

***GREEN SYNTHESIS NANOMAGNETIK Fe₃O₄ MENGGUNAKAN
EKSTRAK DAUN KELOR (*Moringa oleifera*) SEBAGAI CAPPING
AGENT DAN APLIKASINYA PADA FOTODEGRADASI ZAT
WARNA CONGO RED***

SKRIPSI

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



Oleh :

FITRIA NURSARI

08031281924030

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

2023

HALAMAN PENGESAHAN

***GREEN SYNTHESIS NANOMAGNETIK Fe₃O₄ MENGGUNAKAN
EKSTRAK DAUN KELOR (*Moringa oleifera*) SEBAGAI CAPPING
AGENT DAN APLIKASINYA PADA FOTODEGRADASI ZAT
WARNA CONGO RED***

SKRIPSI

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

Oleh:

FITRIA NURSARI

08031281924030

Indralaya, 31 Maret 2023

Mengetahui,

Dekan FMIPA



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

NIP. 197111191997021001

Pembimbing



Prof. Dr. Poedji Lockitowati H, M.Si

NIP. 196808271994022001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Fitria Nursari (08031281924030) dengan judul “*Green Synthesis* Nanomagnetik Fe_3O_4 Menggunakan Ekstrak Daun Kelor (*Moringa oleifera*) sebagai *Capping Agent* dan Aplikasinya Pada Fotodegradasi Zat Warna *Congo Red*” telah diseminarkan di hadapan Tim Penguji Seminar Hasil Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 27 Februari 2023 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 31 Maret 2023

Ketua :

1. **Dra. Fatma, MS**

NIP. 196207131991022001

Sekretaris :

1. **Dr. Desnelli, M.Si.**

NIP. 196912251997022001

Pembimbing :

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

NIP. 196808271994022001

Penguji :

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

NIP. 197307261999032001

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

NIP. 197409282000121001

()


()

()

()

()

Mengetahui,


Dekan FMIPA

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

NIP. 197111191997021001

Ketua Jurusan Kimia


Prof. Dr. Muharni, M.Si

NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Fitria Nursari
NIM : 08031281924030
Fakultas/Jurusan : MIPA/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, 31 Maret 2023

Yang menyatakan,



Fitria Nursari

NIM. 08031281924030

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

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Fitria Nursari
NIM : 08031281924030
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “*Green Synthesis Nanomagnetik Fe₃O₄ Menggunakan Ekstrak Daun Kelor (Moringa oleifera) sebagai Capping Agent dan Aplikasinya Pada Fotodegradasi Zat Warna Congo Red*” 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.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 31 Maret 2023

Yang menyatakan,



Fitria Nursari

NIM. 08031281924030

HALAMAN PERSEMBAHAN

"Dan (ingatlah juga), tatkala Tuhanmu memaklumkan; Sesungguhnya jika kamu bersyukur, pasti Kami akan menambah (nikmat) kepadamu, dan jika kamu mengingkari (nikmat-Ku), maka sesungguhnya azab-Ku sangat pedih"

-QS. Ibrahim: 7-

“Barang siapa yang bersungguh-sungguh, ia akan berhasil.”

Dengan segala puji dan syukur kepada Allah dan Baginda Rasulullah Muhammad SAW, saya persembahkan skripsi ini kepada :

- Kedua orang tuaku yang telah mencurahkan limpahan kasih sayang, doa, dan dukungan tiada henti.
- Dosen pembimbing yang telah membimbing dari awal proses pengerjaan proposal hingga akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
- Sahabat dan teman-teman yang telah membantu dan menemani masa-masa perkuliahan dengan baik.
- Diri sendiri.

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis haturkan kepada Allah Swt. atas limpahan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Green Synthesis* Nanomagnetik Fe₃O₄ Menggunakan Ekstrak Daun Kelor (*Moringa oleifera*) sebagai *Capping Agent* dan Aplikasinya Pada Fotodegradasi Zat Warna *Congo Red*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.

Penyusunan skripsi ini telah melewati berbagai proses, rintangan, dan tantangan. Namun, dengan dukungan dari berbagai pihak akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Ibu **Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si.**, yang telah banyak membantu, memberikan bimbingan, bantuan, saran, nasihat, dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. **Ibu dan Bapak** yang telah mencurahkan limpahan kasih sayang, doa, dan dukungan tiada henti hingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Kakak tersayang, **Afifa Nursari**, yang telah memberikan wejangan dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
3. Bapak **Prof. Hermasyah, S.Si., M.Si., Ph.D.** selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Ibu **Prof. Dr. Muharni, M.Si.** selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Bapak **Dr. Addy Rachmat, M.Si.** selaku sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
6. Ibu **Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si.** selaku dosen Pembimbing Akademik dan Pembimbing Tugas Akhir.
7. Ibu **Nova Yuliasari, M.Si.** dan Bapak **Dr. Addy Rachmat, M.Si.** selaku pembahas dan penguji sidang sarjana.
8. Seluruh **Dosen Kimia** FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik, dan membimbing selama masa kuliah.

9. **Mbak Novi dan Kak Chosiin** selaku Admin Jurusan Kimia yang telah banyak membantu dalam proses administrasi dengan baik.
10. Keluarga besar penulis yang selalu mendoakan dan senantiasa memberi dukungan dan arahan.
11. Sahabat-sahabatku (**Anggi, Utin, dan Ulfa**) yang telah banyak memberikan saran dan masukan atas setiap masalah yang penulis hadapi.
12. Muslimah squad (**Tara dan Lisa**) yang telah menjadi keluarga selama diperantauan. Terima kasih telah menemani masa-masa menjadi anak kos dengan baik.
13. Anak Bufer (**Annash, Bella, Hanif, Indah, Sari, Rajib, dan Vania**), yang telah hadir disaat penulis sedang patah dan rapuh. Terima kasih telah menjadi alasan untuk tetap bertahan di tengah kondisi yang seringkali membuat ingin menyerah.
14. Tim TA (**Anggun dan Gatri**) yang telah banyak membantu, menyemangati, dan menguatkan penulis selama penelitian ini. Penelitian ini tidak mudah, tapi akhirnya berhasil kita lewati dengan baik.
15. Kakak-kakak hebat (**Kak Bening dan Kak Tias**) yang telah sabar membantu dalam mencari solusi disaat penulis kebingungan dan sudah tidak tahu harus melakukan apa saat terkendala dalam penelitian.
16. Teman Bercerita (**Annash dan Indah**) yang telah setia mendengarkan keluh kesah, baik tentang asmara, akademik, dan masa depan yang semuanya terasa masih abu-abu. Sampai jumpa kembali dalam keadaan yang lebih baik.
17. Teman terbaik (**Mutiara Dhea**), terima kasih telah berjuang bersama dari awal masa perkuliahan hingga akhirnya kembali berpisah.
18. Saudara asuhku (**Kak Jumik dan Kak Salsa**) yang telah menjaga penulis dengan sangat baik dimasa awal perkuliahan. Tak lupa adik-adik asuhku (**Citra dan Dera**) yang telah memberikan banyak dukungan dan semangat selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
19. Keluarga Lahat (**Bang Tatak, Kak Reni, Kak Taya, Mude, Syirin, dan Aan**) yang telah banyak membantu dan direpotkan oleh penulis dalam melewati masa perkuliahan ini.

