

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ SEBAGAI
FOTODEGRADASI ANTIBIOTIK TETRASIKLIN DAN
ZAT WARNA *CONGO RED***

TESIS

**Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Magister
Sains Bidang Studi Kimia**



Oleh :

Gierrald Abduch

08092682327002

**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

HALAMAN PENGESAHAN

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ SEBAGAI
FOTODEGRADASI ANTIBIOTIK TETRASIKLIN DAN ZAT WARNA CONGO RED**

TESIS

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Magister Kimia

Oleh :

GIERRALD ABDUCH

(08092682327002)

Palembang, 6 Juni 2025

Pembimbing I



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

Pembimbing II



Dr. Muhammad Said, M.T.
NIP. 197407212001121001

Mengetahui,
Koordinator program studi,



Dr. Ferlinahayati, M.Si
NIP. 197402052000032001

HALAMAN PERSETUJUAN

Tesis dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi Komposit $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ Sebagai Fotodegradasi Antibiotik Tetrasiklin dan Zat warna *Congo Red*” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Tesis Program Studi Magister Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya Pada tanggal 6 Juni 2025 dan telah diperiksa, diperbaiki dan disetujui dengan saran dan masukan yang diberikan.

Palembang, 6 Juni 2025

Pembimbing:

1. Prof. Dra. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si

NIP. 196808271994022001

()

2. Dr. Muhammad Said, M.T.

NIP. 197407212001121001

()

Penguji:

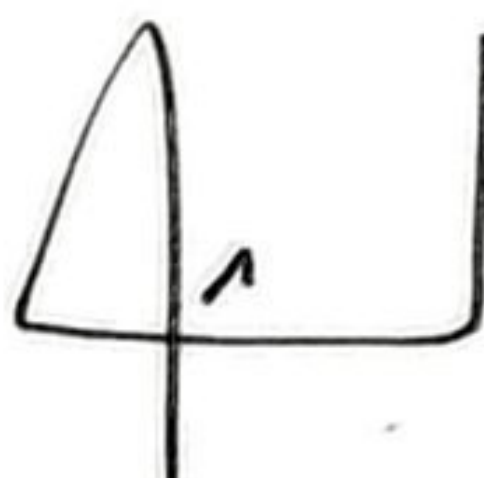
1. Dr. Nova Yuliasari, S.Si., M.Si.

NIP. 197307261999032001

()

2. Dr. Desnelli, M.Si.

NIP. 196912251997022001

()

Mengetahui,

Dekan FMIPA

Koordinator Program Studi



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

NIP. 197111191997021001



Dr. Ferlinahayati, M.Si

NIP. 197402052000032001

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

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

Nama : Gierrald Abduch

NIM : 08092682327002

Prodi/BKU : Magister (S2) Kimia / Kimia Lingkungan

Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya hak bebas royalti non-eksklusif (nonexclusively royalty- free right) atas karya ilmiah saya yang berjudul ""Sintesis dan Karakterisasi Komposit $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ Sebagai Fotodegradasi Antibiotik Tetrasiklin dan Zat warna Congo Red" dengan hak bebas royalti non-eksklusive ini Universitas sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Palembang, 06 Juni 2025

Yang menyatakan,



Gierrald Abduch

NIM.08092682327002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Gierrald Abduch

NIM : 08092682327002

Prodi/BKU : Magister (S2) Kimia / Kimia Lingkungan

Menyatakan bahwa tesis yang berjudul " Sintesis dan Karakterisasi Komposit $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ Sebagai Fotodegradasi Antibiotik Tetrasiklin dan Zat warna Congo Red" ini adalah benar karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar magister (S2) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain.

Semua informasi yang dimuat dalam tesis ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan maupun tidak, telah diberikan penghargaan dengan mengutip sumber penulis secara benar. Semua isi dari tesis ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Palembang, 06 Juni 2025

Yang menyatakan,



Gierrald Abduch

NIM.08092682327002

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tesis ini sebagai tanda syukurku kepada Allah Subhanahu Wa Ta'aala, Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat, karunia, dan kasih sayang-Nya yang tak terhingga.

Tesis ini saya persembahkan kepada:

- Ayahku, Darmadi yang telah mendoakan, mendidik, serta memberikan semangat untuk terus belajar.
- Ibuku, L. Rury Purwenty yang telah mendoakan, memberikan nasihat dan menjadi motivasi ku untuk terus belajar.
- Adikku, Rayyan Abdul Najip yang menjadi semangat untuk terus hidup.
- Dosen pembimbing dan seluruh pendidik, yang telah berbagi ilmu, bimbingan, serta wawasan yang begitu berharga.
- Almamaterku (Universitas Sriwijaya)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT atas segala Nikmat, Rahmat, dan Karunia yang telah dilimpahkan kepada penulis sehingga penulis akhirnya dapat menyelesaikan penulisan tesis yang berjudul “Sintesis dan Karakterisasi Komposit $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ Sebagai Fotodegradasi Antibiotik Tetrasiklin dan Zat warna Congo Red”. Shalawat serta Salam semoga selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat, serta para saudara umat Islam di manapun berada. Tesis ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Master Sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya. Proses penyusunan tesis dan penelitian tidak terlepas dari berbagai hambatan dan rintangan yang penulis hadapi. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa semua ini dapat terwujud karena bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayahku **Darmadi**, Ibuku **L.Rury Purwanty** dan Adikku **Rayyan Abdul Najip**, Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih yang tiada terhingga kupersembahkan karya kecil ini kepada Ibu dan Ayah yang telah memberikan kasih sayang, segala dukungan, dan cinta kasih yang tiada terhingga yang tiada mungkin dapat kubalas hanya dengan selembar kertas yang bertuliskan kata cinta dalam kata persembahan. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan keberkahan, kesehatan, dan kebahagiaan kepada Ayah dan Ibu, serta membalas segala kebaikan kalian dengan pahala yang berlipat ganda.
2. Ibu **Prof. Dra. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si.** selaku dosen pembimbing I, saya sampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala bimbingan, arahan, kesabaran, dan ilmu yang telah diberikan selama proses penelitian penyusunan tesis ini. Terima kasih atas waktu yang diluangkan, motivasi, serta rasa kekeluargaan yang telah membantu saya menyelesaikan penelitian dan tesis ini. Saya juga mohon maaf apabila terdapat kekeliruan atau kekurangan dalam proses membimbing saya. Semoga segala yang telah Ibu berikan menjadi amal jariyah dan mendapatkan balasan terbaik dari Allah SWT.
3. Bapak **Dr. Muhammad Said, M.T.** selaku dosen pembimbing II atas segala bimbingan, kesabaran dan waktu yang diluangkan kepada penulis selama

menjalankan penelitian dan penyusunan skripsi hingga selesai. Setiap masukan, bimbingan serta kemudahan yang bapak berikan yang diberikan sangat berarti bagi saya. Saya mohon maaf jika ada kekeliruan atau kekurangan dalam penelitian ini.

