

**GREEN SYNTHESIS $\text{CuFe}_2\text{O}_4 @ \text{MnO}_2$ DAN APLIKASINYA UNTUK
FOTODEGRADASI ZAT WARNA PROCION RED MENGGUNAKAN
RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)**

SKRIPSI

**Dijukka sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia**



Oleh:

Puan Maha Fira

08031182126024

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

2025

HALAMAN PENGESAHAN

**GREEN SYNTHESIS $\text{CuFe}_2\text{O}_4@ \text{MnO}_2$ DAN APLIKASINYA UNTUK
FOTODEGRADASI ZAT WARNA PROCION RED MENGGUNAKAN
RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)**

SKRIPSI

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

Oleh:

Puan Maha Fira

08031182126024

Indralaya, 19 Maret 2025

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I



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

NIP. 196868271994022001

Dosen Pembimbing II



Dr. Muhammad Said, M.T.

NIP. 197407212001121001

Mengetahui,

Dekan FMIPA



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

NIP. 197111191997021001

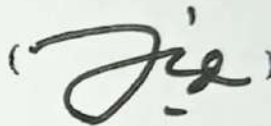
HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Puan Maha Fira (08031182126024) dengan judul "*Green Synthesis CuFe₂O₄@MnO₂ dan Aplikasinya untuk Fotodegradasi Zat Warna Procion Red Menggunakan Response Surface Methodology (RSM)*" telah diseminarkan di hadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 18 Maret 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 19 Maret 2025

Ketua:

1. **Dr. Widia Purwaningrum, M.Si.**
NIP. 197304031999032001

()

Anggota:

1. **Prof. Dr. Poedji Leokitowati H., M.Si.**
NIP. 196808271994022001
2. **Dr. Muhammad Said, M.T.**
NIP. 197407212001121001
3. **Dr. Addy Rachmat, M.Si.**
NIP. 197409282000121001

()
()
()

Mengetahui,

Dekan FMIPA

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 bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Puan Maha Fira
NIM : 08031182126024
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana starta (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, 19 Maret 2025



Penulis

Puan Maha Fira

08031182126024

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

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

Nama : Puan Maha Fira
NIM : 08031182126024
Fakultas/Jurusan : MIPA/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 yang berjudul: “*Green Synthesis CuFe₂O₄@MnO₂ dan Aplikasinya untuk Fotodegradasi Zat Warna Procion Red Menggunakan Response Surface Methodology (RSM)*”. 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.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguhnya.

Indralaya, 19 Maret 2025

Penulis



Puan Maha Fira

08031182126024

HALAMAN PERSEMBAHAN

Allah memang tidak menjanjikan hidupmu selalu mudah. Tetapi, dua kali Allah berjanji bahwa: *“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”*

[QS Al-Insyirah: 5-6]

“Apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirku dan apa yang ditakdirkan untukku tidak akan melewatkanmu.”

[Umar Bin Khattab]

“Sesungguhnya, pertolongan Allah itu begitu dekat. Kasih sayang-Nya kepada setiap hamba-Nya melampaui kasih sayang siapapun. Karena itulah, Allah tidak akan pernah meninggalkan hamba-Nya maupun membencinya. Tenang saja, berserahlah kepada-Nya, semua akan baik-baik saja selagi ada Allah di hatimu.”

[Al-Qur'an]

Skripsi ini sebagai salah satu rasa Syukur kepada Allah SWT dan Baginda *Rasūlullāh* Muhammad SAW serta dipersembahkan untuk:

1. Kedua orangtuaku dan adikku tercinta, Mama Suranti, Adik Putri Dwi Maharani dan Papa Fiat.
2. Kakek dan Nenekku yang sangat aku sayangi, Kakek Syarpan dan Nenek Sriyana.
3. Seluruh keluarga besar Bapak Syarpan dan Bapak Amris yang selalu memberikan dukungan dan doa.
4. Dosen pembimbing tugas akhirku yaitu Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si. dan dosen pembimbing akademik yaitu Bapak Dr. Muhammad Said, M.T.
5. Seluruh dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
6. Sahabat-sahabatku yang selalu mendoakan dan mendukungku.
7. Rekan-rekan seperjuangan di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya serta orang-orang baik yang sering menolong, mendukung dan mendoakan.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanyalah milik Allah SWT, karena berkat Rahmat, pertolongan dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul: “*Green Synthesis CuFe₂O₄@MnO₂ dan Aplikasinya untuk Fotodegradasi Zat Warna Procion Red Menggunakan Response Surface Methodology (RSM)*”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai tantangan yang harus penulis hadapi baik dalam proses penulisan maupun di luar persoalan skripsi. Namun dengan kesabaran serta rasa tanggung jawab serta bantuan dari berbagai pihak berupa material maupun moril, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si. dan Dr. Muhammad Said, M.T. yang telah banyak memberikan bantuan berupa bimbingan, motivasi, arahan, petunjuk dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dengan rasa syukur yang paling tulus aku ucapkan terima kasih kepada kedua orang tuaku dan adikku yang telah berkorban menemani setiap langkahku untuk berproses, memberikan dukungan, motivasi serta semangat. Tanpa doa dari Papa, Mama dan Adik, aku bukanlah siapa-siapa. Mama dan adik terima kasih sudah terus menemani dan berjuang bersama sampai Iya bisa ada di tahap ini.
2. Nenek dan Kakekku terima kasih untuk semuanya, dukungan, doa, motivasi serta semangat yang selalu diberikan untuk penulis.
3. Keluarga besar Bapak Syarpan terima kasih selalu mendukung dan memberikan semangat kepada penulis.
4. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Ibu Prof. Muharni, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.

6. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.
7. Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir. Terima kasih Ibu atas kebaikan, waktu, ilmu, dan *support* yang Ibu berikan selama ini.
8. Bapak Dr. Muhammad Said, M.T. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir sekaligus Dosen Pembimbing Akademik. Terima kasih bapak atas nasihat, *support*, ilmu, serta kebaikan yang Bapak berikan selama ini.
9. Ibu Dr. Widia Purwaningrum, M.Si. dan Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku dosen pembahas seminar hasil dan penguji sidang sarjana.
10. Kak Iin dan Mba Novi selaku Admin Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
11. Husnul Khotimah, sahabat serantauan yang selalu ada dikala suka maupun duka, terima kasih unul udah jadi rumah bagiku, selalu memberikan *support*, nasihat dan selalu mendengarkan segala cerita randomku. Terima kasih unul, semangat terus dan sukses selalu unul. Jaga kesehatan yaaa!
12. Salsabila Mardhiyyah, terima kasih telah menjadi kakak dan sahabat untuk penulis, yang selalu perhatian, menanyakan kabarku, memberikan nasihat dan selalu membantuku. Semoga Allah selalu melimpahkan hal-hal baik kepada kakak.
13. Hawati Husnul Hotimah, terima kasih kakak selalu mendukung dan memberikan semangat untukku. Sukses selalu kakak.
14. Kak Tiara, Anora, Amirah dan Cingka. Terima kasih telah menjadi sahabatku yang selalu membantuku dan sabar menghadapi kerandomanku. Sukses selalu untuk kalian.
15. Analis Geng (Aditya, Andini, Annisah, Bagus, Cingka, Devi, Dey dan Sodifa). Terima kasih telah mewarnai penelitian tugas akhirku di laboratorium, berbagi suka duka selama penelitian, pusing bersama dan ngeluh bersama. Sukses selaluu yaaa, semoga nanti bisa kumpul lagi dengan versi terbaik masing-masing.

