

**SINTESIS KOMPOSIT NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/KITOSAN-GLUTARALDEHID/TiO<sub>2</sub>  
UNTUK DEGRADASI FOTOKATALITIK ZAT WARNA METILEN BIRU**

**SKRIPSI**

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



**RAJIB MULIA HAKIKI**

**08031281924023**

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

**2023**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**SINTESIS KOMPOSIT NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/KITOSAN-GLUTARALDEHID/TiO<sub>2</sub>  
UNTUK DEGRADASI FOTOKATALITIK ZAT WARNA METILEN BIRU**

**SKRIPSI**

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

**oleh:**

**RAJIB MULIA HAKIKI**

**08031281924023**

**Indralaya, 29 Maret 2023**

**Mengetahui,**

**Pembimbing I**



**Prof. Dr. Poedji Loekitowati H., M.Si.**

**NIP. 196808271994022001**

**Pembimbing II**



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

**NIP. 197111191997021001**

**Dekan FMIPA**



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

**NIP. 197111191997021001**

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Rajib Mulia Hakiki (08031281924023) dengan judul “Sintesis Komposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Kitosan-Glutaraldehyd/TiO<sub>2</sub> Untuk Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Metilen Biru” telah disidangkan di hadapan Tim Penguji Sidang Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 28 Maret 2023 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 29 Maret 2023

Ketua :

**1. Dr. Ferlinahayati, M.Si.**

NIP. 197402052000032001

(  )

Pembimbing:

**1. Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si.**

NIP. 196808271994022001

(  )

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

NIP. 197111191997021001

(  )

Penguji:

**1. Nova Yuliasari, M.Si.**

NIP. 197307261999032001

(  )

**2. Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si.**

NIP. 197211092000032001

(  )

Mengetahui,

Dekan FMIPA


**Prof. 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 : Rajib Mulia Hakiki

NIM : 08031281924023

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, 29 Maret 2023  
Penulis



Rajib Mulia Hakiki  
NIM. 08031281924023

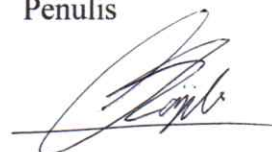
## HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Rajib Mulia Hakiki  
NIM : 08031281924023  
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “hak bebas royalti non-eksklusif (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : “Sintesis Komposit  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ /Kitosan-Glutaraldehyd/ $\text{TiO}_2$  Untuk Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Metilen Biru”. Dengan hak bebas royalti non eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, 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.

Indralaya, 29 Maret 2023  
Penulis



Rajib Mulia Hakiki  
NIM. 08031281924023

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Maka Maha Tinggi Allah Raja yang sebenar-benarnya, dan janganlah kamu tergesa-gesa membaca Al-Qur'an sebelum selesai diwahyukan kepadamu, dan katakanlah, "Ya Tuhanku, tambahkanlah ilmu kepadaku".

**(QS. Thaha/20:114)**

Barangsiapa yang menginginkan dunia hendaklah ia menguasai ilmu, barangsiapa yang menginginkan akhirat hendaklah ia menguasai ilmu, dan barangsiapa yang menginginkan keduanya (dunia dan akhirat) hendaklah ia menguasai ilmu.

**(HR. Ahmad)**

Jika pengetahuan anda mau ditambah oleh Allah, mudah dalam belajar, kuat dalam ingatan, tingkatkan takwamu kepada Allah maka Allah akan ajarkan anda pengetahuan (ilmu).

**(Ustadz Dr. Adi Hidayat, Lc., M.A.)**

Tujuan pendidikan adalah untuk menggantikan pikiran kita dari yang sebelumnya kosong (tidak tahu) menjadi lebih terbuka.

**(Malcolm Forbes)**

Saya persembahkan skripsi ini kepada :

1. Ayah, bunda, dan kakak-kakak yang saya hormati yang selalu mendoakan dan menuntun saya ke jalan yang benar.
2. Dosen pembimbing saya, Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si. dan Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.
3. Keluarga besar, saudara, dan teman-teman saya yang saya sayangi.
4. Kampus tercinta, Universitas Sriwijaya.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan karya tulis ilmiah berupa skripsi yang berjudul “Sintesis Komposit  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ /Kitosan-Glutaraldehyd/ $\text{TiO}_2$  Untuk Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Metilen Biru”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu **Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si.** dan Bapak **Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.** yang telah membimbing penulis selama penelitian dan penulisan skripsi sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Keluarga penulis terutama kedua orang tua dan saudara penulis yang paling berperan penting dalam memotivasi penulis selama penelitian dan penulisan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya sekaligus Dosen Pembimbing Akademik Jurusan Kimia 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. Ibu Dr. Ferlinahayati, M.Si., Ibu Nova Yuliasari, M.Si., dan Ibu Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si. selaku ketua dan dosen penguji sidang sarjana penulis.
6. Seluruh Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah membagikan ilmu selama masa perkuliahan.
7. Analis Laboratorium Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya (Yuk Niar, Yuk Nur, dan Yuk Yanti).
8. Kak Chosiin dan Mbak Novi selaku admin Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.

