

**SINTESIS ZnO DENGAN METODE SOL-GEL  
MENGUNAKAN STABILIZER XANTHAN GUM SEBAGAI  
FOTOKATALIS UNTUK PROSES FOTODEGRADASI  
METHYL ORANGE**

**Skripsi**  
**Untuk memenuhi sebagian persyaratan**  
**mencapai derajat Sarjana Kimia**



**Oleh:**  
**Nada Hamida**  
**20106030038**

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

**JURUSAN KIMIA**  
**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**  
**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA**  
**YOGYAKARTA**  
**2024**

## PENGESAHAN TUGAS AKHIR



KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

### PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1145/Un.02/DST/PP.00.9/07/2024

Tugas Akhir dengan judul : SINTESIS ZnO DENGAN METODE SOL-GEL MENGGUNAKAN STABILIZER XANTHAN GUM SEBAGAI FOTOKATALIS UNTUK PROSES FOTODEGRADASI METHYL ORANGE

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : NADA HAMIDA  
Nomor Induk Mahasiswa : 20106030038  
Telah diujikan pada : Selasa, 09 Juli 2024  
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

### TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Dr. Imelda Fajriati, M.Si.  
SIGNED

Valid ID: 6698a1c18881



Penguji I

Karmanto, S.Si., M.Sc.  
SIGNED

Valid ID: 6695f1b1812f1



Penguji II

Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc.  
SIGNED

Valid ID: 668cafb1b13ab



Yogyakarta, 09 Juli 2024  
UIN Sunan Kalijaga  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.  
SIGNED

Valid ID: 6698c27f1392f

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

### SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Nada Hamida  
NIM : 20106030038  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “*Fotodegradasi Zat Warna Methyl Orange Menggunakan Fotokatalis ZnO-Xanthan Gum*” merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 12 Juni 2024

  
METERA TEMPEL  
7002 x667866947  
Nada Hamida  
NIM. 20106030038

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

### **SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR**

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lamp :

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta  
di Yogyakarta*Assalamu'alaikum wr. wb.*

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Nada Hamida  
NIM : 20106030038  
Judul Skripsi : Fotodegradasi Zat Warna Methyl Orange Menggunakan Fotokatalis ZnO-Xanthan Gum

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

*Wassalamu'alaikum wr. wb.*Yogyakarta, 12 Juni 2024  
Pembimbing

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

Dr. Imelda Fajriati, M.Si.  
NIP: 19750725 200003 2 001

## MOTTO

“And it may be that you dislike a thing which is good for you and that you like a thing which is bad for you. Allah knows but you don’t know.” (QS. 2:216)

“Don’t blame yourself too much for a mistake and never overly praise yourself for an achievement you have reached.”

**-James Clear in Atomic Habit-**



STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Bismillahirrahmanirrahim*

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

*Bapak yang sudah lebih dulu berada di sisi-Nya, Mama,  
beserta seluruh keluarga yang telah mendukung.  
Serta almamater program studi Kimia UIN Sunan Kalijaga.*



STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbilalamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah senantiasa melimpahkan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Sintesis ZnO dengan Metode Sol-Gel Menggunakan Stabilizer Xanthan Gum Sebagai Fotokatalis Untuk Proses Fotodegradasi Methyl Orange** dengan baik sebagai salah satu persyaratan mencapai derajat Sarjana Kimia.

Penulis tentunya mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan motivasi, semangat, dan ide-ide kreatif dalam penyusunan skripsi ini. Ucapan skripsi tersebut secara khusus penulis sampaikan kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.
2. Ibu Dr. Imelda Fajriati, M. Si. selaku Ketua Program Studi Kimia sekaligus dosen pembimbing skripsi yang telah ikhlas dan sabar memberikan nasihat, arahan, dukungan, serta waktunya dari awal penelitian hingga penulisan skripsi ini selesai.
3. Bapak Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan arahan selama masa studi di UIN Sunan Kalijaga.
4. Seluruh Dosen Program Studi Kimia yang telah membagikan ilmunya dan mengajarkan banyak hal selama masa perkuliahan.
5. Seluruh Pranata Laboratorium Pendidikan (PLP) terkhusus Ibu Isnı Gustanti S.Si yang telah mendampingi dan banyak membantu selama proses penelitian di Laboratorium Kimia.
6. Mama beserta keluarga besar yang tak henti-hentinya banyak memberikan dukungan dan doa dari awal perkuliahan hingga selesainya penulisan skripsi ini.
7. Teman semasa perkuliahan Dede Siska A, Mutik Ulya A, serta teman-teman yang lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu namun senantiasa selalu mendukung dan berjuang bersama-sama dari awal perkuliahan hingga penulisan skripsi ini selesai dan tentunya juga yang selalu menghibur saat lagi banyaknya tugas kuliah dan menjadi tempat curhat masalah penelitian dan lain-lainnya.
8. Teman satu tim penelitian, Heti dan Rayhan, yang telah bersama-sama saling membantu dari awal hingga penelitian ini selesai.
9. Seluruh teman-teman "Hydroxyl" Kimia Angkatan 2020 yang telah memberikan banyak dukungan dan motivasi selama perkuliahan.
10. Semua pihak yang belum bisa disebut satu persatu atas bantuannya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Demi kesempurnaan skripsi, kritik dan saran sangat penulis harapkan. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan secara umum dan kimia secara khusus.