20. Semua pihak yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu per satu, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini dengan baik.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih, semoga skripsi ini dapat bermanfaat baik bagi penulis maupun pembaca serta dapat menjadi rujukan pengembangan ilmu kimia di masa yang akan datang.

Indralaya, 31 Maret 2023

Penulis

SUMMARY

GREEN SYNTHESIS OF Fe₃O₄ NANOMAGNETIC USING EXTRACT OF KELOR LEAF (*Moringa oleifera*) AS CAPPING AGENT AND ITS APPLICATION FOR PHOTODEGRADATION OF CONGO RED DYE

Fitria Nursari : Supervised by Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si

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

Xviii + 73 pages, 21 pictures, 3 tables, 18 attachments.

Congo red is one of the dyes that is often used in the textile industry. However, congo red can cause environmental problems. Fe₃O₄ is a metal oxides that is magnetic and can be used as a catalyst. Fe₃O₄ can be synthesized with various methods. But, usually the method that is being used requires a chemical materials as a capping agent and can emits gas poison in the process. Alternative method which can be used in the synthesis of Fe₃O₄ is green synthesis method. This research aims to synthesizing Fe₃O₄ and applying it to the photodegradation of congo red. Fe₃O₄ was synthesized by the addition of extract Moringa leaf as capping agent. Fe₃O₄ nanomagnetics were prepared by green synthesis using coprecipitation. Fe₃O₄ were characterized using XRD, SEM-EDX, VSM, UV-Vis DRS, and FTIR. Determination of the best conditions was carried out using variable of pH, dye concentration, and radiation time. The result of XRD characterization showed the diffractogram pattern of Fe₃O₄ is similar to standar diffractogram pattern according to JCPDS PDF No. 19-0629 with crystallite size in 22.71 nm. The result of SEM-EDX characterization showed rough surface with constituent elemen Fe, O, dan C. The result of VSM characterization showed the magnetization saturation of the Fe₃O₄ is 79.91 emu/g. The result of UV-Vis DRS characterization showed the band gap value of the Fe₃O₄ nanomagnetics is 1.38 eV. The result of FTIR characterization showed functional group of OH, C=C, C-O, C-O vibration, and Fe-O. pH_{Hpzc} value of Fe₃O₄ nanomagnetic was obtained at pH 5.6. The effectiveness value based on degradation at pH 3, concentration of 50 mg/L, and radiation time of 30 minutes was 95.88%. The result of TOC analyze showed that the removal efficiency of carbons was obtained at 68.75%. Based on the results obtained it can be concluded that Fe₃O₄ nanomagnetics were successfully synthesized and were able to degrade congo red.

Keyword : Green synthesis, Fe₃O₄, photodegradation, congo red

Citations : 80 (2009-2022)

RINGKASAN

GREEN SYNTHESIS NANOMAGNETIK Fe₃O₄ MENGGUNAKAN EKSTRAK DAUN KELOR (*Moringa oleifera*) SEBAGAI CAPPING AGENT DAN APLIKASINYA PADA FOTODEGRADASI ZAT WARNA CONGO RED

Fitria Nursari : Dibimbing oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si

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

Xviii + 73 halaman, 21 gambar, 3 tabel, 18 lampiran.

Congo red merupakan salah satu zat warna yang biasa digunakan dalam industri tekstil. Namun penggunaan *congo red* dapat menyebabkan permasalahan lingkungan. Fe₃O₄ merupakan oksida logam yang bersifat magnetik dan dapat digunakan sebagai katalis. Fe₃O₄ dapat disintesis dengan berbagai metode. Namun, *capping agent* yang biasa digunakan dalam sintesis dapat mengeluarkan racun selama proses sintesis. Alternatif yang dapat digunakan dalam sintesis Fe₃O₄ yaitu metode *green synthesis*. Penelitian ini dilakukan untuk menyintesis Fe₃O₄ dan mengaplikasikannya pada fotodegradasi *congo red*. Fe₃O₄ disintesis dengan penambahan ekstrak daun kelor sebagai *capping agent*. Metode sintesis yang digunakan yaitu *green synthesis* secara kopresipitasi. Fe₃O₄ dikarakterisasi dengan menggunakan XRD, SEM-EDX, VSM, UV-Vis DRS, dan FTIR. Penentuan kondisi terbaik dilakukan dengan menggunakan variabel pH, konsentrasi zat warna, dan waktu radiasi. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan pola difraktogram Fe₃O₄ yang mirip dengan pola difraksi standar sesuai dengan data JCPDS PDF No. 19-0629 dengan ukuran kristal sebesar 22,71 nm. Hasil karakterisasi SEM-EDX menunjukkan permukaan yang kasar dengan unsur penyusun berupa Fe, O, dan C. Hasil karakterisasi VSM menunjukkan nilai magnetisasi saturasi sebesar 79,91 emu/g. Hasil karakterisasi UV-Vis DRS menunjukkan nilai energi celah pita sebesar 1,38 eV. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan adanya gugus OH, C=C, C-O, C-O vibrasi, dan Fe-O. Nilai pH_{zpc} Fe₃O₄ berada pada pH 5,6. Nilai efektivitas berdasarkan degradasi pada pH 3, konsentrasi 50 mg/L, dan waktu radiasi 30 menit diperoleh sebesar 95,88%. Hasil pengukuran TOC menunjukkan efisiensi sebesar 68,75%. Berdasarkan data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa nanomagnetik Fe₃O₄ telah berhasil disintesis dan dapat mendegradasi *congo red*.

