

**DEGRADASI FOTOKATALITIK ZAT WARNA METILEN BIRU
MENGUNAKAN NANOMAGNETIK $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$**

SKRIPSI

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



ERNA AMELIA STEPHANIE

08031281722049

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

2021

HALAMAN PENGESAHAN
DEGRADASI FOTOKATALITIK ZAT WARNA METILEN BIRU
MENGGUNAKAN NANOMAGNETIK $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$

SKRIPSI

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

Oleh:

ERNA AMELIA STEPHANIE

08031281722049

Indralaya, 22 September 2021

Pembimbing I



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

NIP. 196808271994022001

Pembimbing II



Dr. Addy Rachmat, M. Si.

NIP. 19749282000121001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Hermansyah, Ph. D

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul "Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Metilen Biru Menggunakan Nanomagnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ " telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 8 September 2021 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 22 September 2021

Ketua :

1. **Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M. Si.**
NIP. 196808271994022001

(.....)

Anggota :

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


(.....)

2. **Nova Yuliasari, M. Si.**
NIP. 197307261999032001

(.....)

3. **Dr. Dedi Rohendi, M. T.**
NIP. 196704191993031001

(.....)


Dekan FMIPA
Hermansyah, Ph.D
NIP. 197111191997021001

Mengetahui


Ketua Jurusan Kimia
Prof. Dr. Muharni, M. Si.
NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama mahasiswa : Erna Amelia Stephanie
NIM : 08031281722049
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 dipublikasi maupun 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 benar

Indralaya, September 2021

Penulis,

A 10,000 Rupiah Indonesian postage stamp with a signature over it. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text '10000', 'METAL', and 'TEMBAK'. The signature is in black ink and appears to be 'Erna Amelia Stephanie'.

Erna Amelia Stephanie

NIM. 08031281722049

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

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

Nama mahasiswa : Erna Amelia Stephanie
NIM : 08031281722049
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan,

Saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “hak bebas royalti non-eksklusif” (non-exclusively royalty-free right) atas karya ilmiah saya yang berjudul: “Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Metilen Biru Menggunakan Nanomagnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ ”. Dengan hak bebas royalti non-eksklusif 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, September 2021

Penulis,



Erna Amelia Stephanie

NIM. 08031281722049

SUMMARY

PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF METHYLENE BLUE USING NANOMAGNETIC Fe₃O₄-SiO₂-NiO

Erna Amelia Stephanie: Supervised by Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M. Si and Dr. Addy Rachmat, M. Si.

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

xviii + 61 pages, 4 tables, 26 pictures, 14 attachments.

Synthesis of Fe₃O₄, Fe₃O₄-SiO₂ and Fe₃O₄-SiO₂-NiO nanomagnetic had been carried out using coprecipitation and solvothermal methods. Fe₃O₄, Fe₃O₄-SiO₂ and Fe₃O₄-SiO₂-NiO nanomagnets were applied to degrade methylene blue dye. Fe₃O₄, Fe₃O₄-SiO₂ and Fe₃O₄-SiO₂-NiO nanomagnets were characterized using XRD, SEM-EDS, VSM and DRS. The XRD pattern shows that the sample is composed of Fe₃O₄, Fe₃O₄-SiO₂ and Fe₃O₄-SiO₂-NiO nanoparticles. The SEM-EDS characterization of Fe₃O₄ nanomagnetic showed an uneven surface with the constituent elements of Fe and O. Characterization of the SEM-EDS nanomagnetic Fe₃O₄-SiO₂ showed a round and smooth surface with the constituent elements of Fe, Si and O. Characterization of Fe₃O₄-SiO₂-NiO nanomagnetic SEM-EDS showed round and smooth surface with Fe, Si, Ni and O constituent elements. Magnetic saturation value (M_s) of Fe₃O₄ were measured by VSM obtained a saturation magnetization value of 83.25 emu/g, then decreased to 61.96 emu/g with the addition of SiO₂ content and decreased to 53.83 emu/g with the addition of NiO content. DRS characterization showed that the Fe₃O₄-SiO₂ nanomagnetic band gap was 2.33 eV and the Fe₃O₄-SiO₂-NiO band gap decreased to 2.08 eV. Fe₃O₄-SiO₂-NiO nanomagnetic has a pHPzc value at pH 5.2. The best condition for effectiveness at variations in pH by nanomagnetic Fe₃O₄-SiO₂-NiO is at pH 6. The best condition for effectiveness at variations in concentration by nanomagnetic Fe₃O₄-SiO₂-NiO is methylene blue dye with a concentration of 12 mg/L. The best condition of effectiveness on variation of irradiation time by nanomagnetic Fe₃O₄-SiO₂-NiO is 90 minutes duration.

Keywords: nanomagnetic, Fe₃O₄, Fe₃O₄-SiO₂, Fe₃O₄-SiO₂-NiO, photocatalytic, methylene blue

Citation: 57 (2007-2020)

RINGKASAN

DEGRADASI FOTOKATALITIK ZAT WARNA METILEN BIRU MENGUNAKAN NANOMAGNETIK $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$

Erna Amelia Stephanie: Dibimbing oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M. Si.
dan Dr. Addy Rachmat, M. Si.

