

**SINTESIS NiFe₂O₄/KITOSAN-ALGINAT/TiO₂ DAN APLIKASINYA
UNTUK FOTODEGRADASI ZAT WARNA PROCION RED DENGAN
OPTIMASI MENGGUNAKAN RSM (*RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY*)**

SKRIPSI

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



Oleh :

Andini Gusti Ayu

08031382126089

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

2025

HALAMAN PERSETUJUAN

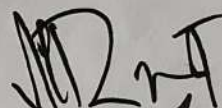
Karya tulis ilmiah berupa skripsi Andini Gusti Ayu (08031382126089) dengan judul “Sintesis NiFe_2O_4 /Kitosan-Alginat/ TiO_2 dan Aplikasinya Untuk Fotodegradasi Zat Warna Procion Red dengan Optimasi Menggunakan RSM (*Response Surface Methodology*)” telah disidangkan di hadapan Tim Penguji Sidang Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 18 Maret 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 20 Maret 2025

Pembimbing :

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

NIP. 196808271994022001

()

2. **Prof. Dr. Miksusanti, M.Si.**

NIP. 196807231994032003

()

Penguji :

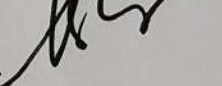
1. **Dra. Fatma, M.S.**

NIP. 196207131991022001

()

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

NIP. 197409282000121001

()

Mengetahui,

Dekan FMIPA



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

NIP. 197111191997021001

Ketua Jurusan Kimia



Prof. Dr. Muharni, M.Si.

NIP. 196903041994122001

HALAMAN PENGESAHAN
SINTESIS NiFe₂O₄/KITOSAN-ALGINAT/TiO₂ DAN APLIKASINYA
UNTUK FOTODEGRADASI ZAT WARNA PROCION RED DENGAN
OPTIMASI MENGGUNAKAN RSM (*RESPONSE SURFACE*
***METHODOLOGY*)**

SKRIPSI

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

Disusun oleh

ANDINI GUSTI AYU

08031382126089

Indralaya, 20 Maret 2025

Telah Disetujui :

Dosen Pembimbing I

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

NIP. 196808271994022001

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Miksusanti, M.Si.

NIP. 196807231994032003

Mengetahui,
Dekan FMIPA



Prof. Dr. Haniyah, S.Si., M.Si., Ph.D

NIP. 197111191997021001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama mahasiswa : Andini Gusti Ayu

NIM : 08031382126089

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Menyatakan bahwa karya ilmiah ini merupakan hasil karya sendiri yang didampingi tim pembimbing bukan karya orang lain dan belum pernah diajukan sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjana strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lainnya.

Semua informasi yang terdapat pada karya ilmiah ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak, telah diberikan penghargaan dengan mengutip sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis, apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam karya ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Indralaya, 20 Maret 2025

Penulis



Andini Gusti Ayu

08031382126089

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

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya yang bertanda tangan dibawah ini :

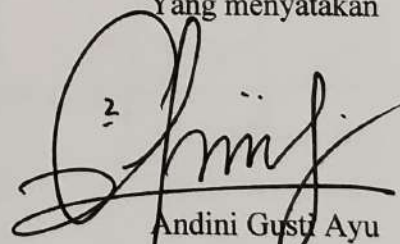
Nama mahasiswa : Andini Gusti Ayu
NIM : 08031382126089
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan karya ini kepada pihak Universitas Sriwijaya “hak bebas royalti non-eksklusif (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul “Sintesis NiFe_2O_4 /Kitosan-Alginat/ TiO_2 dan Aplikasinya Untuk Fotodegradasi Zat Warna Procion Red Dengan Optimasi Menggunakan RSM (*Response Surface Methodology*)”. 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 sesungguhnya

Indralaya, 20 Maret 2025

Yang menyatakan



Andini Gusti Ayu

08031382126089

HALAMAN PERSEMBAHAN

"Allah adalah Maha Pengasih dan Maha Penyayang, jangan sampai kita memiliki prasangka buruk terhadap Allah swt. Allah swt pasti akan mengampuni dosa-dosa hambanya yang serius bertaubat, dan akan membantu hambanya yang dengan sungguh-sungguh meminta pertolongan."

(QS Yusuf ayat 87)

"Jangan engkau bersedih, sesungguhnya Allah bersama kita."

(QS At-Taubah: 40)

"Sesungguhnya hanya orang-orang yang bersabarlah yang dicukupkan pahala mereka tanpa batas."

(QS Az-Zumar: 10)

مَنْ سَلَكَ طَرِيقًا يَلْتَمِسُ فِيهِ عِلْمًا سَهَّلَ اللَّهُ بِهِ طَرِيقًا إِلَى الْجَنَّةِ

"Barangsiapa yang menempuh suatu jalan untuk menuntut ilmu, maka Allah Swt akan memudahkan baginya jalan menuju surga."

(HR. Muslim)

Skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa.
2. Kakek dan Nenek yang selalu mendoakan kelancaran penulis.
3. Papa, Mama dan Saudara yang selalu mendukung dan mendoakan penulis dalam setiap kondisinya.
4. Seluruh keluarga besar H. Safri Caniago yang selalu mendoakan dan mendukung penulis.
5. Dosen pembimbing TA Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si.
6. Dosen pembimbing Akademik Ibu Prof. Dr. Miksusanti, M.Si.
7. Dosen penguji Ibu Dra. Fatma, M.S. dan Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si.
8. Sahabat dan teman-teman penulis.
9. Rekan-rekan analisa yang terlibat selama proses penelitian.
10. Kampus tercinta, Universitas Sriwijaya.
11. Saya sendiri.