4. Ibu **Dr. Nova Yuliasari, S.Si., M.Si.** dan Ibu **Dr. Desnelli, M.Si.** Selaku dosen pembahas atau penguji, terima kasih atas masukan dan saran terkait penelitian dan dalam penyelesaian tesis. Terimakasih atas kemudahan yang diberikan.
5. Seluruh **Dosen Jurusan Magister Kimia FMIPA**, Universitas Sriwijaya yang telah membimbing dan memberikan ilmu kepada penulis selama masa perkuliahan, terima kasih atas setiap pelajaran kehidupan yang diberikan.
6. Orang selalu mendukung, mendoakan dan membantu segala proses hingga tesis ini dapat diselesaikan tepat waktu. **Ester D.R.H** Terima kasih segala bantuannya, tempat untuk berdiskusi, bercerita, dan mengeluh. Tesis ini dipersembahkan juga untuk manusia yang saya cintai, manusia yang siap sedia memberikan waktu untuk meluapkan kesedihan dan kebahagiaan. Terimakasih telah mengenalkan banyak hal kepadaku dan menegur ketika aku salah dan malas. Semoga kesuksesan dan keberkahan mendampingi hingga kita bisa membanggakan kedua orang tua.
7. Sahabat – sahabat saya di S2-Kimia yaitu **Daniel Alfarado** (Hantu penunggu Lab). Terima kasih telah membantu saya dari awal pendaftaran kuliah, pencarian beasiswa, bimbingan tesis dan diskusi. Saya senang dan bangga mendapatkan teman seperjuangan yang sangat memotivasi saya dan saling menolong. Semoga kita bisa mencerdaskan anak bangsa. See you on the top.
8. Seluruh teman teman **S2-Kimia angkatan 2023**. Terima kasih atas bantuannya selama perkuliahan.

SUMMARY

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF COMPOSITES $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ AS PHOTODEGRADATION OF TETRACYCLINE ANTIBIOTICS AND CONGO RED DYES

Gierrald Abduch: Supervised by Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si dan Dr. Muhammad Said S.Si., M.Si

Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University

xv + 89 pages, 16 tables, 23 figures, 23 attachments.

Tetracycline is an antibiotic that is often used in human medicine, aquaculture and veterinary medicine because of its low production cost, but excessive use produces tetracycline waste that pollutes water. In addition to tetracycline, wastewater can also contain dyes, one of which is congo red. Congo red dye that is widely used for printing newspapers and textiles. Liquid waste containing congo red and tetracycline dyes if discharged into water can be hazardous to the environment and can have an impact on humans, therefore it is necessary to process liquid waste containing tetracycline and congo red dyes using the semiconductor photodegradation method because of its high degradation effectiveness, cost efficiency and environmental friendliness. This study synthesizes $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ composites as photocatalytic to degrade tetracycline and congo red. The degradation process involves several different variables such as pH, concentration, alignment time. The method used in optimizing photodegradation using $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ is Response Surface Methodology (RSM). The synthesis results were characterized using XRD, SEM-EDS, FT-IR, VSM, and Uv-Vis DRS. The XRD results obtained a crystal size of 21.11 nm. The SEM-EDS results showed a homogeneous morphology with the constituent elements O (51.6%), Fe (4.2%), Zn (1.4%) and Sn (27.9%). The FT-IR results showed no changes in the absorption band in the $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ composite after being used to degrade tetracycline and congo red dye. The VSM results obtained a magnetization value of 12.86 emu/g. The UV-Vis DRS results obtained a band gap of 3.72 eV. The pH_{Pzc} of the $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ composite was 6.2. The optimum conditions for the degradation of congo red dye were pH 5, a concentration of 5 ppm, and an irradiation time of 80 minutes with a degradation efficiency of 84.848%, the R^2 RSM value was 0.943. The optimum condition of tetracycline degradation is pH 2, concentration 10 ppm and copying time 80 minutes with degradation efficiency value of 95.924%, R^2 RSM value is 0.9599. Determination of degradation kinetics follows pseudo first order with tetracycline k value of 0.027175 with R^2 value of 0.9911 and congo red k value of 0.035006 with R^2 value of 0.9932

Keywords: $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$, Photodegradation, Tetracycline, Congo Red Dye, RSM

Citations: 56 (2012-2024)

RINGKASAN

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ SEBAGAI FOTODEGRADASI ANTIBIOTIK TETRASIKLIN DAN ZAT WARNA *CONGO RED*

Gierrald Abduch: Dibimbing oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si dan Dr. Muhammad Said S.Si., M.Si

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya

xv + 89 halaman, 16 tabel, 23 gambar dan 23 lampiran

Tetrasiklin merupakan antibiotik yang sering digunakan pada bidang pengobatan manusia, budidaya perairan dan kedokteran hewan karena biaya produksinya yang murah, namun penggunaan secara berlebihan menghasilkan limbah tetrasiklin yang mencemari perairan. Selain tetrasiklin, air limbah juga dapat mengandung zat warna, salah satu zat warna tersebut adalah *congo red*. Zat warna *congo red* merupakan zat warna yang banyak digunakan untuk pencetakan koran dan tekstil. Limbah cair yang mengandung Zat warna *congo red* dan tetrasiklin apabila dibuang ke perairan dapat menimbulkan bahaya bagi lingkungan dan dapat berdampak terhadap manusia, oleh karena itu diperlukan pengolahan terhadap limbah cair yang mengandung tetrasiklin dan zat warna *congo red* menggunakan metode fotodegradasi semikonduktor karena efektivitas degradasi tinggi, efisiensi biaya serta ramah lingkungan. Penelitian ini mensintesis komposit $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ sebagai fotokatalitik untuk mendegradasi tetrasiklin dan *congo red*. Proses degradasi melibatkan beberapa variabel yang berbeda seperti pH, konsentrasi, waktu penyinaran. Metode yang digunakan dalam optimasi fotodegradasi menggunakan $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ adalah *Response Surface Methodology* (RSM). Hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD, SEM-EDS, FT-IR, VSM, dan Uv-Vis DRS. Hasil XRD mendapatkan ukuran kristal 21,11 nm. Hasil SEM-EDS menunjukkan morfologi homogen dengan unsur penyusun O (51,6%), Fe (4,2%), Zn (1,4%) dan Sn (27,9%). Hasil FT-IR tidak ada perubahan pita serapan pada komposit $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ setelah digunakan untuk mendegradasi tetrasiklin dan zat warna *congo red*. Hasil VSM didapatkan nilai magnetasi 12,86 emu/g. Hasil UV-Vis DRS didapatkan band gap 3,72 eV. pH_{pzc} dari komposit $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ adalah 6,2. Kondisi optimum degradasi zat warna *congo red* adalah pH 5, konsentrasi 5 ppm, dan waktu penyinaran 80 menit dengan efisiensi degradasi 84,848%, nilai R^2 RSM adalah 0,943. Kondisi optimum degradasi tetrasiklin adalah pH 2, konsentrasi 10 ppm dan waktu penyinaran 80 menit dengan nilai efisiensi degradasi 95,924%, nilai R^2 RSM adalah 0,9599. Penetapan kinetika degradasi mengikuti *pseudo first order* dengan nilai k tetrasiklin 0,027175 dengan nilai R^2 0,9911 dan nilai k *congo red* 0,035006 dengan nilai R^2 0,9932

