

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> SERTA  
APLIKASINYA UNTUK FOTODEGRADASI ZAT WARNA  
METILEN BIRU**

**SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Bidang Studi Kimia**



**MELSY PEBIANTI PUTRI**

**08031181722012**

**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2022**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> SERTA  
APLIKASINYA UNTUK FOTODEGRADASI ZAT WARNA  
METILEN BIRU**

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh:

**MELSY PEBIAN TI PUTRI**

**08031181722012**

Indralaya, 14 Januari 2022

**Pembimbing I**



**Dr. Muhammad Said, M.T.**

**NIP. 197407212001121001**

**Pembimbing II**



**Widia Purwaningrum, M.Si.**

**NIP. 197304031999032001**

**Mengetahui,**

**Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D**

**NIP. 197111191997021001**

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi Komposit ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> serta Aplikasinya untuk Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru” telah diseminarkan di hadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 28 Desember 2021 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 14 Januari 2022

### Ketua:

1. **Dr. Muhammad Said, M.T.**  
NIP. 197407212001121001

(  )

### Anggota:

1. **Widia Purwaningrum, M. Si.**  
NIP. 197304031999032001
2. **Dr. Zainal Fanani, M. Si.**  
NIP. 196708211995121001
3. **Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M. Si.**  
NIP. 196808271994022001
4. **Prof. Dr. Elfita, M. Si.**  
NIP. 196903261994122001

(  )

(  )

(  )

(  )

Mengetahui,

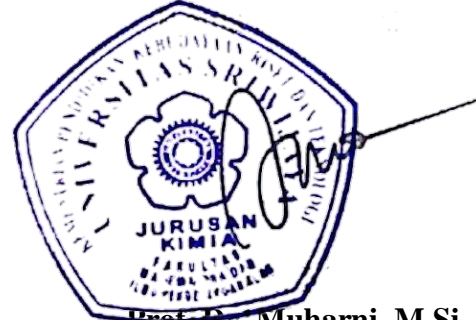
Dekan FMIPA



**Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D**

NIP. 197111191997021001

Ketua Jurusan Kimia



**Prof. Dr. Muharni, M.Si.**

NIP. 196903041994122001

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Melsy Pebianti Putri

NIM : 08031181722012

Fakultas/ Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/ Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain. Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 14 Januari 2022

Penulis,



Melsy Pebianti Putri

Nim. 08031181722012

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK  
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Melsy Pebianti Putri

NIM : 08031181722012

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/ Kimia

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan,

Saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “Sintesis dan Karakterisasi Komposit ZnO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> serta Aplikasinya untuk Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru”. Dengan hak bebas royalti non-eksklusive ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 14 Januari 2022

Yang menyatakan





Melsy Pebianti Putri

Nim. 08031181722012

## HALAMAN PERSEMBAHAN

**“ Barangsiapa yang hendak menginginkan dunia, maka hendaklah ia menguasai ilmu. Barangsiapa menginginkan akhirat, maka hendaklah ia menguasai ilmu. Dan barangsiapa yang menginginkan keduanya (dunia dan akhirat), hendaklah ia menguasai ilmu” (HR Ahmad).**

-  *Skripsi ini sebagai tanda syukur kepada Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW.*
-  *Penulis persembahkan kepada kedua orang tua, adik dan seluruh keluarga besar sebagai wujud sayang, cinta dan terima kasih atas d'oa dan dukungannya serta almamater tercinta (Universitas Sriwijaya).*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT karena berkat dan rahmatnyalah penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul: " Sintesis dan Karakterisasi Komposit ZnO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> serta Aplikasinya untuk Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru". Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Sriwijaya. Penulis menyadari tidak akan mampu menyelesaikan skripsi ini tanpa bimbingan, dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini Penulis mengucapkan terima kasih kepada: Bapak Dr. Muhammad Said, M.T. dan Ibu Widia Purwaningrum, M.Si. yang telah memberikan bimbingan, motivasi, saran dan petunjuk dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya yang tak terhingga.
2. Bapak Hermansyah, Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya
3. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya
4. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya
5. Bapak Dr. Suheryanto, M.Si. selaku dosen Pembimbing Akademik .
6. Bapak Dr. Muhammad Said, M.T dan Ibu Widia Purwaningrum, M.Si. selaku dosen pembimbing yang banyak memberikan bimbingan, ilmu serta dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Bapak Dr. Zainal Fanani, M. Si., Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M. Si. dan Ibu Prof. Dr. Elfita, M.Si. selaku pembahas dan penguji seminar dan sidang sarjana.
8. Seluruh Dosen FMIPA Kimia Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama masa kuliah.
9. Mbak Novi dan Kak Cosiin selaku Admin Jurusan Kimia yang banyak membantu dalam proses perkuliahan hingga tugas akhir.