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas rahmat dan hidayah Allah Swt. karena berkatnyalah penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan karya tulis ilmiah ini yang berjudul “Sintesis NiFe_2O_4 /Kitosan-Alginat/ TiO_2 dan Aplikasinya Untuk Fotodegradasi Zat Warna Procion Red Dengan Optimasi Menggunakan RSM (*Response Surface Methodology*)”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya. Penuli menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu **Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si.** dan **Prof. Dr. Miksusanti, M.Si.** yang telah memberikan banyak bimbingan, motivasi, saran dan bantuannya kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis juga menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Wanita hebat yang hatinya selembut kapas yang selalu ada untuk anak-anaknya Mama Dian Novianti, terima kasih telah menjadi mama sekaligus papa bagi penulis, yang selalu mendukung dan tak henti-hentinya mendoakan penulis disetiap perjalanan baik dan kesuksesan penulis. Semoga kelak penulis dapat membalas semua perjuanganmu, Mama.
2. Wanita hebat lain yang gak kalah hebat Ndung Asmawati, yang selalu ada untuk cucu-cucunya, terima kasih selalu mendukung dan mendoakan penulis disetiap perjalanan dan kesuksesan penulis. Semoga kedepannya penulis dapat membalas semua perjuangan, Ndung.
3. Saudara-saudara penulis Uni Regina, Uni Tirta dan Abang Tito yang selalu mendukung serta membersamai penulis dan mendoakan penulis untuk mendapatkan gelar sarjana.
4. Keluarga besar H. Safri Caniago yang selalu mendukung dan memberikan semangat kepada penulis untuk menempuh pendidikan yang tinggi.
5. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si, Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya
6. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya

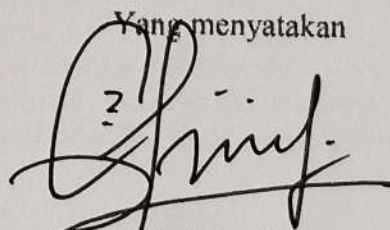
7. Bapak Dr. Addy Rachmat, M. Si. Selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya sekaligus Dosen penguji siding sarjana penulis
8. Ibu Dra. Fatma, M.S. selaku ketua sidang sarjana penulis, yang turut andil dalam memberikan masukan, kritik serta saran yang membangun dalam penulisan skripsi serta persiapan menuju sarjana kimia.
9. Seluruh Dosen Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan banyak ilmu, mendidik dan membimbing selama masa perkuliahan penulis.
10. Analis Laboratorium Jurusan Kimia FMIPA Universitas Srwijaya (Yuk Niar, Yuk Nur dan Mbak Yanti) yang telah kebersamai penulis selama penelitian di Laboratorium Kimia Analisa.
11. Staff admin Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya (Kak Iin dan Mbak Novi) yang selalu membantu mengenai surat menyurat serta mengatur jadwal seminar hingga sidang penulis.
12. Laki-laki hebat setelah papa (Kak Faisal) yang selalu kebersamai serta mendukung dan mendoakan kelancaran segala urusan dalam perkuliahan penulis.
13. Abang dan Kakak Asuh angkatan 19 dan 20 (Bang Hanif, Bang Jefri dan Kak Nandy) yang telah membantu selama menjadi mahasiswa baru dan selalu mendukung penulis selama masa perkuliahan.
14. Teman sedaerah dan sedosen PA (Mianita) yang telah kebersamai dan mendukung penulis dari mahasiswa baru hingga akhir.
15. Teman-teman Absurdd (Annisah, Amel, Vema, Nike, Nima dan Elsa) yang selalu ada dalam setiap hal baik yang terjadi pada penulis selama perkuliahan, selalu ada canda dan tawa dalam setiap pertemuan dengan diisi permainan “UNO” selama isitirahat makan siang di kampus.
16. Teman-Teman Gawer Squad (Meli, Hapy, Yuyun, Irma, Agnes, Tamik dan Yola) yang sudah membantu, mendukung serta kebersamai penulis selama dibangku putih abu-abu hingga masa perkuliahan dengan berita hangatnya.
17. Teman-Teman Tauhid Class (IPA 2 SMANTAMA) yang telah kebersamai penulis hingga sekarang dengan kesibukannya masing-masing, ketemu saat acara bukber kelas setahun sekali.

18. Adek asuh Angkatan 22 dan 23 (Alwi, Sukma, Yuan dan Ridho) yang selalu mendukung penulis.
19. Rekan-rekan TA. Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si. di laboratorium analisa (Annisah, Sodifa, Puan, Dey, Devi, Cingka dan Adelia) yang telah mau direpotkan penulis dalam segala hal dalam proses penelitian berlangsung.
20. Rekan-rekan analisa lainnya (Aditya dan Bagus) yang sangat direpotkan oleh penulis dan rekan lainnya untuk peminjaman alat dan segala kekurangan material penelitian lainnya.
21. Teman-teman angkatan 21 yang telah kebersamai penulis dari maba hingga akhir perkuliahan.
22. Sepupu penulis (Bang Lodri, Bang Didi, Kak Elen, Bang Bayu, Adek Ajeng, Adek Dani, Adek Eko, Adek Bila, Adek Marco, Adek Irfan Dan Adek Hafid) yang selalu mendukung penulis selama menempuh pendidikan.
23. Terakhir, teruntuk diri sendiri terima kasih atas usaha, perjuangan dan kerja kerasnya. Teruslah tumbuh menjadi pribadi yang lebih baik lagi dan selalu menebarkan kebaikan disekitar. "Besi hancur oleh karatnya sendiri"

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua orang dan bermanfaat untuk pengembangan kimia di masa depan. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Indralaya, 20 Maret 2025

Yang menyatakan



Andini Gusti Ayu

08031382126089

SUMMARY

SYNTHESIS OF NiFe₂O₄/KITOSAN-ALGINAT/TiO₂ AND ITS APPLICATION FOR PROCION RED COLOR PHOTODEGRADATION BY OPTIMIZATION USING RSM (RESPONSE SURFACE METHODOLOGY)

Andini Gusti Ayu: Supervised by Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si. and Prof. Dr. Miksusanti, M.Si.

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

xvii + 90 pages, 14 figures, 6 tables, 11 appendices

Procion Red is a synthetic dye that is widely used in the textile industry. It is used because it is cheaper and more durable than natural dyes. However, the resulting dye gives a striking color and is difficult to degrade in the environment. Therefore, it is necessary to make efforts to degrade procion red dyes using photocatalytic semiconductors which have the advantages of being non-toxic, cheap and have high chemical stability in a wide pH range.

This study synthesized NiFe₂O₄/chitosan-alginate/TiO₂ composites as an effort to overcome liquid waste containing procion red dye. TiO₂ is a semiconductor that is often used as a catalyst. TiO₂ easily undergoes photodissolution which can reduce the effectiveness of degradation so it is necessary to mix NiFe₂O₄ and coat with chitosan-alginate as a barrier between NiFe₂O₄ and TiO₂. In addition, NiFe₂O₄ magnetic material acts as a magnetic material to facilitate the separation of the composite from the solution after the degradation process. The synthesized NiFe₂O₄/chitosan-alginate/TiO₂ composite was characterized using VSM, XRD, SEM-EDS and UV-Vis DRS. Degradation optimization was performed using RSM with variable concentration, pH and contact time.

