

**SINTESIS KOMPOSIT NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO UNTUK  
DEGRADASI FOTOKATALITIK ZAT WARNA CONGO RED**

**SKRIPSI**

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



**Anisa Fitri Amatullah**

**08031281823032**

**JURUSAN KIMIA**

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

**2022**

## HALAMAN PENGESAHAN

### SINTESIS KOMPOSIT NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO UNTUK DEGRADASI FOTOKATALITIK ZAT WARNA CONGO RED

## SKRIPSI

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

**Diusulkan Oleh:**

**Anisa Fitri Amatullah  
NIM. 08031281823032**

Indralaya, 27 Juli 2022

**Telah Disetujui Oleh:**

**Pembimbing I**



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

**Pembimbing II**



**Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, 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 Komposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO Untuk Degradasi Fotokatalitik Zat Warna *Congo Red*”, telah diseminarkan dihadapan Tim Pengaji 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. Ferlinahayati, M. Si.**

NIP. 197402052000032001

(  )

Sekretaris:

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

NIP. 197407212001121001

(  )

Pembimbing:

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

NIP. 197409282000121001

(  )

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

NIP. 196808271994022001

(  )

Pengaji:

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

NIP. 197304031999032001

(  )

2. **Drs. Dasril Basir, M. Si.**

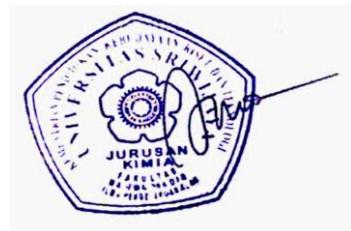
NIP. 195810091986031005

(  )

Dekan FMIPA

Mengetahui,

Ketua Jurusan Kimia



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

NIP. 197111191997021001

Prof. Dr. Muharni, M. Si.

NIP. 196903041994122001

## **PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH**

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Anisa Fitri Amatullah

NIM : 08031281823032

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



Anisa Fitri Amatullah

NIM. 08031281823032

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

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

Nama mahasiswa : Anisa Fitri Amatullah  
NIM : 08031281823032  
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 Komposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO Untuk Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Congo Red”. 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



Anisa Fitri Amatullah

NIM. 08031281823032

## SUMMARY

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

Anisa Fitri Amatullah : 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 + 82 pages, 5 tables, 21 pictures, 12 attachments

Research on the synthesis of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO and its application on photocatalytic degradation of congo red dye has been done. The NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> compound was synthesized through coprecipitation method, NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> composite was synthesized through the sol gel method, and NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO composite was synthesized by hydrothermal method. The results of the synthesis of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO composite were characterized using XRD, SEM-EDX, VSM and UV-VIS DRS. The XRD pattern of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO compounds produced the highest peak at  $2\theta = 35.72^\circ$  with a crystal size of 66.53 nm. NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO image by SEM-EDX showed heterogeneous morphology with the constituent elements in the form of Ni(22.83%), Fe(4.7%), O(39.47%), and Si(3.25%). The results of the VSM characterization of the hysteresis curve resulted in a saturation magnetization of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO of 44.13 emu/g. The result of UV-VIS DRS produces energy band gap of 1.43 eV. Magnetic nanoparticles NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO has a pH<sub>pzc</sub> of 6.13. The best conditions for reducing congo red dye were at a concentration of 20 mg/L, with a contact time of 120 minutes, and with the addition of 0.1 mL of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. The effectiveness of reducing dye produced is 81.21%. These results were tested with TOC with initial ppmC before degradation of 388.13 mg/L and after degradation to 5.20 mg/L with a TOC degradation percentage of 98.66%.

Keyword: NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO, degradation, photocatalytic, *congo red*, TOC, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Citasian: 77 (2000-2021)

**RINGKASAN**  
**SINTESIS KOMPOSIT NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO UNTUK  
DEGRADASI FOTOKATALITIK ZAT WARNA CONGO RED**

Anisa Fitri Amatullah : Dibimbing oleh Dr. Addy Rachmat, M.Si and Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si

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

xix + 82 halaman, 5 tabel, 21 gambar, 12 lampiran

Penelitian tentang sintesis NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO untuk degradasi fotokatalitik zat warna *congo red*. Senyawa NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi, lalu sintesis NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> menggunakan metode sol gel, dan sintesis NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO menggunakan metode hidrotermal. Hasil sintesis NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO dikarakterisasi dengan menggunakan XRD, SEM-EDX, VSM dan UV-VIS DRS. Hasil karakterisasi XRD senyawa NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO menghasilkan puncak tertinggi pada  $2\theta = 35,72^\circ$  dengan ukuran kristal 66,53 nm. Senyawa NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO dikarakterisasi dengan SEM-EDX menunjukkan morfologi yang heterogen dengan elemen penyusun berupa Ni(22,83%), Fe(4,7%), O(39,47%), dan Si(3,25%). Hasil karakterisasi VSM dari kurva histerisis menghasilkan magnetisasi saturasi NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO sebesar 44,13 emu/g. Hasil UV-VIS DRS menghasilkan celah pita energi sebesar 1,43 eV. Magnetik nanopartikel NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO memiliki pH<sub>pzc</sub> sebesar 6,13. Kondisi terbaik untuk penurunan zat warna *congo red* pada konsentrasi 20 mg/L, dengan waktu kontak 120 menit, dan dengan penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebanyak 0,1 mL. Besar efektivitas penurunan zat warna yang dihasilkan sebesar 81,21%. Hasil tersebut diuji dengan TOC dengan ppmC awal sebelum degradasi sebesar 388,13 mg/L dan setelah degradasi menjadi 5,20 mg/L dengan persentase degradasi TOC sebesar 98,66%.