16. Anak PA Pak Said (Aca, Adel, Azzahra, Cingka, Gilang, Mira, Sabil, Savirna) yang sudah membantu, mendukung dan memberikan informasi terkait perkuliahan.
17. Deksu NIM 024 dan 089 (Sukmah, Ridho, Alwi dan Yuanda) terima kasih sudah selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis. Semangat terus kuliahnya, sukses selalu.
18. Kak Icak dan Kak Nandy, duo maut yang takda tiganya. Terima kasih sudah selalu memberikan semangat dan dukungan untuk penulis. Semangat terus dan sukses selalu kakakkk.
19. Teman seperjuangan dari SMP, *Tribest* (Dhea dan Jasinta) terima kasih sudah selalu memberikan semangat dan dukungan serta menemani penulis hingga sampai ke tahap ini. Sukses selalu yaa buat kalian, semangattt.
20. Teman-Teman Angkatan 2021 yang menjadi salah satu zat warna dalam perkuliahan penulis.
21. Terima kasih untuk semua pihak yang terlibat dalam kehidupan penulis, selalu menolong, mendukung dan mendoakan.
22. Teruntuk diriku sendiri, terima kasih atas semua usaha, kesabaran dan kerja keras yang dilakukan hingga bisa berada di tahap ini. Terima kasih sudah selalu mencoba dan tidak menyerah, teruslah jadi pribadi yang lebih baik lagi dan bermanfaat bagi orang banyak.

Penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan dalam karya tulis ini serta jauh dari kata sempurna. Semoga karya ilmiah ini dapat bermanfaat dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Indralaya, 19 Maret 2025
Penulis

Puan Maha Fira
08031182126024

SUMMARY

GREEN SYNTHESIS OF $\text{CuFe}_2\text{O}_4@\text{MnO}_2$ AND ITS APPLICATION FOR PHOTODEGRADATION OF PROCION RED DYE USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)

Puan Maha Fira : Supervised by Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si and Dr. Muhammad Said, M. T
Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University
xvii + 80 pages, 20 figures, 11 tables, 12 attachments

Procion red is one of the synthetic dyes commonly used in the textile industry due to its relatively low cost and the durability of the color it produces. However, the procion red dye is toxic, mutagenic, and carcinogenic. If wastewater containing the dye is disposed of without treatment, it will cause pollution in the waters that is harmful to the environmental ecosystem and human health. Therefore, it is necessary to treat wastewater containing the dye procion red using the photodegradation method.

Green composite $\text{CuFe}_2\text{O}_4@\text{MnO}_2$ was investigated in this work using kersen leaf extract (*Muntingia Calabura L.*). The $\text{CuFe}_2\text{O}_4@\text{MnO}_2$ composite is used to degradation procion red dye. The characteristics of composite were evaluated by XRD, SEM-EDS, VSM and UV-Vis DRS. The optimization of procion red dye degradation was determined using Response Surface Methodology (RSM) based on an experiment with the Box-Behnken Design (BBD). The variables employed are the dye initial concentration, pH, and time. The efficiency of dye photodegradation is achieved through the interplay between the three variables.

The XRD characterization results showed the presence of the highest peak at an angle of $2\theta = 36.09^\circ$ with a crystal size of 66 nm. The SEM-EDS characterization results demonstrated that the surface morphology of $\text{CuFe}_2\text{O}_4@\text{MnO}_2$ is composed of nanoparticles that accumulate to form a spherical structure like a flower or corolla, the elemental composition includes Mn (54.14%), O (29.14%), Fe (10.94%) and Cu (5.79%). The uniform distribution of MnO_2 covering the CuFe_2O_4 surface was validated by the SEM mapping results. The results from the VSM analysis indicate that the composite has a saturation magnetization of 16,75 emu/g, which categorizes it as a soft magnet. The energy band gap of the $\text{CuFe}_2\text{O}_4@\text{MnO}_2$ composite is 1.37 eV, and the pH_{pzc} value of the composite is 7.4. The optimal condition for the reduction of procion red dye concentration based on design expert recommendations is at a concentration of 60 mg/L, pH 3, and a contact time of 75 minutes with a degradation efficiency of 96.05% following a quadratic model.

Kata kunci : $\text{CuFe}_2\text{O}_4@\text{MnO}_2$ composite, photodegradation, procion red, Response Surface Methodology (RSM)

Kutipan : 84 (2015-2025)

RINGKASAN

GREEN SYNTHESIS CuFe₂O₄@MnO₂ DAN APLIKASINYA UNTUK FOTODEGRADASI ZAT WARNA PROCION RED MENGGUNAKAN RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)

Puan Maha Fira : Dibimbing oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si dan Dr. Muhammad Said, M. T

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

xvii + 80 halaman, 20 gambar, 11 tabel, 12 lampiran.

Procion red adalah salah satu zat warna sintetis yang sering digunakan dalam industri tekstil karena harganya yang relatif murah dan warna yang dihasilkan tahan lama. Namun, zat warna procion red bersifat toksik, mutagenik dan karsinogenik. Apabila air limbah yang mengandung zat warna tersebut dibuang tanpa diolah terlebih dahulu, maka akan menimbulkan polusi di perairan yang berbahaya bagi ekosistem lingkungan dan kesehatan manusia. Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan air limbah yang mengandung zat warna procion red menggunakan metode fotodegradasi.

Pada penelitian ini dilakukan *green synthesis* komposit CuFe₂O₄@MnO₂ menggunakan ekstrak daun kersen (*Muntingia Calabura L.*). Komposit CuFe₂O₄@MnO₂ digunakan untuk mendegradasi zat warna procion red. Komposit hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD, SEM-EDS, VSM dan UV-Vis DRS. Optimasi degradasi zat warna procion red ditentukan menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) berdasarkan pengujian dengan *Box-Behnken Design* (BBD). Variabel yang digunakan yaitu konsentrasi awal zat warna, pH dan waktu kontak. Efisiensi fotodegradasi zat warna diperoleh melalui interaksi timbal balik antara ketiga variabel tersebut.

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan adanya puncak tertinggi pada sudut $2\theta = 36.09^\circ$ dengan ukuran kristal sebesar 66 nm. Hasil karakterisasi SEM-EDS menunjukkan morfologi permukaan CuFe₂O₄@MnO₂ tersusun dari partikel nano yang terakumulasi membentuk struktur bola seperti bunga atau *corolla*, unsur penyusunnya berupa Mn (54,14%), O (29,14%), Fe (10,94%) dan Cu (5,79%). Hasil SEM mapping mengkonfirmasi adanya penyebaran merata unsur MnO₂ melapisi permukaan CuFe₂O₄. Hasil VSM menunjukkan nilai magnetisasi saturasi komposit sebesar 16,75 emu/g dan tergolong magnet lunak. Nilai *band gap* energi komposit CuFe₂O₄@MnO₂ sebesar 1,37 eV dan nilai pH_{pzc} komposit sebesar 7,4. Kondisi optimal penurunan konsentrasi zat warna procion red berdasarkan rekomendasi *design expert* berada pada konsentrasi 60 mg/L, pH 3 dan waktu kontak selama 75 menit dengan efisiensi degradasi sebesar 96,05% mengikuti model kuadratik.