9. Keluarga ‘Anak Bufer’ Bang Hanif a.k.a. Lord Gaek, Fitria a.k.a. Piti Bukan Duit, Bella a.k.a. Tante Bella, Indah a.k.a. Cunik, Annash a.k.a. Nanashh, Sari a.k.a. Sarimi Isi 2, dan Vania a.k.a. Niak bangun Niakkk. Terima kasih banyak telah menemani penulis di kala senang dan susah selama masa perkuliahan.
10. Adik-adik asisten teknik pemisahan dan elektrometri tahun ajaran 2023, shinta, alifia, adihyaksa dll. Semangat melanjutkan menjadi asisten praktikum lab analisa, *Minna, ganbatte kudasai!*
11. Teman-teman seperjuangan Kimia 2019, terima kasih telah kebersamaan penulis selama 4 tahun kuliah. *You guys are the best! May God bless us, aamiin.*

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan masukan yang membangun dari para pembaca. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang membacanya.

Indralaya, 29 Maret 2023

Penulis



## SUMMARY

### **SYNTHESIS OF NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/CHITOSAN-GLUTARALDEHID/TiO<sub>2</sub> COMPOSITES FOR PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF METHYLENE BLUE DYE**

Rajib Mulia Hakiki: Supervised by Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si. and Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University.

xvi + 71 pages, 14 pictures, 2 tables, 14 appendixes.

TiO<sub>2</sub> is a semiconductor material as a catalyst to degrade pollutants. The advantages of TiO<sub>2</sub> as a catalyst are non-toxic, non-corrosive, and easy to obtain. On the other hand, TiO<sub>2</sub> is easily dissolved in many solvents. Therefore, it needs to be doped with NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and coated with chitosan-glutaraldehyde to obtain a NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/chitosan-glutaraldehyde/TiO<sub>2</sub> composite. The synthesized composite was used to reduce the concentration of methylene blue solution. The synthesized NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/chitosan-glutaraldehyde/TiO<sub>2</sub> composite was characterized by XRD, SEM-EDS, VSM, and UV-Vis DRS methods. The pH<sub>pzc</sub> value of the NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/chitosan-glutaraldehyde/TiO<sub>2</sub> composite was determined in the pH ranging from 2-11.6. There were several photodegradation variable used in this study, such as pH, concentration, and irradiation time. The XRD analysis of the NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/chitosan-glutaraldehyde/TiO<sub>2</sub> composite showed the highest 2θ peak for NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> crystals at 35.74° and TiO<sub>2</sub> at 48.09° with a crystal size of 28.76 nm for NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and for TiO<sub>2</sub> of 92.55 nm. SEM-EDS showed a homogeneous morphological structure with constituent elements consisting of Ni (12.58%), Fe (38.29%), O (34.17%), C (6.54%), N (0.58%), and Ti (5.98%). The VSM characterization showed a saturation magnetization value of 44.35 emu/g. The NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/chitosan-glutaraldehyde/TiO<sub>2</sub> composite had a band gap value of 1.78 eV from the UV-Vis DRS analysis. The pH<sub>pzc</sub> value of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/chitosan-glutaraldehyde/TiO<sub>2</sub> composite was obtained at pH 8.315. The optimum conditions for reducing the concentration of methylene blue solution by the NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/chitosan-glutaraldehyde/TiO<sub>2</sub> composite was at pH 10 with a concentration of 5 mg/L, and visible light irradiation time of 75 minutes. TOC analysis results for methylene blue solution before degradation contained 18.071 ppm of carbon and 3.317 ppm after degradation. This showed that the percentage of effectiveness in reducing carbon in methylene blue solution was 81.645%.

Keywords : photodegradation, composite, NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/chitosan-glutaraldehyde/TiO<sub>2</sub>, methylene blue

Citation : 52 (2007 -2022)

## RINGKASAN

### SINTESIS KOMPOSIT NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/KITOSAN-GLUTARALDEHID/TiO<sub>2</sub> UNTUK DEGRADASI FOTOKATALITIK ZAT WARNA METILEN BIRU

Rajib Mulia Hakiki: Dibimbing oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si. dan Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.

xvi + 71 halaman, 14 gambar, 2 tabel, 14 lampiran.

