

**SINTESIS KOMPOSIT NiFe₂O₄/KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL/SnO₂
UNTUK DEGRADASI FOTOKATALITIK TETRASIKLIN**

SKRIPSI

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



Oleh :

Fita Aulia

08031382025094

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

2024

HALAMAN PENGESAHAN

**SINTESIS KOMPOSIT NiFe₂O₄/KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL/SnO₂
UNTUK DEGRADASI FOTOKATALITIK TETRASIKLIN**

SKRIPSI

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

Oleh :

**FITA AULIA
08031382025094**

Indralaya, 08 Mei 2024

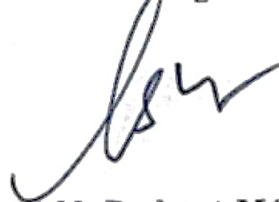
**Menyetujui,
Pembimbing**

Pembimbing I



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

Pembimbing II



**Dr. Addy Rachmat, M.Si.
NIP. 197409282000121001**

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 Fita Aulia (08031382025094) dengan judul "Sintesis Komposit NiFe_2O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/ SnO_2 untuk Degradasi Fotokatalitik Tetrasiklin" telah diseminarkan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 02 Mei 2024 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 08 Mei 2024

Ketua :

1. Prof. Dr. Elfita, M.Si.
196903261994122001

()

Sekretaris :

2. Dr. Heni Yohandini K, M.Si.
197011152000122004

()

Pembimbing:

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

()

2. Dr. Addy Rachmat, M.Si.
NIP. 197409282000121001

()

Penguji:

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

()

2. Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si.
NIP. 197211092000032001

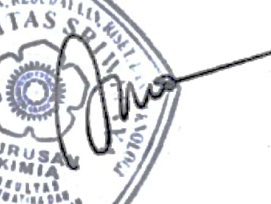
()

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 ILMIAH

Yang betanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Fita Aulia

NIM : 08031382025094

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,

Indralaya, 08 Mei 2024

Yang menyatakan,



Fita Aulia

NIM. 08031382025094

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Fita Aulia
NIM : 08031382025094
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Dengan 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/SnO₂ untuk Degradasi Fotokatalitik Tetrasiklin" dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 08 Mei 2024

Yang menyatakan,



Fita Aulia
NIM. 08031382025094

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Dan aku menyerahkan urusanku kepada Allah”

(QS. Al-Ghafir: 44)

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

(QS. Al-Insyirah: 5-6)

“Every person has a time and every time has a person”

Skripsi ini sebagai tanda syukur kepada:

- Allah SWT
- Nabi Muhammad SAW

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Mamak, Bapak, Mamas, Mbak dan keponakan onty tercinta yang senantiasa mendoakan dan memberikan motivasi.
2. Dosen pembimbing (Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si. dan Dr. Addy Rachmat, 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 NiFe_2O_4 /Kitosan-Polivinil Alkohol/ SnO_2 untuk Degradasi Fotokatalitik Tetrasiklin”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas 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 H, M.Si.** dan **Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si** yang telah membimbing, membantu, memberikan nasehat dan motivasi sejak awal penelitian hingga skripsi ini selesai.

Penulis juga menyampaikan 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 Dr. Widia Purwaningrum, M.Si. 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. Yuk Nur, Yuk Niar dan Yuk Yanti selaku Analis Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.

8. Mbak Novi dan Kak Iin selaku admin Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya yang banyak membantu dalam proses administrasi penulis hingga lulus.
9. Semua pihak tertentu yang telah membantu dan memberikan informasi baik secara langsung atau pun tidak langsung sehingga penulis dapat melaksanakan kerja praktik dan menyelesaikan laporan kerja praktik ini dengan baik.
10. Mbak leha, Agustina, Pita dan mbak nurul selaku sahabat dari penulis. Ucapan beribu terimakasih karena sudah mau dijadikan tempat keluh kesah serta selalu memberikan dukungan, sukses selalu untuk kedepannya.
11. Laellia, Elpera, Dian, Ota, Yeni, Vira, Elsa, Riesky selaku teman dan tim penelitian. Terimakasih sudah menjadi partner penelitian yang ter the best, see you on the top guys.
12. Ciwi-ciwi syabun (Riska, Lamria, Syakira, Chindy, Dinda, Jesika, Silvi, Fenti) terimakasih sudah menjadi teman seperjuangan dari maba, sukses selalu untuk kalian semua kedepannya.
13. Teman-teman seperjuangan Kimia Angkatan 2020, terimakasih atas kenangan yang sudah kita lewati bersama walaupun kita baru bertemu disemester 3, sukses selalu.
14. Kakak-kakak angkatan 19 (Kak Della, Kak Ragil, Kak Selvi, Mbak Erika) terimakasih atas saran dan dukungannya selama ini.
15. Semua pihak yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu per satu, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini dengan baik.

Semoga ilmu, bimbingan, masukan serta bantuan yang telah diberikan kepada penulis menjadi tuaian bagi kalian. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan kesalahan, harapan penulis semoga ada hal positif di Universitas Sriwijaya yang dapat diambil dan lebih dikembangkan dari karya ilmiah skripsi ini. Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih.

Indralaya, 08 Mei 2024


Penulis

SUMMARY

SYNTHESIS OF NiFe₂O₄/CHITOSAN-POLYVINYL ALCOHOL/SnO₂ COMPOSITE FOR PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF TETRACYCLINE

Fita Aulia : Supervised by Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si and Dr. Addy Rachmat, M.Si

Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University
xvii + 73 Pages, 19 Figures, 4 Tables, 12 Attachments.

