekstil *Procion Red*” dapat diselesaikan dengan baik. Isi tesis ini semoga dapat bermanfaat dan berguna bagi pembaca dan dengan harapan semoga Nanokomposit ZnO-Zeolit yang dihasilkan dapat menjadi salah satu alternatif atau acuan yang baik dalam menjaga lingkungan khususnya lingkungan yang tercemar akibat limbah cair zat warna.

Laporan tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) pada Program Studi Teknik Kimia BKU Teknologi Lingkungan Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Besar harapan isi tesis ini dapat bermanfaat secara nyata bagi kehidupan, dan diharapkan mahasiswa dapat melihat dan mempraktekkan secara langsung aplikasi dari ilmu-ilmu yang telah diterima di bangku kuliah.

Laporan tesis ini tidak dapat terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih diberikan penulis kepada

1. Orang tua dan keluarga tercinta yang telah memberikan doa, semangat, dan motivasi yang melimpah sehingga tesis dapat diselesaikan dengan baik.
2. Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S, Ph.D., selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Dr. David Bahrin, S.T., M.T., selaku ketua prodi Magister Teknik Kimia Universitas Sriwijaya dan selaku dosen pembimbing tesis ke-II yang selalu memberikan arahan dan bimbingan hingga tesis dapat dibuat dengan baik.
4. Prof. Hj. Tuty Emilia Agustina, S.T., M.T., Ph.D, selaku dosen pembimbing tesis ke-I yang selalu memberikan bimbingan dan arahan hingga pengerjaan tesis berjalan lancar.
5. Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA., Dr. Ir. H.M. Hatta Dahlan, M.Eng., Dr. Ir. H. Muhammad Faizal, DEA., Dr. rer.nat. Risfidian Mohadi, M.Si dan

Novia, S.T., M.T.,Ph.D. selaku penguji tesis karena telah turut serta dalam membantu, mengarahkan, dan memberi ilmu agar tesis menjadi lebih baik.

6. Kepala laboratorium dan analis Laboratorium Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH), serta kepala laboratorium dan analis Laboratorium Riset Terpadu Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya.
7. Laras selaku admin prodi Magister Teknik Kimia yang selalu membantu proses administrasi selama pengerjaan tesis.
8. Teman-teman seperjuangan Magister Teknik Kimia 2019 dan teman-teman terdekat serta semua pihak yang selalu memberikan dukungan dan semangat yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

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

Palembang, Desember 2020



Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iv
RINGKASAN .....	v
SUMMARY .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN .....	xvii
DAFTAR SIMBOL.....	xviii
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 Industri Tekstil.....	6
2.1.1. Karakteristik Air Limbah.....	7
2.1.1.1. Karakteristik Fisika.....	7
2.1.1.2. Karakteristik Kimia.....	8
2.1.1.1. Karakteristik Biologi.....	8

2.2.	Macam-macam Zat Warna .....	8
2.2.1.	Zat Warna Alami.....	9
2.2.2.	Zat Warna Sintetis.....	9
2.3.	Zat Warna <i>Procion Red</i> .....	11
2.4.	Fotokatalitik .....	12
2.4.1.	Bahan Semikonduktor Penyusun Fotokatalis.....	13
2.5.	ZnO ( <i>Zinc Oxide</i> ).....	14
2.5.1.	Sifat Kimia dan Fisika ZnO.....	14
2.5.2.	Fotokatalis ZnO.....	16
2.6.	Zeolit .....	17
2.6.1.	Zeolit Alam.....	17
2.6.2.	Zeolit Sintetis.....	17
2.6.3.	Aktivasi Zeolit.....	19
2.6.4.	Mekanisme Kerja Zeolit sebagai Adsorben.....	19
2.6.5.	Isoterm Adsorpsi.....	20
2.7.	Nanokomposit ZnO-Zeolit .....	23
2.7.1.	Nanokomposit sebagai Fotokatalis.....	25
2.8.	Macam-macam Metode Pembuatan Nanokomposit .....	25
2.8.1.	Proses Sol-Gel.....	26
2.8.2.	Proses Kopresipitasi.....	26
2.8.3.	Proses Hidrotermal.....	27
2.9.	Penggunaan Cahaya Matahari dan UV .....	28
2.9.1.	Spektrofotometer UV-Vis.....	29
2.10.	Karakterisasi SEM-EDX, BET, dan XRD.....	30
2.10.1.	SEM-EDX.....	30
2.10.2.	<i>Brunauer-Emmett-Teller</i> (BET).....	31
2.10.3.	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	32
2.11.	Penelitian Terdahulu .....	34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		39
3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian .....	39

3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian .....	39
3.2.1. Bahan Penelitian .....	39
3.2.2. Peralatan Penelitian .....	39
3.3. Rancangan Penelitian .....	40
3.3.1. Variabel dan Matriks Penelitian.....	40
3.3.1.1. Variabel Penelitian.....	40
3.3.2. Prosedur Penelitian .....	41
3.3.2.1. Preparasi Bahan.....	41
3.3.2.2. Preparasi Nanokomposit ZnO-Zeolit.....	41
3.3.2.3. Degradasi Fotokatalitik Pewarna Sintetik <i>Procion Red</i> .....	42
3.3.2.4. Uji Adsorpsi .....	43
3.3.2.5. Regenerasi Nanokomposit ZnO-Zeolit.....	43
3.3.2.6. Analisis Hasil Degradasi <i>Procion Red</i> .....	44
3.3.2.7. Penentuan Tipe Isoterm Adsorpsi Nanokomposit ZnO-Zeolit ...	44
3.3.3. Diagram Alir Penelitian .....	45
3.4. Metode Pengolahan dan Analisis Data .....	51
3.4.1. Metode Analisa dengan UV-Vis Spechtrofotometer .....	51
3.4.2. Metode Analisa SEM-EDX .....	51
3.4.3. Metode Analisa dengan <i>Brunauer-Emmett-Teller</i> (BET).....	51
3.4.4. Metode Analisa dengan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	52
4.1. Preparasi Nanokomposit ZnO-Zeolit.....	52
4.1.1. Aktivasi Zeolit Sintetis.....	52
4.1.2. Preparasi Nanokomposit ZnO-Zeolit dengan Sol-Gel.....	53
4.2. Hasil Karakterisasi Nanokomposit ZnO-Zeolit .....	55
4.2.1. Hasil Karakterisasi dengan SEM-EDX.....	55
4.2.2. Hasil Karakterisasi dengan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	63
4.2.3. Hasil Karakterisasi dengan Brunauer-Emmett-Teller (BET).....	68
4.3. Hasil Degradasi Zat Warna <i>Procion Red</i> .....	70
4.4. Pengaruh Waktu Degradasi dan Penggunaan Nanokomposit ZnO-Zeolit	