Kata kunci : $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$, Fotodegradasi, Tetrasiklin, Zat warna *congo red*, RSM

Kutipan : 56 (2012-2024)

DAFTAR ISI

Halaman pengesahan	ii
Halaman persetujuan.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPERLUAN AKADEMIS.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY	ix
RINGKASAN	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1.Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Hipotesis Penelitian.....	3
1.6. Kerangka Berpikir.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2. 1. ZnFe ₂ O ₄	6
2. 2. Semikonduktor SnO ₂	7
2. 3. Komposit ZnFe ₂ O ₄ /SnO ₂	7

2. 4. Fotokatalitik	8
2. 5. Tetrasiklin	8
2. 6. Zat warna <i>congo red</i>	9
2. 7. <i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	10
2. 8. Karakterisasi.....	11
2. 8. 1. Spektrofotometri FT-IR	11
2. 8. 2. X-Ray Diffraction (XRD).....	11
2. 8. 3. UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS).....	12
2. 8. 4. Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray 13 Spectrometry (SEM-EDS)	13
2. 8. 5. Vibrating Sample Magnetometer (VSM).....	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1. Waktu dan Tempat	16
3.2. Alat dan Bahan.....	16
3.2.1. Alat.....	16
3.2.2. Bahan.....	16
3.3. Prosedur Kerja.....	17
3.3.1. Sintesis ZnFe_2O_4	17
3.3.2. Sintesis $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$	17
3.3.3. Penentuan pH_{pzc}	17
3.3.4. Penentuan Kurva Kalibrasi Zat warna <i>congo red</i>	17
3.3.5. Penentuan Kurva Kalibrasi Tetrasiklin	18
3.3.6. Penentuan Kondisi Optimum Fotodegradasi Zat warna <i>congo red</i>	18
berdasarkan <i>RSM</i>	18
3.3.7. Penentuan Kondisi Optimum Fotodegradasi Tetrasiklin berdasarkan.....	19
<i>RSM</i>	19
3.4. Analisis Data	19

3.5.	Karakterisasi Sintesis $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$	19
3.6.	Penentuan Kondisi Optimum Fotodegradasi Zat warna <i>congo red</i> dan ... Tetrasiklin	20
3.7.	Penentuan Kinetika Fotodegradasi.....	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		22
4. 1.	Hasil Sintesis ZnFe_2O_4	22
4. 2.	Hasil Sintesis $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$	23
4. 3.	Hasil Karakterisasi	23
4. 3. 1	Hasil Karakterisasi Komposit Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)...	23
4. 3. 2	Hasil Karakterisasi Komposit Menggunakan Scanning Elektron Microscope-Energi Dispersive (SEM-EDS).....	25
4. 3. 3	Hasil Karakterisasi Komposit Sebelum dan Sesudah digunakan untuk.... Mendegradasi Menggunakan <i>Spektrofotometri IR</i> (FT-IR).....	27
4. 3. 4	Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM)	29
4. 3. 5	Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>UV-Vis Diffuse Reflectance</i> <i>Spectroscopy</i> (DRS).....	31
4. 4.	Penentuan Hasil pH_{pzc}	32
4. 5.	Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Zat warna <i>congo red</i> Menggunakan $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ Berdasarkan RSM	34
4. 6.	Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Tetrasiklin Menggunakan..... $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ Berdasarkan RSM	42
4. 7.	Penetapan Model Kinetika Degradasi Tetrasiklin dan..... Zat warna <i>congo red</i>	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		53
5. 1.	Kesimpulan	53
5. 2.	Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA		55

LAMPIRAN.....	63
----------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Alur kerangka berpikir	5
Gambar 2. Struktur oktahedral dan tetrahedral ZnFe_2O_4	6
Gambar 3. Struktur tetrasiklin	9
Gambar 4. Struktur Congo red	10
Gambar 5. Hasil FTIR $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$	11
Gambar 6. Hasil XRD ZnO dan ZnFe_2O_4	12
Gambar 7. Hasil UV-Vis DRS	13
Gambar 8. Hasil SEM EDS <i>composite</i>	14
Gambar 9. Kurva VSM	15
Gambar 10. (a). ZnFe_2O_4 pada saat pH 3 (b) ZnFe_2O_4 pada saat pH 10	22
Gambar 11. Serbuk ZnFe_2O_4 yang sudah dikalsinasi	22
Gambar 12. Hasil sintesis $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ (1:1), (1:2), (2:1)	23
Gambar 13. Difraktogram Komposit	24
Gambar 14. Morfologi SEM (a). SnO_2 , (b). ZnFe_2O_4 , (c). $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ (1:1), . 26 (d). $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ (2:1), (e). $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ (1:2)	26
Gambar 15. Spektrum FTIR (a) $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ (1:2), (b) $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ (1:2) ... 28 sesudah mendegradasi tetrasiklin, (c) $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ (1:2) sesudah 28 mendegradasi zat warna congo red	28
Gambar 16. Kurva histerisis ZnFe_2O_4 , $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ (1:1), $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ 30 (2:1), dan $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ (1:2)	30
Gambar 17. ZnFe_2O_4 yang didekatkan ke magnet	31
Gambar 18. Nilai band gap (a.) SnO_2 (b.) ZnFe_2O_4 (c.) $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$	32
Gambar 19. Hasil kurva pH_{pzc}	33
Gambar 21. Hasil analisis model respon daya sebar	39
Gambar 22. Contour dan 3D surface degradasi zat warna congo red	40
Gambar 23. Hasil analisis model respon daya sebar	47
Gambar 24. Contour dan 3D surface degradasi tetrasiklin	50
Gambar 25. Grafik kinetika degradasi zat warna congo red pseudo first order	51
Gambar 26. Grafik kinetika degradasi tetrasiklin pseudo first order	52

