

**FOTODEGRADASI ZAT WARNA *METHYLENE BLUE*  
MENGUNAKAN FOTOKATALIS ZnO-XANTHAN GUM**

**Skripsi  
Untuk memenuhi sebagian persyaratan  
mencapai derajat Sarjana S-1**



Oleh:  
**HETI HERMAWATI NUR TIAS**  
**20106030040**

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



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-1543/Un.02/DST/PP.00.9/08/2024

Tugas Akhir dengan judul : Fotodegradasi Zat Warna Methylene Blue Menggunakan Fotokatalis ZnO-Xanthan Gum  
yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : HETI HERMAWATI NUR TIAS  
Nomor Induk Mahasiswa : 20106030040  
Telah diujikan pada : Senin, 19 Agustus 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: 66c7e54d57a1e



Penguji I

Endaruji Sedyadi, M.Sc.  
SIGNED

Valid ID: 66c5fa217a8e6



Penguji II

Sudarlin, M.Si.  
SIGNED

Valid ID: 66c6eb3691516



Yogyakarta, 19 Agustus 2024  
UIN Sunan Kalijaga  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.  
SIGNED

Valid ID: 66c81e62d97b7

**SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Heti Hermawati Nur Tias  
NIM : 20106030040  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Fotodegradasi Zat Warna Methylene Blue 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, 14 Agustus 2024



Heti Hermawati Nur Tias  
NIM. 20106030040

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
**SUNAN KALIJAGA**  
YOGYAKARTA



## **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 : Heti Hermawati Nur Tias  
NIM : 20106030040  
Judul Skripsi : Fotodegradasi Zat Warna *Methylene Blue* 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, 14 Agustus 2024  
Pembimbing

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

**ABSTRAK****FOTODEGRADASI ZAT WARNA *METHYLENE BLUE*  
MENGUNAKAN FOTOKATALIS ZnO-XANTHAN GUM**

Oleh:

**Heti Hermawati Nur Tias**

NIM. 20106030040

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

NIP. 19750725 200003 2 001

---

Komposit ZnO-Xanthan Gum berhasil disintesis sebagai fotokatalis untuk fotodegradasi zat warna *methylene blue*. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji sintesis ZnO-Xanthan Gum sebagai fotokatalis untuk fotodegradasi zat warna *methylene blue* dengan metode *sol-gel*, mengkaji struktur molekul, energi band gap, kristalinitas serbuk ZnO-Xanthan Gum, dan kemampuan fotokatalisis dalam mendegradasi zat warna *methylene blue* dengan variasi waktu kontak, konsentrasi zat warna, dan pH larutan *methylene blue*, serta kinetika fotokatalisis zat warna *methylene blue* oleh ZnO-Xanthan Gum.

Preparasi ZnO-Xanthan Gum dilakukan dengan metode *sol-gel* menggunakan seng asetat dihidrat, etanol sebagai pelarut, dan *stabilizer* berupa Xanthan Gum. Sintesis ZnO-Xanthan Gum dikalsinasi pada suhu 500°C selama 3 jam. Serbuk ZnO-Xanthan Gum yang diperoleh dikarakterisasi dengan Spektrofotometer UV-Vis, *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*, dan Spektrofotometer Difusi Reflektansi (DRS) UV-Vis. Uji aktivitas fotokatalis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dengan variasi waktu kontak 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, dan 11 jam, variasi konsentrasi *methylene blue* 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 ppm, dan variasi pH *methylene blue* 1, 3, 5, 7 dan 9.

Hasil sintesis yang dikarakterisasi menunjukkan struktur ZnO-Xanthan Gum berbentuk heksagonal (*wurtzite*) dengan ukuran kristal 39,048 nm. Struktur molekul diindikasikan pada serapan khas bilangan gelombang 439,77 cm<sup>-1</sup> dan 2924,09 cm<sup>-1</sup>. Energi *band gap* ZnO-Xanthan Gum diperoleh sebesar 3,03 eV. Uji aktivitas ZnO-Xanthan Gum berada pada proses fotodegradasi optimum pada waktu kontak 3 jam dengan konsentrasi 4 ppm pada pH 7 dan 9. Kinetika reaksi fotodegradasi mengikuti reaksi orde satu dengan konstanta laju sebesar 0,9805 jam<sup>-1</sup>.

**Kata kunci : Fotokatalisis, ZnO-Xanthan Gum, *Methylene Blue*, *sol-gel*, fotodegradasi**

**MOTTO**

*“Sesungguhnya pertolongan akan datang bersama kesabaran.”*

(HR. Ahmad)



STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
**SUNAN KALIJAGA**  
YOGYAKARTA

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Bismillahirrahmanirrahim*

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

*Allah SWT sebagai rasa syukur atas semua karunia-Nya  
Rasulullah Muhammad SAW  
Semua guru-guruku  
Kedua orang tua, saudara, dan keluarga  
Sahabat serta teman-teman  
Diriku sendiri yang sudah mau berjuang sejauh ini, kamu hebat!*



STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan kesempatan dan kelancaran sehingga skripsi yang berjudul “Fotodegradasi Zat Warna *Methylene Blue* Menggunakan Fotokatalis ZnO-Xanthan Gum” dapat diselesaikan sebagai salah satu persyaratan mencapai derajat Sarjana Kimia.

Penyusun mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, semangat, doa maupun ide sehingga tahap demi tahap penyusunan tugas akhir ini dapat dilalui. Ucapan terima kasih tersebut secara khusus disampaikan kepada:

1. Ibu Dr. Hj. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
2. Ibu Dr. Imelda Fajriati, M.Si. selaku Dosen Pembimbing dan Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang meluangkan waktunya untuk membimbing selama penelitian, membantu dalam penyusunan skripsi, dan telah memberikan motivasi serta arahan selama studi.
3. Bapak dan Ibu Dosen Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah membimbing dan mengajarkan banyak hal selama studi terutama dalam bidang kimia.
4. Seluruh Staf Laboratorium Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta terutama Bapak A. Wijayanto, S.Si., Indra Naviyanto, S.Si., dan Ibu Isni Gustanti, S.Si. yang telah membantu dalam penelitian sehingga dapat berjalan dengan lancar.
5. Seluruh Staf Karyawan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah membantu sehingga penyusunan skripsi ini dapat berjalan dengan lancar.
6. Kedua orang tua, Bapak dan Ibu serta keluarga yang tak pernah lupa mendoakan demi kelancaran penyusunan skripsi ini.



