

**SINTESIS Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/KITOSAN-ALGINAT/ZnO DAN  
APLIKASINYA UNTUK FOTODEGRADASI ZAT WARNA  
PROCION RED DENGAN METODE RSM (*RESPONSE  
SURFACE METHODOLOGY*)**

**SKRIPSI**

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



**OLEH :**

**SODIFA RISKY SATILA**

**08031182126017**

**JURUSAN KIMIA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2025**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**SINTESIS Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/KITOSAN-ALGINAT/ZnO DAN APLIKASINYA  
UNTUK FOTODEGRADASI ZAT WARNA PROCION RED DENGAN  
METODE RSM (*RESPONSE SURFACE METHODOLOGY*)**

**SKRIPSI**

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

Oleh :

**SODIFA RISKY SATILA**

**08031182126017**

Indralaya, 19 Maret 2025

Menyetujui,

**PEMBIMBING I**

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

**NIP. 196808271994022001**

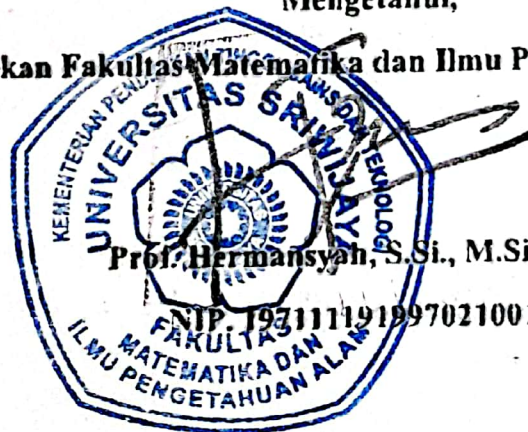
**PEMBIMBING II**

**Dr. Desnelli, M.Si.**

**NIP. 196912251997022001**

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 Sodifa Risky Satila (08031182126017) dengan judul "Sintesis  $Fe_3O_4$ /Kitosan Alginat/ZnO dan Aplikasinya Untuk Fotodegradasi Zat Warna Procion Red dengan Metode RSM (*Response Surface Methodology*)" telah diseminarkan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 19 Maret 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indaralaya, 19 Maret 2025

Ketua

1. Dr. Suheryanto, M.Si

NIP. 196006251989031006

Anggota:

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

NIP. 196808271994022001

2. Dr. Desnelli, M.Si.

NIP. 196912251997022001

3. Prof. Dr. Miksusanti, M.Si

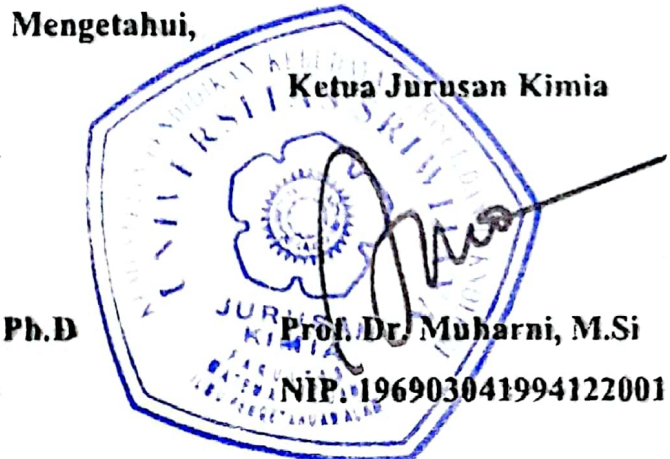
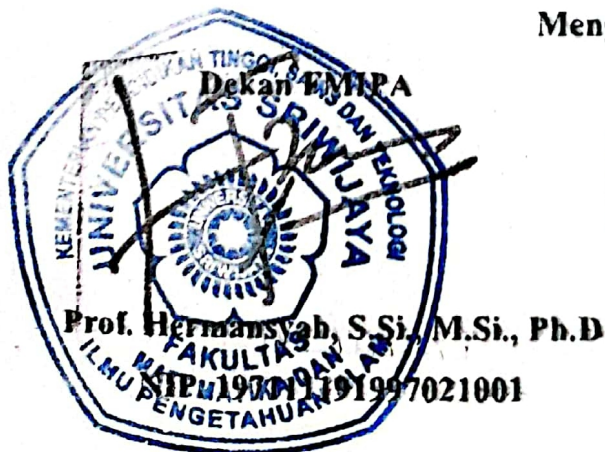
NIP. 196807231994032003

(  )

(  )

(  )

(  )



## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Sodifa Risky Satila

NIM : 08031182126017

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, 19 Maret 2025

Yang menyatakan,



Sodifa Risky Satila

NIM. 08031182126017

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

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

Nama Mahasiswa : Sodifa Risky Satila

NIM : 08031182126017

Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia

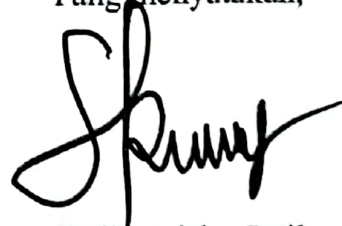
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya "Sintesis  $Fe_3O_4$ /Kitosan Alginat/ZnO dan Aplikasinya Untuk Fotodegradasi Zat Warna Procion Red dengan Metode 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 dengan sesungguhnya.

Indralaya, 19 Maret 2025

Yang menyatakan,



Sodifa Risky Satila

NIM. 0803118212601

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Just trust Allah, you'll be fine.

We all go through different seasons of life, and that makes us who we are.

Allah memang tidak menjanjikan hidup akan selalu mudah.

Tetapi, dua kali Allah berjanji bahwa :

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا , إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan” (QS. Al-Insyirah: 5-6).

Skripsi ini sebagai tanda syukur dan terimakasih kepada Allah *Subhanahu wa ta'ala* dan Rasulullah *Shallallahu alaihi wasallam*. Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tuaku, mama dan papa yang selalu mendoakan dan mendukung hidupku, serta adikku tersayang.
2. Dosen pembimbing, ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si dan ibu Dr. Desnelli, M.Si.
3. Keluarga besar dan sahabat yang selalu mendukung.
4. Almamater Universitas Sriwijaya.