Kata kunci: NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO, degradasi, fotokatalitik, *congo red*, TOC, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Sitas: 77 (2000-2021)

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

### **Motto**

“be thankful and giving thanks is the one the keys to happiness”

*Mark Lee*

“life is actually very simple, don’t have to make it so complicated”

*Lucas Wong*

“don’t smile only when you’re happy, but smile to be happy”

*Andy Park*

태엽을 감아 다시 해도 괜찮아

Taeyeobeul gama dasi haedo gwaenchana

조금 비틀대다 혼자만의 리듬을 찾아

Jogeum biteuldaeda honjamanui rideumeul chaja

*Jisung Park~Life is Still Going On*

Skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Allah SWT
2. Almh. nenek dan bunda terkasih
3. Kedua orang tua dan adik-adik tercinta
4. Seluruh keluarga besar Idrus & Dasima
5. Almamater

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Sintesis Komposit NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO Untuk Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Congo Red”** dengan lancar. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan para sahabat serta seluruh pengikutnya hingga akhir zaman.

Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana Sains 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. Kepada **Allah SWT** yang telah mendengar seluruh keluh kesah, memberi pertolongan dan jalan terbaik agar penulis bisa sampai pada tahap ini.
2. Ibu **Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M. Si.** selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah bersedia menerima penulis menjadi salah satu anak bimbingan ibu. Serta terimakasih telah memberikan ilmu, masukan, pengetahuan, amanat, pengalaman kepada penulis dalam pelaksanaan skripsi ini. Terimakasih ibu.
3. Bapak **Dr. Addy Rachmat M, Si.** selaku dosen pembimbing tugas akhir dan dosen pembimbing akademik, terimakasih bapak untuk ilmunya, pengalaman dan pengetahuan bapak, serta banyak canda tawa bapak yang telah membimbing dari semester satu sampai semester akhir. Terimakasih bapak.

4. Bapak **Prof. Hermansyah, S. Si, M. Si, Ph.D.** selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya dan Ibu **Prof. Dr, Muhamni, M. Si.** selaku ketua jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Ibu **Widia Purwaningrum, M. Si.** dan bapak **Drs. Dasril Basir, M. Si** selaku dosen pembahas dan penguji selama seminar dan siding tugas akhir penulis. Terimakasih atas masukan dan banyak bantuan yang telah bapak dan ibu berikan kepaa penulis.
6. Ibu **Dr. Ferlinahayati, M. Si.** dan Bapak **Dr. Muhammad Said, M. T** selaku ketua dan sekretaris sidang akhir penulis. Terimakasih untuk bantuan, masukkan, motivasi dan semangatnya.
7. **Seluruh Dosen Kimia** Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam yang telah memberikan ilmu serta pengalaman selama masa perkuliahan penulis.
8. Kedua orang tua tercinta, Ibu **Fitri Zaleha** dan Bapak **Awaluddin** yang telah memberikan kasih saYang, dukungan baik daam bentuk moril dan material, serta doa dan nasihat hingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Terimakasih ayah dan mama untuk semuanya.
9. Adikku tercinta **Adhelia Rizky Afridayani** dan **Rasyid Fattah Ar-Razzaq** yang banyak memberikan dukungan, semangat, kasih sayang, serta canda tawa kepada penulis selama kuliah.
10. Keluarga besar **Idrus Kari Bungsu** dan **Dasima** yang selalu mendukung dan mendoakan penulis.
11. Mbak **Novi** dan Kak **Iin** selaku admin jurusan kimia yang selalu sabar dalam membantu pengurusan administrasi penulis selama perkuliahan hingga selesai. Dan kepada **Ibu Yanti, Ibu Nur, dan Ibu Niar** yang telah membantu baik dalam perkuliahan maupun pada saat pelaksanaan tugas akhir penulis.
12. Sahabatku, **Anggun Dita Dyah Gayatri** yang telah mau menemani dan membantu penulis saat berada dikelas A, terimakasih telah mau di ajak ke bidang analis ini dan ditunggu kabar baiknya selalu. **Sri Anita Andini** yang dimana memiliki sifat dan pandangan berbeda namun tetap

menemani penulis sejak maba hingga semkem, semhas, sidang bahkan mengurus berkas yudisium dan wisuda bersama. Dan **Tias Anisa Kemuning** yang menjadi penengah diantara kami, jangan pernah merasa sendirian, dan ditunggu kabar baiknya selalu. Terimakasih kepada kalian yang telah menemani penulis diperantauan ini.

13. Teman-teman tugas akhir satu dosen pembimbing **Veronica, Salsabilla Azka, Nurhidayah**, dan **Siti Azizah** terimakasih atas bantuannya selama penelitian berlangsung, telah menemani, mengajari dan membagi ilmu yang telah kalian dapat kepada penulis. Teman-teman tugas akhir satu lab **Sicho, Vika, Nurul, Dinda**, dan **Aini**. terimakasih untuk kata-kata motivasi dan semangatnya setiap masuk lab. Teman lembur **Siti Solecha** dan **Tiara Nabila**, jangan lupa memberi kabar baiknya, sampai ketemu untuk lembur ditempat lain.
14. Untuk puan-puan seperantauan **Alfia Revanti, Devara Olivia Pratiwi, Melati Elbi Sinaga, Musvita Dina Steni Haq, Nurullah Marina Kelana, Diah Titis Sriwulandary** yang telah menjadi bagian kisah selama perkuliahan ini. Terimakasih atas semua cinta, kasih sayang, dukungan, motivasi, cerita baik suka maupun duka dan semua pelajaran yang dapat merubah sikap dan pandangan agar menjadi manusia yang lebih baik lagi kedepannya. Terimakasih telah menjadi rumah selama perkuliahan ini, saling tetap bersatu walau berbeda pandangan dan semoga sampai seterusnya hubungan baik tetap terjalin.
15. Untuk para tuan-tuan seperantauan **Maul, Alifi, Andrian, Difo, Daniel, Kevin dan Aga** teman yang sibuk di tiga tahun pertama dan baru bermain selama satu tahun menjelang kelulusan. Pokoknya serulah dengan kalian semua.
16. Kepada sahabat sma, bersatu dalam perjulidan **Meli, Enjek, Diyak, Ejik, Ezra, Meme, Cete**, dan **Dila** untuk dukungan, doa, semangat yang diberikan kepada penulis. *See you on top guys.*

17. Kepada adik asuh **Robiatul Adawiyah** dan **Dian sinta** maaf belum bisa membantu secara maksimal selama diperkuliahan ini. Semangat untuk kalian berdua ya.
18. Kakak tingkat **Angkatan 2016, Angatan 2017**, serta teman-teman **Angkatan 2018**, terimakasih atas bantuan dan informasi-informasi selama perkuliahan ini. Semoga sukses selalu.
19. Serta semua pihak yang tidak dapat ditulis satu persatu yang juga banyak memberikan kontribusinya dalam perkuliahan ini.  
Semoga kebaikan semua pihak yang telah memberikan bantuan dibalas oleh Allah SWT dan semoga skripsi ini bermanfaat bagi mahasiswa/mahasiswi Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya dan semua yang membutuhkannya.

