

**SINTESIS KOMPOSIT NiFe₂O₄/KITOSAN-GLUTARALDEHID/SnO₂
SEBAGAI FOTOKATALITIK UNTUK DEGRADASI TETRASIKLIN**

SKRIPSI



Elsa Wahyuni

08031282025063

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

2024

HALAMAN PENGESAHAN
SINTESIS KOMPOSIT NiFe₂O₄/KITOSAN-GLUTARALDEHID/SnO₂
SEBAGAI FOTOKATALITIK UNTUK DEGRADASI TETRASIKLIN

SKRIPSI

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

Diusulkan Oleh :
ELSA WAHYUNI
08031282025063

Indralaya, 17 Mei 2024

Menyetujui,
Pembimbing



Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si
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 Elsa Wahyuni (08031282025063) dengan judul "Sintesis Komposit NiFe_2O_4 /Kitosan-Glutaraldehyd/ SnO_2 Sebagai Fotokatalitik Untuk Degradasi Tetrasiklin" telah diseminarkan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 17 Mei dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 17 Mei 2024

Ketua :

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

()

Sekretaris :

1. Dr. Ferlinahayati, M.Si
NIP. 197402052000032001

()

Pembimbing:

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

()

Penguji:


1. Dr. Nova Yuliasari, M.Si
NIP.197307261999032001
2. Dr. Eliza, M.Si
NIP. 196407291991022001

()

()

Mengetahui,

Dekan FMIPA


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

Ketua Jurusan Kimia


Prof. Dr. Muharni, M.Si.
NIP. 296903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Elsa Wahyuni

NIM : 08031282025063

Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia

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

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 17 Mei 2024

Yang menyatakan,



Elsa Wahyuni

NIM.08031282025063

HALAMAN PERSETUJUSN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan dibawah ini

Nama Mahasiswa : Elsa Wahyuni

NIM : 08031282025063

Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya "Sintesis Komposit NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd/ SnO_2 Sebagai Fotokatalik Untuk Degradasi Tetrasiklin" dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/ memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/ pencipta dan sebagai pemilik hak cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 17 Mei 2024

Yang menyatakan,



Elsa Wahyuni
NIM.08031282025063

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tiada kekayaan yang lebih utama dari pada akal. Tiada keadaan yang menyedihkan daripada kebodohan, dan tiada warisan yang lebih baik daripada pendidikan

[Imam Ali Bin Abi Thalib R.A]

Skripsi ini sebagai tanda syukurku kepada:

- **ALLAH SWT**
- **Nabi MUHAMMAD SAW**

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. **Upak, Mama dan adik-adik tercinta yang senantiasa mendoakan serta memberikan dukungan**
2. **Dosen pembimbing Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si.**
3. **Keluarga besar, sahabat serta semua orang yang turut membantu hingga terselesainya skripsi ini**
4. **Almamater (Universitas Sriwijaya)**

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang maha pengasih lagi maha penyayang. Segala puji syukur saya panjatkan atas kehadiran-Nya yang telah melimpahkan segala rahmat, hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sintesis Komposit NiFe₂O₄/Kitosan-Glutaraldehyd/SnO₂ Sebagai Fotokatalitik Untuk Degradasi Tetrasiklin”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai rintangan yang telah dilalui, mulai dari pencarian judul, literatur, penelitian, pengumpulan data, pengolahan data dan penulisan. Namun dengan segala usaha, kesabaran dan ketekunan yang dilandasi rasa tanggung jawab sebagai mahasiswa serta bantuan dari berbagai pihak baik berupa moril maupun material akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Pertama-tama penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si selaku dosen pembimbing Penelitian juga selaku dosen pembimbing akademikyang telah membimbing, membantu, memberikan nasehat dan memotivasi dari awal perkuliahan hingga skripsi ini selesai. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan segala Rahmat dan nikmat-Nya yang sangat luar biasa kepada penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Hermansyah, M.Si selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si selaku dosen pembimbing penelitian dan juga dosen pembimbing akademik, terima kasih banyak bu sudah banyak meluangkan waktu untuk membimbing saya, memberikan arahan, memotivasi dan memberikan ilmu yang bermanfaat. Semoga ibu

panjang umur, sehat selalu dan selalu dilancarkan segala urusan dan rezekinya Aamiin.

6. Ibu Dr. Nova Yuliasari, M.Si selaku dosen pembahas, terimakasih ibu sudah peduli dan pengertian kepada saya, terimakasih sudah banyak memberikan masukan serta saran kepada saya. Semoga kebaikan ibu senantiasa dibalas Allah SWT.
7. Ibu Dr. Eliza, M.Si selaku dosen pembahas, terimakasih ibu sudah memberikan saran serta masukan. Semoga kebaikan ibu senantiasa dibalas oleh Allah SWT.
8. Seluruh Dosen FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama masa perkuliahan.
9. Sasmita wanita yang sangat penulis sayangi, berkat doa dan kerja keras dari beliau hingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini hingga selesai. Terimakasih untuk dukungan baik moral maupun materi yang selalu engkau usahakan, gelar sarjana ini penulis hadiah kan untuk mama. Semoga mama panjang umur untuk selalu kebersamai proses selanjutnya. Apriandi laki-laki yang sangat penulis banggakan. Atas kerja keras serta dukungan yang tiada henti-hentinya lah yang menjadi motivasi bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Ini merupakan impian dari mereka berdua yang telah saya wujudkan. Semoga panjang umur dan sehat selalu untuk kebersamai mewujudkan impian-impian berikutnya.
10. Adik-adik tercinta Tasya Oktari Putri, Eni Fitriani, Nadira Sadiqah telah menjadi semangat bagi penulis lewat perhatiannya, tingkah lucunya serta memberikan doa terbaik untuk kakak perempuannya ini. semoga kita menjadi saudari yang selalu saling menyayangi dan saling dukung untuk hal-hal hebat yang akan kita usahakan Aamiin. Saudari penulis Wiliya Seftiani satu-satunya sahabat yang tidak pernah meninggalkan, menerima kurang dan lebihnya penulis terimakasih walau berbeda jalan tapi selalu berjalan beriringan semoga kita selalu searah untuk menggapai cita dan cinta.
11. Kepada maulana, terimakasih telah menemani penulis dari awal perkuliahan hingga selesainya skripsi menjadi saksi penulis untuk selalu bertahan dengan segala hal yang dirasakan penulis.