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillahirobbil'alamin.* Puji syukur tiada hentinya penulis ucapkan kepada Allah *Subhanahu wa ta'ala* dan Rasulullah *Shallallahu alaihi wasallam* atas segala rahmat-NYA sehingga dari awal perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini dapat selesai. Proses penyusunan skripsi tidak terlepas dari berbagai rintangan yang dilalui namun dengan kesabaran dan ketekunan yang dilandasi oleh rasa tanggung jawab sebagai mahasiswa serta bantuan dari berbagai pihak akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada ibu **Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si** dan ibu **Dr. Desnelli, M.Si** yang telah membimbing, mengarahkan, membantu, memberikan nasehat serta motivasi sejak awal penelitian hingga skripsi ini selesai.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua orangtuaku Papa **Zulpanudin** dan mama **Fauziah**, yang selalu ada dalam setiap langkah hidup penulis, yang selalu mendoakan dan mengorbankan banyak hal untuk penulis, walaupun papa dan mama tidak sempat mengenyam pendidikan tinggi, namun kalian mampu mengantarkan penulis hingga menjadi seorang sarjana. Kerja keras, pengorbanan, dan dukungan adalah motivasi terbesar penulis bertahan sampai titik ini.
2. Adikku tersayang, **Arbain Qandiassy**, yang selalu memberikan keceriaan, serta kehangatan, Tetaplah jadi adik yang lucu.
3. **Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D** selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya
4. Ibu **Prof. Dr. Muharni, M.Si** selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya
5. Bapak **Dr. Addy Rachmat, M.Si** selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya
6. Ibu **Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si** dan ibu **Dr. Desnelli, M.Si** selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak ilmu, saran, masukan, dukungan, nasehat serta motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini, terima kasih bu, sudah menjadi dosen yang sangat baik kepada penulis,

semoga ibu senantiasa diberikan kesehatan dan umur yang panjang, dipermudah segala urusanya.

7. Bapak **Dr. Suheryanto, M.Si** dan ibu **Prof. Dr. Miksusanti, M.Si** selaku dosen pembahas, terima kasih bapak dan ibu atas saran dan masukan yang bermanfaat kepada skripsi penulis.
8. **Seluruh Dosen FMIPA** Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu yang sangat banyak selama menempuh pendidikan ini.
9. **Yuk Nur, Yuk Niar dan Yuk Yanti** selaku Analis Kimia yang telah membantu selama penelitian semoga diberikan kesehatan.
10. **Kak Chosiin dan Mba Novi** selaku Admin Jurusan Kimia yang sangat baik, ramah, sabar mau membantu penulis selama perkuliahan ini, terima kasih banyak semoga selalu diberikan kesehatan.
11. Keluarga besar **Nyai Soliah dan Nyai Ruslatifah, Uwak-Uwakku, dan Ayuk-ayukku**, yang telah menjadi rumah kedua selama merantau jauh kesini, terima kasih atas segala dukungan yang diberikan.
12. Guru SD 004 Batam, **bu Elita, bu Amel, bu Betty, bu Rosita, Alm. Pak Nano, Pak Junet** serta Guru SMK 4 Batam **bu Desi, bu Frisda, dan bu Mu'tika** terima kasih banyak bapak dan ibu atas segala ilmunya, sehingga penulis bisa sampai ada di titik ini.
13. Sahabatku tersayang, **Nadila Nur Zikri** manusia paling baik sekali, terima kasih ya selalu mau jadi pendengar yang baik, penyemangat, mau direpotkan dalam segala hal baik susah maupun senang, mendukung penulis dari awal sekolah sampai penulis jadi sarjana, semoga segala kebaikanmu menjadi pahala untukmu.
14. Roommate ku, **Salsabilla Ayu Maharani**. Terima kasih ya atas segala tingkah random aneh bin ajaib yang tidak kutemukan di makhluk manapun kecuali pada dirimu, beruntung bisa sekamar, susah dan senang bareng, sangat pengertian, menjadi pendengar yang baik, untuk 24/7, untuk nobar tiap sabtu, untuk masak bareng, untuk tawa dan nangis, dan karpet yoga yang berdebu itu. Semangat skripsian semoga Allah memudahkanmu, aku yakin ko bisa bil. Salam sikil 🤞



15. PKG Squad, (**sabil, mutik, adel, biga, diana, sapir, widya dan winda**) Senang bisa berbagi banyak hal sama kalian, terima kasih sudah menjadi bagian dari hidup penulis, semoga training yang telah penulis ajarkan bisa menjadi bekal kalian menghadapi kehidupan diluar sana, *goodbye are bittersweet, but it's not the end, I'll see your face again ♪*
16. Kasuhku **kak Alya dan kak Intan**, terima kasih banyak sudah membantu penulis menjadi tempat bertanya apapun perihal perkuliahan, kemudian adik asuhku **putri dan yossi** semangat terus kuliahnya ya, kalian pasti bisa.
17. Analisis Squad TA Prof poedji (**Nisa, Dini, Depi Puan, Dey, dan Cingka**) Terima kasih ya atas suka duka selama penelitian, lab yang suram bisa jadi bahagia dengan kehadiran kita, senang bisa kenal kalian di sisa terakhir perkuliahan ini, *Goodbye guys and good luck on your journey ahead!*
18. Teman-teman **Kimia Angkatan 2021** Lawrensium, terima kasih untuk segala kenangan baik dan buruk, pahit dan manis selama perkuliahan.
19. **Seventeen**, takdir membawa penulis mengenal kalian di sisa tahun terakhir, terima kasih telah menghibur penulis love u guys especially scoups.
20. **Ciko, Chiki, Chibi, Cineng, Keling** tetaplah bertahan hidup tanpa aku.
21. **Sodifa (penulis)** selalu ada harga untuk sebuah proses, terima kasih untuk semua hal yang tidak bisa diceritakan, terima kasih untuk tidak menyerah sesulit apapun proses yang dijalani, tetaplah rendah hati dan bersyukur, berbahagialah selalu dimanapun berada, apapun kekurangan dan kelebihanmu, mari rayakan diri sendiri.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam karya ini, semoga karya ilmiah ini dapat bermanfaat dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Indralaya, 19 maret 2025

Yang menyatakan,

Sodifa Risky Satila

## SUMMARY

### SYNTHESIS OF Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/KITOSAN-ALGINAT/ZnO AND ITS APPLICATION FOR THE PHOTODEGRADATION OF PROCION RED DYES BY RSM (RESPONSE SURFACE METHODOLOGY)

Sodifa Risky Satila: Supervised by Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si and Dr. Desnelli, M.Si

Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University  
xvii + 50 pages, 11 tables, 16 figures, 12 appendices.

Procion red is the most popular azo compound class dye used in the textile industry, procion red dyes are mutagenic and carcinogenic. Textile industry dye waste released into the environment occurs from the production process can pollute the environment. Therefore, waste treatment is carried out so that it is not dangerous when discharged into the environment. One method that can be used is the photodegradation method.

Researchers synthesizes Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Kitosan Alginate/ZnO composite which is used for photodegradation of procion red dye. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> as magnetic material modified with ZnO as catalyst. The addition of chitosan-alginate as a barrier between Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and ZnO so that there is no dissolution effect that makes the effectiveness of degradation decrease. The results of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/chitosan-alginate/ZnO synthesis were characterized using XRD, SEM-EDS, VSM and UV-Vis DRS tools. The photodegradation variables of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Kitosan Alginate/ZnO composite against procion red dye include concentration, contact time and pH with visible light lamp irradiation optimized using RSM (Response Surface Methodology) method.