terhadap Persentase Degradasi Zat Warna <i>Procion Red</i> .....	72
4.5. Pengaruh Sumber Penyinaran terhadap Persentase Degradasi Zat Warna <i>Procion Red</i> .....	74
4.6..Regenerasi Nanokomposit ZnO-Zeolit dan Hasil Degradasi Zat Warna <i>Procion Red</i> .....	83
4.7. Tipe Isoterm Adsorpsi untuk Nanokomposit ZnO-Zeolit.....	86
BAB V KESIMPULAN DAN TINDAK LANJUT .....	92
5.1. Kesimpulan .....	92
5.2. Tindak Lanjut.....	92
DAFTAR PUSTAKA .....	93
LAMPIRAN .....	103

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil .....	6
Tabel 4.1. Hasil Analisa EDX Zeolit Sintetis Sebelum Proses Aktivasi .....	60
Tabel 4.2. Hasil Analisa EDX Zeolit Sintetis Setelah Proses Aktivasi .....	61
Tabel 4.3. Hasil Analisa EDX ZnO .....	61
Tabel 4.4. Hasil Analisa EDX Nanokomposit ZnO-Zeolit .....	62
Tabel 4.5. Data Ukuran Kristalit Rata-rata dengan Software X-Powder .....	68
Tabel 4.6. Hasil Karakterisasi dengan BET .....	69
Tabel 4.7. Hasil Analisa Kurva Kalibrasi Larutan Standar .....	71
Tabel 4.8. Data Pengukuran Intensitas Cahaya Matahari dengan Luxmeter .....	80
Tabel 4.9. Data Kurva Larutan Standar .....	87
Tabel 4.10. Perhitungan Nilai $q_e$ , $C_e/q_e$ , $\ln q_e$ , dan $\ln C_e$ untuk Isoterm Freundlich dan Langmuir .....	88
Tabel 4.11. Parameter Isoterm Adsorpsi .....	90

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Struktur <i>Procion red</i> MX-5B .....	11
Gambar 2.2. Proses Fotokatalitik ZnO.....	13
Gambar 2.3. Struktur <i>Wurtzite</i> ZnO.....	16
Gambar 2.4. Hubungan antara Ce/ (x/m) dan Konsentrasi Kesetimbangan .....	21
Gambar 2.5. Hubungan antara ln (x/m) dan ln Ce .....	22
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian .....	46
Gambar 3.2. Diagram Alir Proses Aktivasi Zeolit Sintetis.....	47
Gambar 3.3. Diagram Alir Proses Preparasi Nanokomposit ZnO-Zeolit .....	48
Gambar 3.4. Diagram Alir Proses Degradasi Fotokatalitik Pewarna Sintetik <i>Procion Red</i> .....	49
Gambar 3.5. Diagram Alir Regenerasi Nanokomposit ZnO-Zeolit.....	50
Gambar 4.1. SEM Zeolit Sintetis Sebelum Proses Aktivasi Perbesaran (a) 25 ribu kali; (b) 50 ribu kali.....	56
Gambar 4.2. SEM Zeolit Sintetis Setelah Proses Aktivasi Perbesaran (a) 25 ribu Kali ; (b) 50 ribu kali.....	57
Gambar 4.3. SEM ZnO .....	57
Gambar 4.4. SEM Nanokomposit ZnO-Zeolit Perbesaran (a) 25 ribu Kali (b)50 ribu kali.....	58
Gambar 4.5. Spektrum EDX Zeolit Sintetis Sebelum Proses Aktivasi .....	59
Gambar 4.6. Spektrum EDX Zeolit Sintetis Setelah Proses Aktivasi.....	61
Gambar 4.7. Spektrum EDX ZnO.....	61
Gambar 4.8. Spektrum EDX Nanokomposit ZnO-Zeolit .....	62
Gambar 4.9. XRD Zeolit Sintetis Sebelum Proses Aktivasi.....	63



Gambar 4.10. XRD Zeolit Sintetis Setelah Proses Aktivasi .....	64
Gambar 4.11. XRD ZnO .....	65
Gambar 4.12. XRD Nanokomposit ZnO-Zeolit.....	66
Gambar 4.13. Kurva Kalibrasi Larutan Standar <i>Procion Red</i> .....	71
Gambar 4.14. Grafik Persentase Degradasi <i>Procion Red</i> 50 ppm dibawah Sinar Lampu Ultraviolet (UV).....	73
Gambar 4.15. Pengaruh Penyinaran terhadap Persentase Degradasi <i>Procion Red</i> 50 ppm dengan Nanokomposit ZnO-Zeolit.....	75
Gambar 4.16. Pengaruh Penyinaran terhadap Persentase Degradasi <i>Procion Red</i> 50 ppm dengan ZnO .....	75
Gambar 4.17. Pengaruh Penyinaran terhadap Persentase Degradasi <i>Procion Red</i> 50 ppm dengan Zeolit Sintetis.....	82
Gambar 4.18. Pengaruh Penyinaran terhadap Persentase Degradasi <i>Procion Red</i> 50 ppm dengan Nanokomposit Hasil Regenerasi.....	85
Gambar 4.19. Kurva Larutan Standar .....	87
Gambar 4.20. Grafik Isoterm Freundlich.....	88
Gambar 4.21. Grafik Isoterm Langmuir .....	89