Kata kunci : Komposit CuFe₂O₄@MnO₂, fotodegradasi, procion red, *Response Surface Methodology* (RSM)

Kutipan : 84 (2015-2025)

DAFTAR ISI

	Halaman
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	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	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Zat Warna Azo Procion Red	5
2.2 Fotodegradasi	6
2.3 Mangan Dioksida (MnO ₂)	7
2.4 Copper Ferrite (CuFe ₂ O ₄)	8
2.5 <i>Green Synthesis</i>	9
2.6 Kersen (<i>Muntingia Calabura L.</i>)	10
2.7 <i>Respon Surface Methodology</i> (RSM)	12
2.8 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	13
2.9 <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SM-EDS).....	14
2.10 <i>UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-VIS DRS)	15

2.11	Vibrating Sample Magnetometer (VSM)	16
2.12	pH <i>Point of Zero Charge</i> (pHpzc)	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		19
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	19
3.3.1	Preparasi Ekstrak Daun Kersen	19
3.3.2	<i>Green Synthesis</i> CuFe ₂ O ₄	20
3.3.3	<i>Green Synthesis</i> Komposit CuFe ₂ O ₄ @MnO ₂	20
3.4.	Analisis Kualitatif Kandungan Daun Kersen	21
3.4.1	Uji Kandungan Senyawa Alkaloid	21
3.4.2	Uji Kandungan Senyawa Tannin	21
3.4.3	Uji Kandungan Senyawa Flavonoid	21
3.4.4	Uji Kandungan Senyawa Polifenol	21
3.4.5	Uji Kandungan Senyawa Saponin	21
3.4.6	Uji Kandungan Steroid dan Terpenoid	21
3.5	Karakterisasi Material	22
3.5.1	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	22
3.5.2	<i>Scanning Electron Microscopy-Energi Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDS)	22
3.5.3	<i>Vibrating Sample Magnometer</i> (VSM)	22
3.5.4	<i>UV-VIS Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-VIS DRS)	22
3.5.5	<i>pH Point of Zero Charge</i> (pHpzc)	22
3.6	Penentuan Kondisi Optimum Zat Warna Procion Red	23
3.6.1	Pembuatan Larutan Induk Procion Red 1000 ppm	23
3.6.2	Pembuatan Kurva Kalibrasi Zat Warna Procion Red	23
3.6.3	Eksperimen Fotodegradasi Zat Warna Procion Red	23
3.6.4	Analisis Data menggunakan <i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	24

3.7	Perbandingan Penurunan Konsentrasi Zat Warna Procion Red Pada Kondisi Optimum dengan Tiga Perlakuan	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		26
4.1	Hasil Analisis Kualitatif Ekstrak Daun Kersen	26
4.2	Hasil <i>Green Synthesis</i> CuFe ₂ O ₄	28
4.3	Hasil <i>Green Synthesis</i> CuFe ₂ O ₄ @MnO ₂	29
4.4	Hasil Karakterisasi Material CuFe ₂ O ₄ dan CuFe ₂ O ₄ @MnO ₂	30
4.4.1	Hasil Karakterisasi CuFe ₂ O ₄ dan CuFe ₂ O ₄ @MnO ₂ Menggunakan XRD.....	30
4.4.2	Hasil Karakterisasi CuFe ₂ O ₄ dan CuFe ₂ O ₄ @MnO ₂ Menggunakan SEM-EDX	32
4.4.3	Hasil Karakterisasi CuFe ₂ O ₄ dan CuFe ₂ O ₄ @MnO ₂ Menggunakan VSM	33
4.4.4	Hasil Karakterisasi CuFe ₂ O ₄ dan CuFe ₂ O ₄ @MnO ₂ Menggunakan <i>UV-VIS Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-VIS DRS)	34
4.4.5	Nilai pH _{pzc} Komposit CuFe ₂ O ₄ @MnO ₂	35
4.5	Hasil Analisis Menggunakan RSM.....	36
4.6	Hasil Perbandingan Penurunan Konsentrasi Zat Warna Procion Red Pada Kondisi Optimum dengan Tiga Perlakuan	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		46
5.1	Kesimpulan	46
5.2	Saran	46
DAFTAR PUSTAKA		47
LAMPIRAN.....		55

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Struktur dari procion red	5
Gambar 2 Mekanisme pembentukan nanopartikel (a) CoFe_2O_4 and (b) ZnS menggunakan ekstrak daun kelor (<i>Moringa Oleifera</i>).....	10
Gambar 3 Daun kersen (<i>Muntingia Calabura L.</i>).....	11
Gambar 4 Pola difraksi XRD nanomagnetik CuFe_2O_4	13
Gambar 5 Pola difraktogram XRD dari α -, β -, γ -, dan δ - MnO_2	14
Gambar 6 (a) SEM CuFe_2O_4 , (b) SEM $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{MnO}_2$	15
Gambar 7 Grafik Hasil Uji UV-VIS DRS pada variasi suhu hidrotermal 100°C, 140 °C dan 180 °C.....	16
Gambar 8 Kurva histeresis VSM CuFe_2O_4 , $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{GO}$ dan $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{GO}/\text{ZnO}$	17
Gambar 9 Kurva pH _{Hpzc} CuFe_2O_4 dan $\text{CuFe}_2\text{O}_4/\text{Am-rGO}$	18
Gambar 10 Hasil sintesis CuFe_2O_4	29
Gambar 11 Hasil sintesis komposit $\text{CuFe}_2\text{O}_4@\text{MnO}_2$	30
Gambar 12 Difraktogram XRD CuFe_2O_4 (a) dan $\text{CuFe}_2\text{O}_4@\text{MnO}_2$ (b).	30
Gambar 13 Hasil Karakterisasi SEM perbesaran 3000x (a) CuFe_2O_4 dan (b) $\text{CuFe}_2\text{O}_4@\text{MnO}_2$	32
Gambar 14 Hasil SEM Mapping Unsur dari $\text{CuFe}_2\text{O}_4@\text{MnO}_2$	33
Gambar 15 Kurva histeresis CuFe_2O_4 dan $\text{CuFe}_2\text{O}_4@\text{MnO}_2$	34
Gambar 16 Nilai energi <i>band gap</i> (a) CuFe_2O_4 dan (b) $\text{CuFe}_2\text{O}_4@\text{MnO}_2$	35
Gambar 17 Kurva pH _{Hpzc} komposit $\text{CuFe}_2\text{O}_4@\text{MnO}_2$	36
Gambar 18 Kurva fotodegradasi zat warna procion red (a) <i>predicted vs actual</i> , (b) <i>residual vs predicted</i> dan (c) <i>residual vs run</i>	39
Gambar 19 Respon permukaan interaksi antara (a) konsentrasi-pH, (b) konsentrasi-waktu, dan (c) pH-waktu terhadap efisiensi degradasi zat warna procion red	41
Gambar 20 Grafik Efisiensi Degradasi Procion Red pada Kondisi Optimum dalam 3 Perlakuan.	44