Indralaya, 25 Juli 2022

Penulis



Anisa Fitri Amatullah

NIM. 08031281823032

## DAFTAR ISI

<b>COVER .....</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>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</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 .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Limbah Zat Warna.....	5
2.2 Zat Warna Azo <i>Congo Red</i> .....	5
2.3 Ferit Nikel ( $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ) .....	6
2.4 Silika Dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) .....	8
2.5 Nikel Oksida ( $\text{NiO}$ ) .....	9

2.6	Fotokatalitik.....	10
2.7	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	12
2.8	<i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDS).....	14
2.9	<i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM) .....	15
2.10	<i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (Uv-Vis DRS).....	16
2.11	<i>pH Point of Zero Charge</i> (pHpzc).....	17
2.12	<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 Percobaan .....	20
3.3.1	Sintesis NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Metode Kopresipitasi .....	20
3.3.2	Sintesis Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> Metode Sol-gel .....	20
3.3.3	Sintesis Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO Metode Hidrotermal .....	20
3.4	Karakterisasi Material .....	21
3.4.1	Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	21
3.4.2	Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy-Energi Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDS) .....	21
3.4.3	Karakterisasi <i>Vibrating Sample Magnometer</i> (VSM).....	21
3.4.4	Karakterisasi <i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (Uv-Vis DRS) .....	22
3.4.5	Penentuan <i>pH Point of Zero Charge</i> (pHpzc) Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO .....	22

3.5	Penentuan Konsentrasi Zat Warna <i>Congo Red</i> .....	22
3.5.1	Pembuatan Larutan Induk <i>Congo Red</i> 1000 ppm .....	22
3.5.2	Pembuatan Larutan Standar <i>Congo Red</i> .....	22
3.5.3	Penentuan Kurva Kalibrasi Zat Warna <i>Congo Red</i> .....	22
3.6	Penentuan Kondisi Terbaik Penurunan Konsentrasi Zat Warna <i>Congo Red</i> .....	23
3.6.1	Pengaruh Konsentrasi Zat Warna .....	23
3.6.2	Pengaruh Waktu Kontak .....	23
3.6.3	Pengaruh Penambahan H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	23
3.7	Analisis Data Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO .....	24
3.7.1	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	24
3.7.2	<i>Scanning Electron Microscopy-Energi Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDS).....	24
3.7.2	<i>Vibrating Sample Magnometer</i> (VSM).....	24
3.7.3	<i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (Uv-Vis DRS) .....	24
3.7.4	Penentuan Efisiensi Degradasi.....	25
3.7.5	<i>Total Organic Carbon</i> (TOC) .....	25
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	.....	<b>26</b>
4.1	Hasil Sintesis NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	26
4.2	Hasil Sintesis Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> .....	26
4.3	Hasil Sintesis Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO .....	27
4.4	Hasil Karakterisasi Material .....	28
4.4.1	Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> , dan NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO.....	28
4.4.2	Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy-Energi Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDS).....	29

4.4.3 Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Vibrating Sample Magnometer</i> (VSM) .....	31
4.4.4 Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (Uv-Vis DRS).....	32
4.4.5 Hasil <i>pH Point of Zero Charge</i> (pHpzc) Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO .....	34
4.5 Penentuan Kondisi Terbaik Penurunan Konsentrasi Zat Warna <i>Congo Red</i> .....	35
4.5.1 Pengaruh Variasi Konsentrasi.....	35
4.5.2 Pengaruh Variasi Waktu Kontak.....	36
4.5.3 Pengaruh Variasi Penambahan H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	38
4.5.4 <i>Total Organic Carbon</i> (TOC) .....	39
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>41</b>
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran .....	41
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>42</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>50</b>
<b>DAFTAR RIAYAT HIDUP .....</b>	<b>82</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Struktur Zat Warna <i>Congo Red</i> .....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Struktur Spinel $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ .....	7
<b>Gambar 2.3</b>	Mekanisme degradasi zat warna Congo Red dimulai dari e-aq ..	11
<b>Gambar 2.4</b>	Mekanisme degradasi zat warna Congo Red dimulai dari OH ...	12
<b>Gambar 2.6</b>	Hasil Karakteristik XRD .....	13
<b>Gambar 2.7</b>	Hasil Karakterisasi SEM .....	15
<b>Gambar 2.8</b>	Hasil VSM $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-SiO}_2$ .....	16
<b>Gambar 2.9</b>	Grafik Karakterisasi Uv-Vis DRS $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ pada Variasi Suhu ..	<b>Error! Bookmark</b>
<b>Gambar 2.10</b>	Hasil <i>pH Point of Zero Charge</i> (pHpzcs).....	18
<b>Gambar 4.1</b>	Serbuk Sintesis $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ .....	26
<b>Gambar 4.2</b>	Serbuk Sintesis $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ .....	<b>Error! Bookmark</b>
<b>Gambar 4.3</b>	Serbuk Sintesis $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{NiO}$ .....	<b>Error! Bookmark</b>
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil Spektra XRD $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ , $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-SiO}_2$ , dan $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ .....	28
<b>Gambar 4.5</b>	Hasil SEM-EDS Senyawa (a) $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ , (b) $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ , (c) $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{NiO}$ dengan perbesaran $10.000\times$ .....	30
<b>Gambar 4.6</b>	Hasil Grafik VSM $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ , $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ , dan $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{NiO}$ .....	32
<b>Gambar 4.7</b>	Hasil Analisa UV-Vis DRS $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ .....	33
<b>Gambar 4.8</b>	Hasil Analisa UV-Vis DRS $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ .....	33
<b>Gambar 4.9</b>	Hasil Analisa UV-Vis DRS $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{NiO}$ .....	34
<b>Gambar 4.10</b>	Grafik <i>pH Point of Zero Charge</i> (pHpzc) Komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{NiO}$ .....	35
<b>Gambar 4.11</b>	Grafik Penurunan Zat Warna Variasi Konsentrasi .....	36
<b>Gambar 4.12</b>	Grafik Penurunan Zat Warna Variasi Waktu Kontak.....	37
<b>Gambar 4.13</b>	Grafik Penurunan Zat Warna Variasi Penambahan $\text{H}_2\text{O}_2$ .....	38