Tetracycline antibiotics are among the broad-spectrum antibiotics that can treat bacterial infections, but excessive and uncontrolled use can have adverse effects on the environment. Therefore, it is necessary to treat antibiotic pollution using the photocatalytic method. In this study, NiFe₂O₄, NiFe₂O₄/Chitosan-Polyvinyl Alcohol, and NiFe₂O₄/Chitosan-Polyvinyl Alcohol/SnO₂ composites were synthesized using the co-precipitation method. The synthesis results were characterized using VSM, UV-Vis DRS, XRD, and SEM-EDX. Variables used for the photocatalytic degradation of tetracycline with the NiFe₂O₄/Chitosan-Polyvinyl Alcohol/SnO₂ composite included the pH, concentration, and irradiation time using a visible reactor. TOC was used to determine the success of the photocatalytic degradation of tetracycline. The characterization results of the NiFe₂O₄/Chitosan-Polyvinyl Alcohol/SnO₂ composite using VSM showed a saturation magnetization (Ms) value of 45.52 emu/g. XRD characterization revealed the highest peak intensity at angles $2\theta = 26.5^\circ$ and 35.65° , with NiFe₂O₄ crystal size of 16.28 nm and SnO₂ size of 36.89 nm. UV-Vis DRS calculations showed a band gap value of 1.78 eV. SEM-EDX characterization displayed a surface morphology of uneven grain-like particles with dispersed white mist (SnO₂) on the surface, consisting of C (3.305), N (6.60%), O (15.10%), Fe (47.70%), Ni (20.90%), and Sn (6.40%). The obtained pH_{pzc} value was 6.3. The optimum conditions for tetracycline reduction using the NiFe₂O₄/Chitosan-Polyvinyl Alcohol/SnO₂ composite were at pH 2, tetracycline concentration of 10 mg/L, and irradiation time of 90 minutes, resulting in an effectiveness of tetracycline concentration reduction of 96.25%. TOC analysis indicated a tetracycline concentration before degradation of 2.57 mg/L and after degradation of 0.648 mg/L, achieving a tetracycline carbon reduction of 74.78%. The NiFe₂O₄/Chitosan-Polyvinyl Alcohol/SnO₂ composite successfully degraded tetracycline photocatalytically into CO₂, H₂O, and simpler organic compounds.

Keywords : composite NiFe₂O₄/Chitosan-Polyvinyl Alcohol/SnO₂, degradation photocatalytic, tetracycline

Citation : 57 (1989-2023)

RINGKASAN

SINTESIS KOMPOSIT NiFe₂O₄/KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL/SnO₂ UNTUK DEGRADASI FOTOKATALITIK TETRASIKLIN

Fita Aulia : Dibimbing oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si dan Dr. Addy Rachmat, M.Si

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
xvii + 73 Halaman, 19 Gambar, 4 Tabel, 12 Lampiran.

Antibiotik tetrasiklin merupakan salah satu antibiotik spektrum luas yang dapat mengobati infeksi bakteri, namun penggunaan yang berlebihan dan tidak terkontrol akan menyebabkan dampak buruk bagi lingkungan. Oleh sebab itu, perlu dilakukan pengolahan cemaran antibiotik menggunakan metode fotokatalitik. Pada penelitian ini NiFe₂O₄, NiFe₂O₄/Kitosan-Polivinil Alkohol, dan komposit NiFe₂O₄/Kitosan-Polivinil Alkohol/SnO₂ disintesis menggunakan metode ko-presipitasi. Hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan VSM, UV-Vis DRS, XRD dan SEM-EDX. Variabel yang digunakan untuk degradasi fotokatalitik tetrasiklin dengan komposit NiFe₂O₄/Kitosan-Polivinil Alkohol/SnO₂ meliputi pengaruh pH, konsentrasi dan waktu penyinaran menggunakan reaktor visibel. TOC digunakan untuk mengetahui keberhasilan degradasi fotokatalitik tetrasiklin. Hasil karakterisasi komposit NiFe₂O₄/Kitosan-Polivinil Alkohol/SnO₂ menggunakan VSM menunjukkan nilai magnetisasi saturasi (M_s) sebesar 45,52 emu/g. Hasil karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan intensitas puncak tertinggi pada sudut 2θ = 26,5° dan 35,65° dengan ukuran kristal NiFe₂O₄ sebesar 16,28 nm dan SnO₂ sebesar 36,89 nm. Hasil perhitungan menggunakan UV-Vis DRS menunjukkan nilai *Band gap* sebesar 1,78 eV. Hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDX menunjukkan morfologi permukaan berbentuk butiran-butiran yang tidak merata dan adanya kabut putih (SnO₂) yang tersebar dipermukaan dengan unsur-unsur penyusunnya C (3,305), N (6,60%), O (15,10%), Fe (47,70%), Ni (20,90%), dan Sn (6,40%). Nilai pH_{pzc} yang didapat sebesar 6,3. Kondisi optimum penurunan tetrasiklin menggunakan komposit NiFe₂O₄/Kitosan-Polivinil Alkohol/SnO₂ berada pada pH 2 dengan konsentrasi tetrasiklin 10 mg/L dan waktu penyinaran selama 90 menit, didapatkan efektivitas penurunan konsentrasi tetrasiklin sebesar 96,25%. Hasil analisis TOC menunjukkan konsentrasi tetrasiklin sebelum degradasi sebesar 2,57 mg/L dan sesudah degradasi sebesar 0,648 mg/L, sehingga keberhasilan penurunan karbon tetrasiklin menggunakan komposit NiFe₂O₄/Kitosan-Polivinil Alkohol/SnO₂ sebesar 74,78%. Komposit NiFe₂O₄/Kitosan-Polivinil Alkohol/SnO₂ mampu mendegradasi fotokatalitik tetrasiklin menjadi CO₂, H₂O dan juga senyawa organik yang lebih sederhana.

