

**SINTESIS KOMPOSIT NiFe_2O_4 /KITOSAN-GLUTARALDEHID/ NiO
UNTUK DEGRADASI FOTOKATALITIK TETRASIKLIN**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

Bidang Studi Kimia



Yeni Fransisca

08031282025060

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

HALAMAN PENGESAHAN
SINTESIS KOMPOSIT NiFe₂O₄/KITOSAN-GLUTARALDEHID/NiO
UNTUK FOTOKATALITIK DEGRADASI TETRASIKLIN

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Diusulkan oleh :

YENI FRANSISCA

08031282025060

Menyetujui,
Pembimbing



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

NIP. 196808271994022001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Yeni Fransisca (08031282025060) dengan judul "Sintesis Komposit NiFe_2O_4 /Kitosan-Glutaraldhid/NiO untuk Fotokatalitik Degradasi Tetrasiklin" telah diseminarkan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 17 Mei 2024 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 20 Mei 2024

Ketua :

1. Dr. Eliza, M.Si.
196407291991022001

()

Sekretaris :

2. Dr. Nova Yuliasari, M.Si.
197307261999032001

()

Pembimbing :

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

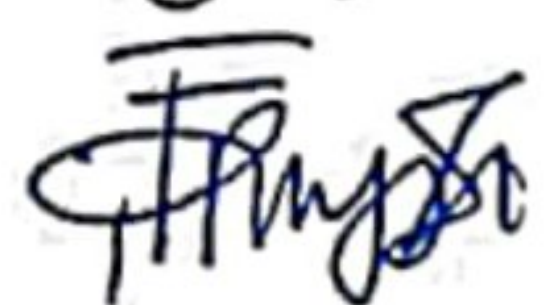
()

Penguji :

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

()

2. Fahma Riyanti, M.Si.
NIP. 197204082000032001

()

Mengetahui,

Dekan FMIPA



Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 197111191997021001

Ketua Jurusan Kimia



Prof. Dr. Muharni, M.Si
NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Yeni Fransisca

NIM : 08031282025060

Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain. Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Indralaya, 20 Mei 2024



Yang menyatakan,

Yeni Fransisca
Yeni Fransisca

NIM. 08031282025060

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

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Yeni Fransisca
NIM : 08031282025060
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya "Sintesis Komposit NiFe_2O_4 /Kitosan-Glutaraldehyd/ NiO untuk Fotokatalitik Degradasi Tetrasiklin" 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 mencatumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 20 Mei 2024

Yang menyatakan,



Yeni Fransisca

NIM. 08031282025060

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(Q.S Al-Insyirah: 6)

“Maka bersabarlah kamu, sesungguhnya janji Allah itu benar”

(Q.S Ghafir: 55)

Skripsi ini sebagai tanda syukurku kepada:

- ❖ Allah SWT
- ❖ Nabi Muhammad SAW

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

- 1. Papa, Mama dan Kakak tercinta yang senantiasa mendoakan dan memberikan motivasi**
- 2. Dosen pembimbing (Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si.)**
- 3. Keluarga besar, sahabat dan semua orang yang membantu hingga terselesaikannya skripsi ini**
- 4. Kampusku (Universitas Sriwijaya)**

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah. Puji syukur kepada Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat-Nya kepada penulis, memberikan kesehatan, kesempatan, kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sintesis Komposit NiFe_2O_4 /Kitosan-Glutaraldehyd/ NiO untuk Fotokatalitik Degradasi Tetrasiklin” sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan Program Strata Satu Jurusan Kimia di Universitas Sriwijaya.

Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan dorongan dari berbagai pihak, sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan, sehingga penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
2. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si selaku dosen pembimbing penulis. Terimakasih ibu telah membimbing, memberikan arahan, masukan, dan motivasi kepada penulis selama perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini. Maaf ibu jika penulis belum bisa memberikan yang terbaik. Harapan penulis semoga ibu sehat selalu, panjang umur, dan dimudahkan segala urusan kedepannya.
4. Cinta pertama penulis, Bapak (Alm) Sakat. Beliau memang tidak sempat menyelesaikan pendidikannya namun beliau berhasil mendidik dan menjadi panutan bagi penulis serta selalu memberikan motivasi-motivasi penyemangat. Terimakasih pah telah mengantarkan penulis berada di titik ini, walaupun pada akhirnya penulis harus berjuang sendiri tanpa kau temani.
5. Ibu Sunartini, seseorang yang selalu memberikan kasih sayang yang tulus kepada penulis. Terimakasih mah, telah menemani penulis selama proses penulisan, selalu memberikan dukungan, dan mau ikut berjuang bersama penulis. Mohon untuk hidup lebih lama agar penulis dapat membahagiakanmu.
6. Seluruh Dosen FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu dan mendidik selama masa studi penulis.

7. Mba Novi dan Kak Iin selaku Admin Jurusan Kimia yang selalu membantu penulis selama perkuliahan. Terimakasih banyak dan semoga sehat selalu dan dimudahkan segala urusannya.
8. Teruntuk saudara kandung penulis “Putri Ayu Lestari” dan Saudara angkat penulis “Popi Novitasari”. Terimakasih telah menemani penulis dan memberikan dukungan.
9. Sahabat tersayang “Nabilla Rizka Hannan” yang menjadi saksi perjuangan penulis hingga bisa berada di tahap ini. Seseorang yang selalu mendengar keluh kesah penulis dalam proses penyelesaian skripsi. Terimakasih sudah mau bertahan menjadi teman penulis dan selalu menemani penulis dalam suka dan duka. Semoga persahabatan ini bisa langgeng hingga anak cucu.
10. Christine Anjelina Pratama, terimakasih telah memenuhi ke BM-an penulis dan selalu bersedia jika penulis ajak untuk kesana kemari ketika penulis suntuk selama masa penelitian.
11. Tim partner penulis selama penelitian yakni *bidadari* aka Elsa Wahyuni yang amat lembut. Terimakasih telah bekerja sama selama ini dan mau saling menurunkan ego masing-masing. Banyak hal yang sudah kita lalui bersama selama kurang lebih 1 tahun ini. Akhirnya kita bisa sama-sama berada di tahap ini menyelesaikan segala keruwahan, semoga kita juga bisa sama-sama mewujudkan impian masing-masing. Maaf apabila penulis selama menjadi tim ada salah baik dalam perbuatan maupun perkataan.
12. Elpera Yulianti, teman seperjuangan penulis dari maba, penelitian, hingga saat ini. Terimakasih telah menemani penulis selama ini, seseorang yang selalu memberikan kata-kata semangat dan positifnya disaat penulis *down*, selalu mendengar keluh kesah penulis, dan mau direpotkan oleh penulis. Akhirnya kita berhasil untuk mewujudkan impian saat maba yakni wisuda bareng. Penulis senang bisa mengenalmu, semoga persahabatan ini bertahan ya. Jangan lupa untuk bahagia selalu ya.
13. Tim TA Anak Bu Puji (Fita Aulia, Laellia Denada, Oktarina Munawaroh, Riesky Sipahutar, dan Dian Sintia Wati). Terimakasih telah berjuang bersama penulis, orang-orang yang membuat suasana selama penelitian seru dan selalu