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tingkat parameter variabel kondisi optimal degradasi	19
Zat warna congo red.....	19
Tabel 2. Tingkat parameter variabel kondisi optimal degradasi tetrasiklin.	19
Tabel 3. Ukuran Krsital Komposit	25
Tabel 4. Unsur penyusun komposit.....	27
Tabel 5. Hasil pita serapan dari spektrum FTIR $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ (1:2), (b) $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ (1:2) sesudah mendegradasi tetrasiklin, (c) $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ (1:2) sesudah mendegradasi zat warna congo red.....	29
Tabel 6. Hasil percobaan menggunakan CCD	35
Tabel 7. Hasil pemodelan design expert	36
Tabel 8. Parameter statistic respon ANOVA	36
Tabel 9. Hasil ANOVA pada Respon Efisiensi zat warna congo red.....	37
Tabel 10. Kriteria variabel dan respon yang diinginkan	41
Tabel 11. Titik optimum yang disarankan aplikasi	42
Tabel 12. Hasil percobaan menggunakan CCD	43
Tabel 13. Hasil pemodelan design expert	44
Tabel 14. Parameter statistic respon ANOVA	44
Tabel 15. Hasil ANOVA pada Respon Efisiensi Tetrasiklin.....	45
Tabel 16. Kriteria variabel dan respon yang diinginkan	48
Tabel 17. Titik optimum yang disarankan aplikasi	48
Tabel 18. Konstanta model kinetik fotodegradasi Zat warna congo red.....	50
dan tetrasiklin terhadap pengaruh waktu	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Sintesis ZnFe_2O_4	64
Lampiran 2 Sintesis $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ Perbandingan rasio mol 1 : 2.....	65
Lampiran 3 Sintesis $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ Perbandingan rasio mol 2 : 1.....	66
Lampiran 4 Sintesis $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ Perbandingan rasio mol 1 : 1.....	67
Lampiran 5 Reaksi Pembentukan ZnFe_2O_4	68
Lampiran 6 Hasil karakterisasi $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ menggunakan FT-IR.....	69
Lampiran 7 Hasil karakterisasi $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ setelah mendegradasi congo red. menggunakan FT-IR.....	64 70
Lampiran 8 Hasil karakterisasi $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ setelah mendegradasi tetrasiklin. menggunakan FT-IR.....	65 71
Lampiran 9 Data difraksi XRD SnO_2	72
Lampiran 10 Data difraksi XRD ZnFe_2O_4	73
Lampiran 11 Data difraksi XRD $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ (1:1).....	74
Lampiran 12 Data difraksi XRD $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ (1:2).....	76
Lampiran 13 Data difraksi XRD $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ (2:1).....	78
Lampiran 14 Hasil sintesis menggunakan SEM	80
Lampiran 15 Hasil sintesis ZnFe_2O_4 , $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ (1:1), (1:2), (2:1)..... menggunakan VSM.....	84 85
Lampiran 16 Hasil sintesis ZnFe_2O_4 , $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ (1:2), SnO_2 menggunakan UV-VIS DRS	85 86
Lampiran 17 Penentuan pH point zero charge (pHpzc) komposit $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ (1:2)	83 89
Lampiran 18 Penentuan kurva kalibrasi congo red.....	90
Lampiran 19 Penentuan kurva kalibrasi tetrasiklin.....	91
Lampiran 20. Perhitungan Efisiensi Degradasi Congo Red.....	92
Lampiran 21. Perhitungan Efisiensi Degradasi Tetrasiklin	93
Lampiran 22. Perhitungan Parameter Kinetik Fotodegradasi congo red	94
Lampiran 23. Perhitungan Parameter Kinetik Fotodegradasi tetrasiklin	95

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tetrasiklin merupakan antibiotik yang sering digunakan pada bidang pengobatan manusia dan obat dalam budidaya ikan karena biaya produksinya yang murah dan memiliki kualitas serta kemurnian yang baik, namun penggunaan yang pada sektor pertanian dan budidaya perikanan secara berlebihan menghasilkan limbah tetrasiklin yang mencemari perairan (Amangelsin et al., 2023). Dampak negatif air yang tercemar tetrasiklin dapat menyebabkan munculnya bakteri yang resisten terhadap tetrasiklin sehingga beresiko terhadap kesehatan manusia (Nami, 2024). Selain tetrasiklin, air limbah juga dapat mengandung zat warna, salah satu zat warna tersebut adalah zat warna *congo red*. Zat warna *congo red* merupakan zat warna yang banyak digunakan untuk pencetakan koran dan tekstil. Limbah cair yang mengandung Zat warna *congo red* apabila dibuang ke perairan dapat menimbulkan bahaya bagi lingkungan dan dapat berdampak terhadap manusia (Christina et al., 2024; Liu et al., 2022). Oleh karena itu diperlukan pengolahan air limbah yang mengandung tetrasiklin dan Zat warna *congo red* sebelum dibuang ke lingkungan.

Pengolahan air limbah yang mengandung tetrasiklin dapat menggunakan metode biodegradasi, adsorpsi dan fotokatalisis (Guo et al., 2024). Dari ketiga metode tersebut fotokatalisis merupakan metode pengolahan yang ramah lingkungan, rendah biaya dan tidak beracun, sehingga dapat digunakan sebagai pengolahan tetrasiklin (Guo et al., 2024; Moradi et al., 2023). Pengolahan air limbah yang mengandung Zat warna *congo red* menggunakan metode fotokatalisis lebih efisien daripada pengolahan air limbah konvensional dan hemat biaya pengolahan (Rianjanu et al., 2024).

Fotokatalisis memiliki potensi untuk mendegradasi polutan dengan memanfaatkan radiasi UV-Visible. Proses fotokatalisis membutuhkan fotokatalis dalam mendegradasi polutan. Fotokatalis yang paling efektif dalam proses degradasi adalah logam oksida (Mohamed et al., 2024). Logam oksida digunakan

sebagai fotokatalis murni dan fotokatalis gabungan (Bai et al., 2022). Salah satu fotokatalis yang digunakan dalam proses degradasi adalah SnO_2 .

