

**SINTESIS KOMPOSIT Fe₃O₄/KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL/NiO
SEBAGAI FOTOKATALITIK UNTUK DEGRADASI TETRASIKLIN**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Bidang Studi Kimia**



**Elpera Yulianti
08031282025062**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

**SINTESIS KOMPOSIT Fe₃O₄/KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL/NiO
SEBAGAI FOTOKATALITIK UNTUK DEGRADASI TETRASIKLIN**

SKRIPSI

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

Diusulkan Oleh :
ELPERA YULIANTI
08031282025062

Indralaya, 17 Mei 2024

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 Elpera Yulianti (08031282025062) dengan judul “Sintesis Komposit Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO Sebagai Fotokatalitik Untuk Degradasi Tetrasiklin” telah disidangkan dihadapan Tim Penguji Sidang Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 16 Mei 2024 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 17 Mei 2024

Ketua:

1. **Prof. Drs. Dedi Rohendi, Ph.D.**

NIP. 196704191993031001



Sekretaris :

2. **Dr. Widia Purwaningrum, M.Si.**

NIP. 197304031999032001



Pembimbing :

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

NIP. 196808271994022001



Penguji :

1. **Dra. Fatma, M.S.**

NIP. 196207131991022001

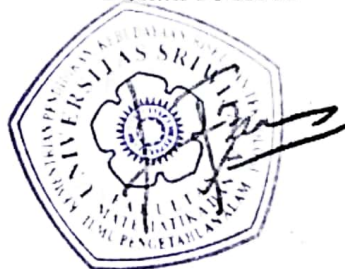


2. **Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si.**

NIP. 197211092000032001

Mengetahui,

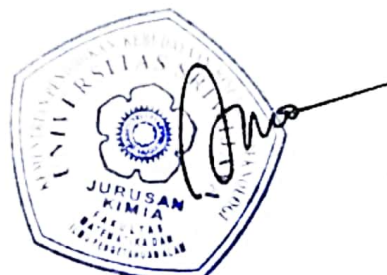
Dekan FMIPA



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

NIP. 197111191997021001

Ketua Jurusan Kimia



Prof. Dr. Muharni, M.Si

NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

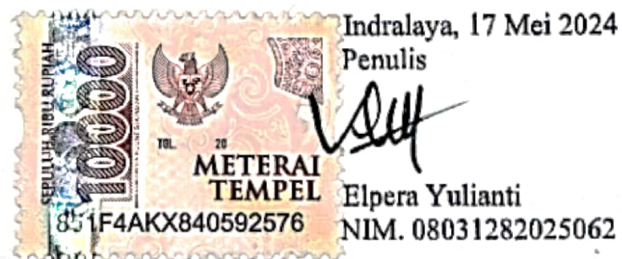
Nama Mahasiswa : Elpera Yulianti

NIM : 08031282025062

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 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.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.



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

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

Nama Mahasiswa : Elpera Yulianti

NIM : 08031282025062

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 Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO Sebagai Fotokatalitik Untuk Degradasi Tetrasiklin”. Dengan hak bebas royalti non eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 17 Mei 2024

Yang Menyatakan



Elpera Yulianti

NIM. 08031282025062

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah: 5-6)

“Indeed, Allah is the best planner”

Skripsi ini sebagai tanda syukur kepada:

- Allah SWT
- Nabi Muhammad SAW

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Ayah, Ibu, Kakak, Adik dan keponakan onty tercinta yang senantiasa mendoakan dan memberikan motivasi.
2. Dosen pembimbing (Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si.) yang sudah membagikan ilmu, motivasi serta memperhatikan dalam segala aspek penulisan agar dapat menyelesaikan tugas akhir.
3. Keluarga besar, sahabat, dan semua orang yang membantu hingga terselesaikannya skripsi ini.
4. Kampusku, Almamaterku (Universitas Sriwijaya)
5. Diri sendiri

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan segala nikmat dan karunia-Nya, sehingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sintesis Komposit Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO Sebagai Fotokatalitik Untuk Degradasi Tetrasiklin”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Univeritas Sriwijaya.

Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai rintangan yang dilalui, mulai dari pencarian judul, literatur, penelitian, pengumpulan data, pengolahan data dan penulisan. Namun dengan kesabaran dan ketekunan yang dilandasi dengan rasa tanggung jawab sebagai mahasiswa serta bantuan dari berbagai pihak lain baik berupa moril maupun materil akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada **Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si.** yang telah membimbing, membantu, memberikan nasehat dan motivasi sejak awal penelitian hingga skripsi ini selesai.

Proses penyusunan skripsi tidak terlepas dari berbagai rintangan yang dilalui. Penulis menyapaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Hermansyah S.Si., M.Si., Ph.D selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
2. Ibu Prof. Dr. Muharni, M. Si. selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya
4. Ibu Dra. Fatma, M.S. juga selaku pembahas dan penguji sidang sarjana penulis.
5. Ibu Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si. juga selaku pembahas dan penguji sidang sarjana penulis.
6. Seluruh Dosen Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, membimbing serta mendidik selama masa perkuliahan hingga lulus.
7. Keluarga saya (Ayah, Ibu, Caca, Kakak Harbi) yang selalu kebersamaan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Memberikan doa, motivasi semangat kepada penulis.