14. membawa kebahagiaan walaupun sedang dalam keadaan tertekan. Hal suka duka sudah kita lalui dan akan selalu menjadi kenangan bagi penulis.
15. Vira Ardana, seseorang yang selalu mau untuk direpotkan oleh penulis dan memiliki selera yang sama. Terimakasih telah saling memberi kekuatan satu sama lain, selalu memberikan dukungan kepada penulis, walaupun kesabarannya setipis tisu tetapi tetap memiliki hati yang baik. Beliau juga yang selalu meyakinkan penulis bahwa proses penulisan ini bisa selesai di waktu yang tepat.
16. Member "Naks PP". Merri Sihombing si rekeh, Syabina Putri si paling riweuh, Hani Kholisha & Melani Putria si suhu, Nur Azizah si paling polos, serta Vidya Fadjriani & Khairunnisa si paling kalem. Terimakasih selalu memberikan *vibes* positif kepada penulis, selalu menyalurkan kebahagiaan dan melewati suka duka PP Palembang-Layo bersama penulis. Harapan penulis semoga kita bisa mewujudkan cita-cita kita dan Persahabatan ini bisa bertahan dan tetap saling berbagi cerita.
17. Teman-teman Angkatan 20 (Elis, Violetta, Dinda, Syakira, Caca, Feni, Betty, dll). Terimakasih telah bersama berjuang untuk menyelesaikan masa studi ini. Sehat selalu dan sukses kedepannya.

Indralaya, 20 Mei 2024



Penulis

SUMMARY

SYNTHESIS OF NiFe₂O₄/CHITOSAN-GLUTARALDEHYDE/NiO FOR PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF TETRACYCLINE

Yeni Fransisca: Supervised by Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si.
Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University.

xvii + 73 pages, 16 pictures, 4 tables, 14 appendixes.

NiO has been widely used as a photocatalyst to remove waste from water. NiO as a semiconductor has advantages such as low oxidation speed, non-toxicity, and chemical stability. NiO has a band gap value that is quite large so it needs to be doped with NiFe₂O₄ and coated with chitosan-glutaraldehyde so that it is stable in thermal and acidic conditions. This research synthesizes a NiFe₂O₄/chitosan-glutaraldehyde/NiO composite which is then applied to reduce the concentration of tetracycline. The results of the NiFe₂O₄/chitosan-glutaraldehyde/NiO composite synthesis were characterized using XRD, SEM-EDS, VSM, and UV-Vis DRS. The results of the synthesis of the NiFe₂O₄/chitosan-glutaraldehyde/NiO composite determined its pHPzc value in the pH range 2-12. Photocatalytic degradation variables include pH, concentration, and contact time. The results of XRD analysis of the NiFe₂O₄/chitosan-glutaraldehyde/NiO composite showed the highest 2θ peak for NiFe₂O₄ at 3,66° with a crystal size of 16,30 nm and the highest 2θ peak for NiO at 37,23° with a crystal size of 21,40 nm. SEM-EDS results show a morphological structure with constituent elements consisting of Ni (34,50%), Fe (31,30%), O (25,90%), C (8,00%), and N (0,30 %). The VSM characterization results show a saturation magnetization value of 47,25 emu/g. The results of the UV-Vis DRS analysis showed that the band gap value for the NiFe₂O₄/chitosan-glutaraldehyde/NiO composite was 1,73 eV. The pHPzc value of NiFe₂O₄/chitosan-glutaraldehyde/NiO is at pH 7,4. The optimum conditions for tetracycline degradation by the NiFe₂O₄/chitosan-glutaraldehyde/NiO composite are at pH 3 with a concentration of 10 mg/L and a visible light contact time of 105 minutes. The TOC analysis results of tetracycline before degradation contained carbon of 4,04 mg/L and after degradation it was 2,57 mg/L.

Keywords : photocatalytic, composite, NiFe₂O₄/chitosan-glutaraldehyde/NiO, tetracycline

Citation : 72 (2006-2023)

RINGKASAN
SINTESIS KOMPOSIT NiFe₂O₄/KITOSAN-GLUTARALDEHID/NiO
UNTUK DEGRADASI FOTOKATALITIK TETRASIKLIN

Yeni Fransisca: Dibimbing oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si.
Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Sriwijaya.