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

xviii + 61 halaman, 4 tabel, 26 gambar, 14 lampiran.

Telah dilakukan sintesis nanomagnetik Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ dengan metode kopresipitasi dan solvotermal. Nanomagnetik Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ diaplikasikan untuk mendegradasi zat warna metilen biru. Nanomagnetik Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ dikarakterisasi menggunakan XRD, SEM-EDS, VSM dan DRS. Pola XRD menunjukkan bahwa sampel tersusun dari fasa nanopartikel Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$. Karakterisasi SEM-EDS nanomagnetik Fe_3O_4 menunjukkan permukaan tidak rata dengan unsur penyusun Fe dan O. Karakterisasi SEM-EDS nanomagnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ menunjukkan permukaan bulat serta halus dengan unsur penyusun Fe, Si dan O. Karakterisasi SEM-EDS nanomagnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ menunjukkan permukaan bulat serta halus dengan unsur penyusun Fe, Si, Ni dan O. Karakterisasi VSM nanomagnetik Fe_3O_4 menunjukkan nilai magnetisasi saturasi sebesar 83,25 emu/g, kemudian turun menjadi 61,96 emu/g dengan penambahan kandungan SiO_2 dan turun menjadi 53,83 emu/g dengan penambahan kandungan NiO. Karakterisasi DRS menunjukkan besarnya celah pita nanomagnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ sebesar 2,33 eV dan celah pita $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ turun menjadi 2,08 eV. Nanomagnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ memiliki nilai pH_{pzc} pada pH 5,2. Kondisi terbaik efektivitas pada variasi pH oleh nanomagnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ yaitu pada pH 6. Kondisi terbaik efektivitas pada variasi konsentrasi oleh nanomagnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ yaitu pada zat warna metilen biru dengan konsentrasi 12 mg/L. Kondisi terbaik efektivitas pada variasi waktu penyinaran oleh nanomagnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ yaitu pada durasi 90 menit.

Kata kunci: nanomagnetik, Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$, fotokatalitik,
metilen biru

Kutipan: 57 (2007-2020)

HALAMAN PERSEMBAHAN

~Sabarmaho disasude gulmit ni ngolum,
alai na rumingkot ingkon jotjot marpangusandean tu TUHAN~

~Hata do hangoluan, hata do nang hamagoan~

~Dang adong naso tarpatupa ni DEBATA~

α - Ω

~Because thou hast made the LORD, which is my refuge,
Even the most High, thy habitation~

(Psalms 91: 9)

*And I will call upon Your name,
Keep my eyes above the waves,
My soul will rest in your embrace,
I am Yours,
and You are mine.*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas kasih dan rahmat-Nya penulis mampu menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Metilen Biru Menggunakan Nanomagnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ ”. Skripsi ini dibuat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitawati H, M. Si. dan Bapak Dr. Addy Rachmat, M. Si. yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, pengalaman, saran dan petunjuk kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang telah memberikan kasih karunia-Nya tiada henti kepada penulis
2. Orang tua yang selalu mendoakan dan senantiasa memberikan dukungan serta kasih sayangnya kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan perkuliahan ini.
3. Adik-adikku, Elizabeth Anastasia, Eric Armando dan Edward Adriano, yang selalu dan selamanya menjadi kebanggaan Ayah dan Ibu.
4. Keluarga besarku, khususnya untuk Opung doli, Opung boru, Namboru kesayanganku, Tante ku serta Pariban ku yang tiada henti memberikan dukungan setiap saat dengan cara-cara tak terduga.
5. Ibu Nova Yuliasari, M. Si. selaku dosen pembimbing akademik
6. Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitawati H, M. Si. dan Bapak Dr. Addy Rachmat, M. Si. selaku dosen pembimbing tugas akhir.
7. Ibu Nova Yuliasari, M. Si., Bapak Dr. Dedi Rohendi, M. T. serta (Alm) Bapak Almunady T. Panagan, M. Si. selaku dosen penguji sidang sarjana.
8. Pak Cosiin dan Ibu Novi selaku admin jurusan
9. Putu Gita Tantri Savytri, selaku manusia 24/7 saya, 1 hal yang setidaknya membuatku tidak menyesal berkuliah disini adalah anda. Mengenal anda, saya banyak belajar hal-hal yang terkadang tidak terpikirkan. Terima kasih telah menjadi *human diary* yang siap sedia menampung celotehan saya yang terkadang tidak penting, tidak jelas dan tidak karuan. Terima kasih

telah menjadi manusia yang sangat tahan banting ketika berteman dengan saya. Setiap hal yang kita lewati, jangan pernah lupakan momen-momen menyenangkan, menyedihkan, amarah serta kekecewaan yang pernah terjadi diantara kita. Kedepannya semoga kita sukses bersama meskipun tidak sekamar lagi. I love you to the moon and back ♡

