

**SINTESIS KOMPOSIT Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL/TiO<sub>2</sub>  
SEBAGAI FOTOKATALIS UNTUK DEGRADASI TETRASIKLIN**

**SKRIPSI**

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



**LAELLIA DENADA**

**08031282025061**

**JURUSAN KIMIA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2024**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**SINTESIS KOMPOSIT Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL/TiO<sub>2</sub>  
SEBAGAI FOTOKATALIS UNTUK DEGRADASI TETRASIKLIN**

**SKRIPSI**

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

Diusulkan oleh :  
**LAELLIA DENADA**  
08031282025061

Indralaya, 08 Mei 2024

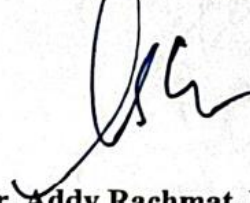
**Mengetahui:**

**Pembimbing I**



**Prof. Poedji Loekitowati H, M.Si.**  
NIP. 1968088271994022001

**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 Laellia Denada (08031282025061) dengan judul "Sintesis Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Kitosan-Polivinil Alkohol/TiO<sub>2</sub> Sebagai Fotokatalis untuk Degradasi Tetrasiiklin" 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. **Dr. Ferlinahayati, M.Si.**  
NIP. 197402052000032001

(  )

Sekretaris :

2. **Dr. Desnelli, M.**  
NIP.196912251997022001

(  )

Pembimbing:

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

(  )

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

(  )

Penguji :

1. **Dr. Fatma, M.Si.**  
NIP. 196207131991022001

(  )

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. 196903041994122001

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Laellia Denada

NIM : 08031282025061

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, 08 Mei 2024



Yang menyatakan,

Laellia Denada

NIM. 08031282025061



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

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

Nama Mahasiswa : Laellia Denada  
NIM : 08031282025061  
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia  
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya "Sintesis Komposit  $Fe_3O_4$ /Kitosan-Polivinil Alkohol/ $TiO_2$  Sebagai Fotokatalis 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.

Indralaya, 08 Mei 2024

Yang menyatakan,



Laellia Denada

NIM. 08031282025061

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*“Manusia bisa berencana tetapi Tuhan yang menentukan”*

*Kolose 3:23*

*“Apa pun juga yang kamu perbuat, perbuatlah dengan segenap hatimu seperti untuk Tuhan dan bukan untuk manusia”*

**Skripsi ini saya persembahkan kepada:**

- 1. Tuhan Yesus Kristus**
- 2. Ibu, Bapak dan Adik tercinta yang senantiasa mendoakan dan memberikan motivasi**
- 3. Dosen pembimbing (Prof. Dr. Poedji Loekitowati, M. Si. dan Dr. Addy Rachmat, M. Si.)**
- 4. Keluarga besar, sahabat dan semua orang yang membantu hingga terselesaikannya skripsi ini**
- 5. Kampusku (Universitas Sriwijaya)**

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus yang senantiasa menjadi penopang dan teman terbaik penulis sepanjang hidupnya. Hanya karena kebaikan Kasih dan Berkat-Nya lah yang menuntun penulis dalam mengerjakan skripsi yang berjudul “Sintesis Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Kitosan-Polivinil Alkohol/TiO<sub>2</sub> Sebagai Fotokatalis 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 dilalui, mulai dari pencarian judul, literatur, penelitian, pengolahan data dan penulisan. Namun dengan kemampuan yang Tuhan Yesus berikan, usaha yang maksimal, bantuan dari berbagai pihak lain baik berupa moril maupun materil akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Dalam kesempatan ini, penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Hermasyah, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
2. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya sekaligus dosen pembimbing yang tidak henti-hentinya memberikan semangat kepada penulis. Terimakasih pak sudah menjadi dosen yang sangat baik sehingga penulis tetap semangat dalam menyelesaikan skripsi ini. Banyak sekali ilmu bermanfaat yang saya dapatkan dari bimbingan dengan bapak.
4. Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati H., M.Si. selaku pembimbing, terimakasih ibu sudah selalu peduli kepada saya, sudah banyak meluangkan waktu untuk membimbing saya, memberikan arahan dan gambaran serta memberikan penulis ilmu yang sangat bermanfaat, motivasi dan dukungan. Semoga ibu panjang umur, selalu diberikan kesehatan, dilancarkan segala urusannya amin. Tetap menjadi dosen terbaik yang rasa tulusnya tersampaikan ke hati kami. Semoga banyak generasi emas yang diciptakan dari kebaikan ibu.

5. Ibu Dr. Fatma, M.Si. selaku dosen pembahas dalam seminar kemajuan hingga sidang skripsi. Terimakasih bu sudah memberikan perhatian lebih kepada saya. Terimakasih untuk ilmu yang sangat bermanfaat, terimakasih untuk kesabaran ibu.
6. Keluarga saya, Davit Istanto (Bapak) dan Wiwin Daryanti (Ibu), Shane Michaela Winda (saudara satu-satunya yang penulis punya), terimakasih untuk motivasi dan dana dalam studi maupun penyelesaian skripsi ini. Terima kasih banyak bapak Davit Istanto untuk suntikan dana yang sangat membantu penulis. Maafkan anakmu ini pak bu karena dalam proses mengejar gelar ini banyak sekali hal yang belum maksimal. Maafkan penulis karena sempat mematahkan harapan menjadi wisudawan dengan predikat lulus tercepat. Tetapi sekarang, penulis ucapkan selamat karena telah berhasil menyekolahkan anaknya sampai mendapatkan gelar S.Si. kalian hebat sudah memberikan segala yang terbaik untuk penulis.
7. Seluruh Dosen FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama masa studi penulis.
8. Kak iin 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. Tetap berbuat baik sehingga menciptakan generasi yang sabarnya dan baiknya sama seperti mbak dan kaki iin ya.
9. Elpera Yulianti dan Vira Ardana selaku teman sekerja dalam melaksanakan penelitian ini. Terima kasih sudah banyak membantu dan berjuang bersama selama penelitian, banyak suka dan duka yang kita lewati hingga saat ini. Mulai dari tidur di lab, mindah-mindahin alat dari lab analis ke lab atas, berangkat subuh pulang tengah malam. Kita perempuan-perempuan hebat! Semoga persahabatan kita tetap terjalin dengan baik. Maaf kalau ada hal-hal yang menyinggung hati dikarenakan panasnya hawa layo dan penelitian ini.
10. Nirliana Qolbi Eka Saputri selaku teman, sahabat dan saudara penulis yang telah membantu mewarnai masa studi penulis mulai dari pengenalan kehidupan kampus di indralaya tercinta, melewati suka duka laporan praktikum, mendengarkan segala keluh kesah percintaan maupun penelitian penulis,