xvii + 73 halaman, 16 gambar, 4 tabel, 14 lampiran

NiO telah banyak digunakan sebagai fotokatalis untuk menghilangkan limbah dari air. NiO sebagai semikonduktor memiliki keunggulan seperti kecepatan oksidasi yang rendah, tidak beracun, dan stabilitas kimia. NiO memiliki nilai *band gap* yang cukup besar sehingga perlu didoping oleh NiFe₂O₄ dan *dicoating* dengan kitosan-glutaraldehyd agar stabil dalam kondisi termal maupun asam. Penelitian ini mensintesis komposit NiFe₂O₄/kitosan-glutaraldehyd/NiO yang kemudian diaplikasikan untuk menurunkan konsentrasi tetrasiklin. Hasil sintesis komposit NiFe₂O₄/kitosan-glutaraldehyd/NiO dikarakterisasi menggunakan XRD, SEM-EDS, VSM, dan UV-Vis DRS. Hasil sintesis komposit NiFe₂O₄/kitosan-glutaraldehyd/NiO ditentukan nilai pH_{pzc} nya pada rentang pH 2-12. Variabel degradasi fotokatalitik meliputi pH, konsentrasi, dan waktu kontak. Hasil analisis XRD komposit NiFe₂O₄/kitosan-glutaraldehyd/NiO menunjukkan puncak 2θ tertinggi untuk NiFe₂O₄ pada 35,66° dengan ukuran kristal sebesar 16,30 nm dan puncak 2θ tertinggi NiO pada 37,23° dengan ukuran kristal 21,40 nm. Hasil SEM-EDS menunjukkan struktur morfologi dengan unsur penyusun terdiri dari Ni (34,50%), Fe (31,30%), O (25,90%), C (8,00%), dan N (0,30%). Hasil karakterisasi VSM menunjukkan nilai magnetisasi saturasi sebesar 47,25 emu/g. Hasil analisis UV-Vis DRS nilai *band gap* pada komposit NiFe₂O₄/kitosan-glutaraldehyd/NiO sebesar 1,73 eV. Nilai pH_{pzc} NiFe₂O₄/kitosan-glutaraldehyd/NiO berada pada pH 7,4. Kondisi optimum degradasi tetrasiklin oleh komposit NiFe₂O₄/kitosan-glutaraldehyd/NiO berada pada pH 3 dengan konsentrasi 10 mg/L dan waktu kontak sinar visibel selama 105 menit. Hasil analisis TOC pada tetrasiklin sebelum degradasi mengandung karbon sebesar 4,04 mg/L dan setelah degradasi sebesar 2,57 mg/L.

Kata kunci : fotokatalitik, komposit, NiFe₂O₄/kitosan-glutaraldehyd/NiO,
tetrasiklin

Kutipan : 72 (2006-2023)

DAFTAR ISI

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.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Limbah Antibiotik	5
2.2 Nikel Ferit (NiFe_2O_4)	6
2.3 Nikel Oksida (NiO)	7
2.4 Kitosan-Glutaraldehyd	8
2.5 Fotokatalitik	9
2.6 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	10
2.7 <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX)</i>	11
2.8 <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>	12
2.9 <i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance (UV-Vis DRS)</i>	13
2.10 <i>pH Point of Zero Charge (pHpzc)</i>	14
2.11 <i>Total Organic Carbon (TOC)</i>	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	14
3.1 Waktu dan Tempat.....	14

3.2 Alat dan Bahan	14
3.2.1 Alat.....	14
3.2.2 Bahan.....	14
3.3 Prosedur Penelitian.....	14
3.3.1 Sintesis NiFe ₂ O ₄	14
3.3.2 Sintesis NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Glutaraldehyd (Reghioua et al., 2021)	15
3.3.3 Sintesis NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Glutaraldehyd/NiO (Reghioua et al., 2021).....	15
3.4 Karakterisasi Material	15
3.4.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	15
3.4.2 <i>Scanning Electron Microscopy-Energi Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDS).....	17
3.4.3 <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM).....	17
3.4.4 <i>UV-VIS Diffuse Reflectance</i> (UV-VIS DRS)	17
3.4.5 <i>pH Point Zero Charge</i> (pHpzc).....	17
3.5 Penentuan Konsentrasi Zat Tetrasiklin	18
3.5.1 Pembuatan Larutan Induk Tetrasiklin 1000 mg/L.....	18
3.5.2 Pembuatan Larutan Standar Tetrasiklin.....	18
3.5.3 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum.....	18
3.5.4 Penentuan Kurva Kalibrasi Tetrasiklin	18
3.6 Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Tetrasiklin oleh Komposit NiFe ₂ O ₄ /kitosan-glutaraldehyd/NiO.....	18
3.6.1 Pengaruh Variasi pH Tetrasiklin	18
3.6.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi Tetrasiklin.....	19
3.6.3 Pengaruh Variasi Waktu Kontak Tetrasiklin.....	19
3.7 Analisis Data.....	19
3.7.1 <i>X-ray Diffraction</i> (XRD).....	19
3.7.2 <i>Scanning Eelectron Microscope - Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS).....	20
3.7.3 <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM).....	20
3.7.4 <i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance</i> (UV-Vis DRS)	20
3.7.5 Kondisi Optimum Degradasi.....	20
3.7.6 <i>Total Organic Carbon</i> (TOC).....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	22

4.1 Hasil Sintesis NiFe ₂ O ₄	22
4.2 Hasil Sintesis Komposit NiFe ₂ O ₄ /kitosan-glutaraldehyd.....	22
4.3 Hasil Sintesis NiFe ₂ O ₄ /kitosan-glutaraldehyd/NiO	23
4.4 Karakterisasi Material NiFe ₂ O ₄ , NiFe ₂ O ₄ /kitosan-glutaraldehyd dan NiFe ₂ O ₄ /kitosan-glutaraldehyd/NiO	24
4.4.1 Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM).....	24
4.4.2 Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	25
4.4.3 Karakterisasi Menggunakan <i>Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS)	27
4.4.4 Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-Vis DRS).....	28
4.4.5 Hasil <i>pH Point of Zero</i> (pH _{pzc}) Komposit NiFe ₂ O ₄ /kitosan-glutaraldehyd/NiO	29
4.5 Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Tetrasiklin oleh Komposit NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Glutaraldehyd/NiO.....	30
4.5.1 Pengaruh Variasi pH Tetrasiklin.....	30
4.5.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi Tetrasiklin.....	32
4.5.3 Pengaruh Variasi Waktu Kontak Tetrasiklin.....	33
4.6 <i>Total Organic Carbon</i> (TOC).....	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	35
5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran.....	35
DAFTAR PUSTAKA.....	36
LAMPIRAN	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Struktur Tetrasiklin	6
Gambar 2.	Struktur Spinel NiFe_2O_4 (Perron <i>et al.</i> , 2007)	7
Gambar 3.	Proses Degradasi Fotokatalitik Tetrasiklin Menggunakan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{NiO}$ (Hariani <i>et al.</i> , 2023)	9
Gambar 4.	(a) Pola difraksi NiFe_2O_4 dan (b) Pola difraksi $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{NiO}$ (Hariani, <i>et al.</i> , 2022)	11
Gambar 5.	Hasil SEM nanopartikel NiFe_2O_4 (Nurmayansih <i>et al.</i> , 2020)	12
Gambar 6.	Serbuk NiFe_2O_4 diuji menggunakan magnet eksternal	22
Gambar 7.	Serbuk NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd diuji menggunakan magnet eksternal.....	23
Gambar 8.	Serbuk NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd/ NiO diuji menggunakan magnet eksternal.....	23
Gambar 9.	Kurva Histeresis NiFe_2O_4 , NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd dan NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd/ NiO	24
Gambar 10.	Difraktogram (a.) NiFe_2O_4 , (b.) NiFe_2O_4 /KitosanGlutaraldehyd, (c.) NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd/ NiO	25
Gambar 11.	Morfologi (a). NiFe_2O_4 (b). NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd (c). NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd/ NiO dengan perbesaran 3.000x.....	27
Gambar 12.	Nilai <i>band gap</i> (a). NiFe_2O_4 (b). NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd (c). NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd/ NiO	29
Gambar 13.	Grafik pH _{pzc} NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd/ NiO	30
Gambar 14.	Kurva Efektivitas Penurunan Konsentrasi Tetrasiklin dengan Variasi pH Tetrasiklin	31
Gambar 15.	Kurva Efektivitas Penurunan Konsentrasi Tetrasiklin dengan Variasi Konsentrasi Tetrasiklin.....	32
Gambar 16.	Kurva Efektivitas Penurunan Konsentrasi Tetrasiklin dengan Variasi Waktu Kontak Tetrasiklin.....	33