8. Kak Chosiin dan Mba Novi selaku admin jurusan kimia yang selalu baik. Terimakasih sudah membantu penulis selama perkuliahan hingga lulus.
9. Yuk Nur, Yuk Niar dan Yuk Yanti selaku analis kimia dan karyawan Jurusan Kimia FMIPA yang telah membantu selama penelitian, semoga kebaikan kalian senantiasa dibalas oleh Allah SWT.
10. Riesky H.Sipahutar, Laellia Denada, Vira Ardana, Yeni Fransisca, Elsa Wahyuni, Oktarina Munawaroh, Fita Aulia, Dian Sintia Wati. Terima kasih kepada “Anak-Anak Ibu Puji” terima kasih atas kebersamaannya, kekompokkannya, semangatnya, keluh kesahnya. Kalian hebat, kalian menyelesaikan semuanya dengan baik. Semoga silaturahmi kita tetap terjaga dimanapun kita berada nanti. Maaf jika ucapan ataupun sikap penulis yang kurang berkenan dihati kalian. Jaga Kesehatan yaa, sukses untuk kalian semua.
11. Betty Dwiyanti selaku sahabat penulis. Terima kasih sudah kebersamaan sampai akhir. Kamu hebat, kamu selalu menyakinkan “mari bertahan” dan kita melakukan itu. Terima kasih selalu mendengarkan kepanikan, keluh kesah, menemani untuk tidak pulang kekos dan selalu peduli dalam kondisi apapun. Maaf jika ada hal dari penulis yang kurang berkenan dihatimu. Penulis berharap kamu sehat selalu, diberikan kelancaran dan kemudahan untuk kedepannya.
12. Ikhitya Fauzia. Mhika Nakahsima, Dwi Rahma dan Tiara Unti Sari selaku sahabat penulis. Terima kasih sudah menjadi tempat berbagi cerita, keluh kesah, semangatnya, kebersamaan selama perkuliahan ini. Maaf jika penulis ada sikap atau perilaku penulis yang kurang berkenan dihati kalian. Semoga kalian sehat selalu, semoga hubungan pertemanan ini akan selalu terjaga dimanapun kita berada nanti. Semangat dan sukses untuk kedepannya.
13. Oktarina Munawaroh, terima kasih banyak yaa kak. Dimulai dari penelitian, sampai menyelesaikan skripsi ini banyak sekali cerita yang kita lewati. Kebersamaan, tertawa, keluh kesah, sedih, capek semua kita lewati. Terima kasih, selalu menguatkan dan tidak berhenti berjalan setiap harinya. Ucapan “selamat pagi, jangan lupa tersenyum, hari ini makan apa, tetap semangat masih ada hari esok” akan sangat dirindukan. Maaf jika sikap dan perilaku

penulis kurang berkenan dihatimu. Semoga silaturahmi kita selalu terjaga, masih banyak rencana yang harus kita selesaikan, sukses dan semangat untuk kedepannya.

14. Terimakasih kepada Rani Putri Suryani sudah menemani penulis menyelesaikan skripsi ini. Terimakasih sudah sangat peduli kepada penulis, semoga kamu sehat terus put.
15. Sheli Fitriyani, Nabila Marsyanda, Fadillah Rahmayani. Terima kasih sudah membersamai perjalanan penulis. Terima kasih sudah banyak berbagi hal-hal yang menyenangkan bersama penulis. Sukses untuk kalian dan semangat terus yaa.
16. “Chrupappap” Andi Putri Berliana (Alm), Fadillah Triansyah Putri, Aimee Putri Shollu, Ruri Tria Putri, Aulia Zulfa Muzhada. Terima kasih banyak sudah hadir dalam perjalanan hidup penulis. Terima kasih sudah banyak berbagi hal-hal yang menyenangkan bersama penulis, sudah mau bertahan sejauh ini.
17. Zelvan Ramadhan, yang hangat dengan panggilan “panjul”. Terima kasih sudah membersamai perjalanan penulis. Terima kasih, sudah mengubah pikiran penulis “kalau bisa lewati bersama, kenapa harus sendiri”, selalu menyakinkan penulis bahwa semuanya akan baik-baik saja. Maaf jika ada hal dari penulis yang kurang berkenan di hatimu. Jaga Kesehatan, sukses untuk kedepannya.
18. Teman-teman kimia Angkatan 2020. Terima kasih untuk kebersamaan, kekompakkan selama perkuliahan ini. Semoga kalian semua sukses dan sehat selalu yaa. Semoga nanti kita bisa bertemu kembali.
19. Diri saya sendiri, terima kasih telah membersamai dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih telah menyelesaikan tanggung jawab yang sudah dimulai. Terimakasih untuk selalu kuat, sabar, dan melewati semuanya bersama.

Indralaya, 17 Mei 2024



Penulis

SUMMARY

**SYNTHESIS OF Fe₃O₄/CHITOSAN-POLYVINYL ALCOHOL/NiO
COMPOSITE AS PHOTOCATALYTIC FOR TETRACYCLINE
DEGRADATION**

Elpera Yulianti : Supervised by Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si.

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

xi + 76 pages, 4 tables, 22 figures, 14 appendices

Tetracycline is an antibiotic that is widely used in the fields of health and animal husbandry. This antibiotic is difficult to decompose when in water so that it can pose a risk of pollution to the ecosystem and living things in it. If these living things are included in the human food chain, then consuming them can result in health risks to humans. Therefore, it is necessary to handle tetracycline waste using the photocatalytic method. This study synthesized Fe₃O₄/Chitosan-Polyvinyl Alcohol/NiO composite as photocatalytic for tetracycline degradation. Fe₃O₄ particles have properties as a magnetic material, NiO as a catalyst. The use of chitosan-polyvinyl alcohol to prevent NiO from reacting with Fe₃O₄. The results of the Fe₃O₄/Chitosan-Polyvinyl Alcohol/NiO composite synthesis were characterized using XRD, SEM EDS, VSM, UV-Vis DRS. Photocatalytic variables measured include variations in tetracycline pH, tetracycline concentration and contact time. The VSM characterization results of the Fe₃O₄/Chitosan-PVA/NiO composite showed a saturation magnetization value of 67.13 emu/g. The XRD characterization results of the Fe₃O₄/Chitosan-PVA/NiO composite obtained a crystal size of 24.65 nm. The UV-Vis DRS characterization results of the Fe₃O₄/Chitosan-PVA/NiO composite showed a band gap value of 1.48 eV. The SEM-EDS characterization results of the Fe₃O₄/Chitosan-PVA/NiO composite morphology show a more homogeneous surface than the Fe₃O₄ and Fe₃O₄/Chitosan-PVA morphology because it has been coated by NiO on the composite surface. Elemental components (%mass) C (5.09%), N (4.19%), O (28.30%), Fe (40.95%), and Ni (1.29%). The result of pH_{Hzc} of Fe₃O₄/Chitosan-PVA/NiO composite was 6.5. The best condition for reducing tetracycline concentration using Fe₃O₄/Chitosan-PVA/NiO occurred at pH 3 with a tetracycline concentration of 10 mg/L and a contact time of 105 minutes, resulting in a photocatalytic degradation of 99.71%. The TOC analysis results showed that the carbon content of the tetracycline solution before degradation was 12.7 mg/L and after degradation was 4.00 mg/L which showed that the carbon content decreased by 68.50%.