10. Ibu Yuniar, S.T. M. Sc., Ibu Siti Nuraini, S.T. dan Ibu Hanida Yanti, A. Md. selaku analis di Laboratorium Kimia yang membantu dalam hal administrasi fasilitas laboratorium untuk keperluan tugas akhir.
11. Kedua orang tua atas segala hal terbaik yang telah dilakukan dan diberikan kepada anak-anaknya.
12. Adik tersayang (Meldy Juniasyah) sebagai penyemangat dan pengingat dalam perjuangan ini.
13. Seluruh keluarga besar (makwo, wak, kakak, ayuk dll) yang telah mendukung dan mendo'akan.
14. Teman-teman seperjuangan Kimia FMIPA Angkatan 2017 yang banyak membantu mulai dari awal hingga akhir masa perkuliahan. Sangat senang dan bangga menjadi bagian dari keluarga ini.
15. Kakak-kakak dan adik-adik Jurusan Kimia FMIPA yang banyak membantu selama masa perkuliahan.
16. Teman seperjuangan (Ulfa, Indah, Meilita, Fatma dan Roma) yang telah menemani saat susah maupun senang sedari awal hingga berakhir masa pendidikan.
17. Teman se-TA (Ulfa, Putri, Fitri, Nyak dan Ipo) yang banyak membantu dalam kegiatan penelitian.
18. Semua orang yang banyak membantu, memberi dukungan dan do'a yang tidak dapat disebutkan satu persatu. terimakasih telah menemani perjalanan dan perjuangan ini.

Semoga bimbingan, ilmu, bantuan, dan masukan yang telah diberikan kepada penulis menjadi amal shaleh dan pahala dari Allah SWT. Dengan kerendahan hati, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua serta pengembangan ilmu kimia di masa yang akan datang.



## SUMMARY

### SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> COMPOSITES AND THEIR APPLICATION FOR PHOTODEGRADATION OF METHYLENE BLUE DYE

Melsy Pebianti Putri : Supervised by Dr. Muhammad Said, M.T. and Widia Purwaningrum, M.Si.

Chemistry Departement, Mathematics and Natural Sciences Faculty, Sriwijaya University xvi + 84 pages, 13 pictures, 6 tables, 22 attachments.

The research on synthesis and characterization of composites ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> for photodegradation of methylene blue has been done. This study aims to determine the ratio of the optimum weight of ZnO compared Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> needed to degrade methylene blue. The photodegradation process of methylene blue was carried out in several variables including the effect of contact time and the initial concentration of the dye as well as in the above conditions pH<sub>pzc</sub>. ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composites were made with a mole ratio of ZnO to Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1:0.5), (1:1) and (1:1.5) and characterized using XRD, UV-Vis DRS and SEM-EDS instruments. The ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1:1) composite was selected as a photocatalyst to degrade methylene blue. The result of characterization using XRD showed crystal size the ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1:1) composites result were 10,40 nm. Energy bandgap value of the ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1:1) composites obtained from the UV-Vis DRS characterization results were 1.81 eV. The result ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1:1) composites characterization using SEM-EDS showed that heterogeneous surface shape with small particle size and equally distribution. The constituent elements of Zn, Fe and O are 22.62%, 54.84% and 22.55%. The optimum conditions for photodegradation were obtained at a contact time of 180 minutes with the percent degradation effectiveness of 74.6%. As for the effect of the initial concentration of the dye, it was found that the greatest percentage of greatest dye concentration reduction effectiveness was at a concentration of 5 ppm with the percent effectiveness of 71.2% and test result of 3 ppm with a percent of 100%. The results showed that the ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite was able to degrade the methylene blue

**Keywords** : ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite, photodegradation, methylene blue

Citation : 65 (2011-2021)

## RINGKASAN

### SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> SERTA APLIKASINYA UNTUK FOTODEGRADASI ZAT WARNA METILEN BIRU

Melsy Pebianti Putri : Dibimbing oleh Dr. Muhammad Said, M.T dan Widia Purwaningrum, M.Si.

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya  
xvi + 84 halaman, 13 gambar, 6 tabel, 22 lampiran.

Penelitian tentang sintesis dan karakterisasi komposit ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> untuk fotodegradasi zat warna metilen biru telah dilakukan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui rasio terbaik ZnO berbanding Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> untuk mendegradasi zat warna metilen biru. Proses fotodegradasi dilakukan dengan beberapa variabel diantaranya pengaruh waktu kontak dan konsentrasi awal zat warna serta pada kondisi diatas pH<sub>pzc</sub> yaitu pH 7. Komposit ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dibuat dengan variasi perbandingan mol yaitu (1:0,5), (1:1) dan (1:1,5) serta dikarakterisasi menggunakan instrumen XRD, UV-Vis DRS dan SEM-EDS. Komposit ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1:1) dipilih sebagai komposit untuk mendegradasi zat warna metilen biru. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan ukuran kristal komposit ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1:1) sebesar 10,40 nm. Nilai celah pita energi hasil karakterisasi UV-Vis DRS komposit ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1:1) sebesar 1,81 eV. Hasil SEM-EDS komposit ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1:1) menunjukkan bentuk permukaan tidak beraturan dengan ukuran partikel kecil dan sebarannya yang merata serta persen unsur penyusunnya berupa Zn, Fe dan O masing-masing sebesar 22,62%, 54,84% dan 22,55%. Kondisi terbaik yang didapatkan pada penelitian pengaruh waktu kontak yaitu pada 180 menit sebesar 74,6%, sedangkan pada pengaruh konsentrasi awal zat warna pada 5 ppm sebesar 71,2% serta hasil uji TOC pada 3 ppm sebesar 100%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mampu mendegradasi metilen biru.