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data VSM NiFe ₂ O ₄ , NiFe ₂ O ₄ /kitosan-glutaraldehyd, NiFe ₂ O ₄ /kitosan-glutaraldehyd/NiO	24
Tabel 2. Sudut 2θ berdasarkan JCPDS dan ukuran kristal NiFe ₂ O ₄ , NiFe ₂ O ₄ /kitosan-glutaraldehyd, NiFe ₂ O ₄ /kitosan-glutaraldehyd/NiO	25
Tabel 3. Data EDS NiFe ₂ O ₄ , NiFe ₂ O ₄ /kitosan-glutaraldehyd, NiFe ₂ O ₄ /kitosan-glutaraldehyd/NiO	28
Tabel 4. Hasil Analisa Karbon pada Tetrasiklin menggunakan TOC	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Diagram Alir Prosdur Penelitian.....	44
Lampiran 2.	Reaksi Pembentukan NiFe_2O_4	47
Lampiran 3.	Hasil Karakterisasi Menggunakan XRD NiFe_2O_4 , NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd, NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd/ NiO	48
Lampiran 4.	Hasil Karakterisasi Menggunakan VSM NiFe_2O_4 , NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd, NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd/ NiO	54
Lampiran 5.	Hasil Karakterisasi Menggunakan SEM-EDS NiFe_2O_4 , NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd, NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd/ NiO	55
Lampiran 6.	Hasil Karakterisasi Menggunakan UV-Vis DRS NiFe_2O_4 , NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd, NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd/ NiO	58
Lampiran 7.	Penentuan pH _{pzc} Komposit NiFe_2O_4 /Kitosan-Glutaraldehyd/ NiO	62
Lampiran 8.	Penentuan Panjang Gelombang Tetrasiklin	63
Lampiran 9.	Penentuan Kurva Kalibrasi Larutan Standar Tetrasiklin	64
Lampiran 10.	Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Tetrasiklin dengan Variasi pH Tetrasiklin Menggunakan Komposit NiFe_2O_4 /Kitosan-Glutaraldehyd/ NiO	65
Lampiran 11.	Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Tetrasiklin dengan Variasi Konsentrasi Tetrasiklin Menggunakan Komposit NiFe_2O_4 /Kitosan-Glutaraldehyd/ NiO	67
Lampiran 12.	Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Tetrasiklin dengan Variasi Waktu Kontak Tetrasiklin Menggunakan Komposit NiFe_2O_4 /Kitosan-Glutaraldehyd/ NiO	69
Lampiran 13.	Hasil Pengujian TOC Larutan Tetrasiklin.....	71
Lampiran 14.	Gambar Penelitian	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Antibiotik banyak digunakan dalam industri pembibitan untuk mempertahankan pertumbuhan ternak dan unggas yang sehat, sehingga dapat menghasilkan residu dalam jumlah besar dan mengakibatkan antibiotik larut ke dalam lingkungan perairan. Keberadaan antibiotik dalam perairan yang berlebih dapat menimbulkan potensi ancaman gangguan pada manusia melalui air minum dan irigasi (Bian *et al.*, 2023). Tetrasiklin merupakan salah satu jenis antibiotik yang digunakan pada manusia dan hewan (Tariq *et al.*, 2018). Tetrasiklin sering digunakan pada peternakan unggas karena dapat meningkatkan pertumbuhan dan mencegah serta mengobati berbagai penyakit akibat bakteri gram positif dan gram negatif. Tetrasiklin masuk ke lingkungan melalui urin dan feses karena penyerapan yang tidak sempurna dalam tubuh dan mengalami transformasi metabolisme yang kurang baik. Tetrasiklin juga sulit terurai karena sifat kimianya yang stabil sehingga sulit untuk dibersihkan dari lingkungan alam (He *et al.*, 2021). Ada beberapa metode untuk pengolahan air limbah diantaranya degradasi biologis, koagulasi-flokulasi, adsorpsi, filtrasi membran, oksidasi membran, dan degradasi fotokatalitik (Machrouhi *et al.*, 2022).

Fotokatalitik dengan menggunakan semikonduktor yang diaktifkan oleh cahaya adalah salah satu cara terbaik dan paling ramah lingkungan untuk pengolahan air limbah (He *et al.*, 2021). Fotokatalitik termasuk salah satu contoh proses oksidasi lanjutan yang berupa penguraian kimiawi molekul besar menjadi molekul tidak beracun. Fotokatalitik adalah teknologi yang baik untuk pengolahan air limbah industri karena ramah lingkungan, murah dan tidak menyebabkan polusi sekunder (Marcus *et al.*, 2022). Aktivitas fotokatalitik merupakan aktivitas senyawa yang berperan sebagai katalis pada cahaya atau biasa dikenal dengan fotokatalitik, sehingga zat berbahaya dan beracun dapat dihilangkan dengan menerapkan fotokatalitik degradasi (Bhagat *et al.*, 2017). Proses fotokatalitik terjadi akibat adanya cahaya dan material katalisis yang berinteraksi. Konsep fotokatalitik dimana suatu proses perubahan kimia yang bergantung pada foton sebagai sumber energi dan katalis untuk mempercepat kecepatan reaksi. Mekanisme tersebut

bergantung dengan kemampuan material semikonduktor seperti (TiO_2 , ZnO , NiO) untuk menyerap cahaya dan secara bersamaan transformasi reaksi antar permukaan material (Adnan *et al.*, 2021).