7. Seluruh teman-teman *Hydroxyl* kimia angkatan 2020 yang telah banyak memberikan semangat dan dukungan selama ini.
8. Teman-teman *healing*, Ara dan Intan yang selama ini selalu menemani dan telah menjadi penyemangat yang baik.
9. Sahabat sekaligus teman seperjuangan penulis Rosita Rahmadani. Terimakasih banyak membantu melancarkan penelitian ini dan selalu menjadi penyemangat terbaik yang selalu ada.
10. Teman-teman di laboratorium UIN Sunan Kalijaga, terutama teman *se-project* penelitian yang selama ini telah banyak membantu melancarkan jalannya penelitian dan menjadi penyemangat.
11. Teman-teman KKN 111-Karangwuni yang selalu memberikan semangat dan dukungan.

Demi kesempurnaan skripsi ini, penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penyusun berharap laporan ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan secara umum dan kimia secara khususnya.

Yogyakarta, 14 Agustus 2024

Penyusun

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT PENYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	iii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR .....	iv
ABSTRAK .....	v
MOTTO .....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Batasan Masalah.....	5
C. Rumusan Masalah .....	6
D. Tujuan Penelitian .....	6
E. Manfaat Penelitian .....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	8
A. Tinjauan Pustaka .....	8
B. Landasan Teori.....	11
C. Hipotesis Penelitian.....	31
BAB III METODE PENELITIAN.....	36
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	36
B. Alat-Alat Penelitian.....	36
C. Bahan-Bahan Penelitian .....	36
D. Cara Kerja Penelitian .....	36
E. Teknik Analisis Data.....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	41
A. Sintesis Komposit ZnO-Xanthan Gum .....	41
B. Karakterisasi Komposit ZnO-Xanthan Gum.....	44

C. Uji Aktivitas Fotokatalis ZnO-Xanthan Gum untuk Fodegradasi Zat Warna <i>Methylene Blue</i> .....	56
BAB V PENUTUP.....	72
A. Kesimpulan .....	72
B. Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA .....	74
LAMPIRAN.....	81



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Kristal ZnO (a) <i>Rocksalt</i> (b) <i>Zincblende</i> dan (c) <i>Wurzite</i> .....	13
Gambar 2. 2 Mekanisme aktivitas fotokatalis.....	15
Gambar 2. 3 Struktur Xanthan Gum .....	17
Gambar 2. 4 Proses <i>sol-gel</i> .....	20
Gambar 2. 5 Mekanisme fotodegradasi .....	22
Gambar 2. 6 Struktur kimia <i>methylene blue</i> .....	24
Gambar 2. 7 Hubungan perubahan reaktan dengan perubahan produk .....	25
Gambar 2. 8 Wilayah Spektroskopi inframerah dalam spektrum elektromagnetik .....	28
Gambar 4. 1 Spektra FTIR (a) ZnO-Xanthan Gum, (b) ZnO Bulk, dan (c) Xanthan Gum .....	45
Gambar 4. 2 Pola difraksi sinar-X (a) ZnO-Xanthan Gum, (b) Xanthan Gum, dan (c) ZnO Bulk .....	48
Gambar 4. 3 Serapan <i>Diffuse Reflectance</i> (a) ZnO bulk dan (b) ZnO-Xanthan Gum .....	52
Gambar 4. 4 Plot hubungan antara $(Abs/\lambda)1/m$ dan $1/\lambda$ (a) ZnO bulk dan (b) ZnO-Xanthan Gum .....	54
Gambar 4. 5 Panjang gelombang maksimum <i>methylene blue</i> .....	57
Gambar 4. 6 Kurva kalibrasi standar <i>methylene blue</i> .....	58
Gambar 4. 7 Mekanisme Fotodegradasi Methylene Blue.....	61
Gambar 4. 8 Hubungan waktu kontak dengan % fotodegradasi.....	63
Gambar 4. 9 Hubungan konsentrasi awal <i>methylene blue</i> dengan % fotodegradasi... ..	65
Gambar 4. 10 Hubungan pH larutan zat warna <i>methylene blue</i> dengan absorbansi ..	67
Gambar 4. 11 Model kinetika fotodegradasi <i>methylene blue</i> orde 0, 1, 2, dan 3.....	69

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Karakteristik ZnO .....	12
Tabel 2. 2	Karakteristik methylene blue .....	23
Tabel 4. 1	Perbandingan $2\theta$ ZnO bulk, ZnO-Xanthan Gum dengan data JCPDS ZnO Wurtzite .....	49
Tabel 4. 2	Nilai parameter kisi kristal ZnO-Xanthan Gum .....	50
Tabel 4. 3	Nilai Ukuran Kristal .....	51
Tabel 4. 4	Perbandingan Besar Energi Celah Pita (Eg) ZnO bulk dan Komposit ZnO-Xanthan Gum .....	55
Tabel 4. 5	Hasil Pengurangan Konsentrasi Zat Warna Methylene Blue dalam Variasi Waktu Kontak dengan Sinar dan Tanpa Sinar .....	62
Tabel 4. 6	Hasil Fotodegradasi Zat Warna Methylene Blue dengan Variasi Konsentrasi Methylene Blue .....	65
Tabel 4. 7	Hasil Fotodegradasi Zat Warna Methylene Blue dengan Variasi pH Zat Warna Methylene Blue .....	67