TiO<sub>2</sub> merupakan bahan semikonduktor yang berfungsi sebagai katalis untuk mendegradasi polutan atau bahan pencemar. Kelebihan TiO<sub>2</sub> sebagai katalis adalah tidak beracun, tidak korosif, dan mudah diperoleh. TiO<sub>2</sub> mudah mengalami efek *dissolution* sehingga perlu didoping NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dan *dicoating* dengan kitosan-glutaraldehyd sehingga diperoleh komposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/kitosan-glutaraldehyd/TiO<sub>2</sub>. Komposit hasil sintesis kemudian diaplikasikan untuk menurunkan konsentrasi larutan metilen biru. Komposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/kitosan-glutaraldehyd/TiO<sub>2</sub> hasil sintesis dikarakterisasi dengan metode XRD, SEM-EDS, VSM, dan UV-Vis DRS. Komposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/kitosan-glutaraldehyd/TiO<sub>2</sub> ditentukan nilai pH<sub>pzc</sub> nya pada rentang pH 2-11,6. Variabel fotodegradasi meliputi pH, konsentrasi, dan waktu penyinaran. Hasil analisis XRD komposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/kitosan-glutaraldehyd/TiO<sub>2</sub> menunjukkan puncak  $2\theta$  tertinggi untuk kristal NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> pada 35,74° dan TiO<sub>2</sub> pada 48,09° dengan ukuran kristal NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> sebesar 28,76 nm dan TiO<sub>2</sub> sebesar 92,55 nm. Hasil SEM-EDS menunjukkan struktur morfologi yang homogen dengan unsur penyusun yang terdiri dari Ni (12,58%), Fe (38,29%), O (34,17%), C (6,54%), N (0,58%), dan Ti (5,98%). Hasil karakterisasi VSM menunjukkan nilai magnetisasi saturasi sebesar 44,35 emu/g. Komposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/kitosan-glutaraldehyd/TiO<sub>2</sub> memiliki nilai *band gap* sebesar 1,78 eV dari hasil analisis UV-Vis DRS. Nilai pH<sub>pzc</sub> NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/kitosan-glutaraldehyd/TiO<sub>2</sub> diperoleh pada pH 8,315. Kondisi optimum penurunan konsentrasi larutan metilen biru oleh komposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/kitosan-glutaraldehyd/TiO<sub>2</sub> berada pada pH 10 dengan konsentrasi 5 mg/L dan waktu penyinaran sinar visibel selama 75 menit. Hasil analisis TOC untuk larutan metilen biru sebelum degradasi mengandung karbon sebesar 18,071 ppm dan setelah degradasi sebesar 3,317 ppm. Hal ini menunjukkan persentase efektivitas penurunan karbon pada larutan metilen biru sebesar 81,645%.

Kata kunci : fotodegradasi, komposit, NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/kitosan-glutaraldehyd/TiO<sub>2</sub>, metilen biru

Kutipan : 52 (2007-2022)

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</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 .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Limbah Industri Tekstil .....	4
2.2 Zat Warna Azo.....	4
2.2.1 Metilen Biru .....	5
2.3 Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /TiO <sub>2</sub> .....	6
2.4 Kitosan-Glutaraldehyd .....	7
2.5 Fotokatalitik .....	8
2.6 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	9
2.7 <i>UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)</i> .....	10
2.8 <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)</i> 10	
2.9 <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i> .....	11

2.10 <i>Total Organic Carbon</i> (TOC).....	12
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>13</b>
3.1 Waktu dan Tempat.....	13
3.2 Alat dan Bahan .....	13
3.2.1 Alat .....	13
3.2.2 Bahan .....	13
3.3 Prosedur Penelitian.....	14
3.3.1 Sintesis Nanomagnetik NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	14
3.3.2 Sintesis Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd .....	14
3.3.3 Sintesis Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd/TiO <sub>2</sub> .....	15
3.3.4 Karakterisasi Material .....	15
3.3.4.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	15
3.3.4.2 <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS) .....	15
3.3.4.3 <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM).....	16
3.3.4.4 <i>UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-Vis DRS) .....	16
3.3.4.5 Penentuan pH <sub>pzc</sub> ( <i>Point Zero Charge</i> ).....	16
3.3.5 Penentuan Konsentrasi Zat Warna.....	17
3.3.5.1 Pembuatan Larutan Induk Metilen Biru 1000 ppm .....	17
3.3.5.2 Penentuan Kurva Kalibrasi Metilen Biru.....	17
3.3.6 Penentuan Kondisi Optimum Efektivitas Penurunan Konsentrasi Zat Warna Metilen Biru.....	17
3.3.6.1 Pengaruh Variasi pH .....	17
3.3.6.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi .....	18
3.3.6.3 Pengaruh Variasi Waktu Penyinaran .....	18
3.4 Analisis Data .....	19
3.4.1 Analisis <i>Total Organic Carbon</i> (TOC).....	19
3.4.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	19
3.4.3 <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS).....	19
3.4.4 <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM).....	19
3.4.5 <i>UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-Vis DRS).....	20
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>21</b>