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Pola XRD dari puncak difraksi NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO .....	14
<b>Tabel 4.1</b> Data XRD NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> , dan NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO .....	29
<b>Tabel 4.2</b> Data EDS NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> , dan NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO .....	29
<b>Tabel 4.3</b> Data VSM NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> , dan NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO .....	31
<b>Tabel 4.4</b> Data Analisis <i>Total Organic Carbon</i> (TOC) Sebelum dan Setelah Degradasi Fotokatalitik .....	39

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Diagram Alir Prosedur Penelitian .....	50
<b>Lampiran 2.</b> Reaksi Pembentukan NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	53
<b>Lampiran 3.</b> Hasil Karakterisasi Menggunakan XRD .....	54
<b>Lampiran 4.</b> Hasil Karakterisasi Menggunakan SEM-EDS .....	60
<b>Lampiran 5.</b> Hasil Karakterisasi Menggunakan VSM .....	65
<b>Lampiran 6.</b> Hasil Karakterisasi Menggunakan Uv-Vis DRS .....	66
<b>Lampiran 7.</b> Panjang Gelombang Maksimum <i>Congo Red</i> .....	69
<b>Lampiran 8.</b> Kurva Kalibrasi Congo Red .....	70
<b>Lampiran 9.</b> Data dan Grafik <i>pH Point Of Zero Charge</i> (pHpzc) Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO .....	Error! Bookmark
<b>Lampiran 10.</b> Kondisi Terbaik Penurunan Konsentrasi Zat Warna <i>Congo Red</i> Menggunakan Komposit NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /SiO <sub>2</sub> /NiO .....	Error! Bookmark
<b>Lampiran 11.</b> Perhitungan TOC ( <i>Total Organic Carbon</i> ) .....	79
<b>Lampiran 12.</b> Gambar Penelitian .....	80

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Produksi 1 ton bahan tekstil dalam suatu industri tekstil dapat menyumbangkan sekitar  $200\text{ m}^3$  hingga  $300\text{ m}^3$  limbah zat pewarna ke aliran sungai (Akhtar *et al.*, 2020). Hal ini dapat menurunkan daya dukung lingkungan terhadap makhluk hidup akibat berkurangnya sinar yang masuk ke aliran sungai dan adanya polutan yang bersifat toksik menutupi permukaan aliran sungai. Dibutuhkannya pengolahan limbah industri tekstil terlebih dahulu secara konvensional atau lanjutan sebelum dibuang ke lingkungan (Silva *et al.*, 2018).

Limbah zat pewarna sintetis yang banyak digunakan dalam sektor industri tekstil berupa zat pewarna azo dimana penggunaannya sekitar 70% per tahun dari total keseluruhan penggunaan jenis zat warna lainnya (Labiadh *et al.*, 2015). Berdasarkan jumlah pewarna kimia azo sintetik yang beredar dipasaran, 60% nya tergolong dalam senyawa anilin, salah satunya berupa zat warna *congo red* yang ditemukan pada tahun 1884. Zat warna *congo red* yang dibuang ke lingkungan tidak boleh lebih dari 5 mg/L karena bersifat karsinogenik yang dapat membahayakan makhluk hidup serta lingkungan sekitar sehingga perlu diolah terlebih dahulu (Liu *et al.*, 2019).

Metode-metode yang telah dilakukan dalam upaya mengurangi konsentrasi zat warna dalam limbah industri diantaranya menggunakan metode flokulasi/koagulasi, oksidasi lanjutan kimia dan metode elektrokimia (Silva *et al.*, 2018). Hasil yang didapat dari metode-metode tersebut kurang efektif bahkan dapat menimbulkan suatu permasalahan yang baru seperti menimbulkan endapan lumpur pada aliran sungai (Saraswati dkk., 2015). Diperlukan suatu metode alternatif dengan biaya murah dan dalam prosesnya tidak sulit digunakan seperti metode fotodegradasi dengan menggunakan suatu senyawa semikonduktor dengan bantuan sinar *ultraviolet visible* atau sinar matahari (Juhra dan Notodarmojo., 2016).

Fotokatalitik merupakan salah satu reaksi pemisahan dengan menggunakan senyawa semikonduktor yang bersifat ramah lingkungan, dimana sistem kerjanya berkelanjutan dan hemat energi. Fotokatalitik juga dapat digunakan pada lingkungan yang biodegradasi atau penguraian oleh mikroorganisme yang rendah dan konsentrasi polutannya tinggi (Koe *et al.*, 2019). Metode fotokatalitik termasuk dalam salah satu metode pengolahan limbah dengan proses yang cepat, tidak menghasilkan lumpur, hasil dari prosesnya tinggi dan biayanya murah (Khataee *et al.*, 2011). Proses kerja fotokatalitik ditandai dengan berlangsungnya fotoinduksi senyawa oksida katalis. Proses tersebut menghasilkan suatu radikal oksidatif untuk mendegradasi zat warna, yang diaktivasi oleh adsorpsi foton atau penyerapan cahaya matahari (Akpan and Hameed., 2009).

