

**SINTESIS KOMPOSIT NiFe₂O₄/KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL/ZnO
SEBAGAI FOTOKATALIS DALAM DEGRADASI ANTIBIOTIK
TETRASIKLIN**

SKRIPSI

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



Oleh :

**Dian Sintia Wati
080312820205032**

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

2024

HALAMAN PENGESAHAN

**SINTESIS KOMPOSIT NiFe₂O₄/KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL/ZnO
SEBAGAI FOTOKATALIS DALAM DEGRADASI ANTIBIOTIK
TETRASIKLIN**

SKRIPSI

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

Oleh:

DIAN SINTIA WATI

08031282025032

Indralaya, 27 Maret 2024

Mengetahui

Pembimbing I



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

NIP. 196808271994022001

Pembimbing II



Fahma Riyanti, M.Si.

NIP. 197204082000032001

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

NIP. 1971111919972021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Dian Sintia Wati (08031282025032) dengan judul "Sintesis Komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Polivinil Alkohol/ZnO}$ Sebagai Fotokatalis dalam Degradasi Antibiotik Tetrasiklin", telah diseminarkan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 27 Maret 2024 dan telah diperbaiki, diperiksa, dan disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 27 Maret 2024

Ketua:

1. Dr. Eliza, M.Si.

NIP. 196407291991022001

()

Sekretaris:

1. Dr. Zaninal Fanani, M.Si.

NIP. 196708211995121001

()

Pembimbing:

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

NIP. 196808271994022001

()

2. Fahma Riyanti, M.Si.

NIP. 197204082000032001

()

Penguji:

1. Dr. Nova Yuliasari, M.Si.

NIP. 197307261999032001

()

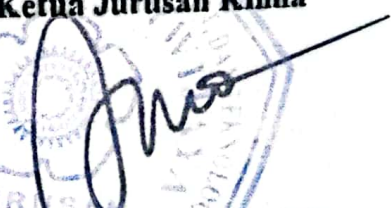
2. Dr. Muhammad Said, M.T.

NIP. 197407212001121001

()

Mengetahui

Ketua Jurusan Kimia

()
Prof. Dr. Muharni, M.Si
NIP. 19690304199412201



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bersangkutan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Dian Sintia Wati

NIM : 08031282025032

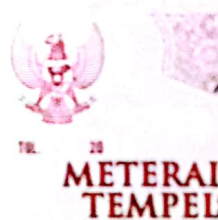
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain. Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain baik yang 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, 27 Maret 2024

Yang Menyatakan



CB18AALX093022038

Dian Sintia Wati

NIM. 08031282025032

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

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

Nama Mahasiswa : Dian Sintia Wati
NIM : 08031282025032
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya "hak bebas royalti non-eksklusif" (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: "Sintesis Komposit NiFe₂O₄/Kitosan-Polivinil Alkohol/ZnO Sebagai Fotokatalis Dalam Degradasi Antibiotik Tetrasiklin". Dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini, Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, mengedit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Indralaya, 27 Maret 2024

Penulis



Dian Sintia Wati

NIM. 08031282025032

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan”

(Q.S Al-Insyirah : 5)

“Dan bersabarlah kamu, sesungguhnya janji Allah adalah benar.”

(Q.S Ar Rum : 60)

Skripsi ini sebagai tanda syukur kepada:

1. Allah SWT
2. Nabi Muhammad SAW
3. Bapak dan Almh Ibu
4. Adek
5. Seluruh keluarga besar Mbah Prpto dan Mbah Narto
6. Almamater

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas kehadiran dan limpahan rahmatnya, sehingga penulis mampu menyelesaikan salah satu syarat untuk menyelesaikan program sarjana (S1) yakni skripsi yang berjudul “Sintesis Komposit NiFe₂O₄/Kitosan-Polivinil Alkohol/ZnO Sebagai Fotokatalis dalam Degradasi Antibiotik Tetrasiklin” dengan baik. Sholawat serta salam juga tak lupa penulis curahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW.

Dalam proses penyusunan skripsi penulis menemui berbagai hambatan, mulai dari biaya, pikiran, penelitian, penulisan, pengolahan data dan seterusnya. Namun dengan tekad dan tanggung jawab atas kepercayaan orang tua sebagai mahasiswa serta dukungan dari pihak lain baik berupa dukungan moril maupun materil alhamdulillah skripsi dapat terselesaikan. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Ibu **Prof. Dr. Poedji Loekitowati, M.Si. dan Ibu Fahma Riyanti, M.Si** yang telah membimbing, membantu, serta memberikan motivasi penulis sejak awal hingga skripsi selesai. Pada kesempatan ini penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmatnya yang luar biasa serta mengabulkan doa-doa orang tua penulis, penulis serta pihak lain sehingga penulis sampai pada tahap ini.
2. Keluarga penulis (Pae, alm. Mae, adek Dava) yang telah banyak memberikan banyak dukungan baik dukungan doa, materil, dorongan rasa semangat dan terus mengingatkan penulis agar jangan lelah berdoa kepada Allah.
3. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si, M.Si., Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya, ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya dan bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Dr. Nova Yuliasari, M.Si. dan bapak Dr. Muhammad Said, M.T. selaku dosen pembahas serta penguji pada seminar dan sidang akhir penulis. Terima kasih atas saran dan bantuan kepada penulis.
5. Dr. Eliza, M.Si. dan Dr. Zaninal Fanani, M.Si. selaku ketua dan sekertaris pada sidang akhir penulis. Terima kasih atas masukkan kepada penulis.