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Perhitungan Parameter Kisi Kristal .....	81
Lampiran 2.	Perhitungan Ukuran Partikel ZnO-Xanthan Gum Menggunakan Pendekatan Persamaan Scherrer .....	83
Lampiran 3.	Data Hasil XRD ZnO Bulk dan ZnO-Xanthan Gum .....	84
Lampiran 4.	Perhitungan Energi Celah Pita (Eg) dan Panjang Gelombang Serapan Tepi (g) .....	85
Lampiran 5.	Spektrum Panjang Gelombang Methylene Blue .....	87
Lampiran 6.	Data Absorbansi dari Larutan Standar dan Kurva Standar Methylene Blue .....	88
Lampiran 7.	Perhitungan Hasil Fotodegradasi .....	89
Lampiran 8.	Pengaruh Waktu Kontak dan Penyinaran terhadap Fotodegradasi Methylene Blue .....	90
Lampiran 9.	Kinetika Reaksi Fotodegradasi Methylene Blue .....	92
Lampiran 10.	Pengaruh Konsentrasi Larutan Methylene Blue terhadap Fotodegradasi Methylene Blue .....	95
Lampiran 11.	Pengaruh pH Larutan Methylene Blue terhadap Fotodegradasi Methylene Blue .....	97
Lampiran 12.	Dokumentasi Penelitian .....	98
Lampiran 13.	JCPDS ZnO Fase Kristal <i>Wurtzite</i> .....	100
Lampiran 14.	Hasil Karakterisasi Menggunakan Fourier Transform Infra-Red (FTIR) .....	101
Lampiran 15.	Hasil Karakterisasi Menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) ...	103
Lampiran 16.	Hasil Karakterisasi Menggunakan Spektroskopi Difusi Reflektansi (DRS) UV-Vis.....	105

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang Masalah**

Industri tekstil di Indonesia semakin hari semakin berkembang pesat. Diikuti dengan peluncuran peta jalan Making Indonesia 4.0 oleh pemerintah ditahun 2018, dimana kementerian perindustrian menetapkan industri tekstil sebagai salah satu prioritas pengembangan dalam sektor pionir karena kinerja ekspor industri tekstil dan produk tekstil (TPT) yang terus menanjak selama tiga tahun terakhir (Ramadhani and Hardati, 2021). Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) produk domestik bruto (PDB) atas dasar harga konstan dari industri tekstil dan pakaian pada tahun 2022 mengalami peningkatan sebesar 9,34% dari tahun sebelumnya. Pada tahun 2022 PBD industri tekstil dan pakaian jadi sebesar Rp139,33 sedangkan pada tahun 2021 sebesar Rp127,43 triliun (Badan Pusat Statistik, 2023). Industri tekstil memberikan kontribusi terhadap laju pertumbuhan ekonomi Indonesia, dimana salah satu sumber pendapatan negara berasal dari industri TPT. Namun, industri ini juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, yaitu hasil proses produksi yang berupa limbah.

Limbah industri tekstil pada tahun 2022, berdasarkan data SIPSN (Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional) KLHK menyumbangkan limbah sekitar 2,6% dari total limbah keseluruhan (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2023). Berdasarkan data dari majalah *National Geographic, March 2020: The End of The Trash* ditemukan 18.273 limbah di jakarta, dimana 8,2%



nya merupakan limbah tekstil (Priyambodo, 2022). Limbah tekstil dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, salah satunya yaitu pencemaran air bersih global, dimana sekitar 20% disebabkan oleh zat warna dan finishing produksi tekstil (News European Parliament, 2020).

Zat warna merupakan senyawa organik dengan struktur molekul kompleks aromatik yang stabil dan sulit terurai, serta memberikan warna cerah dan tegas. Di perairan, secara alami adanya cahaya matahari dapat mendekomposisi zat warna, akan tetapi reaksi berjalan lambat karena intensitas sinar UV yang sampai ke permukaan bumi rendah sehingga fotodegradasi kalah cepat dibanding akumulasi zat warna ke dasar perairan atau tanah (Dae-Hee dkk., 1999 dan Al-kdasi, 2004). Selain itu, zat warna juga memiliki sifat yang dapat menahan kerusakan oksidatif dari cahaya matahari. *Methylene Blue* merupakan salah satu zat warna yang dapat menyebabkan permasalahan lingkungan dan kesehatan manusia. Perairan yang terkontaminasi *Methylene Blue* walaupun dengan jumlah yang sedikit dapat mengubah warna air, sehingga intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam perairan akan berkurang, menghambat fotosintesis, pertumbuhan biota dan kelarutan gas dalam air terganggu (Hameed dkk., 2006).

Permasalahan limbah zat warna umumnya dapat ditangani menggunakan beberapa metode seperti metode biologi, koagulasi, elektrokoagulasi, adsorpsi, ozonisasi, dan klorinasi (Modirsahala dkk., 2011). Metode-metode tersebut kurang efektif dalam menangani limbah zat warna karena menimbulkan permasalahan lingkungan seperti pada metode koagulasi dan sedimentasi yang menghasilkan zat yang dapat membahayakan lingkungan (Oloibiri dkk., 2015)

dalam Sany dkk., (2017). Metode adsorpsi merupakan metode pengolahan limbah zat warna menggunakan karbon aktif dalam jumlah yang banyak sehingga metode ini dikatakan mahal. Selain itu, metode ini hanya terjadi pemindahan senyawa zat warna dari suatu fasa ke fasa lain, sehingga penanganannya kurang maksimal karena tidak ada penguraian sifat toksik zat warna (Fourcade dkk., 2013). Metode biologi menggunakan sistem bioremediasi, dimana mikroba membantu degradasi zat warna. Kelemahan metode ini adalah memerlukan bidang yang besar dan dalam mendegradasi zat organik berstruktur kompleks. Sedangkan kelemahan dari metode ozonisasi dan klorinasi adalah membutuhkan biaya operasional yang besar, sehingga sulit diterapkan di Indonesia (Sanusi, 2018).

Salah satu metode alternatif yang dapat mengolah limbah zat warna adalah fotodegradasi. Fotodegradasi merupakan proses penguraian zat warna menjadi komponen yang lebih sederhana dengan memanfaatkan energi foton suatu cahaya agar dapat dibuang ke lingkungan dengan aman. Metode ini menggunakan fotokatalis untuk mempercepat proses fotodegradasi, salah satu fotokatalis yang dapat mendegradasi *Methylene Blue* adalah ZnO (Suprihatin dkk., 2022). Senyawa ini memiliki aktivitas fotokatalis yang tinggi dan lebih ramah lingkungan. ZnO memiliki daya absorpsi dan stabilitas termal yang baik, serta celah pita yang lebar (Akyol dkk., 2004). *Band gap* ZnO sebesar 3,37 eV dengan energi ikatan pada suhu kamar sebesar 60 meV, mempermudah aktivitas dengan cahaya matahari atau sinar UV (Sanjaya, 2018).