Terdapat berbagai jenis nanopartikel oksida logam, salah satunya nikel oksida. NiO telah menunjukkan daya tarik karena memiliki berbagai kegunaan yang bervariasi di berbagai sektor, termasuk dalam pengaplikasiannya sebagai sensor gas, superkapasitor, material magnet, semikonduktor, katalis, bahan katoda dalam baterai, anoda dalam sel bahan bakar oksida padat, serta dalam bidang farmasi (Kusumaningrum *et al.*, 2022). NiO memiliki keunggulan seperti kecepatan oksidasi yang rendah, tidak beracun, dan stabilitas kimia (Abd *et al.*, 2016). Nanopartikel NiO telah banyak digunakan sebagai fotokatalis untuk menghilangkan limbah dari air. Hal tersebut dikarenakan daya tahannya yang tinggi, sangat baik fotosensitifitasnya dan sifat optik yang tinggi. Beberapa penelitian telah dilakukan dengan logam oksida untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik di bawah cahaya tampak (Far *et al.*, 2022). Nanopartikel NiO menunjukkan stabilitas kimia yang baik dan memiliki celah pita lebar antara 3,6 – 4,0 eV (Khairnar & Shrivastava, 2019). *Band gap* yang cukup besar akan menghambat penyerapan dan penggunaan sinar matahari secara optimal, sementara sifat diamagnetik dari NiO akan menyulitkan proses pemisahan dalam penanganan limbah air. Cara mengatasi masalah tersebut perlu mengombinasikan dengan senyawa yang memiliki sifat magnet yang kuat dan efektif dalam berinteraksi dengan cahaya tampak (Shihab *et al.*, 2022).

Nanopartikel NiFe_2O_4 sebagai salah satu bahan spinel ferit yang menarik perhatian karena pengaplikasiannya luas di berbagai bidang termasuk antibiotik dan fotokatalisis. Nanopartikel tersebut berperan sebagai fotokatalis dalam pembuatan hidrogen dengan bantuan cahaya tampak dan memiliki sifat magnet yang kuat sehingga memungkinkan pemisahan setelah reaksi dengan menggunakan magnet eksternal. Pengkompositan dengan NiFe_2O_4 juga dapat menurunkan nilai *band gap* (Shihab *et al.*, 2022). Agar material terdistribusi merata maka diperlukan bahan penstabil berupa kitosan dalam mensintesis $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{NiO}$ (Senolinggi *et al.*, 2023). Penggunaan kitosan sebagai adsorben secara langsung kurang efisien karena kitosan memiliki sifat rapuh secara mekanik, mudah terdegradasi secara biologis

dan cenderung larut dalam asam encer. Cara mengatasi hal tersebut dengan melakukan modifikasi pada kitosan dengan proses pengembangan menjadi kitosan bertaut silang. Glutaraldehyd sering digunakan sebagai bahan penaut silang karena memiliki kemampuan untuk meningkatkan sifat mekanik kitosan maka struktur kitosan menjadi lebih stabil baik dalam kondisi termal maupun asam (Fathurrahman *et al.*, 2017).

Pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd dengan NiO yang berfungsi sebagai semikonduktor. Sintesis komposit NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd/NiO, komposit dianalisis menggunakan teknik XRD, VSM, UV-Vis DRS, dan SEM-EDS. Setelah itu, melakukan degradasi larutan tetrasiklin dengan variabel pH, konsentrasi dan waktu serta menentukan persentase dari penurunan karbon menggunakan TOC.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hasil sintesis komposit NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd/NiO?
2. Bagaimana penentuan kondisi optimum komposit NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd/NiO dalam mendegradasi fotokatalitik tetrasiklin dengan variabel konsentrasi, pH, dan waktu kontak?
3. Berapa persentase penurunan karbon sebelum dan sesudah degradasi yang dianalisis menggunakan *Total Organic Carbon* (TOC)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mensintesis komposit NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd/NiO kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD, SEM-EDS, VSM, UV-Vis DRS, dan pH_{pzc}.
2. Menentukan kondisi optimum komposit NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd/NiO dalam mendegradasi tetrasiklin dengan variabel pH, konsentrasi dan waktu kontak.
3. Menentukan persentase penurunan karbon sebelum dan sesudah degradasi yang dianalisis menggunakan *Total Organic Carbon* (TOC).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini untuk memberikan pengetahuan dan informasi kepada pembaca terhadap proses sintesis NiFe_2O_4 /Kitosan-Glutaraldehyd/ NiO sebagai fotokatalis dalam mendegradasi tetrasiklin sehingga dapat diterapkan dalam menangani limbah dan memberikan alternatif proses degradasi fotokatalitik tetrasiklin.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd, A. N., Ali, R. S., & Hussein, A. A. (2016). Fabrication And Characterization Of Nickel Oxide Nanoparticles/Silicon Heterojunction. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies (JMESS)*. 2(4): 434–440.
- Acharyulu, S. R., Prakash, N., & Sudha, P. N. (2014). Chitosan blended polystyrene synthesis and its use to remove the toxic effects of chromium and copper from industrial wastewater. *Der Pharma Chemica*. 6(2): 177–186.
- Adnan, F., Hidayat, R. K., & Meicahayanti, I. (2021). Pengaruh pH, UV dan TiO₂ Untuk Mendegradasi Variasi Asam Humat Berbasis Fotokatalisis. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 5(2): 9–16.
- Al-Rabi, M., Tjahjono, A., & Saptari, S. A. (2020). Analisis Fasa, Struktur Kristal dan Sifat Kemagnetan Material Komposit Berbasis Nd_{0.4}St_{0.4}MnO₃/Fe₂O₃. *Journal of Materials Science, Geophysics, Instrumentation and Theoretical Physics*. 3(2): 114–122.
- Ali, A., Chiang, Y. W., & Santos, R. M. (2022). X-Ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization: A Review for Engineers of the Fundamentals, Applications, and Research Directions. *Minerals*, 12(2): 1-25.
- Amiri, S., & Shokrollahi, H. (2013). The role of cobalt ferrite magnetic nanoparticles in medical science. *Materials Science and Engineering C*. 33(1): 1–8.
- Anandan, K., & Rajendran, V. (2015). Effects of Mn on the magnetic and optical properties and photocatalytic activities of NiO nanoparticles synthesized via the simple precipitation process. *Materials Science and Engineering*. 199:1-9.
- Andari, N. D., & Wardhani, S. (2014). Fotokatalis TiO₂ untuk Degradasi Metilen Biru. *Chem Prog*. 7(1): 9–14.
- Arianita, A., Cahyaningtyas, Amalia, B., Pudjiastuti, W., Melanie, S., Fauzia, V., & Imawan, C. (2019). Effect of glutaraldehyde to the mechanical properties of chitosan/nanocellulose. *Journal of Physics: Conference Series*. 1317(1): 1-8.
- Bhagat, M. M., Lokhande, D. P. B., & Mujawar, D. H. A. (2017). Photocatalytic Degradation of Carcinogenic Rhodamine 6G Dye By Strontium and Tin Doped Cadmium Sulphide Nanoparticles. *Journal of Research Publications in Engineering and Technology*. 3(6): 2454–2475.
- Bian, X., Li, F., Zhang, J., Zhong, M., Yang, Y., & Khan, S. (2023). Photocatalytic degradation of tetracycline antibiotics in swine wastewater using Fe³⁺-loaded NaBiO₃ coupled with sodium persulfate. *Catalysis Communications*. 174(106579): 1-11.
- Bunaciu, A. A., Udriştoiu, E. gabriela, & Aboul-Encin, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 45(4): 289–299.