6. Seluruh Dosen Kimia FMIPA yang telah memberikan ilmu, semangat, motivasi dan pengalaman selama kuliah di Universitas Sriwijaya.
7. Keluarga Besar mbah Prapto dan mbah Narto. Terima kasih atas seluruh bantuan, dorongan, dukungan serta semangat kepada penulis.
8. Mbak Novi dan kak Iin selaku admin jurusan Kimia yang telah membantu mengurus administrasi penulis selama kuliah di Universitas Sriwijaya.
9. Teman teman seperjuangan TA, Fita, Lae, Okta, Elpera, Yeni, Vira, Elsa, Rizky yang telah banyak membantu dan mendukung. Terima kasih juga telah menjadi teman-teman yang baik dan saling peduli. Untuk Fita dan Lae, terima kasih banyak telah menjadi teman kesana kesini mengurus perlengkapan untuk jadi S.Si mulai dari semkem, suliet, semhas, sidang hingga yudisium.
10. Teman kostku, Dina, meskipun hanya 1,5 tahun sekost bersama. Terima kasih telah mau berbagi cerita dengan penulis dan terima kasih juga atas segala pengertiannya meskipun penulis sering kali merepotkan. Salsabila Mardiyah, Terima kasih telah banyak membantu selama perkuliahan, baik mengenai materi kuliah hingga tugas-tugas selama perkuliahan. Tak lupa juga Adihyaksa, terimakasih telah bersedia membantu mengantar penulis memenuhi kebutuhan menuju S.Si.
11. Teman-teman angkatan 2020. Terima kasih atas segala bantuan dan informasi selama perkuliahan. Semangat dan sukses selalu.
12. Adik asuh Mayang dan Acca, penulis meminta maaf jika belum bisa menjadi kasuh yang baik, dan belum bisa banyak membantu selama perkuliharaan.
13. Kakak tingkat 2018 dan 2019. Terutama untuk bang ikki, bang mahdi, bang eko, bang sahrul, kak balqis, bang iqbal, bang gumay, bang rizky firdais dan kakak-kakak lain yang telah memberikan kenangan seru dan berkesan kepada penulis selama perkuliahan, serta terima kasih atas segala bentuk dukungan kepada penulis.
14. Sahabat SMK penulis, Gege, Diana, Fitmon dan Yulio yang telah banyak sekali membantu, menghibur, memberikan semangat dan motivasi kepada penulis.

15. Yoga Ardianto, terima kasih telah selalu siap sedia mendengarkan semua keluh kesah penulis selama perkuliahan.
16. Sahabat SMP Penulis, Puput, terima kasih telah menerima segala bentuk ketidak normalan penulis dalam menghadapi berbagai cobaan, terima kasih atas doa dan kalimat-kalimat yang mendorong penulis untuk tetap menjadi tegar.
17. Seluruh guru TK. Kuncup Harapan, SDN 1 Sedyo Mulyo, SMPN3 Mesuji Raya, SMK Aisyiyah Palembang. Terima Kasih atas semua ilmu yang telah ibu/bapak berikan kepada penulis, tanpa ibu/bapak guru penulis tidak mungkin sampai di titik ini.

Semoga semua kebaikan yang telah diberikan kepada penulis akan dibalas dengan kebaikan yang berlipat-lipat oleh Allah SWT dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa/mahasiswi Jurusan Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya dan semua pihak yang membutuhkan.

Indralaya, 27 Maret 2024

Panulis



Dian Sintia Wati

NIM. 08031282025032

SUMMARY

COMPOSITE SYNTHESIS OF NiFe₂O₄/CHITOSAN-POLYVINYL ALCOHOL/ZnO AS A PHOTOCATALYST IN TETRACYCLINE DEGRADATION

Dian Sintia Wati: Supervised by Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si and Fahma Riyanti, M.Si.

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

xvii + 77 pages, 4 tables, 18 figures, 11 appendices

Tetracycline antibiotics are widely used in the field of animal husbandry and aquaculture. The stability of tetracycline's structure makes it difficult to degrade in aquatic environments, posing potential risks to human health. Therefore, wastewater treatment of tetracycline is essential, utilizing photocatalysis methods. This research focuses on the synthesis of NiFe₂O₄/Chitosan-PVA/ZnO composite as a photocatalyst in tetracycline degradation. ZnO acts as a catalyst and is combined with NiFe₂O₄ to reduce the band gap of ZnO. Chitosan-PVA in the composite acts as a barrier between ZnO and NiFe₂O₄ to preventing photodissolenscence. The synthesized composite NiFe₂O₄/Chitosan-PVA/ZnO is characterized using VSM, XRD, SEM-EDX, and UV-DRS. VSM characterization indicates a saturation magnetization value of 44.46 emu/g for NiFe₂O₄/Chitosan-PVA/ZnO composite. XRD characterization reveals the highest intensity at an angle of $2\theta = 33.49^\circ$ with particle size of 30.26 nm. SEM-EDX characterization displays a surface morphology coated with more uniform grains, with Ni 10.51%, Fe 25.42%, O 17.22%, C 11.81%, and Zn 29.23%. UV-DRS characterization shows a band gap value of 1.59 eV. Optimal conditions for tetracycline concentration reduction occur at pH 4 with a tetracycline concentration of 20 ppm and a contact time of 120 minutes. The efficiency of tetracycline reduction at optimum conditions is 98.80%. TOC analysis indicates a carbon percentage decrease of 8.68% in the 20 ppm tetracycline solution.

Keywords : NiFe₂O₄/Chitosan-PVA/ZnO, photocatalytic degradation, tetracycline

Citations : 81 (2001-2023)

RINGKASAN

SINTESIS KOMPOSIT NiFe₂O₄/KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL/ZnO SEBAGAI FOTOKATALIS DALAM DEGRADASI ANTIBIOTIK TETRASIKLIN

Dian Sintia Wati: Dibimbing oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si dan Fahma Riyanti, M.Si.

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

xvii + 77 halaman, 4 tabel, 18 gambar, 11 lampiran

Antibiotik tetrasiklin merupakan antibiotik yang banyak digunakan pada bidang peternakan dan budidaya perikanan. Keberadaan tetrasiklin di lingkungan perairan sulit terdegradasi akibat strukturnya yang stabil sehingga dapat menyebabkan dampak buruk bagi kesehatan manusia. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan limbah tetrasiklin menggunakan metode fotokatalisis. Penelitian ini mengenai sintesis komposit NiFe₂O₄/Kitosan-PVA/ZnO sebagai fotokatalis dalam degradasi antibiotik tetrasiklin. ZnO bertindak sebagai katalis dan dikombinasikan dengan NiFe₂O₄ yang bertujuan untuk menurunkan nilai celah pita ZnO. Kitosan-PVA pada komposit bertindak sebagai penghalang antara ZnO dan NiFe₂O₄ untuk mencegah terjadinya efek fotodisolusi. Hasil sintesis komposit NiFe₂O₄/Kitosan-PVA/ZnO dikarakterisasi menggunakan VSM, XRD, SEM-EDX dan UV-DRS. Hasil karakterisasi VSM menunjukkan komposit NiFe₂O₄/Kitosan-PVA/ZnO memiliki nilai magnetisasi saturasi sebesar 44,46 emu/g. Hasil karakterisasi menggunakan XRD komposit NiFe₂O₄/Kitosan-PVA/ZnO menunjukkan intensitas tertinggi pada sudut $2\theta = 33,49^\circ$ dengan ukuran partikel sebesar 30,26 nm. Hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDX komposit NiFe₂O₄/Kitosan-PVA/ZnO menunjukkan morfologi permukaan padatan terlapisi oleh butiran-butiran yang lebih seragam yang terdiri dengan persentase massa unsur Ni 10,51%, Fe 25,42%, O 17,22%, C 11,81% dan Zn 29,23%. Hasil karakterisasi menggunakan UV-DRS menunjukkan nilai celah pita sebesar 1,59 eV. Kondisi optimum penurunan konsentrasi tetrasiklin terjadi pada pH 4 dengan konsentrasi tetrasiklin sebesar 20 ppm dan waktu kontak selama 120 menit. Efisiensi penurunan kadar tetrasiklin pada kondisi optimum sebesar 98,80%. Hasil analisa TOC pada larutan tetrasiklin 20 ppm mengalami penurunan persentase karbon sebesar 8,68%.

