

**SINTESIS CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO UNTUK DEGRADASI FOTOKATALITIK  
ZAT WARNA KONGO MERAH**

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

**SKRIPSI**



**SRI ANITA ANDINI  
08031181823112**

**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2022**

## HALAMAN PENGESAHAN

### SINTESIS CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO UNTUK DEGRADASI FOTOKATALITIK ZAT WARNA KONGO MERAH

#### SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains Pada  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya**

**Diusulkan Oleh:**

**Sri Anita Andini  
08031181823112**

Indralaya, 27 Juli 2022

**Pembimbing I**



**Dr. Addy Rachmat, M.Si.  
NIP. 197409282000121001**

**Pembimbing II**



**Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si.  
NIP. 196808271994022001**

**Mengetahui,**

**Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Prof. Hermansyah, S.Si, M.Si, Ph.D.  
NIP. 197111191997021001**

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi dengan judul "Sintesis CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO Untuk Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Kongo Merah", telah diseminarkan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 19 Juli 2022 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 27 Juli 2022

Ketua:

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

(  )

NIP. 197407212001121001

Sekretaris:

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

(  )

NIP. 197402052000032001

Pembimbing:

**1. Dr. Addy Rachmat, M.Si.**

(  )

NIP. 197409282000121001

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

(  )

NIP. 196808271994022001

Penguji:

**1. Widia Purwaningrum, M.Si.**

(  )

NIP. 197304031999032001

**2. Fahma Riyanti, M.Si.**

(  )

NIP. 197204082000032001

Mengetahui,

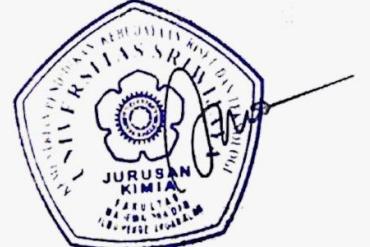
Dekan FMIPA



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 bertandatangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Sri Anita Andini

NIM : 08031181823112

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, 27 Juli 2022

Penulis



Sri Anita Andini

NIM. 08031181823112

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

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

Nama mahasiswa : Sri Anita Andini  
NIM : 08031181823112  
Fakultas/jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “hak bebas royalty non-ekslusif” (non-exclusively royalty-free right) atas karya ilmiah saya yang berjudul: “Sintesis CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO Untuk Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Kongo Merah”. Dengan hak bebas royalty non-ekslusif 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.

Indralaya, 27 Juli 2022

Penulis



Sri Anita Andini

NIM.08031181823112

## SUMMARY

### SYNTHESIS OF CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO FOR PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF CONGO RED DYE

Sri Anita Andini : Supervised by Dr. Addy Rachmat, M.Si. and Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si.

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

xix +80 pages, 5 tables, 25 pictures, 10 attachments.

Research has been carried out on the synthesis of CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO composites and its application on photocatalytic degradation of congo red dye. CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> was synthesized using coprecipitation method, CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> by sol-gel method, and CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO by hydrothermal method. The resulting CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>, and CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO were characterized using XRD, SEM-EDS, VSM, and UV-Vis DRS. The XRD pattern of CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO shows the highest peak at  $2\theta = 35.63^\circ$  with a crystal size of 9.66 nm. The morphology of the SEM-EDS depicts heterogeneous morphology with the constituent elements include Cu (6.07%), Fe(8.65%), O(35.79%), Si(3.11%) and Ni(32.38%). The VSM result of the hysteresis curve produces a saturation magnetization CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO of 23.03 emu/g. The UV-Vis DRS results in energy band gap of 1.48 eV. CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO magnetic composite has a pH<sub>pzc</sub> of 7.2. The best conditions for decreasing the concentration congo red dye were at concentration of 10 mg/L, contact time of 80 minutes and with the addition of 0.2 mL of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. The effectiveness of reducing the concentration of dye produced by 86.49%. Determination of TOC with initial ppmC before degradation of 213.126 mg/L and after degradation to 3.7920 mg/L with a percentage of 98.22% which showed that the congo red dye was almost completely degraded.

Keyword: Photocatalytic degradation, composite CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO, congo red dye

Citation: 82 (2000 – 2022)

## RINGKASAN

### SINTESIS CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO UNTUK DEGRADASI FOTOKATALITIK ZAT WARNA KONGO MERAH

Sri Anita Andini : Dibimbing oleh Dr. Addy Rachmat, M.Si. dan Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si.

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

xix+80 halaman, 5 tabel, 25 gambar, 10 lampiran.

Telah dilakukan penelitian tentang sintesis komposit CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO untuk degradasi fotokatalitik zat warna kongo merah. CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi, CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> menggunakan metode sol-gel, dan CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO menggunakan metode hidrotermal. Hasil dari CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>, dan CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO dikarakterisasi dengan menggunakan XRD, SEM-EDS, VSM dan UV-Vis DRS. Pola XRD CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO menghasilkan puncak tertinggi pada  $2\theta = 35,63^\circ$  dengan ukuran kristal 9,66 nm. Hasil SEM-EDS menunjukkan morfologi yang heterogen dengan elemen penyusun berupa Cu(6,07%), Fe(8,65%), O(35,79%), Si(3,11%) dan Ni(32,38%). Hasil VSM dari kurva histerisis menghasilkan magnetisasi saturasi CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO sebesar 23,03 emu/g. Hasil UV-Vis DRS menghasilkan celah pita energi sebesar 1,48 eV. Komposit magnetik CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO memiliki pH<sub>pzc</sub> sebesar 7,2. Kondisi terbaik dalam mendegradasi zat warna kongo merah adalah pada konsentrasi 10 mg/L, waktu kontak 80 menit, dan dengan penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebanyak 0,2 mL. Efektivitas penurunan konsentrasi zat warna yang dihasilkan sebesar 86,49%. Hasil pengukuran TOC sebelum degradasi dengan ppmC sebesar 213,126 mg/L dan setelah degradasi menjadi 3,7920 mg/L dengan persentase sebesar 98,22% yang menunjukkan bahwa zat warna kongo merah hampir terdegradasi secara sempurna.