The results of characterization using VSM from the hysteresis curve show a saturation magnetization value of 44.62 emu/g which indicates that the NiFe₂O₄/chitosan-alginate/TiO₂ composite is superparamagnetic. The results of characterization using XRD obtained the highest peak at an angle of $\theta = 25.25^\circ$ with a crystal size of 62.70 nm. SEM-EDS characterization results showed a heterogeneous morphology of NiFe₂O₄/chitosan-alginate/TiO₂ with constituent elements in the form of C (6%), N (2%), O (21%), Ti (29%), Fe (30%) and Ni (11%). The band gap value of UV-Vis DRS characterization results of 1.92 eV is lower than the TiO₂ band gap of around 3.0-3.2 eV. pH_{pzc} of the NiFe₂O₄/chitosan-alginate/TiO₂ composite is at pH 6.19. The optimum conditions for photodegradation of procion red dye by NiFe₂O₄/chitosan-alginate/TiO₂ composite using RSM with Box-Behnken Design (BBD) were obtained at a concentration of 60 ppm, pH 3 and contact time of 31 minutes with the effectiveness of reducing the concentration of 67.82%, showing significant results with a quadratic equation model.

Keywords : NiFe₂O₄/chitosan-alginate/TiO₂ composite, photodegradation, procion red dye, response surface methodology (RSM).

Citation : 60 (2015-2024)

RINGKASAN

SINTESIS NiFe₂O₄/KITOSAN-ALGINAT/TiO₂ DAN APLIKASINYA UNTUK FOTODEGRADASI ZAT WARNA PROCION RED DENGAN OPTIMASI MENGGUNAKAN RSM (*RESPONSE SURFACE METHODOLOGY*)

Andini Gusti Ayu: Dibimbing oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si. dan Prof. Dr. Miksusanti, M.Si.

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

xvii + 90 halaman, 14 gambar, 6 tabel, 11 lampiran

Procion Red merupakan zat warna sintetis yang banyak digunakan dalam industri tekstil. Zat warna tersebut digunakan karena lebih murah dan lebih tahan lama dibandingkan zat warna alami. Namun, zat warna yang dihasilkan memberikan warna yang mencolok dan sulit terdegradasi di lingkungan. Oleh sebab itu, perlu dilakukan upaya degradasi zat warna procion red menggunakan fotokatalitik semikonduktor yang memiliki kelebihan yaitu tidak beracun, murah dan memiliki stabilitas kimia yang tinggi dalam rentang pH luas.

Penelitian ini melakukan sintesis komposit NiFe₂O₄/kitosan-alginat/TiO₂ sebagai upaya dalam mengatasi limbah cair yang mengandung zat warna procion red. TiO₂ merupakan semikonduktor yang sering digunakan sebagai katalis. TiO₂ mudah mengalami fotodisolusi yang dapat menurunkan efisiensi degradasi sehingga perlu dicampur NiFe₂O₄ dan dicoating dengan kitosan-alginat sebagai penghalang antara NiFe₂O₄ dan TiO₂. Selain itu, material magnetik NiFe₂O₄ berperan sebagai bahan magnet untuk memudahkan pemisahan komposit dari larutan setelah proses degradasi. Hasil sintesis komposit NiFe₂O₄/kitosan-alginat/TiO₂ dikarakterisasi menggunakan VSM, XRD, SEM-EDS dan UV-Vis DRS. Optimasi degradasi dilakukan menggunakan RSM dengan variabel konsentrasi, pH dan waktu kontak.

Hasil karakterisasi menggunakan VSM dari kurva histeresis menunjukkan nilai magnetisasi saturasi sebesar 44,62 emu/g yang menandakan komposit NiFe₂O₄/kitosan-alginat/TiO₂ bersifat superparamagnetik. Hasil karakterisasi menggunakan XRD didapatkan puncak tertinggi pada sudut $2\theta = 25,25^\circ$ dengan ukuran kristal 62,70 nm. Hasil karakterisasi SEM-EDS menunjukkan morfologi NiFe₂O₄/kitosan-alginat/TiO₂ yang heterogen dengan unsur penyusun berupa C (6%), N (2%), O (21%), Ti (29%), Fe (30%) dan Ni (11%). Nilai *band gap* hasil karakterisasi UV-Vis DRS sebesar 1,92 eV lebih rendah dari band gap TiO₂ sekitar 3,0-3,2 eV. pH_{pzc} dari komposit NiFe₂O₄/kitosan-alginat/TiO₂ terdapat pada pH 6,19. Kondisi optimum fotodegradasi zat warna procion red oleh komposit NiFe₂O₄/kitosan-alginat/TiO₂ menggunakan RSM dengan *Box-Behnken Design* (BBD) diperoleh pada konsentrasi 60 ppm, pH 3 dan waktu kontak 31 menit dengan efisiensi penurunan konsentrasi sebesar 67,82%, menunjukkan hasil yang signifikan dengan model persamaan kuadrat.

Kata kunci : Komposit NiFe₂O₄/kitosan-alginat/TiO₂, fotodegradasi, zat warna procion red, *response surface methodology* (RSM).