SnO_2 merupakan senyawa yang tidak beracun dan memiliki sifat fotokatalis kuat. Namun, SnO_2 membutuhkan sinar UV untuk eksitasi fotonik karena SnO_2 memiliki pita celah lebar yaitu 3.5 – 3.8 eV (Gao et al., 2020; Li et al., 2023). Efisiensi proses degradasi dan respons terhadap UV-Visible dapat ditingkatkan dengan menggabungkan semikonduktor pita celah sempit dengan SnO_2 (Karunakaran et al., 2013). Salah satu semikonduktor yang memiliki pita celah sempit adalah ZnFe_2O_4 . ZnFe_2O_4 merupakan salah satu semikonduktor yang digunakan sebagai fotokatalisis karena memiliki kemampuan penyerapan, pendispersi yang baik, stabilitas struktural, daya tahan tinggi dan tidak beracun ketika digunakan serta memiliki ukuran celah pita 1,9 eV (Guo et al., 2021; Huang et al., 2023; Sonu et al., 2021).

Pada penelitian Ni et al (2019) dilakukan sintesis $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ yang digunakan sebagai gas *sensing* aseton, sintesis $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ menggunakan metode sol gel dengan ukuran partikel 90.20 nm, 39.51 nm, 40.15 nm, 47.37 nm and 65.32 nm. Selain sebagai gas *sensing* aseton, $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ dapat digunakan untuk mendegradasi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Guo et al (2021), komposit $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ disintesis menggunakan metode *solution combustion synthesis* (SCS) dengan perbedaan konsentrasi SnO_2 yaitu 5, 10 dan 15%. Hasil yang didapat pita celah pada 1.2-2.0 eV sehingga dapat bekerja dibawah sinar UV-Visible dan efisiensi degradasi terhadap MB yaitu 95,2%. ZnFe_2O_4 dikompositkan dengan SnO_2 dapat bekerja dibawah UV-Visible.

Proses degradasi melibatkan beberapa variabel yang berbeda seperti pH, konsentrasi, waktu penyinaran. Metode yang dapat digunakan dalam optimasi variabel dalam satu waktu salah satunya adalah metode *Response Surface Methodology* (RSM) (Ghosh et al., 2019). Dalam penggunaan RSM terdapat beberapa pilihan desain salah satunya menggunakan *Central Composite Design* (CCD), CCD merupakan rancangan paling banyak digunakan untuk mengoptimalkan hasil degradasi polutan dengan kondisi yang ditentukan. CCD dapat mengurangi jumlah percobaan yang dilakukan (Ghosh et al., 2019)

Berdasarkan uraian tersebut pada penelitian ini sintesis komposit $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR, SEM-EDS, UV-Vis DRS, VSM dan XRD. Dalam proses degradasi tetrasiklin dan zat warna *congo red* dilakukan optimasi menggunakan RSM dengan *design* CCD dan variabel degradasi meliputi pH, konsentrasi dan waktu penyinaran.

1.2.Rumusan Masalah

1. Bagaimana keberhasilan sintesis komposit $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ dengan dan berdasarkan hasil karakterisasi dari FTIR, SEM-EDS, UV-Vis DRS, VSM dan XRD ?
2. Bagaimana kondisi optimal fotodegradasi konsentrasi, pH dan waktu penyinaran degradasi tetrasiklin dan Zat warna *congo red* menggunakan $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ dengan metode RSM?
3. Bagaimana kinetika fotodegradasi dari hasil optimasi degradasi tetrasiklin dan Zat warna *congo red* menggunakan $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ dengan metode RSM?

1.3.Tujuan Penelitian

1. Mensintesis $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ dan menentukan hasil karakterisasi $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ menggunakan FTIR, SEM-EDS, UV-Vis DRS, VSM dan XRD.
2. Menentukan kondisi optimal konsentrasi, pH dan waktu penyinaran degradasi tetrasiklin dan Zat warna *congo red* dengan menggunakan $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ dengan metode RSM.
3. Menentukan kinetika degradasi degradasi tetrasiklin dan Zat warna *congo red* dengan menggunakan $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ dengan metode RSM.

1.4.Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diperoleh metode fotodegradasi yang optimal tetrasiklin dan Zat warna *congo red* menggunakan komposit $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ untuk mengurangi limbah cair yang mengandung tetrasiklin dan Zat warna *congo red* agar tidak membahayakan lingkungan dan manusia.