Yogyakarta, 29 Mei 2024

Penulis

## DAFTAR ISI

PENGESAHAN TUGAS AKHIR .....	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR .....	iv
MOTTO .....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
INTISARI.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Batasan Masalah .....	5
C. Rumusan Masalah .....	6
D. Tujuan Penelitian .....	6
E. Manfaat Penelitian .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....</b>	<b>7</b>
A. Tinjauan Pustaka.....	7
B. Landasan teori .....	10
1. Fotokatalis .....	10
2. Fotodegradasi .....	11
3. Energi Celah Pita .....	14
4. ZnO .....	15
5. Xanthan Gum .....	17
6. Methyl Orange .....	18
7. Sintesis Metode <i>Sol-Gel</i> .....	21
8. Kinetika Reaksi .....	23
9. Spektrofotometer UV-Vis .....	24
10. <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR) .....	28
11. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	29
12. <i>Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (DRS) UV-Vis .....	31
C. Kerangka Berfikir dan Hipotesis Penelitian.....	31
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>37</b>
A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	37
B. Alat-alat Penelitian.....	37
C. Bahan Penelitian .....	37
D. Cara Kerja Penelitian .....	38
E. Teknik Analisis Data.....	41
<b>BAB IV PEMBAHASAN .....</b>	<b>42</b>
A. Sintesis Fotokatalis ZnO-Xanthan Gum .....	42

B.	Karakterisasi Fotokatalis ZnO-Xanthan Gum.....	45
1.	Identifikasi Gugus Fungsi ZnO-Xanthan Gum Menggunakan <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR) .....	45
2.	Identifikasi Struktur ZnO-Xanthan Gum Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	48
3.	Identifikasi Energi <i>Band Gap</i> ZnO-Xanthan Gum Menggunakan <i>Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (DRS) UV-Vis.....	51
C.	Uji Aktivitas Fotokatalis ZnO-Xanthan Gum.....	55
1.	Penentuan Panjang Gelombang Maksimum <i>Methyl Orange</i> .....	55
2.	Penentuan Kurva Kalibrasi Larutan <i>Methyl Orange</i> .....	57
3.	Pengaruh Waktu dalam Reaksi Fotokatalis .....	58
4.	Pengaruh Konsentrasi dalam Reaksi Fotokatalis .....	63
5.	Pengaruh pH dalam Reaksi Fotokatalis .....	66
D.	Kinetika Reaksi Fotodegradasi Zat Warna <i>Methyl Orange</i> .....	69
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	72
A.	KESIMPULAN.....	72
B.	SARAN .....	73
DAFTAR PUSTAKA	.....	74
LAMPIRAN	.....	78
CURRICULUM VITAE	.....	93

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat-Sifat Fisik ZnO (Borysiewicz, 2019) .....	16
Tabel 2. 2 Sifat Fisik dan Kimia Methyl Orange (Hanafi & Sapawe, 2020).....	20
Tabel 4.1 Nilai Ukuran Kristal ZnO bulk dan ZnO-Xanthan Gum .....	50
Tabel 4.2 Nilai Energi Celah Pita ( $E_g$ ) dan Panjang Gelombang Serapan Tepi dari ZnO bulk dan ZnO-Xanthan Gum .....	54
Tabel 4.3 Konsentrasi Methyl Orange yang Hilang Akibat Proses Fotodegradasi Menggunakan Variasi Waktu Kontak .....	59



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Fotodegradasi Menggunakan Fotokatalis (Ong, <i>et al.</i> , 2018)	12
Gambar 2.2 Perbedaan Energi Celah Pita Pada (a) Isolator (b) Semikonduktor (c) Konduktor (Setiawan <i>et al.</i> , 2022)	15
Gambar 2.3 Struktur Kristal Senyawa ZnO (a) <i>Rocksalt</i> (b) <i>Zincblende</i> (c) <i>Wurtzite</i> (Ong <i>et al.</i> , 2018)	17
Gambar 2.4 Struktur Kimia Xanthan Gum (Elella <i>et al.</i> , 2020)	18
Gambar 2.5 Struktur Kimia <i>Methyl Orange</i> (Hanafi dan Sapawe, 2020)	19
Gambar 2.6 Proses Sintesis Metode <i>sol-gel</i> (Parul <i>et al.</i> , 2020)	21
Gambar 2.7 Rangkaian Instrumen Spektrofotometer UV-Vis <i>Single Beam</i> (Suhartati, 2017)	26
Gambar 2.8 Rangkaian instrumen spektrofotometer UV-Vis <i>double beam</i> (Suhartati, 2017)	27
Gambar 4.1 Skema yang diusulkan untuk sintesis fotokatalis ZnO-Xanthan Gum (Husain <i>et al.</i> , 2020)	44
Gambar 4.2 Spektra FTIR ZnO <i>bulk</i> dan ZnO-Xanthan Gum	46
Gambar 4.3 Spektra sinar X ZnO <i>bulk</i> dan ZnO-Xanthan Gum	48
Gambar 4.4 Serapan <i>Diffuse Reflectance</i> Pada Daerah UV-Vis (a) ZnO-Xanthan Gum dan (b) ZnO <i>bulk</i>	52
Gambar 4.5 Plot Hubungan $(\text{abs}/\lambda)^{1/m}$ dengan $1/\lambda$ ZnO-Xanthan Gum dan ZnO <i>bulk</i>	53
Gambar 4.6 Grafik Panjang Gelombang Maksimum Larutan <i>Methyl Orange</i>	56
Gambar 4.7 Kurva Kalibrasi Larutan Standar <i>Methyl Orange</i>	57
Gambar 4.8 Pengaruh Waktu Kontak Fotodegradasi Larutan <i>Methyl Orange</i> dengan Fotokatalis Menggunakan Penyinaran UV dan Tanpa Penyinaran UV	60
Gambar 4.9 Mekanisme yang diusulkan untuk Reaksi Fotodegradasi <i>Methyl Orange</i> (Kgatle <i>et al.</i> , 2021)	62
Gambar 4.10 Pengaruh Konsentrasi Larutan <i>Methyl Orange</i> Terhadap Efektivitas Fotodegradasi	64
Gambar 4.11 Pengaruh pH Larutan <i>Methyl Orange</i> Terhadap Efektivitas Fotodegradasi	66
Gambar 4.12 Pengaruh pH Terhadap Ionisasi Larutan <i>Methyl Orange</i>	68
Gambar 4.13 Hubungan Perubahan Konsentrasi <i>Methyl Orange</i> Terhadap Waktu Reaksi	70
Gambar 4.14 Penentuan Konstanta Laju Reaksi Fotodegradasi Larutan <i>Methyl Orange</i>	71