merelakan kasurnya bagi dua untuk penulis yang tidak punya kos-kosan ini, sampai penyusunan proposal penelitian hingga akhirnya skripsi ini terselesaikan. Terimakasih cintaku, sayangku, maniesku walaupun kamu pernah selingkuh sama fita tapi aku tetep sayang kok. Kiranya Tuhan Yang Maha Esa selalu melindungi, menyertai dan memudahkan setiap rencanamu terlebih dalam waktu dekat ini ialah dalam masa penelitianmu. Biarlah Tuhan yang akan membalas berlipat kali ganda kebaikanmu ya anak baik yang sabarnya lumayan lebih tebal dari penulis.

11. Oktarina Munawaroh selaku anggota grup cewe cantik, anggota grup anak bu puji, dan selaku teman penulis yang tak bosan-bosannya memberikan tumpangan tidur untuk penulis singgah dan beristirahat. Terimakasih banyak untuk kemurahan hatinya, kiranya Yang Maha Esa selalu melindungi dimanapun kamu berada. Jangan pernah bosan menjadi orang baik ya anak manis, tentunya jangan pernah lupakan penulis ya, semoga persahabatan ini tetap langgeng sampai bile-bile.
12. Fita Aulia, S.Si. selaku teman yang penulis temukan semenjak masa penelitian. Memang disetiap kejadian pasti ada hikmahnya. Penulis bersyukur kamu diangkat menjadi anak bu puji, penulis bersyukur dipertemukan sahabat seperti dirimu, penulis bersyukur dimasa sulit ini kamu tetap bertahan dan setia berjuang bersama-sama penulis.
13. Dian Sintia Wati, Elsa Wahyuni, Yeni Fransiska, dan Riesky Sipatuhar selaku teman seperjuangan untuk menyelesaikan penelitian ini. Terimakasih untuk kekompakannya, semangatnya, nginep di labnya, dan segala hal yang menyenangkan sehingga penulis kuat menjalani penelitian ini sampai akhir. Sukses selalu dimanapun kalian berada ya, jangan lupa anak bu puji harus reunion.
14. Seluruh anggota grup “cewe cantik” terimakasih sudah sangat mewarnai dan memberikan semangat kepada penulis hingga penulis kuat untuk menyelesaikan penelitian ini. Tetap menjadi orang baik dimanapun kalian berada ya. Kiranya Tuhan selalu menyertai dalam setiap kehidupan kalian. Sampai jumpa dititik sukses masing-masing. Tetap semangat penelitian dan skripsinya.

15. Kak Rizna Aprina selaku kakak tingkat yang penulis sebut sebagai ibu peri. Terima kasih untuk keikhlasan hatinya, terima kasih sudah meluangkan waktu untuk adikmu ini, terimakasih banyak untuk semua bantuannya. Memang benar jika rezeki itu bukan hanya tentang harta, dipertemukan dengan ibu peri seperti kakak adalah suatu hal yang sangat membuat penulis bersyukur. Sukses selalu dimanapun kakak berada, dimudahkan rezekinya, dilancarkan segala urusannya, diberikan kesehatan senantiasa oleh Tuhan Yang Maha Esa ya kak.
16. Teman-teman kimia angkatan 2020, banyak sekali suka duka yang telah kita lalui, terima kasih untuk energi positif yang telah kalian bagikan ke penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan masa studi dan penelitian ini dengan baik. Sukses selalu dimanapun kalian berada ya.
17. Cici dan Manesa selaku adik asuh penulis aka gang 061. Terimakasih sudah mau berjuang sejauh ini, semangat untuk menjalani kehidupan dikimia. Biarlah Tuhan selalu menyertai dalam kehidupanmu, dan Tuhan juga yang akan melipat gandakan rezekimu.
18. Amanda Musdalifah adik tingkat yang entah dari mana tiba-tiba dia sangat mengasihi penulis. Terimakasih untuk kebaikannya dan terimakasih sudah mau berjuang sejauh ini, semangat untuk menjalani kehidupan dikimia. Biarlah Tuhan selalu menyertai dalam kehidupanmu, dan Tuhan juga yang akan melipat gandakan rezekimu. Jangan pernah bosan menjadi orang baik.
19. Bang Rizki Firdaus selaku abang tingkat penulis yang entah dari mana tiba-tiba begitu sangat peduli dengan penulis. Terimakasih bang untuk kemurahan hatinya untuk sharing pengalaman dan berbagi ilmu kepada penulis. Biarlah Tuhan selalu menyertai dalam kehidupanmu, dan Tuhan juga yang akan melipat gandakan rezekimu.
20. Penghuni Republik Sarjana Residence selaku teman baru penulis. Terimakasih telah menganggap penulis sebagai teman, sahabat dan saudara. Terimakasih sudah mewarnai masa-masa penelitian dan skripsi penulis dengan semangat yang kalian berikan. Tetap solid dan menjadi teman yang baik. Sampai bertemu dititik sukses masing-masing.
21. Ciwi-ciwi angkatan 2020 terkhusus Erida, Kamile, Riska, Nilda, Putri, Feni, Fenti, Meri, Ayu, Ama, Alifia, Violeta, Dina Lorenza, Dinda, Syakira, Icak,

Zahra, Yayang, Juli, Lamria, Eno, Jeje, Risma, Syabina) terimakasih sudah menjadi orang baik dan senantiasa mewarna hari-hari penulis. Sukses terus dimanapun kalian berada, biarlah Tuhan selalu menyertai dalam setiap langkahmu.