ZnO dapat disintesis menggunakan beberapa metode seperti metode *sol-gel*, sintesis hidrotermal, deposisi uap kimia (CVD), metode presipitasi, *laser*

*vaporization condensation*, dan metode *spray-pyrolysis*. Metode yang relatif sederhana dan murah dari metode-metode tersebut adalah metode *sol-gel*. Metode *sol-gel* adalah metode kimia dalam pembuatan keramik, hibrida organik-anorganik, dan lainnya yang berada dalam fase cairan. *Sol* tersebut adalah polimer dalam suatu pelarut yang terdispersi secara stabil, sedangkan *gel* adalah bahan semipadat yang jernih, tembus cahaya, dan mengandung zat aktif (Pooyan, 2005). Selama proses sintesis pada metode *sol-gel*, *sol* dihomogenkan dan distabilkan dengan menambahkan *stabilizer*. Salah satu *stabilizer* yang dapat digunakan adalah surfaktan, sebagai contoh yaitu dietanolamin (DEA) (Arista dkk., 2015). DEA merupakan senyawa karsinogenik yang dapat menghambat penyerapan nutrisi kaolin tubuh dan perkembangan otak. Maka diperlukan *stabilizer* yang aman, seperti Xanthan Gum. Xanthan Gum merupakan polisakarida yang memiliki rantai panjang yang berasal dari D-glukonat. Xanthan Gum bersifat hidrofobik dan pada rentang pH memiliki stabilitas dan viskositas yang baik. Pada metode *sol-gel*, Xanthan Gum berperan sebagai agen polimerisasi dan pengontrol pertumbuhan *nanopowder* (Mahadlek dkk., 2010).

Aulia dkk., (2022) telah melakukan penelitian mengenai uji aktivitas ZnO-Xanthan Gum terhadap fotodegradasi *Methylene Blue* dengan waktu kalsinasi 500°C selama 5 jam dan variasi waktu kontak 20, 40, 80, 100, 120, 140 menit. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan persentase tertinggi fotodegradasi terhadap *Methylene Blue* dengan variasi waktu kontak 140 menit dengan persentase degradasi 98,74%, ukuran kristal 48,48 nm, dan energi *band gap* ( $E_g$ ) sebesar 3.05 eV. Penelitian Ainun dkk., (2020) melakukan sintesis ZnO-Xanthan

Gum terhadap fotodegradasi zat warna *methyl orange* yang dikalsinasi pada temperatur 500°C selama 1 jam, waktu optimum fotokatalis dalam mendegradasi *methyl orange* berada pada waktu 9 jam dengan persentase fotodegradasi sebesar 65,2337%.

Penelitian ini menggunakan suhu kalsinasi 500°C selama 3 jam, karena pada waktu kalsinasi 1 jam hasil kurang optimum dan waktu kalsinasi 5 jam terlalu lama, sehingga digunakan waktu kalsinasi selama 3 jam untuk mengoptimalkan proses fotodegradasi dan dalam upaya penghematan energi. Menurut Royani & Suharyanto (2017) kalsinasi pada temperatur 500 °C selama 3 jam intensitas fasa kristal yang terbentuk relatif tinggi dan kemampuan fotodegradasi semakin meningkat. Terdapat penambahan parameter uji yaitu pengaruh konsentrasi awal zat warna *methylene blue* dan pengaruh pH larutan zat warna *methylene blue* terhadap kemampuan fotodegradasi zat warna *methylene blue*.

Hasil sintesis ZnO dikarakterisasi dengan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan Spektrofotometer Difusi Reflektansi (DRS) *Ultraviolet-Visible*. Uji aktivitas fotokatalis dan adsorpsi dari ZnO terhadap fotodegradasi zat warna *Methylene Blue* ditentukan dengan pengurangan konsentrasi yang diukur dengan instrumen Spektrofotometer Ultraviolet-Visible (UV-Vis).

## **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 digunakan konsentrasi Xanthan Gum 0,4% (w/v) dan temperatur dan waktu kalsinasi berturut – turut sebesar 500°C dan 3 jam
4. Kinetika reaksi fotodegradasi zat warna *methylene blue* terkatalisis ZnO-Xanthan Gum dengan variasi waktu kontak

### C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diambil dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakterisasi struktur molekul, energi *band gap* ( $E_g$ ) dan kristalinitas komposit ZnO-Xanthan Gum menggunakan instrumen *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), instrumen Spektrofotometer Difusi Reflektansi (DRS) UV-Vis, dan *X-Ray Diffraction* (XRD)?
2. Bagaimana aktivitas fotokatalisis dengan variasi waktu kontak, konsentrasi zat warna, dan pH larutan *methylene blue*, serta kinetika reaksi fotodegradasi zat warna *methylene blue* menggunakan fotokatalis ZnO-Xanthan Gum?

### D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengkarakterisasi struktur molekul, energi *band gap* ( $E_g$ ) dan kristalinitas komposit ZnO-Xanthan Gum menggunakan instrumen *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), instrumen Spektrofotometer Difusi Reflektansi (DRS) UV-Vis, dan *X-Ray Diffraction* (XRD)

2. Menentukan aktivitas fotokatalisis dengan variasi waktu kontak, konsentrasi zat warna, dan pH larutan *Methylene Blue*, serta kinetika reaksi fotodegradasi zat warna *Methylene Blue* menggunakan fotokatalis ZnO-Xanthan Gum

#### **E. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan tentang sintesis, karakterisasi ZnO-Xanthan Gum dan kemampuan fotokatalisis terhadap fotodegradasi zat warna *Methylene Blue*.