Characterization results using XRD showed the highest intensity at  $2\theta = 36.29^\circ$  with a particle size of 60.24 nm. Characterization results with SEM-EDS showed an aggregate morphology with constituent elements in the form of C (22.0%), N (2.00%), O (36.0%), Fe (27.0%) and Zn (13.0%). VSM results from the hysteresis curve show a saturation magnetization value of 60.43 emu/g which indicates the composite is superparamagnetic. The band gap value from UV-Vis DRS characterization is 1.94 eV. pH<sub>Hzc</sub> of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Kitosan Alginate/ZnO composite is obtained at pH 6.8.

Photodegradation optimization uses the BBD (Box Benhken Design) model in order to get the best photodegradation effectiveness with the appropriate model. Based on ANOVA analysis, the expert design factors of concentration, contact time and pH affect the percent effectiveness. The best condition of effectiveness was obtained at a concentration of 40 ppm, contact time of 120 minutes and pH 3 percent efficiency of 48.84%. The optimum condition of effectiveness was obtained at a concentration of 20 ppm, contact time of 119 minutes and pH 3 percent effectiveness of 49.59%.

Keywords : Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Kitosan Alginate/ZnO composite, photodegradation, Procion Red, RSM.

Citation : 75 (2012-2024)

## RINGKASAN

### **SINTESIS Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/KITOSAN-ALGINAT/ZnO DAN APLIKASINYA UNTUK FOTODEGRADASI ZAT WARNA PROCION RED DENGAN METODE RSM (*RESPONSE SURFACE METHODOLOGY*)**

Sodifa Risky Satila: Dibimbing oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si dan Dr. Desnelli, M.Si

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya xvii + 50 Halaman, 11 tabel, 16 gambar, 12 Lampiran.

Procion red merupakan zat warna golongan senyawa azo yang paling populer digunakan dalam industri tekstil, zat warna procion red bersifat mutagenik dan karsinogenik. Limbah zat warna industri tekstil yang dilepaskan ke lingkungan terjadi dari proses produksi dapat mencemari lingkungan. Oleh karena itu, dilakukan pengolahan limbah agar tidak berbahaya apabila dibuang ke lingkungan. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode fotodegradasi.

Pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Kitosan Alginat/ZnO yang dipergunakan untuk fotodegradasi zat warna procion red. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> sebagai material magnetik yang dimodifikasi dengan ZnO sebagai katalis. Penambahan kitosan-alginat sebagai penghalang antara Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan ZnO agar tidak terjadi efek disolusi yang membuat efektivitas fotodegradasi menurun. Hasil sintesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Kitosan Alginat/ZnO dikarakterisasi menggunakan alat XRD, SEM-EDS, VSM dan UV-Vis DRS. Variabel degradasi fotodegradasi komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Kitosan Alginat/ZnO terhadap zat warna procion red meliputi konsentrasi, waktu kontak dan pH dengan penyinaran lampu sinar tampak yang dioptimasi menggunakan metode RSM (*Response Surface Methodology*).

Hasil karakterisasi menggunakan XRD memperlihatkan intensitas tertinggi pada  $2\theta = 36,29^\circ$  dengan ukuran partikel sebesar 60,24 nm. Hasil karakterisasi dengan SEM-EDS memperlihatkan morfologi yang agregat dengan unsur penyusun berupa C (22,0%), N (2,00%), O (36,0%), Fe (27,0%) dan Zn (13,0%). Hasil VSM dari kurva histeresis memperlihatkan nilai magnetisasi saturasi sebesar 60,43 emu/g yang menandakan komposit bersifat superparamagnetik. Nilai *band gap* dari karakterisasi UV-Vis DRS sebesar 1,94 eV. pH<sub>pzc</sub> dari komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Kitosan Alginat/ZnO diperoleh pada pH 6,8.

Fotodegradasi menggunakan model BBD (*Box Benhken Design*) agar mendapatkan efektivitas fotodegradasi terbaik dengan model yang sesuai. Berdasarkan analisis ANOVA *design expert* faktor konsentrasi, waktu kontak dan pH berpengaruh terhadap persen efektivitas. Efektivitas fotodegradasi tertinggi diperoleh pada konsentrasi 40 ppm, waktu kontak 120 menit dan pH 3 persen efektivitas 48,84%. Kondisi optimum efektivitas diperoleh pada konsentrasi 20 ppm, waktu kontak 119 menit dan pH 3 persen efektivitas 49,59%.

Kata Kunci : Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Kitosan Alginat/ZnO, fotodegradasi, Procion Red, RSM.

Kutipan : 75 (2012-2024)

## DAFTAR ISI

|   | Halaman     |
|---|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....  | <b>i</b>    |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....   | <b>ii</b>   |
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....  | <b>ii</b>   |
| <b>PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH</b> .....   | <b>i</b>    |
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK<br/>KEPENTINGAN AKADEMIS</b> .....      | <b>v</b>    |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....  | <b>vi</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....   | <b>vi</b>   |
| <b>SUMMARY</b> .....  | <b>x</b>    |
| <b>RINGKASAN</b> .....  | <b>xi</b>   |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....   | <b>xii</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....  | <b>xv</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....   | <b>xvi</b>  |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....  | <b>xvii</b> |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....  | <b>1</b>    |
| <b>1.1</b> Latar Belakang .....   | <b>1</b>    |
| <b>1.2</b> Rumusan Masalah .....  | <b>3</b>    |
| <b>1.3</b> Tujuan Penelitian.....   | <b>3</b>    |
| <b>1.4</b> Manfaat Penelitian.....  | <b>3</b>    |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....  | <b>4</b>    |
| <b>2.1</b> Zat Warna <i>Procion Red</i> .....   | <b>4</b>    |
| <b>2.2</b> Komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan/ZnO.....                        | <b>5</b>    |
| <b>2.3</b> Kitosan-Alginat .....  | <b>6</b>    |
| <b>2.4</b> Fotodegradasi .....  | <b>7</b>    |
| <b>2.5</b> RSM ( <i>Response Surface Methodology</i> ) .....                                | <b>8</b>    |
| <b>2.6</b> <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....   | <b>9</b>    |
| <b>2.7</b> <i>UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-Vis DRS).....                 | <b>11</b>   |
| <b>2.8</b> <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) – <i>Energy Dispersive X-Ray</i> ..... | <b>11</b>   |
| <b>2.11</b> <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM).....                                 | <b>12</b>   |
| <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 Percobaan .....  | 15        |
| 3.3.1                                   | Sintesis Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....   | 15        |
| 3.3.2                                   | Sintesis Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan Alginat.....   | 15        |
| 3.3.3                                   | Komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan Alginat/ZnO.....   | 15        |
| 3.4                                     | Karakterisasi Material .....  | 16        |
| 3.4.1                                   | <i>X-ray Diffraction (XRD)</i> .....  | 16        |
| 3.4.2                                   | <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM_EDS)</i> .....  | 16        |
| 3.4.3                                   | <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i> .....  | 16        |
| 3.4.4                                   | <i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance (UV-Vis DRS)</i> .....   | 16        |
| 3.4.5                                   | Penentuan pH Point Zero Charge .....  | 17        |
| 3.5                                     | Penentuan Kondisi Optimum Penyerapan Zat Warna <i>Procion Red</i> .....   | 17        |
| 3.5.1                                   | Pembuatan Larutan Induk <i>Procion Red</i> 1000 ppm .....   | 17        |
| 3.5.2                                   | Pembuatan Kurva Kalibrasi <i>Procion Red</i> .....  | 17        |
| 3.6                                     | Analisis Data menggunakan <i>Response Surface Methodology (RSM)</i> ...   | 17        |
| 3.7                                     | Perbandingan Efektivitas Degradasi Zat Warna <i>Procion Red</i> Pada Kondisi Optimum.....   | 19        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b> |   | <b>20</b> |
| 4.1                                     | Sintesis Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Alginat, Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Alginat/ZnO ....               | 20        |
| 4.2                                     | Karakterisasi Material Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Alginat, Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Alginat/ZnO..... | 21        |
| 4.2.1                                   | Karakterisasi Menggunakan <i>Vibrating Sampel Magnometer (VSM)</i>  | 21        |
| 4.2.2                                   | Karakterisasi Menggunakan <i>X-ray Diffraction (XRD)</i> .....  | 23        |
| 4.2.3                                   | Karakterisasi Menggunakan Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS).....  | 26        |
| 4.2.4                                   | Karakterisasi Menggunakan <i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance</i> ... (UV-VIS DRS).....  | 28        |