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Rentang Variabel Independen untuk Desain BBD	24
Tabel 2 Desain BBD dengan Variasi Konsentrasi, pH dan Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Degradasi Zat Warna Procion Red	25
Tabel 3 Hasil Analisis Kualitatif Daun Kersen.....	26
Tabel 4 Sudut 2θ CuFe_2O_4 dan $\text{CuFe}_2\text{O}_4@\text{MnO}_2$ Dibandingkan Dengan Data ICDD dan Ukuran Kristal Material	31
Tabel 5 Hasil Analisis EDX CuFe_2O_4 dan $\text{CuFe}_2\text{O}_4@\text{MnO}_2$	33
Tabel 6 Persen Degradasi Zat Warna Procion red <i>Actual</i> dan <i>Predicted</i> BBD.....	37
Tabel 7 Analisis ANOVA Terhadap Hasil Eksperimen.	38
Tabel 8 Kesesuaian Evaluasi Statistik Model Kuadratik.	40
Tabel 9 Target, Batas Atas dan Batas Bawah Variabel Untuk Optimasi.....	42
Tabel 10 Solusi Optimum Efisiensi Degradasi Zat Warna Procion red Rekomendasi <i>Design Expert</i>	43
Tabel 11 Konfirmasi Hasil Verifikasi Respon Optimum.....	43

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 <i>Green Synthesis</i> Komposit $\text{CuFe}_2\text{O}_4@ \text{MnO}_2$	56
Lampiran 2 Reaksi Pembentukan Nanomagnetik CuFe_2O_4 dan Pembentukan MnO_2	58
Lampiran 3 Hasil Karakterisasi Menggunakan XRD $\text{CuFe}_2\text{O}_4@ \text{MnO}_2$	60
Lampiran 4 Hasil Karakterisasi Menggunakan SEM-EDX CuFe_2O_4 dan $\text{CuFe}_2\text{O}_4@ \text{MnO}_2$	65
Lampiran 5 Hasil karakterisasi VSM CuFe_2O_4 dan $\text{CuFe}_2\text{O}_4@ \text{MnO}_2$	68
Lampiran 6 Hasil Karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS CuFe_2O_4 dan $\text{CuFe}_2\text{O}_4@ \text{MnO}_2$	69
Lampiran 7 Data dan Grafik pH <i>Point of Zero Charge</i> (pHpzc) Komposit $\text{CuFe}_2\text{O}_4@ \text{MnO}_2$	71
Lampiran 8 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Procion red.	72
Lampiran 9 Penentuan Kurva Kalibrasi Zat Warna Procion red	73
Lampiran 10 Penentuan Konsentrasi Terbaik Degradasi Procion red dengan Variasi Konsentrasi, pH dan Waktu Kontak Menggunakan <i>Software Box-Behnken Design</i> (BBD).....	74
Lampiran 11 Hasil Perbandingan Kondisi Optimum dengan Penyinaran Visibel + Tanpa Katalis, Tanpa Penyinaran Visibel + Katalis dan dengan Katalis + Penyinaran Visibel pada Konsentrasi 60 mg/L, pH 3 dan Waktu Kontak 75 menit	77
Lampiran 12 Dokumentasi Penelitian.....	79

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air memiliki peranan yang sangat penting bagi kehidupan makhluk hidup, namun kontribusi aktivitas manusia telah menurunkan pasokan air bersih melalui masuknya polutan ke badan air. Polutan ini dapat berasal dari penambangan sumber daya, tumpahan minyak, praktik pertanian dan limbah dari industri contohnya industri tekstil (Iwuozor *et al.*, 2021). Industri tekstil identik dengan penggunaan zat warna sintetis, dimana lebih dari 50% zat warna yang digunakan adalah zat warna azo (Hariani *et al.*, 2022^a). Zat warna azo merupakan senyawa aromatik yang memiliki satu atau lebih gugus azo (-N=N-) yang biasanya terhubung dengan dua cincin aromatik (Nicolai *et al.*, 2021). Senyawa azo memiliki toksisitas yang tinggi, sulit terbiodegradasi, bersifat mutagenik dan karsinogenik (Krishnamoorthy *et al.*, 2021; Mahdizadeh *et al.*, 2021). Salah satu zat warna yang sering digunakan dalam industri tekstil adalah procion red.

Zat warna procion red merupakan salah satu zat warna sintetis yang sering digunakan oleh industri tekstil karena harganya yang relatif murah, warnanya tahan lama dan mudah digunakan dibandingkan zat warna alami. Apabila air yang mengandung limbah zat warna dibuang ke lingkungan tanpa diolah terlebih dahulu, maka akan menimbulkan polusi di perairan yang berbahaya bagi ekosistem perairan dan kesehatan manusia (Teguh *et al.*, 2018). Pengolahan air limbah yang mengandung zat warna dapat dilakukan menggunakan berbagai metode seperti adsorpsi, koagulasi-flokulasi, *ion exchange*, oksidasi elektrokimia dan membran. Metode - metode ini memiliki keterbatasan, dimana zat warna hanya mengalami transformasi fisik tanpa perubahan struktur sehingga menghasilkan polutan sekunder yang harus diolah menggunakan metode lain (Riyanti *et al.*, 2023). Salah satu metode alternatif yang dapat digunakan karena prosesnya lebih cepat dan lebih efektif adalah fotodegradasi (Agustina *et al.*, 2022).

Metode fotodegradasi telah dikembangkan untuk pengolahan limbah zat warna dengan menggunakan material katalis dan radiasi cahaya. Proses katalisis menggunakan semikonduktor yang efisien dalam mendegradasi senyawa alami menjadi CO₂, air dan mineral. Salah satu semikonduktor yang telah dikembangkan

adalah MnO_2 (Agustina *et al.*, 2020). Penggunaan MnO_2 sebagai fotokatalis memiliki keterbatasan, yaitu katalis memiliki konduktivitas yang rendah, pasangan lubang elektron (e^-/h^+) yang difotogenerasi rentan mengalami rekombinasi, dan efisiensinya sebagai fotokatalis terbatas (Fan *et al.*, 2023). Selain itu, penggunaan MnO_2 dalam suspensi berair selama reaksi fotodegradasi menimbulkan masalah karena kesulitan memisahkan nanopartikel setelah proses fotodegradasi. Efisiensi fotokatalitik bahan semikonduktor dapat ditingkatkan melalui doping dengan logam atau non-logam seperti MFe_2O_4 , dimana M adalah Mn, Co, Zn, Mg, Ni, Cu atau logam lainnya (Rahmayeni *et al.*, 2017).

CuFe_2O_4 memiliki stabilitas kimia yang baik, sifat magnetik yang besar dan dapat dianggap sebagai semikonduktor karena memiliki celah pita yang rendah sekitar 1,54 – 1,95 eV sehingga meningkatkan responsif terhadap cahaya tampak. CuFe_2O_4 jarang digunakan sebagai fotokatalis independen karena memiliki efisiensi yang rendah serta sifat magnetiknya yang tinggi menyebabkan terjadinya aglomerasi yang menurunkan aktivitas katalitiknya. Aktivitas katalis dapat ditingkatkan melalui modifikasi dengan material semikonduktor yang lain seperti MnO_2 . Kombinasi CuFe_2O_4 dengan MnO_2 dapat menghasilkan fotokatalis yang responsif terhadap cahaya tampak dan aktif secara magnetis sehingga fotokatalis mudah dipisahkan dari suspensi berair menggunakan magnet eksternal yang mencegah polusi sekunder akibat pembuangan katalis (Rahmayeni *et al.*, 2015, 2023; Wang *et al.*, 2024).