## BAB V PENUTUP

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Permasalahan lingkungan mengenai zat warna *methylene blue* dapat dilakukan penanganan dengan fotodegradasi zat warna *methylene blue* menggunakan fotokatalis ZnO-Xanthan Gum yang disintesis menggunakan metode *sol-gel* dengan konsentrasi Xanthan Gum sebesar 0,4% dan dikalsinasi pada temperatur 500°C selama 3 jam. Hasil karakterisasi komposit ZnO-Xanthan Gum dapat diketahui sebagai berikut:
  - a. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan bahwa terdapat puncak karakteristik ikatan Zn-O pada panjang gelombang 439,77  $\text{cm}^{-1}$  dan terdapat puncak serapan khas Xanthan Gum yaitu ikatan  $-\text{CH}_2$  alifatik pada panjang gelombang 2924,09  $\text{cm}^{-1}$ .
  - b. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa ZnO-Xanthan Gum berbentuk heksagonal (*wurtzite*) yang ditunjukkan dengan puncak-puncak difraksi yang dihasilkan sesuai dengan data JCPDS No.36-1451. Ukuran kristal yang dihasilkan adalah 39,048 nm.
  - c. Hasil karakterisasi UV-DRS menunjukkan bahwa penambahan Xanthan Gum dalam sintesis ZnO memberikan pengaruh terhadap energi *band gap* ZnO-Xanthan Gum yaitu sebesar 3,02 eV



2. Hasil uji aktivitas komposit ZnO-Xanthan Gum terhadap proses fotodegradasi dengan menggunakan sinar UV pada variasi waktu kontak didapatkan waktu optimum pada 3 jam. Hasil fotodegradasi zat warna *methylene blue* dengan variasi konsentrasi menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi *methylene blue* maka persentase fotodegradasi semakin menurun, konsentrasi optimum didapatkan pada konsentrasi 4 ppm. Fotodegradasi *methylene blue* dengan variasi pH menunjukkan bahwa semakin tinggi pH maka kemampuan fotokatalis dalam mendegradasi *methylene blue* semakin tinggi. pH optimum diperoleh pada pH 7 dan 9 dengan persentase fotodegradasi sebesar 100%. Kinetika reaksi fotodegradasi berada pada reaksi orde satu dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,9805.

#### **B. Saran**

1. Dilakukan uji aktivitas menggunakan limbah *methylene blue* yang sesungguhnya.
2. Dapat dilakukan uji aktivitas dengan zat warna lain atau logam berat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, H., Khan, M., Ong, H., & Yaakob, Z. (2017). Modified TiO<sub>2</sub> photocatalyst for CO<sub>2</sub> photocatalytic reduction : An overview. *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*, 22, 15-32.
- Abidi, N. (2022). *FTIR Microspectroscopy: Selected Emerging Applications*. USA: Springer international Publishing.
- Akpan, U. G., & Hameed, B. H. (2010). The advancements in sol-gel method of doped-TiO<sub>2</sub> photocatalysts. *Applied Catalysis A: General*, 375(1), 1-11.
- Akyol, A., Yatmaz, HC, & Bayramoglu, M. (2004). Photocatalytic decolorization of Remazol Red RR in aqueous ZnO suspensions. *Applied Catalysis B: environmental*, 54 (1), 19-24.
- Aritonang, A. B., Krisnandi, Y. K., & Gunlazuardi, J. (2018). Modification of TiO<sub>2</sub> nanotube arrays with N doping and Ag decorating for enhanced visible light photoelectrocatalytic degradation of methylene blue. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(1), 234-241.
- Arsita, D. N. (2015). *Pengaruh Ketebalan Lapisan Terhadap Karakteristik Thin Film ZnO pada Substrat Kaca*. Malang: FMIPA UNM.
- Aryanto, A., and Nugraha, I. (2015). Kajian Fotodegradasi Methyl Orange Dengan Menggunakan Komposit Tio<sub>2</sub>-Montmorillonit. *Jurnal Molekul*, Vol. 10 No. 1, 57-65.
- Aulia, R. (2022). *Sintesis ZnO-Xanthan Gum dan Aplikasinya sebagai Fotokatalis untuk Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue*. Skripsi. Jurusan Kimia 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.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Produk Domestik Bruto Indonesia Triwulanan 2019-2023*. Retrieved from Badan Pusat Statistik: <https://www.bps.go.id/publication/download.html?nrbvfeve=OWYxNGQ0M2RjMGMwMWI2ZDE4ODNmYjdj&xzmn=aHR0cHM6Ly93d3cuYnBzLmdvLmlkL3B1YmVpY2F0aW9uLzIwMjMvMTAvMTMvOWYxNGQ0M2RjMGMwMWI2ZDE4ODNmYjdjL3Byb2R1ay1kb21lc3RpaylicnV0by1pbmRvbmVzaWEtdHJpd3VsYW5hbi0yMDE5LTIw>
- Berneth, H. (2008). *Azine dyes*. In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Chairani, S. O. (2021). *Sifat Listrik Lapisan Tipis Cuo/Zno Yang Ditumbuhkan Dengan Metodespray Pyrolysis*. Tugas Akhi. Lampung Selatan: ITERA.
- Chang, R. (2004). *Kimia Dasar: KOnsep-konsep Inti*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Chaturvedi, S. K. (2021). A Review on Properties and Applications of Xanthan Gum. *Microbial Polymers*, 87-107.