Indralaya, 06 Mei 2024



Penulis

## SUMMARY

### **SINTESIS KOMPOSIT Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL/TiO<sub>2</sub> SEBAGAI FOTOKATALIS UNTUK DEGRADASI TETRASIKLIN**

Laellia Denada: Supervised by Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si and Dr. Addy Rachmat, M.Si  
Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University  
xix + 69 pages, 4 tables, 18 figures, 14 attachments.

Tetracycline is a type of antibiotic that contains broad microbial activity, the ingredients are easy to obtain and the price is affordable. Tetracycline is effective for treating bacterial infections, but excessive use and uncontrolled disposal will have a negative impact on the environment. Tetracycline waste causes the emergence of bacteria that are resistant to antibiotics. Therefore, it is necessary to make efforts to degrade tetracycline waste using photocatalytic semiconductors which have the advantages of low toxicity, low cost, and have a high ability to be applied in ambient conditions.

In this research, the Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/chitosan-polyvinyl alcohol/TiO<sub>2</sub> composite was synthesized as an effort to overcome tetracycline waste which pollutes the environment. magnetic material Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> which acts as a magnetic material to facilitate the separation of the composite from the solution after the degradation process, chitosan-polyvinyl alcohol as a barrier between Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and TiO<sub>2</sub> to prevent dissolution effects which can reduce the effectiveness of degradation, and TiO<sub>2</sub> is used as a catalyst. Variables in the photocatalytic degradation of the Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/chitosan-polyvinyl alcohol/TiO<sub>2</sub> composite against tetracycline include the influence of pH, concentration and duration of exposure using visible light.

The synthesis results were characterized using XRD, SEM-EDS, VSM and UV-VIS DRS. The results of characterization using an XRD tool showed the highest peak is at an angle of  $2\theta = 25.43^\circ$  with a crystal size of 28.29 nm. SEM-EDS shows the heterogeneous morphology of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/chitosan-polyvinyl alcohol/TiO<sub>2</sub> with the constituent element C (7.69%), N (12.78), O (14.88%), Fe (63.33%) and Ti (1.29%). The VSM results show a saturation magnetization value of 64.24 emu/g which indicates that this composite is superparamagnetic. The band gap value resulting from UV-VIS DRS characterization is 1.38 eV. The pH<sub>pzc</sub> result of the Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/chitosan-polyvinyl alcohol/TiO<sub>2</sub> composite is 6.8.

The best condition for reducing tetracycline concentration by Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/chitosan-polyvinyl alcohol/TiO<sub>2</sub> is at pH 2 tetracycline concentration of 15 ppm and an exposure time of 70 minutes with an effective concentration reduction of 94.85%. The results of Total Organic Carbon (TOC) analysis in the 15 ppm tetracycline solution before degradation were 20.3 ppm and after degradation were 5.59 ppm with a reduction carbon of 72.46%.

Keywords : Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/chitosan-polyvinyl alcohol/TiO<sub>2</sub> composite, degradation, photocatalytic, tetracycline.  
Citations : 45 (1995-2023)

## RINGKASAN

### SINTESIS KOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL/ $\text{TiO}_2$ SEBAGAI FOTOKATALIS UNTUK DEGRADASI TETRASIKLIN

Laellia Denada: Dibimbing oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si dan Dr. Addy Rachmat, M.Si

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya  
xix + 69 halaman, 4 tabel, 18 gambar, 14 lampiran.

Tetrasiklin adalah salah satu jenis antibiotik yang mengandung aktivitas mikroba yang luas, bahannya mudah didapat dan harganya terjangkau. Tetrasiklin efektif untuk mengobati infeksi bakteri, namun penggunaan yang berlebihan dan pengolahan yang tidak terkontrol akan berdampak buruk bagi lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya degradasi limbah tetrasiklin menggunakan fotokatalitik semikonduktor yang memiliki kelebihan berupa toksisitas rendah, biaya murah, dan memiliki kemampuan yang tinggi untuk diaplikasikan dalam kondisi sekitar.

Penelitian ini melakukan sintesis komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /kitosan-polivinil alkohol/ $\text{TiO}_2$  sebagai upaya dalam mengatasi limbah tetrasiklin yang mencemari lingkungan. material magnetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  berperan sebagai bahan magnet untuk memudahkan pemisahan komposit dari larutan setelah proses degradasi, kitosan-polivinil alkohol sebagai penghalang antara  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan  $\text{TiO}_2$  agar tidak terjadinya efek disolusi yang dapat menurunkan efektivitas degradasi, dan  $\text{TiO}_2$  digunakan sebagai katalis. Variabel degradasi fotokatalitik komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /kitosan-polivinil alkohol/ $\text{TiO}_2$  terhadap tetrasiklin meliputi pengaruh pH, konsentrasi dan lama penyinaran menggunakan sinar visibel.

Hasil sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /kitosan-polivinil-alkohol/ $\text{TiO}_2$  dikarakterisasi menggunakan XRD, SEM-EDS, VSM dan UV-VIS DRS. Hasil karakterisasi menggunakan XRD didapatkan puncak tertinggi pada sudut  $2\theta = 25.43^\circ$  dengan ukuran kristal 28,29 nm. Hasil karakterisasi SEM-EDS menunjukkan morfologi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /kitosan-polivinil-alkohol/ $\text{TiO}_2$  yang heterogen dengan unsur penyusun berupa C (7,69%), N (12,78), O (14,88%), Fe (63,33%) dan Ti (1,29%). Hasil VSM dari kurva histerisis menunjukkan nilai magnetisasi saturasi sebesar 64,24 emu/g yang menandakan komposit ini bersifat superparamagnetik. Nilai *band gap* hasil karakterisasi UV-VIS DRS sebesar 1,38 eV. pH<sub>pzc</sub> dari komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /kitosan-polivinil-alkohol/ $\text{TiO}_2$  terdapat pada pH 6,8.

Kondisi terbaik penurunan konsentrasi tetrasiklin oleh  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /kitosan-polivinil alkohol/ $\text{TiO}_2$  berada pada pH 2 dengan konsentrasi tetrasiklin 15 ppm dan waktu penyinaran selama 70 menit dengan efektivitas penurunan konsentrasi sebesar 94,85 %. Hasil Analisis *Total Organic Carbon* (TOC) pada larutan tetrasiklin 15 ppm sebelum di degradasi sebesar 20,3 ppm dan setelah degradasi sebesar 5,59 ppm dengan persen penurunan kadar karbon sebesar 72,46%.