10. Raphael Charismadinata Silitonga, selaku manusia 24/7 kedua, saya merasa sangat beruntung mengenali anda, meskipun saya salah panggil nama anda awalnya dengan sebutan “Marvel”. Terima kasih telah bersabar dalam menghadapi saya. Ingat berapa kali kita salah paham dalam komunikasi? Namun kita tetap berteman baik bahkan saling dukung untuk menjadi pribadi yang lebih dewasa. Kutunggu kau di masa depan ban, biar terus sama-sama sukses kita. Apapun yang pernah terjadi kepada kita berdua selama disini, jadikan itu batu loncatan agar kedepannya kita menjadi manusia yang lebih berkualitas. Sayang iban 😊
11. Ayu Wandira dan Nimyo Win Pe, selaku teman baik saya, terima kasih sudah sudi menjadi teman saya. Saya menyadari saya bukan teman yang baik, namun saya selalu steady untuk kalian. Masa depan cerah menantikan kedatangan kita, jangan pernah lupakan pertemanan kita selama ini.
12. Tim tugas akhir iri dengki (Arcella, Melviana, Putu, Rahfy dan Yohanna), terima kasih telah mengajarkan saya apa itu arti daripada pertemanan kita yang busuk ini, dimana kita selalu iri dan dengki melihat satu sama lain. Terima kasih juga telah mengajarkan saya untuk selalu cemekekan. Tetap pesimis, selalu patah semangat, selalu iri dengki dan yang paling penting tetaplah cemekekan.
13. Ibu Dr. Familia Novita Simanjuntak, S. P., M. Si. dan Kak Elisa selaku *partner in crime* yang selalu ada ketika saya butuhkan, terima kasih untuk semangat yang tidak ada habisnya, ayo kita jalan-jalan lagi!
14. Loppo Club (Dian, Lusi dan Vironi). Harusnya kita lulus bersama dengan gelar yang sama pula, namun diri yang sipanggaron ini sibuk mencoba untuk mencari jati diri dan akhirnya kita menempuh jalur yang berbeda. Namun saya sangat berterima kasih, kita tetap berteman baik sampai detik

ini, tolong bakat teman musimannya dikurangi. Cukup sekali saya berpengalaman dengan teman musiman.

15. Seluruh dosen dan mahasiswa yang berada di lingkungan jurusan kimia, terima kasih untuk semua ilmu dan pengalaman yang diberikan.
16. Last but not least, I am not that good at words. Kepada kamu, yang selalu menyemangatiku, saat suka maupun duka, terima kasih untuk semua hal yang pernah terjadi, baik dan buruk, ups and downs, benar dan salah, dengan segala hal yang berkecimpung didalamnya, terima kasih untuk semuanya itu. Akan selalu tersimpan dengan baik 😊

Indralaya, September 2021

Penulis

Universitas Sriwijaya

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
SUMMARY	vi
RINGKASAN	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Limbah Industri Tekstil.....	4
2.2 Zat Warna Thiazine Metilen Biru	4
2.3 Besi (II) dan Besi (III) Oksida (Fe_3O_4)	5
2.4 Silikon Dioksida (SiO_2)	6
2.5 Nikel Oksida (NiO).....	6
2.6 Fotodegradasi	7
2.7 Spektrofotometri UV-Vis.....	8
2.8 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	8

2.9	<i>Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)</i>	11
2.10	<i>UV-VIS Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS)</i>	12
2.11	<i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>	12
2.12	<i>pH Point Zero Charge (pHpzc)</i>	13
2.13	<i>Thin Layer Chromatography (KLT)</i>	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		15
3.1	Waktu dan Tempat	15
3.2	Alat dan Bahan	15
3.2.1	Alat	15
3.2.2	Bahan	15
3.3	Prosedur Penelitian	15
3.3.1	Sintesis Nanomagnetik Fe ₃ O ₄	15
3.3.2	Sintesis nanomagnetik Fe ₃ O ₄ -SiO ₂	16
3.3.3	Sintesis <i>core shell</i> nanomagnetik Fe ₃ O ₄ -SiO ₂ -NiO	16
3.4	Karakterisasi	17
3.4.1	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	17
3.4.2	<i>UV-VIS Diffuse Reflectance Spectrum (DRS)</i>	17
3.4.3	<i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)</i>	17
3.4.4	<i>Vibrating Sample Magnometer (VSM)</i>	17
3.4.5	<i>Penentuan pH Point Zero Charge (pHpzc)</i>	17
3.5	Penentuan Konsentrasi Zat Warna Metilen Biru	18
3.5.1	Pembuatan Larutan Stok Standar Metilen Biru	18
3.5.2	Penentuan Kurva Kalibrasi Zat Warna Metilen Biru	18
3.6	Penentuan Optimum Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru	18
3.6.1	Penentuan pH Optimum	18
3.6.2	Pengaruh Konsentrasi Zat Warna	18
3.6.3	Pengaruh Waktu Penyinaran	19
3.7	Analisis Data	19
3.7.1	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	19
3.7.2	<i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)</i>	19