1.5.Hipotesis Penelitian

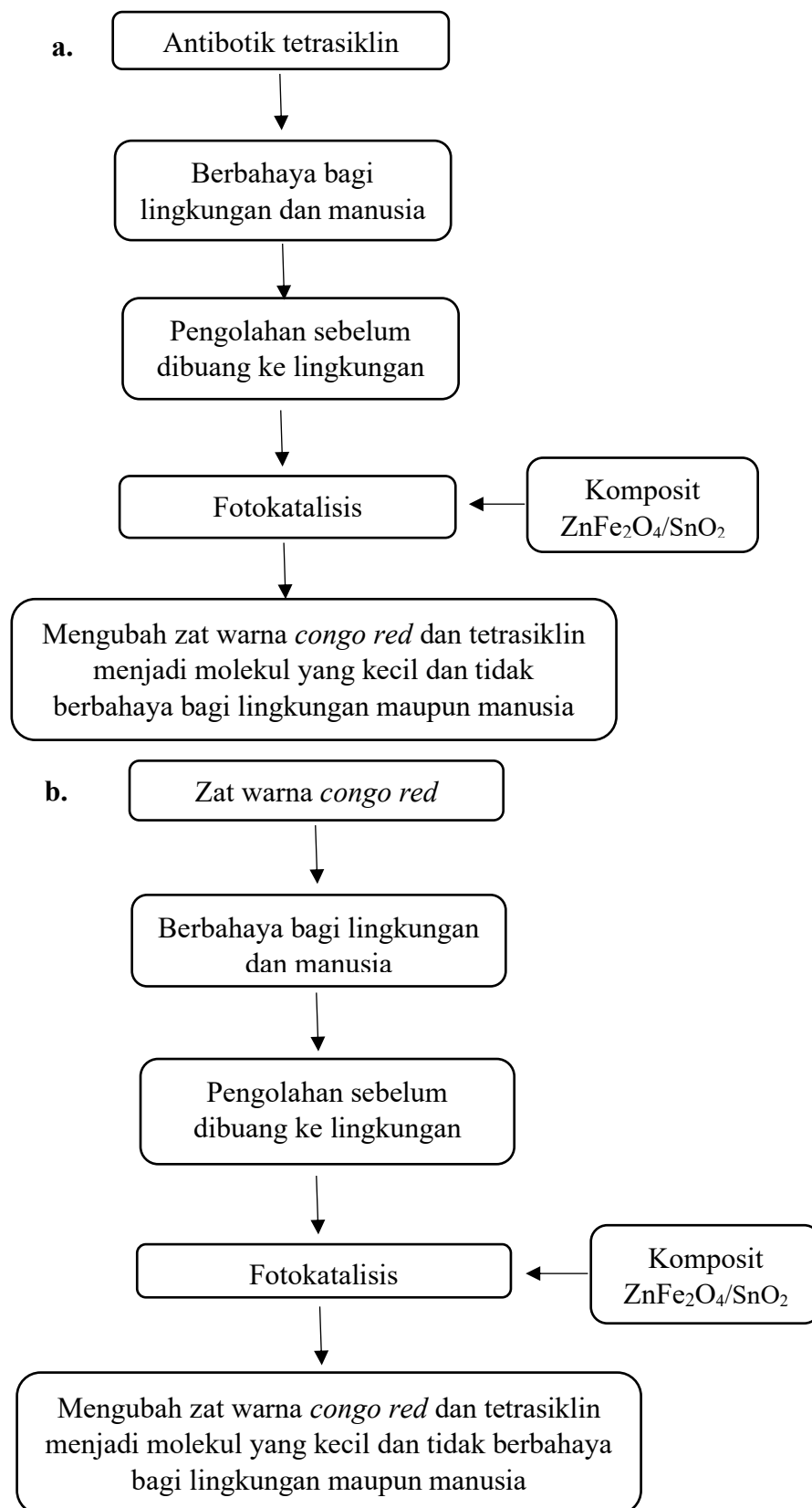
Komposit $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ bersifat Fotokatalis, apabila terkena sinar UV-Visible maka elektron akan berpindah dari pita konduksi ke pita valensi dan mengalami

kekosongan orbital pada ZnFe_2O_4 . Kekosongan orbital akan menyebabkan aktivitas katalitik. Hipotesis penelitian ini:

1. Gabungan SnO_2 dan ZnFe_2O_4 akan menghasilkan fotokatalis dengan pita celah yang lebih sempit dibandingkan SnO_2 sehingga dapat bekerja dibawah sinar UV-Visible.
2. pH, Konsentrasi dan waktu penyinaran berpengaruh terhadap efisiensi degradasi tetrasiklin dan Zat warna *congo red*.
3. Optimasi dengan menggunakan RSM akan menghasilkan persamaan matematika yang menghubungkan interaksi setiap variabel.
4. Dalam proses fotodegradasi mengikuti kinetika fotodegradasi pseudo orde 1

1.6.Kerangka Berpikir

Penggunaan tetrasiklin dan Zat warna *congo red* yang berlebihan tanpa pengolahan yang baik dapat berbahaya bagi lingkungan dan merugikan manusia sehingga dibutuhkan pengolahan tetrasiklin dan Zat warna *congo red*. Pengolahan dengan metode fotokatalisis dengan memanfaatkan fotokatalis $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ diharapkan dapat mendegradasi tetrasiklin dan Zat warna *congo red*. Alur kerangka berpikir dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur kerangka berpikir

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulhamid, Z. M., Dabbawala, A. A., Delclos, T., Straubinger, R., Rueping, M., Polychronopoulou, K., & Anjum, D. H. (2023). Synthesis, characterization, and preliminary insights of ZnFe_2O_4 nanoparticles into potential applications, with a focus on gas sensing. *Scientific Reports*, 13(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46960-w>
- Algarni, T. S., Al-Mohaimed, A. M., Al-Odayni, A. B., & Abduh, N. A. Y. (2022). Activated Carbon/ ZnFe_2O_4 Nanocomposite Adsorbent for Efficient Removal of Crystal Violet Cationic Dye from Aqueous Solutions. *Nanomaterials*, 12(18). 12183224
- Alghanmi, R. M., & Abdelrahman, E. A. (2024). Simple production and characterization of ZnO/MgO nanocomposite as a highly effective adsorbent for eliminating congo red dye from water-based solutions. *Inorganic Chemistry Communications*, 112137.
- Amangelsin, Y., Semenova, Y., Dadar, M., Aljofan, M., & Bjørklund, G. (2023). The Impact of Tetracycline Pollution on the Aquatic Environment and Removal Strategies. *Antibiotics*, 12(3), 1–15.
- Aridi, A., Naoufal, D., El-Rassy, H., & Awad, R. (2022). Photocatalytic activity of $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{NiO}$ nanocomposites carried out under UV irradiation. *Ceramics International*, 48(20), 30905–30916.
- Ayu, D., & Haris, A. (2015). Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi Sintesis ZnO-SiO_2 serta Aplikasinya pada Degradasi Limbah. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 18(3), 96–100.
- Bai, X., Chen, W., Wang, B., Sun, T., Wu, B., & Wang, Y. (2022). Photocatalytic Degradation of Some Typical Antibiotics: Recent Advances and Future Outlooks. In *International Journal of Molecular Sciences*. 23 (15). MDPI.
- Christina, B., Thanigaimani, K., Sudhakaran, R., Mohan, S., Arumugam, N., Almansour, A. I., & Mahalingam, S. M. (2024). Pyto-Architecture of Ag,

Au and Ag–Au bi-metallic nanoparticles using waste orange peel extract for enable carcinogenic Congo red dye degradation. *Environmental Research*.

Diantoro, M., Sa, U., & Hidayat, A. (2018). Effect of SnO₂ Nanoparticles on *Band gap* Energy of x (SnO₂) -y (Ag) -β- Carotene / FTO Thin Film Effect of SnO₂ Nanoparticles on *Band gap* Energy of x (SnO₂) - y (Ag) - β - Carotene / FTO Thin Film. 0–10.

Dwiastuti, R., & Dewi, N. K. D. P. K. (2022). Aplikasi Metode Optimasi dalam Formulasi Sediaan Gel Nanopartikel Lipid dengan Bahan Aktif 4-n-Butilresorcinol. *Jurnal Ilmiah Manuntung*, 8(1), 71–81. <https://doi.org/10.51352/jim.v8i1.490>

El Desouky, F. G., Saadeldin, M. M., Mahdy, M. A., & El Zawawi, I. K. (2021). Tuning the structure, morphological variations, optical and magnetic properties of SnO₂/NiFe₂O₄ nanocomposites for promising applications. *Vacuum*, 185(December 2020), 110003.