Nikel oksida ( $\text{NiO}$ ) termasuk salah satu golongan semikonduktor tipe p yang memiliki celah pita sebesar 3,5 eV, pita valensi 3,1 eV dan pita konduksi sebesar (-0,5 V) yang dipakai dalam berbagai bahan industri sebagai katalis, bahan magnetik, bahan elektroda dan bahan aktif elektrokimia.  $\text{NiO}$  memiliki keunggulan dimana dapat digunakan dalam mengkonversikan energi matahari dan dapat meningkatkan jumlah oksigen pada air saat proses fotokatalitik (Mihaly *et al.*, 2011). Penggunaan partikel nano  $\text{NiO}$  disisi lain menyulitkan proses pemisahan setelah aplikasi material. Pemisahan material fotokatalitik akan lebih mudah dengan bantuan sifat magnetik yang ditambahkan melalui pembentukan komposit  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ .

Nanopartikel  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  yang tergolong ke dalam salah satu jenis *spinel ferrit* merupakan salah satu material magnetik yang memiliki nilai koersivitas dan magnetisasi yang rendah, namun memiliki resistivitas listrik yang tinggi sehingga sangat cocok untuk penggunaan bagian magnetik dan yang baik digunakan untuk bahan inti dari suatu komposit (Joshi *et al.*, 2014).

Nanopartikel  $\text{NiO}$  memiliki kelemahan saat dikompositkan dengan senyawa magnetik, dimana elektron yang berada pada pita valensi  $\text{NiO}$  akan loncat ke pita konduksi magnetik sehingga mengurangi kinerja dari katalis  $\text{NiO}$  tersebut. Untuk mengatasi kelemahan nanopartikel  $\text{NiO}$  tersebut, diperlukan lapisan antara katalis dan semi konduktor seperti  $\text{SiO}_2$  agar mencegah terjadinya fotodisolusi dan dapat

menstabilkan sifat magnetik. Penambahan  $\text{SiO}_2$  antara katalis dan semikonduktor dapat mengurangi efek sterik yang ditandai dengan gaya elektrostatik pada larutan dan meningkatkan sifat hidrofilikitas atau dapat berinteraksi dengan air (Akhtar *et al.*, 2020). Senyawa  $\text{SiO}_2$  yang disintesis akan membentuk suatu lapisan antara  $\text{NiO}$  dengan lapisan  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  untuk meningkatkan stabilitas termal dan meningkatkan sifat adsorpsi sehingga efektif saat digunakan (Mohamed and Harraz., 2020).

Penelitian ini melakukan sintesis  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  yang berperan sebagai bahan magnet,  $\text{NiO}$  sebagai katalis, dan  $\text{SiO}_2$  digunakan untuk mencegah proses fotodisolusi serta menstabilkan sifat magnet, sehingga membentuk komposit  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{NiO}$  yang kemudian digunakan dalam degradasi zat warna *congo red*. Penentuan efektifitas dalam proses degradasi zat warna *congo red* dilakukan berdasarkan pengaruh konsentrasi zat warna *congo red*, waktu kontak dan penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana hasil sintesis dan karakterisasi komposit  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{NiO}$ ?
2. Bagaimana kemampuan efektifitas komposit  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{NiO}$  dalam mendegradasi zat warna *congo red* berdasarkan variasi konsentrasi, waktu kontak dan penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$ ?
3. Bagaimana efektifitas penurunan konsentrasi zat warna *congo red* berdasarkan perbandingan jumlah konsentrasi karbon sebelum dan sesudah degradasi?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, berupa :

1. Menganalisis karakteristik material  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{NiO}$  dengan XRD, SEM-EDS, VSM, dan UV-Vis DRS.
2. Menentukan kondisi terbaik bagi komposit  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{NiO}$  pada proses degradasi zat warna *congo red* berdasarkan variasi konsentrasi, waktu kontak dan penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

3. Menganalisis konsentrasi karbon sebelum dan sesudah degradasi zat warna *congo red* menggunakan *Total Organic Carbon* (TOC).

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan metode sintesis  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{NiO}$  menjadi suatu komposit. Komposit  $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{NiO}$  yang dikembangkan dapat digunakan sebagai bahan semikonduktor dalam metode fotokatalis untuk mengurangi dan mendegradasi zat warna pada limbah industri tekstil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adam, F., Appaturi, J. N., & Iqbal, A. (2012). The utilization of rice husk silica as a catalyst: Review and recent progress. *Catalysis Today*, 190(1), 2–14.
- Akhtar, A., Aslam, Z., Asghar, A., Bello, M. M., & Raman, A. A. A. (2020). Electrocoagulation of Congo Red dye-containing wastewater: Optimization of operational parameters and process mechanism. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 1–10.
- Akpan, U. G., & Hameed, B. H. (2009). Parameters affecting the photocatalytic degradation of dyes using TiO<sub>2</sub>-based photocatalysts: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 170(2–3), 520–529.
- Alagiri, M., Ponnusamy, S., & Muthamizhchelvan, C. (2012). Synthesis and characterization of NiO nanoparticles by sol-gel method. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 23(3), 728–732.
- Ali, A. M., & Najmy, R. (2013). Structural, optical and photocatalytic properties of NiO-SiO<sub>2</sub> nanocomposites prepared by sol-gel technique. *Catalysis Today*, 208, 2–6.
- Ali, N., Said, A., Ali, F., Raziq, F., Ali, Z., Bilal, M., Reinert, L., Begum, T., & Iqbal, H. M. N. (2020). Photocatalytic Degradation of Congo Red Dye from Aqueous Environment Using Cobalt Ferrite Nanostructures : Development , Characterization , and Photocatalytic Performance. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231(50), 1–16.
- Anandan, K., & Rajendran, V. (2015). Effects of Mn on the magnetic and optical properties and photocatalytic activities of NiO nanoparticles synthesized via the simple precipitation process. *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*, 199, 48–56.
- Azami, M., Bahram, M., & Nouri, S. (2013). Central composite design for the optimization of removal of the azo dye, Methyl Red, from waste water using Fenton reaction. *Current Chemistry Letters*, 2(2), 57–68.
- Cai, X., Zhang, Y., Hu, H., Huang, Z., Yin, Y., Liang, X., Qin, Y., & Liang, J. (2020). Valorization of manganese residue to prepare a highly stable and active Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-SiO<sub>2</sub>/starch-derived carbon composite for catalytic degradation of dye waste water. *Journal of Cleaner Production*, 258, 1–12.
- Chiu, Y. H., Chang, T. F. M., Chen, C. Y., Sone, M., & Hsu, Y. J. (2019). Mechanistic insights into photodegradation of organic dyes using heterostructure photocatalysts. *Catalysts*, 9(5), 1–32.
- 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(6), 406–410.