3.7.3 <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>	19
3.7.4 <i>UV-VIS Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS)</i>	20
3.7.5 Penentuan Efisiensi Degradasi	20
3.7.6 Analisa Menggunakan Kromatografi Lapis Tipis (KLT)	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Hasil Sintesis Fe_3O_4	21
4.2 Hasil Sintesis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$	21
4.3 Hasil Sintesis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$	22
4.4 Karakterisasi Material	23
4.4.1 Hasil Karakterisasi dengan XRD	23
4.4.2 Hasil Karakterisasi dengan SEM-EDS	25
4.4.3 Hasil Karakterisasi dengan VSM	26
4.4.4 <i>UV-VIS Diffuse Reflectance Spectroscopy</i>	28
4.5 pH Point Zero Charge (pH PZC)	29
4.6 Penentuan Kondisi Optimum Fotodegradasi	30
4.6.1 Pengaruh pH Fotodegradasi	30
4.6.2 Pengaruh Konsentrasi Zat Warna	31
4.6.3 Pengaruh Waktu Penyinaran	32
4.7 Analisis Data	33
4.7.1 Kromatografi Lapis Tipis (KLT)	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	35
5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN	41
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur Metilen Biru (Elmorsi, 2011).....	4
Gambar 2. Struktur spinel Fe_3O_4 (Sholihah, 2010).....	5
Gambar 3. Struktur Core-shell $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ (Ma et al., 2020).....	7
Gambar 4. Pola XRD (a) Fe_3O_4 , (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$, (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$	9
Gambar 5. Gambar SEM dari (a) Fe_3O_4 , (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$, (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$...	11
Gambar 6. Spektrum NiO pada DRS	12
Gambar 7. Kurva histeris loop medan magnet vs magnetisasi nanopartikel	13
Gambar 8. Hasil sintesis Fe_3O_4 diuji dengan magnet eksternal	21
Gambar 9. Hasil sintesis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ diuji dengan magnet eksternal	22
Gambar 10. Hasil sintesis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ diuji dengan magnet eksternal	22
Gambar 11. Difraktogram dari Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$	23
Gambar 12. Morfologi permukaan dengan perbesaran 30.000x (a) Fe_3O_4 , (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$, (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$	25
Gambar 13. Kurva histeresis dari Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$	27
Gambar 14. Besarnya energy gap (a) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ dan (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$	29
Gambar 15. Grafik pH _{pzc} Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$	30
Gambar 16. Kurva Variasi pH larutan	31
Gambar 17. Kurva Variasi Konsentrasi Zat Warna	32
Gambar 18. Kurva Variasi Waktu Penyinaran.....	33
Gambar 19. Profil KLT metilen biru sebelum dan setelah proses degradasi.....	33

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data JCPDS nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$	10
Tabel 2. Perbandingan Intensitas Puncak dan Ukuran Partikel Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$	24
Tabel 3. Unsur-unsur penyusun Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$	26
Tabel 4. Nilai Magnetisasi Saturasi dan Medan Magnet Pada Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$	28

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian.....	42
Lampiran 2. Hasil Karakterisasi Fe_3O_4 Menggunakan XRD.....	44
Lampiran 3. Hasil Karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ Menggunakan XRD	46
Lampiran 4. Hasil Karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ Menggunakan XRD.....	48
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi Fe_3O_4 Menggunakan SEM-EDS	50
Lampiran 6. Hasil Karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ Menggunakan SEM-EDS	51
Lampiran 7. Hasil Karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ Menggunakan SEM-EDS	52
Lampiran 8. Hasil Karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ Menggunakan VSM	53
Lampiran 9. Hasil Karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ Menggunakan DRS.....	54
Lampiran 10. Hasil Karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ Menggunakan DRS	55
Lampiran 11. Kurva Kalibrasi Metilen Biru	56
Lampiran 12. Kondisi Optimum Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru	57
Lampiran 13. Kondisi Optimum Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru.....	58
Lampiran 14. Kondisi Optimum Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru.....	59
Lampiran 15. Analisis Zat Warna Metilen Biru Sebelum dan Sesudah	60

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tekstil, percetakan dan pencelupan merupakan industri yang banyak menghasilkan limbah cair mengandung zat warna sintetik. Keberadaan zat warna sintetik di perairan dapat membahayakan kehidupan biota air. Zat warna menghalangi penetrasi cahaya ke perairan sehingga biota air sulit mendapatkan oksigen. Selain itu, zat warna terdegradasi sangat lambat karena struktur aromatis pada zat warna mempunyai resistensi terhadap pengaruh lingkungan seperti efek pH, suhu dan mikroba. Zat warna dapat digolongkan berdasarkan struktur kimianya antara lain zat warna azo, zat warna quinolin, zat warna xanten, dan zat warna thiazine. Zat warna tekstil merupakan salah satu pencemar yang bersifat *nonbiodegradable* (Sanjaya dkk, 2018).

Metilen biru merupakan salah satu zat warna thiazine yang sering digunakan karena harganya murah dan mudah diperoleh. Zat warna metilen biru merupakan zat warna dasar yang penting dalam proses pewarnaan kulit, kain mori, kain katun, dan tannin. Penggunaan metilen biru dapat menimbulkan beberapa efek, seperti iritasi saluran pencernaan jika tertelan, menimbulkan sianosis jika terhirup, dan iritasi pada kulit jika tersentuh oleh kulit. Oleh karena itu perlu dicari alternatif efektif untuk menguraikan zat warna tersebut (Widihati dkk, 2011).