Interaksi dipol magnetik antara partikel komposit yang berdekatan dapat menyebabkan terjadinya aglomerasi. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkombinasikan material magnetik dengan material non-magnetik seperti *triethylene glycol* (TEG) dan *polyvinylpyrrolidone* (PVP) yang berperan sebagai *stabilizer* dan *capping agent* untuk mengendalikan pertumbuhan partikel dan mencegah terjadinya aglomerasi. Metode ini memiliki beberapa kekurangan, termasuk penggunaan bahan kimia yang mahal dan beracun serta timbulnya produk samping yang berbahaya bagi lingkungan dan makhluk hidup (Larasati *et al.*, 2023; Puspitasari *et al.*, 2019). Banyak penelitian menunjukkan bahwa senyawa fitokimia seperti polisakarida, flavonoid, asam fenolik dan kuersetin dalam ekstrak tanaman mampu mereduksi ion logam dengan sangat baik. Senyawa ini juga berperan

sebagai *capping agent*, kelating dan stabilisasi selama proses pembentukan nanopartikel untuk mencegah terjadinya aglomerasi (Nguyen *et al.*, 2022). Salah satu ekstrak tanaman yang dapat digunakan dalam mensintesis komposit CuFe_2O_4 dan MnO_2 melalui metode *green synthesis* adalah ekstrak daun kersen (*Muntingia calabura L.*) yang memiliki kandungan metabolit sekunder seperti alkaloid, flavonoid, saponin, fenol dan tannin (Sari *et al.*, 2022).

Response Surface Methodology (RSM) adalah suatu metode yang dapat memperhitungkan pengaruh masing-masing variabel dan menentukan kondisi optimal reaksi. Selain itu, metode RSM mampu memprediksi interaksi antar variabel pH, waktu kontak dan konsentrasi terhadap persentase efisiensi degradasi zat warna. Hal ini akan menghemat waktu, biaya, energi dan bahan yang digunakan. Pendekatan dilakukan dalam variabel kondisi (pH, waktu kontak dan konsentrasi zat warna) sehingga diperoleh kondisi optimum dari ketiga variabel tersebut (Hai *et al.*, 2024).

Pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit $\text{CuFe}_2\text{O}_4@\text{MnO}_2$ menggunakan ekstrak daun kersen untuk fotodegradasi zat warna procion red dan optimasi dengan menggunakan metode RSM. $\text{CuFe}_2\text{O}_4@\text{MnO}_2$ yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengamati struktur kristalinitas komposit. Pengukuran panjang gelombang dan nilai *band gap* menggunakan UV-VIS DRS. Analisis struktur morfologi komposit dan komponen penyusunnya menggunakan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrometer* (SEM-EDS) dan analisis sifat magnetik menggunakan instrumen *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kandungan metabolit sekunder secara kualitatif dalam ekstrak daun kersen?
2. Bagaimana pengaruh ekstrak daun kersen dalam sintesis $\text{CuFe}_2\text{O}_4@\text{MnO}_2$ terhadap kristalinitas, morfologi permukaan, energi *band gap* dan sifat magnetik komposit?
3. Bagaimana hasil optimasi proses fotodegradasi procion red menggunakan metode RSM dengan variasi pH, waktu kontak dan konsentrasi awal zat warna terhadap kondisi optimum dan persentase degradasi zat warna

procion red?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan kandungan metabolit sekunder secara kualitatif dalam ekstrak daun kersen.
2. Menentukan pengaruh ekstrak daun kersen dalam sintesis $\text{CuFe}_2\text{O}_4@\text{MnO}_2$ terhadap kristalinitas, morfologi permukaan, energi *band gap* dan sifat magnetik komposit.
3. Menentukan kondisi optimal serta persentase degradasi zat warna procion red melalui metode RSM dengan variasi pH, waktu kontak dan konsentrasi awal zat warna procion red.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kinerja komposit $\text{CuFe}_2\text{O}_4@\text{MnO}_2$ hasil *green synthesis* dalam mendegradasi procion red untuk pengolahan polutan zat warna. Selain itu diharapkan dapat dikembangkan dan diteliti lebih lanjut pada pengaplikasiannya untuk proses pengolahan limbah cair.

DAFTAR PUSTAKA

- Aadnan, I., Zegaoui, O., Daou, I., & Esteves da Silva, J. C. G. (2020). Synthesis and Physicochemical Characterization of a ZnO-Chitosan Hybrid-Biocomposite Used as an Environmentally Friendly Photocatalyst Under UV-A and Visible Light Irradiations. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 2
- Abd-Rabboh, H. S. M., & Kamel, A. H. (2024). Aminated Reduced Graphene Oxide-CuFe₂O₄ Nanohybride Adsorbent For Efficient Removal Of Imidacloprid Pesticide. *RSC Advances*, 14(43), 31683–31693
- Agustina, T. E., Anakotta, A. R., Widhaningtyas, H., & Gayatri, R. (2022). The Effect of Weight Ratio of ZnO and Natural Zeolite on The Performance of ZnO-Natural Zeolite Nanocomposites for Synthetic Dyes Degradation. *Materials Today: Proceedings*, 63, S66–S72
- Agustina, T. E., Melwita, E., Bahrin, D., Gayatri, R., & Purwaningtyas, I. F. (2020). Synthesis of Nano-Photocatalyst ZnO-Natural Zeolite to Degrade Procion Red. *International Journal of Technology*, 11(3), 472–481
- Ahmed, S., Gogina, E., & Makisha, N. (2024). Photodegradation of Phenol Using UVC-Activated Persulfate and Chelated-Fe(III) Combined System: RSM Modeling, Mechanism, Effect of Coexisting Ions, and Effect of Heavy Species. *Journal of Water Process Engineering*, 60(December 2023), 105104
- Ali, K., Bahadur, A., Jabbar, A., Iqbal, S., Ahmad, I., & Bashir, M. I. (2017). Synthesis, Structural, Dielectric And Magnetic Properties Of CuFe₂O₄/MnO₂ Nanocomposites. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 434(October 2016), 30–36
- Aliannezhadi, M., Mirsanaee, S. Z., & Jamali, Mohaddeseh Tehrani, F. S. (2024). The Physical Properties and Photocatalytic Activities of Green Synthesized ZnO Nanostructures Using Different Ginger Extract Concentrations. *Scientific Reports*, 14(1), 1–13
- Azharini, R., Widayasanti, A., & Nurhasanah, S. (2022). Optimasi Proses Ekstraksi Bunga Telang (*Clitoria Ternatea*) Berbantu Gelombang Mikro Menggunakan Aplikasi Response Surface Methodology. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pertanian Indonesia*, 14(01), 88–96
- Baunsele, A. B., & Missa, H. (2020). Kajian Kinetika Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Adsorben Sabut Kelapa. *Akta Kimia Indonesia*, 5(2), 76
- Belousov, A. S., Suleimanov, E. V., Parkhacheva, A. A., Fukina, D. G., Koryagin, A. V., Koroleva, A. V., Zhizhin, E. V., & Gorshkov, A. P. (2022). Regulating of MnO₂ Photocatalytic Activity In Degradation of Organic Dyes By Polymorphic Engineering. *Solid State Sciences*, 132(July)
- Cahyana, A. H., Liandi, A. R., Yulizar, Y., Romdoni, Y., & Wendari, T. P. (2021). Green Synthesis of CuFe₂O₄ Nanoparticles Mediated By *Morus Alba L.* Leaf

Extract: Crystal Structure, Grain Morphology, Particle Size, Magnetic And Catalytic Properties In Mannich Reaction. *Ceramics International*, 47(15), 21373–21380