Kata kunci : NiFe₂O₄/Kitosan-PVA/ZnO, degradasi fotokatalitik, tetrasiklin.

Kutipan : 81 (2001-2023).

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
SUMMARY.....	iv
RINGKASAN.....	v
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. 1 Latar Belakang	1
1. 2 Rumusan Masalah	3
1. 3 Tujuan Penelitian	3
1. 4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2. 1 Antibiotik.....	4
2. 2 Tetrasiklin	4
2. 3 Proses Fotokatalitik.....	5
2. 4 Seng Oksida (ZnO)	7
2. 5 Kitosan-Polivinil Alkohol	8
2. 6 Nikel Ferrit (NiFe ₂ O ₄).....	9
2. 7 X-Ray Diffraction (XRD).....	10
2. 8 <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray</i>	11
2. 9 <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>	12
2. 10 <i>Uv-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy (Uv-Vis DRS)</i>	13
2. 11 pH Point of Zero Charge (pH pzc).....	14
2. 12 Total Organic Carbon (TOC).....	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3. 1 Waktu dan Tempat	15
3. 2 Alat dan Bahan.....	15
3. 2. 1 Alat	15

3. 2. 2	Bahan	15
3. 3	Prosedur Percobaan.....	15
3. 3. 1	Sintesis NiFe ₂ O ₄ dengan metode kopresipitasi.	15
3. 3. 2	Sintesis NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA	16
3. 3. 3	Sintesis Komposit NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA/ZnO	16
3. 4	Karakterisasi Material	16
3. 4. 1	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	16
3. 4. 2	<i>Scanning Electron Microscopy- Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i>	17
3. 4. 3	<i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>	17
3. 4. 4	<i>Ultrafiolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (Uv-Vis DRS)</i>	17
3. 4. 5	Penentuan pH <i>Point Zero Charge</i> (pH _{PZC})	17
3. 5	Penentuan Konsentrasi Antibiotik Tetrasiklin.....	17
3. 5. 1	Pembuatan Larutan Induk Tetrasiklin 1000 ppm.....	17
3. 5. 2	Pembuatan Larutan Standar Tetrasiklin.....	18
3. 5. 3	Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Tetrasiklin.....	18
3. 5. 4	Penentuan Kurva Kalibrasi Antibiotik Tetrasiklin.....	18
3. 6	Penentuan Kondisi Terbaik Penurunan Konsentrasi Antibiotik Tetrasiklin	18
3. 6. 1	Pengaruh pH.....	18
3. 6. 2	Pengaruh Konsentrasi Tetrasiklin	19
3. 6. 3	Pengaruh Waktu Kontak	19
3. 7	Analisis Data.....	19
3. 7. 1	Persentase Penurunan Nilai Magnetisasi Saturasi Material	19
3. 7. 2	Ukuran Partikel	20
3. 7. 3	Kandungan Unsur	20
3. 7. 4	<i>Band Gap</i>	20
3. 7. 5	Persentase Degradasi Konsentrasi Tetrasiklin	21
3. 7. 6	Persentase Degradasi Konsentrasi Karbon Organik...	21

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	22
4. 1 Karakterisasi Material NiFe ₂ O ₄ , NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA, dan NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA/ZnO	22
4. 1. 1 Hasil karakterisasi menggunakan VSM.....	22
4. 1. 2 Hasil Karakterisasi Menggunakan XRD.....	24
4. 1. 3 Hasil Karakterisasi Menggunakan SEM-EDS	27
4. 1. 4 Hasil Karakterisasi Menggunakan UV-VIS DRS	29
4. 1. 5 Nilai pH pzc Komposit NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA/ZnO .	30
4. 2 Penentuan Kondisi Optimum Penurunan Konsentrasi Tetrasiklin.....	31
4. 2. 1 Pengaruh pH.....	31
4. 2. 2 Pengaruh Konsentrasi Tetrasiklin	33
4. 2. 3 Pengaruh Lama Waktu Kontak	34
4. 3 Analisa TOC	35
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	36
5. 1 Kesimpulan.....	36
5. 2 Saran.....	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Struktur Antibiotik Tetrasiklin.....	5
Gambar 2	Mekanisme fotokatalitik umum	6
Gambar 3	Struktur Unit Sel	9
Gambar 4	Hasil Karakterisasi XRD	10
Gambar 5	Hasil Karakterisasi SEM	11
Gambar 6	Kurva histeris medan magnetisasi-magnetik	12
Gambar 7	Spektra Uv-Vis DRS	13
Gambar 8	<i>pH point of zero charge</i> (pHpzc) NiFe ₂ O ₄	14
Gambar 9	Pengujian NiFe ₂ O ₄ menggunakan magnet eksternal.....	23
Gambar 10	Pengujian NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA menggunakan magnet eksternal.....	24
Gambar 11	Pengujian NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA/ZnO menggunakan magnet eksternal.....	24
Gambar 12	Spektra XRD (a) NiFe ₂ O ₄ , (b) NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA, dan (c) NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA/ZnO	25
Gambar 13	Morfologi SEM EDS Senyawa (a) NiFe ₂ O ₄ , (b) NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Polivinil alkohol, dan (c) NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Polivinil alkohol/ZnO perbesaran 10.000×.....	28
Gambar 14	Nilai celah pita (a) NiFe ₂ O ₄ (b) NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA (c) nilai celah pita NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA/ZnO.....	29
Gambar 15	Kurva pHpzc NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA/ZnO	31
Gambar 16	Kurva Persentase penurunan konsentrasi tetrasiklin terhadap pengaruh pH.....	32
Gambar 17	Kurva Persentase penurunan konsentrasi tetrasiklin terhadap pengaruh konsentrasi tetrasiklin	33
Gambar 18	Kurva persentase penurunan konsentrasi tetrasiklin terhadap pengaruh waktu kontak	34