4.1 Hasil Sintesis Nanomagnetik NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	21
4.2 Hasil Sintesis Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd.....	21
4.3 Hasil Sintesis Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd/TiO <sub>2</sub> .....	22
4.4 Hasil Karakterisasi Material NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd, dan NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd/TiO <sub>2</sub> .....	23
4.4.1 Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	23
4.4.2 Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Scanning Electron Microscope</i> - <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS).....	24
4.4.3 Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM) .....	27
4.4.4 Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>UV-Vis Diffuse Reflectance</i> <i>Spectroscopy</i> (UV-Vis DRS).....	28
4.4.5 Nilai pH <i>Point of Zero Charge</i> (pHpzc) Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan- Glutaraldehyd/TiO <sub>2</sub> .....	30
4.5 Penentuan Kondisi Optimum Efektivitas Penurunan Konsentrasi Zat Warna Metylen Biru .....	31
4.5.1 Pengaruh pH.....	31
4.5.2 Pengaruh Konsentrasi Metylen Biru .....	32
4.5.3 Pengaruh Waktu Penyinaran.....	33
4.6 Hasil Analisis <i>Total Organic Carbon</i> (TOC) .....	35
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>36</b>
5.1 Kesimpulan.....	36
5.2 Saran .....	36
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>37</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>41</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>71</b>

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 1. Struktur Metilen Biru .....	6
Gambar 2. Struktur Kitosan .....	7
Gambar 3. NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Diuji dengan Magnet Permanen.....	21
Gambar 4. NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd Diuji dengan Magnet Permanen .....	22
Gambar 5. NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd/TiO <sub>2</sub> Diuji dengan Magnet Permanen.....	22
Gambar 6. Difraktogram NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd dan NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd/TiO <sub>2</sub> .....	23
Gambar 7. Morfologi Permukaan NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd, dan NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd/TiO <sub>2</sub> .....	25
Gambar 8. Pemetaan Morfologi Permukaan NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd /TiO <sub>2</sub> .....	26
Gambar 9. Kurva Histerisis NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd, dan NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd/TiO <sub>2</sub> .....	27
Gambar 10. Nilai <i>band gap</i> NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd, NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd/TiO <sub>2</sub> .....	29
Gambar 11. Kurva pH <sub>pzc</sub> NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd/TiO <sub>2</sub> .....	30
Gambar 12. Kurva Persentase Efektivitas Penurunan Konsentrasi MB Variasi pH.....	31
Gambar 13. Kurva Persentase Efektivitas Penurunan Konsentrasi MB Variasi Konsentrasi.....	32
Gambar 14. Kurva Persentase Efektivitas Penurunan Konsentrasi MB Variasi Waktu Penyinaran .....	34

## DAFTAR TABEL

### Halaman

Tabel 1. Unsur-Unsur Penyusun $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ , $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Glutaraldehyd}$ , dan $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Glutaraldehyd}/\text{TiO}_2$ .....	25
Tabel 2. Hasil Analisis TOC Metilen Biru Sebelum dan Sesudah Degradasi .....	35

## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian.....	42
Lampiran 2. Reaksi Pembentukan NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	45
Lampiran 3. Hasil Karakterisasi XRD Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd, dan NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd/TiO <sub>2</sub> .	46
Lampiran 4. Hasil Karakterisasi SEM-EDS DRS Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd, dan NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd/TiO <sub>2</sub> .	51
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi VSM Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd, dan NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd/TiO <sub>2</sub> .	55
Lampiran 6. Hasil Karakterisasi UV-Vis DRS Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd, dan NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd/TiO <sub>2</sub> .	56
Lampiran 7. Penentuan pH <i>Point of Zero Charge</i> (pHpzc) Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd/TiO <sub>2</sub> .....	59
Lampiran 8. Penentuan Panjang Gelombang Metilen Biru .....	60
Lampiran 9. Penentuan Kurva Kalibrasi Metilen Biru .....	61
Lampiran 10. Penentuan Kondisi Optimum Fotodegradasi Metilen Biru Menggunakan Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd/TiO <sub>2</sub> terhadap Variasi pH .....	62
Lampiran 11. Penentuan Kondisi Optimum Fotodegradasi Metilen Biru Menggunakan Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd/TiO <sub>2</sub> terhadap Variasi Konsentrasi.....	64
Lampiran 12. Penentuan Kondisi Optimum Fotodegradasi Metilen Biru Menggunakan Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Glutaraldehyd/TiO <sub>2</sub> terhadap Variasi Waktu Penyinaran .....	66
Lampiran 13. Gambar Hasil Degradasi.....	69
Lampiran 14. Hasil Analisis <i>Total Organic Carbon</i> (TOC).....	71



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kain industri yang terbuat dari cairan termasuk pigmen dari proses pewarnaan. Salah satu kontaminan yang dapat merusak ekosistem adalah pigmen yang tercipta (Sholikhah dan Fajriati, 2019). Pigmen golongan azo adalah salah satu jenis warna yang digunakan dalam bisnis tekstil. Pigmen azo umumnya memiliki rumus  $R-N=N-R'$ , di mana R dan R' mungkin merupakan senyawa kimia yang identik atau berbeda. Pigmen azo yang digunakan dalam bisnis tekstil adalah biru metilen. Zat aromatik heterosiklik kationik termasuk biru metilen. (Selfira dan Aini, 2021). *Methylene Blue* dapat memperburuk epidermis, sistem usus, dan paru-paru dan menyebabkan sianosis jika tertelan. Persentase pewarna metilen biru tertinggi yang diizinkan adalah 5 sampai 10 mg/L sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Kep-51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair (Hadayani dkk, 2015).