**Kata kunci** : komposit ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, fotodegradasi, metilen biru  
Sitasi : 65 (2011-2021)

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>ix</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Fotodegradasi .....	4
2.2 Seng Oksida (ZnO) .....	5
2.3 Besi (III) Oksida (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) .....	6
2.4 Doping Besi (III) Oksida (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) pada ZnO (ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ).....	7
2.5 Metilen Biru .....	7
2.6 Karakterisasi.....	9
2.6.1 Spektrofotometer UV-Vis.....	9
2.6.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	9
2.6.3 Spektrofotometer UV-Vis <i>Diffuse Reflectance</i> (UV-Vis DRS).....	10

2.6.4 Scanning Electron Microscop-Energi Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS) .....	11
2.7 Total Organic Carbon (TOC) .....	12
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>14</b>
3.1 Waktu dan Tempat.....	14
3.2 Alat dan Bahan .....	14
3.2.1 Alat .....	14
3.2.2 Bahan.....	14
3.3 Prosedur Kerja.....	15
3.3.1 Sintesis ZnO (Ningsih dkk, 2021).....	15
3.3.2 Sintesis Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Mikrianto dkk, 2019) .....	15
3.3.3 Sintesis ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dengan Variasi Konsentrasi Bahan Doping (Sathya <i>et. al.</i> , 2017).....	15
3.3.3 Pembuatan Larutan Metilen Biru .....	16
3.3.3.1 Pembuatan Larutan Induk Metilen Biru 1000 ppm (Dewi, 2019).....	16
3.3.3.2 Pembuatan Larutan Standar dan Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru .....	16
3.3.3.3 Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Metilen Biru ...	17
3.3.4 Penentuan pH <i>Point Zero Change</i> (pH <sub>pzc</sub> ) (Dewi dan Ridwan, 2012).....	17
3.3.5 Penentuan Kondisi Terbaik Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru.....	17
3.3.5.1 Pengaruh Variasi Waktu Kontak.....	17
3.3.5.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi Awal Zat Warna Metilen Biru .....	18
3.3.5 Analisa Data.....	18
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>21</b>
4.1 Hasil Sintesis ZnO .....	21
4.2 Hasil Sintesis Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	21
4.3 Hasil Sintesis Komposit ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	22
4.4 Karakterisasi Material.....	23

4.4.1 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	23
4.4.2 Hasil Karakterisasi UV-Vis <i>Diffuse Reflectance</i> (UV-Vis DRS).....	25
4.4.3 Hasil Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy-Energi Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDS).....	27
4.5 Penentuan pH <i>Point Zero Charge</i> (pH <sub>pzc</sub> ).....	29
4.6 Penentuan Kondisi Terbaik Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru	30
4.6.1 Pengaruh Variasi Waktu Kontak pada Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru.....	30
4.6.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi Awal Zat Warna Metilen Biru	32
4.7 Hasil Pengujian <i>Total Organic Carbon</i> (TOC).....	33
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>35</b>
5.1 Kesimpulan.....	35
5.2 Saran.....	35
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>36</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>42</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Mekanisme fotodegradasi ZnO yang didoping logam transisi (Turkyilmaz <i>et. al.</i> , 2017) .....	5
Gambar 2. Struktur Metilen Biru (Sanada dkk, 2014).....	8
Gambar 3. Pola XRD ZnO sintesis dan ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Uma <i>et. al.</i> , 2020). .....	10
Gambar 4. Hasil SEM: (a) Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (b) ZnO (Alver <i>et. al.</i> , 2019).....	11
Gambar 5. Serbuk ZnO hasil sintesis.....	20
Gambar 6. Serbuk Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> hasil sintesis .....	21
Gambar 7. Hasil sintesis (a) <i>Gel</i> ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dan (b) Komposit ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	22
Gambar 8. Spektra XRD (a) ZnO (b) Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (c) ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1:0,5) .....	22
Gambar 9. Kurva UV-Vis DRS sampel (a) ZnO, (b) Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,(c) ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1:0,5), (d) ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1:1) dan (e) ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1:1,5).....	25
Gambar 10. Hasil SEM pada pembesaran 20.000×.....	27
Gambar 11. Kurva pH <sub>pzc</sub> komposit ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1:1) .....	28
Gambar 12. Kurva efektivitas penurunan konsentrasi pada variasi waktu kontak. 30	
Gambar 13. Kurva efektivitas penurunan konsentrasi pada variasi konsentrasi awal zat warna .....	31