- Galindo, R., Mazario, E., Gutiérrez, S., Morales, M. P., & Herrasti, P. (2012). Electrochemical synthesis of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles: Characterization and their catalytic applications. *Journal of Alloys and Compounds*, 536, S241–S244.
- Gebreslassie, G., Bharali, P., Chandra, U., Sergawie, A., Baruah, P. K., Das, M. R., & Alemayehu, E. (2019). Hydrothermal Synthesis of g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanocomposite and Its Enhanced Photocatalytic Activity. *Applied Organometallic Chemistry*, 33(8), 1–12.
- Hajalilou, A., Hashim, M., Ebrahimi-Kahrizsangi, R., Mohamed Kamari, H., & Sarami, N. (2014). Synthesis and structural characterization of nano-sized nickel ferrite obtained by mechanochemical process. *Ceramics International*, 40(4), 5881–5887.
- Hamad, M. T. M. H., & Saied, M. S. S. (2021). Kinetic studies of Congo red dye adsorption by immobilized Aspergillus niger on alginate. *Applied Water Science*, 11(2), 1–12.
- Ho, Y. C., Show, K. Y., Guo, X. X., Norli, I., Abbas, F. M. A., & Morad, N. (2012). Industrial Discharge and Their Effect to the Environment. In *Industrial Waste* (pp. 1–33).
- Hosseini Nasab, N., & Safari, J. (2019). Synthesis of a wide range of biologically important spiropyrans and spiroacenaphthylenes, using NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-SiO<sub>2</sub>-Melamine magnetic nanoparticles as an efficient, green and reusable nanocatalyst. *Journal of Molecular Structure*, 1193, 118–124.
- Hu, H., Wang, M., Xuan, H., Zhang, K., & Xu, J. (2017). Single-crystalline porous NiO nanobiscuits with prompt adsorption activity for Congo red. *Micro and Nano Letters*, 12(12), 987–990.
- Huang, J. J., Lin, C. C., & Wuu, D. S. (2017). Antireflection and passivation property of titanium oxide thin film on silicon nanowire by liquid phase deposition. *Surface and Coatings Technology*, 320, 252–258.
- Huang, Z., Gao, Z., Gao, S., Wang, Q., Wang, Z., Huang, B., & Dai, Y. (2017). Facile synthesis of S-doped reduced TiO<sub>2-x</sub> with enhanced visible-light photocatalytic performance. *Cuihua Xuebao/Chinese Journal of Catalysis*, 38(5), 821–830. [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(17\)62825-0](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(17)62825-0)
- Iqbal, J., Shah, N. S., Sayed, M., Khan, N., Imran, M., Ali, J., Ul, Z., Khan, H., Gamal, A., & Hussien, S. (2021). Nano-zerovalent manganese / biochar composite for the adsorptive and oxidative removal of Congo-red dye from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123854.
- Jo, Y. K., Lee, J. M., Son, S., & Hwang, S. J. (2019). 2D inorganic nanosheet-based hybrid photocatalysts: Design, applications, and perspectives. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 40, 150–

190.

- Joshi, S., Kumar, M., Chhoker, S., Srivastava, G., Jewariya, M., & Singh, V. N. (2014). Structural, magnetic, dielectric and optical properties of nickel ferrite nanoparticles synthesized by co-precipitation method. *Journal of Molecular Structure*, 1076, 55–62.
- Juhra, F., & Notodarmojo, S. (2016). Degradasi Zat Warna Pada Air Gambut Menggunakan Metode Kombinasi Koagulasi dan Fotokatalitik ZnO. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 22(1), 42–51.
- Khadhraoui, M., Trabelsi, H., Ksibi, M., Bouguerra, S., & Elleuch, B. (2009). Discoloration and detoxification of a Congo red dye solution by means of ozone treatment for a possible water reuse. *Journal of Hazardous Materials*, 161(2–3), 974–981.
- Khalid, N. R., Majid, A., Tahir, M. B., Niaz, N. A., & Khalid, S. (2017). Carbonaceous-TiO<sub>2</sub> nanomaterials for photocatalytic degradation of pollutants: A review. *Ceramics International*, 43(17), 14552–14571.
- Khataee, A. R., Zarei, M., Fathinia, M., & Jafari, M. K. (2011). Photocatalytic degradation of an anthraquinone dye on immobilized TiO<sub>2</sub> nanoparticles in a rectangular reactor: Destruction pathway and response surface approach. *Desalination*, 268(1–3), 126–133.
- Koe, W. S., Lee, J. W., Chong, W. C., Pang, Y. L., & Sim, L. C. (2019). An overview of photocatalytic degradation: photocatalysts, mechanisms, and development of photocatalytic membrane. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(3), 2522–2565.
- Kooti, M., & Sedeh, A. N. (2013). Synthesis and Characterization of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Magnetic Nanoparticles by Combustion Method. *Journal of Materials Science and Technology*, 29(1), 34–38.
- Krisnawan, A. (2009). Karakterisasi Sampel Paduan Magnesium Jenis Az9 1D Dengan Berbagai Variasi Waktu Milling Menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) Dan X-Ray Difraction (XRD).
- Labiad, L., Barbucci, A., Cerisola, G., Gadri, A., Ammar, S., & Panizza, M. (2015). Role of anode material on the electrochemical oxidation of methyl orange. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 19(10), 3177–3183.
- Listorini, Fahyuan, H. D., & Ngatijo. (2018). Pengaruh Doping Al Terhadap Band Gap Energy Lapisan Tipis ZnO. *JoP*, 4(1), 24–29.
- Liu, J., Wang, N., Zhang, H., & Baeyens, J. (2019). Adsorption of Congo red dye on Fe<sub>x</sub>Co<sub>3-x</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles. *Journal of Environmental Management*, 238(February), 473–483.