Keywords : Fe₃O₄/Chitosan-Polyvinyl Alcohol/NiO, degradation photocatalytic, tetracycline, carbon content

Citation : 87 (2012-2023)

RINGKASAN

SINTESIS KOMPOSIT Fe₃O₄/KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL/NiO SEBAGAI FOTOKATALITIK UNTUK DEGRADASI TETRASIKLIN

Elpera Yulianti : Dibimbing oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si.

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

xi + 76 halaman, 4 tabel, 22 gambar, 14 lampiran

Tetrasiklin merupakan salah satu antibiotik yang banyak digunakan dalam bidang kesehatan dan peternakan. Antibiotik ini sulit terurai ketika berada di dalam air sehingga dapat menimbulkan risiko pencemaran pada ekosistem dan makhluk hidup di dalamnya. Jika makhluk hidup tersebut termasuk dalam rantai makanan manusia, maka mengkonsumsinya dapat mengakibatkan risiko kesehatan pada manusia. Oleh karena itu diperlukan penanganan limbah tetrasiklin menggunakan metode fotokatalitik. Penelitian ini mensintesis komposit Fe₃O₄/Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO sebagai fotokatalitik untuk degradasi tetrasiklin. Partikel Fe₃O₄ memiliki sifat sebagai bahan magnet, NiO sebagai katalis. Penggunaan Kitosan-Polivinil Alkohol untuk mencegah NiO bereaksi dengan Fe₃O₄. Hasil sintesis komposit Fe₃O₄/Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO dikarakterisasi menggunakan XRD, SEM EDS, VSM, UV-Vis DRS. Variabel fotokatalitik yang diukur meliputi variasi pH tetrasiklin, konsentrasi dan waktu kontak tetrasiklin. Hasil karakterisasi VSM dari komposit Fe₃O₄/Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO menunjukkan nilai magnetisasi saturasi sebesar 67,13 emu/g. Hasil karakterisasi XRD dari komposit Fe₃O₄/Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO didapatkan ukuran kristal sebesar 24,65 nm. Hasil karakterisasi UV-Vis DRS dari komposit Fe₃O₄/Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO menunjukkan nilai *band gap* sebesar 1,48 eV. Hasil karakterisasi SEM-EDS dari komposit Fe₃O₄/Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO morfologinya menunjukkan permukaan lebih homogen dari morfologi Fe₃O₄ dan Fe₃O₄/Kitosan-Polivinil Alkohol karena sudah terlapisi oleh NiO pada permukaan komposit. Komponen elemen (% massa) C (5,09%), N (4,19%), O (28,30%), Fe (40,95%), dan Ni (1,29%). Hasil dari pH_{pzc} dari komposit Fe₃O₄/Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO sebesar 6,5. Kondisi terbaik penurunan konsentrasi tetrasiklin menggunakan Fe₃O₄/Kitosan-PVA/NiO terjadi pada pH 3 dengan konsentrasi tetrasiklin 10 mg/L dan waktu kontak 105 menit, sehingga didapatkan degradasi fotokatalitik sebesar 99,71%. Hasil analisis TOC menunjukkan kandungan karbon larutan tetrasiklin sebelum degradasi 12,7 mg/L dan setelah degradasi sebesar 4,00 mg/L yang memperlihatkan bahwa penurunan kadar karbon sebesar 68,50%.

Kata Kunci : Fe₃O₄/Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO, degradasi fotokatalitik, tetrasiklin, kandungan karbon.

Kutipan : 87 (2012-2023)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS	iii
HALAMAN PERSETUJUA PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iii
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 Peneitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Antibiotik	5
2.2 Tetrasiklin	5
2.3 Komposit/Fe ₃ O ₄ /Kitosan/NiO.....	6
2.4 Kitosan-Polivinil Alkohol	8
2.5 Fotokatalitik	10
2.6 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	10
2.7 <i>UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)</i>	12
2.8 <i>Scanning Elektron Microsope-Energy Dispersive (SEM-EDS)</i>	12
2.9 Vibrating Sampel Magnometer (VSM)	13
2.10 pH Point Of Zero Charge (pHpzc).....	14
2.11 Total Organic Carbon (TOC).....	14

BAB III METODE 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 Penelitian	17
3.3.1 Sintesis Fe ₃ O ₄	17
3.3.2 Sintesis Fe ₃ O ₄ /Kitosan-Polivinil Alkohol	17
3.3.3 Sintesis Fe ₃ O ₄ /Kitosan- Polivinil Alkohol /NiO	17
3.4 Karakterisasi Material	18
3.4.1 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	18
3.4.2 <i>Scanning Elektron Mircroscope Energy Disversive Spectroscopy (SEM-EDS)</i>	18
3.4.3 <i>Vibrating Sample Magnometer (VSM)</i>	18
3.4.4 <i>Ultraviolet-visible Diffuse Reflectance (UV-Vis DRS)</i>	19
3.4.5 Penentuan pH _{pzc} (<i>Point Zero Charge</i>).....	19
3.5 Penentuan Konsentrasi Tetrasiklin	19
3.5.1 Pembuatan larutan induk tetrasiklin 1000 ppm	19
3.5.2 Pembuatan larutan standar tetrasiklin	19
3.5.3 Penentuan panjang gelombang maksimum	20
3.5.4 Pembuatan kurva standar tetrasiklin	20
3.6 Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Tetrasiklin oleh Komposit Fe ₃ O ₄ /Kitosan- Polivinil Alkohol /NiO.....	20
3.6.1 Pengaruh pH.....	20
3.6.2 Pengaruh konsentrasi	20
3.6.3 Pengaruh waktu kontak	21
3.7 Analisis Data	21
3.7.1 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	21
3.7.2 <i>Scanning Elektron Mircroscope Energy Disversive Spectroscopy (SEM-EDS)</i>	21
3.7.3 <i>Vibrating Sample Magnometer (VSM)</i>	22
3.7.4 <i>Ultraviolet-visible Diffuse Reflectance (UV-Vis DRS)</i>	22