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Karakteristik metilen biru (Sanada dkk, 2014).....	8
Tabel 2. Massa bahan pada sintesis ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	15
Tabel 3. Ukuran kristal komposit ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	23
Tabel 4. Nilai celah pita ( <i>band gap</i> ) hasil analisis UV-Vis DRS .....	25
Tabel 5. Hasil EDS perbesaran 2000× unsur-unsur penyusun ZnO dan komposit ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1:1).....	27
Tabel 6. Hasil TOC <i>analyzer</i> sampel metilen biru .....	33

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Prosedur Penelitian .....	42
Lampiran 2. Hasil Karakterisasi XRD ZnO .....	47
Lampiran 3. Hasil Karakterisasi XRD Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	49
Lampiran 4. Hasil Karakterisasi XRD Komposit ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1:05) .....	51
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi XRD Komposit ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1:1).....	53
Lampiran 6. Hasil Karakterisasi XRD Komposit ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1:1,5) .....	55
Lampiran 7. Hasil Karakterisasi UV-Vis DRS.....	57
Lampiran 8. Hasil Karakterisasi UV-Vis DRS Serbuk ZnO.....	59
Lampiran 9. Hasil Karakterisasi UV-Vis DRS Serbuk Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	61
Lampiran 10. Hasil Karakterisasi UV-Vis DRS Komposit ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1:0,5)....	63
Lampiran 11. Hasil Karakterisasi UV-Vis DRS Komposit ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1:1).....	65
Lampiran 12. Hasil Karakterisasi UV-Vis DRS Komposit ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1:1,5)....	67
Lampiran 13. Hasil Karakterisasi SEM-EDS ZnO.....	69
Lampiran 14. Hasil Karakterisasi SEM-EDS ZnO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1:1) .....	71
Lampiran 15. Penentuan pH <i>Point Zero Change</i> (pHpzc).....	73
Lampiran 16. Penentuan Panjang Gelombang Serapan Maksimum Metilen Biru.....	74
Lampiran 17. Kurva Kalibrasi Larutan Standar Metilen Biru.....	75
Lampiran 18. Penentuan Kondisi Terbaik Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru Menggunakan Terhadap Pengaruh Waktu Kontak .....	76
Lampiran 19. Penentuan Kondisi Terbaik Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru Terhadap Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan Metilen Biru.....	78
Lampiran 20. Kurva Kalibrasi Analisis TOC.....	80
Lampiran 21. Hasil Pengujian <i>Total Organic Carbon</i> (TOC) .....	81
Lampiran 22. Gambar Penelitian.....	82



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Zat warna sintetik banyak digunakan sebagai pewarna dalam berbagai jenis industri, salah satunya adalah industri tekstil. Industri tekstil tersebut menggunakan zat warna salah satunya adalah metilen biru. Metilen biru termasuk golongan kationik tiazin yang banyak digunakan karena harganya murah namun bersifat karsinogenik dan toksik. Zat warna metilen biru setelah selesai digunakan akan menjadi limbah dan biasanya dibuang ke lingkungan perairan secara langsung tanpa melewati pengolahan terlebih dahulu (Naa dkk, 2013). Metilen biru bersifat stabil sehingga sulit untuk terdegradasi secara alami di perairan dan dapat menjadi pencemar di lingkungan perairan (Malini dan Putri, 2014).

Beberapa teknik telah dilakukan untuk mengurangi permasalahan limbah zat warna di lingkungan perairan seperti biodegradasi, klorinasi dan ozonisasi. Ketiga metode tersebut dapat mengurangi permasalahan limbah zat warna dengan baik namun, memiliki kendala yaitu biaya operasional yang mahal. Salah satu alternatif lain untuk mengurangi limbah zat warna adalah dengan metode fotokatalis melalui reaksi fotodegradasi yang dapat mendegradasi zat warna menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana, metode ini lebih murah dan menggunakan bahan kimia yang lebih aman untuk lingkungan dan makhluk hidup (Mukti dkk, 2013).

Metode fotodegradasi biasanya memanfaatkan bahan semikonduktor seperti  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$  dan  $\text{CdS}$ . Bahan semikonduktor yang banyak dilakukan pengembangan saat ini adalah  $\text{ZnO}$  dan  $\text{TiO}_2$  sebagai material alternatif dalam fotokatalis.  $\text{ZnO}$  memiliki tingkat mobilitas elektron yang tinggi, stabil dalam suhu ruang, (Dini dan Wardhani, 2014), harganya murah, tidak berbahaya sehingga aman untuk lingkungan.  $\text{ZnO}$  memiliki beberapa kelemahan diantaranya memiliki celah pita energi yang lebar yaitu 3,37 eV dan memerlukan energi yang besar sehingga dapat mengurangi efektivitas saat fotodegradasi. Kelemahan  $\text{ZnO}$  tersebut memicu adanya modifikasi pada  $\text{ZnO}$ . Beberapa strategi diterapkan untuk mengatasi kelemahan dari  $\text{ZnO}$ , seperti doping dengan semikonduktor celah pita sempit, modifikasi dengan doping logam, dan pengembangan heterostruktur (Wu

*et. al.*, 2019). Doping ZnO dengan logam disarankan karena dapat menggeser daerah serapan sehingga cahaya yang diserap semakin banyak dan dapat memperkecil jarak celah pita energi (Durri dan Susanto, 2015).