Salah satu teknik untuk menurunkan kandungan zat warna adalah pendekatan fotokatalitik. Teknik fotokatalitik memiliki pengulangan yang bagus, relatif murah, dan dapat menangani limbah cair dengan cepat. Proses fotokatalitik dilakukan dengan fotoinduksi senyawa katalitik oksida untuk memperoleh spesies pengoksidasi yang dapat menghancurkan zat berwarna. Dengan menyerap foton dengan energi yang sama atau lebih tinggi dari energi celah pita katalis, reaksi fotokatalitik dimulai. Katalis kemudian terionisasi melalui pemisahan muatan, yang dihasilkan dari promosi elektron dari pita valensi ke pita konduksi, menciptakan lubang ( $h^+$ ) di pita valensi. Anion radikal superoksida dibuat oleh elektron yang dihasilkan oleh  $O_2$ . Ion hidroksida atau molekul air dapat digunakan untuk memeriksa lubang di pita valensi untuk membuat radikal hidroksida. Hampir semua pigmen azo dapat dipecah oleh radikal superoksida dan hidroksida menjadi karbon dioksida dan oksigen sebagai produk sampingan (Sugiyana dan Notodarmojo, 2015).

Sebagai fotokatalis, bahan semikonduktor sekarang digunakan untuk mengubah rona benda.  $TiO_2$ ,  $ZnO$ , dan  $CdS$  merupakan contoh bahan semikonduktor yang sering digunakan sebagai fotokatalis (Ardiyanti dkk, 2019).

Zat semikonduktor yang paling sering digunakan untuk merusak pigmen zat adalah  $\text{TiO}_2$ . Manfaat  $\text{TiO}_2$  sebagai fotokatalis antara lain tidak beracun, tidak korosif, dan mudah diperoleh. Dalam pengolahan air limbah,  $\text{TiO}_2$  memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi dan pendispersi yang baik dalam bentuk bubuk namun sulit didaur ulang untuk pemakaian selanjutnya.  $\text{TiO}_2$  mudah mengalami efek dissolution, dimana  $\text{TiO}_2$  berukuran sangat kecil sehingga sulit dipisah dari larutan zat warna setelah didegradasi sehingga perlu didoping dengan  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  untuk mempermudah pemisahan  $\text{TiO}_2$  dari larutan zat warna setelah didegradasi (Rahmayeni *et al*, 2012).  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  bersifat magnetik sehingga dapat memberikan sifat magnetik pada  $\text{TiO}_2$ . Sifat magnetik pada  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  dapat mempermudah proses pemisahan  $\text{TiO}_2$  dari limbah hasil degradasi dan  $\text{TiO}_2$  dapat digunakan kembali untuk mendegradasi zat warna (*reuseable*).  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  juga dapat menurunkan nilai band gap  $\text{TiO}_2$  yang tinggi sehingga daerah kerja katalis  $\text{TiO}_2$  bergeser dari daerah UV ke cahaya tampak (Muflihatun dkk, 2015).

Penggunaan  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  pada  $\text{TiO}_2$  memiliki kelemahan, yaitu  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  mudah teroksidasi pada suasana basa. Oleh sebab itu, diperlukan *coating*  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  dengan kitosan-glutaraldehyd sehingga terbentuk *core-shell*, dimana  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  sebagai *core* dan  $\text{TiO}_2$  terdistribusi pada glutaraldehyd sebagai *shell*. Dengan demikian,  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  terlindungi oleh kitosan-glutaraldehyd dari proses oksidasi pada zat warna bersuasana basa. Kitosan merupakan zat yang tidak beracun dan mudah dibuat kompos, klaim Putri dkk (2018).

Pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ /kitosan-glutaraldehyd/ $\text{TiO}_2$ . Setelah pembuatan komposit  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ /kitosan-glutaraldehyd/ $\text{TiO}_2$ , komposit dianalisis menggunakan teknik XRD untuk memastikan kekuatan puncak, sudut difraksi, dan ukuran kristal. Nilai energi celah pita komposit  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ /kitosan-glutaraldehyd/ $\text{TiO}_2$  dihitung menggunakan UV-Vis DRS. Dengan menggunakan SEM-EDS, diperiksa bentuk dan susunan kimia komposit  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ /kitosan-glutaraldehyd/ $\text{TiO}_2$ . Untuk menghitung jumlah karbon yang ada dalam pigmen sebelum dan sesudah dekomposisi, Karbon Organik Total (TOC) digunakan untuk memeriksa karakteristik magnetik fotokatalis. Efek pH, dosis, dan durasi paparan adalah beberapa faktor fotokatalitik yang digunakan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana hasil sintesis dan karakterisasi komposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/kitosan-glutaraldehyd/TiO<sub>2</sub>?
2. Bagaimana kemampuan fotodegradasi komposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/kitosan-glutaraldehyd/TiO<sub>2</sub> terhadap zat warna metilen biru dengan variabel pH, konsentrasi, dan waktu penyinaran?
3. Bagaimana hasil penurunan karbon yang terkandung pada zat warna metilen biru yang dianalisis menggunakan *Total Organic Carbon* (TOC)?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Mensintesis komposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/kitosan-glutaraldehyd/TiO<sub>2</sub> menggunakan metode kopresipitasi dan mengkarakterisasi dengan menggunakan XRD, UV-DRS, SEM EDS, dan VSM.
2. Menentukan kemampuan fotodegradasi komposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/kitosan-glutaraldehyd/TiO<sub>2</sub> terhadap zat warna metilen biru dengan variabel pengaruh pH, konsentrasi, dan waktu penyinaran.
3. Menghitung jumlah penurunan karbon yang terkandung pada zat warna metilen biru yang dianalisis menggunakan *Total Organic Carbon* (TOC).