Kata kunci: Degradasi fotokatalitik, komposit CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO, zat warna kongo merah

Sitasi: 82 (2000 – 2022)

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Jangan bandingkan prosesmu dengan orang lain, karena kita memiliki zona waktu yang berbeda. New York 3 jam lebih awal dari California, tapi tidak berarti California lambat, atau New York yang cepat. Keduanya bekerja sesuai “Zona Waktu” nya masing-masing.

Jangan mengenal pria ketika kamu sedang berproses karena hanya akan menimbulkan rasa tidak tenang dan kecewa.

Dunia ini penuh dengan orang baik, jika kamu tidak menemukannya, maka jadilah salah satunya.

Skripsi ini sebagai tanda syukurku kepada:

- ▣ Allah SWT
- ▣ Nabi Muhammad SAW

Dan kupersembahkan kepada:

- ▣ Pembimbing tugas akhir
- ▣ Mamak dan bapak serta adikku yang selalu membantu dalam masa perkuliahan sampai akhir
- ▣ Keluarga besarku
- ▣ Almamater (Universitas Sriwijaya)

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjangkan puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**Sintesis CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO Untuk Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Kongo Merah**”, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari adanya banyak rintangan dan kesulitan sehingga penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya banyak dukungan, bantuan baik material ataupun moril, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa
2. Bapak Dr. Addy Rachmat M. Si. dan Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M. Si. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberi dukungan dan ilmu yang tiada batas, yang selalu memberi nasihat dan juga semangat. Maaf bila penulis ada kesalahan, sehat selalu pak/bu.
3. Bapak Prof. Hermansyah, S. Si, M. Si, Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Prof. Dr. Muaharni, M. Si. selaku ketua jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Dr. Addy Rachmat M, Si. selaku sekretaris jurusan dan dosen pembimbing akademik, terimakasih bapak untuk banyak canda tawanya dan sudah membimbing dari semester satu sampai semester akhir.
6. Ibu Widiapurwaningrum, M. Si. dan Ibu Fahma Riyanti, M. Si selaku dosen pembahas dan penguji sidang sarjana. Terimakasih atas masukan dan banyak bantuan yang telah ibu berikan.
7. Bapak Dr. Muhammad Said, M. T dan Ibu Dr. Ferlinahayati, M. Si. selaku ketua dan sekretaris saat sidang akhir. Terimakasih untuk bantuan, masukkan, motivasi dan semangatnya.

8. Seluruh Dosen FMIPA Kimia Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik serta membimbing selama masa kuliah.
9. Mbak Novi dan Kak Iin selaku admin kimia terimakasih mbak dan kakak yang sudah selalu sabar dalam membantu administrasi proses perkuliahan hingga tugas akhir.
10. Mamak dan bapak yang selalu memberi dukungan dan semangat sampai akhir.
11. Adikku tercinta Fais Al-Faqih yang banyak membantu selama kuliah mulai dari antar jemput kuliah bahkan membantu disaat susah menghadapi proses penyelesaian masa kuliah. Semoga Allah membalas semua kebaikanmu.
12. Keluarga besarku yang selalu mendukung dan mendoakan.
13. Sahabatku, Anisa Fitri Amatullah terimakasih telah banyak membantu selama masa kuliah sampai akhir walau terkadang suka bertengkar karena beda pendapat tapi akhirnya damai lagi hehe. Tias Anisa Kemuning, terimakasih sudah mau berteman denganku dari semester awal sampai sekarang, terimakasih teman missqueenku. Anggun Dita Dyah Gayatri, makasih sudah mau berteman dekat karena jalur Anisa, maafkan kami yang sudah membawamu ke dunia komposit. Semoga kita sukses ke depannya.
14. Teman-teman tugas akhir satu dosen pembimbing Anisa, Tias, Anggun, Veronicha, Salsa, Dayah, dan Azizah terimakasih sudah selalu membandingkan hasil masing-masing sehingga membuat saya kadang bingung, benar tidak sintesis yang dilakukan wkwk tapi dari situ kita banyak belajar mana yang perlu untuk diperbaiki.
15. Teman-teman tugas akhir satu lab Sicho, Vika, Nurul, Dinda, Aini, Galuh, Ela, Dwi Hamel dan Iqbal Surya terimakasih untuk kata-kata motivasi dan semangatnya setiap masuk lab.
16. Teman lemburku Siti Solecha dan Tiara Nabila, semangat selalu dan mari kita lembur ditempat yang lain.

17. Rieke Yuni Utami teman SD ku terimakasih sudah memberi tempat menginap saat maba dan meminjamkan barang dan juga cek Fitria Wulandari yang sama baiknya. Sukses selalu untuk kedepannya.
18. Teman pp (pulang-pergi) kuliah Igam Aini Utami dan Ade Dwi Nanda, terimakasih sudah senantiasa menunggu untuk naik bus bareng.
19. Temanku Devi Indah, Rolis, Jessica yang sudah berteman sejak pk2 terimakasih untuk banyak dukungan dan juga bantuan yang diberikan.
20. Anak-anak beasiswa bidikmisi, terimakasih untuk banyak informasi yang diberikan. Semoga kita sukses selalu.
21. Kak Rabellia selaku kakak asuh, terimakasih karena kakak sudah banyak membantu terlebih saat masih menjadi mahasiswa baru.
22. Laki-laki yang pernah membantu saat kuliah, maaf bila ada salah dan terimakasih untuk banyak bantuannya.
23. RM, terimakasih kakak sudah banyak membantu untuk penelitian adek maaf bila banyak salah. Bahagia selalu ya kak.
24. Teman-teman satu Angkatan 2018, terimakasih untuk banyak bantuan dan informasi-informasi yang bermanfaat. Semoga sukses selalu.
25. Kakak tingkat 2017, 2016, 2015 dan 2014, serta adik tingkat Angkatan 2019, 2020,2021 yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih untuk semangat dan motivasinya.
26. Untuk semua orang baik yang telah mendoakan, baik yang kukenal atau tidak. Semoga doa-doa baik kalian berbalik untuk kalian juga. Terima kasih.