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| 4.3                                     | Nilai pH <i>Point of Zero Charge</i> (pHpzc) Komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Alginat/ZnO ..... | 30        |
| 4.4                                     | Analisis Menggunakan RSM.....   | 31        |
| 4.5                                     | Perbandingan Efektivitas Degradasi Zat Warna <i>Procion Red</i> Pada Kondisi Optimum .....                      | 40        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b> |   | <b>43</b> |
| 5.1                                     | Kesimpulan.....   | 43        |
| 5.1                                     | Saran .....   | 43        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>             |   | <b>44</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                    |   | <b>51</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|   | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 1. Struktur procion red .....  | 4       |
| Gambar 2. Nilai band gap $\text{Fe}_3\text{O}_4$ dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ .....   | 11      |
| Gambar 3. SEM (a) $\text{ZnO}$ , (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4$ dan (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ .....   | 12      |
| Gambar 4. Kurva histerisis (a) $\text{Fe}_3\text{O}_4$ dan nanokomposit (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ .....  | 13      |
| Gambar 5. Hasil Sintesis (a) $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan-alginat}$ dan (c)<br>$\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan-alginat}/\text{ZnO}$ .....  | 20      |
| Gambar 6. Kurva Histeresis dari $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan-alginat}$ , dan<br>$\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}/\text{ZnO}$ .....   | 21      |
| Gambar 7. (a) $\text{Fe}_3\text{O}_4$ (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}$ (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}/\text{ZnO}$  | 22      |
| Gambar 8. Difraktogram (a) $\text{Fe}_3\text{O}_4$ (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}$ (c)<br>$\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Kitosan-alginat}/\text{ZnO}$ .....  | 23      |
| Gambar 9. Morfologi (a) $\text{Fe}_3\text{O}_4$ (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{kitosan-alginat}$ (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{kitosan-}$<br>$\text{alginat}/\text{ZnO}$ dengan perbesaran 10.000x .....                                     | 26      |
| Gambar10. Mapping EDS komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{kitosan-alginat}/\text{ZnO}$ (a) distribusi<br>Komposit (b) distribusi unsur O (c) distribusi unsur C (d) distribusi<br>unsur Fe (e) distribusi unsur N (f) distribusi unsur Zn ..... | 27      |
| Gambar11. Nilai band gap (a) $\text{Fe}_3\text{O}_4$ (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{kitosan-alginat}$ (c) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{kitosan-}$<br>$\text{ZnO}$ .....   | 29      |
| Gambar12. Kurva pHpzc $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{kitosan-alginat}/\text{ZnO}$ .....   | 30      |
| Gambar13. Hasil analisis model respon daya sebar (a) predicted vs actual (b)<br>normal plot of residual (c) residual vs predicted .....   | 35      |
| Gambar14. Countour dan 3D surface efektivitas (a) Konsentrasi vs waktu kontak<br>b) Konsentrasi vs pH dan (c) Waktu kontak vs pH .....  | 37      |
| Gambar15. Grafik Countour plot dari rancangan kondisi optimum adsorpsi<br>Procion Red yang dihasilkan program Design Expert 13 .....  | 40      |
| Gambar 16. Grafik batang perbandingan efisiensi degradasi zat warna procion<br>red pada kondisi optimum .....   | 40      |

## DAFTAR TABEL

|   | Halaman |
|---|---------|
| Table 1. Pola XRD dari puncak difraksi Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /ZnO .....  | 10      |
| Table 2. Percobaan Pemodelan <i>Box Benhken Design</i> (BBD) .....  | 18      |
| Table 3. Nilai Mr, Ms dan Hc dari material Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-alginat,<br>Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-alginat/ZnO ..... | 22      |
| Table 4. Sudut 2θ dengan ICDD dan ukuran kristal .....  | 24      |
| Table 5. Elemen penyusun Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /kitosan-alginat dan Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /kitosan-<br>alginat/ZnO .....               | 28      |
| Table 6. Hasil Pemodelan <i>Box Benkhen Design</i> (BBD) .....  | 31      |
| Table 7. ANOVA dan parameter statistik respon efektivitas.....  | 32      |
| Table 8 Hasil analisa ragam (ANOVA) pada respon efektivitas .....   | 34      |
| Table 9. Kriteria variabel dan respon yang diinginkan .....   | 38      |
| Table 10. Titik Optimum Procion Red .....   | 39      |
| Table 11. <i>Point Prediction</i> hasil optimum respon efisiensi .....  | 39      |