Kata kunci : komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /kitosan-polivinil alkohol/ $\text{TiO}_2$ , degradasi, fotokatalitik, tetrasiklin.

Kutipan : 45 (1995-2023)

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>xii</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Antibiotik .....	4
2.2 Tetrasiklin .....	4
2.2.1 Pengertian Tetrasiklin .....	4
2.2.2 Sifat fisik dan kimia Tetrasiklin.....	5
2.2.3 Resistensi Tetrasiklin .....	5
2.3 Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).....	6
2.4 Kitosan-Polivinil Alkohol (PVA) .....	6
2.5 Titanium Oksida ( $\text{TiO}_2$ ) .....	7
2.6 Fotokatalitik .....	8
2.7 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	8



2.8	<i>Scanning Electron Microscope- Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)</i> .....	10
2.9	<i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i> .....	10
2.10	<i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> .....	11
2.11	<i>pH Point of Zero Charge (pHpzc)</i> .....	12
2.12	<i>Total Organic Carbon (TOC)</i> .....	13
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....		<b>14</b>
3.1	Waktu dan tempat .....	14
3.2	Alat dan Bahan.....	14
3.2.1	Alat.....	14
3.2.2	Bahan .....	14
3.3	Prosedur Penelitian .....	14
3.3.1	Sintesis komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (Hariani <i>et al.</i> , 2023) .....	14
3.3.2	Sintesis komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Polivinil Alkohol.....	15
3.3.3	Sintesis komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Polivinil Alkohol /TiO <sub>2</sub>	15
3.4	Karakterisasi Material .....	16
3.4.1	Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy-Energi Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)</i> .....	16
3.4.2	Karakterisasi <i>UV-VIS Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> .	16
3.4.3	Karakterisasi <i>Vibrating Sample Magnometer (VSM)</i> .....	16
3.4.4	Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	17
3.4.5	Penentuan <i>pH Point of Zero Charge (pHpzc)</i> Komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Polivinil Alkohol/TiO <sub>2</sub> .....	17
3.5	Penentuan Konsentrasi Tetrasiklin.....	17
3.5.1	Pembuatan Larutan Induk Tetrasiklin 1000 ppm.....	17
3.5.2	Pembuatan Larutan Standar Tetrasiklin.....	17
3.5.3	Penentuan Panjang Gelombang Maksimum .....	18
3.5.3	Penentuan Kurva Kalibrasi Tetrasiklin.....	18
3.6	Penentuan Kondisi Terbaik Degradasi Konsentrasi Tetrasiklin oleh Komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Polivinil Alkohol/TiO <sub>2</sub> .....	18
3.6.1	Pengaruh pH.....	18
3.6.2	Pengaruh Konsentrasi Tetrasiklin .....	18
3.6.3	Pengaruh Waktu Kontak .....	19

3.7 Analisis Data .....	19
3.7.1 <i>Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM- EDS)</i> .....	19
3.7.2 <i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance (Uv-Vis DRS)</i> ....	19
3.7.3 <i>Vibrating Sampel Magnetometer (VSM)</i> .....	19
3.7.4 <i>X-ray Diffraction (XRD)</i> .....	19
3.7.5 <i>Total Organic Carbon (TOC)</i> .....	20
3.7.6 Kondisi Terbaik Degradasi .....	20
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>21</b>
4.1 Hasil Karakterisasi Material $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan-Polivinil Alkohol}$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan-Polivinil Alkohol}/\text{TiO}_2$ .....	21
4.1.1 Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Vibrating Sample Magnometer (VSM)</i> .....	21
4.1.2 Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>X-ray Diffraction</i> .....	23
4.1.3 Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)</i> .....	25
4.1.4 Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance (UV-VIS DRS)</i> .....	27
4.1.5 Nilai pH <i>Point of Zero Charge (pHpzc)</i> Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan-Polivinil Alkohol}/\text{TiO}_2$ .....	28
4.2. Penentuan Kondisi Terbaik Degradasi Konsentrasi Tetrasiklin oleh Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan-Polivinil Alkohol}/\text{TiO}_2$ .....	29
4.2.1 Pengaruh pH.....	29
4.2.2 Pengaruh Konsentrasi .....	30
4.2.3 Pengaruh Waktu Kontak .....	31
4.3. <i>Total Organic Carbon (TOC)</i> .....	32
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>34</b>
5.1 Kesimpulan .....	34
5.2 Saran .....	34
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>35</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>40</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b>	Struktur Tetrasiklin .....	5
<b>Gambar 2.</b>	Struktur Kitosan .....	6
<b>Gambar 3.</b>	Pola difraksi $\text{Fe}_3\text{O}_4$ dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ .....	9
<b>Gambar 4.</b>	Hasil sintesis SEM Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ .....	10
<b>Gambar 5.</b>	Kurva magnetisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4$ yang dimodifikasi dengan beberapa semikonduktor .....	11
<b>Gambar 6.</b>	Kurva band gap (a) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ .....	12
<b>Gambar 7.</b>	Kurva histeresis dari $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{kitosan-polivinil alkohol}$ dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{kitosan-polivinil alkohol}/\text{TiO}_2$ .....	21
<b>Gambar 8.</b>	$\text{Fe}_3\text{O}_4$ diuji dengan magnet eksternal.....	22
<b>Gambar 9.</b>	$\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{kitosan-polivinil alkohol}$ diuji dengan magnet eksternal.....	22
<b>Gambar 10.</b>	$\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{kitosan-polivinil alkohol}/\text{TiO}_2$ diuji dengan magnet eksternal.....	23
<b>Gambar 11.</b>	Difaktogram $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{kitosan-polivinil alkohol}$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{kitosan-polivinil alkohol}/\text{TiO}_2$ .....	23
<b>Gambar 12.</b>	Morfologi $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{kitosan-polivinil alkohol}$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{kitosan-polivinil alkohol}/\text{TiO}_2$ .....	26
<b>Gambar 13.</b>	Nilai <i>band gap</i> $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{kitosan-polivinil alkohol}$ .....	27
<b>Gambar 14.</b>	Kurva pHpzc $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{kitosan-polivinil alkohol}/\text{TiO}_2$ .....	28
<b>Gambar 15.</b>	Pengaruh pH larutan tetrasiklin terhadap efektivitas penurunan konsentrasi tetrasiklin.....	29
<b>Gambar 16.</b>	Pengaruh konsentrasi tetrasiklin terhadap efektivitas penurunan konsentrasi tetrasiklin.....	30
<b>Gambar 17.</b>	Pengaruh waktu kontak terhadap efektivitas penurunan konsentrasi tetrasiklin.....	32
<b>Gambar 18.</b>	Jalur degradasi fotokatalitik tetrasiklin.....	33