Indralaya, 25 Juli 2022

Penulis

## 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 ILMIAH .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....</b>	<b>v</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>vi</b>
<b>RINGKASAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>viii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Limbah Industri Tekstil.....	5
2.2 Zat Warna Azo Kongo Merah.....	5
2.3 <i>Copper Ferrite</i> ( $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ ).....	6
2.4 Silikon Dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) .....	7

2.5	Nikel Oksida (NiO).....	8
2.6	Degradasi Fotokatalitik .....	8
2.7	Hidrogen Peroksida (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ).....	10
2.8	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	10
2.9	<i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS).....	14
2.10	<i>Vibrating Sample Magnometer</i> (VSM).....	15
2.11	<i>Ultraviolet – Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-Vis DRS).....	16
2.12	Spektrofotometer UV-Vis ( <i>Ultra Violet-Visible</i> ) .....	16
2.13	pH <i>Point Of Zero Charge</i> (pHpzc) .....	17
2.14	<i>Total Organic Carbon</i> (TOC) .....	18
	<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>19</b>
3.1	Waktu dan Tempat.....	19
3.2	Alat dan Bahan .....	19
	3.2.1 Alat .....	19
	3.2.2 Bahan.....	19
3.3	Prosedur Penelitian .....	20
	3.3.1 Sintesis Magnetik Nanopartikel CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	20
	3.3.2 Sintesis Magnetik Nanopartikel CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> .....	20
	3.3.3 Sintesis Magnetik Nanopartikel CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO .....	20
3.4	Karakterisasi.....	21
	3.4.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	21
	3.4.2 <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDS) .....	21
	3.4.3 <i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-Vis DRS) .....	21
	3.4.4 <i>Vibrating Sample Magnometer</i> (VSM) .....	22

3.5	Penentuan pH <i>Point Of Zero Charge</i> (pHpzc) .....	22
3.6	Penentuan Konsentrasi Zat Warna Kongo Merah .....	22
	3.6.1 Pembuatan Larutan Induk Kongo Merah 1000 ppm.....	22
	3.6.2 Pembuatan Larutan Standar Kongo Merah .....	22
	3.6.3 Penentuan Kurva Kalibrasi Zat Warna Kongo Merah ....	22
3.7	Penentuan Kondisi Terbaik Degradasi Zat Warna Kongo Merah .....	23
	3.7.1 Penentuan Konsentrasi Zat Warna .....	23
	3.7.2 Penentuan Waktu Kontak.....	23
	3.7.3 Pengaruh Penambahan H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	23
3.8	Analisis Data .....	24
	3.8.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	24
	3.8.2 <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDS) .....	24
	3.8.3 <i>Vibrating Sample Magnometer</i> (VSM) .....	24
	3.8.4 <i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-Vis DRS) .....	24
	3.8.5 Hasil Degradasi Terbaik dianalisis Menggunakan <i>Total Organic Carbon</i> (TOC).....	25
	3.8.6 Penentuan Penurunan Konsentrasi Zat Warna (%).....	25
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>26</b>	
4.1	Hasil Sintesis Magnetik Nanopartikel CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	26
4.2	Hasil Sintesis Magnetik Nanopartikel CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> .....	27
4.3	Hasil Sintesis Magnetik Nanopartikel CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO.....	28
4.4	Hasil Karakterisasi.....	29
	4.4.1 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	29
	4.4.2 Hasil Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM – EDS) ..	31

4.4.3 Hasil Karakterisasi <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM).....	33
4.4.4 Hasil Karakterisasi <i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-Vis DRS) .....	34
4.5 Hasil Penentuan pH <i>Point Of Zero Charge</i> (pHpzc) .....	36
4.6 Hasil Penentuan Kondisi Terbaik Degradasi Zat Warna Kongo Merah.....	37
4.6.1 Pengaruh Variasi Konsentrasi.....	37
4.6.2 Pengaruh Variasi Waktu Kontak .....	39
4.6.3 Pengaruh Variasi Penambahan H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	41
4.6.4 <i>Total Organic Carbon</i> (TOC).....	43
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>44</b>
5.1 Kesimpulan.....	44
5.2 Saran .....	44
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>45</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>53</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>80</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur kongo merah.....	6
Gambar 2.2	Proses sintesis ferrit spinel metode kopresipitasi.....	7
Gambar 2.3	Proses degradasi zat warna kongo merah .....	9
Gambar 2.4	Pola kristalografi .....	11
Gambar 2.5	XRD CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> menggunakan variasi temperatur .....	12
Gambar 2.6	Penggunaan SEM-EDS pada CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	14
Gambar 2.7	Kurva histerisis CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> pada suhu 850°C. ....	15
Gambar 2.8	UV-Vis DRS Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /TiO <sub>2</sub> dan Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /TiO <sub>2</sub> .....	16
Gambar 4.1	Hasil sintesis CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> yang didekatkan dengan magnet eksternal.....	26
Gambar 4.2	Hasil sintesis CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> yang didekatkan dengan magnet eksternal .....	27
Gambar 4.3	Hasil sintesis CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO yang didekatkan dengan magnet eksternal .....	28
Gambar 4.4	Sudut 2θ untuk intensitas (a) CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (b) CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> (c) CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO.....	30
Gambar 4.5	Hasil analisis morfologi CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> dan CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO dengan perbesaran 10.000x.....	31
Gambar 4.6	Hasil analisis VSM CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> , dan CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO .....	33
Gambar 4.7	<i>Energy Band Gap</i> CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> , dan CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO .....	35
Gambar 4.8	pHpzc CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO .....	36
Gambar 4.9	Kurva zat warna kongo merah terhadap pengaruh konsentrasi	37
Gambar 4.10	Variasi konsentrasi zat warna kongo merah dengan penyinaran .....	38
Gambar 4.11	Variasi konsentrasi zat warna kongo merah tanpa penyinaran.	39