Kutipan : 60 (2015-2024)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
SUMMARY	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Zat Warna Procion Red	5
2.2 <i>Nickel Ferrite</i> (NiFe_2O_4)	5
2.3 Kitosan-Alginat	6
2.4 Titanium Oksida (TiO_2)	7
2.5 Fotodegradasi	8
2.6 <i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	9
2.7 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	10
2.8 <i>UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-Vis DRS).....	11
2.9 <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X- Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDS)	13
2.10 Vibrating Sample Magnetometer (VSM).....	14

2.11	<i>pH Point of Zero Charge</i> (pHpzc)	14
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1	Waktu dan Tempat	16
3.2	Alat dan Bahan	16
3.2.1	Alat	16
3.2.2	Bahan	16
3.3	Prosedur Percobaan	17
3.3.1	Sintesis NiFe ₂ O ₄	17
3.3.2	Komposit NiFe ₂ O ₄ /Kitosan Alginat	17
3.3.3	Komposit NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Alginat/TiO ₂	17
3.4	Karakterisasi Material	18
3.4.1	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	18
3.4.2	<i>Scanning Electron Microscopy-Energi Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDS)	18
3.4.3	Vibrating Sample Magnetometer (VSM)	18
3.4.4	<i>UV-VIS Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-VIS DRS)	19
3.4.5	<i>pH Point of Zero Charge</i> (pHpzc)	19
3.5	Penentuan Kondisi Optimum Penyerapan Zat Warna Procion Red	19
3.5.1	Pembuatan Larutan Induk Procion Red 1000 ppm	19
3.5.2	Pembuatan Larutan Standar Procion Red	20
3.5.3	Penentuan Panjang Gelombang Maksimum	20
3.5.4	Pembuatan Kurva Kalibrasi Zat Warna Procion Red	20
3.6	Penentuan Kondisi Optimum Fotodegradasi Zat Warna Procion Red	20
3.6.1	Perlakuan Desain Eksperimen <i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	20
3.6.2	Analisis Data Menggunakan <i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	21
3.7	Analisis Data Penentuan Kondisi Optimum	23

3.8	Perbandingan Penurunan Konsentrasi Zat Warna.....	23
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1	Hasil Karakterisasi Material NiFe ₂ O ₄ , NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Alginat dan NiFe ₂ O ₄ /Kitosan- Alginat/TiO ₂	24
4.1.1	Hasil Karaterisasi Menggunakan <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM)	24
4.1.2	Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	26
4.1.3	Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersion Spectroscopy</i> (SEM-EDS).....	28
4.1.4	Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Ultraviolet- Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV- Vis DRS).....	31
4.1.5	Nilai pH <i>point of zero charge</i> (pHpzc) Komposit NiFe ₂ O ₄ /Kitosan-Alginat/TiO ₂	32
4.2	Hasil Analisis Degradasi Procion Red dengan Metode <i>Response Surface Methodology</i> (RSM) Menggunakan Komposit NiFe ₂ O ₄ /Kitosan Alginat/TiO ₂	33
4.3	Perbandingan Kondisi Optimum.....	42
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	44
5.1	Kesimpulan	44
5.2	Saran.....	44
	DAFTAR PUSTAKA	45
	LAMPIRAN.....	51

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 1	struktur zat warna procion red.....	5
Gambar 2	Struktur Kitosan	6
Gambar 3	Kurva histeresis NiFe_2O_4 , $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}$ dan $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}/\text{TiO}_2$	24
Gambar 4	NiFe_2O_4 diuji sifat magnetiknya menggunakan magnet permanen	25
Gambar 5	$\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}$ diuji sifat magnetiknya menggunakan magnet permanen	25
Gambar 6	$\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}/\text{TiO}_2$ diuji sifat magnetiknya menggunakan magnet permanen.....	26
Gambar 7	Difraktogram NiFe_2O_4 , $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}$ dan $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}/\text{TiO}_2$	27
Gambar 8	Morfologi permukaan NiFe_2O_4 , $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}$ dan $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}/\text{TiO}_2$	29
Gambar 9	Mapping permukaan $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}/\text{TiO}_2$	30
Gambar 10	Nilai band gap (a) NiFe_2O_4 , (b) $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}$ (c) $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}/\text{TiO}_2$	31
Gambar 11	Kurva pHpzc $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}/\text{TiO}_2$	33
Gambar 12	Kurva analisis model respon <i>diagnostics</i> (a) <i>normal plot of residuals</i> , (b) <i>predicted vs actual</i> , (c) <i>residual vs predicted</i> dan (d) <i>residual vs run</i>	38
Gambar 13	Countour dan 3D surface efisiensi degradasi (a) konsentrasi-pH, (b) konsentrasi-waktu kontak dan (c) pH-waktu kontak.....	39
Gambar 14	Grafik efisiensi degradasi zat warna procion red pada kondisi optimum untuk 3 perlakuan.	41

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1	Desain penentuan kondisi optimum menggunakan <i>Box-Behnken Design</i> (BBD) 22
Tabel 2	Hasil Pemodelan <i>Box-Behnken Design</i> (BBD) 34
Tabel 3	Hasil parameter model <i>Box-Behnken Design</i> (BBD)..... 35
Tabel 4	Analisis ANOVA terhadap hasil eksperimen 35
Tabel 5	Titik optimum fotodegradasi zat warna procion red 41
Tabel 6	Hasil validasi kondisi optimum fotodegradasi 41

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1	Diagram Alir Prosedur Penelitian 52
Lampiran 2	Reaksi pembentukan NiFe_2O_4 55
Lampiran 3	Hasil Karakterisasi VSM komposit NiFe_2O_4 , $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{kitosan-alginat}$, $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{kitosan-alginat}/\text{TiO}_2$ 56
Lampiran 4	Hasil Karakterisasi XRD komposit NiFe_2O_4 , $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{kitosan-alginat}$, $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{kitosan-alginat}/\text{TiO}_2$ 57
Lampiran 5	Hasil karakterisasi SEM-EDS komposit NiFe_2O_4 , $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{kitosan-alginat}$, $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{kitosan-alginat}/\text{TiO}_2$ 66
Lampiran 6	Hasil Karakterisasi UV-Vis DRS komposit NiFe_2O_4 , $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{kitosan-alginat}$, $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{kitosan-alginat}/\text{TiO}_2$ 70
Lampiran 7	Penentuan <i>pH point zero charge</i> (pHpzc) komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{kitosan-alginat}/\text{TiO}_2$ 73
Lampiran 8	Penentuan panjang gelombang zat warna procion red..... 74
Lampiran 9	Penentuan kurva kalibrasi zat warna procion red 75
Lampiran 10	Penentuan kondisi optimum degradasi procion red dengan metode <i>Response Surface Methodology</i> (RSM) menggunakan komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan Alginat}/\text{TiO}_2$ 76
Lampiran 11	Perbandingan penurunan konsentrasi zat warna procion red..... 88

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tekstil banyak menggunakan zat warna sintetik seperti zat warna procion red, karena zat warna sintetik lebih murah dan memiliki ketahanan yang lebih baik dibandingkan zat warna alami. Limbah yang dihasilkan dari penggunaan zat warna procion red menjadi permasalahan lingkungan karena bersifat *non-biodegradable* dan memberikan warna mencolok pada badan perairan. Jika kandungan zat warna dalam limbah berlebihan, ekosistem perairan dapat terganggu. Selain itu, pembuangan langsung limbah cair yang mengandung zat warna ke perairan dapat menurunkan kadar oksigen terlarut, yang sangat dibutuhkan oleh organisme akuatik. Hal ini terjadi karena oksigen dalam air lebih banyak digunakan untuk mengoksidasi berbagai polutan, termasuk senyawa organik dari zat warna sintetik, sehingga berpotensi menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem (Agustina *et al.*, 2016). Oleh karena itu, diperlukan solusi efektif untuk mengolah limbah cair yang mengandung zat warna sintetik sebelum dibuang. Fotodegradasi dengan bantuan fotokatalis menjadi metode yang dapat menguraikan zat warna procion red, sehingga limbah lebih terurai dan ramah lingkungan (Nurillahi *et al.*, 2020).