Salah satu material yang dapat digunakan sebagai doping ZnO adalah oksida logam Fe, hal ini dikarenakan kelimpahan logam Fe di alam cukup banyak dengan jarak celah pita energi oksida logam Fe yang kecil (Maryani dkk, 2012). Pendopingan dapat dilakukan dengan menggunakan besi (III) oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) karena dapat menggeser daerah serapan ZnO (Fauriani dkk, 2019). Berdasarkan penelitian Kareem, (2014) menunjukkan bahwa degradasi metilen biru menggunakan ZnO semakin besar dengan penambahan doping  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Berdasarkan hal tersebut maka penelitian ini dilakukan dengan memodifikasi material semikonduktor ZnO yang didoping dengan besi (III) oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) untuk diaplikasikan pada fotodegradasi zat warna metilen biru. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa variabel diantaranya adalah variasi doping  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , pengaruh  $\text{pH}_{\text{pzc}}$ , variasi waktu kontak dan variasi konsentrasi awal zat warna metilen biru. Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi dengan menggunakan instrumen XRD untuk menganalisis struktur, jenis fasa, dan ukuran kristal, penentuan celah pita dengan menggunakan instrumen UV-Vis DRS serta analisis SEM-EDS untuk mengetahui morfologi dan unsur penyusun material, sedangkan hasil fotodegradasi zat warna metilen biru dilakukan pengujian kuantitatif dengan menggunakan TOC *analyzer*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Berapa rasio terbaik ZnO berbanding  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pada komposit ZnO- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  berdasarkan hasil karakterisasi instrumen XRD, UV-Vis DRS, dan SEM-EDS?
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu kontak dan konsentrasi awal zat warna terhadap fotodegradasi zat warna metilen biru?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Menentukan rasio terbaik ZnO berbanding Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada komposit ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> berdasarkan hasil karakterisasi instrumen XRD, UV-Vis DRS, dan SEM-EDS.
2. Menentukan pengaruh variasi waktu kontak dan konsentrasi awal zat warna terhadap fotodegradasi zat warna metilen biru.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang sintesis komposit ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan aplikasinya dalam pengolahan limbah zat warna metilen biru.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, R., Zakir, M dan Fauziah, S. 2020. Pembuatan dan Modifikasi Karbon Aktif Pelepah Kelapa Sawit (*Cocos Nucifera L.*) Sebagai Adsorben Metilen Biru. *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*. 3(2): 1-10.
- Aji, W. P., Priyotomo, R., Sugihartono, I., Handoko, E., Soegijono, B., dan Hikam, M. 2013. Pengaruh Suhu Tumbuh Terhadap Struktur Kristal Lapisan Tipis ZnO 0.02 mol. *Seminar Fisika Nasionaonal*: Universitas Negeri Jakarta.
- Alver, U., Tascioglu, M. E., Aslan, M., Yazgan, A., Kaya, H., Duran, C., Cuvalci, H and Bilgin, S. 2019. Optical and Dielectric Properties of PMMA/ $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZnO Nanocomposit Films. *Journal of Inorganic and Organomettallic Polymers and Materials*. 1(1): 1-9.
- Amri, M., Dan Uromo, M. P. 2017. Preparasi dan Karakterisasi Komposit ZnO-Zeolit untuk Foodegradasi Zat Warna Congo Red. *Jurnal Kimia Dasar*. 6(2): 29-36.
- Andari, N., D dan Whardani, S. 2014. Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Zeolit untuk Degradasi Metilen Biru. *Chem. Prog*. 7(1). 9-14.
- Arsita, Y dan Astuti, 2016. Sintesis Komposit TiO<sub>2</sub>/Karbon Aktif Berbasis Bambu Betung (*Dendrocalamus Asper*) dengan Menggunakan Metode Solid State Reaction. *Jurnal Fisika Unand*. 5(3). 268-272.
- Aydin, C., Benhaliliba, M., Al-Gmandi, A., Gafer, Z., H., El-Thantawi, F and Yakuphanoglu, F. 2013. Determination of Optical Band Gap of ZnO:ZnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Composite Semiconductor Nanopowder Materials by Optical Reflectance Methode. *J Electroceram*. 31(1). 265-270. .
- Baunsele, A. B., dan Massa, H. 2020. Kajian Kinetika Adsopsi Metilen Biru Menggunakan Adsorben Sabut Kelapa. *Akta Kimindo*. 5(2). 76-85.
- Bere, L. M., Sibarani, J dan Manurung, M. 2018. Sintesis Nanopartikel Perak (NPAg) Menggunakan Ekstrak Air Daun Kemangi (*Ocimum Sanctum Linn*) dan Aplikasinya dalam Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru. *Cakra Kimia Indonesia E-Journal of Applied Chemistry*. 7(2):155-164.
- Budiman, S., Suryasaputra, D., dan Ristiani, D. 2014. Fotodegradasi Zar Warna Tekstil dengan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK)*: Universitas Jendral Achmad Yani.
- Davis, K., Yarbrought, R., Froeschle, M., White, J., and Rathnayake, H. 2019. Band Gap Engineered Zinc Oxide Nanostructures Via a Sol-gel Synthesis of