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Ringkasan Hasil Penelitian Terdahulu.....	103
Lampiran B. Skema Peralatan untuk Proses Degradasi Zat Warna .....	108
Lampiran C. Data Hasil Penelitian.....	109
Lampiran D. Gambar Dokumentasi Penelitian .....	112
Lampiran E. Data Hasil Analisa.....	131

## DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

XRD	<i>X-Ray Diffraction</i> Difraksi Sinar-X
SEM	<i>Scanning Electron Microscopy</i> = Mikroskop Scan Elektron (MSE)
EDX	<i>Energy Dispersive X-Ray</i>
BET	<i>Brunauer Emmet Teller</i>
UV	Ultraviolet
FWHM	<i>Full Width Half Maximum</i>

## DAFTAR SIMBOL

$\frac{V}{V_m} = \theta$	<i>Derajat penutupan permukaan oleh adsorbat</i>
$V$	<i>Volume gas yang diadsorpsi</i>
$V_m$	<i>Volume gas maksimum yang mungkin teradsorpsi</i>
$P_o$	<i>Tekanan uap jenuh gas</i>
$A, b, c, K, n$	<i>Konstanta</i>
$x / m$	<i>Jumlah polutan yang terserap perberat media penyerap (mg/g)</i>
$C_o$	<i>Banyaknya polutan awal (mg/l)</i>
$C_e$	<i>Konsentrasi kesetimbangan polutan setelah teradsorpsi(mg/l)</i>
$a, b$	<i>Konstanta empiris isotherm Langmuir (l/mg)</i>
$k, n$	<i>Konstanta empiris Freundlich.</i>
$D$	<i>Ukuran kristal</i>
$K$	<i>Faktor bentuk kristal (0,9-1)</i>
$\lambda$	<i>Panjang gelombang sinar X (1,54056Å)</i>
$B$	<i>Nilai Full Width at Half Maximum (FWHM)</i>
$\theta$	<i>Sudut Difraksi</i>



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Industri tekstil memegang peranan yang cukup penting di dunia industri Indonesia dan mengalami peningkatan yang semakin pesat guna mencukupi kebutuhan sandang masyarakat. Kementerian Perindustrian menunjukkan angka ekspor sektor industri tekstil dan produk tekstil (TPT) sepanjang tahun 2019 mencapai US\$ 12,9 miliar dan kinerja pertumbuhan industri tekstil tercatat naik 19%. Namun, selain memberikan sumbangsih dalam bidang perekonomian, industri tekstil juga berpotensi untuk membahayakan lingkungan.

Dampak negatif yang ditimbulkan dari pembangunan industri tekstil tersebut terutama berasal dari limbah proses pencelupan yang mengandung zat warna konsentrasi tinggi. Limbah cair pewarna yang tidak diproses dengan baik akan mencemari dan berdampak negatif bagi lingkungan (Sharfan dkk., 2018). Limbah warna tersebut akan menyebabkan pencemaran yang bersifat toksik bagi lingkungan. Proses fotosintesis akan terganggu akibat banyaknya molekul zat warna dalam air dan estetika badan perairan akan terganggu akibat bau tidak sedap. Limbah yang mengandung zat warna tersebut biasanya terdiri atas senyawa-senyawa *non-biodegradable organic* yang dapat menyebabkan pencemaran pada lingkungan, khususnya pada lingkungan perairan, sehingga zat warna tersebut harus dioksidasi menjadi molekul yang lebih sederhana (Viswanathan, 2018).

Limbah tekstil biasanya tidak hanya terdiri dari satu jenis bahan pewarna saja. Menurut Selvam dkk, (2003), industri tekstil menggunakan 10.000 jenis zat warna dan dihasilkan bahan pewarna lebih dari  $7 \times 10^5$  ton setiap tahunnya. Sekitar 10 sampai 15% zat warna tekstil selama proses pewarnaan akan terbuang bersama limbah. Zat warna industri tekstil berdasarkan sumbernya dibedakan menjadi dua kategori yaitu zat warna alami dan sintesis.

*Procion red* adalah salah satu jenis zat warna sintetik yang paling sering digunakan di industri tekstil seperti pada *home industry* kain atau batik. Zat warna sintetik jenis *procion red* ini pada penggunaannya akan sulit dihilangkan karena atom karbon dari zat warna dengan atom-atom O, N, atau S dari gugus

hidroksi, amino atau *thiol* dari polimer, zat warna ini memiliki ikatan kovalen yang kuat (Hunger, 2003). Oleh karena itu, perlu adanya pengolahan yang efektif untuk mereduksi kandungan warna dan *organic material* yang ada di dalam limbah cair tekstil tersebut. Para peneliti telah banyak mengembangkan cara atau metode pengolahan limbah cair industri tekstil, diantaranya yaitu dengan proses adsorpsi, klorinasi, ozonisasi, dan biodegradasi (Amri dan Utomo, 2017).

Beberapa kelemahan dari metode tersebut yaitu selain kurang efektif, hasil degradasi kurang maksimal, biaya operasional tinggi, menghasilkan polutan sekunder, dan metode-metode tersebut masih relatif sulit diterapkan di Indonesia. Penggunaan fotokatalis dengan metode fotodegradasi merupakan cara alternatif yang paling efektif dalam pengolahan limbah cair. Fotokatalisis digunakan untuk mendegradasi komponen organik dengan bantuan sinar ultraviolet (Sharfan dkk., 2018). Fotokatalis mengubah energi cahaya seperti dari sinar ultraviolet menjadi energi kimia dan membentuk radikal hidroksil yang akan menguraikan senyawa organik (polutan) zat warna, sehingga air akan kembali jernih karena telah berhasil terpisah dari limbah cair (Slamet dkk., 2006).

Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) dan *Zinc Oxide* ( $\text{ZnO}$ ) adalah semikonduktor yang paling banyak diaplikasikan sebagai fotokatalis dalam proses degradasi fotokatalitik limbah cair zat warna. Namun,  $\text{ZnO}$  lebih mudah tersedia, lebih murah, dan  $\text{ZnO}$  dapat menyerap lebih besar spektrum matahari daripada  $\text{TiO}_2$ , sehingga  $\text{ZnO}$  memiliki aktivitas fotokatalitik yang lebih tinggi (Saravanan dkk., 2013).  $\text{ZnO}$  banyak digunakan menjadi fotokatalis karena  $\text{ZnO}$  memiliki kestabilan kimia yang baik, dan tergolong dalam bahan yang sifatnya tidak beracun (Kusdianto dkk., 2019). Kapasitas adsorpsi yang lemah merupakan masalah proses fotokatalitik. Untuk menutupi kekurangan tersebut, bahan fotokatalis dapat digabungkan dengan adsorben (Wismayanti dkk., 2015).

Adsorben yang baik memiliki kapasitas adsorpsi tinggi dan tentunya akan menghasilkan persentase penyerapan yang tinggi (Darmansyah dkk., 2016). Kapasitas adsorpsi ini dapat ditentukan dengan persamaan isotherm adsorpsi, umumnya dengan persamaan Freundlich atau Langmuir (Jasmal dkk., 2015).

Penggabungan bahan fotokatalis dan adsorben dilakukan dengan tujuan agar kontak fotokatalitik dengan bahan polutan zat warna menjadi lebih optimal. Adsorben yang dipakai juga tidak perlu diregenerasi karena fotokatalis akan langsung mendegradasi polutan yang telah terserap pada adsorben secara insitu sehingga adsorben tidak mudah jenuh. Zeolit merupakan material berpori yang telah luas digunakan sebagai katalis, adsorben, maupun *ion exchanger* (Rahman dkk., 2018). Zeolit memiliki permukaan cukup besar dan sifat adsorpsi cukup baik, sehingga digunakan sebagai adsorben dan membantu proses adsorpsi-katalitik. Zeolit diaktivasi untuk meningkatkan kemurniannya (Wulandari dkk., 2019).

Zeolit terbagi menjadi zeolit alam dan sintesis. Namun, zeolit alam masih mengandung banyak pengotor sehingga proses adsorpsi yang dilakukan seringkali kurang maksimal, sehingga pada penelitian ini akan digunakan zeolit sintetis yang memiliki sifat fisis jauh lebih baik daripada zeolit alam, selain itu zeolit sintetis memiliki ukuran pori seragam dan terdistribusi lebih merata sehingga hasil adsorpsinya juga akan lebih maksimal. Hal ini menjadi dasar pemilihan adsorben zeolit sintetis untuk digabung dengan fotokatalis ZnO.

Metode yang biasa digunakan dalam penelitian untuk mensintesis komposit seperti ZnO-Zeolit adalah impregnasi, proses hidrotermal, dan metode sol-gel. Metode yang paling sering sukses dalam proses persiapan material oksida logam dengan ukuran nano adalah metode sol-gel, sehingga metode ini cocok diterapkan dalam proses preparasi nanokomposit ZnO-Zeolit. Metode sol-gel digunakan untuk proses preparasi *thin film* dan material berbentuk bubuk, dimana alkoksida-alkoksida dihidrolisis oleh alkohol menjadi logam hidroksida (Rahman dkk., 2018).

Berdasarkan beberapa referensi penelitian yang telah dilakukan, maka proses preparasi nanokomposit ZnO-Zeolit untuk proses fotokatalitik dalam degradasi zat warna *procion red* dilakukan dengan menggunakan metode sol gel. Degradasi dengan menggunakan nanokomposit ZnO-Zeolit hasil regenerasi juga dilakukan untuk mengetahui aktivitas fotokatalitiknya. Penentuan isotherm adsorpsi yang cocok dan sesuai untuk proses degradasi zat warna *procion red* menggunakan nanokomposit ZnO-Zeolit juga akan dikaji, untuk mempelajari



mekanisme adsorpsi dan interaksi antara zat penyerap dan zat yang diserap, serta untuk mengetahui kapasitas adsorpsi maksimum (Murtihapsari dkk., 2012).

Kelebihan komposit ZnO-Zeolit yang dihasilkan adalah komposit ZnO-Zeolit akan berukuran nano sehingga aktivitas fotokatalitiknya akan lebih maksimal dan ditunjukkan dengan hasil degradasi zat warna yang tinggi. Biaya yang dibutuhkan juga lebih rendah karena penggunaan bahan baku fotokatalis ZnO dan adsorben zeolit yang lebih terjangkau dibanding bahan lain.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini:

- 1) Bagaimana proses preparasi dan karakteristik nanokomposit ZnO-Zeolit dengan hasil analisis menggunakan metode SEM-EDX, BET, dan XRD?
- 2) Bagaimana pengaruh waktu degradasi dan sumber penyinaran dalam aplikasi fototatalitik dengan nanokomposit ZnO-Zeolit terhadap degradasi zat warna *procion red*?
- 3) Bagaimana isotherm adsorpsi yang sesuai untuk menggambarkan proses degradasi zat warna *procion red* menggunakan nanokomposit ZnO-Zeolit yang dipreparasi menggunakan metode sol-gel?

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

- 1) Menganalisis dan mempelajari proses preparasi dan karakteristik nanokomposit ZnO-Zeolit dengan hasil analisis menggunakan metode SEM-EDX, BET, dan XRD.
- 2) Menganalisis dan mengkaji pengaruh waktu degradasi dan sumber penyinaran dalam aplikasi fototatalitik dengan nanokomposit ZnO-Zeolit terhadap degradasi zat warna *procion red*.
- 3) Menganalisis dan mengkaji isotherm adsorpsi yang sesuai untuk menggambarkan proses degradasi zat warna *procion red* menggunakan nanokomposit ZnO-Zeolit yang dipreparasi menggunakan metode sol-gel.

#### **1.4. Hipotesa**

Adapun hipotesa dari penelitian ini adalah:

- 1) Fotodegradasi dibawah sinar matahari dapat menghasilkan persentase degradasi warna yang lebih tinggi dibandingkan dengan degradasi sinar ultraviolet (Fraditasari dkk., 2015).
- 2) Isoterm adsorpsi untuk degradasi zat warna menggunakan komposit ZnO-Zeolit mengikuti tipe isoterm Langmuir (Amri dan Utomo, 2017).