Kata kunci : *Green synthesis*, Fe₃O₄, fotodegradasi, *congo red*

Kutipan : 80 (2009-2022)

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
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Konsep <i>Green Chemistry</i>	5
2.2 <i>Magnetite</i> (Fe_3O_4).....	5
2.3 Zat Warna Azo	6
2.3.1 Zat Warna <i>Congo Red</i>	6
2.4 Metode <i>Green Synthesis</i>	7
2.5 <i>Moringa oleifera</i>	9
2.6 Fotodegradasi	9
2.7 Spektrofotometer UV-Vis	11
2.8 Karakterisasi.....	11

2.8.1	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	11
2.8.2	<i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX)</i>	13
2.8.3	<i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>	14
2.8.4	<i>UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)</i>	14
2.8.5	<i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i>	15
2.9	<i>Total Organic Carbon (TOC)</i>	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		18
3.1	Waktu dan Tempat	18
3.2	Alat dan Bahan	18
3.2.1	Alat.....	18
3.2.2	Bahan.....	18
3.3	Prosedur Penelitian.....	19
3.3.1	Ekstraksi Daun Kelor (<i>Moringa oleifera</i>).....	19
3.3.2	Analisis Kualitatif Kandungan Senyawa Pada Daun Kelor	19
3.3.2.1	Uji Flavonoid	19
3.3.2.2	Uji Terpenoid	19
3.3.2.3	Uji Alkaloid.....	19
3.3.2.4	Uji Asam Fenolik	20
3.3.3	Sintesis Nanomagnetik Fe ₃ O ₄	20
3.3.4	Karakterisasi Material	20
3.3.4.1	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	20
3.3.4.2	<i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX)</i>	20
3.3.4.3	<i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>	21
3.3.4.4	<i>UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)</i>	21
3.3.4.5	<i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i>	21
3.3.5	Penentuan pH Point Zero Charge.....	21
3.3.6	Penentuan Konsentrasi Zat Warna <i>Congo Red</i>	21
3.3.6.1	Pembuatan Larutan Induk Standar <i>Congo Red</i>	

1000 mg/L	21
3.3.6.2 Penentuan Kurva Kalibrasi Zat Warna <i>Congo Red</i>	22
3.3.7 Penentuan Kondisi Terbaik Penyerapan Zat Warna <i>Congo Red</i>	22
3.3.7.1 Pengaruh pH.....	22
3.3.7.2 Pengaruh Konsentrasi Zat Warna.....	22
3.3.7.3 Pengaruh Waktu Radiasi	22
3.3.8 Penentuan Fotodegradasi Terbaik dengan Menggunakan <i>Total Organic Carbon (TOC)</i>	23
3.3.9 Analisis Data	23
3.3.9.1 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	23
3.3.9.2 <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX)</i>	23
3.3.9.3 <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>	24
3.3.9.4 <i>UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)</i>	24
3.3.9.5 <i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i>	24
3.3.9.6 Kondisi Terbaik Penyerapan Zat Warna	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Analisis Kualitatif Pada Ekstrak Daun Kelor.....	26
4.2 Hasil Sintesis Fe ₃ O ₄	27
4.3 Karakterisasi Material	28
4.3.1 Hasil Karakterisasi Fe ₃ O ₄ dengan XRD	28
4.3.2 Hasil Karakterisasi Fe ₃ O ₄ dengan SEM-EDX.....	28
4.3.3 Hasil Karakterisasi Fe ₃ O ₄ dengan VSM.....	31
4.3.4 Hasil Karakterisasi Fe ₃ O ₄ dengan UV-Vis DRS	32
4.3.5 Hasil Karakterisasi Fe ₃ O ₄ dengan FTIR.....	33
4.4 Penentuan pH <i>Point Zero Charge (pHpzc)</i> Fe ₃ O ₄	34
4.5 Penentuan Kondisi Terbaik Degradasi Zat Warna Congo Red dengan Menggunakan Fe ₃ O ₄	35
4.5.1 Pengaruh pH.....	35

4.5.2 Pengaruh Konsentrasi Zat Warna.....	36
4.5.3 Pengaruh Waktu Radiasi.....	37
4.6 Pengukuran <i>Total Organic Carbon</i> (TOC).....	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	40
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN.....	49

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Struktur Zat Warna <i>Congo Red</i>	7
Gambar 2. Struktur Senyawa	7
Gambar 3. Mekanisme Reaksi <i>Green Synthesis</i> Fe ₃ O ₄	8
Gambar 4. Mekanisme Reaksi Pada Fotodegradasi <i>Congo Red</i>	10
Gambar 5. Difraksi Sinar-X	12
Gambar 6. Contoh Hasil Pengujian SEM Pada Fe ₃ O ₄	13
Gambar 7. Contoh Kurva Histeresis dari Fe ₃ O ₄ dan Nanokomposit Fe ₃ O ₄ @C.....	14
Gambar 8. Pengukuran Serapan Sinar Bahan Katalis Fe ₃ O ₄ /TiO ₂ dan Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /TiO ₂ dengan UV-Vis DRS.....	15
Gambar 9. Spektra FTIR.....	16
Gambar 10. Hasil Sintesis Fe ₃ O ₄ Diuji dengan Magnet Eksternal	27
Gambar 11. Difraktogram dari Fe ₃ O ₄	28
Gambar 12. Pemetaan Morfologi Permukaan Fe ₃ O ₄	29
Gambar 13. Morfologi Permukaan Fe ₃ O ₄	29
Gambar 14. Spektrum EDX Fe ₃ O ₄	30
Gambar 15. Kurva Histeresis Fe ₃ O ₄	31
Gambar 16. Energi Celah Pita Pada Nanomagnetik Fe ₃ O ₄	32
Gambar 17. Spektra FTIR Fe ₃ O ₄	33
Gambar 18. Kurva pH _{pzc} Fe ₃ O ₄	34
Gambar 19. Pengaruh pH Terhadap Efektivitas Penurunan Konsentrasi Zat Warna <i>Congo Red</i>	35
Gambar 20. Pengaruh Konsentrasi Terhadap Efektivitas Penurunan Konsentrasi Zat Warna <i>Congo Red</i>	36
Gambar 21. Pengaruh Waktu Radiasi Terhadap Efektivitas Penurunan Konsentrasi Zat Warna <i>Congo Red</i>	37

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Hasil Analisis Kualitatif Pada Ekstrak Daun Kelor	26
Tabel 2. Unsur penyusun dalam Fe_3O_4	31
Tabel 3. Nilai TOC Pada Zat Warna <i>Congo Red</i> Sebelum dan Setelah Degradasi.....	38