Kata kunci : komposit NiFe₂O₄/Kitosan-Polivinil Alkohol/SnO₂, degradasi fotokatalitik, tetrasiklin

Kutipan : 57 (1989-2023)

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
SUMMARY	ix
RINGKASAN	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Limbah Antibiotik Tetrasiklin ($C_{22}H_{24}N_2O_8$)	5
2.2 Metode Fotokatalitik	6
2.3 Komposit	7
2.4 Timah Oksida (SnO_2)	8
2.5 Nanomagnetik ($NiFe_2O_4$)	9
2.6 Kitosan-Polivinil Alkohol	10
2.7 Karakterisasi	12
2.7.1 <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>	12
2.7.2 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	13
2.7.3 <i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)</i>	14

2.7.4	<i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX)</i>	15
2.8	<i>pH Point of Zero Charge (pHpzc)</i>	16
2.9	<i>Total Organic Carbon (TOC)</i>	17
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1	Waktu dan Tempat	18
3.2	Alat dan Bahan	18
3.2.1	Alat.....	18
3.2.2	Bahan.....	18
3.3	Prosedur Percobaan.....	19
3.3.1	Sintesis NiFe ₂ O ₄ (Ojemaye <i>et al.</i> , 2017).....	19
3.3.2	Sintesis NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA (Qi <i>et al.</i> , 2022).....	19
3.3.3	Sintesis komposit NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA/SnO ₂ (Reghioua <i>et al.</i> , 2021).....	19
3.4	Karakterisasi Material	20
3.4.1	<i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i> (Fadli <i>et al.</i> , 2017).....	20
3.4.2	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> (Fadli <i>et al.</i> , 2017).....	20
3.4.3	<i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)</i> (Zhu <i>et al.</i> , 2015).....	20
3.4.4	<i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX)</i> (Gebreslassie <i>et al.</i> , 2019) ...	21
3.4.5	Penentuan pH _{pzc} (<i>Point of Zero Charge</i>)	21
3.5	Penentuan Konsentrasi Tetrasiklin.....	21
3.5.1	Pembuatan Larutan Induk Tetrasiklin 1000 mg/L.....	21
3.5.2	Pembuatan Larutan Standar Tetrasiklin	21
3.5.3	Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Tetrasiklin .	21
3.5.4	Pembuatan Kurva Kalibrasi Tetrasiklin	22
3.6	Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Tetrasiklin oleh Komposit NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA/SnO ₂	22
3.6.1	Pengaruh pH	22
3.6.2	Pengaruh Variasi Konsentrasi Tetrasiklin	22

3.6.3 Pengaruh Waktu Penyinaran.....	23
3.7 Analisis Data.....	23
3.7.1 <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>	23
3.7.2 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	23
3.7.3 <i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)</i>	24
3.7.4 <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX)</i>	24
3.7.5 <i>Total Organic Carbon (TOC)</i>	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Hasil Karakterisasi Material	25
4.1.1 Hasil Karakterisasi NiFe ₃ O ₄ , NiFe ₃ O ₄ /Kitosan-PVA, NiFe ₃ O ₄ /Kitosan-PVA/SnO ₂ Menggunakan VSM.....	25
4.1.2 Hasil Karakterisasi NiFe ₃ O ₄ , NiFe ₃ O ₄ /Kitosan-PVA, NiFe ₃ O ₄ /Kitosan-PVA/SnO ₂ Menggunakan XRD	26
4.1.3 Hasil Karakterisasi NiFe ₃ O ₄ , NiFe ₃ O ₄ /Kitosan-PVA, NiFe ₃ O ₄ /Kitosan-PVA/SnO ₂ Menggunakan UV-VIS DRS	28
4.1.4 Hasil Karakterisasi NiFe ₃ O ₄ , NiFe ₃ O ₄ /Kitosan-PVA, NiFe ₃ O ₄ /Kitosan-PVA/SnO ₂ Menggunakan SEM-EDX.....	29
4.1.5 Penentuan pH <i>Point of Zero Charge</i> (pHpzc) pada Komposit NiFe ₂ O ₄ / Kitosan- PVA/SnO ₂	31
4.2 Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Tetrasiklin oleh Komposit NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA/SnO ₂	32
4.2.1 Variasi pH Tetrasiklin	32
4.2.2 Variasi Konsentrasi Tetrasiklin	33
4.2.3 Variasi Waktu penyinaran Tetrasiklin	34
4.3 Analisis Data <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	44