#### **1.5. Ruang Lingkup**

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

- 1) Penelitian berskala laboratorium dan dilaksanakan di Laboratorium Riset Terpadu Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya, dan Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH) Universitas Sriwijaya.
- 2) Bahan baku utama penelitian diantaranya pre-kursor *Zinc Acetate*, *Zinc Oxide* (ZnO), zeolit sintetis, dan bubuk zat warna *procion red*.
- 3) Variabel yang ditetapkan yaitu rasio berat prekursor *Zinc Acetate*-Zeolit Sintetis (2:1) dan konsentrasi zat warna *procion red* 50 ppm.
- 4) Sumber penyinaran untuk proses fotokatalitik menggunakan lampu UV, sinar matahari, dan gelap.
- 5) Waktu degradasi zat warna selama 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 90, dan 120 menit.
- 6) Media degradasi dengan menggunakan nanokomposit ZnO-Zeolit, zeolit sintetis, dan ZnO, dan nanokomposit ZnO-Zeolit hasil regenerasi.

#### **1.6. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang diharapkan dapat diambil dari penelitian-ini:

- 1) Mendapatkan pengetahuan dan informasi mengenai proses preparasi dan karakteristik nanokomposit serta mengetahui pengaruh penggunaan nanokomposit ZnO-Zeolit untuk degradasi pewarna sintetik *procion red*.

- 2) Memberikan alternatif bagi industri khususnya industri tekstil untuk dapat menanggulangi limbah cair yang dihasilkan khususnya yang mengandung pewarna *procion red* dengan menggunakan nanokomposit ZnO-Zeolit, sehingga lingkungan dapat aman dan terjaga dari bahaya limbah cair zat warna.
- 3) Mendapatkan informasi dan acuan untuk menyempurnakan atau mengembangkan penelitian serupa mengenai nanokomposit seperti ZnO-Zeolit untuk degradasi zat warna dengan kondisi yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Khairurrijal, dan Mahfudz, H. 2009. Pendekatan Baru Penjernihan Air Limbah: Berbasis Nanomaterial dan Zero Energy. *Penelitian ITB*. Bandung.
- Adi, M., Firdausi, K., dan Setiabudi, W. 2007. Efek Magneto Optis pada Lapisan Tipis ZnO. *Jurnal Berkala Fisika*. 10(1) : 31-34.
- Adiwibowo, M.T., Ibadurrohman, M., dan Slamet. 2018. Synthesis Of Zno Nanoparticles And Their Nanofluid Stability In The Presence Of A Palm Oil-Based Primary Alkyl Sulphate Surfactant For Detergent Application. *International Journal of Technology*. 2: 307-316.
- Agustina, T.E., Komala, R., dan Faizal, M. 2015. Application of TiO<sub>2</sub> Nano Particles Photocatalyst to Degrade Synthetic Dye Wastewater Under Solar Irradiation. *Contemporary Engineering Sciences*, 8 (34): 1625 – 1636.
- Agustina T.E., Melwita E., Bahrin D., Gayatri R. and Purwaningtyas, I. F. 2020. Synthesis of Nano-Photocatalyst ZnO-Natural Zeolite to Degrade Procion Red. *International Journal of Technology*. 11(3), 472-481.
- Ahda, M. 2013. Sintesis Silika MCM-41 Dan Uji Kapasitas Adsorpsi Terhadap Metilen Biru. *Jurnal Ilmiah Kefarmasian*. 3(1) : 1 – 8.
- Alfarisa, S., D. A. Rifai., dan P.L. Toruan. 2018. Studi Difraksi Sinar-X Struktur Nano Seng Oksida (ZnO). *Risalah Fisika*. 2(2) : 53-57.
- Ali, R., dan Siew, O.B. 2006. Photodegradation New Methylene Blue in Aqueous Solution Using Zinc Oxide and Titanium Dioxide as Catalyst. *Jurnal Teknologi University of Technology Malaysia*.
- Amri, S., dan Utomo, M.P. 2017. Preparasi dan Karakterisasi Komposit ZnO-Zeolit untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red. *Jurnal Kimia Dasar*. 6(2) : 29-36.
- Aprilianingrum, F. 2016. *Optimasi dan Regenerasi Fotokatalis Ca<sub>1-x</sub>Co<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub> Pada Proses Degradasi Metilen Biru dengan Sinar UV*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Bogdanov, B., Georgiev, D., Angelova, K., dan Hristov, Y. 2009. Synthetic Zeolites and Their Industrial and Environmental Applications

- Review. International Science Conference Natural & Mathematical Science.*  
4(1): 32-45.
- Buzea, C., Blandino, I.I.P., dan Robbie, K. 2007. Nanomaterial and Nanoparticles: Sources and Toxicity. *Biointerphases*, 2: 170-172.
- Cefali, L. C., Ataide, J., Moriel, P., Foglio, M.A., dan Mazzola. 2016. Plant-Based Active Photoprotectants for Sunscreens. *Int J Cosmet Sci.* 38(4) : 346-353.
- Charanpahari, A., Umare, S., Gokhale, S.P., Sudarsan, V., Sreedhar, B., dan Sasikala, R 2012. Enhanced Photocatalytic Activity of Multi-Doped TiO<sub>2</sub> for the Degradation of Methyl Orange. *Applied Catalysis A: General.* 443-444 : 96-102.
- Charurvedi dan P. Dave. 2012, Microscopy in Nanotechnology. *Formatex.* 946-952.
- Chatterjee, D., dan Dasgupta, S., 2005. Visible Light Induced Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews.* 6(2-3) : 186-205.
- Chatti, R., Rayalu, S., Dubey, N., Labhsetwar, N., dan Devotta, S., 2007. Solar-based Photoreduction of Methyl Orange using Zeolite Supported Photocatalytic Materials. *Solar Energy Materials 7 Solar Cells.* 1(1) : 180-190.
- Chetam, D. 1992. *Solid State Compound.* Oxford: Oxford University Press.
- Chitraningrum, N. 2008. *Sifat Mekanik dan Termal pada Bahan Nanokomposit Epoxy-clay Tapanuli.* Universitas Indonesia: Depok.
- Christina, Maria., dkk. 2007. Studi Pendahuluan Mengenai Degradasi Zat Warna Azo (Metil Orange) Dalam Pelarut Air Menggunakan Mesin Berkas Elektron 350 Kev/10 Ma. *Batan.* Yogyakarta.
- Darmansyah, Simparmin, Ardiana, L., dan Saputra, H. 2016. Mesopori MCM-41 sebagai Adsorben: Kajian Kinetika dan Isotherm Adsorpsi Limbah Cair Tapioka. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan.* 11(1) : 10-16.
- Dini, E. W., dan Wardhani, S. 2014. Degradasi Metilen Biru Menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit. *Jurnal Chem. Prog.* 7(1) : 29-33.