- Chaker, H., Ameer, N., Saidi-Bendahou, K., Djennas, M., & Fourmentin, S. (2021). Modeling and Box-Behnken Design Optimization of Photocatalytic Parameters For Efficient Removal of Dye By Lanthanum-Doped Mesoporous TiO₂. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1)
- Chiam, S. L., Pung, S. Y., & Yeoh, F. Y. (2020). Recent Developments in MnO₂-Based Photocatalysts For Organic Dye Removal: A Review. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(6), 5759–5778.
- Choudhary, O. P., & ka, P. (2017). Scanning Electron Microscope: Advantages and Disadvantages in Imaging Components. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), 1877–1882.
- Crovella, T., & Paiano, A. (2023). Assessing the Sustainability of Photodegradation and Photocatalysis for Wastewater Reuse in an Agricultural Resilience Context. *Water (Switzerland)*, 15(15), 2
- Dihom, H. R., Al-Shaibani, M. M., Radin Mohamed, R. M. S., Al-Gheethi, A. A., Sharma, A., & Khamidun, M. H. Bin. (2022). Photocatalytic Degradation of Disperse Azo Dyes in Textile Wastewater Using Green Zinc Oxide Nanoparticles Synthesized in Plant Extract: A Critical Review. *Journal of Water Process Engineering*, 47, 5
- Elviera, Yulizar, Y., Apriandanu, D. O. B., & Marcony Surya, R. (2022). Fabrication of Novel SnWO₄/ZnO Using Muntingia calabura L. Leaf Extract with Enhanced Photocatalytic Methylene Blue Degradation Under Visible Light Irradiation. *Ceramics International*, 48(3), 3564–3577
- Fan, K., Chen, Q., Zhao, J., & Liu, Y. (2023). Preparation of MnO₂-Carbon Materials and Their Applications in Photocatalytic Water Treatment. *Nanomaterials*, 13(3)
- Fitriani, F., Dzulhijjah, W. A., Fitriani, F., Aprilia, S., Arahman, N., Bilad, M. R., Rahmah, K., Akbar, E. H., & Raqib, M. (2024). Formulation Optimization Of Bionanocomposite Film Based On Polyvinyl Alcohol/Glycerol/Cellulose Nanocrystal From Pineapple Crown Leave Fibers Using Response Surface Methodology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1290(1)
- Gadore, V., Singh, A. K., Mishra, S. R., & Ahmaruzzaman, M. (2024). RSM Approach For Process Optimization Of The Photodegradation Of Congo Red By A Novel NiCo₂S₄/Chitosan Photocatalys. *Scientific Reports*, 14(1), 1–20
- Gao, Y., Cao, W., Wang, K., Shi, H., Wang, S., Meng, Q., Du, K., Wang, C., & Lin, J. (2024). Performance and Mechanism of Magnetic Fe₃O₄@MnO₂ Catalyst for Rapid Degradation of Methylene Blue By Activation Of Peroxymonosulfate. *Journal of Alloys and Compounds*, 987(December 2023),

174144

- Gendo, K. M., Bogale, R. F., & Kenasa, G. (2024). Green Synthesis, Characterization, and Evaluation of Photocatalytic and Antibacterial Activities of $\text{Co}_3\text{O}_4 - \text{ZnO}$ Nanocomposites Using *Calpurnia aurea* Leaf Extract. *ACS Omega*, 9(26).
- Gharbani, P., Mehrizad, A., & Mosavi, S. A. (2022). Optimization, Kinetics and Thermodynamics Studies for Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Using Cadmium Selenide Nanoparticles. *Npj Clean Water*, 5(1)
- Goli, M., Moradi, M., & Bidgoli, R. D. (2025). Green Synthesis of CuFe_2O_4 Nanoparticles Using Natural Extracts: Structural, Optical and Magnetic Studies. *Journal of Electronic Materials*, S(2), 1–11.
- Gupta, N. K., Ghaffari, Y., Kim, S., Bae, J., Kim, K. S., & Saifuddin, M. (2020). Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants over MFe_2O_4 (M = Co, Ni, Cu, Zn) Nanoparticles at Neutral pH. *Scientific Reports*, 10(1), 1–11
- Hai, T., Chaturvedi, R., Mostafa, L., Kh, T. I., Soliman, N. F., & El-Shafai, W. (2024). Designing $\text{G-C}_3\text{N}_4/\text{ZnCo}_2\text{O}_4$ Nanocoposite as a Promising Photocatalyst for Photodegradation of MB Under Visible-Light Excitation: Response Surface Methodology (RSM) Optimization and Modelin. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 185(111747), 1–12
- Handayani, S., & Adhani, A. (2022). Identification of Terpenoid Compounds in the Euphorbiaceae Plant Family Through Qualitative Tests and Potential Applications in Biology Learning. *Biopedagogia*, 4(2), 49–57.
- Hariani, P. L., Faizal, M., Ridwan, Marsi, & Setiabudidaya, D. (2018). Removal of Procion Red MX-5B From Songket's Industrial Wastewater in South Sumatra Indonesia Using Activated Carbon- Fe_3O_4 Composite. *Sustainable Environment Research*, 28(4), 158–164
- Hariani, P. L., Said, M., Salni, Aprianti, N., & Naibaho, Y. A. L. R. (2022)^a. High Efficient Photocatalytic Degradation of Methyl Orange Dye in an Aqueous Solution by $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$ Magnetic Catalyst. *Journal of Ecological Engineering*, 23(1), 118–128
- Hariani, P. L., Said, M., Rachmat, A., Salni, S., Aprianti, N., & Amatullah, A. F. (2022)^b. Synthesis of $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{NiO}$ Magnetic and Application for the Photocatalytic Degradation of Methyl Orange Dye under UV Irradiation. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, 17(4), 699–711
- Hariani, P. L., Salni, S., Said, M., & Farahdiba, R. (2023). Core-shell $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ Magnetic Modified Ag for the Photocatalytic Degradation of Congo Red Dye and Antibacterial Activity. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, 18(2), 315–330
- Hariani, P. L., Salni, Yusmartini, E. S., Aprianti, N., & Ahadito, B. R. (2024). Green Synthesis of CdFe_2O_4 by *Terminalia catappa* Leave Extract for