## DAFTAR LAMPIRAN

|  | Halaman |
|--|---------|
| Lampiran 1. Diagram Alir Prosedur Penelitian.....  | 52      |
| Lampiran 2. Sintesis Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-alginat .....   | 53      |
| Lampiran 3. Sintesis Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-alginat/ZnO .....   | 54      |
| Lampiran 4. Reaksi Pembentukan Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....  | 55      |
| Lampiran 5. Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>XRD</i> Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-<br>Alginat, Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Alginat/ZnO ..... | 56      |
| Lampiran 6. Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Scanning Electron Microscope-<br/>Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS) .....  | 61      |
| Lampiran 7. Karakterisasi menggunakan VSM <i>Vibrating Sample Magnetometer</i>   | 65      |
| Lampiran 8. Karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS.....  | 66      |
| Lampiran 9. Penentuan pH <sub>pzc</sub> komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Alginat/ZnO .....   | 68      |
| Lampiran 10. Penentuan panjang gelombang <i>Procion Red</i> .....  | 69      |
| Lampiran 11. Penentuan Kurva Kalibrasi <i>Procion Red</i> .....  | 70      |
| Lampiran 12. Analisis RSM.....   | 71      |

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pencemaran zat warna di perairan memberikan tantangan untuk tercapainya target *Sustainable Development Goals* (SDGs) tahun 2030, terkait dengan air dan sanitasi salah satunya untuk pengelolaan air limbah yang lebih baik (Chaker *et al.*, 2021). Industri tekstil menyumbang 10-15% zat warna yang dilepaskan ke lingkungan hal ini terjadi dari proses produksi yang secara signifikan justru mencemari lingkungan (Gita *et al.*, 2017). Pembuangan tanpa pengelolaan yang tepat membuat zat warna terakumulasi di dalam perairan menciptakan efek buruk dalam kebutuhan oksigen di dalam perairan. Oleh karena itu, limbah zat warna menjadi prioritas utama dalam pengolahan limbah sebelum dibuang ke air sehingga tingkat toksisitas dan dampaknya terhadap pencemaran dapat berkurang (Cathelene Antonette *et al.*, 2024).

Zat warna yang paling populer digunakan dalam industri tekstil yakni dari golongan senyawa azo salah satunya procion red yang bersifat mutagenik dan karsinogenik (Tao and Wang, 2023). Senyawa azo -N=N- mengandung gugus benzena dan nitrogen sebagai gugus azo, karena struktur aromatik yang kuat dan kompleks, pewarna ini sulit dihilangkan warnanya. Akumulasi zat warna yang bersifat *toxic* ini menghambat fotosintesis tanaman air (Biswas *et al.*, 2024). Oleh karena itu diperlukan alternatif yang efektif untuk menguraikan kontaminan zat warna procion red salah satunya dengan metode fotodegradasi (Sharma *et al.*, 2024).

Fotodegradasi merupakan proses ramah lingkungan yang memanfaatkan sinar sebagai sumber energi yang dapat mendegradasi limbah organik dengan reaksi reduksi-oksidasi. Teknik ini meningkatkan kinetika reaksi redoks dengan penyinaran foton yang selanjutnya menunjukkan penurunan energi aktivasi agar reaksi kimia terjadi sehingga energi matahari diubah menjadi energi kimia untuk mendegradasi kontaminan organik dan anorganik berbahaya. Teknik ini merupakan degradasi dan stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode

konvensional pengolahan air limbah seperti presipitasi, koagulasi, flokulasi, filtrasi dll (Arora *et al.*, 2022).

Magnetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sering dikenal sebagai oksida besi hitam yang memiliki sifat magnetik paling kuat di antara oksida besi yang lain.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  merupakan salah satu jenis nanopartikel magnetik yang sering digunakan sebagai adsorben karena kemudahan menarik logam-logam sehingga menempel pada permukaan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , pemisahan yang mudah, sintesis yang cepat dan biaya yang rendah menjadi keunggulan magnetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Ali *et al.*, 2024).  $\text{ZnO}$  merupakan fotokatalis yang potensial karena keunggulan sifat semikonduktornya, spektrum penyerapan UV yang lebih luas, dan stabil. Penggabungan  $\text{ZnO}$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dapat menghilangkan pewarna kationik dan anionik (Roy *et al.*, 2022).  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dapat menurunkan *band gap*  $\text{ZnO}$  sehingga penggabungan keduanya berpotensi menggeser celah pita ke wilayah sinar *visible*, sehingga dapat digunakan dalam wilayah UV dan *visible* (Kulkarni *et al.*, 2017). Kitosan sebagai agen penstabil yang dapat mencegah agregasi antara nanopartikel dan memastikan stabilitas yang kuat dalam jangka panjang selain itu kitosan juga bersifat biokompatibilitas yang baik mengurangi toksisitas pada nanopartikel (Yusof *et al.*, 2019). Penambahan alginat membentuk *cross linking* yang stabil dengan kitosan (Wen *et al.*, 2024). *Cross linking* dengan kitosan merupakan modifikasi untuk meningkatkan kekuatan mekanik dan stabilitas kitosan dalam media asam (Reghioua *et al.*, 2021). Roy (2022) telah melakukan penelitian dengan menggabungkan  $\text{ZnO@Fe}_3\text{O}_4$ /Kitosan Alginat dan mampu meningkatkan efektivitas mendegradasi zat warna *Acid Violet 7* dengan baik.

Pengaruh beberapa parameter dapat mempengaruhi efektivitas proses fotodegradasi sehingga digunakan *Response Surface Methodology* (RSM) untuk mengetahui kondisi optimalnya. RSM menggunakan model statistik dengan mengoptimalkan proses gabungan yang dibangun dari hasil yang menunjukkan korelasi antara nilai prediksi dan eksperimen (Chaker *et al.*, 2021). Secara praktis metode RSM menghemat waktu dan biaya bahan kimia karena menyediakan sarana untuk mengkombinasikan faktor dan nilai kuantitatif yang diperlukan dengan

meminimalkan jumlah eksperimen yang dilakukan sehingga didapatkan hasil yang efektif (Kighuta *et al.*, 2021).

Peneliti melakukan sintesis komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /Kitosan-Alginat/ZnO untuk fotodegradasi zat warna Procion Red. Komposit yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan VSM guna memperoleh sifat magnetiknya. XRD guna mengidentifikasi strukturnya. Komposisi nanopartikel serta morfologi dianalisa menggunakan SEM-EDX serta UV-DRS guna memperoleh nilai celah energi.. Variabel fotodegradasi diukur meliputi pengaruh pH, konsentrasi dan waktu kontak yang optimum dengan *Response Surface Methodology* (RSM).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian tersebut, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana keberhasilan dari sintesis komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /Kitosan-Alginat/ZnO?
2. Bagaimana kemampuan kondisi optimum fotodegradasi sintesis komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /Kitosan - Alginat/ZnO terhadap zat warna Procion Red dengan menggunakan metode RSM pada pengaruh pH, konsentrasi dan waktu kontak?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini ialah :