12. Kak Chosiin dan Mba Novi selaku Admin Jurusan Kimia yang selalu baik, ramah, sabar dan mau membantu penulis selama perkuliahan hingga lulus. Terimakasih banyak, semoga selalu diberikan kesehatan.
13. Nyimas Fadillah selaku teman pertama penulis di perkuliahan ini. Terimakasih sudah banyak membantu, mendengarkan cerita, banyak berbagi suka dan telah bersama-sama dalam satu rumah menjalani perkuliahan ini sudah banyak sekali yang telah dilalui. Maaf jika terdapat hal-hal yang menyinggung hati, Semoga kita selalu diberikan kesuksesan dimasa depan Aamiin.
14. "Bad Mood" Maisyah Wanda manusia overthinking yang paling pengertian. Banyak kisah yang kita lalui sama-sama dari tinggal bersama di satu rumah hingga sama-sama jadi bagian BPH yang tidak disangka-sangka akhirnya bisa melawati nya walaupun sambil nangis dikit. Feni Yunita si paling dewasa diantara yang lainnya terimakasih atas kebersamaan nya telah banyak membantu dan tinggal bersama banyak sekali yang telah di lalui suka duka di kost sampai jadi anak pp. Nur Azizah si paling perhatian, terimakasih kebersamaan tinggal bersama sudah banyak membantu selama perkuliahan ini. Anissah Kamila si paling bisa diandalkan, makasih ya kamile sudah peduli dengan hal-hal kecil yang membuat aku terharu. Msy Yunita Sari si paling santuy namun ambis, mayuu terimakasih telah membersamai selama perkuliahan ini sudah banyak membantu dalam pembelajaran dan tugas. Guys terima kasih banyak sudah hadir sebagai sahabat, keluarga dan teman untuk saya selama perkuliahan ini, jika tanpa kalian apalah jadinya aku. Beruntung banget bisa dipertemukan orang-orang baik seperti kalian. Semoga seterusnya tetap terjalin silaturahmi dengan baik. Sayang banget sama kalian semua.
15. Yeni Fransisca selaku teman penelitian yang selalu membersamai serta selalu membantu selama penelitian. Terimakasih sudah selalu pengertian dan perhatian, saya merasa beruntung bisa dipertemukan dan mengerjakan penelitian bersama-sama, melewati kebingungan dan mencari solusi bersama. Semoga yeni sukses selalu dimana pun yeni berada, yeni hebat sekali sudah berjuang dan bertahan sehingga menyelesaikan bersama-sama. Maaf jika

terdapat salah dan khilaf selama menjadi teman penelitian yeni, semoga selalu terjalin silaturahmi ini hingga selamanya Aamiin.

16. Elpera Yulianti si paling bunda, terimakasih untuk semua perhatian dengan hal-hal kecil dan kasih sayang nya sampe ke hati. Terimakasih telah menjadi bagian dari cerita panjang perkuliahan ini, dari mulai kerja praktik hingga penelitian bersama dan sampai menyelesaikan masa perkuliahan bersama. Fita Aulia si 911 saya, terima kasih banyak untuk semua pertanyaan yang selalu fita jawab, semua hal yang selalu fita usahakan dan untuk semangat serta kebersamaan selama ini, kita memang baru kenal namun ketulusan fita membuat saya tersentuh. Laelia Denada si paling diandalkan dalam segala hal, terimakasih selalu mengusahakan yang terbaik, selalu mengingatkan dan solidaritas yang tinggi nya. Vira Ardana garda terdepan yang akan melindungi dari kekhawatiran dan rasa takut yang saya rasakan, terimakasih banyak karna vira selalu berusaha hingga selesai, selalu mengusahakan segala hal dan menjadi bagian dari cerita indah yang akan saya kenang. Oktarina Munawaroh yang selalu perhatian dalam segala hal, terimakasih untuk semua kebaikan dan bantuannya. Dian Sintiwati untuk semua hal dan kebersamaan nya. Riesky Sipahutar hero diantaranya dayang-dayang nya selalu mengusahakan apapun keinginan dari dayang-dayangnya, selalu kebersamaan di setiap momen. Sayang sekali sama sahabat penelitian ini semoga silaturahmi kita tidak pernah terputus ya, kita semua akan jadi orang sukses Aamiin.
17. Rizna Aprina kakak asuh yang telah banyak sekali membantu dari maba hingga menyelesaikan penelitian ini. Terimakasih untuk semua hal baiknya semoga kakak sukses dan sehat selalu. Amanda Muzdalifah Safitri partner benhim yang punya hati baik sekali, terimakasih karna manda telah menjadi bagian dari cerita indah dimasa perkuliahan ini, terimakasih untuk semua hal yang manda usahakan selama menjadi partner benhim semoga selalu terjalin silaturahmi dengan baik, semangat menyelesaikan kuliah ini ayo kita cari uang yang banyak lagi.
18. Seluruh angkatan 2020 yang telah berjuang bersama-sama melalui perkuliahan online hingga offline. Kalian semua hebat.

SUMMARY

SINTESIS KOMPOSIT NiFe₂O₄/KITOSAN-GLUTARALDEHID/SnO₂ SEBAGAI FOTOKATALITIK UNTUK DEGRADASI TETRASIKLIN

Elsa Wahyuni: Supervised by Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si
Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University
x + 63 pages, 4 tables, 13 figures, 13 attachments.