- Photodegradation Methyl Red Dye by Response Surface Methodology. *Chimica Techno Acta*, 11(4), 1–10
- Haryati, T., Andarini, N., & Mardhiyah, S. (2016). Pengaruh Suhu Sol-Gel dan Pelarut Polyetilen Glycol (PEG) pada Aktivitas Fotokatalis ZnO-TiO₂ sebagai Pendegradasi Limbah Cair Pewarna Tekstil. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 10(2), 149
- Hu, G., Yang, J., Duan, X., Farnood, R., Yang, C., Yang, J., Liu, W., & Liu, Q. (2021). Recent Developments and Challenges In Zeolite-Based Composite Photocatalysts For Environmental Applications. *Chemical Engineering Journal*, 417(February), 129209
- Hussain, S., Rafiq, S., Yousaf, M. I., Nosheen, S., Binjawhar, D. N., & Abdel-Daim, M. M. (2024). T Tuning Optical, Magnetic, And Electrical Parameters of CuFe₂O₄ Nanoparticles Incorporated With GO And ZnO Using A Facile Synthesis. *Heliyon*, 10(13), e33709
- Iwuozor, K. O., Ighalo, J. O., Emenike, E. C., Ogunfowora, L. A., & Igwegbe, C. A. (2021). Adsorption of Methyl Orange: A review On Adsorbent Performance. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4(September), 100179
- Jabbar, Z. H., Graimed, B. H., Okab, A. A., Issa, M. A., Ammar, S. H., Khadim, H. J., & Shafiq, Y. A. (2023). A Review Study Summarizes The Main Characterization Techniques of Nano-Composite Photocatalysts and Their Applications In Photodegradation of Organic Pollutants. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 19(2022), 4
- Jabeen, S., Siddiqui, V. U., Sharma, S., Rai, S., Bansal, P., Bala, S., Raza, A., Ahmad, M. I., Khan, A. R., & Khan, T. (2024). A Novel Green Synthesis of CuFe₂O₄ Nanoparticles From Cissus Rotundifolia For Photocatalytic And Antimicrobial Activity Evaluation. *Journal of Alloys and Compounds*, 984(January), 174020
- Kasirajan, R., Bekele, A., & Girma, E. (2022). Adsorption of Lead (Pb-II) Using CaO-NPs Synthesized by Solgel Process from Hen Eggshell. *South African Journal of Chemical Engineering*, 40, 209–229
- Khafid, A., Wiraputra, M. D., Putra, A. C., & Khoirunnisa, N. (2023). Uji Kualitatif Metabolit Sekunder pada Beberapa Tanaman yang Berkhasiat sebagai Obat Tradisional. *Buletin Anatomi Dan Fisiologi*, 8(1), 61–70.
- Khanifah, F., Puspitasari, E., & Awaludin. (2021). Uji Kualitatif Flavonoid, Alkaloid, Tanin pada Kombinasi Kunyit (Curcuma Longa) dan Coklat (Theobroma cacao L). *Jurnal Sains Dan Terapan Kimia*, 15(1), 1
- Kirupakar, B. R., Vishwanath, B. A., Sree, M. P., & Deenadayalan. (2016). Vibrating Sample Magnetometer and Its Application In Characterisation Of Magnetic Property Of The Anti Cancer Drug Magnetic Microspheres. *International Journal of Pharmaceutics & Drug Analysis*, 4(5), 227–233.

- Kiswanto, Wintah, & Maulana, J. (2019). Penurunan Warna, TSS, COD, dan Cr Pada Limbah Batik Tulis Secara Elektrolisis dan Biosand di Desa Kalipucang Wetan Kabupaten Batang. *RISTEK: Jurnal Riset, Inovasi Dan Teknologi Kabupaten Batang*, 4(1), 7–17
- Krishnamoorthy, R., Choudhury, A. R., Jose, P. A., Suganya, K., Senthilkumar, M., Prabhakaran, J., Gopal, N. O., Choi, J., Kim, K., Anandham, R., & Sa, T. (2021). Long-Term Exposure to Azo Dyes from Textile Wastewater Causes the Abundance of Saccharibacteria Population. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(1), 1–8.
- Kumari, H., Sonia, Suman, Ranga, R., Chahal, S., Devi, S., Sharma, S., Kumar, S., Kumar, P., Kumar, S., Kumar, A., & Parmar, R. (2023). A Review on Photocatalysis Used For Wastewater Treatment: Dye Degradation. In *Water, Air, and Soil Pollution* (Vol. 234, Issue 6). Springer International Publishing
- Larasati, D. A., Puspitarum, D. L., Darmawan, M. Y., Istiqomah, N. I., Partini, J., Aliah, H., & Suharyadi, E. (2023). Green synthesis of CoFe₂O₄/ZnS Composite Nanoparticles Utilizing *Moringa Oleifera* for Magnetic Hyperthermia Applications. *Results in Materials*, 19, 1–11
- Lickmichand, M., Shaji, C. S., Valarmathi, N., Benjamin, A. S., Arun Kumar, R. K., Nayak, S., Saraswathy, R., Sumathi, S., & Arunai Nambi Raj, N. (2019). In Vitro Biocompatibility and Hyperthermia Studies on Synthesized Cobalt Ferrite Nanoparticles Encapsulated With Polyethylene Glycol for Biomedical Applications. *Materials Today: Proceedings*, 15, 252–261
- Ma, M., Yang, Y., Chen, Y., Wu, F., Li, W., Lyu, P., & Ma, Y. (2019). Magnetically Separable Microspheres with Valence. *Catalysts*, 9(589), 1–13.
- Manokari, M., & Shekhawat, M. S. (2019). Zinc Oxide Nanoparticles Synthesis by Use of Aqueous Extracts of *Muntingia calabura L.* *World News of Natural Sciences*, 22, 31–40.
- Mishra, K., Poudel, T. N., Basavegowda, N., & Lee, Y. R. (2016). Enhanced Catalytic Performance of Magnetic Fe₃O₄-MnO₂ Nanocomposites for The Decolorization of Rhodamine B, Reduction of 4-Nitroaniline, and sp³ C-H Functionalization of 2-Methylpyridines to Isatins. *Journal of Catalysis*, 344, 273–285
- Nam, S. N., Cho, H., Han, J., Her, N., & Yoon, J. (2018). Photocatalytic degradation of acesulfame K: Optimization using the Box-Behnken design (BBD). *Process Safety and Environmental Protection*, 113(December 2017), 10–21.
- Nawir, I. A., Anna, C., Afifah, N., Sulandjari, S., & Handajani, S. (2021). Pemanfaatan Daun Kersen (*Muntingia calabura L.*) menjadi Teh Herbal. *Jurnal Tata Boga*, 10(1), 1–11
- Nguyen, N. T. T., Nguyen, L. M., Nguyen, T. T. T., Nguyen, T. T., Nguyen, D. T. C., & Tran, T. Van. (2022). Formation, Antimicrobial Activity, and Biomedical Performance of Plant-Based Nanoparticles: A Review. In

Environmental Chemistry Letters, 20(4). Springer International Publishing.

- Nicolai, S., Tralau, T., Luch, A., & Pirow, R. (2021). A Scientific Review of Colorful Textiles. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 16(1), 5–17.
- Oliveira, T. P., Rodrigues, S. F., Marques, G. N., Cristina, R., Costa, V., Gabriela, C., Lopes, G., Aranas, C., Rojas, A., Gomes, H., & Oliveira, M. M. (2022). CuFe₂O₄ for the Degradation of Dyes under Visible Light. *Catalysts*, 12(6), 1–18.
- Pamungkas, J. D., Anam, K., & Kusriani, D. (2016). Penentuan Total Kadar Fenol dari Daun Kersen Segar, Kering dan. *Journal of Scientific and Applied Chemistry*, 19(1), 15–20.
- Purnamasari, F. (2021). Identifikasi Senyawa Aktif dari Ekstrak Daun Sirsak (*Annona muricata L.*) dengan Perbandingan Beberapa Pelarut pada Metode Maserasi. *Window of Health : Jurnal Kesehatan*, 04(03), 231–237.
- Purwaningrum, W., Riyanti, F., Julinar, J., Hariani, P. L., Ahadito, B. R., Chodijah, S., & Safira, V. P. (2024). Synthesis and Characterization of Nanoparticle Composite CaO/Fe₃O₄ from Duck Egg Shells and Its Application for Congo Red and Procion Red MX-5b Dyes Adsorption. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 9(2), 103–110
- Puspitasari, L., Arief, S., & Zulhadjri. (2019). Ekstrak Daun Andalas sebagai Capping Agent dalam Green Hydrothermal. *Chimica et Natura Acta*, 7(1), 20–26.
- Que, V. N. X., Khoi, T. T., Thuy, N. T., Dung, T. T. M., Binh, D. T. T., & Huy, N. N. (2021). Factors Determining the Removal Efficiency of Procion MX in Waters Using Titanate Nanotubes Catalyzed by UV Irradiation. *Journal of Nanotechnology*, 2021, 1–10
- Rahmayeni, Arief, S., Jamarun, N., Emriadi, & Stiadi, Y. (2017). Magnetically Separable ZnO-MnFe₂O₄ Nanocomposites Synthesized in Organic-free Media for Dye Degradation Under Natural Sunlight. *Oriental Journal of Chemistry*, 33(6), 2758–2765
- Rahmayeni, Arisanti, D., Stiadi, Y., Novesar, J., & Arief, S. (2015). Preparation, Characterization Of ZnO/CoFe₂O₄ Magnetic Nanocomposites And Activity Evaluation Under Solar Light Irradiation. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(9S), 139–146.
- Rahmayeni, Azizah, N., Stiadi, Y., Putri, Y. E., & Zulhadjri. (2022). Magnetic Particles Nanorod of ZnO/CuFe₂O₄ Prepared by Green Synthesized Approach: Structural, Optical and Magnetic Properties, and Photocatalytic Activity. *Materials Research*, 25
- Rahmayeni, Wendari, T. P., Atmoko, H. M., Stiadi, Y., Putri, Y. E., & Zulhadjri. (2023). Fe₂O₄/Activated Carbon Nanocomposite For Efficient Photocatalytic