Metode fotodegradasi memanfaatkan kombinasi cahaya, semikonduktor dan inisiator yang sesuai sebagai fotokatalis untuk memecah polutan organik beracun menjadi produk akhir yang aman untuk lingkungan (Harun *et al.*, 2020). Dalam proses fotodegradasi, cahaya UV-Visible digunakan bersama dengan katalis. Ketika material semikonduktor menyerap energi yang cukup, akan terjadi eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi, sehingga meninggalkan *hole* (lubang elektron) di pita valensi dan menciptakan kelebihan elektron di pita konduksi. *Hole* yang terbentuk ini kemudian bereaksi dengan molekul air, menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) yang sangat reaktif. Radikal ini berperan penting dalam proses degradasi karena mampu menguraikan senyawa organik melalui reaksi oksidasi (Nurillahi *et al.*, 2020).

Titanium dioksida (TiO_2) digunakan sebagai fotokatalis karena dapat mendegradasi berbagai kontaminan zat warna dalam air. Akan tetapi, TiO_2 memiliki kekurangan yaitu sulit dipisahkan dari larutan. Maka dari itu perlu adanya penambahan material yang memiliki sifat magnetik seperti NiFe_2O_4 . Proses pelapisan TiO_2 secara langsung ke permukaan material oksida besi magnetik seperti nikel ferrit oksida (NiFe_2O_4) terbukti tidak efektif dalam menghasilkan fotokatalis magnetik yang stabil, dengan tingkat *photodissolution* yang tinggi (Ajabshir & Niasari, 2019). Maka dari itu dikombinasikan dengan kitosan dan alginat sebagai perantara antara TiO_2 dengan oksida besi untuk mencegah pelarutan oksida besi. Penggunaan TiO_2 sebagai semikonduktor masih memiliki kekurangan seperti nilai *band gap* yang masih cukup besar yaitu 3,0 - 3,2. Hal tersebut menyebabkan TiO_2 hanya mampu bekerja dibawah sinar UV. Oleh sebab itu, perlu dilakukan modifikasi struktur TiO_2 agar dapat meningkatkan aktivitasnya hingga ke daerah sinar tampak. Adapun cara yang dapat dilakukan dengan melakukan doping logam (Aldrianti *et al.*, 2020).

Logam yang digunakan berasal dari NiFe_2O_4 yang dikenal sebagai material biokompatibilitas yang baik, memiliki sifat superparamagnetik yang kuat serta toksisitas yang rendah. NiFe_2O_4 memiliki struktur spinel terbalik dan menunjukkan ferrimagnetisme yang disebabkan oleh momen magnetik spin anti-paralel antara ion Fe^{3+} di situs tetrahedral dan ion Ni^{2+} di situs oktahedral. Selain itu, NiFe_2O_4 memiliki luas permukaan yang besar dan resistansi perpindahan massa yang rendah. Perilaku magnetik dari nanopartikel ini juga sangat dipengaruhi oleh ukurannya (Zandipak *et al.*, 2016). NiFe_2O_4 disintesis menggunakan metode kopresipitasi untuk menghasilkan sintesis yang berukuran relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan metode lainnya (Rahma *et al.*, 2024).

Penggunaan kitosan dan alginat digunakan sebagai perantara antara TiO_2 dan oksida besi untuk mencegah pelarutan oksida besi. Kitosan dan alginat merupakan biopolimer ramah lingkungan yang berasal dari sumber alami atau biosintesis organisme hidup, sehingga bersifat *biodegradable*. Material kitosan dan alginat berperan sebagai matriks alami yang membantu mendispersikan partikel TiO_2 agar tidak terjadi aglomerasi (Martau *et al.*, 2019). Dalam

fotodegradasi, kitosan dapat dimodifikasi secara kimiawi atau enzimatis untuk meningkatkan efisiensinya, berkat sifat *biodegradable* dan biokompatibelnya. (Hambali *et al.*, 2017). Alginat dipilih karena sifatnya yang non-toksik, *biodegradable*, tidak larut dalam air, dan dapat difabrikasi melalui ko-presipitasi untuk meningkatkan kinerja fotokatalis (Trisna, 2022).

Optimasi fotodegradasi zat warna procion red menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) dengan *Box-Behnken Design* (BBD). Metode RSM dengan *Box-Behnken Design* lebih efisien dalam mengevaluasi hubungan antara variabel proses dan respon yang diinginkan. Salah satu keunggulan utama *Box-Behnken Design* yaitu kemampuannya untuk mengurangi jumlah eksperimen dibandingkan dengan desain lainnya, sehingga lebih hemat dalam penggunaan bahan dan waktu penelitian. Selain itu, desain BBD juga memungkinkan analisis interaksi variabel yang lebih akurat. Sehingga menghasilkan model optimasi yang lebih presisi dan dapat diterapkan secara lebih efektif dalam skala industri. Selain itu, RSM membantu mengidentifikasi variabel yang paling berpengaruh, memungkinkan peneliti fokus pada faktor utama dalam proses fotodegradasi (Said & Amin, 2015).

Pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit NiFe_2O_4 /kitosan-alginat/ TiO_2 . Komposit dianalisis menggunakan XRD untuk mengamati struktur dan kiralitasnya, UV-Vis DRS untuk pengukuran panjang gelombang dan nilai *band gap*, SEM-EDS untuk analisis struktur morfologi dan VSM untuk analisis sifat magnetik. Optimasi fotodegradasi komposit NiFe_2O_4 /kitosan-alginat/ TiO_2 terhadap zat warna procion red dilakukan menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) dengan variabel konsentrasi, pH dan waktu kontak dengan *Box-Behnken Design*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana keberhasilan dari sintesis komposit NiFe₂O₄/Kitosan-Alginat/TiO₂ dengan menggunakan metode ko-presipitasi dan pengujian sifat magnetik komposit menggunakan VSM?
2. Bagaimana pengaruh campuran komposit dengan NiFe₂O₄ dan kitosan-alginat terhadap struktur dan kristalinitas, mengetahui nilai *band gap* dan analisis struktur morfologi dari TiO₂?
3. Bagaimana pengaruh konsentrasi, pH dan waktu kontak terhadap kondisi optimal fotodegradasi zat warna procion red dengan menggunakan komposit NiFe₂O₄/Kitosan Alginat/TiO₂ ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mensintesis komposit NiFe₂O₄/Kitosan Alginat/TiO₂ dengan metode ko-presipitasi dan pengujian sifat magnetik komposit menggunakan VSM.
2. Mengetahui pengaruh campuran komposit dengan NiFe₂O₄ dan kitosan-alginat terhadap struktur dan kristalinitas, mengetahui nilai *band gap* dan analisis struktur morfologi dari TiO₂.
3. Mengetahui pengaruh konsentrasi, pH dan waktu kontak terhadap kondisi optimal fotodegradasi zat warna procion red dengan menggunakan komposit NiFe₂O₄/Kitosan Alginat/TiO₂.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini untuk mengetahui proses sintesis komposit NiFe₂O₄/Kitosan-Alginat/TiO₂ dengan metode ko-presipitasi yang digunakan untuk mengoptimasi fotodegradasi komposit NiFe₂O₄/Kitosan-Alginat/TiO₂ terhadap zat warna procion red dengan menggunakan metode RSM (*Response Surface Methodology*) pada pengaruh konsentrasi, pH dan waktu kontak.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T. E., Bustomi, A., & Manalaoon, J. (2016). Pengaruh Konsentrasi TiO_2 dan Konsentrasi Limbah Pada Proses Pengolahan Limbah Pewarna Sintetik Procion Red Dengan Metode UV/Fenton/ TiO_2 . *Jurnal Teknik Kimia*, 22(1), 65–72.
- Ahmad, M. N., Khan, H., Islam, L., Alnasir, M. H., Nisar Ahmad, S., Qureshi, M. T., & Khan, M. Y. (2023). Investigating Nickel Ferrite (NiFe_2O_4) Nanoparticles for Magnetic Hyperthermia Applications. *Journal of Materials and Physical Sciences*, 4(1), 32–45.
- Aisyah, F. S., Syahadatun, A., Neni, & Khasanah, U. (2024). MEF-20: Adsorben Berbasis Zeolit dan Kitosan Jamur Tiram Sebagai Filter Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *EKSTRAKSI: Jurnal Matematika Sains, Teknologi dan Lingkungan*, 1(1), 19–27.
- Ajabshir, S. Z., & Niasari, M. S. (2019). Preparation of magnetically retrievable $\text{CoFe}_2\text{O}_4@ \text{SiO}_2@ \text{Dy}_2\text{Ce}_2\text{O}_7$ nanocomposites as novel photocatalyst for highly efficient degradation of organic contaminants. *Composites Part B: Engineering*, 174, 106930.
- Aldrianti, Aritonang, A. B., & Syahbanu, I. (2020). Sintesis TiO_2/Ti Terdoping Logam Fe^{3+} Menggunakan Metode Anodisasi Dengan Bantuan Sinar Tampak. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 8(3), 45–52.
- Ali, A., Chiang, Y. W., & Santos, R. M. (2022). X-Ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization: A Review for Engineers of the Fundamentals, Applications, and Research Directions. *Minerals*, 12(2).
- Amri, S., & Utomo, M. P. (2017). Preparasi dan Karakterisasi Komposit ZnO-Zeolit untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red. *Jurnal Kimia Dasar*, 6(2), 29–36.
- Ansari, M. J., Jasim, S. A., Bokov, D. O., Thangavelu, L., Yasin, G., & Khalaji, A. D. (2022). Preparation of new bio-based chitosan/ $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{NiFe}_2\text{O}_4$ as an efficient removal of methyl green from aqueous solution. *International Journal of Biological Macromolecules*, 198(November 2021), 128–134.
- Aritonang, A. B., Asma, A., & Sapar, A. (2023). Synthesis of The Cu(II)-doped $\text{TiO}_2/\text{Bi}_2\text{O}_3$ as a Photocatalyst for Rhodamin B Degradation Under Visible Light Illumination. *Jurnal Berkala Sainstek*, 11(4), 216.
- Ayuni, N. P. S., Sukarta, I. N., & Wulandari, P. A. (2021). Synthesis of Chitosan-Alginate Beads and Its Application for Alkyl Benzene Sulfonates (ABS) Adsorption. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1115(1), 012077.