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Pola XRD dari puncak difraksi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ .....	9
<b>Tabel 2.</b> Sudut $2\theta$ dengan JCPDS dan ukuran partikel .....	24
<b>Tabel 3.</b> Elemen penyusun $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /kitosan-polivinil alkohol dan $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /kitosan-polivinil alkohol/ $\text{TiO}_2$ .....	26
<b>Tabel 4.</b> Hasil Karakterisasi TOC tetrasiklin sebelum dan sesudah degradasi.....	26

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b>	Diagram Alir Prosedur Penelitian.....	41
<b>Lampiran 2.</b>	Reaksi pembentukan $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .....	44
<b>Lampiran 3.</b>	Hasil Karakterisasi Menggunakan VSM $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4$ / Kitosan- Polivinil Alkohol dan $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /Kitosan-Polivinil Alkohol/ $\text{TiO}_2$ .....	45
<b>Lampiran 4.</b>	Hasil Karakterisasi Menggunakan XRD $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4$ / Kitosan-Polivinil Alkohol dan $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /kitosan-polivinil alkohol/ $\text{TiO}_2$ .....	46
<b>Lampiran 5.</b>	Hasil Karakterisasi Menggunakan SEM-EDS $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /Kitosan Polivinil Alkohol dan $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /Kitosan-Polivinil Alkohol/ $\text{TiO}_2$ .....	51
<b>Lampiran 6.</b>	Hasil Karakterisasi Menggunakan UV-Vis DRS $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /Kitosan-Polivinil Alkohol dan $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /Kitosan-Polivinil Alkohol/ $\text{TiO}_2$ .....	54
<b>Lampiran 7.</b>	Penentuan pH <sub>pzc</sub> $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /Kitosan-Polivinil Alkohol/ $\text{TiO}_2$ .....	57
<b>Lampiran 8.</b>	Penentuan Panjang Gelombang tetrasiklin .....	58
<b>Lampiran 9.</b>	Penentuan Kurva Kalibrasi Tetrasiklin.....	59
<b>Lampiran 10.</b>	Penentuan Kondisi Terbaik Degradasi Tetrasiklin Variasi pH Menggunakan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /Kitosan-Polivinil Alkohol/ $\text{TiO}_2$ .....	60
<b>Lampiran 11.</b>	Penentuan Kondisi Terbaik Degradasi Tetrasiklin dengan Variasi Waktu Kontak Menggunakan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4$ / Kitosan- Polivinil Alkohol/ $\text{TiO}_2$ .....	62
<b>Lampiran 12.</b>	Penentuan Kondisi Terbaik Degradasi Tetrasiklin dengan Variasi Konsentrasi Menggunakan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /Kitosan-Polivinil Alkohol/ $\text{TiO}_2$ .....	64
<b>Lampiran 13.</b>	Hasil <i>Total Organic Carbon</i> (TOC) .....	66
<b>Lampiran 14.</b>	Gambar Penelitian .....	66

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Antibiotik adalah obat antimikroba yang dapat membunuh atau menghambat pertumbuhan bakteri (Anggraini & Pujilestari, 2017). Salah satu antibiotik yang sering digunakan adalah tetrasiklin karena mengandung aktivitas antibakteri yang luas, bahannya mudah didapat dan harganya murah. Negara-negara Eropa dan Swiss menggunakan tetrasiklin hampir 2.300 ton/tahun untuk peternakan, negara Tiongkok mengonsumsi 180 ribu ton/tahun untuk pengobatan manusia dan pertanian. Penggunaan tetrasiklin yang berlebihan dan pembuangan yang tidak terkontrol akan menyebabkan masalah terhadap lingkungan. Tetrasiklin memiliki volatilitas yang rendah sehingga penguraian tetrasiklin sulit dilakukan di lingkungan karena senyawanya yang stabil. Limbah tetrasiklin telah terdeteksi di berbagai lingkungan perairan seperti air permukaan, air tanah, lingkungan laut, sedimen, dan bahkan sampel biota (Amangelsin *et al.*, 2023).

Limbah tetrasiklin yang berada di lingkungan menjadi ancaman serius bagi kesehatan makhluk hidup karena menyebabkan munculnya bakteri yang resisten terhadap antibiotik. Oleh karena itu, dilakukan upaya untuk mendegradasi limbah tetrasiklin pada lingkungan perairan dengan metode fotokatalitik (Ma *et al.*, 2016). Fotokatalitik menggunakan bahan semikonduktor dianggap sebagai teknologi yang paling menjanjikan dan menarik untuk degradasi limbah tetrasiklin karena toksisitas rendah, biaya murah, dan memiliki kemampuan yang tinggi untuk diaplikasikan dalam kondisi sekitar (Xu *et al.*, 2021). Mekanisme fotokatalis dalam proses penguraian limbah bekerja berdasarkan penyerapan cahaya oleh material semikonduktor sehingga terbentuk elektron dan *hole* yang selanjutnya berinteraksi dengan air (H<sub>2</sub>O) dan oksigen (O<sub>2</sub>) membentuk radikal bebas. Radikal bebas yang terbentuk bertindak sebagai oksidator kuat sehingga mampu mendegradasi limbah tetrasiklin.