Tetracycline is a broad-spectrum antibiotic that is widely used for the prevention and treatment of bacterial infections against humans and farm animals, this is because of its high activity and low cost. Widespread and excessive use causes tetracycline release which causes the environment to be polluted resulting in serious public health problems, therefore degradation of tetracycline using semiconductor photocatalytic methods is needed because of its high degradation effectiveness, cost efficiency and environmental friendliness. This study was carried out the synthesis of NiFe₂O₄/Chitosan-Glutaraldehyde/SnO₂ composites as photocatalytics for tetracycline degradation. Photocatalytic degradation variables using NiFe₂O₄/Chitosan-Glutaraldehyde/SnO₂ composites include the influence of pH, the influence of concentration and the influence of contact time using visible light. Synthesis results were characterized using XRD, VSM, SEM-EDS and UV-VIS DRS. The XRD characterization results get a crystal size of 17.22 nm. VSM characterization results get a saturation magnetization value (Ms) of 45.19 emu/g. The results of SEM-EDS characterization showed a homogeneous morphology with constituent elements C (12.70%), N (6.30%), O (17.80%), Fe (40.10%), Ni (20.60%), Sn (2.50%) and the band gap value of UV-VIS DRS characterization of 1.60 eV. The pH_{pzc} value of the NiFe₂O₄/Chitosan-Glutaraldehyde/SnO₂ composite was at pH 6,4. Percentage of effectiveness of reducing tetracycline concentration by NiFe₂O₄/Chitosan-Glutaraldehyde/SnO₂ composite was at pH 3 with a concentration of 10 ppm and a contact time of 105 minutes with an effectiveness of reducing tetracycline concentration by 99.85%. The results of the analysis of Total Organic Carbon (TOC) tetracycline solution 10 ppm before degradation by 4.00 ppm after degradation by 2.57 ppm so that a decrease in carbon levels by 35.75% was obtained.

Keywords : NiFe₂O₄, SnO₂, photocatalytic, degradation, tetracycline.

Citations : 43(2008-2022)

RINGKASAN

SINTESIS KOMPOSIT NiFe₂O₄/KITOSAN-GLUTARALDEHID/SnO₂ SEBAGAI FOTOKATALITIK UNTUK DEGRADASI TETRASIKLIN

Elsa Wahyuni: Dibimbing oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si
Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
x + 63 halaman, 4 tabel, 13 gambar, 13 lampiran.

Tetrasiklin merupakan antibiotik spektrum luas yang banyak digunakan untuk pencegahan dan pengobatan infeksi bakteri terhadap manusia dan hewan ternak, hal ini karena aktivitasnya yang tinggi dan biaya yang murah. Penggunaan yang luas dan berlebihan menyebabkan adanya pelepasan limbah cair tetrasiklin yang menyebabkan lingkungan tercemar sehingga munculnya masalah kesehatan masyarakat yang serius, oleh karena itu diperlukan degradasi terhadap tetrasiklin menggunakan metode fotokatalitik semikonduktor karena efektivitas degradasi tinggi, efisiensi biaya serta ramah lingkungan. Penelitian ini dilakukan sintesis komposit NiFe₂O₄/Kitosan-Glutaraldehyd/SnO₂ sebagai fotokatalitik untuk degradasi tetrasiklin. Variabel degradasi fotokatalitik menggunakan komposit NiFe₂O₄/Kitosan-Glutaraldehyd/SnO₂ diantaranya pengaruh pH, pengaruh konsentrasi dan pengaruh waktu kontak menggunakan sinar visible. Hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD, VSM, SEM-EDS dan UV-VIS DRS. Hasil karakterisasi XRD mendapatkan ukuran kristal sebesar 17,22 nm. Hasil karakterisasi VSM mendapatkan nilai Magnetisasi saturasi (Ms) sebesar 45,19 emu/g. Hasil karakterisasi SEM-EDS menunjukkan morfologi yang homogen dengan unsur penyusun C (12,70%), N (6,30%), O (17,80%), Fe (40,10%), Ni (20,60%), Sn (2,50%) dan nilai band gap hasil karakterisasi UV-VIS DRS sebesar 1,60 eV. Nilai pH_{pzc} komposit NiFe₂O₄/Kitosan-Glutaraldehyd/SnO₂ berada pada pH 6,4. Persentase efektivitas penurunan konsentrasi tetrasiklin oleh komposit NiFe₂O₄/Kitosan-Glutaraldehyd/SnO₂ berada pada pH 3 dengan konsentrasi 10 ppm dan waktu kontak selama 105 menit dengan efektivitas penurunan konsentrasi tetrasiklin sebesar 99,85 %. Hasil analisis *Total Organic Carbon* (TOC) larutan tetrasiklin 10 ppm sebelum degradasi sebesar 4,00 ppm setelah degradasi sebesar 2,57 ppm sehingga didapatkan penurunan kadar karbon sebesar 35,75 %.

Kata kunci : NiFe₂O₄, SnO₂, degradasi, fotokatalitik, tetrasiklin.

Kutipan : 43 (2008-2022)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
SUMMARY	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Limbah Antibiotik	5
2.2 Tetrasiklin	5
2.3 Komposit Fe ₂ O ₄ /Kitosan/SnO ₂	6
2.4 Kitosan-Glutaraldehyd	7
2.5 Fotokatalitik.	7
2.6 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	8
2.7 <i>UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-Vis DRS)	9
2.8 <i>Scanning Elektron Microscope-Energy Dispersive</i> (SEM-EDX)....	10
2.9 Vibrating Sampel Magnometer (VSM)	11
2.10 Spektrofotometer UV-Vis	11
2.11 Total Organik Carcon (TOC)	12
BAB III METODE PENELITIAN	13