Metode konvensional fisika, kimia, dan biologi, seperti adsorpsi, koagulasi dan proses membran telah dilakukan untuk pengolahan air limbah yang mengandung zat warna. Namun, proses konvensional tidak cukup untuk memurnikan air limbah, karena hanya memindahkan senyawa dari air ke tahap lain sehingga menyebabkan masalah polusi sekunder. Dalam beberapa tahun terakhir, upaya penelitian didedikasikan untuk penelitian fotokatalis di bidang lingkungan (Winataputra dan Yusuf, 2014).

Proses aktivasi fotokatalis ini dilakukan dengan adsorpsi foton dari sumber luar. Beberapa senyawa seperti oksida logam (TiO_2 , ZnO , ZrO_2 , V_2O_5 dan Fe_2O_3) serta sulfida (CdS dan ZnS) biasanya telah dipelajari sebagai fotokatalis semikonduktor (Al-Anbari *et al*, 2016).

NiO adalah semikonduktor dengan celah pita lebar antara pita valensi dan konduksi (Khairnar dan Shrivastava, 2019). Penggunaan NiO sebagai fotokatalis dapat meningkatkan reaksi peruraian air, dimana gas hidrogen terbentuk di permukaan nikel oksida sedangkan gas oksigen dilepaskan dari permukaan fotokatalis. Dalam prosesnya NiO diharapkan dapat mendegradasi polutan seperti pewarna, limbah organik, bakteri dan lain sebagainya menjadi senyawa yang ramah lingkungan seperti H₂O atau CO₂ (Winataputra dan Yusuf, 2014). Khairnar dan Shrivastava (2019) menggunakan NiO untuk mendegradasi zat warna metilen biru dan rhodamin B dengan persentase degradasi 98,7 dan 80,33%. Efektivitas fotokatalitik nanoaprtikel NiO menurun dengan meningkatnya konsentrasi zat warna metilen biru dan rhodamin B. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa nanopartikel NiO yang disintesis menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang lebih baik untuk menghilangkan zat warna metilen biru pada suspensi berair daripada zat warna rhodamin B.

Untuk memperolehnya kembali, NiO dapat dikompositkan dengan material lain yaitu komposit magnet–fotokatalis NiO yang diharapkan mampu mendegradasi polutan organik menjadi senyawa yang ramah lingkungan. Winataputra dan Yusuf (2014) menyatakan bahwa selain sistem komposit dengan bahan fotokatalis, bahan magnet juga dapat dikompositkan dengan SiO₂. SiO₂ berfungsi sebagai penghubung antara core (Fe₃O₄) dan NiO, yang menghalangi proses fotodisolusi Fe₃O₄. Katalis yang bersifat magnetik memiliki kelebihan setelah proses degradasi, dapat dipisahkan dari larutan tanpa penyaringan.