Gambar 4.12	Kurva zat warna kongo merah terhadap variasi waktu kontak.	40
Gambar 4.13	Variasi waktu kontak zat warna kongo merah penyinaran.....	40
Gambar 4.14	Variasi waktu kontak zat warna kongo merah tanpa penyinaran .....	40
Gambar 4.15	Kurva zat warna kongo merah terhadap pengaruh penambahan $H_2O_2$ .....	41
Gambar 4.16	Variasi penambahan $H_2O_2$ zat warna kongo merah dengan penyinaran .....	42
Gambar 4.17	Variasi penambahan $H_2O_2$ zat warna kongo merah tanpa penyinaran.....	42

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1	Pola XRD dari puncak difraksi CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> , dan CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO .....	13
Tabel 4.1	Data XRD CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> , dan CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO .....	30
Tabel 4.2	Hasil analisis EDS CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> , dan CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO .....	33
Tabel 4.3	Data hasil analisis VSM CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> , dan CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO .....	34
Tabel 4.4	Data analisis TOC.....	43

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Diagram alir prosedur penelitian .....	54
Lampiran 2.	Reaksi pembentukan CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	57
Lampiran 3.	Hasil karakterisasi .....	57
Lampiran 4.	Penentuan pH <i>Point Of Zero Charge</i> (pHpzc) CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO .....	69
Lampiran 5.	Penentuan panjang gelombang maksimum kongo merah .....	69
Lampiran 6.	Kurva kalibrasi zat warna kongo merah.....	70
Lampiran 7.	Penentuan kondisi terbaik degradasi fotokatalitik zat warna kongo merah menggunakan CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO terhadap pengaruh konsentrasi.....	71
Lampiran 8.	Penentuan kondisi terbaik degradasi fotokatalitik zat warna kongo merah menggunakan CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO terhadap waktu kontak.....	73
Lampiran 9.	Penentuan kondisi terbaik degradasi fotokatalitik zat warna kongo merah menggunakan CuFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO terhadap penambahan H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	75
Lampiran 10.	Perhitungan <i>Total Organic Carbon</i> (TOC) .....	77
Lampiran 11.	Gambar penelitian .....	78

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Produksi zat warna dalam industri tekstil secara global menghasilkan 700.000 ton per tahun dengan 85% zat warna yang dipakai dan selebihnya terbuang sebagai limbah. Limbah zat warna yang dihasilkan tergolong ke dalam limbah cair (Park & Choi, 2003). Limbah zat warna memiliki nilai kebutuhan oksigen kimia atau *chemical oxygen demand* yang tinggi, komposisi yang kompleks, dan proses degradasinya yang lambat sehingga sulit untuk diurai (Akpan & Hameed, 2009). Salah satu zat warna yang dihasilkan dari limbah industri tekstil adalah kongo merah. Zat warna kongo merah tergolong senyawa azo yang bersifat karsinogenik dan senyawaannya sulit untuk diurai, sehingga diperlukan usaha untuk mengurangi kandungan limbah zat warna kongo merah (Zulaechah *et al.*, 2018).

Metode yang telah dilakukan untuk mengurangi pencemaran limbah zat warna yaitu metode biologi, fisika dan kimia. Metode biologi seperti bioremediasi, memiliki sifat yang tidak merusak lingkungan, dan biaya yang terjangkau tetapi waktu penguraianya relatif lama. Metode fisika seperti adsorpsi, bersifat sederhana dan kapasitas adsorpsi besar tetapi prosesnya hanya terjadi suatu pemindahan limbah zat warna sehingga limbah tak sepenuhnya terurai (Subkhan dkk., 2018).

Metode kimia berupa proses oksidasi lebih lanjut atau metode degradasi fotokatalitik dapat digunakan sebagai alternatif untuk mengatasi masalah limbah zat warna. Penggunaan metode degradasi fotokatalitik dibantu dengan menggunakan fotokatalis dan sinar *ultraviolet* yang memiliki kelebihan zat warna yang terurai akan berubah menjadi molekul yang lebih sederhana yaitu  $H_2O$  dan  $CO_2$  sehingga aman untuk dibuang ke lingkungan (Kočí *et al.*, 2009). Langkah awal dalam proses fotokatalitik yaitu penyinaran materi semikonduktor dengan menggunakan cahaya yang memiliki energi yang cukup untuk mengarahkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi sehingga menghasilkan pasangan

electron atau *hole* ( $e^-$  atau  $h^+$ ) yang akan bereaksi dengan molekul air teradsorpsi membentuk radikal hidroksil (Comănescu *et al.*, 2012). Proses fotokatalitik bersifat mudah karena mampu menyerap pada cahaya tampak serta menginduksi elektron dan *hole* selama fotoreaksi (Vidya & Balamurugan, 2019).

Reaksi fotokatalitik banyak menggunakan bahan semikonduktor sebagai fotokatalis. Semikonduktor memiliki konduktivitas antara isolator dan konduktor yang masing-masing memiliki celah pita atau *band gap*. *Energy band gap* isolator bernilai lebih dari 4 eV, konduktor memiliki *energy band gap* kurang dari 0,5 eV dan senyawa semikonduktor memiliki *energy band gap* antara 1 - 4 eV (Hernández-Ramírez *et al.*, 2005). Semikonduktor nano oksida logam dianggap paling menjanjikan untuk digunakan pada proses fotokatalitik dikarenakan sifat stabilitasnya yang tinggi (Cho *et al.*, 2011).

Salah satu bahan semikonduktor oksida logam adalah NiO yang memiliki celah pita lebar. Penggabungkan NiO dengan bahan semikonduktor lain dapat digunakan untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya. Dalam proses fotokatalitik diharapkan mampu untuk memecahkan permasalahan saat proses pemisahan fotokatalis dan memungkinkan fotokatalis tersebut untuk digunakan kembali (Liu *et al.*, 2020).

Permasalahan pemisahan fotokatalitis dari campuran reaksi dapat diatasi dengan menggabungkan semikonduktor NiO dengan partikel magnetik  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  yang tergolong kedalam salah satu ferrit spinel.  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  merupakan bahan magnetik yang memiliki sifat superparamagnetik. Sifat ini dapat berfungsi dengan baik sebagai inti magnetik dalam suatu nanokomposit, sehingga membuat katalis dapat dipisahkan secara mudah dari campuran reaksi dengan menggunakan medan magnet luar (Ma *et al.*, 2015). Penggabungan partikel magnetik dengan suatu semikonduktor akan mengakibatkan aktivitas suatu semikonduktor yang digunakan akan berkurang karena terdapatnya interaksi langsung dari semikonduktor dengan inti partikel magnetik. Hal ini terjadi disebabkan oleh adanya efek fotodisolusi (Beydoun *et al.*, 2000).