3.1 Waktu dan Tempat	13
3.2 Alat dan Bahan	13
3.2.1 Alat	13
3.2.2 Bahan	13
3.3 Prosedur Penelitian	13
3.3.1 Sintesis NiFe ₂ O ₄	13
3.3.2 Sintesis NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Glutaraldehyd	14
3.3.3 Sintesis NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Glutaraldehyd/SnO ₂	14
3.4 Karakterisasi Material	15
3.4.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	15
3.4.2 <i>Scanning Elektron Mircroscope Energy Disversive Spectroscopy</i> (SEM-EDS)	15
3.4.3 <i>Vibrating Sample Magnometer</i> (VSM)	15
3.4.4 <i>Ultraviolet-visible Diffuse Reflectance</i> (UV-Vis DRS)	15
3.4.5 Penentuan pH _{pzc} (<i>Point Zero Charge</i>).....	16
3.5 Penentuan Konsentrasi Tetrasiklin	16
3.5.1 Pembuatan larutan induk tetrasiklin 1000 ppm	16
3.5.2 Pembuatan larutan standar tetrasiklin	16
3.5.3 Penentuan panjang gelombang maksimum	16
3.5.4 Pembuatan kurva standar tetrasiklin	16
3.6 Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Tetrasiklin oleh Komposit NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Glutaraldehyd/SnO ₂	17
3.6.1 Pengaruh pH.....	17
3.6.2 Pengaruh konsentrasi	17
3.6.3 Pengaruh waktu kontak	17
3.7 Analisis Data	18
3.7.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	18
3.7.2 <i>Scanning Elektron Mircroscope Energy Disversive Spectroscopy</i> (SEM-EDS)	18
3.7.3 <i>Vibrating Sample Magnometer</i> (VSM)	18
3.7.4 <i>Ultraviolet-visible Diffuse Reflectance</i> (UV-Vis DRS)	18
3.7.5 Total organic carbon (TOC).....	18

3.7.6 Kondisi optimum degradasi	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1 Hasil Sintesis NiFe ₂ O ₄	20
4.2 Hasil Sintesis NiFe ₂ O ₄ /Kitosan Glutaraldehyd.....	20
4.3 Hasil Sintesis NiFe ₂ O ₄ /Kitosan Glutaraldehyd/SnO ₂	21
4.4 Hasil karakterisasi Material	
NiFe ₂ O ₄ /Kitosan Glutaraldehyd/SnO ₂	21
4.4.1 Hasil Karakterisasi Menggunakan	
<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	21
4.4.2 Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Scanning Elektron</i>	
<i>Microscope-Energi Dispersive</i> (SEM-EDS).....	23
4.4.3 Hasil Karakterisasi Menggunakan	
<i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM).....	25
4.4.4 Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Ultraviolet-Visible</i>	
<i>Diffuse Reflectance</i> (UV-VIS DRS).....	26
4.4.5 Hasil Penentuan pH _{pzc} (<i>Point Zero Charge</i>)	27
4.5 Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Tetrasiklin oleh Komposit	
NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Glutaraldehyd/SnO ₂	28
4.5.1 Pengaruh pH	28
4.5.2 Pengaruh konsentrasi	29
4.5.3 Pengaruh waktu kontak	30
4.6 Hasil Karakterisasi <i>Total Organic Carbon</i> (TOC)	31
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	32
5.1 Kesimpulan	32
5.2 Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Struktur Tetrasiklin	6
Gambar 2.	SEM SnO ₂ dan EDS Spektre Fe-SnO ₂	10
Gambar 3.	NiFe ₂ O ₄ diuji menggunakan magnet eksternal	21
Gambar 4.	NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Glutaraldehyd diuji Menggunakan magnet eksternal.....	21
Gambar 5.	NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Glutaraldehyd/SnO ₂ diuji menggunakan magnet eksternal.....	22
Gambar 6.	Difraktogram NiFe ₂ O ₄ , NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Glutaraldehyd dan NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Glutaraldehyd/SnO ₂	22
Gambar 7.	Morfologi NiFe ₂ O ₄ , NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Glutaraldehyd dan NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Glutaraldehyd/SnO ₂ dengan perbesaran 2.000x.....	24
Gambar 8.	Kurva Hysteris NiFe ₂ O ₄ , NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Glutaraldehyd dan NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Glutaraldehyd/SnO ₂	21
Gambar 9.	Nilai Band Gap NiFe ₂ O ₄ , NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Glutaraldehyd dan NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Glutaraldehyd/SnO ₂	26
Gambar 10.	Nilai Kurva pH _{pzc} (<i>Point Zero Charge</i>)	27
Gambar 11.	Kurva Presentase Degradasi Tetrasiklin Terhadap Pengaruh pH	28
Gambar 12.	Kurva Presentase Degradasi Tetrasiklin Terhadap Pengaruh Konsentrasi	29
Gambar 13.	Kurva Presentase Degradasi Tetrasiklin Terhadap Pengaruh Waktu Kontak.....	30

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Pola XRD dari Puncak Difraksi $\text{Fe}_2\text{O}_4/\text{SnO}_2$	8
Tabel 2. Sudut 2θ berdasarkan JCPDS dan ukuran partikel	23
Tabel 3. Unsur Penyusun NiFe_2O_4 , $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Glutaraldehyd}$ dan $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Glutaraldehyd}/\text{SnO}_2$	25
Tabel 4. Hasil Karakterisasi TOC Sebelum dan Sesudah Degradasi.....	31