- Baig, M. M. B., Pervaiz, E., & Afzal, M. J. (2020). Catalytic Activity and Kinetic Studies of Core@Shell Nanostructure $\text{NiFe}_2\text{O}_4@\text{TiO}_2$ for Photocatalytic Degradation of Methyl Orange Dye. *Journal of the chemical society of pakistan*, 42(4), 531–541.
- Deka, P. T. (2019). Perbandingan Proses Fotodegradasi Pada Zat Warna Metil Jingga Menggunakan Zeolit, Katalis Fe_2O_3 -Zeolit dan Sinar UV. *Journal of Pharmacy and Science*, 4(2), 71–76.
- Desnelli, D., Padilah, I. H., Ulfa, M., Eliza, E., Mara, A., & Fatma, F. (2023). Synthesis of Chitosan– Al_2O_3 Composite using the Sol-Gel Method and Its Application in Photodegradation of Methylene Blue. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 8(1), 40–47.
- Ekawati, D., Nadira, R., Adisalamun, & Murdani. (2022). Penerapan Response Surface Methodology (RSM) Untuk Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit Secara Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Al-Al. *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan*, 3(3), 16–18.
- Fadilla, P. J., Sururi, M. R., Marganingrum, D., & Dirgawati, M. (2022). Utilization of Bottom Ash as an Adsorbent for Color and COD Removal for Textile Industry Waste. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 19(1), 78–88.
- Fatimah, S., Ragadhita, R., Al Husaeni, D. F., & Nandiyanto, A. B. D. (2022). How to Calculate Crystallite Size from X-Ray Diffraction (XRD) using Scherrer Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 2(1), 65–76.
- Gibran, A. K., Kusworo, A., Wahyudiono, J., & Bayu Purwasatriya, E. (2022). Proses Diagenesis Batupasir Formasi Kanikeh, Seram Bagian Timur, Maluku, Indonesia. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 23(2), 113–122.
- Gomaa, H., Abd, E. M., Monaem, E., Eltaweil, A. S., & Omer, A. M. (2022). Efficient removal of noxious methylene blue and crystal violet dyes at neutral conditions by reusable montmorillonite / NiFe_2O_4 @ amine - functionalized chitosan composite. *Scientific Reports*, 0123456789, 1–16.
- Gote, Y. M., Sinhmar, P. S., & Gogate, P. R. (2023). Sonocatalytic Degradation of Chrysoidine R Dye Using Ultrasonically Synthesized NiFe_2O_4 Catalyst. *Catalysts*, 13(3).
- Hambali, M., Wijaya, E., & Reski, A. (2017). Pembuatan Kitosan dan Pemanfaatannya Sebagai Agen Koagulasi-Flokulasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 23(2), 104–113.
- Handayani, L., Syahputra, F., & Astuti, Y. (2018). Utilization and

- Characterization of Oyster Shell as Chitosan and Nanochitosan. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 21(4), 224–231.
- Haq, F. I., Zein, M. A. N., Gabriella, R., Putri, S. R., Nandiyanto, A. B. D., & Kurniawan, T. (2021). Literature Review: Synthesis Methods of NiFe₂O₄ Nanoparticles for Aqueous Battery Applications. *International Journal of Sustainable Transportation Technology*, 4(2), 42–52.
- Harun, N., Sheng, C. K., Sabri, M. G. M., Dagang, A. N., & Salleh, H. (2020). Impact of TiO₂ and H₂O₂ on Photocatalytic Degradation of Rhodamine B Under Ultraviolet C (UV-C) Radiation For Efficient Polluted Wastewater Treatment. *Journal of Optoelectronic and Biomedical Materials*, 12(1), 9–15.
- Harunrasjid, M. C., Aritonang, A. B., Wibowo, M. A., Ardiningsih, P., & Adhitiyawarman. (2023). Sintesis Lapisan Tipis Ni doped-TiO₂ pada Permukaan Kaca. *Indonesian Journal of Chemical Analysis*, 06(01), 85–96.
- Hayati, N., Setyaningtyas, T., & Riyani, K. (2021). Optimasi Degradasi Rhodamin B dengan Proses Fenton-Like Heterogen Menggunakan Sinar UV. *Chimica et Natura Acta*, 9(2), 67–73.
- Hidayati, U. F., Aritonang, A. B., & Destiarti, L. (2021). TiO₂-rGO Composite for Photocatalytic Decolorization of Methylene Blue Under the Visible Light Illumination. *Jurnal Berkala Sainstek*, 9(4), 167–173.
- Indriyani, Y., Sutanto, H., & Nurhasanah, I. (2017). Analisis Sifat Optis Lapisan Tipis TiO₂:N Untuk Fotodegradasi Direct Blue 71. *Jurnal Ilmiah Teknosains*, 3(2).
- Irnawati, Riyanto, S., Martono, S., & Rohman, A. (2021). Optimasi Metode Ultrasonik untuk Ekstraksi Minyak Biji Labu Kuning (*Cucurbita maxima*). *Indonesian Journal of Chemometrics and Pharmaceutical Analysis* 1(1), 42–51. www.journal.ugm.ac.id/v3/IJCPA
- Istiqamah, R. N., Muhaimin, R., Malik, Z. A., Nurdin, M., Agussalim, L. O., & Irwan. (2019). Natrium-Silver: Nanomaterial Titanium Dioksida Silver (TiO₂ - Ag) Sebagai Fotokatalis Pendegradasi Limbah POPs Dibawah Sinar Matahari. *Jurnal Ekosains*, XI(1), 1–6.
- Juliana, D., Priosoeryanto, B. P., & Nurcholis, W. (2023). Optimization of Cardamom Fruit (*Amomum compactum*) Extraction Focused on Total Terpenoid Extraction and Cytotoxic Activity Using Response Surface Methodology. *Jurnal Jamu Indonesia*, 8(2), 57–69.
- Jumardin, Maddu, A., Santoso, K., & 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.
- Karim, S., Pardoyo, & Subagiyo, A. (2016). Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi Sintesis dan Karakterisasi TiO₂ Terdoping Nitrogen (N-Doped TiO₂). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 19(2), 63–67.
- Kirupakar, B. R., Vishwanath, B. ., Sree, M. P., & Deenadayalan. (2016). Vibrating Sample Magnetometer and Its Application In Characterisation Of Magnetic Property Of The Anti Cancer Drug Magnetic Microspheres. *International Journal of Pharmaceutics & Drug Analysis*, 4(5), 227–233.
- Kurniasari, D., & Atun, S. (2017). Pembuatan Dan Karakterisasi Nanopartikel Ekstrak Etanol Temu Kunci (*Boesenbergia Pandurata*) Pada Berbagai Variasi Komposisi Kitosan. *Jurnal Sains Dasar*, 6(1), 31–35.
- Lal, J. S., Radha, D., & Devaky, K. S. (2024). Design and synthesis of chitosan/alginate/zinc oxide nanocomposite hydrogel beads as carrier for metformin hydrochloride. *Journal of Molecular Structure*, 1317(June), 139092.
- Martau, G. A., Mihai, M., & Vodnar, D. C. (2019). The Use of Chitosan, Alginate, and Pectin in the Biomedical and Food Sector—Biocompatibility, Bioadhesiveness, and Biodegradability. *Polymers*, 11(11), 1837.
- Nurillahi, R., Halimah, D. N., Apriliani, G. D., & Fatimah, I. (2020). Sintesis TiO₂/Abu Vulkanik sebagai Fotokatalis untuk Pengolahan Limbah Cair Batik pada Skala Rumah Tangga. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 5(1), 33–41.
- Nurjanah, N., Adzkie, Q. A. A., Rustana, R., Carolline, S. C., Agustine, S. M., & Nandiyanto, A. B. D. (2022). A Review: Nanoparticles NiFe₂O₄ Synthesis and Its Application as Hyperthermia Agents in Biomedicine. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 11(2), 103–113.
- Poernomo, H., Biyantoro, D., & Purwani, M. V. (2016). Kajian Konsep Teknologi Pengolahan Pasir Zirkon Lokal yang Mengandung Monasit, Senotim dan Ilmenit. *Jurnal Eksplorium*, 37(2), 73.
- Putri, D. I. M., Darmokoesomo, H., Supriyanto, G., Female, N. Z., & Widyaningrum, B. A. (2024). Penyisihan Ion Logam Cr(VI) dari Larutan Menggunakan Biosorben Berbasis Limbah Pertanian Bagase Sorgum Teraktivasi NaOH. *Eksergi*, 21(2), 111.
- Rahma, S. A., Dani Nandiyanto, A. B., & Ragadhita, R. (2024). Desain Reaktor untuk Produksi Nanopartikel Nikel Ferit (NiFe₂O₄). *Journal of Engineering Environmental Energy and Science*, 2(1), 25–34.