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Data VSM NiFe ₂ O ₄ , NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA, dan NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA/ZnO	22
Tabel 2	Sudut 2θ komposit dengan data JCPDS dan ukuran partikel	26
Tabel 3	Data EDS NiFe ₂ O ₄ , NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Polivinil alkohol, dan NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Polivinil alkohol/ZnO	28
Tabel 4	Hasil pengujian <i>Total Organic Carbon</i> Larutan Tetrasiklin	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Proses Sintesis Nanomagnetik NiFe ₂ O ₄ , NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA, NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA/ZnO	46
Lampiran 2.	Reaksi Pembentukan Nanomagnetik NiFe ₂ O ₄	49
Lampiran 3.	Hasil Karakterisasi Menggunakan XRD NiFe ₂ O ₄ , NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA, dan NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA/ZnO	50
Lampiran 4.	Hasil Karakterisasi Menggunakan VSM NiFe ₂ O ₄ , NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA, dan NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA/ZnO	57
Lampiran 5.	Hasil Karakterisasi Menggunakan SEM-EDS NiFe ₂ O ₄ , NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA, dan NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA/ZnO	58
Lampiran 6.	Hasil Karakterisasi Menggunakan UV-VIS DRS NiFe ₂ O ₄ , NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA, dan NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA/ZnO	61
Lampiran 7.	Penentuan pH _{pzc} Komposit NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA/ZnO	64
Lampiran 8.	Penentuan Panjang Gelombang Tetrasiklin.....	65
Lampiran 9.	Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar Tetrasiklin.....	66
Lampiran 10.	Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Tetrasiklin.....	67
Lampiran 11.	Perhitungan <i>Total Organic Carbon</i> (TOC)	76

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan antibiotik terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Salah satu antibiotik yang banyak digunakan adalah antibiotik tetrasiklin terutama dibidang budidaya perikanan dan peternakan. Pada bidang peternakan selain digunakan dengan tujuan pengobatan, tetrasiklin juga dimasukkan kedalam pakan ternak sebagai pemacu pertumbuhan hewan ternak (Chinchilla & Rodríguez, 2017). Namun akibat kurangnya penyerapan oleh metabolisme hewan sebanyak 50-80% tetrasiklin diekresikan melalui urin dan feses (Liao *et al.*, 2021). Berdasarkan penelitian mengenai evaluasi antibiotik dalam kotoran hewan Li, *et al* (2013), menemukan kadar tetrasiklin maksimum sebesar 56,81 mg/kg. Sedangkan pada budidaya perikanan sebanyak 80% limbah air yang mengandung antibiotik akan dialirkan kelingkungan perairan (Amangelsin *et al.*, 2023). Oleh karena tingginya limbah tetrasiklin yang dihasilkan dan sulitnya proses degradasi dilingkungan secara alami maka perlu dilakukan pengolahan.

Pengolahan air akibat cemaran antibiotik tetrasiklin dapat dilakukan dengan beberapa metode yang diantaranya berupa filtrasi, adsorpsi, ozonasi, dan lain sebagainya. Metode-metode tersebut memiliki kekurangan seperti menghasilkan limbah baru pada metode filtrasi, terbatasnya kapasitas adsorben dan sulitnya regenerasi pada metode adsorpsi, membutuhkan biaya yang tinggi serta sulitnya menguraikan hasil samping pada metode ozonasi (Rasheed *et al.*, 2019; Nasrollahi *et al.*, 2022; Rame dkk., 2017). Metode alternatif yang dapat memenuhi kekurangan tersebut adalah metode fotokatalisis. Selain hemat biaya, fotokatalisis tidak membutuhkan energi yang besar, dapat digunakan berulang, dan tidak berbahaya bagi lingkungan (Tahir *et al.*, 2021). Metode fotokatalisis biasanya menggunakan semikonduktor oksida logam sebagai fotokatalis.

Salah satu semikonduktor oksida logam yang sering digunakan sebagai bahan fotokatalitik degradasi antibiotik adalah ZnO (Xue *et al.*, 2022). ZnO digunakan sebagai bahan fotokatalitik memiliki mobilitas elektron dan potensial reduksi yang tinggi (Ramadhika dkk., 2021). Namun ZnO memiliki nilai *band gap* besar yaitu 3,7 eV. Semakin besar nilai *band gap*, maka energi yang

dibutuhkan elektron untuk berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi juga semakin besar. Selain itu, ZnO juga bersifat diamagnetik yang sulit dipisahkan dari larutan setelah digunakan. Oleh sebab itu, untuk mengatasi kelemahan ZnO perlu dikombinasikan dengan senyawa lain seperti NiFe₂O₄ (Shihab dkk., 2022).

NiFe₂O₄ yang memiliki nilai *band gap* sebesar 1,6 eV dan bersifat feromagnetik (Yuniar *et al.*, 2022). Meskipun NiFe₂O₄ memiliki *band gap* yang rendah, NiFe₂O₄ tidak dapat digunakan sebagai fotokatalis tunggal karena kemampuannya dalam mengkonversi fotoelektriknya yang lemah (Shihab dkk., 2022). Kombinasi ZnO dan NiFe₂O₄ akan meningkatkan penyerapan sinar menjadi lebih efektif dan perubahan sifat magnet menjadi superparamagnetik sehingga pemisahan komposit dari larutan lebih mudah dilakukan (Yuniar *et al.*, 2022). Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Pourmoslemi, *et al* (2015) ZnO yang dikomplekskan dengan asam sitrat mampu mendegradasi antibiotik sulfametoksazol sebanyak 48,3%-60,2%. Penelitian Varghese, *et al* (2023) NiFe₂O₄ mampu mendegradasi tetrasiklin sebesar 75%. Sementara itu, pada penelitian Garg, *et al* (2022) komposit ZnO/NiFe₂O₄ mampu mendegradasi antibiotik levofloxacin sebanyak 42%, ciprofloxacin sebanyak 36%, dan ofloxacin sebanyak 34%. Kemampuan fotokatalitik ZnO/NiFe₂O₄ melemah karena adanya efek fotodisolusi yang disebabkan oleh interaksi elektronik antara ZnO dan NiFe₂O₄ yang mengakibatkan ZnO melemah (Wardiyati dkk., 2016).