3.7.5 <i>Total organic carbon (TOC)</i>	22
3.7.6 Kondisi optimum degradasi	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Karakterisasi Material Fe ₃ O ₄ /Kitosan- Polivinil Alkohol /NiO..	23
4.1.1 Hasil karakterisasi <i>Vibrating Sample</i> <i>Magnometer (VSM)</i>	23
4.1.2 Hasil karakterisasi Material Menggunakan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	26
4.1.3 Hasil karakterisasi Material Menggunakan <i>Ultraviolet-visible Diffuse Reflectance (UV-Vis DRS)</i>	28
4.1.4 Hasil karakterisasi Material Menggunakan <i>Scanning</i> <i>Elektron Mircroscope Energy Disversive</i> <i>Spectroscopy (SEM-EDS)</i>	30
4.1.5 Nilai pH _{pzc} (<i>Point Zero Charge</i>)	31
4.2 Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Tetrasiklin oleh Komposit Fe ₃ O ₄ /Kitosan- Polivinil Alkohol /NiO	32
4.2.1 Pengaruh pH.....	32
4.2.2 Pengaruh konsentrasi	33
4.2.3 Pengaruh waktu kontak	34
4.3 Analisis <i>Total Organic Carbon (TOC)</i>	35
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	37
5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Struktur Tetrasiklin	6
Gambar 2.	Struktur kristal Fe_3O_4	8
Gambar 3.	Struktur Kitosan	9
Gambar 4.	Struktur Polivinil Alkohol	10
Gambar 5.	Pola difraksi XRD dari (a) Fe_3O_4 , (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, dan (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{NiO}$ (Hariai <i>et al.</i> , 2022).....	11
Gambar 6.	Morfologi (a) Fe_3O_4 , (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, dan (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{NiO}$ (Hariai <i>et al.</i> , 2022).....	13
Gambar 7.	Magnetisasi (a) Fe_3O_4 , (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, dan (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{NiO}$ (Hariai <i>et al.</i> , 2022)	14
Gambar 8.	Kurva hysteresis dari Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}$ -Polivinil Alkohol dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}$ -Polivinil Alkohol/ NiO	23
Gambar 9.	Fe_3O_4 Hasil Sintesis	24
Gambar 10.	$\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}$ -Polivinil Alkohol Hasil Sintesis.....	25
Gambar 11.	$\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}$ -Polivinil Alkohol Hasil Sintesis/ NiO	25
Gambar 12.	Spektra XRD (a) Fe_3O_4 , (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}$ -Polivinil Alkohol dan (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}$ -Polivinil Alkohol/ NiO	26
Gambar 13.	Nilai <i>band gap</i> (a) Fe_3O_4 , (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}$ -Polivinil Alkohol dan (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}$ -Polivinil Alkohol/ NiO	29
Gambar 14.	Morfologi (a) Fe_3O_4 , (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}$ -Polivinil Alkohol dan (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}$ -Polivinil Alkohol/ NiO	30
Gambar 15.	Kurva pH _{pzc} $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan}$ -Polivinil Alkohol/ NiO	32
Gambar 16.	Kurva Persentase Degradasi Tetrasiklin berdasarkan Variasi pH	33
Gambar 17.	Kurva Persentase Degradasi Tetrasiklin berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	34
Gambar 18.	Kurva Persentase Degradasi Tetrasiklin berdasarkan Variasi Waktu Kontak	35

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Sudut 2θ Komposit dengan data JCPDS dan Ukuran Partikel	27
Tabel 2. Elemen Penyusun Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan-Polivinil Alkohol}$, $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO}$	31
Tabel 3. Hasil Analisis Larutan Tetrasiklin Sebelum dan Setelah Degradasi.....	36
Tabel 4. Nilai Magnetisasi Saturasi dan Medan Magnet pada Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan-Polivinil Alkohol}$, $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO}$	50

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Diagram Alir Prosedur Penelitian	48
Lampiran 2.	Reaksi Pembentukan Fe_3O_4	51
Lampiran 3.	Hasil sintesis Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO..... Menggunakan VSM	52
Lampiran 4.	Hasil sintesis Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO Menggunakan XRD	53
Lampiran 5.	Hasil sintesis Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO Menggunakan SEM EDS	59
Lampiran 6.	Hasil sintesis Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO Menggunakan UV-VIS DRS	62
Lampiran 7.	Penentuan pH_{pzc} (<i>Point Zero Charge</i>) Komposit Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO.....	65
Lampiran 8.	Penentuan Panjang Gelombang Tetrasiklin	66
Lampiran 9.	Penentuan Kurva Kalibrasi Tetrasiklin	67
Lampiran 10.	Penentuan Kondisi Optimum Dengan Variasi pH dengan Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO	68
Lampiran 11.	Penentuan Kondisi Optimum Dengan Variasi Konsentrasi dengan Komposit Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO	70
Lampiran 12.	Penentuan Kondisi Optimum Dengan Variasi Waktu Kontak dengan Komposit Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO	72
Lampiran 13.	Perhitungan Total Organik Carbon (TOC).....	74
Lampiran 14.	Gambar Penelitian	75

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Antibiotik merupakan salah satu obat yang mampu mengobati atau membunuh bakteri dan parasit (Amangelsin *et al.*, 2023). Antibiotik seringkali dibuang tanpa diolah, bahkan banyak yang menyebabkan pencemaran di perairan. Limbah yang dihasilkan dari penggunaan antibiotik yang tidak terdegradasi dengan baik dapat mengakibatkan residu antibiotik. Residu tersebut berdampak negatif terhadap kesehatan masyarakat (Pijoh dkk, 2021). Beberapa jenis antibiotik seperti fluoroquinolon dan tetrasiklin lebih sulit terurai karena memiliki kemampuan bertahan lebih lama di lingkungan sehingga dapat terakumulasi dalam konsentrasi yang lebih tinggi (Rogowska and Zimmermann, 2022).

Tetrasiklin masuk dalam kelompok antibiotik yang telah diterapkan pada pengobatan manusia dan hewan. Tetrasiklin memiliki sifat yang stabil, memiliki daya degradasi yang rendah yang dapat mematikan sebagian besar mikroorganisme, karena tetrasiklin memiliki sifat antibakteri. Tetrasiklin banyak digunakan dalam budidaya ikan untuk pencegahan, pengobatan, dan peningkatan pertumbuhan 60% dari total penggunaan antibiotik (Pawestri dkk, 2019). Residu tetrasiklin ini ditemukan di berbagai tempat, seperti tanah, permukaan air bahkan pada sampel biota. Tetrasiklin mempunyai dampak negatif terhadap ekosistem, karena mampu terakumulasi bersama rantai makanan yang menyebabkan toksisitas pada komunitas mikroba dan penyebaran resistensi antibiotik (Amangelsin *et al.*, 2023). Dampak negatif tersebut dapat diatasi dengan berbagai metode pengolahan fisik dan kimia seperti, oksidasi, fotokatalitik, ozonasi dan adsorpsi (Ahmad *et al.*, 2021).