Efek fotodisolusi dapat diatasi dengan membentuk tiga lapisan inti komposit membentuk inti/kulit/kulit (Bavarsihha *et al.*, 2015). Silika atau  $\text{SiO}_2$  dapat

digunakan di antara partikel magnetik dengan fotokatalis sehingga membentuk tiga lapisan inti komposit. Silika mampu untuk menghambat transfer elektron – lubang dari fotokatalis dengan partikel inti dan menghindari pengurangan aktivitas fotokatalitik, sehingga mampu untuk mengurangi interaksi langsung antara inti partikel magnetik dengan fotokatalis (Wang *et al.*, 2015).

$\text{SiO}_2$  atau silika merupakan bahan amorf yang memiliki porositas tinggi sehingga menyediakan ruang tiga dimensi yang dibutuhkan untuk penggabungan dengan komponen lain. Silika bersifat transparan sehingga sifatnya tidak menyerap cahaya pada daerah inframerah-dekat, *visible* dan *ultraviolet* sehingga tidak menganggu hasil magnetik dan mempertahankan sifat optik dari komponen yang digabungkan oleh silika tersebut (Mihaly *et al.*, 2011).

Penelitian ini mensintesis  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  sebagai bahan magnetik,  $\text{NiO}$  sebagai katalis dan menggunakan senyawa  $\text{SiO}_2$  yang berfungsi untuk mempertahankan efektivitas dari  $\text{NiO}$  maupun  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  sehingga membentuk komposit  $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{NiO}$ . Komposit  $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{NiO}$  digunakan untuk mendegradasi zat warna kongo merah. Variabel degradasi fotokatalitik yang diamati adalah pengaruh konsentrasi awal zat warna kongo merah, waktu kontak dan pengaruh penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$  untuk mengetahui efektivitas penurunan zat warna kongo merah.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana sintesis dan karakteristik senyawa CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>, dan CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO?
2. Bagaimana kemampuan komposit CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO dalam mendegradasi zat warna kongo merah dengan variabel uji pengaruh konsentrasi, waktu kontak, dan penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>?
3. Bagaimana hasil persen penurunan ppm karbon zat warna kongo merah oleh komposit CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO dengan menggunakan *total organic carbon Analyzer* (TOC)?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Melakukan sintesis dan mengkarakterisasi CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>, dan CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO dengan menggunakan XRD, SEM-EDS, VSM dan UV-Vis DRS.
2. Menentukan kemampuan komposit CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO dalam mendegradasi zat warna kongo merah dengan variabel uji pengaruh konsentrasi, waktu kontak, dan penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.
3. Menentukan hasil persen penurunan ppm karbon zat warna kongo merah oleh komposit CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO dengan menggunakan *Total Organic Carbon Analyzer* (TOC).

## 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk memberi pengetahuan mengenai sintesis komposit CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO dan pengaplikasianya pada bidang fotokatalitik. Hasil penelitian yang diperoleh diharapkan dapat menjadi acuan dalam mengatasi permasalahan mengenai limbah cair zat warna pada lingkup yang lebih luas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adisti, Y. (2014). Kinetics Study of Malachite Green Photocatalytic Degradation Using TiO<sub>2</sub> Semiconductor Catalyst and O<sub>2</sub>/UV. *Skripsi*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Aditya, H., Kartika, D., Vaulida, Y, D, E., & Lestari, P. 2012. Sintesis ZnO-TiO<sub>2</sub>/ZAH dan Aplikasinya Sebagai Fotokatalis Untuk Mendegradasi Zat Warna Limbah Cair Industri Tekstil. *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*, 222-227.
- Agusriyanti, S., & Artsanti, P. (2015). Pemanfaatan Zeolit Alam Ciamis Sebagai Pengembangan Fotokatalis TiO<sub>2</sub> Untuk Fotodegradasi Zat Warna Rhodamine B. *Jurnal Sains Dasar*, 4(1), 92–99.
- Akpan, U. G., & Hameed, B. H. (2009). Parameters affecting the photocatalytic degradation of dyes using TiO<sub>2</sub> -based photocatalysts : A review. *Hazardous Materials*, 170, 520–529.
- Alagiri, M., Ponnusamy, S., & Muthamizhehelvan, C. (2012). Synthesis and characterization of NiO nanoparticles by sol – gel method. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 23, 728–732.
- Ali, K., Bahadur, A., Jabbar, A., Iqbal, S., Ahmad, I., & Bashir, M. I. (2016). Synthesis, structural, dielectric and magnetic properties of CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/MnO<sub>2</sub> nanocomposites. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 1–25.
- Amelia, F. (2016). Degradasi Zat Warna Rhodamin B Secara Sonolisis Menggunakan Katalis ZnO-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Jurnal Dimensi*, 5(1), 1–11.
- Amir, Md., Gungunes, H., Slimani, Y., Tashkandi, N., Sayed, H, S, El., Aldakheel, F., Sertkol, M., Sozeri, H., Manikandan, A., Ercan, I., and Baykal, A. 2018. Mössbauer Studies and Magnetic Properties of Cubic CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 1-8.
- Arora, S., & Bhanot, D. (2014). Introduction to X-Ray Diffraction Technique by Lab-Training.Com. New Delhi: Auriga Research.
- Atmono, T. M., Prasetyowati, R., & Kartika, A. M. R. (2015). Pembuatan prototipe Vibrating Sample Magnetometer Untuk Pengamatan Sifat Magnetik Lapisan Tipis. *Prosiding Pertemuan Dan Persentasi Ilmiah. Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Nuklir*, 57–66.
- Bavarsiha, F., Dadashian, S., Montazeri-Pour, M., Ghasemy-Piranloo, F., & Rajabi, M. (2015). Synthesis , Characterization and Comparison of Photocatalytic Efficiency of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>, SrFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/ZnO Core/Shell/Shell Nano-structures. *Research Square*, 1–21.