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Struktur Tetrasiklin (Pawestri <i>et al.</i> , 2019).....	6
Gambar 2. Proses Degradasi Fotokatalitik Rhodamine B (Arif <i>et al.</i> , 2022).....	7
Gambar 3. Struktur Spinel Ferrit Nikel (NiFe_2O_4) (Liao <i>et al.</i> , 2021).....	10
Gambar 4. Kitosan (Maghfiroh dkk, 2013).	11
Gambar 5. Polivinil Alkohol (PVA) (Maghfiroh dkk, 2013).	11
Gambar 6. Cross-linking antara Kitosan-PVA (Maghfiroh dkk, 2013).....	12
Gambar 7. Kurva Histeresis NiFe_2O_4 Murni, $\text{SnO}_2\text{-NiFe}_2\text{O}_4$ (15:85), dan $\text{SnO}_2\text{-NiFe}_2\text{O}_4$ (30:70) pada suhu 300 K (El Desouky <i>et al.</i> , 2021).....	13
Gambar 8. Difraktogram dari Nanokomposit (a). Standar JSPDS No: 00-54-0964 dari NiFe_2O_4 , (b). Standar JSPDS No: 00-41-1445 dari SnO_2 (El Desouky <i>et al.</i> , 2021).....	14
Gambar 9. Morfologi Permukaan Nanokomposit $\text{SnO}_2\text{-Fe}_3\text{O}_4$ Hasil Karakterisasi SEM (Said <i>et al.</i> , 2022).....	15
Gambar 10. Kurva Histeresis dari NiFe_2O_4 , $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}$ dan Komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}/\text{SnO}_2$	25
Gambar 11. Hasil Sintesis (a). NiFe_2O_4 , (b). $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}$, (c). $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}/\text{SnO}_2$ yang didekatkan dengan magnet eksternal.	26
Gambar 12. Difraktogram (a) NiFe_2O_4 , (b) $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}$, (c) $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}/\text{SnO}_2$	27
Gambar 13. Nilai band gap (a). NiFe_2O_4 (b). $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}$ (c). $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}/\text{SnO}_2$	29
Gambar 14. Morfologi (a). NiFe_2O_4 , (b). $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}$, (c). $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}/\text{SnO}_2$ pada perbesaran $30.000\times$	30
Gambar 15. Kurva pH _{pzc} $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}/\text{SnO}_2$	31
Gambar 16. Kurva Efektivitas Penurunan Konsentrasi Tetrasiklin Berdasarkan Variasi pH.....	32
Gambar 17. Kurva Efektivitas Penurunan Konsentrasi Tetrasiklin Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	33
Gambar 18. Kurva Efektivitas Penurunan Konsentrasi Tetrasiklin Berdasarkan Variasi Waktu Penyinaran.....	34
Gambar 19. Proses Degradasi Fotokatalitik Tetrasiklin Menggunakan $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}/\text{SnO}_2$	36

DAFTAR TABEL

	Halaman
Table 1. Tabel Hasil EDS Komposit SnO ₂ /Fe ₃ O ₄	16
Tabel 2. Sudut 2θ berdasarkan JCPDS dan ukuran kristal	26
Table 3. Unsur-unsur Penyusun NiFe ₂ O ₄ , NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA, dan NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-PVA/SnO ₂	30
Table 4. Hasil Analisis TOC Larutan Tetrasiklin Sebelum dan Sesudah Degradasi Fotokatalitik.	35

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Diagram Alir Prosedur Penelitian.....	45
Lampiran 2. Reaksi Pembentukan NiFe_2O_4	48
Lampiran 3. Hasil Karakterisasi Menggunakan XRD NiFe_2O_4 , $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}$, $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}/\text{SnO}_2$	49
Lampiran 4. Hasil Karakterisasi Menggunakan UV-VIS DRS NiFe_2O_4 , $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}$, $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}/\text{SnO}_2$	57
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi Menggunakan SEM-EDX NiFe_2O_4 , $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}$, $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}/\text{SnO}_2$	60
Lampiran 6. Penentuan pH_{pzc} (Point of Zero Charge) Komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}/\text{SnO}_2$	63
Lampiran 7. Penentuan Panjang Gelombang Tetrasiklin	64
Lampiran 8. Penentuan Kurva Kalibrasi Tetrasiklin	65
Lampiran 9. Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Tetrasiklin dengan Variasi pH menggunakan Komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}/$ SnO_2	66
Lampiran 10. Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Tetrasiklin dengan Variasi Konsentrasi menggunakan Komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/$ $\text{Kitosan-PVA}/\text{SnO}_2$	68
Lampiran 11. Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Tetrasiklin dengan Variasi Waktu penyinaran menggunakan Komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA}/\text{SnO}_2$	70
Lampiran 12. Hasil Analisis Menggunakan TOC pada Larutan Tetrasiklin	72

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Antibiotik telah banyak digunakan sebagai salah satu obat yang mampu menghambat pertumbuhan bakteri atau membunuh bakteri dari infeksi bakteri Gram-positif ataupun Gram-negatif. Tetrasiklin merupakan salah satu antibiotik yang memiliki spektrum luas dalam mencegah pertumbuhan bakteri dengan menghambat biosintesis protein (Rusu & Buta, 2021). Efek samping dari penggunaan tetrasiklin yang berlebih dapat menyebabkan perubahan warna kulit dan gigi, rasa gatal di area anus, dan terjadi iritasi pada mulut dan perut (Dineshbabu *et al.*, 2022). Tetrasiklin adalah salah satu antibiotik yang banyak digunakan dalam bidang akuakultur dan peternakan untuk mengobati infeksi bakteri di perairan (Babu *et al.*, 2021). Enam puluh persen penggunaan tetrasiklin berasal dari budidaya perikanan, sisa tetrasiklin yang ada di dalam air dapat merusak ekosistem air dan juga kesehatan manusia (Pawestri *et al.*, 2019). Efek yang ditimbulkan dari adanya cemaran tetrasiklin di perairan dapat menyebabkan bakteri resisten terhadap antibiotik, sehingga dapat mempengaruhi kesehatan manusia di masa depan. Tetrasiklin saat berada di dalam air itu sangat stabil sehingga tidak dapat terurai secara mandiri (Liu *et al.*, 2022).

Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan suatu metode yang mampu meminimalisir limbah organik yang ada pada perairan. Metode yang diajukan pada penelitian ini berupa metode fotokatalitik, dimana metode ini ramah lingkungan dan tidak memerlukan biaya yang besar (S. Huang *et al.*, 2021). Metode fotokatalitik dapat mendegradasi polutan organik seperti tetrasiklin menjadi karbon dioksida dan air (Padmaja *et al.*, 2023). Metode ini memiliki kelebihan diantaranya memiliki efisiensi degradasi yang tinggi, hanya membutuhkan sedikit energi, dan ramah lingkungan. Secara umum metode fotokatalitik menggunakan semikonduktor sebagai katalis dengan bantuan cahaya tampak sehingga dapat mendegradasi limbah organik (Lu *et al.*, 2023).

Semikonduktor SnO₂ atau timah oksida khususnya, terbukti sangat efektif dan populer karena harganya yang terjangkau, tidak beracun, stabil secara kimia, memiliki transfer muatan yang tinggi, serta memiliki morfologi, struktur, dan

aktivitas elektrokimia yang baik (Padmaja *et al.*, 2023). SnO₂ merupakan semikonduktor tipe n yang menjanjikan dengan *band gap* yang sesuai yaitu sekitar 3,6 eV sehingga hanya dapat menyerap cahaya ultraviolet (Kahng & Kim, 2022). SnO₂ dapat disintesis menggunakan metode presipitasi (Kim *et al.*, 2016). Beberapa kelebihan dari SnO₂ adalah memiliki sensitivitas terhadap cahaya tinggi, stabilitas termal tinggi, ramah lingkungan dan biaya operasional rendah (Arif *et al.*, 2022). Namun, SnO₂ murni memiliki efisiensi fotokatalisis yang rendah yang disebabkan oleh *band gap* yang cukup besar, sehingga perlu di turunkan dengan adanya doping dari NiFe₂O₄ (El Desouky *et al.*, 2021).

NiFe₂O₄ atau nikel ferrit merupakan nanomagnetik bersifat semikonduktor tipe p dengan struktur spinel kubik, dimana NiFe₂O₄ memiliki *band gap* sekitar 1,30-1,73 eV, dan tidak beracun. Kelebihan dari NiFe₂O₄ diantaranya memiliki celah pita yang sempit, memiliki sifat ferrimagnetik, dan memiliki rentang penyerapan cahaya tampak yang luas (Lu *et al.*, 2023). Namun, kinerja fotokatalitik NiFe₂O₄ murni terbatas karena memiliki kestabilan yang rendah, sehingga menyebabkan terjadinya aglomerasi/penggumpalan dan juga mudah teroksidasi. Hal tersebut dapat dicegah dengan melakukan modifikasi permukaan NiFe₂O₄ menggunakan agen penstabil yang berasal dari material organik atau anorganik. Material organik yang biasa digunakan sebagai agen penstabil berupa polimer (alami atau sintetis) (Wei *et al.*, 2012).

Kitosan merupakan salah satu polimer organik yang direkomendasikan karena memiliki karakteristik seperti biokompatibilitas, aktivitas antimikroba, biodegradasi, mudah dimodifikasi dan non-toksik (Silva *et al.*, 2018). Untuk meningkatkan kestabilan kimia, kekuatan mekanik, luas permukaan dan mencegah larut dalam larutan asam, maka diperlukan modifikasi kitosan secara kimia menggunakan agen pengikatan silang atau *crosslinking* seperti menggunakan polivinil alkohol, glutaraldehid dan glioksal (Reghioua *et al.*, 2021). Polivinil Alkohol (PVA) merupakan polimer hidrofilik sintetis yang larut dalam air, memiliki kemampuan berinteraksi dengan sistem biologis yang baik dan mampu membentuk struktur yang terhubung silang tanpa memerlukan penambahan agen penghubung yang beracun, sehingga mudah disesuaikan dengan tujuan aplikasi (Zhang *et al.*, 2023). PVA dapat diaplikasikan di berbagai bidang diantaranya

kedokteran dan biologi, terutama untuk pembalut luka karena memiliki biokompatibilitas yang sangat baik, mudah difungsikan, tidak beracun dan biaya rendah (Qi *et al.*, 2022).

Berdasarkan uraian latar belakang, maka dilakukan penelitian sintesis komposit NiFe₂O₄/Kitosan-PVA/SnO₂. Komposit hasil sintesis digunakan untuk degradasi tetrasiklin melalui metode fotokatalitik. NiFe₂O₄ digunakan untuk menurunkan *band gap* SnO₂ dan juga sebagai pemberi sifat magnet. Kitosan-PVA digunakan sebagai pelapis (*coating*), dan SnO₂ digunakan sebagai fotokatalis. Komposit NiFe₂O₄/Kitosan-PVA/SnO₂ dikarakterisasi menggunakan VSM, UV-Vis DRS, XRD dan SEM-EDX.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana keberhasilan sintesis komposit NiFe₂O₄/Kitosan-PVA/SnO₂?
2. Bagaimana kemampuan komposit NiFe₂O₄/Kitosan-PVA/SnO₂ dalam mendegradasi tetrasiklin dengan variasi pH, konsentrasi, dan waktu penyinaran?
3. Bagaimana keberhasilan penurunan *Total Organic Carbon* (TOC) tetrasiklin sebelum dan sesudah degradasi menggunakan komposit NiFe₂O₄/Kitosan-PVA/SnO₂?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mensintesis dan mengkarakterisasi komposit NiFe₂O₄/Kitosan-PVA/SnO₂ menggunakan VSM, UV-Vis DRS, XRD dan SEM-EDX.
2. Menentukan kemampuan komposit NiFe₂O₄/Kitosan-PVA/SnO₂ dalam mendegradasi tetrasiklin menggunakan variasi pH, konsentrasi, dan waktu penyinaran.
3. Menentukan keberhasilan penurunan *Total Organic Carbon* (TOC) tetrasiklin sebelum dan sesudah degradasi menggunakan komposit NiFe₂O₄/Kitosan-PVA/SnO₂.