Metode fotokatalitik merupakan salah satu metode yang efektif dan ramah lingkungan yang dapat digunakan untuk mendegradasi hampir seluruh unsur polutan organik dalam pengolahan air limbah. Metode fotokatalitik menghasilkan spesies yang sangat reaktif, yaitu radikal hidroksil (OH), yang dapat memecah polutan dalam air menjadi molekul kecil yang ramah lingkungan. Proses fotokatalitik melibatkan cahaya foton sebagai sumber energi dan katalis untuk mempercepat reaksi (Ley *et al.*, 2023). Penggunaan semikonduktor sebagai katalis

dalam metode fotokatalitik, dengan bantuan cahaya tampak dapat meningkatkan efektivitas fotokatalitik pada limbah organik (Gupta *et al.*, 2021).

Semikonduktor oksida logam yang digunakan sebagai bahan fotokatalitik salah satunya berupa Nikel Oksida (NiO) (Haider *et al.*, 2019). NiO merupakan salah satu oksida logam transisi tipe-p dengan celah pita sekitar 3,5 eV yang bersifat antiferromagnetik, sangat konduktif, stabil, dan katalitik efektif dalam fotodegradasi (Hariani *et al.*, 2023). NiO banyak digunakan sebagai fotokatalis karena, daya tahannya yang tinggi, fotosensitifitas yang sangat baik. NiO memiliki nilai *band gap* yang besar, NiO memiliki ukuran nano sehingga mudah mengalami aglomerasi. Oleh sebab itu, NiO membutuhkan penggabungan dengan oksida logam seperti Fe₃O₄ untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik di bawah cahaya tampak (Far *et al.*, 2022).

Magnetit (Fe₃O₄) yang memiliki keunggulan seperti kemampuan penyerapan foton yang baik, ikatan antarmolekul yang kuat karena adanya interaksi dipol-dipol, magnetisasinya dan gaya koersifnya yang tinggi. Fe₃O₄ dapat disintesis dengan metode kopresipitasi, dimana metode ini memiliki keunggulan seperti sederhana dan efisien secara kimia untuk menghasilkan oksida besi. Permukaan nanopartikel Fe₃O₄ perlu dimodifikasi untuk menghindari aglomerasi dan mempertahankan sifat yang diinginkan seperti stabilitas dan dispersibilitas dalam air (Pradana dkk, 2016). Untuk menghindari reaksi antara Fe₃O₄ dan NiO, perlu dilakukan pelapisan dengan polimer kitosan, yang dapat mencegah oksidasi akibat interaksi dipol magnet, meningkatkan kapasitas adsorpsi, dan menstabilkan sisi aktif permukaan (Julianti dkk., 2020).

Kitosan tersusun atas gugus amina bebas (-NH₂) dan hidroksil (-OH). Kitosan larut dalam suasana asam sehingga diperlukan modifikasi untuk meningkatkan stabilitasnya dalam larutan asam (Butiran dkk, 2018). Dalam upaya meningkatkan stabilitas kimia, kekuatan mekanik dan luas permukaan, kitosan dimodifikasi secara kimia dengan dilakukan proses diikat silang dengan polivinil alkohol (PVA) (Reghioua *et al.*, 2021). Proses modifikasi polivinil alkohol (PVA) dengan polimer alami seperti kitin dan kitosan telah terbukti efektif dalam menghasilkan biomaterial dengan sifat yang diinginkan untuk aplikasi medis. (Rafique *et al.*, 2016).

Penelitian ini bertujuan mensintesis komposit Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO dalam upaya mengatasi limbah tetrasiklin yang mencemari lingkungan. Partikel Fe_3O_4 memiliki sifat sebagai bahan magnet, NiO sebagai katalis, Penggunaan Kitosan-Polivinil Alkohol untuk mencegah NiO bereaksi dengan Fe_3O_4 . Komposit Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO digunakan dalam degradasi tetrasiklin dan dikarakterisasi menggunakan XRD, SEM EDS, VSM, UV-VIS DRS. Variabel fotokatalitik yang diukur meliputi variasi pH tetrasiklin, konsentrasi dan waktu kontak tetrasiklin.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana keberhasilan sintesis komposit Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO?
2. Bagaimana pengaruh variasi pH, konsentrasi tetrasiklin dan waktu kontak terhadap kemampuan komposit Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO dalam mendegradasi tetrasiklin?
3. Bagaimana efektifitas penurunan karbon pada tetrasiklin sesudah degradasi dengan komposit Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah :

1. Mensintesis komposit Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO kemudian dikarakterisasikan menggunakan XRD, SEM-EDS, VSM, dan UV-VIS DRS.
2. Menentukan kondisi terbaik komposit Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO dalam mendegradasi tetrasiklin dengan memvariasikan pH, konsentrasi dan waktu kontak.
3. Menentukan konsentrasi karbon sebelum dan sesudah degradasi tetrasiklin menggunakan *Total Organic Carbon* (TOC) dengan komposit Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini untuk mensintesis Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO agar membentuk material komposit. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dalam pengembangan proses material komposit Fe_3O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/NiO yang digunakan dalam proses degradasi tetrasiklin menggunakan metode fotokatalitik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd Mutalib., Rahman, M., Othman, M. H. D., Ismail, A. F & Jaafar, J. 2017. Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy-Dispersive X-Ray (EDX) Spectroscopy. *In Membrane Characterization*. 1(2): 161-179.
- Abdulkarim, A., Isa, M. J., Abdusalam, S., Muhammad, A. J., Ameh, A. O., & Muhammed. 2013. .Extraction and Characterisation of Chitin and Chitosan From Mussel Shell. *Journal Civil and Environmental Research*. 3(2): 108–115.
- Agustanty, A., Budi, A. 2022. Pola Resistency of *Vibrio Cholerae* Bacteria To the Antibiotic Ciprofloxacin and Tetracycline. *Journal Health & Science : Gorontalo Journal Health and Science Community*. 5(3): 73–78.
- Ahmad, F., Zhu, D., & Sun, J. 2021. Environmental fate of tetracycline antibiotics: degradation pathway mechanisms, challenges, and perspectives. *Environmental Sciences Europe*: 33(1).
- Akbari, A., Sabouri, Z., Hosseini, H. A., Hashemzadeh, A., Khatami, M., & Darroudi, M. 2020. Effect of nickel oxide nanoparticles as a photocatalyst in dyes degradation and evaluation of effective parameters in their removal from aqueous environments. *Inorganic Chemistry Communications*. 115(4): 107867.
- 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): 3-7.
- Ali, N., Said, A., Ali, F., Raziq, F., Ali, Z., Bilal, M., Reinert, L., Begum, T., & Iqbal, H. M. N. 2020. Photocatalytic Degradation of Congo Red Dye from Aqueous Environment Using Cobalt Ferrite Nanostructures: Development, Characterization, and Photocatalytic Performance. *Water, Air, and Soil Pollution*. 231(2): 2-16.
- Al-Maliky, E. A., Gzar, H. A., & Al-Azawy, M. G. 2021. Determination of Point of Zero Charge (PZC) of Concrete Particles Adsorbents. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 1184(1): 012004.
- 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.