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Perhitungan Ukuran Kristal ZnO Menggunakan Persamaan Scherrer.....	78
<b>Lampiran 2.</b> Data Hasil Analisis XRD.....	79
<b>Lampiran 3.</b> Perhitungan Energi Celah Pita ( $E_g$ ) dan Panjang Gelombang Serapan Tepi ( $\lambda_g$ ) .....	80
<b>Lampiran 4.</b> Serapan Panjang Gelombang Maksimum Methyl Orange .....	82
<b>Lampiran 5.</b> Pengukuran Larutan Standar Larutan Methyl Orange.....	83
<b>Lampiran 6.</b> Perhitungan Hasil Fotodegradasi .....	84
<b>Lampiran 7.</b> Perhitungan Pengaruh Waktu Kontak dan Penyinaran terhadap Proses Fotodegradasi Methyl Orange.....	85
<b>Lampiran 8.</b> Perhitungan Pengaruh Konsentrasi Larutan Proses Fotodegradasi Methyl Orange.....	87
<b>Lampiran 9.</b> Perhitungan Pengaruh pH Larutan Proses Fotodegradasi Methyl Orange .....	88
<b>Lampiran 10.</b> Perhitungan Kinetika Reaksi Fotodegradasi.....	89
<b>Lampiran 11.</b> JCPDS 36-1451 .....	90
<b>Lampiran 12.</b> Dokumentasi Kegiatan Penelitian.....	91



## INTISARI

### SINTESIS ZnO DENGAN METODE SOL-GEL MENGGUNAKAN STABILIZER XANTHAN GUM SEBAGAI FOTOKATALIS UNTUK PROSES FOTODEGRADASI METHYL ORANGE

Oleh:

**Nada Hamida**

NIM. 2010030038

**Dr. Imelda Fajriati, M.Si.**

NIP. 19750725 200003 2 001

Fotokatalis ZnO-Xanthan Gum telah berhasil disintesis menggunakan metode *sol-gel* untuk proses fotodegradasi zat warna *methyl orange*. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji struktur molekul, kristalinitas, dan nilai energi celah pita ( $E_g$ ) dari fotokatalis ZnO-Xanthan Gum yang telah disintesis. Penelitian ini juga mengkaji aktivitas fotokatalitiknya dalam proses fotodegradasi zat warna *methyl orange* menggunakan variasi waktu kontak, konsentrasi, dan pH larutan zat warna *methyl orange*.

Sintesis ZnO-Xanthan Gum dilakukan menggunakan  $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$  sebagai prekursor, Xanthan Gum sebagai *stabilizer*, dan etanol sebagai pelarut. Hasil sintesis selanjutnya dikalsinasi pada temperatur  $500^\circ C$  selama 3 jam kemudian dikarakterisasi menggunakan instrumen *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS) UV-Vis, dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Uji aktivitas fotokatalis dilakukan menggunakan variasi waktu kontak 1 sampai 11 jam, variasi konsentrasi larutan *methyl orange* 1, 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 ppm, serta variasi pH larutan *methyl orange* 1, 3, 5, 7, dan 9.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa fotokatalis ZnO-Xanthan Gum yang dikarakterisasi menggunakan instrumen FTIR menunjukkan adanya serapan khas gugus fungsi Xanthan Gum pada bilangan gelombang  $3441,01\text{ cm}^{-1}$  (gugus fungsi -OH),  $2924,09\text{ cm}^{-1}$  (gugus alifatik -CH),  $1033,85\text{ cm}^{-1}$  (gugus fungsi -COC), dan  $1620,21\text{ cm}^{-1}$  (gugus fungsi COO-) dan gugus fungsi ZnO pada bilangan gelombang  $439,77\text{ cm}^{-1}$ , sedangkan karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan bahwa fotokatalis ZnO-Xanthan Gum memiliki bentuk kristal heksagonal *wurtzite* dengan rata-rata ukuran kristal sebesar 41,58 nm. Karakterisasi DRS UV-Vis menunjukkan bahwa fotokatalis ZnO-Xanthan Gum memiliki nilai energi celah pita ( $E_g$ ) sebesar 3,12 eV. Hasil uji aktivitasnya menunjukkan bahwa waktu kontak antara fotokatalis ZnO-Xanthan Gum dengan zat warna *methyl orange* optimum selama 5 jam, penambahan konsentrasi larutan *methyl orange* menyebabkan kemampuan fotodegradasinya menurun dan pH larutan *methyl orange* optimum untuk proses fotodegradasi pada pH 1. Laju reaksi proses fotodegradasi ini mengikuti laju reaksi orde satu dengan nilai konstanta lajunya sebesar  $0,0039\text{ menit}^{-1}$ .

**Kata Kunci: Fotokatalis, Sol-Gel, ZnO, Xanthan Gum, Energi Celah Pita, Fotodegradasi, Methyl Orange.**

## ABSTRACT

### SINTESIS ZnO DENGAN METODE SOL-GEL MENGGUNAKAN STABILIZER XANTHAN GUM SEBAGAI FOTOKATALIS UNTUK PROSES FOTODEGRADASI METHYL ORANGE

By:

Nada Hamida

NIM. 2010030038

Dr. Imelda Fajriati, M.Si.

NIP. 19750725 200003 2 001

The ZnO-Xanthan Gum photocatalyst was successfully synthesized using the sol-gel method for the photodegradation process of methyl orange dye. This research aimed to examine the molecular structure, crystallinity, and band gap energy ( $E_g$ ) of the synthesized ZnO-Xanthan Gum photocatalyst. It also evaluated its photocatalytic activity in the photodegradation process of methyl orange dye by varying contact time, concentration, and pH of the methyl orange solution.