1.4 Manfaat penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan metode fotokatalitik menggunakan komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-PVA/SnO}_2$ untuk membantu proses degradasi fotokatalitik antibiotik tetrasiklin.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrozi, A. S., & Sudaryanto. 2016. Penambahan N pada TiO₂ dan Pengaruhnya pada Energi Band Gap TiO₂ sebagai Bahan Pengolah Limbah. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir*. 31: 59-62.
- 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): 1-16.
- Andari, N. D., & Wardhani, S. 2018. Fotokatalis TiO₂-Zeolit untuk Degradasi Metilen Biru. *Chemistry Progress*. 7(1): 9–14.
- Arif, M., Shah, M. Z. U., Ahmad, S. A., Shah, M. S., Ali, Z., Ullah, A., Idrees, M., Zeb, J., Song, P., Huang, T., & Yi, J. 2022. High Photocatalytic Performance of Copper-Doped SnO₂ Nanoparticles in Degradation of Rhodamine B dye. *Optical Materials*. 134: 1–9.
- Aulia, S. A., Sutningsih, 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): 70.
- Babu, B., Koutavarapu, R., Shim, J., Kim, J., & Yoo, K. 2021. Improved Sunlight-Driven Photocatalytic Abatement of Tetracycline and Photoelectrocatalytic Water Oxidation by Tin Oxide Quantum Dots Anchored on Nickel Ferrite Nanoplates. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 900: 1.
- Błoniarz, A., Cholewa-Kowalska, K., Gajewska, M., Grysakowski, B., & Moskalewicz, T. 2022. Electrophoretic Deposition, Microstructure and Selected Properties of Nanocrystalline SnO₂/Sr Enriched Bioactive Glass/Chitosan Composite Coatings on Titanium. *Surface and Coatings Technology*. 450: 1–13.
- Dewanti, N. P., Muslim, M., & Prihatiningsih, W. R. 2014. Analisis Kandungan Karbon Organik Total (KOT) dalam Sedimen di Perairan Sluke Kabupaten Rembang. *Jurnal Oseanografi*. 5(2): 205–206.
- Dimri, P., Rawat, J., Semwal, A., Sharma, H., & Dwivedi, C. 2023. Synthesis and Characterization of CdSe Decorated ZnO Microtubes and Their Application in Dye Degradation Under Visible Light. *Materials Today: Proceedings*. 83: 53-58.
- Dineshbabu, N., Jayaprakash, R. N., Karuppasamy, P., Arun, T., Vijaya, J. J., Nimshi, R. E., Pandian, M. S., Packiam, S. M., & Ramasamy, P. 2022. Investigation on Tetracycline Degradation and Bactericidal Properties of Binary and Ternary ZnO/NiO/g-C₃N₄ Composites Prepared by a facile Co-

- Precipitation Method. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 10(3): 1-17.
- El Desouky, F. G., Saadeldin, M. M., Mahdy, M. A., & El Zawawi, I. K. 2021. Tuning the Structure, Morphological Variations, Optical and Magnetic Properties of SnO₂/NiFe₂O₄ Nanocomposites for Promising Applications. *Vacuum*. 185: 1–12.
- 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: 1445–1454.
- 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, S., Omar, T., & Muzzio, F. J. 2022. SEM/EDX and Raman chemical Imaging of Pharmaceutical Tablets: A Comparison of Tablet Surface Preparation and Analysis Methods. *International Journal of Pharmaceutics*. 611: 1–11.
- Hariani, P. L., Said, M., Rachmat, A., Aprianti, N., Stephanie, E. A. 2022. Synthesis of Fe₃O₄/SiO₂/NiO Magnetic Composite: Evaluation of its Catalytic Activity for Methylene Blue Degradation. *Global NEST Journal*. 24(10): 1–8.
- 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.
- Huang, H., Zhao, S., Yang, Y., Wang, Y., Lu, R., Lu, Y., & Chen, J. 2022. Axially Wrinkled Tubular SnO₂/TiO₂ Heterostructures for Effective Degradation of Organic Pollutants. *Materials Science in Semiconductor Processing*. 152: 1.
- Huang, S., Zhang, J., Qin, Y., Song, F., Du, C., & Su, Y. 2021. Direct Z-scheme SnO₂/Bi₂Sn₂O₇ Photocatalyst for Antibiotics Removal: Insight on the Enhanced Photocatalytic Performance and Promoted Charge Separation Mechanism. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 404: 1–10.
- Ismadji, S., Soetardjo, F. E., Santoso, S. P., Putro, J. N., Yuiana, maria, Hartono, S. B., & Lunardi, V. B. 2021. *Adsorpsi pada Fase Cair Kesetimbangan, Kinetika dan Termodinamika*. Surabaya : Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya.
- Jafery, K. M., Embong, Z., Othman, N. K., Yaakob, N., Shah, M., & Hashim, N. Z. N. 2021. SEM-EDX and AFM Analysis for the Surface Corrosion Morphology Structure and Roughness on Embedded X70 External Pipeline in