Diantara berbagai semikonduktor, titanium oksida (TiO<sub>2</sub>) yang paling sering digunakan sebagai fotokatalis karena dapat diaktivasi pada rentang spektrum UV (Bahrami *et al.*, 2018). TiO<sub>2</sub> tidak beracun, kemampuan oksidasi tinggi dan



memiliki sifat fotokatalis yang sangat baik dalam bentuk anatase. Fotokatalitik semikonduktor dapat dipisahkan dan didaur ulang secara efektif melalui modifikasi material  $\text{TiO}_2$  dengan menambahkan sifat kemagnetan pada  $\text{TiO}_2$  (Zhu *et al.*, 2012). Pengabungan  $\text{TiO}_2$  dengan salah satu material pendukung misalnya  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  akan membentuk komposit.

$\text{Fe}_3\text{O}_4$  memiliki keunggulan koersivitas yang tinggi, tidak beracun, memiliki sifat kemagnetan yang tinggi, sehingga dapat digunakan untuk metode ekstraksi fasa padat menggunakan medan magnet eksternal dalam proses aplikasinya (Rahmayanti, 2020). Namun,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  memiliki kestabilan yang rendah sehingga cenderung mengalami aglomerasi dan mudah mengalami oksidasi. Upaya untuk mencegah terjadinya penggumpalan pada  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  diperlukan modifikasi permukaan dengan adanya suatu agen penstabil. Polimer merupakan salah satu jenis material organik yang direkomendasikan. Polimer yang sering digunakan misalnya kitosan (Wei *et al.*, 2012). Kitosan merupakan biopolimer alami yang memiliki gugus amino dan hidroksil yang reaktif (Ma *et al.*, 2016). Stabilitas kimia dan kekuatan mekanik kitosan dapat ditingkatkan dengan modifikasi reaksi ikatan silang dengan polivinil alkohol. Polivinil alkohol dapat digunakan sebagai *crosslinker* karena memiliki stabilitas yang cukup baik dalam kondisi asam (Qi *et al.*, 2022). Reaksi ikatan silang adalah salah satu prosedur yang paling umum digunakan untuk meningkatkan stabilitas kitosan dalam media asam dan untuk meningkatkan kekuatan mekanik (Reghioua *et al.*, 2021).

Berdasarkan latar belakang tersebut, pada penelitian ini dilakukan sintesis nanopartikel material magnetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang berperan sebagai bahan magnet, kitosan-polivinil alkohol sebagai penghalang antara  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan  $\text{TiO}_2$  agar tidak terjadinya efek disolusi yang dapat menurunkan efektivitas degradasi, dan  $\text{TiO}_2$  digunakan sebagai katalis sehingga material-material tersebut membentuk komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /kitosan-polivinil alkohol/ $\text{TiO}_2$  sebagai upaya dalam mengatasi limbah tetrasiklin yang mencemari lingkungan. Komposit yang diperoleh dikarakterisasi mempergunakan SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) untuk mengetahui morfologi dan komposisi nanopartikel. UV-DRS (*Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy*) untuk menentukan nilai celah energi material. Sifat magnetik

komposit dianalisis dengan menggunakan VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*) dan identifikasi penentuan struktur menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*). *Total Organic Carbon* (TOC) untuk menganalisis banyaknya jumlah karbon yang terdapat pada senyawa organiknya. Variabel fotokatalitik yang diukur meliputi variasi pH tetrasiklin, konsentrasi tetrasiklin dan waktu kontak.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dalam penelitian ini permasalahan yang dikaji adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana keberhasilan sintesis komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /kitosan-polivinil alkohol/ $\text{TiO}_2$  yang dibuktikan dengan karakterisasi SEM-EDS, UV-Vis DRS, VSM dan XRD?
2. Bagaimana efektifitas komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /kitosan-polivinil alkohol/ $\text{TiO}_2$  dalam mendegradasi tetrasiklin berdasarkan variasi pH tetrasiklin, konsentrasi tetrasiklin, dan waktu kontak?
3. Bagaimana kadar karbon yang terkandung pada tetrasiklin sebelum dan setelah degradasi yang dianalisis menggunakan *Total Organic Carbon* (TOC)?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mensintesis komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /kitosan-polivinil alkohol/ $\text{TiO}_2$  dan melakukan karakterisasi dengan SEM-EDS, UV-Vis DRS, VSM dan XRD.
2. Menentukan kondisi terbaik bagi komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /kitosan-polivinil alkohol/ $\text{TiO}_2$  pada proses degradasi tetrasiklin berdasarkan variasi pH, konsentrasi, dan waktu kontak.
3. Menganalisis konsentrasi karbon sebelum dan setelah degradasi tetrasiklin menggunakan *Total Organic Carbon* (TOC).