- Duan, X., Wang, G., Wang, H., Wang, Y., Shen, C., dan Cai, W. 2010. Orientable Pore-sizedistribution of ZnO Nanostructures and Their Superior Photocatalytic Activity. *CrystEngComm*. 12(10) : 2821–2825
- Dutta, J. dan Hofmann, H. 2004. *Encyclopaedia of Nanoscience and Nanotechnology*. 9 : 617.
- Dwiasi, D.W., dan T.Setyaningtyas. 2014. Fotodegradasi Zat Warna Tartrazin Limbah Cair Industri Mie Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Sinar Matahari. *J. Molekul*. 9 (1) : 56-62.
- Eya., D.O., Ekpunobi, A.J., dan Okeke, C.E. 2005. Structural and Optical Properties and Applications of Zinc-Oxide Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition Technique. *Pacific Journal of Science and Technology*. 11(1) : 64-68.
- Fanani, Z., Rachmat, A., dan Wahyudi, I. 2013. *Regenerasi Katalis Ni-Zeolit Alam Aktif Untuk Hidrocracking Minyak Jarak Pagar*. Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung. 469-476.
- Fraditasari, R., Wardhani, S., dan Khunur, M.M.. 2015. Degradasi Methyl Orange menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N: Kajian Pengaruh Sinar dan Konsentrasi TiO<sub>2</sub>-N. *Kimia Student Journal*. 1 (1). 606-612.
- Franklin, N.M., Rogers, N.J., Apte, S.C., Batley, G.E., Gadd, G.E., dan Casey, P.S. 2007. Comparative Toxicity of Nanoparticulate ZnO, Bulk ZnO, and ZnCl<sub>2</sub> to a Freshwater Microalga (*Pseudokirchneriella subcapitata*): The Importance of Particle Solubility. *Environmental Science & Technology*. 41 (24) : 8484–8490.
- Fridawati, M. 2008. *Analisa Struktur Kristal dari Lapisan Tipis Dengan Metode Difraksi Sinar-X*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Habibi, I. 2012. *Tinjauan Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Pt. Sukun Tekstil Kudus*. Universitas Negeri Yogyakarta: Yogyakarta.

- Hadiyarwarman, A. Rijal, B.W. Nuryadin, M. Abdullah, dan Khairurrijal, 2008. Fabrikasi Material Nanokomposit Superkuat, Ringan dan Transparan Menggunakan Metode Simple Mixing. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*. 1 (1) : 14-21.
- Handayani, A., Wuryanto, dan Prambudi, B. 1996. *Aplikasi SEM-EDX Untuk Karakterisasi Bahan Superkonduktor (Bi, Pb)-Sr-Ca-Cu-O*. BATAN: Jakarta.
- Hariani, P, L., Faizal,M., Ridwan., Marsi., dan Setiabudidaya, D. 2013. Synthesis and Properties of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles by Co-precipitation Method to Removal Procion Dye. *International Journal of Environmental Science and Development*. 4 (3) : 336-340.
- Haskell, R. 2005. *Nanotechnology for Drug Delivery*. New York: Research Fellow Exploratory Formulation Pfizer, Inc.
- Hay, R.L. 1966. *Zeolites and Zeolitic Reactions In Sedimentary Rocks*. University of California: Berkeley, California.
- Hilal, H.S., I.Z. Majjad, dan A. ElHamouz. 2007. Dye effect in TiO<sub>2</sub> catalyzed contaminant photo degradation: Sensitization vs Charge-transfer Formalism. *Journal Solid Science*. 9 (1) : 9-15.
- Hofmann, M.R., Seot, C.W., dan Bahnemann, D.W. 1995. Environmental Application of Semiconductor Photocatalysis. *Chem Reviews*. 95(1) : 69-96.
- Humam. 1996. *Kemampuan Adsorpsi Zeolit Lampung yang Diaktifkan dengan Asam Sulfat dan Pemanasan Terhadap Ion Amonium*, Bandar Lampung: UNILA.
- Hunger, K. 2003. *Industrial Dyes: Chemistry, Properties, Applications*. Weinheim: Wiley-vch Verlag GmbH & Co. KGaA.
- H. Zhu, Guo, X., dan Q. Li. 2014. Visible-light-driven Photocatalytic Properties of ZnO/ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Core/shell Nanocable Arrays. *Applied Catalysis B, Environmental*. 05-047
- Indar, K dan Kartikasari, D. 2017. Bayah Natural Zeolite Adsorption Test and the Effect of Ultraviolet Light on Methylene Blue Waste Degradation. *Journal of Engineering*. 13(1) : 25-32.