Berdasarkan uraian tersebut maka pada penelitian ini disintesis komposit Fe₃O₄-SiO₂-NiO yang digunakan untuk mendegradasi zat warna metilen biru. Karakterisasi komposit menggunakan XRD (X-Ray Diffraction), VSM (Vibrating Sample Magnetometer), DRS (Differential Reflectance Spectroscopy), SEM-EDS (Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive Spectroscopy), KLT (Kromatografi Lapis Tipis) serta pH_{pzc} (pH Point of Zero Charge). Variabel degradasi meliputi pengaruh pH optimum, konsentrasi zat warna metilen biru dan waktu penyinaran.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hasil sintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$?
2. Bagaimana kemampuan daya degradasi komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ terhadap zat warna metilen biru dengan variabel pengaruh pH larutan, konsentrasi zat warna dan waktu penyinaran?
3. Bagaimana hasil degradasi zat warna metilen biru yang di analisis menggunakan kromatografi lapis tipis?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mensintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ dan mengkarakterisasi komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ menggunakan, XRD, SEM-EDS, DRS, VSM dan pHpzc.
2. Menentukan kemampuan degradasi komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-NiO}$ terhadap zat warna metilen biru dengan variabel pengaruh pH larutan, konsentrasi zat warna metilen biru dan waktu penyinaran.
3. Menganalisis hasil degradasi zat warna metilen biru menggunakan kromatografi lapis tipis.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai metoda alternatif untuk pengolahan limbah cair khususnya yang mengandung zat warna.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdollahi, Y., Abdullah, A. H., Zainal, Z. and Yusof, N. A. 2012. Photocatalytic Degradation of p-Cresol by Zinc Oxide under UV Irradiation. *International Journal of Molecular Sciences*. 13(1): 303.
- Al-Anbari, R., Al-Obaidy, A. H. and Abd, E. 2016. Photocatalytic Activity of Fe_3O_4 under Solar Radiation. *Mesopotamia Environmental Journal*. 2(4): 43.
- Amalina, E. S., Harjito dan Priatmoko, S. 2016. Pengaruh Doping-N Pada Aktivitas Fotokatalis TiO_2 untuk Degradasi Methyl Orange. *Indonesian Journal of Chemical Sciences*. 5(1): 70.
- Andari, N. D. dan Wardhani, S. 2014. Fotokatalis TiO_2 -Zeolit Untuk Degradasi Metilen Biru. *Chem. Prog*. 7(1): 9-14.
- Armin, F., Revir, B. dan Adnan, A. Z. 2015. Validasi Metode Kromatografi Lapis Tipis–Densitometri Untuk Analisis Pewarna Merah Sintetik Pada Beberapa Merek Saus Sambal Sachet. *Berkala Ilmiah Kimia Farmasi*. 4(2): 43-48.
- Christian, H., Edy, S., Tomy, A., F., Tjandra, S., dan Sri, H. S. 2007. Kemampuan Pengolahan Warna Limbah Tekstil oleh Berbagai Jenis Fungi dalam Suatu Bioreaktor. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: ISSN 1410-5667.
- Christina, M. P., Mu'nisatun, S., Saptaja, R. dan Marjanto, D. 2007. Studi Pendahuluan Mengenai Degradasi Zat Warna Azo (Methyl Orange) dalam Pelarut Air Menggunakan Mesin Berkas Elektron 350 Kev/10 Ma. *JFN*. 1(1): 31-44.
- Daoush, W. M. 2017. Co-Precipitation and Magnetic Properties of Magnetite Nanoparticles for Potential Biomedical Applications. *Journal of Nanomedicine Research*. 5(3): 3-8.
- Dewi, S. H., dan Ridwan. 2013. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Fe_3O_4 Magnetik Untuk Adsorpsi Kromium Heksavalen. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 13(2): 137-138
- Diantariani, N. P., Suprihatin, I. E dan Widihati, I. A. G. 2016. Fotodegradasi Zat Warna Tekstil Methylene Blue dan Congo Red Menggunakan Komposit ZnO-AA dan Sinar UV. *Jurnal Kimia*. 10(1): 133-140.
- El-Kemary, M., Nagy, N. and El-Mehasseb, I. 2013. Nickel Oxide Nanoparticles: Synthesis and Spectral Studies of Interactions with Glucose. *Materials Science in Semiconductor Processing*. 16(6): 1749–1750.
- Elmorsi, T. M. 2011. Equilibrium Isotherms and Kinetic Studies of Removal of Methylene Blue Dye by Adsorption onto Miswalk Leaves as a Natural Adsorbent. *Journal of Environmental Protection*. 2(1): 817-827.

- Farjaminezhad, M., Tehrani, M. S., Azar, P. A., Bohlooli, S. and Hussain, S. W. 2017. Fe₃O₄/polyethylene glycol Nanocomposite as a Solid-phase Microextraction Fiber Coating for the Determination of Some Volatile Organic Compounds in Water. *J. Sep. Sci.* 40(1): 718.
- Giri, M., Singh, D., Lal, J., Jaggi, N., Singh, N. and Jaiswal, R. M. P. 2012. Absorption and Fluorescence Spectra of Methyl Orange in Aqueous Solutions. *Atti Della "Fondazione Giorgio Ronchi"*. 67(2): 256-257.
- Ha, N. T., Nguyen, H. H., Nguyen, C., and Huynh, D. C. 2008. Effects of the Conditions of the Microemulsion Preparation on the Properties of Fe₃O₄ Nanoparticles. *Natural Sciences and Technology*. 24(1): 9–15.
- Hardyanti, I. S., Nurani, I., Hardjono, D. S., Apriliani, E. dan Wibowo, E. A. P. 2017. Pemanfaatan Silika (SiO₂) dan Bentonit sebagai Adsorben Logam Berat Fe pada Limbah Batik. *Jurnal Sains Terapan*. 3(2): 39.
- Harnum, B., Hardeli dan Sanjaya, H. 2013. Degradasi *Methyl Violet* Secara Fotolisis dan Sonolisis dengan Katalis TiO₂/SiO₂. *Chemistry Journal of State University of Padang*. 2(2): 42.
- Hodoroaba, V. B., Rades, S., Salge, T., Mielke, J., Ortel, E. and Schmidt, R. 2016. Characterisation of Nanoparticles by Means of High-resolution SEM/EDS in Transmission Mode. *Materials Science and Engineering* 109(2016): 1-2.
- Jannah, F., Rezagama, A. dan Arianto, F. 2017. Pengolahan Zat Warna Turunan Azo dengan Metode Fenton (Fe²⁺ + H₂O₂) Dan Ozonasi (O₃). *Jurnal Teknik Lingkungan*. 6(3): 2.
- Khairnar, S. D. and Shrivastava, V. S. 2019. Facile Synthesis of Nickel Oxide Nanoparticles for the Degradation of Methylene Blue and Rhodamine B dye: A Comparative Study. *Journal of Taibah University for Science*. 2(1): 1110.
- Leksono, V. A. 2012. Pengolahan Zat Warna Tekstil Rhodamine B Menggunakan Bentonit Terpilair Titanium Dioksida (TiO₂). *Skripsi*. Surabaya: Universitas Airlangga.
- Ljubas, D., Curcovic, L. and Dobrovic, S. 2010. Photocatalytic Degradation of an Azo Dye by UV Irradiation at 254 and 365 nm. *Transactions of FAMENA*. 34(1): 19-28.
- Loan, N. T. T., Lan, N. T. H., Hang, N. T. T., Hai, N. Q., Anh, D. T. T., Hau, V. T., Tan, L. V. and Tran, T. V. 2019. CoFe₂O₄ Nanomaterials: Effect of Annealing Temperature on Characterization, Magnetic, Photocatalytic, and Photo-Fenton Properties. *Processes*. 7(885): 4.
- Ma, M., Li, W., Tong, Z., Huang, W., Wang, R., Lyu, P., Ma, Y., Wu, G., Yan, Q., Li, P. and Yao, X. 2020. Facile Synthesis of the One-Dimensional Flower-Like Yolk-Shell Fe₃O₄@SiO₂@NiO Nanochains Composites for