- Beydoun, D., Amal, R., Low, G., & McEvoy, S. (2000). Titania-Coated Magnetite. Activity and Photodissolution. *Physical Chemical*, 104, 4387–4396.
- Bisutti, I., Hilke, I., and Raessler, M. 2004. Determination of total organic carbon - an overview of current methods. *Trends in Analytical Chemistry*, 23(10-11), 716-726.
- Chen, S., Sun, Y., Li, X., & Song, H. (2019). N-acetyl-l-cysteine modified CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub> core-shell nanoparticles as chiral probes for recognition of chiral tyrosine. In *Journal of Solid State Chemistry*, 280, 1-32.
- Cho, S., Jang, J. W., Kim, J., Lee, J. S., Choi, W., & Lee, K. H. (2011). Three-dimensional type II ZnO/ZnSe heterostructures and their visible light photocatalytic activities. *Langmuir*, 27(16), 10243–10250.
- Christina P, M., S, M. nisatun, Saptaaji, R., & 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.
- Comănescu, A. F., Mihaly, M., & Meghea, A. (2012). Photocatalytic degradation of organic pollutants using NiO based materials. *UPB Scientific Bulletin, Series B: Chemistry and Materials Science*, 74(2), 49–60.
- Dafare, S., Deshpande, P. S., & Bhavsar, R. S. (2013). Photocatalytic degradation of congo red dye on combustion synthesised Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Indian Journal of Chemical Technology*, 20, 406–410.
- Devi, L. G., Kumar, S. G., & Reddy, K. M. (2009). Photo fenton like process Fe<sup>3+</sup>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>/UV for the degradation of Di azo dye congo red using low iron concentration. *Central European Journal of Chemistry*, 7(3), 468–477.
- Dewi, S. H., & Ridwan. (2012). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Magnetik Untuk Adsorpsi Kromium Heksavalen. *Sains Materi Indonesia*, 13(2), 136–140.
- Fatimah, I. (2009). Dispersi TiO<sub>2</sub> ke dalam SiO<sub>2</sub>-Montmorillonit Efek Jenis Prekusor. *Penelitian Saintek*, 14(1), 41–58.
- Fiol, N., & Villescusa, I. (2009). Determination of sorbent point zero charge : usefulness in sorption studies. *Environmental Chemistry Letters*, 7, 79–84.
- Gamal, R., Rizk, S. E., & El-Hefny, N. E. (2021). The adsorptive removal of Mo(VI) from aqueous solution by a synthetic magnetic chromium ferrite nanocomposite using a nonionic surfactant. *Journal of Alloys and Compounds*, 853, 1–14.
- Gandhimathi, R., Vijayaraj, S., & Jyothirmaie, M. P. (2012). Analytical Process

- of Drugs by Ultraviolet (UV) Spectroscopy - A Review. *International Journal of Pharmaceutical Research & Analysis*, 2(2), 72–78.
- Guo, X., Wang, K., & Xu, Y. (2019). Tartaric acid enhanced CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-catalyzed heterogeneous photo-Fenton-like degradation of methylene blue. *Materials Science and Engineering B*, 245, 75–84.
- Hernández-Ramírez, A., Medina-Ramírez, I., Bustos, E., Manríquez, J., & Peralta-Hernández, J. M. (2005). *Photocatalytic Semiconductors*. London: Springer International Publishing.
- Ibupoto, Z. H., Abbasi, M. A., Liu, X., Alsalhi, M. S., & Willander, M. (2014). The synthesis of NiO/TiO<sub>2</sub> heterostructures and their valence band offset determination. *Journal of Nanomaterials*, 2014, 1–6.
- Ikhsan, J., Sulastri, S., & Priyambodo, E. (2015). Pengaruh pH pada Adsorpsi Kation Unsur Hara Ca<sup>2+</sup> dan K<sup>+</sup> Oleh Silika dari Lumpur Lapindo. *Jurnal Penelitian Saintek*, 20(1), 10–18.
- Izzati, H. N., Nisak, F., & Munasir. (2013). Sintesis Dan Karakterisasi Kekristalan Nanosilika Berbasis Pasir Bancar. *Inovasi Fisika Indonesia*, 2(03), 19–22.
- Jalaeian-hadad, A., Davoodnia, A., Tavakoli-hoseini, N., & Tajfirooz, F. (2019). Magnetically separable modified sulfuric acid (CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub>-OSO<sub>3</sub>H): Preparation, characterization and catalytic application for the synthesis of 1,8-dioxo-octahydroxanthenes. *Eurasian Chemical Communications*, 559–570.
- Jamaluddin, Nugraha, S. T., Maria, & Umar, E. P. (2018). Prediksi Total Organic Carbon (TOC) Menggunakan Regresi Multilinear Dengan Pendekatan Data Well Log. *Jurnal Geocelebes*, 2(1), 1–5.
- Jimaa, R. B., Mahmoud, Z. H., & Ali, F. K. (2018). Evaluation the Efficiency of CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Prepared Photolysis by OSD and Photo degradation. *Entomology and Applied Science Letters*, 5(2), 91–100.
- Kezzim, A., Nasrallah, N., Abdi, A., & Trari, M. (2011). Visible light induced hydrogen on the novel hetero-system CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub>. *Energy Conversion and Management*, 52(8–9), 2800–2806.
- Kočí, K., Obalová, L., Matějová, L., Plachá, D., Lacný, Z., Jirkovský, J., & Šolcová, O. (2009). Effect of TiO<sub>2</sub> particle size on the photocatalytic reduction of CO<sub>2</sub>. *Applied Catalysis B: Environmental*, 89(3–4), 494–502.
- Lasera, A. G., Aritonang, H. F., & Koleangan, H. (2019). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Serta Aplikasinya Sebagai Antibakteri. *Chemistry Progress*, 12(2), 88–92.
- Li, M.-H., Yum, J. H., Moon, S. J., & Chen, P. (2016). Inorganic p-type