Fabiani, V. A., Sari, F. I. P., Nur'Aini, & Putri, S. A. (2021). Biosynthesis and characterization of zinc ferrite (ZnFe₂O₄) via *Antidesma bunius* L. fruit extract. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 926(1), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/926/1/012061>

Gao, L., Fu, H., Zhu, J., Wang, J., Chen, Y., & Liu, H. (2020). Synthesis of SnO₂ nanoparticles for formaldehyde detection with high sensitivity and good selectivity. *Journal of Materials Research*, 35(16), 2208–2217.

Garg, V. S. H. (2018). Study of structural and optical properties of SnO₂ nanoparticles developed by sol-gel route. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 5(10), 656–665.

Ghosh, P., Bhowmik, R. N., Bandyopadhyay, S., & Mitra, P. (2019). Influence of Particle Size on the Electrical Properties and Magnetic Field Dependent I–V Characteristics of Nanocrystalline ZnFe₂O₄. *Transactions of the Indian Ceramic Society*, 78(2), 111–120.

- Griffin, M. O., Fricovsky, E., Ceballos, G., & Villarreal, F. (2010). Tetracyclines: A pleiotropic family of compounds with promising therapeutic properties. Review of the literature. *American Journal of Physiology - Cell Physiology*, 299(3).
- Guo, L., Okinaka, N., Zhang, L., & Watanabe, S. (2021). Facile synthesis of $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ composites for efficient photocatalytic degradation of methylene blue. *Materials Chemistry and Physics*, 262, 124273.
- Guo, Y., Yan, J., Chen, Z., Duan, C., Li, C., Li, Y., & Kawi, S. (2024). chloride-covalent organic framework (AC-COF) @ MIL-101 porous composites for boosted tetracycline removal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(2), 112481.
- Hidayat, I. R., Zuhrotun, A., & Sopyan, I. (2020). Desain-Expert Software sebagai Alat Optimasi Formulasi Sediaan Farmasi. *Majalah Farmasetika*, 6(1), 99–120. <https://doi.org/10.24198/mfarmasetika.v6i1.27842>
- Jedynak, K., & Charmas, B. (2021). Preparation and characterization of physicochemical properties of spruce cone biochars activated by CO_2 . *Materials*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/ma14143859>
- Huang, D., Dai, J., Li, Z., Wen, X., Feng, W., & Liu, H. (2023). Effect of carbon-based nanomaterials on the wave absorption properties of hollow ZnFe_2O_4 . *Materials Science and Engineering: B*, 293, 116462.
- Karunakaran, C., Sakthiraadha, S., Gomathisankar, P., & Vinayagamoorthy, P. (2013). Hydrothermal and sonochemical preparation and photocatalytic and bactericidal activities of $\text{ZnFe}_2\text{O}_4\text{-SnO}_2$ nanocomposite. *Superlattices and Microstructures*, 60, 487–499.
- Li, Y., Feng, Y., Bai, H., Liu, J., Hu, D., Fan, J., & Shen, H. (2023). Enhanced visible-light photocatalytic performance of black $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ nanoparticles. *Journal of Alloys and Compounds*, 960, 170672.

- Liu, Y., Qiu, G., Liu, Y., Niu, Y., Qu, R., Ji, C., Wang, Y., Zhang, Y., & Sun, C. (2022). Fabrication of CoFe-MOF materials by different methods and adsorption properties for Congo red. *Journal of Molecular Liquids*.
- Lys, A., Zabolotnii, V., Caplovicova, M., Tepliakova, I., Berzins, A., Sahul, M., Caplovi, L., Pogrebniak, A., Iatsunskyi, I., & Viter, R. (2024). Core-shell nanofibers of $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$ for enhanced visible-light photoelectrochemical performance. *Journal of Alloys and Compounds*, 173885.
- Mahanta, R., Chetri, P., & Bora, D. (2022). Investigation of visible light photocatalysis effect of SnO_2 nanoparticles. *Physics Academy of North East*.
- Mahmudah, D., Sakinah, N., & Suharyadi, E. (2017). Adsorpsi Logam Tembaga (Cu), Mangan (Mn) dan Nikel (Ni) dalam Artificial Limbah Cair dengan Menggunakan Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4). *Indonesian Journal of Applied Physics*, 4(02), 126. <https://doi.org/10.13057/ijap.v4i02.4974>
- Manikandan, D., & Murugan, R. (2022). Genesis and tuning of ferromagnetism in SnO_2 semiconductor nanostructures: Comprehensive review on size, morphology, magnetic properties and DFT investigations. *Progress in Materials Science*, 130, 100970.
- Mano, T., Nishimoto, S., Kameshima, Y., & Miyake, M. (2015). Water treatment efficacy of various metal oxide semiconductors for photocatalytic ozonation under UV and visible light irradiation. *Chemical Engineering Journal*, 264, 221–229.
- Mohamed, A., Mahanna, H., & Samy, M. (2024). Synergistic effects of photocatalysis-periodate activation system for the degradation of emerging pollutants using GO/MgO nanohybrid. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12.
- Mohamed, A., Mahanna, H., & Samy, M. (2024). Synergistic effects of photocatalysis-periodate activation system for the degradation of emerging

- pollutants using GO/MgO nanohybrid. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12.
- Mohtaram, M. S., Sabbaghi, S., Jamal Rasouli, & Rasouli, K. (2024). Photocatalytic degradation of tetracycline using a novel $\text{WO}_3\text{-ZnO/AC}$ under visible light irradiation: Optimization of effective factors by RSM-CCD. *Environmental Pollution*, 123746.
- Moradi, A., Khamforoush, M., Rahmani, F., & Ajamein, H. (2023). Synthesis of 0D/1D electrospun titania nanofibers incorporating CuO nanoparticles for tetracycline photodegradation and modeling and optimization of the removal process. *Materials Science and Engineering: B*, 297(July), 116711.
- Nami, S. Y. Al. (2024). Assessment of rhodium metal-organic frameworks for tetracycline removal from aqueous solutions: Box-Behnken Design optimization, thermodynamics and reusability. *Materials Today Sustainability*.
- Ni, Q., Sun, L., Cao, E., Hao, W., Zhang, Y., & Ju, L. (2019). Enhanced acetone sensing performance of the $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$ nanocomposite. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 125(11), 2–9.
- Nurmiah, S., Syarief, R., Peranginangin, R., Nurtama, B. (2013). Aplikasi *Response Surface Methodology* pada Optimalisasi Kondisi Proses Pengolahan Alkali Treated Cottonii (ATC) Application of *Response Surface Methodology* in The Optimization of Process Conditions of Alkali Treated Cottonii (ATC) Processing. *JPB Kelautan Dan Perikanan*, 8(1), 9–22.
- Palai, A., & Sahu, D. (2022). Sol-Gel Synthesized SnO_2 Nanoparticle Showing Advanced Photocatalytic Attribute for Environmental Pollution Control. *Rasayan Journal of Chemistry*, 2022, 266–272. <https://doi.org/10.31788/RJC.2022.1558230>
- Parningotan, S., & Adityosulindro, S. (2023). Coupling of Coagulation and Fenton-Like Oxidation for Decolorization of Congo Red Dye in Water. *BIO Web of Conferences*, 69, 1–10.