- Aminullah, M.W. 2019. Pengaruh Komposisi Material Semikonduktor Dalam Menurunkan Energi Band Gap Dan Terhadap Konversi Gelombang Mikro, *Jurnal EECCIS*. 13(2): 65–70.
- Asadzadeh, P., Hossein, Moslem, F., & Mohammadreza, K. N. 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.
- Atmono, T. M., Prasetyowati, R., & Kartika, A. M. R. 2015. Pembuatan Prototipe Vibrating Sample Magnetometer untuk Pengamatan Sifat Magnetik Lapisan Tipis. *Sains Dan Teknologi Nuklir BATAN*. 47(40): 57–66.
- Aulia, S. A., Sutiningsih, D., Setyawan, H., & Udiyono, A. 2023. Keberadaan Residu Tetrasiklin pada Daging Ayam Broiler di Kabupaten Kudus (Studi di Pasar Tradisional dan Pasar Modern Tahun 2019). *Jurnal Epidemiologi Kesehatan Komunitas*, 8(1): 69–75.
- Barus, B. S., Munthe, R. Y., & Bernando, M. 2020. Kandungan Karbon Organik Total Dan Fosfat Pada Sedimen Di Perairan Muara Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*. 12(2): 397–408.
- Bhatt, A. S., Bhat, D. K., Santosh, M. S., & Tai, C. W. 2011. Chitosan/NiO nanocomposites: A potential new dielectric material. *Journal of Materials Chemistry*. 21(35): 13490–13497.
- Borghini, A. A., & Palma, M. S. A. 2014. Tetracycline: Production, waste treatment and environmental impact assessment. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 50(1): 25–40.
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. gabriela., & Aboul-Enein, H. Y. 2015. X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 45(4): 289–299.
- Butiran, P., Silang, P., Ech, E., Gla, G., & Adsorpsi, K., Pb, T. 2018. Perbandingan Butiran Kitosan dengan Pengikat Silang Epiklorohidrin (ECH) dan Glutaraldehyd (GLA): Karakterisasi dan Kemampuan Adsorpsi Timbal (Pb). *Journal of Chemistry*. 6(1): 30–36.
- Chen, Y., Wang, F., Duan, L., & Yang, H., Gao, J. 2016. Tetracycline adsorption onto rice husk ash, an agricultural waste: Its kinetic and thermodynamic studies. *Journal of Molecular Liquids*. 222: 487–494.
- El Ghandoor, H., Zidan, H. M., Khalil, M. M. H., & Ismail, M. I. M. 2012. Synthesis and some physical properties of magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles. *International Journal of Electrochemical Science*. 7(6): 5734–5745.

- Far, H., Hamici, M., Brihi, N., Haddadi, K., Boudissa, M., Chihi, T., & Fatmi, M. 2022. High-performance photocatalytic degradation of NiO nanoparticles embedded on α -Fe₂O₃ nanoporous layers under visible light irradiation. *Journal of Materials Research and Technology*, 19: 1944–1960.
- Feldman, Dorel. 2020. PolyVinyl Alcohol Recent Contributions to Engineering and Medicine. *Journal of Composites Science*. 4(4): 1–11.
- Fiaz, A., Zhu, D., & Sun, J. 2021. Environmental fate of tetracycline antibiotics: degradation pathway mechanisms, challenges, and perspectives. *Environmental Sciences Europe*. 33(1): 2-17.
- Freire, T. M., Fechine, L. M. U. D., Queiroz, D. C., Freire, R. M., & Juliano, C. 2020. Supporting Information for Magnetic Porous Controlled Fe₃O₄ – Chitosan Nanostructure : An Ecofriendly Adsorbent for Efficient Removal of Azo Dyes. *Journal Nanomaterials*. 85: 2–25.
- Ganapathe, L. S., Mohamed, M. A., Yunus, R. M., & Berhanuddin, D. D. 2020. Magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles in biomedical application: From synthesis to surface functionalisation. *Magnetochemistry*. 6(4): 1–35.
- Gebreslassie, G., Bharali, P., Chandra, U., Sergawie, A., Baruah, P. K., Das, M. R., & Alemayehu, E. 2019. Hydrothermal Synthesis of g-C₃N₄/NiFe₂O₄ Nanocomposite and Its Enhanced Photocatalytic Activity. *Applied Organometallic Chemistry*. 33(8): 1–12.
- Gupta, P. K., Palanisamy, S., Gopal, T., Rajamani, R., Pandit, S., Sinha, S., & Thakur, V. K. 2021. Synthesis and characterization of novel Fe₃O₄ /pva/eggshell hybrid nanocomposite for photodegradation and antibacterial activity. *Journal of Composites Science*, 5(10): 1–9.
- Haider, A. J., Al-Anbari, R., Sami, H. M., & Haider, M. J. 2019. Photocatalytic Activity of Nickel Oxide. *Journal of Materials Research and Technology*. 8(3): 2802–2808.
- Hakim, L., Dirgantara, M., & Nawir, M. 2019. Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C Dengan Menggunakan X-Ray Difrraction (X-RD) Di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*, 1(1), 44–51.
- 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 and Catalysis*, 17(4): 699–711.
- Hariani, P. L., Said, M., Salni, 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 Journal*, 25(2): 36–43.
- Harnum, B., Hardeli, & Sanjaya, H. 2013. Degradasi Methyl Violet secara Fotolisis dan Sonolisis dengan Katalis $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$. *Chemistry Journal of State University of Padang*, 2(2): 40–45.
- Hefdea. 2020. Sintesis Fe_3O_4 dari Pasir Mineral Tulungagung Menggunakan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*. 09(02): 2015–2018.
- Jamaluddin., Nugraha, S. T., Maria, M., & Umar, E. P. 2018. Prediksi Total Organic Carbon (Toc) Menggunakan Regresi Multilinear Dengan Pendekatan Data Well Log. *Jurnal Geoelebes*. 2(1): 1.
- Jannah, N. R & Onggo, D. 2019. Synthesis of Fe_3O_4 nanoparticles for colour removal of printing ink solution. *Journal of Physics: Conference Series*, 1245(1): 1-6.
- 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.
- Julianti, E., Fabiani, V. A., & Asriza, R. O. 2020. The Sintesis dan Karakterisasi Komposit Fe_3O_4 /Kitosan/Kaolin Bangka. *Stannum. Jurnal Sains Dan Terapan Kimia*, 2(2): 10–15.
- Julita, Mardiana, Muhandis. S., & Miftahul Khair. 2023. Penentuan Energi Celah Pita (Band Gap) Nanopartikel ZnO/Au Hasil Ablasi Laser Dalam Cairan. *Periodic*. 12(2): 71.
- Jumardin, Maddu, A., Santoso, K., & Isnaeni. 2022. Karakteristik Sifat Optik Nanopartikel Karbon (Carbon Dots) Dengan Metode Uv-Vis Drs (Ultra Violetvisible Diffuse Reflectance Spectroscopy). *Jurnal Fisika Dan Terapannya*. 9(1): 1–15.
- Kara, Gheffar, & Mahboubbeh. R. 2019. Experimental Study of Methylene Blue Adsorption from Aqueous Solutions onto $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{NiO}$ Nano Mixed Oxides Prepared by Ultrasonic Assisted Co-Precipitation. *Journal Nanostruct* 9(2): 287–300.
- Koo, K. N., Ismail, A. F., Othman, M. H. D., Bidin, N & A Rahman, M. 2019. Preparation and characterization of superparamagnetic magnetite (Fe_3O_4) nanoparticles: A short review. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 15(1): 23–31.