- semiconductors: Their applications and progress in dye-sensitized solar cells and perovskite solar cells. *Energies*, 33(9), 1–28.
- Liu, L., Hu, N., An, Y., Du, X., Zhang, X., Li, Y., & Zeng, Y. (2020). Ag<sub>2</sub>O and NiO Decorated CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> with Enhanced Photocatalytic Performance to Improve the Degradation Efficiency of Methylene Blue. *Materials*, 4760(13), 1–12.
- Ma, S.-D., Feng, J., Qin, W.-J., Ju, Y.-Y., & Chen, X.-G. (2015). CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>@PDA magnetic nanomaterials with a core-shell structure: Synthesis and catalytic application in the degradation of methylene blue in water solution. *RSC Advances*, 1–34.
- Maleki, Z., Rasouli, N., Movahedi, M., & Sadeghi, Z. (2016). An efficient and magnetically separable heteropoly acid catalyst for the synthesis of β - amino carbonyl compounds under solvent-free conditions. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 3(5), 192–202.
- Mao, H., Wang, H., Meng, T., Wang, C., Hu, X., Xiao, Z., & Liu, J. (2021). An efficient enviromentally friendly CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> catalyst for vanillyl mandelic acid oxidation in water under atmospheric pressure and a mechanism study. *New Journal Chemistry*, 45, 982–992.
- Masruroh, Manggara, A. B., Papilaka, T., & T, R. T. (2013). Penentuan ukuran Kristal (Crystallite size) lapisan tipis PZT dengan metode XRD melalui pendekatan persamaan Debye Scherrer. *Jurnal Inovasi Pendidikan Erudio*, 1(2), 24–29.
- Mihaly, M., Comanescu, A. F., Rogozea, A. E., Vasile, E., & Meghea, A. (2011). NiO-silica based nanostructured materials obtained by microemulsion assisted sol-gel procedure. *Materials Research Bulletin*, 46(10), 1746–1753.
- Monshi, A., Foroughi, M. R., & Monshi, M. R. (2012). Modified Scherrer Equation to Estimate More Accurately Nano-Crystallite Size Using XRD. *World Journal of Nano Science and Engineering*, 02, 154–160.
- Nadjia, L., Abdelkader, E., & Ahmed, B. (2011). Photodegradation study of Congo Red in Aqueous Solution using ZnO/ UV-A: Effect of pH And Band Gap of other Semiconductor Groups. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*, 02(02), 1–7.
- Ningsih, T. S. (2012). Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis Ni<sup>2+</sup> - ZnO Berbasis Zeolit Alam. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Novitasari, D., Lusiana, L. A., Sembiring, S., & Junaidi, J. (2022). Studi Pendahuluan Penentuan Nilai Energi Band Gap Komposit Perak Silika (Ag/SiO<sub>2</sub>) Berbasis Sekam Padi. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 10(1), 36–40.

- Park, H., & Choi, W. (2003). Visible light and Fe(III)-mediated degradation of Acid Orange 7 in the absence of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 159(3), 241–247.
- Peymanfar, R., Azadi, F., & Yassi, Y. (2018). Preparation and Characterization of CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles by the Sol-Gel Method and Investigation of Its Microwave Absorption Properties at Ku-Band Frequency Using Silicone Rubber. *Proceedings MDPI*, 1155(2), 1–6.
- Prakash, I., Muralidharan, P., Nallamuthu, N., Venkteswarlu, M., & Satyanarayana, N. (2005). Simple and Effective Way To Prepare CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> Nanocomposites by Sol-Gel Method. *Nanotech*, 2, 115–118.
- Pratama, R., Hardeli, & Yerimadesi. (2012). Penentuan Kondisi Optimum Proses Degradasi Zat Warna Methylene Blue pada Reaktor Fotokatalitik TiO<sub>2</sub>-PEG. *Chemistry of State University of Padang*, 1(2), 52–58.
- Putri, N., & Puryanti, D. (2020). Sintesis Nanopartikel Manganese Ferrite (MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) dari Pasir Besi dan Mangan Alam dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Fisika Unand*, 9(3), 375–380.
- Rahmayanti, M. (2020). Synthesis of Magnetite Nanoparticles Using Reverse Co-precipitation Method With NH<sub>4</sub>OH as Precipitating Agent and Its Stability Test at Various pH. *Science and Technology*, 09(02), 54–58.
- Rani, B. J., Ravi, B. S. G., & Ravichandran, V. G. S. (2017). Structural , optical and magnetic properties of CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles. *Journal Materi Science: Materi Electron*, 0(0), 1–10.
- Rissa, L. V., Priatmoko, S., dan Harjito. 2012. Sintesis Lapis Tipis Berbasis Nanopartikel Titania Termodifikasi Silika Secara Sol-gel Sebagai Bahan Antifogging. *Jurnal MIPA*, 35(1), 57-65.
- Riskiani, E., Suprihatin, I. E., & Sibarani, J. (2018). Fotokatalis Bentonit-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> untuk Degradation Zat Warna Remazol Brilliant Blue. *Cakra Kimia*, 7(1), 46–54.
- Riyani, K., & Setyaningtyas, T. (2011). Pengaruh Karbon Aktif Terhadap Aktivitas Fotodegradasi Zat Warna Pada Limbah Cair Industri Tekstil Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>. *Molekul*, 6(2), 113–122.
- Rosa, J. C. la, & Segarra, M. (2019). Optimization of the Synthesis of Copper Ferrite Nanoparticles by a Polymer-Assisted Sol-Gel Method. *ACS Omega*, 4, 18289–18298.
- Sanjaya, H., Rida, P., & Nigsih, S. K. W. (2017). Degradasi Methylene Blue Menggunakan Katalis ZnO-PEG dengan Metode Fotosonolisis. *Eksata*, 18(02), 21–29.