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat menambah pengetahuan kepada pembaca terhadap proses sintesis komposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/kitosan-glutaraldehyd/TiO<sub>2</sub>. Selain itu diharapkan penelitian ini dapat dikembangkan dan diaplikasikan pada pengolahan limbah cair yang mengandung zat warna metilen biru. Pembaca diharapkan mampu menguasai proses sintesis menggunakan metode kopresipitasi untuk mendegradasi zat warna metilen biru dari limbah cair industri.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. dan Khairurrijal. 2009. Review: Karakterisasi Material. *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*. 2(1): 1-9.
- Afrozi, A. S. dan Sudaryanto. 2016. Penambahan N pada TiO<sub>2</sub> dan Pengaruhnya pada Energi Band Gap TiO<sub>2</sub> Sebagai Bahan Pengolah Limbah. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir*. 59-64.
- Andari, N. D dan Wardhani, S. 2014. Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Zeolit Untuk Degradasi Metilen Biru. *Chemistry Progress*. 7(1): 9-14.
- Ardiyanti, H., Puspitarum, D. L., dan Maryana, O. F. T. 2019. Sintesis Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> Berbasis Limbah Ampas Tebu di Wilayah Bandar Lampung dengan Kombinasi Metode Kopersipitasi dan Sol-Gel Untuk Aplikasi Fotokatalis. *Jurnal Pendidikan Fisika*. 7(2): 203-211.
- Arlianti, L, dan Nurlatifah, I. 2018. Degradasi Elektrokimia Zat Pewarna Golongan Azo (Azo Dyes). *Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik UNISTEK*. 5(2): 23-29.
- Bakri, R. S. R. dan Titis, A. A. 2010. Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Direct Yellow dan Direct Violet dengan Katalis TiO<sub>2</sub>/AgI - Sinar UV. *Valensi*. 2(1): 319-324.
- Basuki, B. R. dan Sanjaya, I. G. M. 2009. Sintesis Ikatan Silang Kitosan dengan Glutaraldehyd serta Identifikasi Gugus Fungsi dan Derajat Deasetilasinya. *Jurnal ILMU DASAR*. 10(1): 93-101.
- Baunsele, A. B. dan Missa, H. 2020. Kajian Kinetika Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Adsorben Sabut Kelapa. *Akta Kimia Indonesia*. 5(2): 76-85.
- Christina, M., Mu'nisatun, S., Saptaaji, R., dan Marjanto, D. 2007. Studi Pendahuluan Mengenai Degradasi Zat Warna Azo (Metil Orange) dalam Pelarut Air Menggunakan Mesin Berkas Elektron 350 keV/10 mA. *Jurnal Forum Nuklir*. 1(1): 31-44.
- Dewi, H. P., Santoso, J., Trianda, N. F., dan Rodiansono. 2019. Synthesis and Characterization of Ag@C-TiO<sub>2</sub> Nanocomposite for Degradation of Sasirangan Textile Wastewater. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 22(6): 299-304.
- Dewi, S. H. dan Ridwan. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Magnetik Untuk Adsorpsi Kromium Heksavalen. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 13(2): 136-140.
- Diantariani, N. P., Suprihatin, I. E., dan Widihati, I. A. G. 2016. Fotodegradasi Zat Warna Tekstil Methylene Blue dan Congo Red Menggunakan Komposit ZnO-AA dan Sinar UV. *Jurnal Kimia*. 10(1): 133-140.
- Dini, E. W. P. dan Wardhani, S. 2014. Degradasi Metilen Biru Menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit. *Chemistry Progress*. 7(1): 29-33.