- Solvent Driven Shape-Controlled Crystal Growth. *RSC. Adv.* 9: 14638-14648.
- Dewi, S. F. 2019. Degradasi Metilen Biru Menggunakan  $MnFe_2O_4$  yang Dicoating PEG-4000. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam: Universitas Sriwijaya.
- Dewi, S. H., dan Ridwan. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel  $Fe_3O_4$  Magnetik untuk Adsorpsi Kromium Heksavalen. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 13(2). 136-140.
- Dini, E. W. P., dan Wardhani, S. 2014. Degradasi Metilen Biru Menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit. *Chem. Prog.* 7(1). 29-33.
- Djuma, A. W., dan Talaen, M. S. 2014. The Analysis of Chloride in Argentometry on Dig Well Water in Kupang Regency of Kupang Tengah District Oebelo Village in 2014. *Jurnal Info Kesehatan*. 14(2). 1083-1090.
- Durri, S., dan Sutanto, H. 2015. Karakterisasi Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO Doping Al yang di Deposisi Diatas Kaca dengan Metode Sol-Gel Teknik Spray-Coating. *Jurnal Fisika Indonesia*. 55(19): 38-40.
- Fauriani, R., Aritonang, A. B., dan Harlia. 2019. Sintesis dan Karakterisasi  $TiO_2/Ti$  Terdoping Fe (III) Menggunakan Metode Anodisasi In-Situ. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*. 8(2): 73-81.
- Gelyaman, G. J., dan Edi, E. 2020. Karakterisasi Komposit Mineral Mud Vulcano Desa Napan Kawasan Perbatasan Republik Indonesia-Republic Democratic Timor Leste dan Potensi Pemanfaatannya. *Chimica et Natura Acta*. 8(2). 58-67.
- Jamaluddin, Nugraha, S.T., Maria, dan Umar, E. P. 2018. Prediksi Total Organik Carbon (TOC) Menggunakan Regresi Multilinier dengan Pendekatan Data Well Log. *Jurnal Geoelebes*. 2(1). 1-5.
- Kaloari, R. M., Setiawa, A., Wardani, N. K., dan Subaer. 2016. Sintesis dan Karakterisasi Nanokatalis  $\alpha-Fe_2O_3$  dengan Bahan Penyangga Mesopori  $SiO_2$ . *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng dan DIY*: Yogyakarta.
- Kareem, S. H., Ali, I. H., and Jalhoom, M. G. 2014. Synthesis and Characterization of Organic Functionalized Mesoporous Silica and Evaluate their Adsorptive Behavior for Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution. *American Journal of Environmental Science*. 10(1): 46-60.
- Karim, S., Pardoyo dan Subagiyo, A. 2016. Sintesis dan Karakterisasi  $TiO_2$  Terdoping Nitrogen (N-Doped  $TiO_2$ ) dengan Metode Sol-Gel. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 19(2): 63-67.

- Lestari, D., Sunarto, W., dan Susatyo. E. B. 2012. Preparasi Nanokomposit ZnO/TiO<sub>2</sub> dengan Sonokimia serta Uji Aktivitasnya untuk Fotodegradasi Fenol. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 1(1): 7-12.
- Li and Chu, D. 2018. Energy Band Engineering of Metal Oxide for Enhanced Visible Light Absorption. *Multifunctional Photocatalytic Materials for Energy*. 50-78.
- Malini, F. A., dan Putri, E. M. M. 2014. Kinetika Oksidasi Fotokatalitik Metilen Biru dengan Katalis Semikonduktor TiO<sub>2</sub>. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. 2(1): 1-7.
- Maryani, D., Gunawan, dan Khabibi. 2012. Penentuan Efisiensi DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell) yang Dibuat dari Semikonduktor ZnO yang Diemban Fe<sup>3+</sup> Melalui Metode Presipitasi. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 15(1): 29-35.
- Mikrianto, E., Wulandari, R., Ariyani, D dan Fitriana, K. 2019. Penambahan Variasi rasio Volume Polietilena Glikol (PEG) pada Ekstraksi dan Sintesis Senyawa Hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dari Bijih Besi Desa Pernalongan Menggunakan Metode Presipitasi. *Prosiding Seminar Nasional Kimia: Kalimantan Selatan*.
- Muchid, M. A., Prasetya, N. B. A., dan Khabibi. 2013. Sintesis dan Aplikasi Komposit ZnO-Karbon Aktif untuk Fotodegradasi Direct Blue 3R serta Fotoreduksi Ion Logam Pb. *Chem Info*. 1(1): 345–354.
- Mukti, K. H., Hastiawan, I., Rakhmawaty, D., dan Noviyanti, A. R. 2013. Preparasi Fotokatalisis Barium Titanat TerProtonasi (HBBT) untuk Fotodegradasi Metilen Biru. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir: Bandung*.
- Naa, O., Solihudin, dan Lubis, R. A. 2013. Sintesis Komposit ZnO/Magadiit untuk Fotokatalis Zat Warna Metilen Biru dan Metil Oranye. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir: Bandung*.
- Ningsih, S. K. W., Khair, M., dan Veronita, S. 2021. Synthesis and Characterization of ZnO Nanoparticles Using Sol-Gel Method. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 10(1): 59-67.
- Ningsih, S. K. W, Nizar, U. K., dan Novitria, U. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO Doped Cu<sup>2+</sup> Melalui Metode Sol Gel. *Eksakta*. 18(2): 39-50.
- Novarini, E dan Wahyudi, T. 2011. Sintesis Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) Menggunakan Surfaktan Sebagai Stabilisator dan Aplikasinya pada Pembuatan Tekstil Anti Bakteri. *Arena Tekstil*. 26(2). 61-120.