1. Melakukan sintesis komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /Kitosan-Alginat/ZnO dan mengkarakterisasi menggunakan VSM, XRD, SEM-EDX serta UV-VIS DRS.
2. Mengetahui kondisi optimum fotodegradasi komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /Kitosan-Alginat/ZnO terhadap zat warna Procion Red dengan menggunakan RSM pada pengaruh pH, konsentrasi dan waktu kontak.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari hasil kajian ini diharapkan dapat digunakan untuk kebermanfaatan dengan memberikan pemahaman materi mengenai proses sintesis komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /Kitosan-Alginat/ZnO yang mana diharapkan dapat diaplikasikan dalam proses fotodegradasi untuk menyelesaikan permasalahan limbah pewarna tekstil sehingga tidak lagi membahayakan lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agung, T., & Darmawan, M. D. (2020). Penyisihan Linear Alkylbenzene Sulfonat (LAS) dan Total Dissolved Solid (TDS) Menggunakan Proses Fotokatalisis dengan Kombinasi Katalis TiO<sub>2</sub> - - ZnO. *Jurnal Envirotek*, 12(1), 35–43.
- Agustina, T. E., & Bustomi, A. (2016). Pengaruh Konsentrasi TiO<sub>2</sub> dan Konsentrasi Limbah pada Proses Pengolahan Limbah Pewarna Sintetik Procion Red dengan Metode UV/FENTON/TiO<sub>2</sub>. *Jurnal Teknik Kimia*, 22(1), 65–72.
- Ainun Rahmi Ramadhannur, T. W. dan N. H. (2021). Synthesis Composite Zn-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/WO<sub>3</sub> and Theis Application in Photocatalyst. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, 6–11.
- Ali, N. S., Khader, E. H., khudhur, R. H., Abdulrahman, M. A., Salih, I. K., & Albayati, T. M. (2024). Removal Of Anionic Azo Dye From Wastewater Using Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Magnetic Nanoparticles Adsorbents In A Batch System. *Desalination and Water Treatment*, 317(January), 100033.
- Amin, A., Khairi, N., & Allo, E. (2019). Sintesis Dan Karakterisai Kitosan Dari Limbah Cangkang Udang Sebagai Stabilizer Terhadap Ag Nanopartikel. *Fullerene Journal of Chemistry*, 4(2), 86.
- 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.
- Arora, I., Chawla, H., Chandra, A., Sagadevan, S., & Garg, S. (2022). Advances In The Strategies For Enhancing The Photocatalytic Activity Of TiO<sub>2</sub>: Conversion From UV-Light Active To Visible-Light Active Photocatalyst. *Inorganic Chemistry Communications*, 143(June), 109700.
- Astuti, Arief, S., Muldarisnur, M., Zulhadjri, & Usna, S. R. A. (2023). Enhancement In Photoluminescence Performance Of Carbon-Based Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ZnO-C Nanocomposites. *Vacuum*, 211(December 2022), 111935.
- Bhernama, B. G. (2015). Degradasi Zat Warna Metanil Yellow dengan Penyinaran Matahari dan Penambahan Katalis TiO<sub>2</sub>-SnO<sub>2</sub>. *Lantanida Journal*, 3(2), 117.
- Biswas, K., Ahamed, Z., Dutta, T., Mallick, B., Khuda-Bukhsh, A. R., Biswas, J. K., & Mandal, S. K. (2024). Green Synthesis Of Silver Nanoparticles From Waste Leaves Of Tea (Camellia Sinensis) And Their Catalytic Potential For Degradation Of Azo Dyes. *Journal of Molecular Structure*, 1318(July), 139448.
- Cathelene Antonette, L., Chandralekha, N. R., & Shanthi, J. (2024). Enhanced Photodegradation Of Textile Dye Wastewater Using Silane/Polymer Doped Zno Nanocomposites And Antibacterial Activity. *Journal of the Indian Chemical Society*, 101(10), 101254.
- Chaker, H., Attar, A. E., Djennas, M., & Fourmentin, S. (2021). A Statistical

Modeling-Optimization Approach For Efficiency Photocatalytic Degradation Of Textile Azo Dye Using Cerium-Doped Mesoporous ZnO: A Central Composite Design In Response Surface Methodology. *Chemical Engineering Research and Design*, 171, 198–212.

- Cojocaru, C., Humelnicu, A. C., Samoila, P., Pascariu, P., & Harabagiu, V. (2018). Optimized Formulation Of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>@Ca-Alginate Composite As A Selective And Magnetic Adsorbent For Cationic Dyes: Experimental And Modeling Study. *Reactive and Functional Polymers*, 125(February), 57–69.
- da Rocha, R. F. P., da Costa, M. P. M., da Costa, A. C. A., & de Mello Ferreira, I. L. (2024). Study Of The Degradation In An Ultisol Of Alginate-Chitosan Complex And Its Stability And Applicability As A Soil Conditioner. *International Journal of Biological Macromolecules*, 264(P1), 130384.
- Das, S., & Mishra, S. (2017). Box-Behnken Statistical Design To Optimize Preparation Of Activated Carbon From Limonia Acidissima Shell With Desirability Approach. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(1), 588–600.
- Didik, L. A. (2020). Penentuan Ukuran Butir Kristal CuCr<sub>0,98</sub>Ni<sub>0,02</sub>O<sub>2</sub> dengan Menggunakan X-Ray Difraksi (XRD) dan Scanning Electron Microscope (SEM). *Indonesian Physical Review*, 3(1), 6–14.
- Didin S. Winatapura, sari H. Dewi, W. A. A. (2016). Synthesis, Characterization and Photocatalytic Activity of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ZnO Nanocomposite. *Internasional Journal of Technology*, 3, 78–85.
- Długosz, O., Szostak, K., Krupiński, M., & Banach, M. (2021). Synthesis Of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ZnO Nanoparticles And Their Application For The Photodegradation Of Anionic And Cationic Dyes. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18(3), 561–574.
- 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. *Jurnal Industrial System Portal*, 13(1), 32–39.
- Ebenezer C. Nnadozie, P. A. A. (2022). Preparation, Phase Analysis And Electrochemistry Of Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) And Maghemite ( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoparticles (pp. 2–3). *International Journal of Electrochemical Science*.
- Eka Senida, Z., Ramli, Ratnawulan, & Hidayati. (2019). Pengaruh Variasi Komposisi MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Terhadap Sifat Magnetik Nanokomposit MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/PANi yang Disintesis dengan Metoda Sol-Gel Spin Coating. *Pillar of Physics*, 12, 17–24.
- Fisli, A., Safitri, R. D., Nurhasni, N., & Deswita, D. (2018). Analisis Struktur Dan Porositas Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Karbon Aktif Dari Limbah Kertas Sebagai Adsorben Magnetik. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 19(4), 179.