- Chaudhari, A. A. (2022). Synthesis And Characterization Of Zinc Oxide Nanoparticles Using Green Synthesis Method. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*, Vol. 10 No. 2, 302-309.
- Cisilya, T., Lestario, Lydia N., and Cahyanti, Margareta N. (2017). Kinetika Degradasi Serbuk Antosianin Daun Miana (*Coleous scutellarioides* L. Benth) Var. Crispa Hasil Mikroenkapsulasi. *Chimica et Natura Acta*, Vol. 5 No. 3, 146-152.
- Dae-Hee, A., Won-Seok C. and Tai-II Y. (1999). Dyestuff wastewater treatment using chemical oxidation, physical adsorption and fixed bed biofilm process. *Process Biochemistry*, 34, 429-439.
- Diantariani, N. P., Widihati, I. A. G., and Megasari, I G. A. A. R. (2014). Fotodegradasi Metilen Biru Dengan Sinar Ultraviolet Dan Katalis Zno. *Jurnal Kimia*, 8(1), 137-143.
- Djayasinga, R. (2015). *Pembuatan Dan Karakterisasi Nanokatalis Ni(1-X)Cuxfe2o4 Serta Uji Aktivitas Pada Konversi (CO<sub>2</sub>+ H<sub>2</sub>)*. Masters thesis, Universitas Lampung.
- Emin, S., Respinis, M.de, Fanettia, M., Smith, W., Valanta, M., and Damb, B. (2015). A simple route for preparation of textured WO<sub>3</sub> thin films from colloidal W nanoparticles and their photoelectron chemical water splitting properties. *Applied Catalysis B: Environmental*, 166-167, 406-412.
- Ethica, S. N. (2018). *Buku Referensi Bioremediasi Limbah Biomedik Cair*. Yogyakarta: Deepublish.
- Fajriati, I., Mudasir, and Wahyuni, E. T. (2019). Adsorption and Photodegradation of Cationic and Anionic Dyes by TiO<sub>2</sub>-Chitosan Nanocomposite. *Indones. J. Chem.*, 441-453.
- Filipponi, L. and Duncan, S. (2013). *Nanotechnologies: Principles, Applications, Implications and Hands-on Activities*. European Commission.
- Greenwood, Norman N. and Earnshaw, A. (1997). *Chemistry of the Elements 2nd Edition*. Oxford: Butterworth-Heinemann .
- Hameed B.H., Din A.T.M. & Ahmad A.L. (2006). Adsorption of Methylene Blue onto bamboo-based activated carbon: Kinetics and equilibrium studies.
- Hindryawati, N. (2020). *Fotokatalisis Dalam Pengolahan Limbah Tekstil*. Yogyakarta: Deepublish.
- Huda, M. D. B. A., Ichwani, R., Handoko, C. T., Yudono, B. and Gulo, F. (2019). *Enhancing the visible-light photoresponse of sno and sno2 through the heterostructure formation using one-step hydrothermal route*.
- Jaggi, Neena, and Vij, D.R. (2006). Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Handbook of Applied Solid State Spectroscopy*, 411-50.
- Jamaaluddin, J. (2018). *Pengantar Struktur Atom Introduction to Atomic Structure*. Retrieved Desember 25, 2023, from Repository Universitas Muhammadiyah Sidoarjo: <http://eprints.umsida.ac.id/464/>
- Janotti, Anderson and Walle, Chris G Van de. (2009). Fundamentals of zinc oxide as a semiconductor. *Reports On Progress In Physics*, Vol. 72, 1-29.
- Jansson, P. K. (1977). *Carbohydr. Res.*, 45, 82-275.
- Jati, B. M. (2010). *-Fisika dasar listrik\_magnet, optika, fisika modern untuk mahasiswa ilmu-ilmu eksakta & teknik* (1 ed.). Yogyakarta: Andi.

- Kementerian Industri Republik Indonesia. (2023). *Menperin: Ekspor Batik Ditargetkan Mencapai USD 100 Juta Tahun 2023*. Retrieved from Kementerian Industri Republik Indonesia: <http://ikft.kemenperin.go.id/menperin-ekspor-batik-ditargetkan-mencapai-usd-100-juta-tahun-2023/#:~:text=Industri%20batik%20memiliki%20peranan%20yang,persen%20dibanding%20capaian%20tahun%202021>.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2023). *SIPSN - Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional*. Retrieved from Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) – Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- Koppenol, W. H., Stanbury, D. M., Bounds, P. L. (2010). Electrode Potential of partially reduced oxygen species, from dioxygen to water. *Free Radical Biology and Medicine*, 49, 317-322.
- Kovacs, P. a. (1977). *Xanthan gum*, in *Food Colloids* (ed. H.P. Graham). Westport: AVI Publishing.
- Kuppuswami, G. M. (2014). Production of xanthan gum. In: Encyclopedia of Food Microbiology. *Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition)*, Vol. 1, 816-821.
- Leech, P. W. and Ressel, P. (2016). Application to Semiconductor Devices. In R. S. Brett A. Sexton, *Surface Analysis Methods in Materials Science* (2nd ed., pp. 435–454). Australia.
- Linsebigler, A. L. (1995). Photocatalysis on TiO<sub>2</sub> surfaces : Principles, Mechanism, and Selected Results. *Chem. Rev.*, Vol. 95, 735-758.
- Maddhinni, V. L., Vurimindi, H. B., & Yerramilli, A. (2006). Degradation of azo dye with horse radish peroxidase (HRP). *Journal of the Indian Institute of Science*, 86(5), 507-514.
- Mahadlek, Jongjan, Juree Chareonteeraboon & Thawatchai Phaechmud. (2010). Zinc Oxide Gels for Periodontitis Treatment. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 20(3), 159-163.
- Maharani, M. L. (2016). *Pengaruh Konsentrasi Penambahan Unsur Cu-Al Terhadap Struktur Kristal Dan Sifat Optik Dari Nanostruktur ZnO*. Skripsi. Universitas Negeri Jakarta. Semarang.
- Margaritis, A. and Zajic, J. E. (1978). Biotechnology review: mixing mass transfer and scale-up of polysaccharide fermentations. *Biotechnol Bioeng*, 20, 939-1001.
- Maslakah, U. (2015). *Analisis lebar celah pita energi dan ikatan molekul lapisan tipis a-si : h yang ditumbuhkan dengan metode analysis of energy band gap and molecular bonding of a-si : h thin films deposited by pecvd methods*. Fmipa ITS.
- Melton, L.D., Mindt, L. and Rees, D.A. (1976). Covalent structure of the extracellular polysaccharide from *Xanthomonas campestris*: evidence from partial hydrolysis studies. *Carbohydr. Res.*, 46, 245.
- Menklh. (2016). *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI yaitu Nomor P.68/MENLHK/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik*.