The synthesis of ZnO-Xanthan Gum involved using  $Zn(CH_3COOH)_2 \cdot 2H_2O$  as the precursor, Xanthan Gum as the stabilizer, and ethanol as the solvent. The synthesized product was calcined at a temperature of 500 °C for 3 hours and characterized using Fourier Transform Infrared (FTIR), Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS) UV-Vis, and X-Ray Diffraction (XRD) instruments. The photocatalytic activity tests were conducted with varying contact times from 1 to 11 hours, methyl orange solution concentrations of 1, 2, 4, 8, 10, and 12 ppm, and solution pH levels of 1, 3, 5, 7, and 9.

The results showed that the ZnO-Xanthan Gum photocatalyst characterized by FTIR exhibited characteristic absorption bands of Xanthan Gum functional groups at a wavenumber 3441,01  $cm^{-1}$  (-OH group), 2924,09  $cm^{-1}$  (aliphatic -CH group), 1033,85  $cm^{-1}$  (-COC group), and 1620,21  $cm^{-1}$  (COO- group) and the ZnO functional group at 439,77  $cm^{-1}$ . XRD characterization revealed that the ZnO-Xanthan Gum photocatalyst had a hexagonal wurtzite crystal structure with an average crystal size of 41,58 nm. DRS UV-Vis characterization showed that the ZnO-Xanthan Gum photocatalyst had a band gap energy ( $E_g$ ) of 3,12 eV. The photocatalytic activity tests indicated that the optimal contact time between the ZnO-Xanthan Gum photocatalyst and the methyl orange dye was 5 hours. Increasing the concentration of the methyl orange solution decreased the photocatalytic degradation ability. The optimal pH for photodegradation process of the methyl orange solution was pH 1. The reaction rate of this photodegradation process followed a first-order reaction rate with a rate constant of 0,0039  $minute^{-1}$ .

**Keywords: Photocatalyst, Sol-Gel, ZnO, Xanthan Gum, Band Gap Energy, Photodegradation, Methyl Orange**

# BAB I PENDAHULUAN

## A. Latar Belakang

Perkembangan industri yang semakin pesat membuat *industry mode* berkembang sangat pesat dan mampu memberikan variasi gaya hidup yang berbeda di masyarakat, namun apabila perkembangan industri tidak diimbangi dengan pengawasan yang ketat terhadap pengolahan limbah, maka secara bersamaan dapat menciptakan pencemaran lingkungan, khususnya pencemaran lingkungan air (Tang *et al.*, 2022). Hal ini disebabkan karena di beberapa industri seperti industri tekstil, pakaian jadi, kertas, farmasi, dan kosmetika kebanyakan menggunakan pewarna untuk memproduksi barangnya. Air limbah yang mengandung pewarna dapat bersifat karsinogenik dan menimbulkan bahaya kesehatan pada manusia serta lingkungan. Bahkan air limbah yang mengandung konsentrasi zat warna dibawah 1 ppm dapat menimbulkan pencemaran yang buruk (Chiu *et al.*, 2019).

Air limbah yang dihasilkan dari industri mengandung cemaran senyawa organik tertinggi yang dihasilkan dari pewarna yang digunakannya. Sebanyak 12% pewarna seperti *methylene orange* akan dibuang ke badan air tanpa mengalami proses pengolahan terlebih dahulu. Cemaran zat warna ini menimbulkan toksisitas yang tinggi, bersifat karsinogenik, dan berpotensi terjadi mutagenik Selain itu *methyl orange* juga merupakan senyawa yang sulit untuk terurai di dalam limbah karena bersifat stabil dalam air (Hanafi & Sapawe, 2020). Sehingga apabila *methyl orange* ini terus dibiarkan di lingkungan, maka semakin lama akan menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan yang bertambah parah. Oleh karena itu

seharusnya pewarna yang akan dibuang di lingkungan perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut terlebih dahulu.

Menurut Adeel *et al* (2021) terdapat beberapa metode konvensional yang dapat dilakukan untuk menguraikan zat warna dalam air limbah, beberapa diantaranya yaitu pengolahan biologis, anaerobik, aerobik, elektrokimia, oksidasi, reduksi, floasi, flokulasi, presipitasi, koagulasi dan adsorpsi, namun metode-metode tersebut belum cukup mampu untuk menguraikan zat warna seperti zat warna *methyl orange* secara keseluruhan. Selain itu metode konvensional, seperti koagulasi dan adsorpsi dapat menimbulkan bahaya lainnya karena hanya merubah fase cair menjadi fase padat, sehingga hasil olahan limbahnya perlu dilakukan proses lebih lanjut untuk mengurangi bahayanya. Metode lain yang dapat dilakukan untuk mengurai senyawa *methyl orange* yaitu dengan fotodegradasi yang melibatkan reaksi reduksi oksidasi oleh fotokatalis heterogen (Chiu *et al.*, 2019).

Fotodegradasi merupakan proses penguraian polutan organik dalam air menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan menggunakan bantuan energi foton dan radiasi sinar UV. Prinsip kerja dari fotodegradasi yaitu dengan melakukan proses oksidasi pada zat warna tersebut (Annisaputri, 2020). Kelebihan dari metode ini yaitu proses degradasinya tidak membutuhkan pengolahan lebih lanjut, mampu menguraikan polutan organik dalam beberapa jam pada suhu kamar, dan polutan organik dapat terdegradasi menjadi senyawa yang lebih sederhana dan relatif tidak beracun. Proses fotodegradasi dapat terjadi dengan adanya bahan fotokatalis yang dibantu dengan radiasi sinar ultraviolet (UV) (Chiu *et al.*, 2019).