- High-Performance Microwave Absorption. *Journal of Alloys and Compounds*. 843 (2020): 1-10.
- Mairoza, A. dan Astuti. 2016. Sintesis Nanopartikel Fe_3O_4 dari Batuan Besi Menggunakan Asam Laurat sebagai Zat Aditif. *Jurnal Fisika Unand*. 5(3): 2.
- Malini, F. A. dan Putri, E. M. M. 2014. Kinetika Oksidasi Fotokatalitik Metilen Biru dengan Katalis Semikonduktor TiO_2 . *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. 2(1): 1-7.
- Munasir, Triwikantoro, Zainuri, M. dan Darminto. 2012. Uji XRD dan XRF pada Bahan Mineral (Batuan dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO_3 dan SiO_2). *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya*. 2(1): 23-24.
- Nandini, R. and Vishalakshi, B. 2012. A Study of Interaction of Methyl Orange with Some Polycations. *E-Journal of Chemistry*. 9(1): 3.
- Obei, L., Bée, A., Talbot, D., Jaafar, S. B., Dupuis, V., Abramson, S., Cabuil, V. and Welschbillig, M. 2013. Chitosan/maghemite Composite: A Magsorbent for the Adsorption of MO. *J Colloid Interfac*. 410(1): 52–58.
- Pandey, S. K., Tripathi, M. K., Ramanathan, V., Mishra, P.K. and Tiwary, D. 2021. Enhanced Photocatalytic Efficiency of Hydrothermally Synthesized g- $\text{C}_3\text{N}_4/\text{NiO}$ Heterostructure for Mineralization of Malachite Green Dye.
- Pansambal, S., Ghotekar, S. K., Shewale, S. S. and Deshmukh, K. K. 2019. Efficient Synthesis of Magnetically Separable $\text{CoFe}_2\text{O}_4@/\text{SiO}_2$ Nanoparticles and Its Potent Catalytic Applications for the Synthesis of 5-aryl-1,2,4 Triazolidine-3-Thione Derivatives. *J. Water Environ. Nanotechnol*. 4(3): 174-186.
- Qing, Z., Haixia, L., Huali, L., Yu, L., Huayong, Z. and Tianduo, L. 2015. Solvothermal Synthesis and Photocatalytic Properties of NiO Ultrathin Nanosheets with Porous Structure. *Applied Surface Science*. 328(2015): 525-530.
- Qu, F., Wang, Y., Liu, J., Wen, S., Chen, Y. dan Ruan, S. 2014. Fe_3O_4 -NiO Core-Shell Composites: Hydrothermal Synthesis and Toluene Sensing Properties. *Materials Letters*. 132(2014): 167-170.
- Raval, A. 2013. Structural Properties and Microstructure of Cobalt Ferrite Particles Synthesized by a Sol-Gel Auto Combustion Method. *International Journal of Modern Physics*. 22(1): 558-563.
- Rohayati, Z., Fajrin, M. M., Rua, J., Yulan dan Riyanto. 2017. Pengolahan Limbah Industri Tekstil Berbasis *Green Technology* Menggunakan Metode Gabungan Elektrodegradasi dan Elektrodokolorisasi dalam Satu Sel Elektrolisis. *Chimica et Natura Acta*. 5(2): 95-96.