- Miyake, M., Mano, T., Nishimoto, S., and Kameshima, Y. (2015). Water treatment efficacy of various metal oxide semiconductors for photocatalytic ozonation under UV and visible light irradiation. *Chemical Engineering Journal*, 264, 221-229.
- Modirsahala, Ayudin Hassani, Nasser Behnadjady, Muhammad A., & Rahbarfan R. (2011). Effect of Operational Parameters on Decolorization of Acid Yellow 23 from Wastewater by UV Irradiation using ZnO and ZnO/SnO<sub>2</sub> Photocatalysts. *Desalination*, 187-192.
- Mon, I., Yerimadesi, and Hardeli. (2012). *Kimia Fisika: Kinetika Kimia*. Padang: UNP Press.
- Nandiyanto, A. B. D. dkk. (2017). *Pengantar Sains dan Teknologi Nano*. Jawa Barat: UPI Press.
- Neamen, D. A. (2006). The pn Junction. (E. A. Kelley Butcher, Ed.) *Semiconductor Physics and Devices Basic Principles*, 9(5), 238-255.
- News European Parliament. (2020). *The impact of textile production and waste on the environment (infographics)*. Retrieved from News European Parliament: [https://www.europarl.europa.eu.translate.goog/news/en/headlines/society/20201208STO93327/the-impact-of-textile-production-and-waste-on-the-environment-infographics?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=id&\\_x\\_tr\\_hl=id&\\_x\\_tr\\_pto=wapp&\\_x\\_tr\\_hist=true](https://www.europarl.europa.eu.translate.goog/news/en/headlines/society/20201208STO93327/the-impact-of-textile-production-and-waste-on-the-environment-infographics?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=wapp&_x_tr_hist=true)
- Nilam, Sanjaya, H., and Yohandri. (2021). Degradasi Zat Warna Methylene Blue dengan Katalis ZnO-CuO Menggunakan Metode Fotosonolisis. *Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang*, Vol. 10 No. 2, 42-45.
- Ningsih, S. K. (2016). *Sintesis Anorganik*. Padang: UNP Press.
- Ningsih, Sherly Kasuma W., Umar K. N., dan Utari Novitria. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO-Doped Cu<sup>2+</sup> Melalui Metoda Sol-Gel. *Eksakta*, Vol. 18. No. 2, 40-51.
- NTP. (2008). Toxicology and carcinogenesis studies of methylene blue trihydrate (Cas No. 7220-79-3) in F344/N rats and B6C3F1 mice (gavage studies). *Natl Toxicol Program Tech Rep Ser*, 540, 1-224. PMID:18685714.
- Nurbayasari, Rodiah, Nanda Saridewi, dan Shofwatunnisa. (2017). Biosintesis dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO dengan Ekstrak Rumput Laut Hijau Caulerpa sp. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, Vol. 19 No. 1, 17-28.
- Nurzihan, Aris, Riani Ulfah Nuri Hrp, Sri Hilma Siregar, dan Hasmalina Nasution. (2019). Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue Menggunakan Bentonit Termodifikasi Ethylene Diamine Tetra Aceticacid (EDTA). *Prosiding SainsTeKes* (pp. 1-13). Riau: MIPAKes UMRi.
- Osy, Y. B., Sanjaya, H., and Yohandri. (2023). Degradasi Zat Warna Methyl Orange dengan Katalis TiO<sub>2</sub> Menggunakan Metode Fotosonolisis. *Chemistry Journal of State University of Padang*, Vol. 12 No. 1, 17-21.
- Oxtoby, D. W., Gillis, H. P., and Nachtrieb, N. H. (2001). *Prinsip-Prinsip Kimia Modern* (Ed. 4 ed.). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Özgür, Ü. A. (2015). A Comprehensive review of ZnO Materials and Devices. *Journal Applied Physics*, Vol. 98(4), 041301.

- Palupi, E. (2006). *Degradasi Methylene Blue dengan Metoda Fotokatalis dan Fotoelektrokatalisis Menggunakan Film TiO<sub>2</sub>*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Pooyan, S. (2005). Sol-gel process and its application in Nanotechnology. *Journal of Polymer Engineering and Technology*, 38-41.
- Priyambodo, U. (2022). *Gerakan Tukar Baju Mengemuka di Tengah Ancaman Limbah Tekstil*. Retrieved from Nasional Geographic Indonesia : <https://nationalgeographic.grid.id/read/133295611/gerakan-tukar-baju-mengemuka-di-tengah-ancaman-limbah-tekstil?page=all>
- PubChem. (2013). *Methylene blue*. Retrieved from Pubchem database. National Center for Biotechnology Information: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> [online database]
- Radzimska, K. a. (2014). Zinc Oxide-From Synthesis to Application: A Review. *Journal Materials*, 7, 2833-2881.
- Raganata, T. C., Aritionang, H., and Suryanto, Edi. (2019). Sintesis Fotokatalis Nanopartikel ZnO Untuk Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue. *Chem. Prog, Vol. 12(2)*, 54-58.
- Ramadhanti, Dita and Hardati, Puji. (2021). Implementasi Revolusi Industri 4.0 Pada Industri TPT (Tekstil dan Produk Tekstil) di Kecamatan Pringapus. *Geo Image (Spatial-Ecological-Regional)*, 10 (1), 68-73.
- Rao, M. S. (2013). *ZnO Nanocrystals and Allied Materials*. S.1. Springer Science.
- Rasydi, M. (2015). *Analisis sifat optik dari campuran serbuk zno dengan variasi suhu sebagai alternatif bahan semikonduktor dari sel surya*. Universitas Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Ristiana, I. (2013). *Kajian Pengaruh Konsentrasi Perak Nitrat (AgNO<sub>3</sub>) Terhadap Ukuran Nanopartikel Perak*. Skripsi. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Rusman. (2020). *Kinetika Kimia*. Aceh: Syiah Kuala University Press.
- Samsul, H. (2013). *Deposisi dan karakterisasi film tipis cds/cdte:cu yang ditumbuhkan dengan metode magnetronsputtering*. Universitas Negeri Semarang.
- Sanjaya, H. (2018). Degradasi Metil Violet Menggunakan Katalis ZnO-TiO<sub>2</sub> Secara Fotosonolisis. *Eksakta: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 19 (1), 91-99.
- Sanjaya, H., Rida, P., and Nigsih, S. K. W. (2017). Degradasi Methylene Blue Menggunakan Katalis ZnO-PEG dengan Metode Fotosonolisis. *Eksakta, Vol. 18 No. 2*, 21-29.
- Sanusi. (2018). *Studi pengaruh getaran ultrasonik pada saat sintesis dengan metode presipitasi terhadap karakteristik dan aktivitas fotokatalis ZnO*. Thesis.
- Sany, Tito Hasna, Sudarno & Purwono. (2017). Pengolahan Lindi Menggunakan Metode Koagulasi Flokulasi dengan Biokoagulan Kitosan dari Limbah Cangkang Udang dan Metode Ozonisasi. *Jurnal Teknik Lingkungan, Vol. 6 (1)*, 1-11.
- Sari, D. N. (2022). *Fotodegradasi Zat Warna Titan Kuning Dan Fenol Merah Menggunakan Katalis Cu/ZnO DAN Ag/TiO<sub>2</sub>*. Retrieved 2024, from Repository Unhas: <http://repository.unhas.ac.id:443/id/eprint/16067>