Efek fotodisolusi antara ZnO dan NiFe₂O₄ dapat dihindari dengan melakukan pemisahan menggunakan suatu polimer (Wardiyati dkk., 2016). Kitosan adalah polimer yang dapat digunakan sebagai pemisah antara ZnO dan NiFe₂O₄. Selain itu kitosan memiliki gugus hidroksil dan gugus amino yang reaktif (Patehkhori *et al.*, 2021). Namun, kitosan memiliki kekuatan mekanik dan stabilitas kimia yang lemah, sehingga perlu dilakukan proses ikat silang untuk mengatasi kelemahan kitosan tersebut. Proses pengikat silang dapat dilakukan dengan menggabungkan kitosan dengan suatu *crosslinker* seperti glutaraldehid, glioksal dan polivinil alkohol (PVA) (Ma *et al.*, 2016; Permana *et al.*, 2020). Selain dapat membentuk ikatan hidrogen yang kuat, PVA tidak beracun, mudah terbiodegradasi, dan biokompatibel (Aycan *et al.*, 2020; Permana *et al.*, 2020).

Berdasarkan beberapa hal di atas, maka dilakukan sintesis dan karakterisasi

komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA/ZnO}$ sebagai upaya dalam mengurangi permasalahan lingkungan akibat cemaran antibiotik tetrasiklin. Oksida logam ZnO sebagai fotokatalitik, NiFe_2O_4 sebagai bahan magnet dan menurunkan nilai *band gap* ZnO dan Kitosan-PVA sebagai bahan pelapis nanokomposit guna meningkatkan kestabilan dan keefektifan komposit. Efektifitas $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA/ZnO}$ dalam degradasi tetrasiklin dilakukan dengan mempelajari pengaruh pH, konsentrasi tetrasiklin, dan lama waktu kontak.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana hasil sintesis dan hasil karakterisasi komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA/ZnO}$?
2. Bagaimana efektifitas komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA/ZnO}$ dalam mendegradasi tetrasiklin berdasarkan pH, konsentrasi tetrasiklin, dan lama waktu kontak.
3. Bagaimana perbandingan konsentrasi karbon pada tetrasiklin sebelum degradasi dan setelah degradasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan penelitian ini berupa :

1. Mensintesis dan mengkarakterisasi komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA/ZnO}$ dengan instrumen VSM, XRD, UV-Vis DRS, dan SEM-EDX.
2. Menganalisis efektifitas komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA/ZnO}$ dalam mendegradasi tetrasiklin berdasarkan pH, konsentrasi tetrasiklin, dan lama waktu kontak.
3. Menganalisis perbandingan konsentrasi karbon pada tetrasiklin sebelum degradasi dan setelah degradasi menggunakan TOC

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah pengetahuan mengenai proses sintesis $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA/ZnO}$ serta keefektifannya dalam mendegradasi antibiotik tetrasiklin sehingga dapat mengurangi cemaran antibiotik yang dapat memberikan dampak buruk bagi manusia dan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelwahab, N. A., & Ghoneim, A. M. (2018). Photocatalytic Activity Of ZnO Coated Magnetic Crosslinked Chitosan/Polyvinyl Alcohol Microspheres. *Materials Science And Engineering B: Solid-State Materials For Advanced Technology*, 228(November 2017), 7–17.
- Ali, M. Y., Khan, M. K. R., Karim, A. M. M. T., Rahman, M. M., & Kamruzzaman, M. (2020). Effect Of Ni Doping On Structure, Morphology And Opto-Transport Properties Of Spray Pyrolysed ZnO Nano-Fiber. *Heliyon*, 6(3), E03588, 1-8.
- 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(440), 1–15.
- Amulya, M. A. S., Nagaswarupa, H. P., Kumar, M. R. A., Ravikumar, C. R., Prashantha, S. C., & Kusuma, K. B. (2020). Synthesis Of NiFe₂O₄ Nanoparticles: Characterization And Their Photocatalytic And Electrochemical Applications. *Applied Surface Science Advances*, 1(August), 100023, 1-10).
- Anonim. (2020). *Farmakope Indonesia Edisi VI (VI)*. Kementerian Kesehatan RI.
- Aycan, D., Yayla, N. A., & Aydin, Y. A. (2020). Chitosan Polyvinyl Alcohol Blend Films For Ibuprofen Encapsulation: Fabrication , Characterization And Kinetics. *Polymer Degradation And Stability*, 181(109346), 1-10.
- Chang, J., Shen, Z., Hu, X., Schulman, E., Cui, C., Guo, Q., & Tian, H. (2020). Adsorption of Tetracycline by Shrimp Shell Waste from Aqueous Solutions : Adsorption Isotherm , Kinetics Modeling , and Mechanism. *ACS Omega*, 2020(5), 3467–3477.
- Chinchilla, F. G & Rodríguez, C. (2017). Tetracyclines in Food and Feedingstuffs : From Regulation to Analytical Methods , Bacterial Resistance , and Environmental and Health Implications. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2017(1315497), 1-24.
- Dai, Y., Liu, M., Li, J., Yang, S., Sun, Y., Sun, Q., Wang, W., Lu, L., Zhang, K., Xu, J., Zheng, W., Hu, Z., Yang, Y., Gao, Y., & Liu, Z. (2020). A Review On Pollution Situation And Treatment Methods Of Tetracycline In Groundwater. *Separation Science And Technology (Philadelphia)*, 55(5), 1005–1021.
- Dewi, S. H., & Ridwan. (2017). Sintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel Fe₃O₄ Magnetik Untuk Adsorpsi Kromium Heksavalen. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 13(2), 136–140.
- Doosti, M., Jahanshahi, R., Laleh, S., Sobhani, S., & Sansono, J. M. (2022). Solar Light Induced Photocatalytic Degradation Of Tetracycline In The Presence Of ZnO / NiFe₂O₄ / Co₃O₄ As A New And Highly Efficient Magnetically