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Diagram Alir Prosedur Penelitian	49
Lampiran 2. Reaksi Pembentukan Nanomagnetik Fe ₃ O ₄	51
Lampiran 3. Hasil Karakterisasi Fe ₃ O ₄ dengan Menggunakan XRD.....	52
Lampiran 4. Hasil Karakterisasi Fe ₃ O ₄ dengan Menggunakan SEM-EDX ...	54
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi Fe ₃ O ₄ dengan Menggunakan VSM.....	56
Lampiran 6. Hasil Karakterisasi Fe ₃ O ₄ dengan Menggunakan UV-Vis DRS .	58
Lampiran 7. Hasil Karakterisasi Fe ₃ O ₄ dengan Menggunakan FTIR.....	60
Lampiran 8. Data Analisis pH Point Zero Charge (pHpzc).....	61
Lampiran 9. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum <i>Congo Red</i>	62
Lampiran 10. Penentuan Kurva Kalibrasi Zat Warna <i>Congo Red</i>	63
Lampiran 11. Kondisi Fotodegradasi <i>Congo Red</i> Terhadap Pengaruh pH Tanpa Menggunakan Fe ₃ O ₄	64
Lampiran 12. Kondisi Fotodegradasi <i>Congo Red</i> Terhadap Pengaruh pH dengan Menggunakan Fe ₃ O ₄	65
Lampiran 13. Kondisi Fotodegradasi <i>Congo Red</i> Terhadap Pengaruh Konsentrasi Tanpa Menggunakan Fe ₃ O ₄	66
Lampiran 14. Kondisi Fotodegradasi <i>Congo Red</i> Terhadap Pengaruh Konsentrasi dengan Menggunakan Fe ₃ O ₄	67
Lampiran 15. Kondisi Fotodegradasi <i>Congo Red</i> Terhadap Pengaruh Waktu Tanpa Menggunakan Fe ₃ O ₄	68
Lampiran 16. Kondisi Fotodegradasi <i>Congo Red</i> Terhadap Pengaruh Waktu dengan Menggunakan Fe ₃ O ₄	69
Lampiran 17. Hasil Pengujian dengan Menggunakan <i>Total Organic Carbon</i> (TOC)	70
Lampiran 18. Lampiran Gambar	71

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan industri tekstil terus berkembang seiring dengan permintaan pasar yang terus bertambah. Namun, limbah cair yang dihasilkan dari proses pengelolaan industri tekstil menjadi salah satu penyebab permasalahan lingkungan (Enrico, 2019). Adanya kandungan zat warna dengan persentase yang tinggi menyebabkan limbah hasil industri tekstil dapat membahayakan lingkungan. Zat warna terdiri dari senyawa hidrokarbon aromatik, fenol, dan beberapa senyawa hidrokarbon yang mengandung gugus azo (Sausan *et al.*, 2021).

Congo red merupakan salah satu pewarna tekstil yang umum digunakan pada industri tekstil. *Congo red* termasuk kelompok senyawa azo yang mengandung gugus kromofor. *Congo red* umumnya digunakan dalam pencelupan kain yang mengandung serat selulosa, rayon, dan wol. Adanya gugus azo yang terkandung dalam *congo red* menyebabkan zat warna ini dapat terikat dengan kuat pada kain (Supriyanto *et al.*, 2021). *Congo red* bersifat toksik sehingga dapat menyebabkan gangguan fungsi pada organ tubuh. *Congo red* sulit terdegradasi secara alamiah karena mengandung struktur aromatik (Saraswati *et al.* 2015).

Penggunaan zat warna *congo red* dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan sehingga perlu dilakukan penanganan lebih lanjut. Berbagai upaya perlu dilakukan untuk mengurangi kadar zat warna dalam limbah sebelum dibuang. Metode fotodegradasi dapat diaplikasikan sebagai alternatif dalam pengolahan zat warna tekstil pada limbah cair. Fotodegradasi dapat dikatakan sebagai proses penyederhanaan senyawa organik dengan bantuan radiasi sinar ultraviolet dan energi foton. Zat warna yang telah mengalami fotodegradasi akan terurai menjadi komponen yang lebih sederhana. Prinsip fotodegradasi adalah menggunakan fotokatalis berbahan semikonduktor (Supriyanto *et al.*, 2021). Metode fotodegradasi dapat memecah zat warna menjadi molekul CO₂ dan H₂O sehingga tidak menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan, prosesnya relatif cepat, dan dapat digunakan berulang (Hardian *et al.*, 2021).

Proses fotodegradasi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya berupa pH, konsentrasi zat warna, dan waktu radiasi yang digunakan dalam proses

penyinaran. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Widiyanti *et al.* (2013), *congo red* dapat terdegradasi dengan baik dalam suasana asam. Hal ini disebabkan *congo red* bersifat anionik sehingga apabila didegradasi pada suasana asam, *congo red* dapat teradsorpsi dengan baik pada permukaan nanomagnetik yang menyebabkan nilai persentase degradasi akan meningkat. Menurut Diantariani *et al.* (2016), persentase degradasi akan semakin rendah apabila konsentrasi zat warna yang digunakan semakin tinggi. Hal ini disebabkan pada konsentrasi yang tinggi terdapat lebih banyak molekul sehingga jumlah radikal hidroksida yang dibutuhkan dalam mendekomposisi senyawa semakin banyak. Menurut Saraswati *et al.* (2015), semakin lama waktu penyinaran yang dilakukan dalam proses fotodegradasi menyebabkan semakin besar peluang permukaan nanomagnetik menerima energi foton sehingga proses fotodegradasi akan berlangsung semakin baik.

Fe_3O_4 dikenal sebagai logam oksida yang memiliki sifat magnetik yang kuat. Fe_3O_4 merupakan nanomagnetik unik yang memiliki toksisitas rendah, biokompatibel, katalitik, saturasi magnet tinggi, dan bersifat superparamagnetik (Syahida *et al.*, 2022). Fe_3O_4 merupakan salah satu katalis heterogen yang bersifat ramah lingkungan. Fe_3O_4 dapat digunakan dalam mengoksidasi senyawa organik pada limbah cair yang mengandung zat warna, salah satunya adalah *congo red* (Hung *et al.*, 2016).

Nanomagnetik Fe_3O_4 dapat disintesis dengan berbagai jenis metode, diantaranya metode hidrotermal, solvotermal, elektrotermal, dan kopresipitasi. Namun, metode-metode tersebut biasanya melibatkan bahan kimia yang dapat mengeluarkan racun selama proses sintesis sehingga tidak ramah terhadap lingkungan (Ruíz-Baltazar *et al.*, 2019). Sintesis nanomagnetik umumnya dilakukan dengan menggunakan *capping agent* sebagai penstabil partikel yang berfungsi untuk menghambat terjadinya penggumpalan atau aglomerasi. *Capping agent* yang biasa digunakan dalam sintesis nanomagnetik adalah PVP (*polyvinyl pyrrolidone*) dan PEG (*polyethylene glycol*). Namun, penggunaan bahan kimia tersebut menyebabkan permasalahan lingkungan sehingga tidak sesuai dengan konsep *green chemistry* (Kojong *et al.*, 2018). *Green chemistry* merupakan konsep ilmiah yang digunakan dalam merancang dan memproduksi produk kimia dengan meminimalisir penggunaan bahan-bahan yang berbahaya. *Green chemistry*

memiliki 12 prinsip yang dapat diaplikasikan dalam rangka mengatasi permasalahan lingkungan, salah satunya adalah prinsip sintesis kimia yang aman dengan meminimalisir bahaya bagi manusia dan lingkungan (Putri, 2019).