- Sakti, R. B., Subagio, A. dan Sutanto, H. 2013. Sintesis Lapisan Tipis Nanokomposit TiO_2/CNT Menggunakan Metode Sol-Gel dan Aplikasinya untuk Fotodegradasi Zat Warna Azo *Orange 3R*. *Youngster Physics Journal*. 1(3): 41-48.
- Samosir, A. S., Bialangi, N. dan Iyabu, H. 2018. Analisis Kandungan Rhodamin B Pada Saos Tomat yang Beredar di Pasar Sentral Kota Gorontalo dengan Menggunakan Metode Kromatografi Lapis Tipis (KLT). *Jurnal Entropi*. 13(1): 45-49.
- Sanjaya, H., Hardeli, Syafitri, R. 2018. Degradasi Metil Violet Menggunakan Katalis ZnO-TiO_2 Secara Fotosonolisis. *Eksakta*. 19(1): 1.
- Senthilkumar, P., Paul, P., Selvaraju, C. and Natarajan, P. 2010. Preparation, Characterization, and Photophysical Study of Thiazine Dyes within the Nanotubes and Nanocavities of Silicate Host: Influence of Titanium Dioxide Nanoparticle on the Protonation and Aggregation of Dyes. *J. Phys. Chem. C*. 114(15): 7085-7094.
- Sheng-Nan, S., Chao, W., Zan-Zan, Z., Yang-Long, H., Venkatramana, S. S. and Zhi-Chuan, X. 2014. Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis and Surface Coating Techniques for Biomedical Applications. *Chin. Phys. B*. 23(3): 2.
- Sholihah, L, K. 2010. Sintesis dan Karakteristik Partikel Nano Fe_3O_4 yang Berasal dari Pasir Besi dan Fe_3O_4 Bahan Komersial (Aldrich). *Jurnal ITS*. 1(1): 1.
- Suaib, Aritonang, H. F dan Koleangan, H. S. J. 2019. Sintesis Nanopartikel Cobalt Ferrite (CoFe_2O_4) dengan Metode Kopresipitasi dan Aplikasinya sebagai Fotokatalis. *Chem. Prog*. 12(1): 49-53.
- Sugiyana, D. dan Soenoko, B. 2016. Identifikasi Mekanisme Fotokatalitik Pada Degradasi Zat Warna Azo *Reactive Black 5* Menggunakan Katalis Mikropartikel TiO_2 . *Arena Tekstil*. 31(2): 119.
- Suyata dan Mardiyah, K. 2012. Degradasi Zat Warna Kongo Merah Limbah Cair Industri Tekstil di Kabupaten Pekalongan Menggunakan Metode Elektrokolorisasi. *Jurnal Molekul*. 7(1): 53-60.
- Taib, S. dan Suharyadi, E. 2015. Sintesis Nanopartikel Magnetite (Fe_3O_4) dengan Template silika (SiO_2) dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya. *Indonesian Journal of Applied Physics*. 5(1): 24.
- Wang, Y., Sun, D., Liu, G. and Jiang, W. 2015. Synthesis of $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2@\text{ZnO}$ Core-shell Structured Microspheres and Microwave Absorption Properties. *Advanced Powder Technology*. 1538.
- Wardhani, S., Bahari, A. dan Khunur, M. M. 2016. Aktivitas Fotokatalitik Beads $\text{TiO}_2\text{-N/Z}$ Zeolit-Kitosan Pada Fotodegradasi Metilen Biru (Kajian Pengembangan, Sumber Sinar dan Lama Penyinaran). *Journal of Environmental Engineering & Sustainable Technology*. 3(2): 78-84.

- Wardiyati, S., Fisli, A. dan Yusuf, S. 2012. Sintesis Nanokatalis TiO_2 Anatase dalam Larutan Elektrolit dengan Metode Sol Gel. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 15(3): 153-157.
- Wardiyati, S., Wisnu, A. A., dan Didin, S. W. 2016. Pengaruh Penambahan SiO_2 terhadap Karakteristik dan Kinerja Fotokatalitik $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ pada Degradasi Methylene Blue. *Jurnal Kimia Kemasan*. 38(1): 31-40.
- Widihati, I. A. G., Diantariani, N. P. dan Nikmah, Y. F. 2011. Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar UV dan Katalis Al_2O_3 . *Jurnal Kimia*. 5(1): 31-42.
- Winataputra, D. S. dan Yusuf, S. 2012. Sintesis Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$ dan Aplikasinya untuk Mendegradasi Limbah Zat Warna Methylene Blue. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 15(3): 148.
- Wiranatha, I. G. P., I Gusti, A. M. A., dan Dewa, A. A. P.. 2014. Pengaruh Lama Kontak Hidrogen Peroksida Terhadap Keluhan Subyektif Pengrajin Lontar. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 4(1): 61-69.
- Wulandari, I. O., Wardhani, S dan Purwonugroho, D. 2014. Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis ZnO pada Zeolit. *Kimia Student Journal*. 1(2): 241-247.
- Wuryanti, D. dan Suharyadi, E. 2016. Studi Adsorpsi Logam Co(II), Cu(II), dan Ni(II) dalam Limbah Cair Buatan Menggunakan Adsorben Nanopartikel Magnetik Fe_3O_4 dan ZnFe_2O_4 . *Jurnal Fisika Indonesia*. 20(2): 28-35.
- Xu, J., Ju, C., Sheng, J., Wang, F., Zhang, Q., Sun, G. and Sun, M. 2013. Synthesis and Characterization of Magnetic Nanoparticles and Its Application in Lipase Immobilization. *Korean Chem. Soc.* 34(8): 2410.
- Yuniarto, P. F. dan Maryam, N. R. 2019. Analisis Kandungan Rhodamin B Pada Lipstik yang Beredar di Daerah Kediri. *JALANIKA*. 1(1): 47-59.
- Zeinali, S., Nasirimoghaddam, S., and Sabbaghi., S. (2016). Investigation of the Synthesis of Chitosan Coated Iron Oxide Nanoparticles under Different Experimental Conditions. *Int. J. Nanosci. Nanotechnol*, 12(3), 183–190.