- Enrico. 2019. Dampak limbah Cair Industri Tekstil Terhadap Lingkungan dan Aplikasi Tehnik Eco Printing Sebagai Usaha Mengurangi Limbah. *MODA*. 1(1): 5-13.
- Ethica, S. N. 2018. *Bioremediasi Limbah Biomedik Cair*. Yogyakarta: Deepublish.
- Fajarwati, F. I. Sugiharto, E., dan Siswanta, D. 2016. Film of Chitosan-Carboxymethyl Cellulosepolyelectrolyte Complex as Metylene Blue Adsorbent. *Eksakta: Jurnal Ilmu-Ilmu MIPA*. 16(1): 36-45.
- Girao, A. V. and Caputo, G. 2017. Application of Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS). *Comprehensive Analytical Chemistry*. 75(6): 153-168.
- Hadayani, L. W., Riwayanti, I., dan Ratnani, R. D. 2015. Adsorpsi Pewarna Metilen Biru Menggunakan Senyawa Xanthat Pulpa Kopi. *Momentum*. 11(1): 19-23.
- Harahap, V. 2022. *Pembuatan Material Komposit BaFe<sub>12</sub>O<sub>9</sub>/ZnO Pada Bidang Radiologi*. Malang: Ahlimedia Press.
- Hariani, P. L., Said, M., Rachmat, A., Riyanti, F., Pratiwi, H. C., and Rizki, W. T. 2021. Preparation of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles by Solution Combustion Method as Photocatalyst of Congo Red. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*. 16(3): 481-490.
- Hastuti, B., Masyukur, A., dan Ifada, F. 2011. Modifikasi Kitosan Melalui Proses Swelling dan Crosslinking Menggunakan Glutaraldehyd Sebagai Pengadsorpsi Logan Cr (VI) pada Limbah Industri Batik. *Jurnal EKOSAINS*. 3(3): 14-21.
- Hung, D. Q. and Thanh, N. M. 2011. Preparation of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-TiO<sub>2</sub> Nanoparticles and Study of Their Photocatalytic Activity. *Journal of Science, Mathematic-Physics*. 27(2011): 204-211.
- Indriani, D., Fahyuan, H. D., dan Ngatijo. 2018. Uji UV-Vis Lapisan TiO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> untuk Menentukan Band Gap Energy. *Journal Online of Physics*. 3(2): 6-10.
- Kakame. D. Y. N., Wuntu, A. D., dan Koleangan, H. 2018. Degradasi dan Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue Menggunakan Komposit Ag-Tulang Ikan Terkalsinasi. *Chemistry Progress*. 11(2): 58-62.
- Kirupakar, B. R., Vishwanath, B. A., Sree, M. P., and Deenadayalan. 2016. Vibrating Sample Magnetometer and Its Application in Caracterization of Magnetic Property of The Anti Cancer Drug Magnetic Microspheres. *International Journal of Pharmaceutics and Drug Analysis*. 4(5): 227-233.
- Latifah, S., Ridho, R., dan Baiti, I. F. 2020. Imobilisasi Fotokatalis Komposit TiO<sub>2</sub>-Kitosan Sebagai Pendegradasi Zat Warna Remazol Yellow Fg. *Jurnal Crystal*. 2(1): 25-36.
- Listanti, A., Taufiq, A., Hidayat, A., dan Sunaryono, S. 2018. Investigasi Struktur & Energi Band Gap Partikel Nano TiO<sub>2</sub> Hasil Sintesis Menggunakan Metode Sol gel. *Journal of Physical Science and Engineering*. 3(1): 8-15.

- Luntungan, C. L., Aritonang, H. F., dan Kamu, V. S. 2019. Sintesis Nanopartikel Kobalt Ferrit ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ) Menggunakan Ekstrak Daun Binahong (*Anredera cordifolia* (Ten) Steenis) dan Aplikasinya Sebagai Antibakteri. *Chem.Prog.* 12(1): 33-38.
- Mahmuda, D., Sakinah, N., dan Suharyadi, E. 2014. Adsorpsi Logam Tembaga (Cu), Mangan (Mn) dan Nikel (Ni) dalam Artificial Limbah Cair dengan Menggunakan Nanopartikel Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). *Indonesian Journal of Applied Physics.* 4(2): 126-133.
- Missa, M. M. Y., Pingak, R. K., dan Sutaji, H. I. 2018. Penentuan Celah Energi Optik Ekstrak Daun Alpukat (*Persea Americana Mill*) Asal Desa Oinlasi Menggunakan Metode Tauc Plot. *Jurnal Fisika Sains dan Aplikasinya.* 3(1): 86-90.
- Muflihatun, Shofiah, S., dan Suharyadi, E. 2015. Sintesis Nanopartikel Nickel Ferrite ( $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ) dengan Metode Kopersipitasi dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya. *Jurnal Fisika Indonesia.* 19(55): 20-25.
- Naimah, S., Ardhanie, S. A., Jati, B. N., Aidha, N. N., dan Arianita, A. C. 2014. Degradasi Zat Warna pada Limbah Cair Industri Tekstil dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Nanokomposit  $\text{TiO}_2$ -Zeolit. *Jurnal Kimia dan Kemasan.* 36(2): 225-236.
- Nurmanjaya, A., Putra, S., dan Megasari, K. 2018. Degradasi Zat Warna Lithol dalam Medium Air dengan Radiasi Gamma. *Inovasi Teknik Kimia.* 3(1): 14-24.
- Parishani, M., Nadafan, M., Dehghani, Z., Malekfar, R., and Khorrami, G. H. H. 2017. Optical and Dielectric Properties of  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  Nanoparticles Under Different Synthesized Temperature. *Result in Physics.* 7(2017): 3619-3623.
- Putri, A. I., Sundaryono, A., dan Candra, N. 2018. Karakterisasi Nanopartikel Kitosan Ekstrak Daun Ubi Jalar (*Ipomoea batatas L.*) Menggunakan Metode Gelas Ionik. *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia.* 2(2): 203-207.
- Rahmayeni, Arief, S., Stiadi, Y., Rizal, R., and Zulhadjiri. 2012. Synthesis of Magnetic Nanoparticles of  $\text{TiO}_2$ - $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ : Characterization and Photocatalytic Activity on Degradation of Rhodamine B. *Indonesian Journal of Chemistry.* 12(3): 229-234.
- Raval, A., Panchal, N., and Jotania, R. 2013. Structural Properties and Microstructure of Cobalt Ferrite Particles Synthesized by A Sol-Gel Auto Combustion Method. *International Journal of Modern Physics: Conference Series.* 22(1): 558-563.
- Reghiouha, A., Barkat, D., Jawad, A. H., Abdulhameed, A. D., Rangabhashisyam, S., Khan, M. R., and Alothman, Z. A. 2021. Magnetic Chitosan-Glutaraldehyde/Zinc Oxide/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Nanocomposite: Optimization and Adsorptive Mechanism of Remazol Brilliant Blue R Dye Removal. *Journal of Polymers and The Environment.* 29, 3932-3947.