Bahan fotokatalis yang umum digunakan merupakan bahan semikonduktor seperti ZnO. Secara teoritis ZnO memiliki energi celah pita sebesar 3,37 eV, hal ini memungkinkan elektron pada pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi setelah menyerap energi foton. ZnO juga merupakan bahan yang ramah lingkungan, tidak beracun, murah, dan memiliki stabilitas termal yang cukup baik (Borysiewicz, 2019). Namun efisiensi fotokatalitik yang dimiliki ZnO sangat rendah karena rasio rekombinasi yang tinggi dari pasangan elektron-hole, selain itu responnya terhadap sinar tampak juga masih rendah (Trandafilovic *et al.*, 2017). Fotokatalis yang efisien yaitu fotokatalis yang tidak hanya menyerap pada sinar UV saja tetapi harus mampu menyerap pada sinar tampak juga, hal ini dikarenakan sebanyak 45% radiasi sinar matahari merupakan sinar tampak (Adell *et al.*, 2021).

Efisiensi fotokatalis ZnO dapat ditingkatkan dengan melakukan sintesis ZnO menggunakan Xanthan Gum. Xanthan Gum merupakan polisakarida alami yang terdiri dari unit pentasakarida berulang. Gugus fungsional hidroksil dan karbonil dalam polisakarida dapat membentuk ikatan kompleks dengan logam Zn. Selain itu senyawa Xanthan Gum juga dapat membatasi pertumbuhan partikel sehingga menghasilkan fotokatalis dengan ukuran nanokristalin yang dapat mempercepat proses penyerapan zat warna (Husain, *et al.*, 2020). Terdapat beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mensintesis ZnO diantaranya yaitu metode hidrotermal, presipitasi, solvotermal, mikroemulsi, *microwave*, dan *sol-gel*. Diantara metode-metode tersebut teknik *sol-gel* merupakan metode yang mudah untuk dilakukan, karena metode ini hanya mengeluarkan sedikit biaya, prosesnya sederhana, dan dapat dilakukan pada suhu rendah (Ong *et al.*, 2018). Sintesis ZnO

dengan metode *sol-gel* telah dilakukan oleh Nainggolan *et al* (2023) sintesis dilakukan dengan menggunakan senyawa zink asetat dihidrat ( $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) sebagai sumber Zn yang kemudian dilarutkan dalam pelarut etanol.

Sintesis ZnO dengan menggunakan metode *sol-gel* diawali dengan proses hidrolisis prekursor menggunakan pelarut air, alkohol, ataupun asam untuk menghasilkan suspensi koloid yang disebut sol dan kemudian akan berubah fasa menjadi gel padat akibat adanya polimerisasi (Noman *et al.*, 2021). Untuk menghasilkan sol yang bersifat stabil dan homogen selama proses sintesis berlangsung perlu ditambahkan bahan penstabil (*stabilizer*). Penggunaan Xanthan Gum pada proses sintesis senyawa ZnO berfungsi sebagai *stabilizer* karena xanthan gum memiliki viskositas yang tinggi dan mudah larut dalam air serta memiliki stabilitas termal dan emulsi yang baik (Inamuddin, 2019).

Sintesis fotokatalis ZnO-Xanthan Gum berhasil dilakukan oleh Suryaningrum (2018) sintesis dilakukan dengan menggunakan senyawa prekursor ( $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dan bahan penstabil Xanthan Gum dengan variasi yang berbeda-beda diantaranya yaitu 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 dan 0,5% (w/v). Hasil menunjukkan konsentrasi optimum Xanthan Gum adalah 0,4% (w/v) dengan persen fotodegradasi pada senyawa *methyl orange* sebesar 4,1777%. Suhu dan waktu kalsinasi juga berpengaruh terhadap hasil sintesis fotokatalis. Penelitian yang dilakukan oleh Subagja *et al* (2017) menunjukkan bahwa kondisi waktu dan suhu kalsinasi yang optimal untuk proses sintesis adalah pada temperatur  $500^\circ\text{C}$  selama 3 jam. Pada temperatur ini intensitas kristal fotokatalis mulai terbentuk relatif lebih tinggi

dibandingkan dengan temperatur lainnya. Selain itu fotokatalis dengan temperatur kalsinasi 500°C selama 3 jam juga mampu untuk mendegradasi zat warna *methyl orange* lebih dari 95%.

Berdasarkan hal tersebut optimasi fotodegradasi dengan menggunakan fotokatalis ZnO-Xanthan Gum perlu dilakukan dengan mengkombinasikan dua penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu sintesis fotokatalis ZnO-Xanthan Gum menggunakan penambahan konsentrasi Xanthan Gum sebanyak 0,4% (w/v) dengan temperatur kalsinasi 500°C selama 3 jam (Suryaningrum *et al.*, 2018 dan Subagja *et al.*, 2017). Selain itu penelitian ini juga mempelajari faktor-faktor yang mempengaruhi fotodegradasi zat warna *methyl orange* dengan menggunakan parameter uji pengaruh waktu kontak fotokatalis ZnO-Xanthan Gum dengan zat warna *methyl orange* menggunakan penyinaran *ultraviolet* (UV) dan tanpa penyinaran UV, pengaruh variasi konsentrasi zat warna *methyl orange*, dan variasi pH larutan zat warna *methyl orange*.

## **B. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Senyawa prekursor yang digunakan adalah  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .
2. Metode yang digunakan dalam sintesis kristal ZnO-Xanthan Gum adalah metode *sol-gel*.
3. Kondisi optimum sintesis ZnO-Xanthan Gum yang digunakan yaitu konsentrasi Xanthan Gum 0,4% (w/v) dan temperatur kalsinasi 500°C selama 3 jam
4. Zat warna yang diteliti adalah zat warna *methyl orange* yang dipreparasi di laboratorium kimia UIN Sunan Kalijaga

### C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakterisasi fotokatalis ZnO-Xanthan Gum yang disintesis dengan metode *sol-gel* pada temperatur kalsinasi 500°C selama 3 jam menggunakan instrumen *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS) UV-Vis, dan *X-Ray Diffraction* (XRD)?
2. Bagaimana pengaruh aktivitas fotokatalis ZnO-Xanthan Gum pada variasi waktu kontak, konsentrasi zat warna, pH larutan dan kinetika reaksinya dalam proses fotodegradasi zat warna *methyl orange*?