- Isminingsih dan R. Djufri. 1982. *Pengantar Kimia Zat Warna*. Bandung: Sekolah Tinggi Teknologi Tekstil.
- Jabir, R.M.A., Jamarudding, A.S., dan Kulkarni, K.S. 2016. Decolourization of Procion Red MX5b Dye by Electrochemical Oxidation. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 5 (7) : 1635-1638.
- Jasmal, Sulfikar, dan Ramlawati. 2015. Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Ijuk Pohon Aren (*Arenga pinnata*) terhadap  $Pb^{2+}$ . *Jurnal Sainsmat*. 4(1) : 57-66.
- Jores, K., Mehnert, W., Drecusler, M., Bunyes, H., Johan, C., dan Mader K. 2004. Investigation On The Stricter Of Solid Lipid Nanoparticules and Oil-Loaded Solid Nanoparticles By Photon Correlation Spectroscopy, Field Flow Fractionasition And Transmission Electron Microscopy. *J Control Release*. 17 : 217-27.
- Junaedi, M., Bakri, R., dan Santoso, A. 2017. Sintesis dan Karakterisasi  $TiO_2$  *Nanosheet* dari Limbah Tetra Butoksi Titanat (TBT) untuk Degradasi Senyawa 1,4-Dioksan. *Jurnal ITEKIMA*. 1 (1) : 25-35.
- Kaloka, S., Budivvati, T., Suparno, Mardi, dan Maryadi. 1993. *Radiasi Ultraviolet, Ozon, dan Aerosol di atas Bandung*. Bandung: Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim.
- Kansal SK, Singh M, dan Sudc D. 2006. Studies On Photodegradation Of Two Commercial Dyes In Aqueous Phase Using Different Photocatalysts. *J. Hazardous Materials*. In Press.
- Kang S., Tan W, Li X., dan Jin M. 2010. A Facile Gelatin-Assisted Preparation And Photocatalytic Activity Of Zinc Oxide Nanosheets. *Colloids and Surface A: Physicochem. Eng. Aspects*. 309 : 208-271.
- Kavitha, S. K., dan Palanisamy, P. N. 2010. Solar Photocatalitic Degradation of Vat Yellow 4 Dye in Aqueous Suspension of  $TiO_2$  - Optimization of Operational Parameters. *Advances in Environmental Sciences-International Journal of The Bioflux Society*. 2 (2) : 189-202.
- Khoirunnisa F. 2005. *Kajian Adsorpsi Dan Desorpsi  $(Ag(S_2O_3)_2)^{3-}$  Dalam Limbah Fotografi pada dan dari Adsorben Kitin Dan Asam Humat Terimobilisasi Pada Kitin*. Tesis. Yogyakarta : Program Pasca Sarjana Universitas Gajah Mada



- Kusdianto, K., Widiyastuti, W., Shimada, M., Nurtono, T., Machmudah, S., dan Winardi, S. 2019. Photocatalytic Activity Of ZnO-Ag Nanocomposites Prepared By A One-Step Process Using Flame Pyrolysis. *International Journal of Technology*. ISSN 2086-9614. 10(3): 571-581.
- Laksono, S. 2012. *Pengolahan Biologis Limbah Batik dengan Media Biofilter*. Depok: Universitas Indonesia.
- Lefond, S. J. 1983. Industrial Minerals And Rocks (Nonmetallic Other Than Fuels), fifth 5th edition. *AIME*. 2. 1391-1431.
- Lestari, D. 2010. *Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara. Prosiding seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*. Depok: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Lin, H., Lu, G., Gu, Y. Wang, J. 2004. Chemical Kinetics of Hydroxylation of Phenol Catalyzed by TS-1/Diatomite in Fixed-Bed Reactor. *Chemical Engineering Journal*. 116(1) : 179-186.
- Luftinor. 2011. Perbandingan Penggunaan Beberapa Jenis Zat Warna dalam Proses Pewarnaan Serat Nanas. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*. 22(1) : 28-35.
- Lynam, M.M., Kliduff, J. E., dan Weber, W.J. 1995. Adsorption of Nitrophenol from Dillute Agues Solution. *J. Chem Educ.* 72: 82-84.
- Metcalf dan Eddy, 1991. *Wastewater Engineering*, International Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Mills, A., dan Hunte, L.S. 1997. An Overview of Semiconductor Photocatalysis. *J. of Photochem and Photobio A*. 108 : 1-35.
- Mohan A.C. dan Renjanadevi B. 2016. Preparation of Zinc Oxide Nanoparticles and its Characterization Using Scanning Electron Microscopy (SEM) and X-Ray Diffraction (XRD). *Procedia Technology*. 24 : 761-766.
- Mursal, I.L.P. 2017. *Karakterisasi XRD Dan SEM pada Material Nanopartikel Serta Peran Material Nanopartikel dalam Drug Delivery System*. 214-221.
- Murthihapsari, Mangallo, B., dan Handyani, D. D. 2012. Model Isoterm Freundlich dan Langmuir Oleh Adsorben Arang Aktif Bambu Andong (*G. Verticillata*

- (Wild) Munro) dan Bambu Ater (G. Atter (Hassk) Kurz Ex Munro). *Jurnal Sains Natural Universitas Nusa Bangsa*. 2 (1) : 17-23.
- 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.
- Nugroho, P. 2004. *Devais Mikroelektronika ZnO*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Nyankson, Efavi J.K., Yaya A., Manu G., Asare K., Dafuor J., dan Abrokwah R.Y. 2018. Synthesis and Characterisation of Zeolite-A and Zn-exchanged Zeolite A based on Natural Aluminosilicates and Their Potential Applications. *Cigent Engineering*. 5, 1-23.
- Pandapotan, C.W. 2012. *Pengaruh Penggunaan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan HCl pada Aktivasi Kimia -Fisik Zeolit Clinoptilolite Terhadap Prestasi Mesin Diesel 4-Langkah*. Skripsi. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Paveena, L., Vittaya, A., Supapan, S. dan Santi, M. 2010. Characterization and Magnetic Propertis of Nanocrystalline CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Powders Prepared by Aloe Vera Extract Solution. *Current Applied Physics* 11 : 101-108.
- Poluakan, M., Wuntu, A., dan Sangi, M.S. 2015. Aktivitas Fotokatalitik TiO<sub>2</sub> – Karbon Aktif dan TiO<sub>2</sub>-Zeolit pada Fotodegradasi Zat Warna Remazol Yellow. *Jurnal Mipa Unsrat Online*. 4 (2) 137-140.
- Pranoto, Masykur, A., dan Mawahib, SAS. 2003. Penurunan Kadar Timbal Dan Zat Warna Tekstil Dalam Larutan Dengan Menggunakan Karbon Aktif Bagasse. *Kimia FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta. Jurusan Enviro*. 2 (1) : 9–16.
- Rahman, A., Nurjayadi, M., Wartilah, R., Kusrini, E., Adi Prasetyanto, 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.