Sintesis nanomagnetik berbasis tanaman, umumnya dikenal dengan metode *green synthesis*, merupakan metode sintesis yang ramah lingkungan karena tidak menggunakan reagen yang berbahaya dalam prosesnya. *Green synthesis* dilakukan dengan menggunakan ekstrak tanaman yang mengandung agen fitokimia. Ekstrak tanaman harus mengandung senyawa metabolit sekunder seperti asam fenolik, flavonoid, alkaloid, dan terpenoid agar dapat digunakan dalam sintesis nanomagnetik dengan metode *green synthesis*. Metabolit primer dan metabolit sekunder dapat berperan sebagai *capping agent* sehingga dapat digunakan dalam sintesis nanopartikel yang ramah lingkungan (Chung *et al.*, 2016).

Ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) dapat bertindak sebagai *capping agent* dalam pembuatan nanomagnetik agar tidak terjadi proses aglomerasi. Ekstrak daun kelor mengandung vitamin, flavonoid, dan asam fenolik yang dapat berperan sebagai agen penstabil selama sintesis nanopartikel (Matinise *et al.*, 2018). Beberapa penelitian yang telah dilakukan dalam proses *green synthesis* dengan menggunakan ekstrak daun kelor sebagai *capping agent* diantaranya adalah sintesis nanomaterial logam/logam oksida yang dilakukan oleh Jadhav *et al.* (2022) dan sintesis perak oleh Bindhu *et al.* (2020).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini mensintesis Fe_3O_4 dari ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) dengan menggunakan metode *green synthesis*. Fe_3O_4 yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan XRD, SEM-EDX, VSM, UV-Vis DRS, dan FTIR. Fe_3O_4 yang telah dikarakterisasi kemudian digunakan dalam fotodegradasi zat warna *congo red*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana keberhasilan sintesis nanomagnetik Fe_3O_4 menggunakan daun kelor (*Moringa oleifera*) berdasarkan karakterisasi XRD, SEM-EDX, VSM, UV-Vis DRS, dan FTIR ?

2. Bagaimana pengaruh pH, konsentrasi zat warna, dan waktu radiasi terhadap kemampuan Fe_3O_4 dalam fotodegradasi zat warna *congo red* terhadap persen degradasi?
3. Apakah Fe_3O_4 yang disintesis menggunakan daun kelor (*Moringa oleifera*) dapat mendegradasi zat warna *congo red* berdasarkan uji TOC?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menyintesis dan melakukan karakterisasi Fe_3O_4 yang disintesis menggunakan daun kelor (*Moringa oleifera*) dengan menggunakan metode *green synthesis*.
2. Mengetahui pengaruh pH, konsentrasi zat warna, dan waktu kontak terhadap kemampuan Fe_3O_4 dalam fotodegradasi zat warna *congo red*.
3. Membuktikan Fe_3O_4 hasil sintesis menggunakan daun kelor (*Moringa oleifera*) dapat mendegradasi zat warna *congo red* berdasarkan analisis uji TOC.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan pengetahuan kepada pembaca mengenai metode *green synthesis* dalam proses sintesis Fe_3O_4 dari ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) yang digunakan dalam fotodegradasi zat warna *congo red*. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk pengolahan limbah tekstil.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Idrus, S. W., Mutiah, M., Rahmawati, R., Junaedi, E., & Anwar, Y. A. S. (2021). Sosialisasi prinsip green chemistry untuk meningkatkan kesadaran akan bahaya limbah kimia terhadap lingkungan pada mahasiswa prodi pendidikan kimia FKIP UNRAM. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Sains Indonesia*, 3(2), 246–252. <https://doi.org/10.29303/jpmsi.v3i2.135>
- Andari, N. D., & Wardhani, S. (2014). Fotokatalis TiO₂-zeolit untuk degradasi metilen biru. *Chemistry Progress*, 7(1), 9–14.
- Ardakani, L. S., Alimardani, V., Tamaddon, A. M., Amani, A. M., & Taghizadeh, S. (2021). Green synthesis of iron-based nanoparticles using *Chlorophytum comosum* leaf extract: methyl orange dye degradation and antimicrobial properties. *Heliyon*, 7(2), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06159>
- Asih, A. K., Yetti, R. D., & Chandra, B. (2021). Photodegradation of antibiotic using TiO₂ as a catalyst: A review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Medicine*, 6(2), 37–43. <https://doi.org/10.47760/ijpsm.2021.v06i02.004>
- Auliah, A., Muharram, & Mulyadi. (2018). Indonesian teachers' perceptions on green chemistry principles: A case study of a chemical analyst vocational school. *Journal of Physics: Conference Series*, 1028(1), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1028/1/012042>
- Benkhaya, S., M'rabet, S., & El Harfi, A. (2020). Classifications, properties, recent synthesis and applications of azo dyes. *Heliyon*, 6(1), 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03271>
- Berawi, K. N., Wahyudo, R., & Pratama, A. A. (2019). Potensi terapi Moringa oleifera (kelor) pada penyakit degeneratif. *Jurnal Kedokteran Universitas Lampung*, 3(1), 210–214. <http://repository.lppm.unila.ac.id/20716/1/2229-2949-1-PB.pdf>
- Bindhu, M. R., Umadevi, M., Esmail, G. A., Al-Dhabi, N. A., & Arasu, M. V. (2020). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles from Moringa oleifera flower and assessment of antimicrobial and sensing properties. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 205, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.111836>
- Chakraborty, S., Sharmin, S., Rony, S. R., Ahmad, S. A. I., & Sohrab, M. D. H. (2018). Stability-indicating UV/vis spectrophotometric method for diazepam, development and validation. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 80(2), 366–373. <https://doi.org/10.4172/pharmaceutical-sciences.1000366>
- Chung, I. M., Park, I., Seung-Hyun, K., Thiruvengadam, M., & Rajakumar, G. (2016). Plant-mediated synthesis of silver nanoparticles: Their characteristic properties and therapeutic applications. *Nanoscale Research Letters*, 11(40),