- Kurniawan, N. A., & Setiawan, F., Sofyan, E. 2022. Pengujian Tarik Komposit Spesimen Campuran Serat Pisang Alur Diagonal Dan Pasir Besi Dengan Matrik Resin Polyester Dengan Metode Hand Lay-Up. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 8(2): 281–288.
- 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: 38–50.
- Lett, J. A., Sagadevan, S., Weldegebrieal, G. K., & Fatimah, I. 2022. Hydrothermal Synthesis and Photocatalytic Activity of NiO Nanoparticles under Visible Light Illumination. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*. 17(2): 340–349.
- Ley. 2023. Degradation Tetracycline By Floating Photocatalyst TiO₂/Ni-Coconut Fiber. *Jurnal Kimia Riset*. 8(2): 175–185.
- Li, Y. 2018. Mesoporous Fe₃O₄/NiO composite microspheres with p–n heterojunction for a high-performance ethanol sensor. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 29(1): 683–687.
- Manurung, R., Simanjuntak, S., Sembiring, J., Zaluku, E. C., Napitupulu, R. A. M., & Sihombing, S. 2020. *Menggunakan Resin Polyester Dengan Memvariasikan Susunan Serat Secara Acak Dan Lurus Memanjang*. 2(1): 28–35.
- 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.
- Masruroh, Manggara, A., Papilaka, T., & T, R. T. 2013. Penentuan ukuran Kristal (cristallite size) lapisan tipis PZT melalui pendekatan persamaan Debye Scherrer. *Jurusan Fisika Dan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya*. 1(2): 24–29.
- Mohar, S., R., Soewoto, H. P., Garinas, W., Pengembangan, P. T., & Mineral, S., Pengkajian, B., & Teknologi, P. 2021. Tinjauan Penggunaan Material Fotokatalis untuk Peningkatan Reaksi Degradasi Sianida. *Jurnal Rekayasa Pertambangan*. 1(1): 34.
- Muttaqin, R. 2023. Pengembangan Buku Panduan Teknik Karakterisasi Material : X-ray Diffractometer (XRD) Panalytical Xpert3 Powder. *Indonesian Journal of Laboratory*. 1(1): 9-10.
- 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 Manuntung*. 2(2): 173.
- Patehkhori, 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.
- 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). *Jurnal Sain Veteriner*, 37(2): 185.
- Permana, D., Ilimu, E., Faariu, N. M., Setyawati, A., Kadidae, L. O., & Ramadhan, L. O. A. N. 2020. Synthesis and Characterization of Chitosan- Polyvinyl Alcohol-Fe₂O₃ Composite Membrane for DMFC Application. *Makara Journal of Science*. 24(1): 1–9.
- Pijoh, J. E. E., Palandeng, H. M. F., & Ottay, R. I. 2021. Gambaran kandungan antibiotik pada sedimen kawasan pesisir teluk Manado. *J Kedokt Kom Tropik*. 9(2): 341–345.
- Ponnusamy, P. M., Agilan, S., Muthukumarasamy, N., Senthil, T. S., Rajesh, G., Venkatraman, M. R., & Velauthapillai, D. 2016. Structural, optical and magnetic properties of undoped NiO and Fe-doped NiO nanoparticles synthesized by wet-chemical process. *Materials Characterization*. 114: 166–171.
- Pradana, A. F., Lubis, W. Z., Sulungbudi, G. T., Handajani, A., Mujamilah, & Arifin, B. 2016. Sintesis dan Pencirian Nanopartikel Fe₃O₄ dalam Hidrogel Kitosan. *Majalah Polimer Indonesia*. 19(1): 23–39.
- Prasetyowati, R., Widiawati, D., Swastika, P. E., Ariswan, A., & Warsono, W. 2021. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Magnetit (Fe₃O₄) Berbasis Pasir Besi Pantai Glagah Kulon Progo dengan Metode Kopresipitasi pada Berbagai Variasi Konsentrasi NH₄OH. *Jurnal Sains Dasar*. 10(2): 57–61.
- Putama, M. I. L. 2018. Karakterisasi Xrd Dan Sem Pada Material Nanopartikel Serta Peran Material Nanopartikel Dalam Drug Delivery System. *Pharma Xplore : Jurnal Ilmiah Farmasi*. 3(2): 214–221.
- Rafique, A. 2016. Chitosan Functionalized Poly(Vinyl Alcohol) for Prospects Biomedical and Industrial Applications: A Review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 87: 141–54.
- Rahmayanti, M. 2020. Sintesis dan Karakterisasi Magnetit (Fe₃O₄): Studi Komparasi Metode Konvensional dan Metode Sonokimia. *Al Ulum: Jurnal Sains Dan Teknologi*. 6(1): 26-30.