### D. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui karakterisasi fotokatalis ZnO-Xanthan Gum yang disintesis dengan metode *sol-gel* pada temperatur kalsinasi 500°C selama 3 jam menggunakan instrumen *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS) UV-Vis, dan *X-Ray Diffraction* (XRD).
2. Untuk mengkaji pengaruh aktivitas fotokatalis ZnO-Xanthan Gum pada variasi waktu kontak, konsentrasi zat warna, pH larutan dan kinetika reaksinya dalam proses fotodegradasi zat warna *methyl orange*.

### E. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian dari penelitian ini yaitu dapat memberikan pengetahuan baru mengenai sintesis fotokatalis ZnO-Xanthan Gum dengan metode *sol-gel* yang dikalsinasi pada temperatur 500°C selama 3 jam, karakterisasi sintesis fotokatalis ZnO-Xanthan Gum, serta kemampuan aktivitas fotokatalitiknya untuk mendegradasi zat warna *methylene orange*.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. KESIMPULAN**

1. Hasil karakterisasi fotokatalis ZnO-Xanthan Gum yang telah disintesis menggunakan metode *sol-gel* pada temperatur kalsinasi 500°C selama 3 jam menggunakan instrumen FTIR menunjukkan adanya serapan khas gugus fungsi dari senyawa Xanthan Gum pada bilangan gelombang 3441,01 cm<sup>-1</sup> (gugus fungsi -OH), 2924,09 cm<sup>-1</sup> (gugus alifatik -CH), 1033,85 cm<sup>-1</sup> (gugus fungsi -COC), dan 1620,21 cm<sup>-1</sup> (gugus fungsi COO-) serta serapan khas gugus fungsi ZnO pada bilangan gelombang 439,77 cm<sup>-1</sup>. Sedangkan hasil analisis XRD menunjukkan bahwa fotokatalis ZnO-Xanthan Gum memiliki bentuk struktur kristal heksagonal *wurtzite* dengan rata-rata ukuran kristal sebesar 41,58 nm, dan untuk hasil analisis menggunakan DRS UV-Vis menunjukkan bahwa fotokatalis ZnO-Xanthan Gum memiliki nilai energi celah pita sebesar 3,12 eV.
2. Uji aktivitas fotokatalis ZnO-Xanthan Gum menunjukkan bahwa waktu kontak, konsentrasi, dan pH larutan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap proses fotodegradasi. Semakin lama waktu kontak antara fotokatalis dengan zat warna maka proses fotodegradasinya akan semakin baik hingga mencapai titik optimumnya pada waktu 5 jam, sedangkan untuk konsentrasi larutan zat warna, semakin tinggi konsentrasinya maka proses fotodegradasinya akan semakin menurun, dan untuk pH larutan zat warna, proses fotodegradasi zat warna larutan *methyl orange* akan berjalan optimal pada kondisi asam yaitu

pada pH 1 yang menghasilkan kemampuan degradasi sebesar 90%. Fotodegradasi zat warna *methyl orange* menggunakan fotokatalis ZnO-Xanthan Gum laju reaksinya mengikuti laju reaksi orde satu dengan nilai konstanta sebesar 0,0039 menit<sup>-1</sup>.

## **B. SARAN**

1. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan instrument Particle Size Analyzers (PSA) untuk mengidentifikasi ukuran material sampel.
2. Uji aktivitas dapat dilakukan dengan menggunakan limbah zat warna yang sebenarnya.
3. Uji aktivitas fotokatalis pada parameter pH larutan zat warna perlu dilakukan uji stabilitas termal terlebih dahulu.
4. Uji aktivitas dilakukan tidak hanya menggunakan limbah zat warna tetapi dilakukan juga terhadap limbah yang mengandung logam berat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, S., Hasanpour, M., Ahmadpoor, F., Sillanpaa, M., Dastan, D., & Achour, A. (2019). Application of The Statistical Analysis Methodology for Photodegradation of Methyl Orange Using a New Nanocomposite Containing Modified TiO<sub>2</sub> Semiconductor With SnO<sub>2</sub>. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 208-224.
- Adeel, M., Saeed, M., Khan, I., Muneer, M., & Akram, N. (2021). Synthesis and Characterization of Co-ZnO and Evaluation of Its Photocatalytic Activity for Photodegradation of Methyl Orange. *ACS OMEGA*, 1426-1435.
- Akaito, J. A., Yunana, E. U., Musa, H. A. (2023). Chemical Kinetics: Rate of Reactions in Chemistry. In Y. Junejo, *Chemistry for The Life* (pp. 15-38). Turkiye: ISRES Publishing.
- Alwared, A. I., Mohammed, N. A., Musawi, T. J., & Mohammed, A. A. (2023). Solar-Induced Photocatalytic Degradation of Reactive Red and Turquoise Dyes Using a Titanium Oxide/Xanthan Gum Composite. *Sustainability*, 2-20.
- Annisaputri, W. A., Azzah, A. N., & Wibisono, R. D. (2020). Studi Potensi Fotokatalis dari Material Kerangka Logam-Organik (Metal-Organic Framework) untuk Degradasi Zat Pewarna Limbah Batik. *The Indonesian Green Technology Journal*, 42-53.
- Apriliyani, S. A., Martono, Y., Riyanto, C. A., Mutmainah, & Kusmita, L. (2018). Validation of Uv-Vis Spectrophotometric Methods for Determination of Inulin Levels from Lesser Yam (*Dioscorea esculent L.*). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 161-165.
- Aulia, R. (2022). Sintesis ZnO-Xanthan Gum dan Aplikasinya Sebagai Fotokatalis untuk Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue. *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Sunan Kalijaga. Yogyakarta
- Azis, A. T. (2020). Sintesis Komposit ZnO-Xanthan Gum Sebagai Fotokatalis Untuk Fotodegradasi Zat Warna Methyl Orange. *skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
- Borysiewicz, M. A. (2019). ZnO as a Functional Material, a Review. *Crystals*.
- Bunaciu, A. A., Udristioiu, E. G., & Aboul-enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical reviews in analytical chemistry*, 289-299.
- Chen, X., Wu, Z., Liu, D., & Gao, Z. (2017). Preparation of ZnO Photocatalyst for The Efficient and Rapid Photocatalytic Degradation of Azo Dyes. *Nanoscale Research Letters*, 2-10.
- Chiu, Y.-H., Chang, T.-F. M., Chen, C.-y., Sone, M., & Hsu, Y.-J. (2019). Mechanistic Insights into Photodegradation of Organic Dyes Using Heterostructure Photocatalysts. *Catalysts*, 2-32.
- Cisilya, T., Lestario, L. N., & Cahyanti, M. N. (2017). Kinetika Degradasi Serbuk Antosianin Daun Miana (*Coleus scutellarioides L. Benth*) Var *Crispa* Hasil Mikroenkapsulasi. *Chimica et Natura Acta*, 5(3), 146-152.