## 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat mensintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /kitosan-polivinil alkohol/ $\text{TiO}_2$  menjadi suatu komposit yang dapat digunakan sebagai bahan semikonduktor dalam metode fotokatalitik untuk mendegradasi tetrasiklin.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhim, M.S. (2018). *Sintesis Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Magnetit) Dari Batu Besi Menggunakan Metode Kopresipitasi Dengan Variasi pH*. Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- 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. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12030440>
- Andari, N.D. dan Wardani, S. (2014). Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-zeolit untuk degradasi metilen biru. *Chem Prog*, 7 (1): 9 – 14.
- Anggraini, D., & Pujilesari, L. (2017). Efektivitas Fotodegradasi Amoksilin yang dikatalisis dengan TiO<sub>2</sub> dengan keberadaan ion Ag. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 20(3): 106.
- Aniza, S. N., Andini, A., & Lestari, I. (2019). Analisis Residu Antibiotik Tetrasiklin Pada Daging Ayam Broiler dan Daging Sapi. *Jurnal Sainhealth*, 3(2): 22. <https://doi.org/10.51804/Jsh.V3i2.600.22-32>
- Bahrani, H., Eslami, A., Nabizadeh, R., Mohseni-Bandpi, A., Asadi, A., & Sillanpää, M. (2018). Degradation of Trichloroethylene by Sonophotolytic-Activated Persulfate Processes: Optimization Using Response Surface Methodology. *Journal of Cleaner Production*, 198: 1210–1218. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.100>
- Budiatin, A. S. (2014). *Pengaruh Glutaraldehid sebagai Cross-link Agent gentamisin dengan Gelatin terhadap peningkatan efektivitas Bovine Hydroxyapatite-Gelatin sebagai Sistem Penghantaran Obat dan Pengisi Tulang*. Surabaya : Universitas Airlangga.
- Dompeipen, E. J., Kaimudin, M., Dewa Balai Riset dan Standarisasi Industri Ambon, R. P., Cengkeh, J., & Merah Ambon, B. (2016). Isolasi Kitin dan Kitosan dari Limbah Kulit Udang. *Majalah BIAM*, 12(1): 32– 38.
- Farhadian, N., Akbarzadeh, R., Pirsaeheb, M., Jen, T. C., Fakhri, Y., & Asadi, A. (2019). Chitosan Modified N, S-Doped TiO<sub>2</sub> And N, S-Doped ZnO For Visible Light Photocatalytic Degradation of Tetracycline. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132: 360–373. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.217>
- Gebreslassie, G., Bharali, P., Chandra, U., & Sergawie, A. (2019). Hydrothermal Synthesis of g - C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> / NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanocomposite and Its Enhanced Photocatalytic Activity. *Applied Organometallic Chemistry*, 33: 1–12. <https://doi.org/10.1002/aoc.5002>
- Hariani, P. L., Said, M., Salni, Rachmat, A., Aprianti, N., & Stephanie, E. A. (2023). Synthesis Of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> /SiO<sub>2</sub> /NiO Magnetic Composite: Evaluation of Its Catalytic Activity for Methylene Blue Degradation. *Global Nest Journal*, 25(2): 36–43. <https://doi.org/10.30955/gnj.004407>

- He, X., Kai, T., & Ding, P. (2021). Heterojunction photocatalysts for degradation of the tetracycline antibiotic: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 9:4563–4601.
- Huang, J. J., Lin, C. C., & Wu, D. S. (2017). Antireflection And Passivation Property Of Titanium Oxide Thin Film on Silicon Nanowire by Liquid Phase Deposition. *Surface and Coatings Technology*, 320: 252–258. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.01.027>
- Jo, Y. K., Lee, J. M., Son, S., & Hwang, S. J. (2019). 2D Inorganic Nanosheet-Based Hybrid Photocatalysts: Design, Applications, And Perspectives. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 40: 150–190. <https://doi.org/10.1016/J.JPHOTOCHEMREV.2018.03.002>
- Klein, E. Y., Van Boeckel, T. P., Martinez, E. M., Pant, S., Gandra, S., Levin, S. A., Goossens, H., & Laxminarayan, R. (2018). Global Increase and Geographic Convergence In Antibiotic Consumption Between 2000 and 2015. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(15) E3463–E3470. <https://doi.org/10.1073/pnas.1717295115>
- Kumari, S., Kumar Annamareddy, S. H., Abanti, S., & Kumar Rath, P. (2017). Physicochemical Properties And Characterization Of Chitosan Synthesized From Fish Scales, Crab And Shrimp Shells. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104: 1697–1705. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.04.119>
- Kustomo. (2020). Uji Karakterisasi Dan Mapping Magnetit Nanopartikel Terlapisi Asam Humat Dengan *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(3): 149–153.
- Kwon, S., Fan, M., Cooper, A. T., & Yang, H. (2008). Photocatalytic Applications of Micro- And Nano-TiO<sub>2</sub> In Environmental Engineering. In *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 38(3): 1-4. <https://doi.org/10.1080/10643380701628933>
- Linsebigler, A.L., Guangquan, L., Yates, J.T. (1995). Photocatalysis on TiO<sub>2</sub> surface: principles, mechanism and selected result. *Chem Rev*, 95: 735-758
- Listanti, A., Taufiq, A., Hidayat, A dan Sunaryono. (2018). Investigasi Struktur dan Energi Band Gap Partikel Nano TiO<sub>2</sub> Hasil Sintesis Menggunakan Metode Sol-Gel. *Journal of Physical Science and Engineering*, 3(1): 8-15
- Liu, H., Yang, Y., Kang, J., Fan, M., & Qu, J. (2022). Removal of Tetracycline From Water By Fe-Mn Binary Oxide. *Journal of Environmental Sciences*, 24(2): 242–247. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(11\)60763-8](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(11)60763-8)
- Ma, W., Dai, J., Dai, X., Da, Z., & Yan, Y. (2016). Preparation And Characterization of Chitosan/Halloysite Magnetic Microspheres And Their Application For Removal of Tetracycline From An Aqueous Solution. *Desalination and Water Treatment*, 57(9): 4162–4173. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.988653>
- Mahmuda, D., Sakinah, N., dan Suharyadi, E. (2014). Adsorpsi Logam Tembaga