- Liu, Y., Chen, X., Li, J., & Burda, C. (2005). Photocatalytic degradation of azo dyes by nitrogen-doped TiO<sub>2</sub> nanocatalysts. *Chemosphere*, 61(1), 11–18.
- Londeree, D. J. (2002). Silica-Titania composites for water treatment. In *University of Florida*.
- Luo, C., Wu, D., Gan, L., Cheng, X., Ma, Q., Tan, F., Gao, J., Zhou, W., Wang, S., Zhang, F., & Ma, J. (2020). Oxidation of Congo red by thermally activated persulfate process: Kinetics and transformation pathway. *Separation and Purification Technology*, 244, 1–7.
- Ma, H., Wang, M., Yang, R., Wang, W., Zhao, J., Shen, Z., & Yao, S. (2007). Radiation degradation of Congo Red in aqueous solution. *Chemosphere*, 68(6), 1098–1104.
- Majid, F., Rauf, J., Ata, S., Bibi, I., Malik, A., Ibrahim, S. M., Ali, A., & Iqbal, M. (2021). Synthesis and characterization of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ferrite: Sol-gel and hydrothermal synthesis routes effect on magnetic, structural and dielectric characteristics. *Materials Chemistry and Physics*, 258.
- Marinca, T. F., Chicinas, I., Isnard, O., Pop, V., & Popa, F. (2011). Synthesis, structural and magnetic characterization of nanocrystalline nickel ferrite - NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> obtained by reactive milling. *Journal of Alloys and Compounds*, 509(30), 7931–7936.
- McCafferty, E. (2010). Relationship between the isoelectric point (pHpzc) and the potential of zero charge (Epzc) for passive metals. *Electrochimica Acta*, 55(5), 1630–1637.
- Mezohegyi, G., Kolodkin, A., Castro, U. I., Bengoa, C., Stuber, F., Font, J., Fabregat, A., & Fortuny, A. (2007). Effective anaerobic decolorization of azo dye acid orange 7 in continuous upflow packed-bed reactor using biological activated carbon system. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 46(21), 6788–6792.
- 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.
- Mohamed, R. M., & Harraz, F. A. (2020). Photoreduction coupling of NiO/SiO<sub>2</sub> nanocomposite with palladium and yttria nanoparticles: Visible-light-driven photocatalysts. *Materials Research Bulletin*, 131, 1–10.
- Molina, R., Martínez, F., Melero, J. A., Bremner, D. H., & Chakinala, A. G. (2006). Mineralization of phenol by a heterogeneous ultrasound/Fe-SBA-15/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process: Multivariate study by factorial design of experiments. *Applied Catalysis B: Environmental*, 66(3–4), 198–207.
- Mook, W. T., Chakrabarti, M. H., Aroua, M. K., Khan, G. M. A., Ali, B. S.,

- Islam, M. S., & Abu Hassan, M. A. (2012). Removal of total ammonia nitrogen (TAN), nitrate and total organic carbon (TOC) from aquaculture wastewater using electrochemical technology: A review. *Desalination*, 285, 1–13.
- Muflihatun, Shofiah, S., & Suharyadi, E. (2015). Sintesis Nanopartikel Nickel Ferrite ( $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ) dengan Metode Kopresipitasi dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya (Halaman 20 s.d. 25). *Jurnal Fisika Indonesia*, 19(56), 20–25.
- Muthukumar, M., Sargunamani, D., Selvakumar, N., & Venkata Rao, J. (2004). Optimisation of ozone treatment for colour and COD removal of acid dye effluent using central composite design experiment. *Dyes and Pigments*, 63(2), 127–134.
- Nguyen, V. C., Nguyen, N. L. G., & Pho, Q. H. (2015). Preparation of magnetic composite based on zinc oxide nanoparticles and chitosan as a photocatalyst for removal of reactive blue 198. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 6(3), 1–8.
- Ojemaye, M. O., Okoh, O. O., & Okoh, A. I. (2017). Performance of  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ - $\text{SiO}_2$ - $\text{TiO}_2$  Magnetic Photocatalyst for the Effective Photocatalytic Reduction of Cr(VI) in Aqueous Solutions. *Journal of Nanomaterials*, 2017, 1–11.
- Pang, J., Fu, F., Li, W., Zhu, L., & Tang, B. (2019). Fe-Mn binary oxide decorated diatomite for rapid decolorization of methylene blue with  $\text{H}_2\text{O}_2$ . *Applied Surface Science*, 478(June 2018), 54–61.
- Ponnusamy, P. M., Agilan, S., Muthukumarasamy, N., Senthil, T. S., Rajesh, G., Venkatraman, M. R., & Velauthapillai, D. (2016). Structural, optical and magnetic properties of undoped NiO and Fe-doped NiO nanoparticles synthesized by wet-chemical process. *Materials Characterization*, 114, 166–171. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2016.02.020>
- Pottker, W. E., Ono, R., Cobos, M. A., Hernando, A., Araujo, J. F. D. F., Bruno, A. C. O., Lourenço, S. A., Longo, E., & La Porta, F. A. (2018). Influence of order-disorder effects on the magnetic and optical properties of  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanoparticles. *Ceramics International*, 44(14), 17290–17297.
- Prasad, A. S. A., & Rao, K. V. B. (2013). Aerobic biodegradation of Azo dye by *Bacillus cohnii* MTCC 3616; An obligately alkaliphilic bacterium and toxicity evaluation of metabolites by different bioassay systems. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(16), 7469–7481.
- Pratama, R., Hardeli, & Yerimadesi. (2012). Penentuan Kondisi Optimum Proses Degradasi Zat Warna Methylene Blue pada Reaktoe Fotokatalitik  $\text{TiO}_2$ -PEG. *Chemistry*, 1(2), 52–58.