- Gautam, N., Singh, K. B., Snigdha, N., Upadhyay, D. D., & Pandey, G. (2023). Structural And Optical Properties Of Silver Supported A-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanocomposite Fabricated By Saraca Asoca Leaf Extract For The Effective Photo-Degradation Of Cationic Dye Azure B. *RSC Advances*, 13(33), 23181–23196.
- Ghanizadeh, F., & Shemirani, F. (2024). Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ZnO/L-lysine functionalized Graphene Oxide A Promising Nanocomposite With Double Z-Scheme Visible Photocatalytic And Dark Catalytic Activity For Water Remediation. *Applied Surface Science*, 672(July), 160816.
- Gita, S., Hussan, A., Choudhury, T. G., Gita, S., Soholar, P., & Hussan, A. (2017). Impact of Textile Dyes Waste on Aquatic Environments and its Treatment. *Environment & Ecology*, 35(3C), 2349–2353.
- Guerreiro, S. F. C., Valente, J. F. A., Dias, J. R., & Alves, N. (2021). Box-Behnken Design a Key Tool to Achieve Optimized PCL/Gelatin Electrospun Mesh. *Macromolecular Materials and Engineering*, 306(4), 1–9.
- Harahap, V. (2021). *Pembuatan Material Komposit BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>ZnO Pada Bidang Radiologi*. Ahlimedia Press.
- Hariani, P. L., Faizal, M., Ridwan, Marsi, & Setiabudidaya, D. (2018). Removal Of Procion Red MX-5B From Songket's Industrial Wastewater In South Sumatra Indonesia Using Activated Carbon-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Composite. *Sustainable Environment Research*, 28(4), 158–164.
- Hary Sanjaya, Pinta Rida, S. K. W. N. (2017). Degradasi Methylene Blue Menggunakan Katalis ZnO-PEG dengan Metode Fotosonolisis. *Eksakta*, 18(2), 21–26.
- Haryati, T., Andarini, N., & Mardhiyah, S. (2016). The Effect of Sol-Gel Temperature and Solvent Polyetilen Glycol (PEG) in ZnO-TiO<sub>2</sub> Photocatalyst Activity as Degradar of Textile Dyeing Liquid Waste. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 10(2), 149.
- Hevira, L., Ighalo, J. O., & Sondari, D. (2024). Chitosan-Based Polysaccharides For Effective Synthetic Dye Adsorption. *Journal of Molecular Liquids*, 393(August 2023), 123604.
- Hmamouchi, S., El Yacoubi, A., El Hezzat, M., Sallek, B., & El Idrissi, B. C. (2023). Optimization Of Photocatalytic Parameters For MB Degradation By G-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Nanoparticles Using Response Surface Methodology (RSM). *Diamond and Related Materials*, 136(March), 109986.
- Irawati, H., Hidayat Aprilita, N., & Sugiharto, E. (2018). Adsorpsi Zat Warna Kristal. *Berkala MIPA*, 25(1), 18–31.
- Janghorban, M., & Rabczuk, T. (2024). Study Of Nanotube Waviness Influence On The Behaviors Of Spherical Nanocomposites. *International Journal of Engineering Science*, 199(March), 104059.

- Khan, S., Khan, A., Ali, N., Ahmad, S., Ahmad, W., Malik, S., Ali, N., Khan, H., Shah, S., & Bilal, M. (2021). Degradation Of Congo Red Dye Using Ternary Metal Selenide-Chitosan Microspheres As Robust And Reusable Catalysts. *Environmental Technology and Innovation*, 22, 101402.
- Kighuta, K., Gopalan, A. I., Lee, D. E., Saianand, G., Hou, Y. L., Park, S. S., Lee, K. P., Lee, J. C., & Kim, W. J. (2021). Optimization And Modeling Of Efficient Photocatalytic TiO<sub>2</sub>-Zno Composite Preparation Parameters By Response Surface Methodology. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6), 106417.
- Komariyah, K., Setyaningtyas, T., & Riyani, K. (2022). Pengaruh Penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dan Variasi Massa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Kitosan Beads dalam Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue di Bawah Sinar UV. *Chimica et Natura Acta*, 10(1), 26–32.
- Kulkarni, S. D., Kumbar, S. M., Menon, S. G., Choudhari, K. S., & Santhosh, C. (2017). Novel magnetically separable Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ZnO Core–Shell Nanocomposite for UV and Visible Light Photocatalysis. *Advanced Science Letters*, 23(3), 1724–1729.
- Li, L., Wan, Y., Chen, S., Tian, W., Long, W., & Song, J. (2022). Prediction Of Optimal Ranges Of Mix Ratio Of Self-Compacting Mortars (Scms) Based On Response Surface Method (RSM). *Construction and Building Materials*, 319(June 2021), 126043.
- Mahmoud, B. S., & McConville, C. (2023). Box–Behnken Design of Experiments of Polycaprolactone Nanoparticles Loaded with Irinotecan Hydrochloride. *Pharmaceutics*, 15(4), 1–17.
- Mariyanto, M., Ramadhan, D. V., Purba, T. R., & Nabilah, F. A. (2022). Analysis of Vibrating Sample Magnetometer (VSM) data of Brantas River Sediments using HYSITS. *Journal of Physics: Conference Series*, 2309(1).
- Mursal, I. L. P., Farhamzah, F., Selistiawati, A., Meli, D. S., Chaerani, N., Mulyasari, N., Latipah, T., & Vidia, V. (2022). Uji Kualitas Kitosan Dari Limbah Tulang Sotong Dengan Variasi Suhu Deasetilasi. *Jurnal Buana Farma*, 2(2), 72–77.
- Muslimah, F. A., Mustikasari, K., Yunus, R., & Korespondensi, K. (2019). The Effect of Aeration on Photochemical Degradation of Congo Red by TiO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Jurnal Sains Dan Terapan Kimia*, 13(1), 29–38.
- Naimah, S., A., S. A., Jati, B. N., Aidha, N. N., & Cahyaningtyas, A. A. (2014). Degradasi Zat Warna Pada Limbah Cair Industri Tekstil Dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Nanokomposit TiO<sub>2</sub> – Zeolit. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 36(2), 225.
- Nguyen, N. T. T., Nguyen, L. M., Nguyen, T. T. T., Nguyen, N. H., Nguyen, D. H., Nguyen, D. T. C., & Tran, T. Van. (2023). Green Synthesis Of ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>@Zno Nanocomposites Using Chrysanthemum Spp. Floral Waste For Photocatalytic