- (Cu), Mangan (Mn) dan Nikel (Ni) dalam Artificial Limbah Cair dengan Menggunakan Nanopartikel Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). *Journal of Applied Physics*, 20(1): 2.
- Maylani, A. S., Sulistyarningsih, T., & Kusumastuti, E. (2016). Sebagai Adsorben Ion Logam Kadmium Info Artikel. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(2): 130–135. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs%0APREPARASI>
- McCafferty, E. (2010). Relationship Between the Isoelectric Point (pHpzc) and the Potential of Zero Charge (Epzc) For Passive Metals. *Electrochimica Acta*, 55(5): 1630–1637. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2009.10.040>
- Mulyatno, B. S., Dewanto, O., & Rizky, S. (2018). Determining Layer Oil Shale as New Alternative Energy Sources Using Core Analysis and Well Log Method. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (ISSN: 2227524X): 941–949.
- Muslimah, Fitri & Mustikasari, Kamilia & Yunus, Rahmat. (2019). Pengaruh Aerasi Terhadap Degradasi Congo Red Secara Fotokimia dengan  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$ . *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*, 13(1): 29-38.
- Nada, E.A.; El-Maghrabi, H.H.; Raynaud, P.; Ali, H.R.; Abd El-Wahab, S.; Sabry, D.Y.; Moustafa, Y.M.; Nada, A.A (2022). Enhanced Photocatalytic Activity of  $\text{WS}_2/\text{TiO}_2$  Nanofibers for Degradation of Phenol under Visible Light Irradiation. *Artikel Inorganics*, 10 (54): 9. <https://doi.org/10.3390/inorganics10040054>
- 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. <https://doi.org/10.51352/jim.v2i2.64>
- Paramarta, V., Kristianto, Y., Taufik, A. and Saleh, R. (2017). Improve sonocatalytic performance using modified semiconductor catalyst  $\text{SnO}_2$  and  $\text{ZrO}_2$  by magnetite materials. *International Conference on Recent Trends in Physics*, 188, 3.
- Pradipta, A. R., Enriyani, R., Rahmatia, L., & Utami, A. (2021). Sintesis Nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$  Sebagai Fotokatalis yang dapat diambil Kembali Dalam Fotoreduksi Limbah Ion Perak(I). *Warta Akab*, 44(2): 32–39. <https://doi.org/10.55075/wa.v45i1.6>
- Putri, M.A., Herawati, D., dan Kurniaty, N. (2015). Pengembangan Metode Analisis Antibiotik Tetrasiklin dalam Hati Ayam Menggunakan Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (Kckt), *Prosiding Penelitian Unisba*, 1. 79–85.
- Rahmayanti, M. (2020). Sintesis dan Karakterisasi Magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Studi Komparasi Metode konvensional dan sonokimia. *Al ulum sains dan teknologi*. 6(1): 26-27.
- Reghioua, A., Barkat, D., Jawad, A. H., & Saud, A. (2021). Synthesis of Schiff ' S Base Magnetic Crosslinked Chitosan-Glyoxal/ $\text{ZnO}/\text{Fe}_3\text{O}_4$  Nanoparticles for Enhanced Adsorption of Organic Dye : Modeling And Mechanism Study.

- Sustainable Chemistry And Pharmacy*, 20(21): 100379.  
<https://doi.org/10.1016/J.Sc.2021.100379>
- Simamora, P., & Krisna, K. (2015). Sintesis dan Karakterisasi Sifat Magnetik Nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Montmorilonit Berdasarkan Variasi Suhu. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (e-journal)*, 4: 3-5.
- Suheri, F. L., Agus, Z., & Fitria, I. (2015). Perbandingan Uji Resistensi Bakteri Staphylococcus Aureus Terhadap Obat Antibiotik Ampisilin dan Tetrasiklin. *Andalas Dental Journal*, 3(1): 25–33. <https://doi.org/10.25077/ADJ.V3I1.33>
- Sunaryono, Taufiq, A., Mashuri, Pratapa, S., Zainuri, M., Triwikantoro, & Darminto. (2015). Various Magnetic Properties of Magnetite Nanoparticles Synthesized From Iron-Sands by Coprecipitation Method at Room Temperature. *Materials Science Forum*, 827, 229–234. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.827.229>
- Taib, S., & Suharyadi, E. (2015). Sintesis Nanopartikel Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) dengan Template silika (SiO<sub>2</sub>) dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 5(01): 23. <https://doi.org/10.13057/ijap.v5i01.256>
- Tebriani, S. (2019). Analisis Vibrating Sample Magnetometer (Vsm) Pada Analisis Vibrating Sample Magnetometer (Vsm) Pada Hasil Elektrodeposisi Lapisan Tipis Magnetite Menggunakan Aruscontinue Direct Current. *Natural Science Journal*, 5, 722–730.
- Utami, A. R., & Wulandari, C. N. (2020). Verifikasi Metode Pengujian Total Organic Carbon (TOC) Dalam Air Limbah Kegiatan Minyak dan Gas Dengan Menggunakan TOC Analyzer. *Prosiding Seminar Nasional Kimia (SNK), Mdl*, 258–267.
- Villegas, Victor & de Leon Ramirez, Jesus & Hernández-Guevara, Esteban & Sicairos, Sergio & Hurtado, Lilia & Sánchez, Bertha. (2019). Synthesis and characterization of magnetite nanoparticles for photocatalysis of nitrobenzene. *Journal of Saudi Chemical Society*, 24, 10.
- Wang, H. huan, Liu, W. xiu, Ma, J., Liang, Q., Qin, W., Lartey, P. O., & Feng, X. jiang. (2020). Design Of (GO/TiO<sub>2</sub>)N One-Dimensional Photonic Crystal Photocatalysts With Improved Photocatalytic Activity For Tetracycline Degradation. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 27(6): 830–839. <https://doi.org/10.1007/s12613-019-1923-5>.
- Wardiyati, S., Adi, W.A Dan Winatapura, D.S. (2016). Pengaruh Penambahan SiO<sub>2</sub> Terhadap Karakteristik dan Kinerja Fotokatalitik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> Pada Degradasi Methylene Blue, *Jurnal Kimia Kemasan*, 38 (1): 32-39.
- Wei, Y., Han, B., Hu, X., Lin, Y., Wang, X., & Deng, X. (2012). Synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles and Their Magnetic Properties. *Procedia Engineering*, 27(2011): 632–637. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.12.498>.
- Wulandari, I. O., Wardhani, S dan Purwonugroho, D. (2014). Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis Zno pada Zeolit. *Kimia Student Journal*, 1(2): 243.



- Xu, G., Du, M., Li, T., Guan, Y., & Guo, C. (2021). Facile Synthesis of Magnetically Retrievable Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/BiVO<sub>4</sub>/Cds Heterojunction Composite for Enhanced Photocatalytic Degradation of Tetracycline Under Visible Light. *Separation and Purification Technology*, 275, 119157. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119157>.
- Zhao, R., Ma, T., Zhao, S., Rong, H., Tian, Y., & Zhu, G. (2020). Uniform and Stable Immobilization of Metal-Organic Frameworks Into Chitosan Matrix For Enhanced Tetracycline Removal From Water. *Chemical Engineering Journal*, 382, 122893. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122893>
- Zhu, H., Jiang, R., Fu, Y., Guan, Y., Yao, J., Xiao, L., & Zeng, G. (2012). Effective Photocatalytic Decolorization of Methyl Orange Utilizing TiO<sub>2</sub>/Zno/Chitosan Nanocomposite Films Under Simulated Solar Irradiation. *Desalination*, 286, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.10.036>