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Diagram Alir Prosdur Penelitian	39
Lampiran 2.	Reaksi Pembentukan NiFe_2O_4	42
Lampiran 3.	Hasil sintesis NiFe_2O_4 /Kitosan-Glutaraldehyd/ SnO_2 Menggunakan XRD	43
Lampiran 4.	Hasil sintesis NiFe_2O_4 /Kitosan-Glutaraldehyd/ SnO_2 Menggunakan SEM-EDS	47
Lampiran 5.	Hasil sintesis NiFe_2O_4 /Kitosan-Glutaraldehyd/ SnO_2 Menggunakan VSM	50
Lampiran 6.	Hasil sintesis NiFe_2O_4 /Kitosan-Glutaraldehyd/ SnO_2 Menggunakan UV-VIS DRS	51
Lampiran 7.	Penentuan pH_{pzc} (<i>Point Zero Charge</i>) Komposit NiFe_2O_4 /Kitosan-Glutaraldehyd/ SnO_2	54
Lampiran 8.	Penentuan Panjang Gelombang Tetrasiklin	55
Lampiran 9.	Penentuan Kurva Kalibrasi Tetrasiklin	56
Lampiran 10.	Penentuan Kondisi Optimum Dengan Variasi pH dengan Komposit NiFe_2O_4 /Kitosan-Glutaraldehyd/ SnO_2	57
Lampiran 11.	Penentuan Kondisi Optimum Dengan Variasi Konsentrasi dengan Komposit NiFe_2O_4 /Kitosan-Glutaraldehyd/ SnO_2	59
Lampiran 12.	Penentuan Kondisi Optimum Dengan Variasi Waktu Kontak dengan Komposit NiFe_2O_4 /Kitosan-Glutaraldehyd/ SnO_2	61
Lampiran 13.	Hasil Karakterisasi TOC.....	63

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tetrasiklin merupakan antibiotik yang banyak digunakan untuk pengobatan pada manusia maupun veteriner serta merupakan salah satu antibiotik yang peristen di lingkungan. Tetrasiklin merupakan keluarga antibiotik spektrum luas yang banyak digunakan untuk pencegahan dan pengobatan infeksi bakteri terhadap manusia dan hewan ternak, hal ini karena aktivitasnya yang tinggi dan biaya yang murah. Tetrasiklin digunakan untuk pencegahan dan pengobatan penyakit juga digunakan sebagai bahan imbuhan pakan, untuk memacu pertumbuhan, meningkatkan produksi dan meningkatkan efisiensi penggunaan pakan (Triwijayanti dkk, 2014). Pada industri peternakan, tetrasiklin telah digunakan sebanyak 66% serta lebih dari 2500 ton tetrasiklin dikonsumsi oleh hewan ternak (Amangelsin et al., 2023). Selain itu tetrasiklin juga digunakan pada budidaya perikanan, terdapat 80% limbah yang akan di lepaskan ke lingkungan perairan (Amangelsin et al., 2023). Penggunaan antibiotik yang tidak rasional dan tidak terkendali merupakan sebab utama timbul resistensi antimikroba secara global, termasuk munculnya mikroba yang multiresisten terhadap sekelompok antibiotik (Triwijayanti dkk, 2014).

Antibiotik merupakan senyawa molekul kompleks yang memiliki kemampuan antimikroba untuk membunuh atau menghambat pertumbuhan bakteri. Penggunaan antibiotik secara global semakin pesat (Fiaz et al., 2021). Hal ini membuat ancaman global terhadap keanekaragaman hayati karena penggunaannya yang semakin pesat. Limbah antibiotik yang terkandung dalam air tanah dapat mencemari keseimbangan ekosistem mikroba dalam tanah yaitu mikroba fiksasi nitrogen terkandung unsur hara dalam tanah sehingga mempengaruhi kesuburan tanah (Wellington et al., 2013). Dampak lingkungan perairan akibat terjadinya resistensi mikroba akibat adanya limbah antibiotik, resistensi dapat memasuki air permukaan dan mempengaruhi pasukan air hilir melalui irigasi, limpasan, pencucian air tanah. Banyak patogen manusia terjadi sebagai bagian dari lingkungan, misalnya keberadaan bakteri enterik dalam air diakui secara global sebagai masalah kesehatan masyarakat (Gaze et al., 2013). Penggunaan yang luas

dan berlebihan menyebabkan adanya pelepasan tetrasiklin yang menyebabkan lingkungan tercemar sehingga munculnya masalah kesehatan masyarakat yang serius, oleh karena itu diperlukan degradasi terhadap tertrasiklin (Sanjayadi and Violita 2020).

Berbagai metode telah digunakan untuk mendegradasi limbah antibiotik diantaranya metode adsorpsi, biodegradasi dan fotokatalisis (Mahmoodi et al., 2019). Diantara metode tersebut metode fotokatalitik yang lebih efisien menghilangkan limbah. Proses fotokatalisis merupakan proses yang menggunakan sinar UV atau cahaya tampak dengan tujuan mengaktifkan proses katalisis terhadap bahan semikonduktor yang menghasilkan radikal hidroksil yang mendegradasi polutan organik (Riskiani dkk, 2018). Adapun kelebihan dari metode fotokatalisis diantaranya bahan yang digunakan relatif murah dan mudah didapatkan, tidak memerlukan tempat yang luas dan dapat juga digunakan oleh masyarakat umum dikarenakan proses yang mudah. (Aliah and Karlina 2015).

Fotokatalisis komposit meningkatkan aktivitas yang lebih tinggi dengan cara penggabungan dengan oksida logam yang memiliki sifat semikonduktor. Pertama mekanisme transfer elektron fotogenerasi dipasangkan dengan semikonduktor, metode ini juga memberikan pemisahan pemilih dan menekan rekombinasi muatan sehingga meningkatkan aktivitas fotokatalitik. Sementara itu metode ini dapat mengolah limbah organik maupun anorganik karena keadaan oksidasi reduksi yang kuat dari elektron pada semikonduktor yang digabungkan menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang tinggi (He et al., 2015).

Proses fotokatalitik menggunakan semikonduktor SnO_2 memiliki keunggulan diantaranya stabilitas fotokimia yang baik, daya oksidasi yang tinggi, efektivitas biaya serta ramah lingkungan. Kelemahan SnO_2 diantaranya, penggunaan SnO_2 dalam bentuk serbuk kurang efektif, hal ini dikarenakan SnO_2 memiliki celah pita yang besar yaitu 3,6 eV dan hanya dapat bekerja didaerah sinar UV serta sulit dalam proses pemisahan untuk meningkatkan fotokatalitik SnO_2 dengan cara menambahkan dopan kedalam kisi SnO_2 yang nantinya akan meningkatkan penyerapan cahaya tampak dengan mengurangi celah pita (Preethi et al., 2022).