- Acidic Soil (Peat) Environment. *Materials Today: Proceedings*. 48: 1929–1935.
- Jamaluddin, J., 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): 2.
- Kahng, S., & Kim, J. H. 2022. Heterojunction Photoanode of SnO₂ and Mo-doped BiVO₄ for Boosting Photoelectrochemical Performance and Tetracycline Hydrochloride Degradation. *Chemosphere*. 291: 1–10.
- Kim, S. P., Choi, M. Y., & Choi, H. C. 2016. Photocatalytic Activity of SnO₂ Nanoparticles in Methylene Blue Degradation. *Materials Research Bulletin*. 74: 85–89.
- Koutavarapu, R., Tamtam, M. R., Myla, C. R., Cho, M., & Shim, J. 2021. Enhanced Solar-Light-Driven Photocatalytic Properties of Novel Z-Scheme Binary BiPO₄ Nanorods Anchored Onto NiFe₂O₄ Nanoplates: Efficient Removal of Toxic Organic Pollutants. *Journal of Environmental Sciences (China)*. 102: 326–340.
- 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): 281–282.
- Liu, S. yuan, Zada, A., Yu, X., Liu, F., & Jin, G. 2022. NiFe₂O₄/g-C₃N₄ Heterostructure with an Enhanced Ability for Photocatalytic Degradation of Tetracycline Hydrochloride and Antibacterial Performance. *Chemosphere*. 307: 1–9.
- Lu, C., Wang, J., Cao, D., Guo, F., Hao, X., Li, D., & Shi, W. 2023. Synthesis of Magnetically Recyclable g-C₃N₄/NiFe₂O₄ S-Scheme Heterojunction Photocatalyst with Promoted Visible-Light-Response Photo-Fenton Degradation of Tetracycline. *Materials Research Bulletin*. 158: 1–12.
- Lwin, H. M., Zhan, W., Song, S., Jia, F., & Zhou, J. 2019. Visible-Light Photocatalytic Degradation Pathway of tetracycline Hydrochloride with Cubic Structured ZnO/SnO₂ Heterojunction Nanocatalyst. *Chemical Physics Letters*. 736: 1-10.
- Maghfiroh., Sumarni, W., & Susatyo, B. 2013. Sintesis dan Karakterisasi Edible Film Kitosan Termodifikasi PVA dan Sorbitol. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 2(1): 1–6.
- Maruthupandy, M., Muneeswaran, T., Chackaravarthi, G., Vennila, T., Anand, M., Cho, W. S., & Quero, F. 2022. Synthesis of Chitosan/SnO₂ Nanocomposites by Chemical Precipitation for Enhanced Visible Light Photocatalytic Degradation Efficiency of Congo Red And Rhodamine-B Dye Molecules.

Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. 430: 1-9.

- Mook, W. T., Chakrabarti, M. H., Aroua, M. K., Khan, G. M. A., Ali, B. S., Islam, M. S., & Abu Hassan, M. A. 2012. Removal of Total Ammonia Nitrogen (TAN), Nitrate and Total Organic Carbon (TOC) from Aquaculture Wastewater Using Electrochemical Technology: A review. *Desalination*. 285: 1–13.
- Muflihatun, Shofiah, S., & Suharyadi, E. 2015. Sintesis Nanopartikel Nickel Ferrite (NiFe_2O_4) dengan Metode Kopresipitasi dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya. *Jurnal Fisika Indonesia*. 19(55): 20–25.
- Ni, T., Yang, Z., Zhang, H., Zhou, L., Guo, W., Liu, D., Chang, K., Ge, C., & Yang, Z. 2022. Visible Light Assisted Peroxymonosulfate Activation by NiO/SnO_2 Composite for Efficient Tetracycline Degradation. *Applied Surface Science*. 604: 1-12.
- Noh, J. s., & Schwarz, J. A. 1989. Estimation of The Point of Zero Charge of Simple and Mixed Oxides by Mass Titration. *Junal of Colloid and Interface Science*. 130(1): 157–164.
- Ojemaye, M. O., Okoh, O. O., & Okoh, A. I. 2017. Performance of $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$ Magnetic Photocatalyst for the Effective Photocatalytic Reduction of Cr(VI) in Aqueous Solutions. *Journal of Nanomaterials*. 2017: 1-11.
- Oktaviani, Z. P., & Haris, A. 2016. Sintesis ZnO-SiO_2 dan Aplikasinya pada Fotokatalisis Degradasi Limbah Organik Fenol dan Penurunan Kadar Cd(II) secara Simultan. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 19(2): 47.
- Padmaja, B., Dhanapandian, S., Suthakaran, S., Ashokkumar, K., & Krishnakumar, N. 2023. Hydrothermally Developed SnO_2 Nanoparticles and its Photocatalytic Degradation of Alizarin Red S, Brilliant Green and Methyl Orange Dyes and Electrochemical Performances. *Inorganic Chemistry Communications*. 149: 1–14.
- Palanivel, B., Shkir, M., Alshahrani, T., & Mani, A. 2021. Novel NiFe_2O_4 Deposited S-Doped g- C_3N_4 Nanorod: Visible-Light-Driven Heterojunction for Photo-Fenton Like Tetracycline Degradation. *Diamond and Related Materials*. 112: 1–11.
- 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.
- Qi, J., Zhang, J., Jia, H., Guo, X., Yue, Y., Yuan, Y., & Yue, T. 2022. Synthesis of Silver/ Fe_3O_4 @Chitosan@Polyvinyl Alcohol Magnetic Nanoparticles as an Antibacterial Agent for Accelerating Wound Healing. *International Journal of Biological Macromolecules*. 221: 1404–1414.