1–14. <https://doi.org/10.1186/s11671-016-1257-4>

- Devi, L. G., Kumar, S. G., & Reddy, K. M. (2009). Photo fenton like process $\text{Fe}^{3+}/(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8/\text{UV}$ for the degradation of diazo dye congo red using low iron concentration. *Central European Journal of Chemistry*, 7(3), 468–477. <https://doi.org/10.2478/s11532-009-0036-9>
- Dewi, S. H., & Ridwan. (2012). Sintesis dan karakterisasi nanopartikel Fe_3O_4 magnetik untuk adsorpsi kromium heksavalen. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 13(2), 136–140.
- Dhar, P. K., Saha, P., Hasan, M. K., Amin, M. K., & Haque, M. R. (2021). Green synthesis of magnetite nanoparticles using Lathyrus sativus peel extract and evaluation of their catalytic activity. *Cleaner Engineering and Technology*, 3, 100117. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100117>
- Diantariani, N. P., Suprihatin, I. E., & 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. <https://doi.org/10.24843/jchem.2016.v10.i01.p18>
- Emara, M. M., Goher, M. E., Abdo, M. H., El-Shamy, A. S., & Mahmud, N. M. (2016). Synthesis and characterization of Fe, Mn, and super paramagnetic magnetite Fe_3O_4 nanoparticles. *International Journal of Advanced Research*, 4(9), 447–461. <https://doi.org/10.21474/ijar01/1501>
- Enrico. (2019). Dampak limbah cair industri tekstil terhadap lingkungan dan aplikasi teknik eco printing sebagai usaha mengurangi limbah. *Moda*, 1(1), 5–13.
- Fernandes, F. H. A., & Salgado, H. R. N. (2016). Gallic acid: review of the methods of determination and quantification. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 46(3), 257–265. <https://doi.org/10.1080/10408347.2015.1095064>
- Furqonita, A., Aritonang, A. B., & Wibowo, M. A. (2021). Sintesis TiO_2 terdoping Bi^{3+} dan uji aktivitas fotokatalisis antibakteri E.coli dengan bantuan sinar tampak. *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*, 4(2), 69–80.
- Hakim, L., Dirgantara, M., & Nawir, M. (2019). Karakterisasi struktur material pasir bongkahan galian golongan c dengan menggunakan X-Ray Diffraction (X-RD) di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*, 1(1), 44–51. <https://doi.org/10.36873/jjms.v1i1.136>
- Handayani, T. W., Yusuf, Y., & Tandi, J. (2020). Analisis kualitatif dan kuantitatif metabolit sekunder ekstrak biji kelor (*Moringa oleifera* Lam.) dengan metode spektrofotometri UV-Vis. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 6(3), 230–238. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2020.v6.i3.15324>
- Hardian, A., Putri, R. H., Budiman, S., & Syarif, D. G. (2021). Sintesis keramik komposit $\text{ZrO}_2\text{-ZnFe}_2\text{O}_4$ sebagai fotokatalis magnetik untuk degradasi metilen

- biru. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 17(1), 43–53. <https://doi.org/10.20961/alchemy.17.1.39240.43-53>
- Hariani, P. L., Faizal, M., Ridwan, R., Marsi, M., & Setiabudidaya, D. (2013). Synthesis and properties of Fe₃O₄ nanoparticles by co-precipitation method to removal procion dye. *International Journal of Environmental Science and Development*, 4(3), 336–340. <https://doi.org/10.7763/ijesd.2013.v4.366>
- Harja, M., Buema, G., & Bucur, D. (2022). Recent advances in removal of congo red dye by adsorption using an industrial waste. *Scientific Reports*, 12(1), 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10093-3>
- Herlina, R., Masri, M., & Sudding. (2017). Studi adsorpsi dedak padi terhadap zat warna congo red di kabupaten wajo. *Jurnal Chemica*, 18(1), 16–25.
- Hung, C. M., Chen, C. W., Jhuang, Y. Z., & Dong, C. Di. (2016). Fe₃O₄ magnetic nanoparticles: Characterization and performance exemplified by the degradation of methylene blue in the presence of persulfate. *Journal of Advanced Oxidation Technologies*, 19(1), 43–51. <https://doi.org/10.1515/jaots-2016-0105>
- Husain, S., Irfansyah, M., Haryanti, N. H., Suryajaya, S., Arjo, S., & Maddu, A. (2019). Synthesis and characterization of Fe₃O₄ magnetic nanoparticles from iron ore. *Journal of Physics: Conference Series*, 1242, 1–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1242/1/012021>
- Husain, S., Suryajaya, S., Haryanti, N. H., Manik, T. N., Rodiansono, R., Hutasoit, S. M., Riyanto, A., & Sudarningsih, S. (2019). Potensi nanokomposit Fe₃O₄@C dari bijih besi sebagai pendeteksi kadar glukosa. *Positron*, 9(2), 44–52. <https://doi.org/10.26418/positron.v9i2.32771>
- Iskandar, D. (2017). Perbandingan metode spektrofotometri Uv-Vis dan iodimetri dalam penentuan asam askorbat sebagai bahan ajar kimia analitik mahasiswa jurusan teknologi. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 10(1), 66–70.
- Jadhav, V., Bhagare, A., Ali, I. H., Dhayagude, A., Lokhande, D., Aher, J., Jameel, M., & Dutta, M. (2022). Role of Moringa oleifera on green synthesis of metal/metal oxide nanomaterials. *Journal of Nanomaterials*, 2022, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2022/2147393>
- Jamaluddin, Nugraha, S. T., Maria, M., & Umar, E. P. (2018). Prediksi Total Organic Carbon (TOC) menggunakan regresi multilinear dengan pendekatan data well log. *Jurnal Geoelebes*, 2(1), 1–5. <https://doi.org/10.20956/geoelebes.v2i1.3568>
- Jannah, N. R., & Onggo, D. (2019). Synthesis of Fe₃O₄ nanoparticles for colour removal of printing ink solution. *Journal of Physics: Conference Series*, 1245(1), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1245/1/012040>
- Juwita, S. S., Trisnawati, N. L. P., & Suyanto, H. (2018). Karakterisasi sampel kuku

manusia dengan FTIR (Fourier Transform Infrared) melalui metode chemometric PCA dan clustering. *Buletin Fisika*, 19(2), 84–90.