- Rizki, A., Syahputra, E., Pandia, S., dan Halimatuddahlia. 2019. Pengaruh Waktu Kontak dan Massa Adsorben Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) dengan Aktivator  $H_3PO_4$  terhadap Kapasitas Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 8(2): 54-60.
- Rohayati, Z., Fajrin, M. M., Rua, J., Yulan, dan Riyanto. 2017. Pengolahan Limbah Industri Tekstil Berbasis Green Technology Menggunakan Metode Gabungan Elektrodegradasi dan Elektrokolorisasi dalam Satu Sel Elektrolisis. *Chemica et Natura Acta*. 5(2): 95-100.
- Selfira, W. dan Aini, S. 2021. Penguraian Zat Warna Metilen Biru Menggunakan Katalis  $Fe_3O_4-Fe_2O_3$  dalam Silika Mesopori. *Chemistry Journal of Negeri Padang*. 10(1): 45-49.
- Setiabudi, A., Hardian, R., dan Muzakir, A. 2012. *Karakterisasi Material Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. Bandung: UPI Press.
- Sholikah, H. dan Fajriati, I. 2019. Pengaruh Penambahan  $HNO_3$  Terhadap Fotodegradasi Zat Warna Congo Red Menggunakan Fotokatalis  $TiO_2$ . *Indonesian Journal of Materials Chemistry*. 2(1): 1-4.
- Simamora, P. dan Krisna. 2015. Sintesis dan Karakterisasi Sifat Magnetik Nanokomposit  $Fe_3O_4$ -Montmorillonit Berdasarkan Variasi Suhu. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*. 4(7): 75-80.
- Sugiyana, D. dan Notodarmojo, S. 2015. Studi Mekanisme Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Azo Acid Red 4 Menggunakan Katalis Mikropartikel  $TiO_2$ . *Arena Tekstil*. 30(2): 83-94.
- 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*. 16(2): 168-173.
- Tebriani, S. 2019. Analisis Vibrating Sample Magnetometer (VSM) pada Hasil Elektrodeposisi Lapisan Tipis Magnetite Menggunakan Arus Continue Direct Current. *Natural Science Journal*. 5(1): 722-730.
- Wardiyanti, S., Adi, W. A., dan Winataputra, D. S. 2016. Sintesis dan Karakterisasi Microwave Absorbing Material Berbasis Ni- $SiO_2$  dengan Metode Sol-Gel. *Jurnal Fisika*. 8(2): 1-6.
- Widihati, I. A. E., Diantariani, N. P., dan Nikmah, Y. F. 2011. Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar UV dan Katalis  $Al_2O_3$ . *Jurnal Kimia*. 5(1): 31-42.
- Wulandari, I. O., Wardhani, S., dan Purwonugroho, D. 2014. Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis ZnO pada Zeolit. *Kimia Student Journal*. 1(2): 241-247.
- Yaman, M. A. 2019. *Teknologi Penanganan, Pengolahan Limbah Ternak dan Hasil Samping Peternakan*. Aceh: Syiah Kuala University Press.
- Yunani, Y. N., Fatimah, I., dan Riyanto. 2018. Preparasi Fe(III)-Montmorillonit Sebagai Katalis pada Fotooksidasi Metilen Biru. *Indonesian Journal of Chemical Research*. 1(1): 82-92.