- Dachriyanus. (2004). *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*. Sumatra Barat: Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andalas.
- Dewi, A. K., Aryanto, D., & Nurbaiti, U. (2020). Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO di atas ITO. *Jurnal Fisika*, 30-36.
- Elella, M. H., Goda, E. S., Gab-Allah, M. A., Hong, S. E., Pandit, B., Lee, S., . . . Yoon, K. R. (2021). Xanthan Gum-derived Materials for Applications in Environment and Eco-Friendly Materials: A Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*.
- Ghobadi, N. (2013). Band Gap Determination Using Absorption Spectrum Fitting Procedure. *International Nano Letters*, 1-4.
- Hanafi, M. F., & Sapawe, N. (2020). A Review on The Water Problem Associate With Organic Pollutants Derived From Phenol, Methyl Orange, and Remazol Brilliant Blue Dyes. *Materials Today: Proceedings*, A141-A150.
- Hassan, M.A., El-Nemr, M.A., Elkatory, M.R., Ragab, S., Niculescu, V., El Nemer, A. (2023). Principles of Photocatalysts and Their Different Application: A Review. *Springer*. 1-54.
- Husain, F. M., Hasan, I., Qais, F. A., Khan, R. A., Alam, P., & Alsalmeh, A. (2020). Fabrication of Zinc Oxide-Xanthan Gum Nanocomposite via Green Route: Attenuation of Quorum Sensing Regulated Virulence Functions and Mitigation of Biofilm in Gram-Negative Bacterial Pathogens. *Coatings*, 2-17.
- Inamuddin. (2019). Xanthan Gum/Titanium Dioxide Nanocomposite for Photocatalytic Degradation of Methyl Orange Dye. *International Journal of Biological Macromolecules*, 1046-1053.
- Joshya, K. S., Jose, J., Li, T., Thomas, M., Shankregowda, A. M., Sreekumarn, S., . . . Thomas, S. (2020). Application of Novel Zinc Oxide Reinforced Xanthan Gum Hybrid System for Edible Coatings. *International Journal of Biological Macromolecules*, 806-813.
- Jumardin, Maddu, A., Santoso, K., & Isnaeni. (2022). Karakterisasi Sifat Optik Nanopartikel Karbon (Carbon Dots) dengan Metode UV-VIS DRS (Ultra Violet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy). *Jurnal Fisika dan Terapannya*, 1-15.
- Kgatle, M., Sikhwivhilu, K., Ndlovu, G., & Moloto, N. (2021). Degradation Kinetics of Methyl Orange Dye in Water Using Trimetallic Fe/Cu/Ag Nanoparticles. *Catalysts*, 1-23.
- Khan, S. A., Khan, S. B., Khan, L. U., Farooq, A., Akhtar, K., & Asiri, A. M. (2018). Fourier Transform Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Application in Functional Groups and Nanomaterials Characterization. *Handbook of Materials Characterization*, 317-344.
- Liu, T.-T., Wang, M.-H., Zhang, H.-P., & Zhao, Z.-Y. (2015). Sol-Gel Synthesis of Doped Nanocrystalline ZnO Powders Using Xanthan Gum and Varistor Properties Study. *Journal of Materials Science: Material in Electronics*, 9056-9062.
- Liza, Y. M., Yasin, R. C., Maidani, S. S., & Zainul, R. (2018). Sol Gel: Principle and Technique (a Review).