- Jyothish, B., & Jacob, J. (2021). Al-doped zinc ferrite nanoparticles: Preparation and evaluation of thermal, structural, morphological and anticancer properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 863, 158352. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.158352>
- Karim, F. A., Tungadi, R., & Thomas, N. A. (2021). Biosintesis nanopartikel perak ekstrak etanol 96% dan kelor (*Moringa oleifera*) dan uji aktivitasnya sebagai antioksidan. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Education*, 2(1), 32–41. <https://doi.org/10.37311/ijpe.v2i1.11725>
- Khaira, R., Ulinas, A., Azhar, M., & Mawardi. (2020). Sintesis nanopartikel magnetik besi oksida (Fe_3O_4) menggunakan ekstrak daun sirih merah (*Piper crocatum*) sebagai agen pelindung (capping agent). *Jurnal Kimia*, 9(2), 42–46. <https://doi.org/10.24036/p.v9i2.110381>
- Kojong, T. M. I., Aritonang, H., & Koleangan, H. (2018). Green syntesis nanopartikel perak (Ag) menggunakan larutan daun rumput macan (*Lantana camara* L). *Chemistry Progress*, 11(2), 46–51. <https://doi.org/10.35799/cp.11.2.2018.27938>
- Kurang, R. Y., Koly, F. V. L., & I, K. D. (2020). Aktivitas antioksidan ekstrak etil asetat daun kelor (*Moringa Oleifera* L). *Journal of Pharmaceutical Care Anwar Medika*, 3(1), 13–21.
- Kurang, R. Y., Koly, F. V. L., & Kafolapada, D. I. (2020). Aktivitas antioksidan ekstrak etil asetat daun kelor (*Moringa oleifera* L). *Journal of Pharmaceutical Care Anwar Medika*, 3(1), 13–21. <https://doi.org/10.36932/jpcam.v3i1.53>
- Lee, H. S., Hur, J., Hwang, Y. H., & Shin, H. S. (2020). A novel procedure of total organic carbon analysis for water samples containing suspended solids with alkaline extraction and homogeneity evaluation by turbidity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 1–13. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113901>
- Masruroh, Manggara, A. B., Lapailaka, T., & Triandi, R. (2013). Penentuan ukuran kristal (crystallite size) lapisan tipis pzt dengan metode xrd melalui pendekatan persamaan debye scherrer. *Erudio Journal of Educational Innovation*, 1(2), 24–29. <https://doi.org/10.18551/erudio.1-2.4>
- Masyita, A., Mustika Sari, R., Dwi Astuti, A., Yasir, B., Rahma Rumata, N., Emran, T. Bin, Nainu, F., & Simal-Gandara, J. (2022). Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. *Food Chemistry: X*, 13, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100217>
- Matinise, N., Kaviyarasu, K., Mongwaketsi, N., Khamlich, S., Kotsedi, L.,

- Mayedwa, N., & Maaza, M. (2018). Green synthesis of novel zinc iron oxide (ZnFe_2O_4) nanocomposite via *Moringa oleifera* natural extract for electrochemical applications. *Applied Surface Science*, *446*, 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.02.187>
- Maywontiana, D. J. P. (2018). Pengaruh suhu kalsinasi terhadap struktur dan energi celah pita pada komposit ZSM-5TiO_2 yang dibuat dengan metode nonaqueous sol gel. *Skripsi*. Surabaya: Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh November.
- Missa, M. M. Y., Pingak, R. K., & Sutaji, H. I. (2018). Penentuan celah energi optik ekstrak daun alpukat (*Persea americana* mill) asal desa oinlasi menggunakan metode tauc plot. *Jurnal Fisika : Fisika Sains Dan Aplikasinya*, *3*(1), 86–90. <https://doi.org/10.35508/fisa.v3i1.606>
- Moretti, L., Natali, S., Tiberi, A., & D'Andrea, A. (2020). Proposal for a methodology based on xrd and sem-eds to monitor effects of lime-treatment on clayey soils. *Applied Sciences (Switzerland)*, *10*(7), 1–17. <https://doi.org/10.3390/app10072569>
- Nwidu, L. L., Elmorsy, E., Aprioku, J. S., Siminialayi, I., & Carter, W. G. (2018). In vitro anti-cholinesterase and antioxidant activity of extracts of *Moringa oleifera* plants from Rivers State, Niger Elta, Nigeria. *Medicines*, *5*(3), 1–17. <https://doi.org/10.3390/medicines5030071>
- Nyamukamba, P., Okoh, O., Tichagwa, L., & Greyling, C. (2016). Preparation of titanium dioxide nanoparticles immobilized on polyacrylonitrile nanofibres for the photodegradation of methyl orange. *International Journal of Photoenergy*, *2016*, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2016/3162976>
- Patidar, V., & Jain, P. (2017). Green synthesis of TiO_2 nanoparticle using *Moringa oleifera* leaf extract. *International Research Journal of Engineering and Technology*, *4*(3), 470–473. <https://doi.org/10.1166/ase.2013.1376>
- Putri, A. C. (2019). Pengaplikasian prinsip-prinsip green chemistry dalam pelaksanaan pembelajaran kimia sebagai pendekatan untuk pencegahan pencemaran akibat bahan-bahan kimia dalam kegiatan praktikum di laboratorium. *Journal of Creativity Student*, *2*(2), 67–73. <https://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/jcs/article/view/14585>
- Putri, S. A., Amanah, I. N., Susilawati, J., & Fabiani, V. A. (2021). Degradasi zat warna Rhodamin-B menggunakan green fotokatalis seng ferit (ZnFe_2O_4)-ekstrak daun pucuk idat (*Cratoxylum glaucum*). *Fullerene Journal of Chemistry*, *6*(2), 135–142. <https://doi.org/10.37033/fjc.v6i2.341>
- Rahmawita, S., & Ulianas, A. (2021). Sintesis dan karakterisasi magnetic nanopartikel NiFe_2O_4 menggunakan ekstrak kulit buah naga (*Hylocereus Polyrhizus*). *Periodic Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang*, *10*(1), 1–6.

- Ramesh, A. V., Rama Devi, D., Mohan Botsa, S., & Basavaiah, K. (2018). Facile green synthesis of Fe_3O_4 nanoparticles using aqueous leaf extract of *Zanthoxylum armatum* DC. for efficient adsorption of methylene blue. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 6(2), 145–155. <https://doi.org/10.1080/21870764.2018.1459335>
- Rasyid, R. A. Al, Wardhani, S., & Mutrofin, S. (2021). Fotodegradasi metil jingga dengan TiO_2/CuO -zeolit-alginat pada sinar UV. *The Indonesian Green Technology Journal*, 10(2), 79–87. <https://doi.org/10.21776/ub.igtj.2021.009.01.07>
- Riyanto, A. (2019). Preparasi dan karakteristik fisis nanopartikel magnetit (Fe_3O_4). *Jurnal Fisika Flux*, 16(1), 35–41. <https://doi.org/10.20527/flux.v16i1.5524>
- Ruíz-Baltazar, Á. de J., Reyes-López, S. Y., Mondragón-Sánchez, M. de L., Robles-Cortés, A. I., & Pérez, R. (2019). Eco-friendly synthesis of Fe_3O_4 nanoparticles: Evaluation of their catalytic activity in methylene blue degradation by kinetic adsorption models. *Results in Physics*, 12(December), 989–995. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.12.037>
- Safitri, I., Wibowo, Y. G., Rosarina, D., & Sudiby. (2021). Synthesis and characterization of magnetite (Fe_3O_4) nanoparticles from iron sand in Batanghari Beach. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1011, 1–10. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1011/1/012020>
- Saputra, A., Arfi, F., & Yulian, M. (2020). Literature review: Analisis fitokimia dan manfaat ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*). *Amina*, 2(3), 114–119. <https://journal.ar-raniry.ac.id/index.php/amina/article/view/1220>
- Saragi, T., Depi, B. L., Butarbutar, S., Permana, B., & Risdiana. (2018). The impact of synthesis temperature on magnetite nanoparticles size synthesized by coprecipitation method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1013(1), 1–4. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1013/1/012190>
- Saraswati, I., Diantariani, N., & Suarya, P. (2015). Fotodegradasi zat warna tekstil congo red dengan fotokatalis ZnO-arang aktif dan sinar ultraviolet (UV). *Jurnal Kimia*, 9(2), 175–182.
- Sausan, F. W., Puspitasari, A. R., & Yanuarita P, D. (2021). Studi literatur pengolahan warna pada limbah cair industri tekstil menggunakan metode proses adsorpsi, filtrasi, dan elektrolisis. *Jurnal Tecnosienza*, 5(2), 213–230. <https://doi.org/10.51158/tecnosienza.v5i2.427>
- Simamora, P., & Krisna. (2015). Sintesis dan karakterisasi sifat magnetik nanokomposit Fe_3O_4 -montmorilonit berdasarkan variasi suhu. *Prosiding Seminar Nasional Fisika UNJ*, 4, 75–80.
- Singh, A., Singh, S., & Singh, N. (2014). Green chemistry; sustainability an innovative approach (green chemistry and sustainability). *Journal of Applied*