Degradation Of Dye: Green Synthesis Approaches Using The Waste Of Oil Palm Empty Bunches And Bio-Capping Agent. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 7(December 2022), 100305

- Ramadhan, H., Rezky, D. P. and Susiani, E. F. (2021). Penetapan Kandungan Total Fenolik-Flavonoid pada Fraksi Etil Asetat Kulit Batang Kasturi (*Mangifera casturi Kosterman*). *Jurnal Farmasi Dan Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 8(1), 16–21.
- Riyanti, F., Nurhidayah, Purwaningrum, W., Yuliasari, N., & Hariani, P. L. (2023). MgFe₂O₄ Magnetic Catalyst for Photocatalytic Degradation of Congo Red Dye in Aqueous Solution Under Visible Light Irradiation. *Environment and Natural Resources Journal*, 21(4), 322–332
- Safitri, B., Hariani, P. L., & Kusumawati, H. Y. (2024). Green Synthesis Nanomagnetic MnFe₂O₄ Using Breadfruit Leaf Extract (*Artocarpus altilis*) and Anti-Bacterial Activity Test Against *E. coli* And *S. aureus*. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 9(01), 1–12.
- Salam, A., Agustina, T. E., & Mohadi, R. (2018). Photocatalytic Degradation of Procion Red Synthetic Dye Using ZnO-Zeolite Composites. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 7(8), 54–59.
- Sari, S. A., Ernita, M., Mara, M. N., & and Rudi, M. (2022). Identification of Active Compounds on *Muntingia calabura L.* Leaves using Different Polarity Solvents. *Indonesian Journal of Chemical Science and Techonology*, 05(1), 31–41.
- Selima, S. S., Khairy, M., & Mousa, M. A. (2019). Comparative Studies On The Impact of Synthesis Methods On Structural, Optical, Magnetic and Catalytic Properties of CuFe₂O₄. *Ceramics International*, 45(5), 6535–6540
- Selvanathan, V., Aminuzzaman, M., Tey, L. H., Razali, S. A., Althubeiti, K., Alkhamash, H. I., Guha, S. K., Ogawa, S., Watanabe, A., Shahiduzzaman, M., & Akhtaruzzaman, M. (2021). Muntingia Calabura Leaves Mediated Green Synthesis of CuO Nanorods: Exploiting Phytochemicals for Unique Morphology. *Materials*, 14(21), 1–12
- 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
- Siregar, A. A. (2023). Optimasi Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru Menggunakan Metode RSM (Response Surface Methodology) dengan Adsorben Komposit CaO (Cangkang Telur Puyuh)/PEG/Fe₃O₄. [Undergraduate Thesis]. Universitas Sriwijaya
- Song, D., Zheng, Z., Wang, Z., Zhao, M., Ding, L., Zhang, Q., & Deng, F. (2024). Catalytic PMS Oxidation Universality of CuFe₂O₄/MnO₂ Heterojunctions At Multiple Application Scenarios. *Environmental Research*, 243(December 2023)

- Souza, I. P. A. F., Crespo, L. H. S., Spessato, L., Melo, S. A. R., Martins, A. F., Cazetta, A. L., & Almeida, V. C. (2021). Optimization Of Thermal Conditions Of Sol-Gel Method For Synthesis Of TiO_2 Using RSM and its Influence On Photodegradation Of Tartrazine Yellow Dye. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(2)
- Taher, T., & Lesbani, A. (2016). Adsorption of Procion Red on Natural Bentonite: Kinetic Studies. *Sriwijaya Journal of Environment*, 1(1), 1–4
- Tang, X., Huang, J., Liu, K., Feng, Q., Li, Z., & Ao, M. (2018). Synthesis Of Magnetically Separable $\text{MnO}_2/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Silica}$ Nanofiber Composite With Enhanced Fenton-Like Catalytic Activity For Degradation Of Acid Red 73. *Surface and Coatings Technology*, 354(July), 18–27
- Teguh, D., Emilia Agustina, T., & Faizal, M. (2018). Color And COD Degradation of Procion Red Synthetic Dye by Using Fenton- TiO_2 Method. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 3(1), 23–28
- Tetteh, E. K., Ezugbe, E. O., Asante-Sackey, D., Armah, E. K., & Rathilal, S. (2021). Response Surface Methodology: Photocatalytic Degradation Kinetics of Basic Blue 41 Dye Using Activated Carbon with TiO_2 . *Molecules*, 26(4), 1–13
- Thakur, P., Thakur, P., Kishore, K., Singh, M., Sharma, S., Sharma, P., Sharma, P., & Lal, M. (2023). Structural, Morphological, and Magnetic Properties of CoFe_2O_4 Nano-ferrites Synthesized Via Co-precipitation Route. *Materials Today: Proceedings*, 1–6
- Vinchurkar, K., Sainy, J., & Khan, M. A. (2023). Development and Optimization of Floating Alginate Microspheres of Repaglinide using Box-Behnken Experimental Design. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Nanotechnology*, 16(1), 6281–6293
- Wang, X., Zhang, Y., Jia, D., Wei, J., Hou, D., Tian, J., & Jiang, T. (2024). Highly-Porous $\text{CuFe}_2\text{O}_4@Zn\text{Fe}_2\text{O}_4$ Yolk-Shell Heterostructure For Photocatalytic Reduction Of Nitrobenzene. *Journal of Alloys and Compounds*, 994(April)
- Zelekew, O. A., Fufa, P. A., Sabir, F. K., & Duma, A. D. (2021). Water Hyacinth Plant Extract Mediated Green Synthesis of $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$ Composite Photocatalyst for The Degradation of Organic Dye. *Heliyon*, 7, 1–8
- Zhang, C., Han, P., Lu, X., Mao, Q., Qu, J., & Li, Y. (2018). Preparation And Photocatalytic Activity Characterization of Activated Carbon Fiber- BiVO_4 Composites. *RSC Advances*, 8(43), 24665–24672