- Saraswati, I. G. A. A., Diantariani, N. P., & Suarya, P. (2015). Fotodegradasi Zat Warna Tekstil Congo Red Dengan Fotokatalis ZnO-Arang Aktif dan Sinar Ultraviolet. *Kimia*, 9(2), 175–182.
- Sari, T. A., Hamdi, & Mufit, F. (2014). Identifikasi Mineral Magnetik Pada Guano di Gua Bau-Bau Kalimantan Timur Menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM). *Pillar Of Physics*, 1(4), 97–104.
- Satheeshkumar, M. K., Ranjith Kumar, E., Srinivas, C., Prasad, G., Meena, S. S., Pradeep, I., Suriyanarayanan, N., & Sastry, D. L. (2019). Structural and magnetic properties of CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ferrite nanoparticles synthesized by cow urine assisted combustion method. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 484, 120–125.
- Schmidt, L. J., Gaikowski, M. P., & Gingerich, W. H. (2006). Environmental assessment for the use of hydrogen peroxide in aquaculture for treating external fungal and bacterial diseases of cultured fish and fish eggs. *La Crosse*, Wisconsin: USGS Report.
- Setiyawati, D., Simpen, I. N., & Ratnayani, O. (2020). Fotodegradasi Zat Warna Limbah Cair Industri Pencelupan dengan Katalis Zeolit Alam/TiO<sub>2</sub> dan Sinar UV. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 8(1), 16–25.
- Sikong, L., Damchan, J., Kooptarnond, K., & Niyomwas, S. (2008). Effect of doped SiO<sub>2</sub> and calcinations temperature on phase transformation of TiO<sub>2</sub> photocatalyst prepared by sol-gel method. *Journal of Science and Technology*, 30(3), 385–391.
- Simatupang, L., & Devi. (2016). The preparation and characterization of Sinabung volcanic ash as silica based adsorbent. *Jurnal Pendidikan Kimia*, 8(3), 159–163.
- Sitanggang, P. Y. (2017). Pengolahan Limbah Tekstil Dan Batik Di Indonesia. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 1(12), 1–10.
- Soufi, A., Hajjaoui, H., Elmoubarki, R., Abdennouri, M., Qourzal, S., & Barka, N. (2021). Spinel ferrites nanoparticles : Synthesis methods and application in heterogeneous Fenton oxidation of organic pollutants -A review. *Applied Surface Science Advances*, 6, 1–19.
- Subkhan, M., Awaluddin, A., -, P.-, Siregar, S. S., & Anggraini, R. (2018). Degradasi Katalitik Zat Warna Metil Jingga Menggunakan Katalis Oksida Mangan Manganosite. *Photon: Jurnal Sain Dan Kesehatan*, 9(1), 177–183.
- Sugiyana, D., & 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.
- Suhernadi, A., Wardhani, S., & Purwonugroho, D. (2014). Studi Pengaruh

- Penambahan Hidrogen Peroksida ( $H_2O_2$ ) Terhadap Degradasi Methylene Blue Menggunakan Fotokatalis  $TiO_2$  – Bentonit. *Kimia Student Journal*, 2(2), 569–575.
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, B., & Dimyati, A. (2015). Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oxidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir*, 9(2), 44–50.
- Taghizadeh, F. (2016). The Study of Structural and Magnetic Properties of NiO Nanoparticles. *Optics and Photonics Journal*, 6, 164–169.
- Talaei, M., Hassanzadeh-Tabrizi, S. A., & Saffar-teluri, A. (2021). Synthesis of mesoporous  $CuFe_2O_4@SiO_2$  core-shell nanocomposite for simultaneous drug release and hyperthermia applications. *Ceramics International*, 47, 30287–30297.
- Ullah, R., & Dutta, J. (2008). Photocatalytic degradation of organic dyes with manganese-doped  $ZnO$  nanoparticles. *Journal of Hazardous Materials*, 156, 194–200.
- Usreg, H. S., Husein, A., & Zakki, F. M. (2019). Uji Sitotistik Terhadap Sintesis dan Karakterisasi Magnetik Nanopartikel  $CuFe_2O_4$  yang Dilingkupi Bovine Serum Albumin (BSA). *Jurnal Kimia Riset*, 4(1), 7–17.
- Vidya, J., & Balamurugan, P. (2019). Photocatalytic degradation of Methylene Blue using PANi - NiO nanocomposite under visible light irradiation. *Materials Research Express*, 1–22.
- Wang, J., Yang, J., Li, X., Wei, B., Wang, D., Song, H., Zhai, H., & Li, X. (2015). Synthesis of  $Fe_3O_4@SiO_2@ZnO$ -Ag core-shell microspheres for the repeated photocatalytic degradation of rhodamine B under UV irradiation. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 406, 97–105.
- Wang, L., Huang, Y., Sun, X., Huang, H., Liu, P., Zong, M., & Wang, Y. (2014). Synthesis and Microwave Absorption Enhancement of Graphene@ $Fe_3O_4@SiO_2@NiO$  Nanosheets Hierarchical Structures. *Nanoscale*, 1–9.
- Wardiyati, S., Adi, W. A., & Winatapura, D. S. (2016). Pengaruh Penambahan  $SiO_2$  Terhadap Karakteristik dan Kinerja Fotokatalitik  $Fe_3O_4/TiO_2$  pada Degradasi Methlene Blue. *Kimia Kemasan*, 38(1), 31–40.
- Winatapura, D., Dewi, S. H., & Ridwan. (2014). Sintesis dan Karakterisasi Komposit  $Fe_3O_4@ZnO$  dengan Metoda Presipitasi. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, 17(1), 71–77.
- Yanlinastuti, & Fatimah, S. (2016). Pengaruh Konsentrasi Pelarut Untuk Menentukan Kadar Zirkonium dalam Panduan U-Zr dengan Menggunakan Metode Spektrofotometri UV-VIS. *Jurnal PIN Pengolahan Instansi Nuklir*,

I(17), 22–33.

Zulaechah, L. S., Chanief, A. Z., & Wahyudi, D. T. (2018). Penggunaan Radiasi Gelombang Mikro untuk Sintesis Karbon Aktif dari Limbah Biomassa dan Aplikasinya dalam Pengurangan Kadar Congo Red 4BS. *Unnes Physic Journal*, 6(1), 31–36.