- Dewi, S. H., & Ridwan. (2017). Sintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel Fe_3O_4 Magnetik Untuk Adsorpsi Kromium Heksavalen. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 13(2): 136–140.
- Doosti, M., Jahanshahi, R., Laleh, S., Sobhani, S., & Sansano, J. M. (2022). Solar light induced photocatalytic degradation of tetracycline in the presence of $\text{ZnO}/\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Co}_3\text{O}_4$ as a new and highly efficient magnetically separable photocatalyst. *Frontiers in Chemistry*. 10(1013349): 1–17.
- Esati, N. K., Cahyadi, K. D., & Lestari, G. A. D. (2023). Uji Kualitatif Dan Kuantitatif Tetrasiklin Dalam Simulasi Sampel Secara Spektrofotometri Uv-Vis. *Jurnal Farmamedika (Pharmamedica Journal)*. 8(1): 56–66.
- Far, H., Hamici, M., Brihi, N., Haddadi, K., Boudissa, M., Chihi, T., & Fatmi, M. (2022). High-performance photocatalytic degradation of NiO nanoparticles embedded on $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanoporous layers under visible light irradiation. *Journal of Materials Research and Technology*. 19: 1944–1960.
- Fathurrahman, M., Sugita, P., & Purwaningsih, H. (2017). Sintesis Dan Karakterisasi Kitosan Bertaut Silang Glutaraldehid Sebagai Adsorben Pemurnian Minyak Akar Wangi. *EduChemia (Jurnal Kimia Dan Pendidikan)*. 2(1): 103-118.
- Fransiscus, Y. (2006). Evaluation of Chemical Interaction on the Sorption Process of Escherichia Coli Under Saturated Conditions. *Jurnal Purifikasi*. 7(2): 157-162.
- Furqonita, A., Arisonang, A. B., & Agus Wibowo, M. (2021). Sintesis TiO_2 Terdoping Bi^{3+} dan Uji Aktivitas Fotokatalisis Antibakteri E.coli dengan Bantuan Sinar Tampak. *Indo. J. Pure App. Chem.* 4(4): 69–80.
- Gebreslassie, G., Bharali, P., Chandra, U., Sergawie, A., Baruah, P. K., Das, M. R., & Alemayehu, E. (2019). Hydrothermal Synthesis of $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{NiFe}_2\text{O}_4$ Nanocomposite and Its Enhanced Photocatalytic Activity. *Applied Organometallic Chemistry*. 33(8): 1–12.
- Gevao, B., Uddin, S., Krishnan, D., Rajagopalan, S., & Habibi, N. (2022). Antibiotics in Wastewater: Baseline of the Influent and Effluent Streams in Kuwait. *Toxics*. 10(4): 1–14.
- Girão, A. V., Caputo, G., & Ferro, M. C. (2017). Application of Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS). *Comprehensive Analytical Chemistry*. 75: 153–168.
- Hadiati, S., Ramelan, A. H., Variani, V., Hikam, M., Soegijono, B., Saputri, D. F., & Iriani, Y. (2013). Kajian Variasi Temperatur Annealing dan Holding Time pada Penumbuhan Lapisan Tipis $\text{BaZr}_{0.15}\text{Ti}_{0.85}\text{O}_3$ dengan Metode Sol-Gel. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*. 36(1): 20- 27.
- Haq, F. I., Zein, M., Nur, ad A., Gabriella, R., Putri, S. R., Nandiyanto, A. B. D., & Kurniawan, T. (2021). Literature Review: Synthesis Methods of NiFe_2O_4