- Puspitarum, D. L., Safitri, G., Ardiyanti, H., & Anrokhi, M. S. (2019). Karakterisasi dan Sifat Kemagnetan Pasir Besi di Wilayah Lampung Tengah. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), 236–243.
- Qin, G., Wu, X., Wen, J., Li, J., & Zeng, M. (2019). A Core-Shell NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-SiO<sub>2</sub> Structure as a High-Performance Anode Material for Lithium-Ion Batteries. *ChemElectroChem*, 6(3), 911–916.
- Rebelo, Q. H. F., Ferreira, C. S., Santos, P. L., Bonacin, J. A., Passos, R. R., Pocrifka, L. A., & Paula, M. M. S. (2019). Synthesis and characterization of a nanocomposite NiO/SiO<sub>2</sub> from a sustainable source of SiO<sub>2</sub>. *Particulate Science and Technology*, 37(8), 907–911.
- 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 (UV). *Jurnal Kimia*, 9(2), 175–182.
- Sathishkumar, K., AlSalhi, M. S., Sanganyado, E., Devanesan, S., Arulprakash, A., & Rajasekar, A. (2019). Sequential electrochemical oxidation and bio-treatment of the azo dye congo red and textile effluent. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 200, 1–7.
- Sethi, M., Shenoy, U. S., Muthu, S., & Bhat, D. K. (2020). Facile solvothermal synthesis of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles for high-performance supercapacitor applications. *Frontiers of Materials Science*, 14(2), 120–132.
- Setiabudi, A., Hardian, R., & Muzakir, A. (2012). Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia. In *Upi Press* (Vol. 1).
- Setiawan, M. R., & Siregar, R. N. (2020). Kandungan Mineral dan Struktur Kristal Batu Sekis. *(SPEJ) Science and Physics Education Journal*, 4(1), 24–30.
- Silva, L. G. M., Moreira, F. C., Souza, A. A. U., Souza, S. M. A. G. U., Boaventura, R. A. R., & Vilar, V. J. P. (2018). Chemical and electrochemical advanced oxidation processes as a polishing step for textile wastewater treatment: A study regarding the discharge into the environment and the reuse in the textile industry. *Journal of Cleaner Production*, 198, 430–442.
- 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.
- Surono, A. T., & Sutanto, H. (2014). Sifat Optik Zinc Oxide (Zno) yang di deposisi di Atas Substrat Kaca Menggunakan Metode Chemical Solution deposition (CSD) dan Aplikasinya untuk Degradasi Zat Warna Methylene Blue. *Youngster Physics Journal*, 2(1), 7–14.

- Taib, S., & Suharyadi, E. (2015). Sintesis Nanopartikel Magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dengan Template silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 5(1), 23–30.
- Tanaka, K., Padermpole, K., & Hisanaga, T. (2000). Photocatalytic degradation of commercial azo dyes. *Water Research*, 34(1), 327–333.
- Tapalad, T., Neramittagapong, A., Neramittagapong, S., & Boonmee, M. (2008). Degradation of congo red dye by ozonation. *Chiang Mai Journal of Science*, 35(1), 63–68.
- Wang, Lei, Huang, Y., Sun, X., Huang, H., Liu, P., Zong, M., & Wang, Y. (2014). Synthesis and Microwave Absorption Enhancement of Graphene  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ - $\text{SiO}_2$ -NiO Nanosheets Hierarchical Structures. *Nanoscale*, 6(6), 1–20.
- Wang, Lixia, Li, J., Wang, Y., Zhao, L., & Jiang, Q. (2012). Adsorption capability for Congo red on nanocrystalline  $\text{MFe}_2\text{O}_4$  ( $\text{M}=\text{Mn, Fe, Co, Ni}$ ) spinel ferrites. *Chemical Engineering Journal*, 181–182, 72–79.
- Wang, W., Martin, J. C., Zhang, N., Ma, C., Han, A., & Sun, L. (2011). Harvesting silica nanoparticles from rice husks. *Journal of Nanoparticle Research*, 13(12), 6981–6990.
- Wang, Y., Zhao, H., & Zhao, G. (2015). Iron-copper bimetallic nanoparticles embedded within ordered mesoporous carbon as effective and stable heterogeneous Fenton catalyst for the degradation of organic contaminants. *Applied Catalysis B: Environmental*, 164, 396–406.
- Weng, C. H., & Tao, H. (2018). Highly efficient persulfate oxidation process activated with  $\text{Fe}_0$  aggregate for decolorization of reactive azo dye Remazol Golden Yellow. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(8), 1292–1300.
- Yan, A., Liu, X., Qiu, G., Wu, H., Yi, R., Zhang, N., & Xu, J. (2008). Solvothermal synthesis and characterization of size-controlled  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles. *Journal of Alloys and Compounds*, 458(1–2), 487–491.
- Zandipak, R., & Sobhanardakani, S. (2016). Synthesis of  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanoparticles for removal of anionic dyes from aqueous solution. *Desalination and Water Treatment*, 57(24), 11348–11360.
- Zein, R., Wardana, N., Refilda, R., & Aziz, H. (2018). Kulit Salak Sebagai Biosorben Potensial Untuk Pengolahan Timbal(II) Dan Cadmium(II) Dalam Larutan. *Chimica et Natura Acta*, 6(2), 56–64.
- Zeng, W., Miao, B., Lin, L. Y., & Xie, J. Y. (2012). Facile synthesis of  $\text{NiO}$  nanowires and their gas sensing performance. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 22(1), s100–s104.
- Zhu, H. Y., Jiang, R., Huang, S. H., Yao, J., Fu, F. Q., & Li, J. B. (2015). Novel

magnetic NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/multi-walled carbon nanotubes hybrids: Facile synthesis, characterization, and application to the treatment of dyeing wastewater. *Ceramics International*, 41(9), 11625–11631.