- Reddy, C. V., Koutavarapu, R., Reddy, K. R., Shetti, N. P., Aminabhavi, T. M., & Shim, J. 2020. Z-Scheme Binary 1D $ZnWO_4$ Nanorods Decorated 2D $NiFe_2O_4$ Nanoplates as Photocatalysts for High Efficiency Photocatalytic Degradation of Toxic Organic Pollutants from Wastewater. *Journal of Environmental Management*. 268: 1-12.
- Reghioua, A., Barkat, D., Jawad, A. H., & Abdulhameed, A. S. 2021. Synthesis of Schiff's Base Magnetic Crosslinked Chitosan-Glyoxal/ ZnO/Fe_3O_4 Nanoparticles for Enhanced Adsorption of Organic Dye: Modeling and Mechanism Study. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. 20: 1–15.
- Riyanti, F., Hasanudin, H., Rachmat, A., Purwaningrum, W., & Hariani, P. L. 2023. Photocatalytic Degradation of Methylene Blue And Congo Red Dyes from Aqueous Solutions by Bentonite- Fe_3O_4 Magnetic. *Communications in Science and Technology*. 8(1): 1–9.
- Rusu, A., & Buta, E. L. 2021. The Development of Third-Generation Tetracycline Antibiotics and New Perspectives. *Pharmaceutics*. 13(12): 1-30.
- Sahabuddin, H., Harisuseno, D., & Yuliani, E. 2018. Analisis Status Mutu Air dan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Wanggu Kota Kendari. *Jurnal Teknik Pengairan*. 5(1): 19–28.
- Said, M., Rizki, W. T., Asri, W. R., Desnelli, D., Rachmat, A., & Hariani, P. L. 2022. $SnO_2-Fe_3O_4$ Nanocomposites for the Photodegradation of the Congo Red Dye. *Heliyon*. 8(4): 1-13.
- Sari Hasnah Dewi, S. W. A. F. 2017. Eliminasi Senyawa Azobenzene pada Limbah Batik Menggunakan Nanokatalis $Fe_3O_4/SiO_2/TiO_2$ dan Sinar Matahari. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*. 11(1): 69–76.
- Setiawan, Y., & Mahatmanti, F. W. 2018. Preparasi dan Karakterisasi Nanozeolit dari Zeolit Alam Gunungkidul dengan Metode Top-Down. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 7(1): 1–7.
- Silva, A. L. C., Ugucioni, J. C., Correa, S., Ardisson, J. D., Macedo, W. A. A., Silva, J. P., Cotta, A. A. C., & Brito, A. D. B. 2018. Synthesis and Characterization of Nanocomposites Consisting of Polyaniline, Chitosan and Tin Dioxide. *Materials Chemistry and Physics*. 216: 402–412.
- Sugiyana, D., & Soenoko, B. 2016. Identifikasi Mekanisme Fotokatalitik pada Degradasi Zat Warna Azo Reactive Black 5 Menggunakan Katalis Mikropartikel TiO_2 . *Arena Tekstil*. 31(2): 117.
- Taib, S., & Suharyadi, E. 2015. Sintesis Nanopartikel Magnetite (Fe_3O_4) dengan Template silika (SiO_2) dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya. *Indonesian Journal of Applied Physics*. 5(01): 23.
- Utami, A. R., & Wulandari, C. N. 2020. Verifikasi Metode Pengujian Total Organic Carbon (TOC) dalam Air Limbah Kegiatan Minyak dan Gas dengan

- Menggunakan TOC Analyzer. *Prosiding Seminar Nasional Kimia (SNK)*. 258–267.
- Wei, Y., Han, B., Hu, X., Lin, Y., Wang, X., & Deng, X. 2012. Synthesis of Fe₃O₄ Nanoparticles and Their Magnetic Properties. *Procedia Engineering*. 27: 632–637.
- Xie, L., Ren, Z., Zhu, P., Xu, J., Luo, D., & Lin, J. 2021. A novel CeO₂–TiO₂/PANI/NiFe₂O₄ Magnetic Photocatalyst: Preparation, Characterization and Photodegradation of Tetracycline Hydrochloride Under Visible Light. *Journal of Solid State Chemistry*. 300: 1–11.
- Zainul, R., Aziz, H., & Arief, S. 2020. *Fotokatalis dan Fototransformasi Asam Humat*. Padang: CV Berkah Prima.
- Zandipak, R., & Sobhanardakani, S. 2016. Synthesis of NiFe₂O₄ Nanoparticles for Removal of Anionic Dyes from Aqueous Solution. *Desalination and Water Treatment*. 57(24): 1-13.
- Zhang, K., Liu, Y., Shi, X., Zhang, R., He, Y., Zhang, H., & Wang, W. 2023. Application of Polyvinyl Alcohol/Chitosan Copolymer Hydrogels in Biomedicine: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 242: 1-15.
- Zhu, H. Y., Jiang, R., Huang, S. H., Yao, J., Fu, F. Q., & Li, J. B. 2015. Novel Magnetic NiFe₂O₄/Multi-Walled Carbon Nanotubes Hybrids: Facile Synthesis, Characterization, and Application to the Treatment of dyeing Wastewater. *Ceramics International*. 41(9): 1-12.