- Nuayi, A. W. 2017. Sintesis Nanopartikel Besi (III) Oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dengan Menggunakan Salt-Assisted Combustion Method (SACM). *Jurnal Entropi*. 12(1): 1-6.
- Nurbayasari, R., Saridewi, N., dan Shofwatunnisa. 2017. Biosintesis dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO dengan Ekstrak Rumput Laut Hijau *Caulerpa* sp. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjja Mada*. 19(1): 17-28.
- Oktaviani, Z. P., dan Haris, A. 2016. Sintesis ZnO-SiO<sub>2</sub> dan Aplikasinya pada Fotokatalisis Degradasi Limbah Organik Fenol dan Penurunan Kadar Cd (II) Secara Simultan. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* . 19(2): 45-49.
- Olimpiani, I., dan Astuti, 2016. Efek Doping Senyawa Alkali Terhadap Celah Pita Energi Nanopartikel ZnO. *Jurnal Fisika Unand*. 5(2): 115-121.
- Prasetyo, A. B., Prasetyo, P dan Matahari, I. 2014. Pembuatan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dari Hasil Pengolahan Bijih Besi Primer Jenis Hematit untuk Bahan Baku Baterai Lithium. *Majalah Metalurgi*. 5(1). 179-190.
- Pratiwi, E., Harlia, Aritonang, A. B. 2020. Sintesis TiO<sub>2</sub> terdoping  $\text{Fe}^{3+}$  untuk Degradasi Rhodamin B Secara Fotokatalisis dengan Bantuan Sinar Tampak. *Positro*. 10(1): 57-63.
- Qosim, N., Murdanto, P., dan Puspitasari, P. 2018. Analisis Sifat Fisik dan Kompresibilitas Nanopowder Zinc Oxide (ZnO) Sebagai Alternatif Material Amalgam. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 9(1): 9-14.
- Raganata, T. C., Aritonang, H., dan Suryanto, E. 2019. Sintesis Fotokatalisis Nanopartikel ZnO untuk Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue. *Chem. Prog*. 12(2): 54-58.
- Rahmawati, Fadly, T. A dan Harmawan, T. 2019. Karakteristik Energi Gap (Eg) Komposit ZnO/Karbon Aktif dari Tandan Sawit (*Elaeis Guinesis* Jack) untuk Aplikasi Sel Surya. *Jurnal Fisika*. 9(2): 60-68.
- Rahmawati, R., dan Suhendar, D. 2014. Sintesis Nanokomposit  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$  untuk Adsorpsi Logam Cr (VI). *Edisi Juli*. 8(1). 117-128.
- Rosanti, A. D., Wardani, A. R. K., dan Latifah, E., U. 2020. Pengaruh Variasi Konsentrasi Urea Terhadap Fotoaktivitas Material Fotokatalis N/TiO<sub>2</sub> untuk Penjernihan Limbah Batik Tenun Ikat Kediri. *Jurnal Kimia Riset*. 5(1). 55-66.
- Sa'adah, N., Hastuti, R., dan Prasetya, N. B. A. 2013. Pengaruh Asam Formiat pada Bulu Ayam Sebagai Adsorben Terhadap Penurunan Kadar Larutan Zat Warna Tekstil Remazol Golden Yellow RNL. *Chem Info*. 1(1). 202-209.