- Morozzi, P., Ballarin, B., Arcozzi, S., Brattich, E., Lucarelli, F., Nava, S., . . . Tositti, L. (2021). Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS), a Rapid and Non-Destructive Analytical Tool for The Identification of Saharan Dust Events in Particulate Matter Filters. *Atmospheric Environment*.
- Nainggolan, L., Sudiarta, I. W., & Suarsa, I. W. (2023). Sintesis Fotokatalis ZnO-SiO<sub>2</sub> Menggunakan Metode Sol-Gel Pada Fotodegradasi Zat Warna Rhodamin B. *Journal of Chemistry*, 143-150.
- Ningsih, S. K. (2016). *Sintesis Anorganik*. Padang: UNP Press Padang.
- Ningsih, S. W., Bahrizal, Nasra, E., & Rahayu, Y. (2020). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Co<sup>2+</sup> Doped ZnO dengan Menggunakan Metode Sol-Gel. *Indonesian Journal of Chemistry*, 25-30.
- Noman, M. T., Amor, N., & Petru, M. (2022). Synthesis and Applications of ZnO Nanostructures (ZONSs): A Review. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 99-141.
- Ohtani, B. (2014). Photocatalyst. In G. Kreysa, K. Ota, & R. F. Savinell, *Encyclopedia of Applied Electrochemistry* (pp. 1529-1532). New York: Springer.
- Ong, C. B., Ng, L. Y., & Mohammad, A. W. (2018). A review of ZnO Nanoparticles as Solar Photocatalysts: Synthesis, Mechanisms and Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 536-551.
- Pal, S., Mondal, S., Maity, J., & Mukherjee, R. (2018). Synthesis and Characterization of ZnO Nanoparticles Using Moringa Oleifera Leaf Extract: Investigation of Photocatalytic and Antibacterial Activity. *International Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 111-119.
- Parashar, M., Shukla, V. K., & Singh, R. (2020). Metal Oxides Nanoparticles Via Sol-Gel Method: A Review on Synthesis, Characterization and Applications. *Journal of Materials Science: Material in Electronics*.
- Parul, Kaur, K., Badru, R., Singh, P. P., & Kaushal, S. (2020). Photodegradation of Organic Pollutants Using Heterojunctions: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*.
- Putri, R. A., Safni, S., Jamarun, N., & Septiani, U. (2019). Kinetics Study and Degradation Pathway of Methyl Orange Photodegradation in The Presence of C-N-codoped TiO<sub>2</sub> Catalysts. *Egyptian Journal of Chemistry*, 563-575.
- Rahma, C. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Material Fotokatalis Na<sub>2</sub>Ti<sub>6</sub>O<sub>13</sub> Menggunakan Metode Hidrotermal. *Jurnal Optimalisasi*.
- Riaz, T., Iqbal, M. W., Jiang, B., & Chen, J. (2021). A Review of The Enzymatic, Physical, and Chemical Modification Techniques of Xanthan Gum. *International Journal of Biological Macromolecules*, 472-489.
- Rofi', S. N., & Maharani, K. (2020). Sintesis dan Karakterisasi ZnO untuk Aplikasi Sifat Hidrofobik Pada Kaca. *UNESA Journal of Chemistry*, 111-115.
- Setiawan, C. (2021). Sintesis ZnO Doped TiO<sub>2</sub> dengan Ekstrak Biji Labu Kuning (Cucurbita moschata) sebagai Capping Agent untuk Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.

- Setiawan, J., Mardiansyah, Sunardi, A., & Kusnadi, H. (2022). *Ilmu Bahan Listrik*. Tangerang Selatan: Unpam Press.
- Sharma, D. K., Shukla, S., Sharma, K. K., & Kumar, V. (2022). A review on ZnO: Fundamental Properties and Applications. *Materials Today: Proceedings*, 3028-3035.
- Siagian, S. M., Khairani, S., HS, S. C., & Tampubolon, F. R. (2022). Sintesis dan Karakterisasi Sifat Optik Semikonduktor ZnO dan ZnO Doping Cu. *Jurnal Hasil Kajian, Inovasi, dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 79-83.
- Siregar, A. M., & Sinaga, H. J. (2017). Studi Penentuan Semikonduktor Melalui Kajian Celah Pita Energi Kompleks Senyawa Be-Porfirin Menggunakan Metode Komputasi Semiempiris ZINDO/1. *Jurnal Einstein*, 13-16.
- Subagja, R., Royani, A., & Suharyanto, A. (2017). Pengaruh Temperatur dan Waktu Kalsinasi Terhadap Perubahan Fasa TiO<sub>2</sub>. *Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI*, 245-254.
- Sugianto, Zannah, R., Mahmudah, S. N., Astuti, B., Putra, N. M., Wibowo, A. A., . . . Wibowo, E. (2016). Pengaruh Temperatur Annealing Pada Sifat Listrik Film Tipis Zinc Oksida Doping Aluminium Oksida. *Jurnal MIPA*, 115-122.
- Suhartati, T. (2017). *Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-VIS dan Spektrofotometri Massa Untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Bandar Lampung: Anugrah Utama Raharja.
- Sulaiman, A., Silalahi, I. H., Shofyani, A., Widiyantoro, A., & Harlia, H. (2022). Energi Celah-Pita Material TiO<sub>2</sub>/Kompleks Logam-Klorofil ( M = Zn<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>) dari Daun Singkong (Manihot esculenta crant). *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*, 1-19.
- Suryaningrum, A. (2018). Pengaruh Massa Xanthan Gum dalam Sintesis ZnO-Xanthan Gum sebagai Fotokatalis Untuk Fotodegradasi Zat Warna Methyl Orange. *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Sunan Kalijaga. Yogyakarta.
- Tang, N. F., Tahir, D., & Heryanto, H. (2022). Sintesis Komposit ZnO/Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> Menggunakan Metode Sol-Gel sebagai Material Fotokatalis Limbah Cair Industri (Metilen Biru). *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 31-42.
- Trandafilovic, L. V., Jovanovic, D. J., Zhang, X., Ptasinska, S., & Dramicanin, M. D. (2017). Enhanced Photocatalytic Degradation of Methylene Blue and Methyl Orange by ZnO:Eu Nanoparticles. *Applied Catalysis B: Environmental*, 740-752.
- Utomo, W., Sumarni, W., & Priatmoko, S. (2018). Pengaruh Konsentrasi SO<sub>4</sub> dan pH terhadap Degradasi Congo Red Menggunakan Fotokatalis N-TiO<sub>2</sub>. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 71-76.
- Warono, D., & Syamsudin. (2013). Unjuk Kerja Spektrofotometer Untuk Analisa Zat Aktif Ketoprofen. *Jurnal Konversi*.
- Yusoff, N. A., Ho, L.-N., Ong, S.-A., & Wong, Y.-S. (2015). Photocatalytic Activity of Zinc Oxide (ZnO) Synthesized Through Different Methods. *Desalination and Water Treatment*, 1-12.