Nanopartikel NiFe_2O_4 tergolong kedalam *spinel ferrit* yang mempunyai nilai koersivitas dan magnet yang rendah namun mempunyai nilai resistivitas listrik

tinggi (Joshi et al., 2014). Hal ini bertujuan untuk menurunkan celah pita yang besar serta mempermudah proses pemisahan tanpa penyaringan dengan bantuan magnet. Agar tidak terjadi reaksi antara SnO_2 dan NiFe_2O_4 maka perlu digunakan kitosan sebagai pelapis.

Kitosan merupakan senyawa polimer organik yang memiliki kelebihan diantaranya biodegradabilitass yang baik, biokompatibilitas, non toksitas, antimikroba serta keuntungan ekonomi (Ikram and Islamia 2015). Kelarutan kitosan dapat dikurangi dengan cara menghubungkan dengan ikatan kovalen menggunakan glutaraldehid sebagai agen pengikat silang. Hal ini bertujuan untuk mencegah agar semikonduktor SnO_2 tidak berinteraksi dengan senyawa magnetik ferit NiFe_2O_4 (Ikram and Islamia 2015)

Penelitian ini dilakukan sintesis komposit NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehid dengan SnO_2 sebagai semikonduktor. Komposit diperoleh dengan karakterisasi menggunakan metode *X-Ray diffraction* (XRD) untuk identifikasi dan menentukan struktur kristal. *Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS) untuk menentukan nilai celah pita. *Scanning electron microscope-energy dispersive X-ray spectroscopy* (SEM-EDS) guna untuk mendapatkan gambaran material. *Vibrating sample magnetometer* (VSM) untuk menganalisis sifat magnetik fotokatalitik. *Total organic carbon* (TOC) untuk menganalisis hasil degradasi tetrassiklin.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dipelajari pada penelitian ini berupa:

1. Bagaimana hasil dari sintesis komposit NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehid/ SnO_2 ?
2. Bagaimana kemampuan komposit NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehid/ SnO_2 dalam mendegradasi tetrasiklin?
3. Bagaimana efektifitas penurunan nilai karbon sebelum dan sesudah degradasi fotokatalitik?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mensintesis komposit NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd/ SnO_2 dan mengkarakterisasi material NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd/ SnO_2 dengan XRD, SEM-EDS, VSM dan UV-DRS.
2. Menentukan kemampuan fotokatalitik komposit NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd/ SnO_2 dengan variasi pH, variasi konsentrasi dan waktu kontak.
3. Menganalisis konsentrasi karbon sebelum dan sesudah degradasi tetrasiklin menggunakan *total organic carbon* (TOC).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini memberikan pengetahuan terhadap sintesis komposit NiFe_2O_4 /kitosan-glutaraldehyd/ SnO_2 diharapkan dapat dikembangkan untuk pengaplikasian fotokatalitik dalam mengurangi limbah antibiotik tetrasiklin yang berbahaya bagi lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aliah, Hasniah, and Yuni Karlina. 2015. "Semikonduktor TiO₂ sebagai Material Fotokatalis Berulang." *Jurusan Fisika UIN SGD Bandung* IX(1):185–203.
- Atmono, Tri Mardji, Rita Prasetyowati, and Angie Mega Rahayu Kartika. 2015. "Pembuatan Prototipe Vibrating Sample Magnetometer untuk Pengamatan Sifat Magnetik Lapisan Tipis." *Sains dan Teknologi Nuklir BATAN* 47(40):57–66.
- Eka Putri, Lusia, and Penentuan Konsentrasi Senyawa Berwarna KMnO₄. 2017. "Penentuan Konsentrasi Senyawa Berwarna KMnO₄ Dengan Metoda Spektroskopi UV Visible." *Natural Science Journal* 3(1):391–98.
- Fiaz, Ahmad, Daochen Zhu, and Jianzhong Sun. 2021. "Environmental Fate of Tetracycline Antibiotics: Degradation Pathway Mechanisms, Challenges, and Perspectives." *Environmental Sciences Europe* 33(1). doi: 10.1186/s12302-021-00505-y.
- Galindo, R., E. Mazario, S. Gutiérrez, M. P. Morales, and P. Herrasti. 2012. "Electrochemical Synthesis of NiFe₂O₄ Nanoparticles: Characterization and Their Catalytic Applications." *Journal of Alloys and Compounds* 536(SUPPL.1):241–44. doi: 10.1016/j.jallcom.2011.12.061.
- Gebreslassie, Gebrehiwot, Pankaj Bharali, Umesh Chandra, Assefa Sergawie, Purna K. Baruah, Manash R. Das, and Esayas Alemayehu. 2019. "Hydrothermal Synthesis of G-C₃N₄/NiFe₂O₄ Nanocomposite and Its Enhanced Photocatalytic Activity." *Applied Organometallic Chemistry* 33(8):1–12. doi: 10.1002/aoc.5002.
- Griffin, Michael O., Eduardo Fricovsky, Guillermo Ceballos, and Francisco Villarreal. 2010. "Tetracyclines: A Pleiotropic Family of Compounds with Promising Therapeutic Properties. Review of the Literature." *American Journal of Physiology - Cell Physiology* 299(3). doi: 10.1152/ajpcell.00047.2010.
- Hariani, Poedji Loekitowati, Muhammad Said, Addy Rachmat, S. Salni, Nabila Aprianti, and Anisa Fitri Amatullah. 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. doi: 10.9767/bcrec.17.4.15788.699-711.
- He, Yiming, Lihong Zhang, Maohong Fan, Xiaoxing Wang, Mikel L. Walbridge, Qingyan Nong, Ying Wu, and Leihong Zhao. 2015. "Z-Scheme SnO₂-x/g-C₃N₄ Composite as an Efficient Photocatalyst for Dye Degradation and Photocatalytic CO₂ Reduction." *Solar Energy Materials and Solar Cells* 137:175–84. doi: 10.1016/j.solmat.2015.01.037.