- Rambe, A. 2009. *Pemanfaatan Biji Kelor sebagai Koagulan Alternatif dalam Proses Penjernihan Limbah Cair Industri Tekstil*. Bogor: Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Riyani, K., Setyaningtyas, T., Dwiasi, D.W. 2015. Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Cu. *Jurnal Molekul*. 10 (2) : 104-111.
- Ruliza, M., Agustina, T. E. dan Mohadi, R. 2017. Impregnation of Activated Carbon-TiO<sub>2</sub> Composite and its Application in Photodegradation of Procion Red Synthetic in Aqueous Medium. *Earth and Environmental Science*. 10 (88) : 1-7.
- Rustan, M., Subaer., dan Irhamsyah. 2015. Studi tentang Pengaruh Nanopartikel ZnO (Seng Oksida) terhadap Kuat Tekan Geopolimer Berbahan Dasar Metakaolin. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*. 11(8) : 286-291.
- Salam, A., Agustina, T.E., dan Mohadi, R. 2018. Photocatalytic Degradation Of Procion Red Synthetic Dye Using ZnO-Zeolite Composites. *International Journal Of Scientific & Technology Research*. 7 (8) :54-59.
- Salama, A. A. Mohamed., N.M. Aboamara., T.A. Osman, dan A. Khattab. 2018. *Photocatalytic Degradation Of Organic Dyes Using Composite Nanofibers Under UV Irradiation*. *Applied Nanoscience*. 8:155–161.
- Saputra, R. 2006. *Pemanfaatan Zeolit Sintetis Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Industri*. 1(1) : 1-8.
- 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.
- Selvam, K., Swaminathan, K., dan Chae, K.S. 2003. Decolorization of azo Dyes and a Dye Industry Effluent by a White Rot Fungus *Thelepora* sp. *Biosains Technolgy*. 1(88) : 115-119.
- Sharfan, N., Shobri, A., Anindria, F.A., 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.

- Slamet, Bismo, S., Arbianti, R., dan Sari, Z. 2006. Penyisihan Fenol dengan Kombinasi Proses Adsorpsi dan Fotokatalisis Menggunakan Karbon Aktif dan TiO<sub>2</sub>. *Jurnal Teknologi*. 4 (20) : 303-311.
- Sugiyono, D., Dan S. Notodarmojo. 2015. Studi Mekanisme Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Azo Acid Red 4 Menggunakan Katalis Mikropartikel TiO<sub>2</sub>. *Arena Tekstil*. 30(2) : 83-94
- Sumadiyasa, M dan Manuaba, I.B.S. 2018. Penentuan Ukuran Kristal Menggunakan Formula Scherrer, Williamson-Hull Plot, dan Ukuran Partikel dengan SEM. *Buletin Fisika*. 19 (1) : 28 – 35.
- Suyarsono dan Husaini. 1992. *Tinjauan terhadap Kegiatan Penelitian Karakterisasi dan Pemanfaatan Zeolit Indonesia yang dilakukan PPTM Bandung*. Bandung: Buletin PPTM.
- Suyono, Y. 2012. Studi Awal Pembuatan Nanokomposit Dengan Filler Organoclay Untuk Kemasan. *Biopropal Industri*. 3(2) : 63-69.
- Swastika, N. 2010. *Durability of Geopolymer Concrete upon Seawater Exposure*. Skripsi. Universitas Indonesia: Depok
- Taghdiri, M. 2017. Selective Adsorption and Photocatalytic Degradation of Dyes Using Polyoxometalate Hybrid Supported on Magnetic Activated Carbon Nanoparticles under Sunlight, Visible, and UV Irradiation. *International Journal of Photoenergy*. 1-15.
- Tan, B., dan Wu, Y. 2006. Dye-Sensitized Solar Cells Based On Anatase TiO<sub>2</sub> Nanoparticle/Nanowire Composites. *The Journal Of Physical Chemistry B*. 110 (32): 15932-15938.
- Trisunaryanti, W., Triyono., dan Taufiyanti, F. 2002. Deaktivasi dan Regenerasi Katalis Cr/Zeolit Alam Aktif untuk Proses Konversi *Metil Isobutil Keton, Gama Sains IV*.
- Viswanathan, B. 2018. Photocatalytic Degradation of Dyes: An Overview. *Current Catalysis*. 7(1), pp. 1-25

- Wismayanti, D., Diantariani, N.P., dan Santi, S.R. 2015. Pembuatan Komposit ZnO-Arang Aktif sebagai Fotokatalis untuk Mendegradasi Zat Warna Metilen Biru. *Jurnal Kimia*. 9(1) : 109-116.
- Wulandari, D., Nasruddin, E, dan Djubaedah. 2019. Selectivity of Water Adsorbent Characteristic on Natural Zeolite in Cooling Application. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*. 55 (1) : 111-118.
- Wulandari, I., S. Wardhani, dan D. Purwonugroho. 2014. Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis ZnO pada Zeolit. *Chemistry Student Journal*. 1(2) : 241-247.
- Yao, S., C. Yang., Y. Tan. dan Y. Han. 2008. Deactivation and Regeneration of An Activated Carbon-Supported Nickel Catalyst for Methanol Carbonylation in The Vapor Phase. *Catalysis Communications*: 2107- 2115.
- Yuliah dan Suryaningsih, 2016. Penentuan Ukuran Nanopartikel ZnO Secara Spektroskopik. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF*. 5 : 123-128.
- Zainul, R. B. O., Dewata, I. dan J Efendi. 2018. Thermal and Surface Evaluation on The Process of Forming a Cu<sub>2</sub>O/CuO Semiconductor Photocatalyst on a Thin Copper Plate. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 335 : 012039.
- 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.
- Zhao Z., Cui, X., Ma, J. dan Li, R. 2007. Adsorption of Carbon Dioxide on Alkali Modified Zeolite 13X Adsorbents. *Int. J. Greenh. Gas Control*. 1 : 355–3