- Rahman, D. Y., & Sulistyowati, R. (2023). Aplikasi Fotokatalis TiO₂ Dan Alternatifnya Untuk Degradasi Pewarna Sintetis Dalam Limbah Cair. *Environmental Science Journal (ESJo): Jurnal Ilmu Lingkungan*, 1(2), 89–105.
- Rokayah, Asri, A., Malino, M. B., & Lapanporo, B. P. (2019). Fotodegradasi Air Sungai Landak dengan Polimer Polipropilena Berfotokatalis Semikonduktor TiO₂. *Jurnal Positron*, 9(1), 13–20.
- Roy, N., Alex, S. A., Chandrasekaran, N., Kannabiran, K., & Mukherjee, A. (2022). Studies on the removal of acid violet 7 dye from aqueous solutions by green ZnO@Fe₃O₄ chitosan–alginate nanocomposite synthesized using *Camellia sinensis* extract. *Journal of Environmental Management*, 303(November 2021), 114128.
- Said, K. A. M., & Amin, M. A. M. (2015). Overview on the Response Surface Methodology (RSM) in Extraction Processes. *Journal of Applied Science & Process Engineering*, 2(1), 8–17.
- Senolinggi, G. P., Aritonang, H. F., & Katja, D. G. (2023). Sintesis Nanokomposit Kitosan/Ag/Fe₃O₄ Sebagai Fotokatalis untuk Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue. *Chemistry progress*, 16(2), 163–171.
- Shabrina, N., Yudoyono, G., & Sudarsono, S. (2022). Karakterisasi Struktur, Morfologi, dan Sifat Optik Lapisan Tipis Titanium Dioksida yang Dideposisi Menggunakan Teknik Spray Pyrolysis. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 11(5), 1–6.
- Sutarna, T. H., Gozali, D., Panantarani, C., & Alatas, F. (2023). Box Behnken Design Optimization for Synthesis of Dexibuprofen Nanocrystals Using Anti-solvent Precipitation Method and Oral Bioavailability Testing. *Journal of Namibian Studies*, 34, 2197–5523.
- Tangaran, R., Putri, S. E., & Hasri. (2023). Fotodegradasi Zat Warna Rhodamin B Menggunakan Komposit Kitosan-Fe₂O₃. *Jurnal Chemica*, 24(1), 53–60.
- Tebriani, S. (2019). Analisis Vibrating Sample Magnetometer (VSM) Pada Hasil Elektrodeposisi Lapisan Tipis Magnetite Menggunakan Arus Continue Direct Current. *Natural Science Journal*, 5(1), 722–730.
- Teguh, D., Emilia Agustina, T., & Faizal, M. (2018). Color And COD Degradation of Procion Red Synthetic Dye by Using Fenton-TiO₂ Method. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 3(1), 23–28.
- Trisna, D. (2022). Optimasi Heterogen Fenton - like terhadap Degradasi Rhodamin B pada Sinar UV. *Jurnal Studi Ilmu Keisalaman*, 3(1), 1–4.
- Viswanathan, B. (2018). Photocatalytic Degradation of Dyes: An Overview.

Current Catalysis, 7(1), 1–25.

- Wahyono, A., Kurniawati, E., Kasutjianingati, Park, K.-H., & Kang, W.-W. (2018). Optimasi Proses Pembuatan Tepung Labu Kuning Menggunakan Response Surface Methodology Untuk Meningkatkan Aktivitas Antioksidannya. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 29(1), 29–38.
- Wardhani, S., Bahari, A., & Khunur, M. M. (2016). Aktivitas Fotokatalitik Beads $\text{TiO}_2\text{-N/Z}$ Zeolit-Kitosan Pada Fotodegradasi Metilen Biru (Kajian Pengembangan, Sumber Sinar dan Lama Penyinaran). *Journal of Enviromental Engineering and Sustainable Technology*, 3(2), 78–84.
- Wardiyati, S., Adi, W. A., & Syahbani, E. (2015). Pengaruh Konsentrasi $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ Terhadap Karakteristik TiO_2 Hasil Sintesis Dengan Metode Sol Gel. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 16(4), 193–199.
- Zampiva, R. Y. S., Kaufmann, C. G., Venturini, J., Moreira dos Santos, L., Harumi Yamashita, G., da Cas Viegas, A., Anzanello, M. J., ten Caten, C., Pérez Bergmann, C., & Kopp Alves, A. (2021). Role of the fuel stoichiometry and post-treatment temperature on the spinel inversion and magnetic properties of NiFe_2O_4 nanoparticles produced by solution combustion synthesis. *Materials Research Bulletin*, 138(December 2020).
- Zandi Pak, R., & Sobhan Ardakani, S. (2016). Evaluation of Kinetic and Equilibrium Parameters of NiFe_2O_4 Nanoparticles on Adsorption of Reactive Orange Dye from Water. *Iranian Journal of Toxicology*, 10(2), 51–58.
- Zuriatni, Y., Sofyan, M., Putri, P. S., Rokhman, A., & Kustanrika, I. W. (2023). Analisis SEM-EDS Beton Normal yang Menggunakan Superplasticizer. *Borneo Engineering : Jurnal Teknik Sipil*, 7(3), 290–299.