- Ikram, Saiqa, and Jamia Millia Islamia. 2015. "Chitosan and its Derivatives: A Review in Recent Innovations" *International Journal of Pharmaceutical Science and Research* 6(1):14–30. doi: 10.13040/IJPSR.0975-8232.6(1).14-30.
- Joshi, Seema, Manoj Kumar, Sandeep Chhoker, Geetika Srivastava, Mukesh Jewariya, and V. N. Singh. 2014. "Structural, Magnetic, Dielectric and Optical Properties of Nickel Ferrite Nanoparticles Synthesized by Co-Precipitation Method." *Journal of Molecular Structure* 1076:55–62. doi: 10.1016/j.molstruc.2014.07.048.
- Julinawati, J., M. Marlina, R. Nasution, and S. Sheilatina. 2015. "Applying SEM-EDX Techniques to Identifying the Types of Mineral of Jades (Giok) Takengon, Aceh." *Jurnal Natural Unsyiah* 15(2):116128.
- Jumardin, Akhiruddin Maddu, Koekoeh Santoso, and Isnaeni. 2022. "Karakteristik Sifat Optik Nanopartikel Karbon (Carbon Dots) dengan Metode UV-Vis DRS (Ultra Violet-visible Diffuse Reflectance Spectroscopy)." *Jurnal Fisika Dan Terapannya* 9(1):1–15. doi: 10.24252/jft.v9i2.28815.
- Khairnar, Subhash Dharmraj, and Vinod Shankar Shrivastava. 2019. "Facile Synthesis of Nickel Oxide Nanoparticles for the Degradation of Methylene Blue and Rhodamine B Dye: A Comparative Study." *Journal of Taibah University for Science* 13(1):1108–18. doi: 10.1080/16583655.2019.1686248.
- Kristanto, Gabriel Andari, and William Koven. 2019. "Preliminary Study of Antibiotic Resistant Escherichia Coli in Hospital Wastewater Treatment Plants in Indonesia." *International Journal of Technology* 10(4):765–75. doi: 10.14716/ijtech.v10i4.776.
- Kümmerer, Klaus. 2009. "Antibiotics in the Aquatic Environment - A Review - Part I." *Chemosphere* 75(4):417–34. doi: 10.1016/j.chemosphere.2008.11.086.
- Lestari, Retno Sulisty Dhamar, Jayanudin Jayanudin, Dandi Irawanto, Rozak Rozak, Reyonaldo Langgeng Adi Wardana, dan Fakhri Muhammad. 2020. "Preparasi dan Karakterisasi Kitosan Tertaut Silang Glutaraldehyde sebagai Matrik Pupuk Urea." *Jurnal Integrasi Proses* 9(2):27. doi: 10.36055/jip.v9i2.9221.
- Li, Bin, Chang Lin Shan, Qing Zhou, Yuan Fang, Yang Li Wang, Fei Xu, Li Rong Han, Muhammad Ibrahim, Long Biao Guo, Guan Lin Xie, and Guo Chang Sun. 2013. "Synthesis, Characterization, and Antibacterial Activity of Cross-Linked Chitosan-Glutaraldehyde." *Marine Drugs* 11(5):1534–52. doi: 10.3390/md11051534.
- Lin, Zhaoyong, Lihua Li, Lili Yu, Weijia Li, and Guowei Yang. 2017. "Modifying Photocatalysts for Solar Hydrogen Evolution Based on the Electron Behavior." *Journal of Materials Chemistry A* 5(11):5235–59. doi:

10.1039/c6ta10497e.

- Mahmoodi, Niyaz Mohammad, Ali Taghizadeh, Mohsen Taghizadeh, and Mohammad Azimi. 2019. "Surface Modified Montmorillonite with Cationic Surfactants: Preparation, Characterization, and Dye Adsorption from Aqueous Solution." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 7(4):103243. doi: 10.1016/j.jece.2019.103243.
- Muhamad Muhajir, Muhammad Alfian Mizar, Dwi Agus Sudjimat, and Universitas Negeri Malang Jurusan Pendidikan Teknik Mesin-FT. 2016. "Analisis Kekuatan Tarik Bahan Komposit Matriks Resin Berpenguat Serat Alam dengan Berbagai Varian Tata Letak." *Jurnal Teknik Mesin* 24(2):1–8.
- Niu, Junfeng, Shiyuan Ding, Liwen Zhang, Jinbo Zhao, and Chenghong Feng. 2013. "Visible-Light-Mediated Sr-Bi₂O₃ Photocatalysis of Tetracycline: Kinetics, Mechanisms and Toxicity Assessment." *Chemosphere* 93(1):1–8. doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.04.043.
- Ojemaye, Mike O., Omobola O. Okoh, and Anthony I. Okoh. 2017. "Performance of NiFe₂O₄-SiO₂-TiO₂ Magnetic Photocatalyst for the Effective Photocatalytic Reduction of Cr(VI) in Aqueous Solutions." *Journal of Nanomaterials* 2017(VI). doi: 10.1155/2017/5264910.
- Pawestri, Wari, Gagak Dhony Satria, Nisa Hakimah, and Doddi Yudhabuntara. 2019. "Deteksi Kejadian Residu Tetrasiklin pada Daging Ikan Nila Di Kota Yogyakarta dengan Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT)." *Jurnal Sain Veteriner* 37(2):185. doi: 10.22146/jsv.34463.
- Preethi, T., K. Senthil, M. P. Pachamuthu, R. Balakrishnaraja, B. Sundaravel, N. Geetha, and Stefano Bellucci. 2022. "Effect of Fe Doping on Photocatalytic Dye-Degradation and Antibacterial Activity of SnO₂ Nanoparticles." *Adsorption Science and Technology* 2022. doi: 10.1155/2022/9334079.
- Reghioua, Abdallah, Djamel Barkat, Ali H. Jawad, Ahmed Saud Abdulhameed, and Mohammad Rizwan Khan. 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(January):100379. doi: 10.1016/j.scp.2021.100379.
- Riskiani, Ermin, Iryanti Eka Suprihatin, and James Sibarani. 2018. "Fotokatalis Bentonit-Fe₂O₃ untuk Degradation Zat Warna Remazol Brilliant Blue." *Cakra Kimia* 7(1):46–54.
- Sanjayadi, and Laurentia Brenda Violita. 2020. "Penetapan Kadar Tetrasiklin dalam Air Limbah dengan High Performance Liquid Chromatography-Photodiode Array Detector (HPLC-PDA)." *Jurnal Farmasi Galenika (Galenika Journal of Pharmacy) (e-Journal)* 6(2):237–42. doi: 10.22487/j24428744.2020.v6.i2.15066.