- Nanoparticles for Aqueous Battery Applications. *International Journal of Sustainable Transportation Technology*. 4(2): 42–52.
- Hariani, P. L., Said, M., Rachmat, A., Nurmansyah, A., & Amallia, R. H. T. (2022). Comparison of the Photocatalytic degradation of congo red Dye using NiO and NiO-NiFe₂O₄ composite. *International Journal of Environmental Science and Development*. 13(3): 57–62.
- Hariani, P. L., Said, M., Rachmat, A., Salni, S., Aprianti, N., & Amatullah, A. F. (2022). Synthesis of NiFe₂O₄/SiO₂/NiO Magnetic and Application for the Photocatalytic Degradation of Methyl Orange Dye under UV Irradiation. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*. 17(4): 699–711.
- Hariani, P. L., Said, M., Rachmat, A., Aprianti, N., Stephanie, E. A. 2022. Synthesis of Fe₃O₄/SiO₂/NiO Magnetic Composite: Evaluation of its Catalytic Activity for Methylene Blue Degradation. *Global NEST Journal*. 24(10): 1–8.
- Hasan, I. A. (2021). Study and Design of Destroy and Treatment Bio and Chemical Waste Plant in Hospitals. *International Journal of Science and Research*. 10(5): 2019–2022.
- He, X., Kai, T., & Ding, P. (2021). Heterojunction photocatalysts for degradation of the tetracycline antibiotic: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 19(6): 4563–4600.
- Hidayah, E. N., & Cahyonugroho, O. H. (2021). Bahan Organik Alami Dalam Air Dampak dan Karakterisasi. Surabaya: CV Jakad Media Publishing.
- Hong, S. J., Mun, H. J., Kim, B. J., & Kim, Y. S. (2021). Characterization of nickel oxide nanoparticles synthesized under low temperature. *Micromachines*, 12(1168): 1–10.
- Julita, M., Shiddiq, M., & Khair, M. (2023). Penentuan Energi Celah Pita (Band Gap) Nanopartikel ZnO/Au Hasil Ablasi Laser dalam Cairan. *Periodic*. 12(2): 71–74.
- Jumardin, Maddu, A., Santoso, K., & Isnaeni. (2022). Karakteristik Sifat Optik Nanopartikel Karbon (Carbon Dots) Dengan Metode Uv-Vis Drs (Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy). *JFT: Jurnal Fisika Dan Terapannya*. 9(1): 1–15.
- Khairnar, S. D., & Shrivastava, V. S. (2019). Facile synthesis of nickel oxide nanoparticles for the degradation of Methylene blue and Rhodamine B dye: a comparative study. *Journal of Taibah University for Science*. 13(1): 1108–1118.
- Kustomo. (2020). Uji karakterisasi dan mapping magnetit nanopartikel terlapis asam humat dengan Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX). *Indonesian Journal of Chemical Science*. 9(3): 149–153.

- Kusumaningrum, D., Hadisantoso, E. P., & Sudiarti, T. (2022). Pengaruh Surfaktan pada Sintesis Nikel (II) Oksida (NiO) dengan Metode Presipitasi untuk Penanganan Metilen Biru Secara Fotokatalisis. *Seminar Nasional Kimia 2021 UIN Sunan Gunung Djati*, 7(1): 38–50.
- Leksanawati, I. F., Peminatan, M., Lingkungan, K., Masyarakat, F. K., Diponegoro, U., Lingkungan, B. K., Masyarakat, F. K., Diponegoro, U., Saluran, I., & Bawah, N. (2020). Glutaraldehid sebagai alternatif untuk bahan sterilisasi alat medis di rumah sakit. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. 8(6): 846-854.
- Lin, W., Guan, X., Cao, J., Niu, B., & Chen, Q. (2017). Bactericidal mechanism of glutaraldehyde-didecyldimethylammonium bromide as a disinfectant against *Escherichia coli*. *Journal of Applied Microbiology*. 122(3): 676–685.
- Lubis, W. Z., & Mujamilah, M. (2017). Pengukuran Sampel Magnetik Cair dengan Vibrating Sample Magnetometer (VSM). *JPSE (Journal of Physical Science and Engineering)*. 2(2): 39–47.
- Machrouhi, A., Khiar, H., Elhalil, A., Sadiq, M., Abdennouri, M., & Barka, N. (2022). Synthesis, characterization, and photocatalytic degradation of anionic pollutant using a novel ZnO/activated carbon composite. *Journal Pre-proofs*. 12(1): 1-23.
- Marcus, R. N., Joseph, C. G., Taufiq-Yap, Y. H., Soloi, S., Majid, M. H. A., Jamain, Z., Ali, S. A. M., Vijayan, V., & Pang, C. K. (2022). Current Trends on the Utilization of Ozonation Treatment Process for the Remediation of Dye Wastewater: A Short Review. *Malaysian Journal of Chemistry*. 24(3): 113–124.
- Muflihatun, Shofiah, S., & Suharyadi, E. (2015). Sintesis Nanopartikel Nickel Ferrite (NiFe₂O₄) dengan Metode Koprinsipitasi dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya. *Jurnal Fisika Indonesia*. 19(56): 20–25.
- Nejati, K., & Zabihi, R. (2012). Preparation and magnetic properties of nano Mn-Zn ferrite particles. *Chemistry Central*. 43(1): 37–41.
- Nie, C., Zeng, W., & Li, Y. (2019). The 3D crystal morphologies of NiO gas sensor and constantly improved sensing properties to ethanol. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 30(2): 1794–1802.
- Nurhaeni, N., Hardianti, D., Hardi, J., Diharnaini, D., & Khairunnisa, K. (2019). Recovery Remazol Yellow Menggunakan Gel Kitosan Tertaut Silang Glutaraldehid. *Jurnal Riset Kimia*. 4(3): 254–261.
- Nurhasnawati, H., Jubaidah, S., & Elfia, N. (2017). Penentuan Kadar Residu Tetrasiklin HCl Pada Ikan Air Tawar yang Beredar di Pasar Segiri Menggunakan Metode Spektrofotometri Ultra Violet. *Jurnal Ilmiah Mamuntung*. 2(2): 173–178.
- Nurmayansih, A., Hariani, P. L., & Said, M. (2020). Synthesis NiFe₂O₄ Nanoparticles by co-Precipitation Method for Degradation of Congo Red Dye.

Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry. 6(3): 115-121.