- Sanada, R. A., Moersidik, S. S., dan Suwartha, N. 2014. Adsorpsi Zat Warna Kationik (Methylene Blue) Menggunakan Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Batu Bara serta Efisiensi Regenerasinya. *Program Studi teknik Lingkungan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik*. Universitas Indonesia.
- Sari, A. P. 2018. Identifikasi Potensi Bahaya Terhadap Adanya Konsentrasi Benzene, Toluene, Ethylbenzen dan Xylene (BTEX) pada Tanah di Sekitar SPBU Kota Yogyakarta. *Skripsi*. Univeritas Islam Indonesia: Yogyakarta.
- Sari, R. N., Irianto, H. E., dan Ayudiarti, D. L. 2019. Penggunaan Oven Microwave untuk Mensintesis Nanopartikel ZnO Menggunakan Ekstrak *Surgassum* sp. dan *Padina* sp. *JPHPI*. 22(2). 375-390.
- Sathya, B., Porkalai, V., Anburaj, D., and Nedunchezian, G. 2017. Low Temperature Ferromagnetism and Optical Properties of Fe Doped ZnO Nanoparticles Synthesized by Sol-Gel Method. *Mechanics, Materials Science & Engineering Journal*. 9(1): 1-7.
- Septiani, U., Bella, I dan Syukri. 2014. Pembuatan dan Karakterisasi Katalis ZnO/Karbon Aktif dengan Metode Solid State dan Uji Aktivitas Katalitiknya pada Degradasi Rhodamin B. *J. Ris. Kim*. 7(2). 180-185.
- Setiawan, Y., Mahatmanti, F., W., dan Harjono. 2018. Preparasi dan Karakterisasi Nanozeolit dan Zeolit Alam Gunungkidul dengan Metode Top-Down. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 7(1). 43-49.
- Setyaningtyas, T., dan Dwiasi, D. W. 2012. Degradasi Zat Warna Azo Tetrazin pada Limbah Cair Mie dengan Metode AOPs (*Advanced Oxidation Processes*). *Molekul*. 7(2). 153-162.
- Sudiarti, T., Delilah, G. G. A., dan Aziz, R. 2018. Besi dalam Al Qur'an dan Sains Kimia Analisis Teoritis dan Praktis Mengenai Besi dan Upaya Mengatasi Korosi pada Besi. *Al-Kimiya*. 5(1): 7-16.
- Sugiana, D dan Soenoko, B. 2017. Identifikasi Mekanisme Fotokatalitik pada Degradasi Zat Warna Azo Reactive Black 5 Menggunakan Katalis Mikropartikel TiO<sub>2</sub>. *Arena Tekstil*. 31(2). 115-124.
- Sukarta, I. N., Ayuni, N. S. P., Sastrawidana, I. D. K., Sudiana, I. K., Eka, P. S. A. P. 2019. Degradasi Zat Warna Rhemazol Blue Secara Fotokatalitik Menggunakan Komposit TiO<sub>2</sub>-Batu Apung Sebagai Fotokatalis. *Jurnal Matematika, Sains dan Pembelajarannya*. 13(2). 1-13.
- Sutanto, H., Nurhasanah, I., Hidayanto, E., dan Arifi, Z. 2013. Deposisi Lapisan Tipis Fotokatalisis Seng Oksida (ZnO) Berukuran Nano dengan Teknik Penyemprotan dan Aplikasinya untuk Pendegradasi Pewarna Methylene Blue. *Jurnal Fisika*. 3(1): 69-75.



- Turkyilmaz, S. S., Guy, N., and Ozacar, M. 2017. Photocatalytic Efficiencies of Ni, Mn, Fe and Ag Doped ZnO Nanostructures Synthesized by Hydrothermal Method: The Synergistic/Antagonistic Effect Between ZnO and Metals. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 341:1-41.
- Uma, K., Muniranthinam, E., Chong, S., Yang, T. C. K., and Lin, J. H. 2020. Fabrication of Hybrid ZnO Nanorod/ $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composites for Hydrogen Evolution Reaction. *Crystal*. 356(10): 1-12.
- Utami, A. R., dan Wulandari, C. N. K. 2020. Verifikasi Metode Pengujian Total Organik Carbon (TOC) dalam Air Limbah Kegiatan Minyak dan Gas dengan Menggunakan TOC Analyzer. *Prosiding Seminar Nasional Kimia (SNK)*: Surabaya.
- Wardiyati, S., Fisli, A., dan Ridwan. 2011. Penyerapan Logam Ni dalam Larutan oleh Nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Karbon Aktif. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 12(3). 224-228.
- Widihati, I. A. G., Diantariani, N. P., dan Nikmah, Y. F. 2011. Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar UV dan Katalis Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Jurnal Kimia*. 5(1): 31-42.
- Wijaya, R. F., dan Sugiarto, R. 2015. Analisis Pengaruh Ion Zn (II) pada Penentuan Fe<sup>3+</sup> dengan Pengompleks 1,10-Fenantrolin pada pH Optimum Menggunakan Spektrofotometer UV-VIS. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 4(2): 49-51.
- Wismayanti, D. A., Diantariani, N. P., dan Santi, S. R. 2015. Pembuatan Komposit ZnO-Arang Aktif sebagai Fotokatalisis untuk Mendegradasi Zat Warna Metilen Biru. *Jurnal Kimia*. 9(1): 109-116.
- Wu, T., Wang, A., Zheng, L., Tu, Q., Lv, B., Liu, Z., Wu, Z., and Wang, Y. 2019. Evolution of Native Defect in ZnO Nanorods Irradiated with Hydrogen Ion. *Scientific Reports*. 9: 1-11.
- Zaida, A. S. 2018. Penentuan Konsentrasi dan Waktu Kontak Optimum TiO<sub>2</sub>-Karbon Aktif dalam Mendegradasi Zat Warna Rhodamin B. *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin: Makassar.