Chemistry., 2(2), 77–82.

- Singh, J., Dutta, T., Kim, K. H., Rawat, M., Samddar, P., & Kumar, P. (2018). “Green” synthesis of metals and their oxide nanoparticles: Applications for environmental remediation. *Journal of Nanobiotechnology*, 16(1), 1–24. <https://doi.org/10.1186/s12951-018-0408-4>
- Siregar, J., Sebayang, K., & Yulianto, B. (2020). XRD characterization of Fe₃O₄-ZnO nanocomposite material by the hydrothermal method. *AIP Conference Proceedings*, 110008, 1–5.
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, B., & Dimiyati, A. (2015). Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk karakterisasi proses oksidasi paduan zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir*, 9(2), 44–50. <https://doi.org/10.17146/jfn.2015.9.1.3563>
- Sulaiman, G. M., Tawfeeq, A. T., & Naji, A. S. (2018). Biosynthesis, characterization of magnetic iron oxide nanoparticles and evaluations of the cytotoxicity and DNA damage of human breast carcinoma cell lines. *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology*, 46(6), 1215–1229. <https://doi.org/10.1080/21691401.2017.1366335>
- Supriyanto, R., Dio, R. G. R., Bahri, S., & Kiswandono, A. A. (2021). Fotodegradasi pewarna tekstil congo red menggunakan katalis ZnO/zeolit Y secara spektrofotometri UV-Vis. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 6(2), 104–113. <https://doi.org/10.23960/aec.v6.i2.2021.p104-113>
- Swelam, A. A., Awad, M. B., Gedamy, Y. R., & Tawfik, A. (2019). Fe₃O₄ nanoparticles: Synthesis, characterization and application in removal of iron from aqueous solution and groundwater. *Egyptian Journal of Chemistry*, 62(5), 789–809. <https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2019.5527.1488>
- Syahida, A. N., Sutanto, H., Manawan, M., Setiadi, E. A., Wibowo, A. A., Irianti, F. D. D., Alkian, I., Hidayanto, E., Priyono, P., Marhaendrajaya, I., & Triadyaksa, P. (2022). Diffraction and magnetization properties of Fe₃O₄ nanoparticle from natural iron san in various stirring rate for potential biomedical applications. *Rasayan Journal of Chemistry*, 15(1), 316–325. <https://doi.org/10.31788/RJC.2022.1516615>
- Tatinting, G. D., Aritonang, H. F., & Wintu, A. D. (2021). Sintesis nanopartikel Fe₃O₄-Polietolen Glikol (PEG) 6000 dari pasir besi Pantai Hais sebagai adsorben logam kadmium (Cd). *Chemistry Progress*, 14(2), 131–137.
- Tebriani, S. (2019). Analisis Vibrating Sampel Magnetometer (VSM) pada hasil elektrodeposisi lapisan tipis magnetite menggunakan aruscountinue direct current. *Natural Science Journal*, 5(1), 722–730.
- Torres-Vega, J., Gomez-Alonso, S., Perez-Navarro, J., & Pastene-navarrete, E. (2020). Green extraction of alkaloids and polyphenols from Peumus boldus

- leaves with natural deep eutectic. *Plants*, 9(242), 1–17.
- Utomo, W., Sumarni, W., & Priatmoko, S. (2018). Pengaruh konsentrasi SO_4^{2-} dan pH terhadap degradasi congo red menggunakan fotokatalis N-TiO₂. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(1), 71–76.
- Venkatesh, S., Pandey, N. D., & Quoff, A. R. (2014). Decolorization of synthetic dye solution containing congo red by Advanced Oxidation Process (AOP). *International Journal of Advanced Research in Civil, Structural, Environment and Infrastructure Engineering and Developing*, 2(1), 49–55.
- Wardiyati, S., Adi, W. A., Didin, D., Winatapura, S., Sains, P., Teknologi, D., Maju, B., Gedung, B., Serpong, P., & Selatan, T. (2016). Pengaruh penambahan SiO₂ terhadap karakteristik dan kinerja fotokatalitik Fe₃O₄/TiO₂ pada degradasi methylene blue. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 38(1), 37–40.
- Widiantini, N. L. P., Sibarani, J., & Manurung, M. (2013). Studi fotodegradasi congo red menggunakan UV/ZnO/reagen fenton. *Jurnal Kimia*, 7(1), 82–90.
- Yang, L., Tian, J., Meng, J., Zhao, R., Li, C., Ma, J., & Jin, T. (2018). Modification and characterization of Fe₃O₄ nanoparticles for use in adsorption of alkaloids. *Molecules*, 23(3). <https://doi.org/10.3390/molecules23030562>
- Yunita, Y., Manurung, P., & Riyanto, A. (2021). Pengaruh laju penambahan doping fosfor terhadap aktivitas fotokatalis nanotitania menggunakan metode sol gel. *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*, 2(2), 59–65. <https://doi.org/10.23960/jemit.v2i2.133>
- Zein, R., Ramadhani, P., Aziz, H., & Suhaili, R. (2019). Biosorben cangkang pensil (*Corbicula moltkiana*) sebagai penyerap zat warna metanil yellow ditinjau dari pH dan model kesetimbangan adsorpsi. *Jurnal Litbang Industri*, 9(1), 15–22.
- Zeinali, S., Nasirimoghaddam, S., & 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.