- Savana, Raisza Tarida, and Dina Kartika Maharani. 2018. "Analisis Komposisi Unsur Pupuk Lepas Lambat Kitosan-Silika- Glutaraldehyd." *Unesa Journal of Chemistry* 7(1):21–24.
- Setiabudi, Agus, Rifan Hardian, and Ahmad Muzakir. 2012. *Karakterisasi Material: Prinsip Dan Aplikasinya Dalam Penelitian Kimia*. Bandung: Upi Press.
- Shoueir, Kamel R., Nagwa El-Desouky, Moataz M. Rashad, M. K. Ahmed, Izabela Janowska, and Maged El-Kemary. 2021. "Chitosan Based-Nanoparticles and Nanocapsules: Overview, Physicochemical Features, Applications of a Nanofibrous Scaffold, and Bioprinting." *International Journal of Biological Macromolecules* 167:1176–97. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.11.072.
- Sun, Chaoyang, Jingkai Yang, Min Xu, Yan Cui, Wangwei Ren, Jiabin Zhang, Hongli Zhao, and Bo Liang. 2022. "Recent Intensification Strategies of SnO₂-Based Photocatalysts: A Review." *Chemical Engineering Journal* 427(July 2021):131564. doi: 10.1016/j.cej.2021.131564.
- Sun, Yuanyuan, Qinyan Yue, Baoyu Gao, Qian Li, Lihui Huang, Fujiang Yao, and Xing Xu. 2012. "Preparation of Activated Carbon Derived from Cotton Linter Fibers by Fused NaOH Activation and its Application for Oxytetracycline (OTC) Adsorption." *Journal of Colloid and Interface Science* 368(1):521–27. doi: 10.1016/j.jcis.2011.10.067.
- Sutanto, Heri, and Singgih Wibowo. 2015. *Semikonduktor Fotokatalis Seng Oksida Dan Titania : Sintesis , Deposisi Dan Aplikasi*. Semarang: Penerbit Telescope.
- Taib, Suryani, and Edi Suharyadi. 2015. "Sintesis Nanopartikel Magnetite (Fe₃O₄) Dengan Template Silika (SiO₂) Dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya." *Indonesian Journal of Applied Physics* 5(01):23. doi: 10.13057/ijap.v5i01.256.
- Utami, Ardhaningtyas R., and Catur NK Wulandari. 2020. "Verifikasi Metode Pengujian Total Organic Carbon (TOC) dalam Air Limbah Kegiatan Minyak dan Gas dengan Menggunakan TOC Analyzer." *Prosiding Seminar Nasional Kimia (SNK) (Mdl)*:258–67.
- Wang, Ye, Zhi Xiang Huang, Yumeng Shi, Jen It Wong, Meng Ding, and Hui Ying Yang. 2015. "Designed Hybrid Nanostructure with Catalytic Effect: Beyond the Theoretical Capacity of SnO₂ Anode Material for Lithium Ion Batteries." *Scientific Reports* 5(equation 1):1–8. doi: 10.1038/srep09164.
- Wang, Ying, Junfeng Niu, Zheyun Zhang, and Xingxing Long. 2008. "Sono-Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants in Water." *Progress in Chemistry* 20(10):1621–27. doi: 10.5772/53699.
- Wellington, Elizabeth M. H., Alistair B. A. Boxall, Paul Cross, Edward J. Feil, William H. Gaze, Peter M. Hawkey, Ashley S. Johnson-Rollings, Davey L.

- Jones, Nicholas M. Lee, Wilfred Otten, Christopher M. Thomas, and A. Prysor Williams. 2013. "The Role of the Natural Environment in the Emergence of Antibiotic Resistance in Gram-Negative Bacteria." *The Lancet Infectious Diseases* 13(2):155–65. doi: 10.1016/S1473-3099(12)70317-1.
- Zainul, R., H. Hermansyah, S. Arief, and D. Kurniawati. 2020. *Fotokatalis Fototransformasi Asam Humat*. Payahkumbuh: Berkah Prima.
- Zandipak, R., and S. Sobhanardakani. 2016. "Synthesis of NiFe₂O₄ Nanoparticles for Removal of Anionic Dyes from Aqueous Solution." *Desalination and Water Treatment* 57(24):11348–60. doi: 10.1080/19443994.2015.1050701.
- Zhu, Liangdi, Yuxing Zhou, Lingyun Fei, Xunlong Cheng, Xixi Zhu, Lanqing Deng, and Xin Ma. 2022. "Z-Scheme CuO/Fe₃O₄/GO Heterojunction Photocatalyst: Enhanced Photocatalytic Performance for Elimination of Tetracycline." *Chemosphere* 309(P2):136721. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.136721.
- Zhu, Weimo, Lei Wang, Rui Zhao, Jiawen Ren, Guanzhong Lu, and Yanqin Wang. 2011. "Electromagnetic and Microwave-Absorbing Properties of Magnetic Nickel Ferrite Nanocrystals." *Nanoscale* 3(7):2862–64. doi: 10.1039/c1nr10274e.