- Pawar, B. G., Pinjari, D. V., Kolekar, S. S., Pandit, A. B., & Han, S. H. (2012). Effect of Sintering Temperatures on the Synthesis of SnO_2 Nanospheres. *ISRN Chemical Engineering*, 2012, 1–7. <https://doi.org/10.5402/2012/954869>
- Pawestri, W., Satria, G. D., Hakimah, N., & Yudhabuntara, D. (2019). Deteksi Kejadian Residu Tetrasiklin pada Daging Ikan Nila di Kota Yogyakarta dengan Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT) Detection of Tetracycline Residue on Tilapia Meat in Kota Yogyakarta using High Performance Liquid Chromatography (HPLC). 37(2), 185–192.
- Pazouki, S., & Memarian, N. (2021). Effects of Hydrothermal temperature on the physical properties and anomalous *band gap* behavior of ultrafine SnO_2 nanoparticles. *Optik*, 167843.
- Prameswari, T. (2014). Sintesis Membran Kitosan-Silika Abu Sekam Padi Untuk Dekolisasi Zat Warna Color Red. In *Indonesian Journal Of Chemical Science*. 2 (3).
- Ramadan, R., Uskoković, V., & El-Masry, M. M. (2023). Triphasic $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnFe}_2\text{O}_4 / \text{CuFe}_2\text{O}_4$ nanocomposite for water treatment applications. *Journal of Alloys and Compounds*, 954.
- Reddy, L. V. A., Wee, Y. J., Yun, J. S., & Ryu, H. W. (2008). Optimization of alkaline protease production by batch culture of *Bacillus* sp. RKY3 through Plackett-Burman and response surface methodological approaches. *Bioresource Technology*, 99(7), 2242–2249. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.05.006>
- Rianjanu, A., Mustamin, A. S. P., Melati, E. K. A., Aflaha, R., Khamidy, N. I., Utami, M., Khairurrijal, K., Triyana, K., Abdi, F. F., Wasisto, H. S., & Taher, T. (2024). Photocatalytic degradation of aqueous Congo red dye pollutants by rare-earth metal oxide (CeO_2) nanorods. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 682, 132919.
- Rifi, S. K., Souabi, S., Driouich, A., Nassri, I., Haddaji, C., & Hafidi, M. (2022). Optimization of coagulation process for treatment of olive oil mill

- wastewater using *Moringa oleifera* as a natural coagulant, CCD combined with RSM for treatment optimization. *Process Safety and Environmental Protection*, 406–418.
- Roumaih, K., Ismail, S. M., Labib, S., & Helal, A. (2023). Structural, magnetic, and optical properties of $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{RO}$ ($\text{RO} = \text{CdO}$, NiO , Ga_2O_3 , SnO_2 , and TiO_2) nanocomposites. *Journal of Materials Science*, 58(19), 7948–7967.
- Rytwo, G., & Zelkind, A. L. (2022). Evaluation of kinetic pseudo-order in the photocatalytic degradation of ofloxacin. *Catalysts*, 12(1), 1–11. <https://doi.org/10.3390/catal12010024>
- Saitoh, T., Shibata, K., Fujimori, K., & Ohtani, Y. (2017). Rapid removal of tetracycline antibiotics from water by coagulation-flotation of sodium dodecyl sulfate and poly(allylamine hydrochloride) in the presence of Al(III) ions. *Separation and Purification Technology*, 187(Iii), 76–83.
- Sari, R. S., & Hakim, A. R. (2019). Bonding analysis of magnetic nanoparticles (MNPS) zinc ferrite (ZnFe_2O_4) encapsulated with silica (SiO_2). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 382(1).
- Siddiqui, S. I., Allehyani, E. S., Al-Harbi, S. A., Hasan, Z., Abomuti, M. A., Rajor, H. K., & Oh, S. (2023). Investigation of Congo Red Toxicity towards Different Living Organisms: A Review. *Processes*, 11(3), 1–12.
- Sonu, Sharma, S., Dutta, V., Raizada, P., Hosseini-Bandegharai, A., Thakur, V., Nguyen, V. H., Vanle, Q., & Singh, P. (2021). An overview of heterojunctioned ZnFe_2O_4 photocatalyst for enhanced oxidative water purification. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 105812.
- Tabesh, F., Mallakpour, S., & Hussain, C. M. (2023). Recent advances in magnetic semiconductor ZnFe_2O_4 nanoceramics: History, properties, synthesis, characterization, and applications. *Journal of Solid State Chemistry*, 322, 123940.
- Taib, S., & Suharyadi, E. (2015). Sintesis Nanopartikel Magnetite (Fe_3O_4) dengan Template silika (SiO_2) dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya. *Indonesian*

Journal of Applied Physics, 5(01), 23.
<https://doi.org/10.13057/ijap.v5i01.256>

Tan, W., Ruan, X., Yu, Q., Yu, Z., & Huang, X. (2015). Fabrication of a SnO₂-based acetone gas sensor enhanced by molecular imprinting. *Sensors (Switzerland)*, 15(1), 352–364. <https://doi.org/10.3390/s150100352>

Xie, Y., Liu, C., Li, D., & Liu, Y. (2022). In situ-generated H₂O₂ with NCQDs/MIL-101(Fe) by activating O₂: A dual effect of photocatalysis and photo-Fenton for efficient removal of tetracycline at natural pH. *Applied Surface Science*, 153312.

Zhang, J., Tian, B., Wang, L., Xing, M., & Lei, J. (2018). Mechanism of Photocatalysis. In *Lecture Notes in Chemistry* (pp. 1–15).