- Ojemaye, M. O., Okoh, O. O., & Okoh, A. I. (2017). Performance of NiFe₂O₄-SiO₂-TiO₂ Magnetic Photocatalyst for the Effective Photocatalytic Reduction of Cr(VI) in Aqueous Solutions. *Journal of Nanomaterials*. 1(1): 1-11.
- Olusegun, S. J., Larrea, G., Osial, M., Jackowska, K., & Kryszinski, P. (2021). Photocatalytic degradation of antibiotics by superparamagnetic iron oxide nanoparticles. Tetracycline case. *Catalysts*. 11(10): 1-17.
- Padma, Ranju, S., Yeshas, Kavya, S. L., Sukrutha, S. K., Kumar, M. R. A., Kumar, A. N., Kumaraswamy, M., Purushotham, B., & Boppana, S. B. (2022). A comparative study of green and chemically synthesized nano nickel oxide for multifunctional applications. *Applied Surface Science Advances*, 12(100318): 1-13.
- Perron, H., Mellier, T., Domain, C., Roques, J., Simoni, E., Drot, R., & Catalette, H. (2007). Structural investigation and electronic properties of the nickel ferrite NiFe₂O₄: A periodic density functional theory approach. *Journal of Physics Condensed Matter*. 19(34): 1-10.
- Putra, D. L., Setiawan, F., & Wicaksono, D. (2023). Analisis Uji EDX Pada Material Komposit Berpenguat Karbon. *Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*. 9(2), 306-313.
- Rahmayanti, D., Manurung, P., & Marjunus, R. (2023). Perbandingan Aktifitas Fotokatalis Nanotitania Tanpa dan dengan Penambahan Etanolamina di bawah Sinar Matahari. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*. 11(01): 99-104.
- Ramezani, S., Ghazitabar, A., & Sadrnezhad, S. K. (2016). Synthesis and characterization of chitosan coating of NiFe₂O₄ nanoparticles for biomedical applications. *Journal of the Iranian Chemical Society*. 13(11): 2069-2076.
- Ravele, M. P., Oyewo, O. A., Ramaila, S., Mavuru, L., & Onwudiwe, D. C. (2021). Photocatalytic degradation of tetracycline in aqueous solution using copper sulfide nanoparticles. *Catalysts*. 11(10): 1-16.
- Reghioua, A., Barkat, D., Jawad, A. H., Abdulhameed, A. S., & Khan, M. R. (2021). Synthesis of Schiff's base magnetic crosslinked chitosan-glyoxal/ZnO/Fe₃O₄ nanoparticles for enhanced adsorption of organic dye: Modeling and mechanism study. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. 20(100379): 1-15.
- Riyanti, F., Hariani, P. L., Fatma, Yuliasari, N., Said, M., & Ramadiati, T. (2020). Synthesis of chitosan-SiO₂ composite for adsorption methyl dyes from solution. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 857(1): 1-7.
- Sabur, A., Rahman, G. M. S., Gafur, A., Abdullah, M., & Mamun, A. (2022). Fabrication and Characterization of Nanocomposites Based on NiFe₂O₄ Nanoparticles and Epoxy Polymer. *Journal of Materials and Environmental Science*. 13(8): 852-868.

- Sagadevan, S., Chowdhury, Z. Z., Rafique, R. F., & Brunswick, N. (2017). Preparation and Characterization of Nickel ferrite Nanoparticles via Co-precipitation Method 3. *Materials Research*. 1(0533): 1-5.
- Senolinggi, G., Aritonang, H. F., & Katja, D. G. (2023). Sintesis Nanokomposit Kitosan/Ag/Fe₃O₄ sebagai Fotokatalis untuk Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue. *Chemistry Progress*. 16(2): 163-171.
- Shihab, F., Hadisantoso, E. P., & Setiadi, S. (2022). Sintesis dan Karakterisasi Nanokomposit ZnO / NiFe₂O₄ dari Limbah Baterai menggunakan Metode Solid State sebagai Fotokatalis Zat Warna Metilen Biru. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*. 15(1)23-32.
- Sneha, P. S., John, N., Anbudayanidhi, S., Rajesh, K. A., Ipt-kochi, C., Colony, H. I. L., Road, E., & Eloor, U. P. O. (2022). Synthesis of Chitosan and Carrageenan based Hydrogels for pH Sensing, Urea Adsorption and Dye Adsorption. *Int. J. Sci. Res.* 11(10): 448-453.
- Srisuriyachot, J., McNair, S. A. M., Chen, Y., Barthelay, T., Gray, R., Bénézech, J., Dolbnya, I. P., Butler, R., & Lunt, A. J. G. (2022). Carbon fibre lattice strain mapping via microfocus synchrotron X-ray diffraction of a reinforced composite. *Carbon*. 200(1): 347-360.
- Sugiyana, D., & Notodarmojo, S. (2015). Studi Mekanisme Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Azo Acid Red 4 Menggunakan Katalis Mikropartikel TiO₂. *Arena Tekstil*. 30(2): 83-94.
- Sunaryono, S., Taufiq, A., Nurdin, N., & Darminto, D. (2013). Kontribusi Filler Magnetik Fe₃O₄ pada Efek Histerisis Magneto-Elastisitas Komposit Ferogel. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*. 9(1): 37-41.
- Taeño, M., Maestre, D., & Cremades, A. (2021). An approach to emerging optical and optoelectronic applications based on NiO micro and nanostructures. *Nanophotonics*. 10(7): 1785-1799.
- Tariq, S., Rizvi, S. F. A., & Umam, A. (2018). Tetracycline: Classification, Structure Activity Relationship and Mechanism of Action as a Theranostic Agent for Infectious Lesions-A Mini Review. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*. 7(2): 5787-5796.
- Tebriani, S. (2019). Analisis Vibrating Sample Magnetometer (VSM) Pada Hasil Elektrodeposisi Lapisan Tipis Magnetite Menggunakan Aruscontinue Direct Current. *Natural Science Journal*. 5(1): 722-730.
- Utami, A. R., & Wulandari, C. N. (2020). Verifikasi metode pengujian Total Organic Carbon (TOC) dalam air limbah kegiatan minyak dan gas dengan menggunakan TOC analyzer. *Prosiding Seminar Nasional Kimia (SNK)*. 258-267.
- Wardiyati, S., Fisli, A., & Ridwan, D. (2011). Penyerapan Logam Ni Dalam Larutan Oleh Nanokomposit Fe₃O₄-Karbon Aktif. *Jurnal Sains Materi*

Indonesia, 12(3): 1411–1098.

- Zandipak, R., & Sobhanardakani, S. (2016). Synthesis of NiFe₂O₄ nanoparticles for removal of anionic dyes from aqueous solution. *Desalination and Water Treatment*, 57(24): 11348–11360.
- Zhu, H. Y., Jiang, R., Huang, S. H., Yao, J., Fu, F. Q., & Li, J. B. (2015). Novel magnetic NiFe₂O₄/multi-walled carbon nanotubes hybrids: Facile synthesis, characterization, and application to the treatment of dyeing wastewater. *Ceramics International*, 41(9): 11625–11631.