- Selfira, Winda and Syamsi Aini. (2021). Penguraian Zat Warna Metilen Biru Menggunakan Katalis  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Fe}_2\text{O}_3$  Dalam Silika Mesopori. *Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang*, Vol. 10 (1), 45-49.
- Sen, T. k., Afoza, S., & Ang, H. (2011). Equilibrium, Kinetics and Mechanism Of Removal Of Methlene Blue From aqueous Solution By Adsorption Onto Pine Cone Biomass Of Pinus Radiata. *Water, Air, & Soil Pollution*, 218(1-4), 499-515.
- Setyawati, D. A. (2015). Sintesis  $\text{ZnO-SiO}_2$  serta Aplikasinya pada Degradasi Limbah Organik Fenol dan Fotoreduksi  $\text{Pb(II)}$  secara Simultan. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 96-100.
- Sharma, A. G. (2014). Xanthomonas. In: Batt CA, Tortorello M (eds). *Encyclopedia of food microbiology*, 2nd edn, 811–817.
- Singh, M., Goyal, M., and Devlal, K. (2018). Size and shape effects on the band gap of semiconductor compound nanomaterials. *Journal of Taibah University for Science*, Vol. 12, No. 4, 470-475.
- Sirenden, A. H. (2012). *Sintesis Nanorods Seng Oksida (ZnO) Menggunakan Putih Telur Sebagai Biotemplate*. Skripsi. Universtas Indonesia. Depok.
- Suhartati, T. (2017). *Dasar-Dasar Spektrofotometri Uv-Vis dan Spektrometri Massa untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Bandar Lampung: CV. Anugrah Utama Raharja.
- Suhendi, L. A. (2023). *Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) Terdoping Lantanum (III) Menggunakan Metode Sonikasi*. Skripsi. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Suprihatin, I. E., Suat, R. M., dan Negara, I. M. S. (2022). Fotodegradasi Zat Warna Methylene Blue Dengan Sinar Uv Dan fotokatalis Nanopartikel Perak. *Jurnal Kimia (Journal Of Chemistry)*, 16 (2), 168-173.
- Suriyani, D., Halin, C., Talib, I. A., Daud, A. R., and Hamid, M. A. A. (2015). *Preparation of Copper Oxide Thin Films By Sol-Gel Process, Colloquium on Materials, Minerals and Polymers*.
- 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.
- Sutanto, H. and Wibowo, S. (2015). *Semikonduktor Fotokatalis Seng Oksida dan Titania (Sintesis, Deposisi dan Aplikasi)*. Semarang: Penerbit Telescope.
- Triwardiati, D. and Ermawati, I. R. (2018). Analisis bandgap karbon nanodots (c-dots) kulit bawang merah menggunakan teknik microwave. *Pros. Semin. Nas. Teknoka*, 3(2502), 25.
- Tsai, W, T., Hsein, K.J., & Hsu, H. C. (2009). Adsorption Of Organic Compounds From Aqueouse Solution onto the Synthesized Zeolite. *Jornal of Hazardous Materials*, 166, 635-641.
- Widi, R. K. (2018). *Pemanfaatan Material Anorganik: Pengenalan dan Beberapa Inovasi di Bidang Penelitian*. Yogyakarta: Deepublish.
- Wijayanto, A. T. (2013). *Fotodegradasi Metilen Biru Menggunakan Komposit  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$* . Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta.



- Wirawan, T., Az, I. W., and Hindryawati, N. (2023). Adsorption Of Methylene Blue Using Active Charcoal From Empty Fruit Bunch (EFB). *Jurnal Kimia Mulawarman*, Vol. 21 No. 1, 8-17.
- Wismayanti, D. A., Diantariani, Ni P., and Santi, S. R. (2015). Pembuatan Komposit Zno-Arang Aktif Sebagai Fotokatalis Untuk Mendegradasi Zat Warna Metilen Biru. *Jurnal Kimia*, Vol. 9(1), 109-116.
- Witjaksono, A. (2011). *Karakterisasi Nanokristalin ZnO Hasil Presipitasi dengan perlakuan Pengeringan, Anil dan Pasca-Hidrotermal*. Depok: Universitas Indonesia.
- Yunita, Nurlina, N., and Syahbanu, I. (2020). Sintesis Nanopartikel Zink Oksida (ZnO) dengan Penambahan Ekstrak Klorofil dari Daun Suji sebagai sumber Capping Agent. *POSITRON*, Vol. 2 No. 2, 123-130.
- Yusuf, Y. (2021). *Karbonat Hidroksiapatit dari Bahan Alam: Pengertian, Karakterisasi, dan Aplikasi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Znaidi, L. (2010). Sol-gel-deposited ZnO thin films: A review. *Materials Science and Engineering: B*, 174, 18-30.
- Zong, X., & Wang. (2014). Ion-exchangeable semiconductor materials for visible light-induced photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 18, 1-62.