- Separable Photocatalyst. *Front Chem*, 10(1013349), 1–17.
- Esati, N. K., Cahyadi, K. D., Ayu, G., & Lestari, D. (2023). Uji Kualitatif Dan Kuantitatif Tetrasiklin Dalam Simulasi Sampel Secara Spektrofotometri Uv-Vis. *Jurnal Farmamedika*, 8(1), 56–66.
- Fadli, A., Amri, A., Sari, E. O., Iwantono, & Adnan, A. (2017). Crystal-Growth Kinetics Of Magnetite (Fe₃O₄) Nanoparticles Using The Ostwald Ripening Model. *International Journal Of Technology*, 8(8), 1445–1454.
- Fiaz, A., Zhu, D., & Sun, J. (2021). Environmental Fate Of Tetracycline Antibiotics: Degradation Pathway Mechanisms, Challenges, And Perspectives. *Environmental Sciences Europe*, 33(64), 1-17.
- Garg, T., Renu, Kaur, J., Kaur, P., Nitansh, Kumar, V., Tikoo, K., Kaushik, A., & Singhal, S. (2022). An Innovative Z-scheme g-C₃N₄/ZnO/NiFe₂O₄ Heterostructure For The Concomitant Photocatalytic Removal And Real-Time Monitoring Of Noxious Fluoroquinolones. *Chemical Engineering Journal*, 443(136441), 1-14.
- Hariani, P L, Said, M., Rachmat, A., Aprianti, N., & Stephanie, E. A. (2023). Synthesis of Fe₃O₄ / SiO₂ / NiO Magnetic Composite : Evaluation Of Its Catalytic Activity For Methylene Blue Degradation. *Global NEST*, 25(2), 36–43.
- Hariani, Poedji Loekitowati, Said, M., Rachmat, A., Riyanti, F., Pratiwi, H. C., & Rizki, W. T. (2021). Preparation of NiFe₂O₄ Nanoparticles by Solution Combustion Method as Photocatalyst of Congo red. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 16(3), 481-490.
- Huang, J., Puyang, C., Wang, Y., Zhang, J., & Guo, H. (2022). Hydroxylamine Activated By Discharge Plasma For Synergetic Degradation Of Tetracycline In Water: Insight Into Performance And Mechanism. *Separation And Purification Technology*, 300(2022), 1-22.
- Hummel, R. E. (2006). Differential Reflectance Spectroscopy In Analysis Of Surfaces. *Encyclopedia Of Analytical Chemistry*, 14, 1–24.
- Indriani, D., Fahyuan, H. D., & Peslinof, M. (2018). Uji UV-Vis Lapisan TiO₂ /N₂ Untuk Menentukan Band Gap Energy. *JoP*, 3(2), 6–10.
- Inoue, M., & Hirasawa, I. (2013). The Relationship Between Crystal Morphology And XRD Peak Intensity On CaSO₄·2H₂O. *Journal Of Crystal Growth*, 380(2013), 169–175.
- Jahantigh, M., Samadi, K., Dizaji, R. E., & Salari, S. (2020). Antimicrobial Resistance And Prevalence Of Tetracycline Resistance Genes In Escherichia Coli Isolated From Lesions Of Colibacillosis In Broiler Chickens In Sistan, Iran. *BMC Veterinary Research*, 16(1), 1–6.
- Jamaluddin, Nugraha, S. T., Maria, & Umar, E. P. (2018). Prediksi Total Organic Carbon (TOC) Menggunakan Regresi Multilinear Dengan Pendekatan Data

Well Log. *Jurnal Geocelebes*, 2(1), 1-5.

- Jawad, A. H., Norrahma, S. S. A., Hameed, B. H., & Ismail, K. (2019). Chitosan-Glyoxal Film As A Superior Adsorbent For Two Structurally Different Reactive And Acid Dyes: Adsorption And Mechanism Study. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 135, 569–581.
- Joshi, S., Kumar, M., Chhoker, S., Srivastava, G., Jewariya, M., & Singh, V. N. (2014). Structural, Magnetic, Dielectric And Optical Properties Of Nickel Ferrite Nanoparticles Synthesized By Co-Precipitation Method. *Journal Of Molecular Structure*, 1076, 55–62.
- Julinawati, J., Marlina, M., Nasution, R., & Sheilatina, S. (2015). Applying Sem-Edx Techniques To Identifying The Types Of Mineral Of Jades (Giok) Takengon, Aceh. *Jurnal Natural Unsyiah*, 15(2), 44-48.
- Jumardin, Maddu, A., Santoso, K., & Isnaeni. (2022). Karakterisasi Sifat Optik Nanopartikel Karbon (Carbon Dots) Dengan Metode UV-VIS DRS (Ultra Violet-VISibel Diffuse Reflectance Spektroskopi). *Jurnal Fisika dan Terapannya*, 9 (1): 1 - 15
- Kiziltaş, H., Tekin, T., & Tekin, D. (2020). Synthesis, Characterization Of Fe₃O₄/SiO₂/ZnO Composite With A Core-Shell Structure And Evaluation Of Its Photocatalytic Activity. *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, 8(5). 1-26.
- Lee, H. S., Hur, J., Hwang, Y. H., & Shin, H. S. (2020). A Novel Procedure Of Total Organic Carbon Analysis For Water Samples Containing Suspended Solids With Alkaline Extraction And Homogeneity Evaluation By Turbidity. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 17(11). 1-13
- Li, Y. X., Zhang, X. L., Li. W., Lu. X. F., Liu. B., Wang. J. (2013). The residues and environmental risks of multiple veterinary antibiotics in animal faeces. *Environ Monit Assess*, 185:2211–2220.
- Liao, Q., Rong, H., Zhao, M., Luo, H., Chu, Z., & Wang, R. (2021). Interaction Between Tetracycline And Microorganisms During Wastewater Treatment: A Review. *Science Of The Total Environment*, 757(2021), 1-13.
- Ma, W., Dai, J., Dai, X., Da, Z., & Yan, Y. (2016). Preparation And Characterization Of Chitosan/Halloysite Magnetic Microspheres And Their Application For Removal Of Tetracycline From An Aqueous Solution. *Desalination And Water Treatment*, 57(9), 4162–4173.
- Maharani, D. K., & Fadhila, K. N. (2022). Preparasi Dan Karakterisasi Komposit Kitosan-ZnO Sebagai Agen Hidrofobik Pada Kain Katun. *Unesa Journal Of Chemistry*, 11(1), 69–76.
- Malek, N. N. A., Jawad, A. H., Abdulhameed, A. S., Ismail, K., & Hameed, B. H. (2020). New Magnetic Schiff's Base-Chitosan-Glyoxal/Fly Ash/Fe₃O₄