- Rampengan, A. M., Milian, S., & Tengker, T. 2021. Analisa Sifat Kemagnetan Polimer Poliethylen Glycol (PEG-4000) - coated Nanopartikel Magnetite Fe₃O₄ Menggunakan Vibrating Sample Magnetometer (VSM). *Fullerene Journal of Chemistry*. 6(2): 161–164.
- Reghioua, A., Barkat, D., Jawad, A. H., & Abdulhameed, A. S. 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: 1–15.
- Rezgui, S. 2022. Magnetic TiO₂/Fe₃O₄-Chitosan Beads: A Highly Efficient and Reusable Catalyst for Photo-Electro-Fenton Process. *Catalysts*. 12(11): 1-17.
- Riva'I, Imam, Ika Oktavia Wulandari, Hermin Sulistyarti, & Akhmad Sabarudin. 2017. Ex-Situ Synthesis of Polyvinyl Alcohol(PVA)-Coated Fe₃O₄ Nanoparticles by Coprecipitation-Ultrasonication Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 299(1): 1-7.
- Rogowska, J., & Zimmermann, A. 2022. Household Pharmaceutical Waste Disposal as a Global Problem—A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19(23): 2-29.
- Sabouri, Z., Akbari, A., Hosseini, H. A., Khatami, M., & Darroudi, M. 2020. Egg white-mediated green synthesis of NiO nanoparticles and study of their cytotoxicity and photocatalytic activity. *Polyhedron*. 178: 2-7.
- Sahdiah, H., & Kurniawan, R. 2023. Optimasi Tegangan Akselerasi pada Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX) untuk Pengamatan Morfologi Sampel Biologi. *Jurnal Sains Dan Edukasi Sains*. 6(2): 117–123.
- Sari Hasnah Dewi, S. W. A. F. 2017. Eliminasi Senyawa Azobenzene pada Limbah Batik Menggunakan Nanokatalis Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ dan Sinar Matahari. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*. 11(1): 69–76.
- Sari, R. N., & Sutrisno, H. 2018. Preparasi TiO₂-Tersensitifkan AgCl Dengan Teknik Refluks Dalam Suasana Asam dan Karakterisasinya. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*. 6(1): 1–12.
- 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.
- Shobirin, Muhammad, & M Pranjoto, Utomo. 2018. Preparasi Karakterisasi dan Aplikasi Ca_{2-x}Zn_xSiO₄ Sebagai Fotokatalis Untuk Degradasi Congo Red. *Jurnal Kimia Dasar*. 7(5): 237.

- Tadic, M., Nikolic, D., Panjan, M., & Blake, G. R. 2015. Magnetic properties of NiO (nickel oxide) nanoparticles: Blocking temperature and Neel temperature. *Journal of Alloys and Compounds*. 647: 1061–1068.
- Takai, Z. I., Mustafa, M. K., Asman, S., & Sekak, K. A. 2019. Preparation and characterization of magnetite (Fe_3O_4) nanoparticles by sol-gel method. *International Journal of Nanoelectronics and Materials*. 12(1): 37–46.
- Tariq, S., Rizvi, S. F.A & Anwar, U. 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., & Sylvina. 2019. Analisis Vibrating Sample Magnetometer (VSM) Pada Hasil Elektrodeposisi Lapisan Tipis Magnetite Menggunakan Aruscontinue Direct Current. *Natural Science Journal*. 5(1):722–30.
- Vishaka, E. J., M. Priya Dharshini, V. Shally, & Gerardin Jayam. 2021. Structural and Optical Properties of Pure NiO Nanoparticles and NiO- Mn_2O_3 , NiO-CdO, NiO- Pb_2O_3 , NiO-ZnO Nanocomposites. *Jordan Journal of Physics*. 14(5): 409–17.
- Wardiyati, S., Fisli, A., & Dewi, S. H. 2017. Eliminasi Senyawa Azobenzene pada Limbah Batik Menggunakan Nanokatalis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ dan Sinar Matahari. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*. 11(1): 69–76.
- Ways, T. M. M., Lau, W. M., & Khutoryanskiy, V. V. 2018. Chitosan and its derivatives for application in mucoadhesive drug delivery systems. *Polymers*. 10(3): 1-37.
- Wicaksono, Sigit Tri, & Edi Suharyadi. 2022. Green Synthesis of Fe_3O_4 /Chitosan Nanoparticles Utilizing Moringa Oleifera Extracts and Their Surface Plasmon Resonance Properties Green Synthesis of Fe_3O_4 /Chitosan Nanoparticles Utilizing Moringa Oleifera Extracts and Their Surface Plasmon Reso. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*. 11(12): 1–9.
- Wijayanto, S., & Bayuseno, A. 2014. Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrulenickel Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian : Mikrografi Dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin*. 2(1): 33–34.
- Zandipak, R., & Sobhanardakani, S. 2016. Synthesis of NiFe_2O_4 nanoparticles for removal of anionic dyes from aqueous solution. *Desalination and Water Treatment*. 57(24): 11348–11360.
- Zhao, G., Mo, Z., Zhang, P., Wang, B., Zhu, X., & Guo, R. 2015. Synthesis of graphene/ Fe_3O_4 /NiO magnetic nanocomposites and its application in

photocatalytic degradation the organic pollutants in wastewater. *Journal of Porous Materials*. 22(5): 1245–1253.

Zhu, H., Jiang, R., Fu, Y., Guan, Y., Yao, J., Xiao, L., & Zeng, G. 2012. Effective photocatalytic decolorization of methyl orange utilizing TiO₂/ZnO/chitosan nanocomposite films under simulated solar irradiation. *Journal Desalination*. 286: 41