- Biocomposite For The Removal Of Anionic Azo Dye: An Optimized Process. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 146, 530–539.
- Mardiyah, U., Jamil, S. N., dan Sandra, L. (2022). Karakterisasi Mikrostruktur Dan Komposisi Unsur Gelatin Ikan Kurisi (*Nemipterus Bathybius*) Menggunakan Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX). *JFMR-Journal Of Fisheries And Marine Research*, 6(2). 19-25
- Mashadi, Yunasfi, & Adi, A. A. (2016). Analisis Struktur Kristal Dan Gugus Fungsi NiFe_2O_4 Hasil Sintesis Dengan Metode Sol-Gel. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 17(3), 131–135.
- Mawarni, T., Fadarina, H. C., Aznury, M., & Taufik, M., B. (2021). Degradasi Zat Warna Rhodamin B Menggunakan Sintesis Fotokatalis $\text{ZnO/NiFe}_2\text{O}_4$ Dan Diaplikasikan Pada Limbah Cair Industri Pulp Dan Kertas. *Jurnal Kinetika*, 12(03), 44–50.
- Mohar, R. S., Soewoto, H. P., & Garinas, W. (2021). Tinjauan Penggunaan Material Fotokatalis Untuk Meningkatkan Reaksi Degradasi Sianida. *Jurnal Rekayasa Pertambangan*, 1(1), 34–40.
- Morozzi, P., Ballarin, B., Arcozzi, S., Brattich, E., Lucarelli, F., Nava, S., Gómez-Cascales, P. J., Orza, J. A. G., & Tositti, L. (2021). Ultraviolet–Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV–Vis DRS), A Rapid And Non-Destructive Analytical Tool For The Identification Of Saharan Dust Events In Particulate Matter Filters. *Atmospheric Environment*, 252(2021), 1-12.
- Muflihatun, Shofiah, S., & Suharyadi, E. (2015). Sintesis Nanopartikel Nickel Ferrite (NiFe_2O_4) Dengan Metode Kopresipitasi Dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya. *Jurnal Fisika Indonesia*, 19(56), 20–25.
- Mun, K., Wei, C., Sing, K., & Ching, J. (2016). Recent developments of zinc oxide based photocatalyst in water treatment technology: A review. *Water Research*, 88, 428–448.
- Murray, C. J., Ikuta, K. S., Sharara, F., Swetschinski, L., Robles Aguilar, G., Gray, A., Han, C., Bisignano, C., Rao, P., Wool, E., Johnson, S. C., Browne, A. J., Chipeta, M. G., Fell, F., Hackett, S., Haines-Woodhouse, G., Kashef Hamadani, B. H., Kumaran, E. A. P., Mcmanigal, B., ... Naghavi, M. (2022). Global Burden Of Bacterial Antimicrobial Resistance In 2019: A Systematic Analysis. *The Lancet*, 399(10325), 629–655.
- Muslimah, F. A., Mustikasari, K., Yunus, R., & Korespondensi, K. (2019). Pengaruh Aerasi Terhadap Degradasi Congo Red Secara Fotokimia Dengan TiO_2 Dan H_2O_2 . *Sains dan Terapan Kimia*, 13(1), 29–38.
- Narang, S. B., & Pubby, K. (2021). Nickel Spinel Ferrites: A Review. *Journal Of Magnetism And Magnetic Materials*, 519(2021), 1-58.
- Nasrollahi, N., Vatanpour, V., & Khataee, A. (2022). Review: Removal of Antibiotics from Wastewaters by Membrane Technology: Limitations,

- Successes, and Future Improvements. *Science of the Total Environment*, 838(156010), 1-18.
- Novarini, O. E., & Wahyudi, T. (2011). Sintesis Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) Menggunakan Surfaktan Sebagai Stabilisator Dan Aplikasinya Pada Pembuatan Tekstil Anti Bakteri. *Arena Tekstil*, 26(2), 81–87.
- Nurjanah, N., Aini, Q., Adzkie, A., Rustana, R., Citra Carolline, S., Maulida Agustine, S., Bayu, A., & Nandiyanto, D. (2022). A Review: Nanoparticles NiFe₂O₄ Synthesis And Its Application As Hyperthermia Agents In Biomedicine. *Indonesian Journal Of Chemical Science*, 11(2), 103–113.
- 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*, VI(2017), 1-12.
- Oluwole, A. O., & Olatunji, O. S. (2022). Photocatalytic Degradation Of Tetracycline In Aqueous Systems Under Visible Light Irridiation Using Needle-Like SnO₂ Nanoparticles Anchored On Exfoliated G-C₃N₄. *Environmental Sciences Europe*, 34(1). 2-14.
- Patehkhoh, A. H., Fattahi, M., & Khosravi-Nikou, M. (2021). Synthesis And Characterization Of Ternary Chitosan–TiO₂–ZnO Over Graphene For Photocatalytic Degradation Of Tetracycline From Pharmaceutical Wastewater. *Scientific Reports*, 11(1), 1–17.
- Permana, D., Ilimu, E., & Kadidae, L. O. (2020). Synthesis And Characterization Of Chitosan-Polyvinyl Alcohol- Fe₂O₃ Composite Membrane For DMFC Application Synthesis And Characterization Of Chitosan-Polyvinyl Alcohol-Fe₂O₃ Composite, *Makara Journal of Science*, 24(1). 1-11.
- Pourmoslemi, S., Mohammadi, A., Kobarfard, F., & Assi, N. (2015): Photocatalytic Removal Of Two Antibiotic Compounds From Aqueous Solutions Using ZnO Nanoparticles. *Desalination and Water Treatment*, 1-12.
- Rahmayeni, Zulhadjri, Jamarun, N., Emriadi, & Arief, S. (2016). Synthesis Of ZnO-NiFe₂O₄ Magnetic Nanocomposites By Simple Solvothermal Method For Photocatalytic Dye Degradation Under Solar Light. *Oriental Journal Of Chemistry*, 32(3), 1411–1419.
- Ramadhika, L. N., Aprilia, A., & Safriani, L., (2021). Studi Preparasi Senyawa ZnO:TiO₂ Sebagai Material Fotokatalis. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 11(02), 83-95.
- Rame, Purwanto, A., & Budiarto, A. (2017) Pengolahan Air Limbah Tekstil Berbasis Ozonasi Katalitik dengan Katalis Besi(III) Oksida (Fe₂O₃) dan Aluminium Oksida (Al₂O₃) Menggunakan difuser Mikro. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencermatan Industri*, 8(2), 67-75.

- Ranga, R. G., & Ranjan, S. H. (2001). XRD And UV-Vis Diffuse Reflectance Analysis Of CeO₂-ZrO₂ Solid Solutions Synthesized By Combustion Method. *Proceedings Of The Indian Academy Of Sciences: Chemical Sciences*, 113(5–6), 651–658.
- Rasheed, H. U., Lv, X., Wei, W., Yaseen, W., Ullah, N., Xie, J., & Zhu, W. (2019). Synthesis And Studies Of ZnO Doped With G-C₃N₄ Nanocomposites For The Degradation Of Tetracycline Hydrochloride Under The Visible Light Irradiation. *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, 7(3), 2–8.
- 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(2020), 1-15.
- Riyani, K., Setyaningtyas, T., & Riapanitra, A. (2021). Degradation Of Phenol In Batik Industry Wastewater Using Thin Layer Tio 2 Photocatalyst. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 746(2021), 1-9.
- Scaria, J., Anupama, K. V., & Nidheesh, P. V. (2021). Tetracyclines In The Environment: An Overview On The Occurrence, Fate, Toxicity, Detection, Removal Methods, And Sludge Management. *Science Of The Total Environment*, 771, 1-23.
- Sen, R., Jain, P., Patidar, R., Srivastava, S., Rana, R. S., & Gupta, N. (2015). Synthesis And Characterization Of Nickel Ferrite (NiFe₂O₄) Nanoparticles Prepared By Sol- Gel Method. *Materials Today: Proceedings*, 2(4–5), 3750–3757.
- Setha, B.; Rumata, F.; Sillaban, B. (2019). Karakteristik Kitosan Dari Kulit Udang Vaname Dengan Menggunakan Suhu Dan Waktu Yang Berbeda Dalam Proses Deasetilasi. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 22(3), 498–507.
- Setiabudi, A., Hardian, R., & Muzakir, A. (2012). *Karakterisasi Material: Prinsip Dan Aplikasinya Dalam Penelitian Kimia*. UPI Press : Bandung.
- Setiawan, M. R., & Siregar, R. N. (2020). Kandungan Mineral Dan Struktur Kristal Batu Sekis. *Science, And Physics Education Journal (SPEJ)*, 4(1), 24–30.
- Sharma, R., Bisen, D. P., Shukla, U., & Sharma, B. G. (2012). X-Ray Diffraction: A Powerful Method Of Characterizing Nanomaterials. *Recent Research In Science And Technology*, 4(8), 77–79.
- Shihab, F., Hadisantoso, E. P., & Setiadji, S. (2022). Sintesis Dan Karakterisasi Nanokomposit ZnO/NiFe₂O₄ Dari Limbah Baterai Menggunakan Metode Solid State Sebagai Fotokatalis Zat Warna Metilen Biru. *Program Studi Kimia Fakultas Sains Dam Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan*

Gunung Djati, 15(2020), 23-32.

- Shobirin, M., & Utomo, P. (2018). Preparasi, Karakterisasi Dan Aplikasi $\text{Ca}_{2-x}\text{Zn}_x\text{SiO}_4$ Sebagai Fotokatalis Untuk Degradasi Congo Red. *Jurnal Kimia Dasar*, 7(5), 1-9.
- Tahir, M. B., Sohaib, M., Sagir, M., & Rafique, M. (2022). Role of Nanotechnology In Photocatalysis. *Encyclopedia of Smart Materials*, 2, 578–589.
- 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(1), 23-30
- 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.
- Thomas, D., Zhuravlev, E., Wurm, A., Schick, C., & Cebe, P. (2018). Fundamental Thermal Properties Of Polyvinyl Alcohol By Fast Scanning Calorimetry. *Polymer*, 137, 145–155.
- Varghese, D., Ruban, M. J. R., Jennifer, P. J. S., Canisius, D.A., Chakko, S., Muthupandi, S., Madhavan, J., & Raj, M. V. A. (2023). Comprehensive Analysis of $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{MWCNTs}$ Nanokomposit to Degrade a Healthcare Waste-Tetracycline. *RSC Advances*, 2023(13), 28339-28361.
- Verma, R., Pathak, S., Srivastava, A. K., Praver, S., & Tomljenovic-Hanic, S. (2021). ZnO Nanomaterials: Green Synthesis, Toxicity Evaluation And New Insights In Biomedical Applications. *Journal of Alloys And Compounds*, 876(2021), 1-24.
- Vijayakumar, S., Chen, J., González-Sánchez, Z. I., Durán-Lara, E. F., Divya, M., Shreema, K., Hadem, H., Mathammal, R., Prasannakumar, M., & Vaseeharan, B. (2021). Anti-Colon Cancer And Antibiofilm Activities Of Green Synthesized ZnO Nanoparticles Using Natural Polysaccharide Almond Gum (*Prunus Dulcis*). *Journal Of Cluster Science*, 10(57), 1–22.
- Wall, B. A., Mateus, A., Marshall, L., Pfeiffer, D., Lubroth, J., Ormel, H. J., Otto, P., & Patriarchi, A. (2016). *Drivers, Dynamics And Epidemiology Of Antimicrobial Resistance In Animal Production*. Food and Argiculture Organization of The United Nations : Rome
- Wang, S., Zhou, Z., Zhou, R., Fang, Z., & Cullen, P. J. (2022). Highly Synergistic Effect For Tetracycline Degradation By Coupling A Transient Spark Gas–Liquid Discharge With TiO_2 Photocatalysis. *Chemical Engineering Journal*, 450(2022), 1-12.
- Wardiyati, S., Adi, W. A., & Winatapura, D. S. (2016). Pengaruh Penambahan SiO_2 Terhadap Karakteristik Dan Kinerja Fotokatalitik $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ Pada Degradasi. *BATAN*, 31–40.

- Wardiyati, S., Fisli, A., & Kerja, C. (2011). Penyerapan Logam Ni Dalam Larutan Oleh Nanokomposit Fe₃O₄-Karbon Aktif. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 12(3), 224–228.
- Xue, B., Chen, W., Wang, B., Sun, T., Wu, B., & Wang, Y. (2022). Photocatalytic Degradation Of Some Typical Antibiotics: Recent Advances And Future Outlooks. *International Journal Of Molecular Sciences*, 23(15), 1-19.
- Yuniar, Y., Mawarni, T., Hariani, P. L., Faizal, M., & Agustina, T. E. (2022). Degradation Of Methylene Blue Dye Using ZnO/NiFe₂O₄ Photocatalyst Under Visible Light. *Atlantis Highlights in Engineering*, 9, 90–95.
- Zhu, H. Y., Jiang, R., Fu, Y. Q., Li, R. R., Yao, J., & Jiang, S. T. (2016). Novel Multifunctional NiFe₂O₄ /ZnO Hybrids For Dye Removal By Adsorption, Photocatalysis And Magnetic Separation. *Applied Surface Science*, 369, 1–10.