- Dye Degradation. *Journal of Environmental Management*, 326(PA), 116746.
- Oladoye, P. O., Bamigboye, M. O., Ogunbiyi, O. D., & Akano, M. T. (2022). Toxicity And Decontamination Strategies Of Congo Red Dye. *Groundwater for Sustainable Development*, 19(June), 100844.
- Omran, K. A., El-Aassar, M. R., Ibrahim, O. M., Sharaewy, S. A., Khalifa, R. E., & Mohamed, F. M. (2024). Chitosan/Alginate Nanocomposites Containing Magnetic Nanoparticles And Multi-Wall Carbon Nanotubes For Efficient Iron Sorption. *Desalination and Water Treatment*, 317(February), 100294.
- Palai, A., Panda, N. R., Chhotaray, S., & Sahu, D. (2023). Sm doped ZnO-SnO<sub>2</sub> Nanocomposites With Improved Photo-Degradation Strength And Antibacterial Properties. *Surfaces and Interfaces*, 41(May), 103217.
- Paulson, A., Muhammed Sabeer, N. A., & Pradyumnan, P. P. (2019). A Synergetic Approach Of Band Gap Engineering And Reduced Lattice Thermal Conductivity For The Enhanced Thermoelectric Property In Dy Ion Doped ZnO. *Journal of Alloys and Compounds*, 786, 581–587.
- Perera, K. Y., Sharma, S., Duffy, B., Pathania, S., Jaiswal, A. K., & Jaiswal, S. (2022). An Active Biodegradable Layer-By-Layer Film Based On Chitosan-Alginate-TiO<sub>2</sub> For The Enhanced Shelf Life Of Tomatoes. *Food Packaging and Shelf Life*, 34(May), 100971.
- Polat, S., & Sayan, P. (2019). Application Of Response Surface Methodology With A Box–Behnken Design For Struvite Precipitation. *Advanced Powder Technology*, 30(10), 2396–2407.
- Raganata, T. C., Aritonang, H., & Suryanto, E. (2020). Sintesis Fotokatalis Nanopartikel ZnO untuk Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue. *Chemistry Progress*, 12(2), 54–58.
- Rahimah, R., Fadli, A., Yelmida, Y., Nurfajriani, N., & Zakwan, Z. (2019). Synthesis and Characterization Nanomagnetite by Co-precipitation. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCST)*, 2(2), 90.
- Rasouli, J., Zandifar, A., Rasouli, K., Sabbaghi, S., Esmaeilzadeh, F., Shah, M., & Ansari, K. B. (2024). High-Efficiency Ternary CeO<sub>2</sub>/WO<sub>3</sub>/AC Photocatalyst Supported By Biomass Waste-Derived Activated Carbon For Efficient Doxycycline Photodegradation: Optimization Of Synthesis Conditions And Operational Parameters. *Materials Research Bulletin*, 178(March), 112874.
- Reghioua, A., Barkat, D., Jawad, A. H., Abdulhameed, A. S., & Khan, M. R. (2021). Synthesis Of Schiff's Base Magnetic Crosslinked Chitosan-Glyoxal/ZnO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles For Enhanced Adsorption Of Organic Dye: Modeling And Mechanism Study. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 20(January),
- Ribas, M. C., de Franco, M. A. E., Adebayo, M. A., Lima, E. C., Parkes, G. M. B., & Feris, L. A. (2020). Adsorption of Procion Red MX-5B Dye From Aqueous

- Solution Using Homemade Peach And Commercial Activated Carbons. *Applied Water Science*, 10(6), 1–13.
- 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@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Chitosan–Alginate Nanocomposite Synthesized Using Camellia Sinensis Extract. *Journal of Environmental Management*, 303(July 2021), 114128.
- Roy, N., Kannabiran, K., & Mukherjee, A. (2022). Studies On Photocatalytic Removal Of Antibiotics, Ciprofloxacin And Sulfamethoxazole, By Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Zno-Chitosan/Alginate Nanocomposite In Aqueous Systems. *Advanced Powder Technology*, 33(8), 103691.
- Sahdiah, H., & Kurniawan, R. (2023). Optimasi Tegangan Akselerasi pada Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX) untuk Pengamatan Morfologi Sampel Biologi. *Jurnal Sains Dan Edukasi Sains*, 6(2), 117–123.
- Said, M., Rizki, W. T., Asri, W. R., Desnelli, D., Rachmat, A., & Hariani, P. L. (2022). SnO<sub>2</sub>-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanocomposites For The Photodegradation Of The Congo Red Dye. *Helion*, 8(4).
- Sari, M. F. P., Loekitowati, P., & Mohadi, R. (2017). Penggunaan Karbon Aktif Dari Ampas Tebu Sebagai Adsorben Zat Warna Procion Merah Limbah Cair Industri Songket. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 7(1), 37–40.
- Selvinsimpson, S., Gnanamozi, P., Pandiyan, V., Govindasamy, M., Habila, M. A., AlMasoud, N., & Chen, Y. (2021). Synergetic Effect Of Sn Doped Zno Nanoparticles Synthesized Via Ultrasonication Technique And Its Photocatalytic And Antibacterial Activity. *Environmental Research*, 197(March), 111115.
- Setiabudi, A., Hardian, R., & Muzakir, A. (2012). Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia. In *UPI Press* (Vol. 1).
- Sharma, R., Jyoti Borah, S., Bhawna, Gupta, A., Jhahharia, P., Kumar Dubey, K., & Kumar, V. (2024). Investigating Agcl-Sno<sub>2</sub> Nanocomposite For Photocatalytic Degradation Of Azo Dye, Associated Reaction Pathways, And Its Antibacterial Activity. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 456(February), 115800.
- Siltiwi Mandar, Z. R. (2019). Synthesis and Characterization of Nano ZnO Doped Cu. *Periodic*, 8(1), 20–23.
- Sitohang, R. G., Turnip, N. J. R., & Aditia, A. (2022). Optimasi Proses Adsorpsi Zat Warna Indigosol Di Air Limbah Artifisial Menggunakan Response Surface Methodology Dengan Pendekatan Desirability Function. *Jurnal Rekayasa Proses*, 16(2), 60.

- Suppiah, D. D., Julkapli, N. M., & Johan, M. R. (2022). Correlation On Precipitation Parameters Towards Ferromagnetism And Stabilization Of The Magnetite Nanoparticles. *Journal of Solid State Chemistry*, 315(July).
- T. Saragi, B Permana, M Saputri, L Safrani, I Rahayu, R. (2018). Karakteristik Optik dan Kristal Nanopartikel Magnetit. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 2(1), 53–56.
- Tao, P., & Wang, Y. (2023). Enhanced Photocatalytic Performance Of W-Doped TiO<sub>2</sub> Nanoparticles For Treatment Of Procion Red MX-5B Azo Dye In Textile Wastewater. *International Journal of Electrochemical Science*, 18(9), 100261.
- Vargas, E. M., Ospina, J. L., Tarelho, L. A. C., & Nunes, M. I. (2020). FAME Production From Residual Materials: Optimization of the process by Box–Behnken model. *Energy Reports*, 6, 347–352.
- Vishwakarma, A. K., Yadav, B. Sen, Singh, A. K., Kumar, S., & Kumar, N. (2023). Magnetically Recyclable ZnO Coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanocomposite For MO Dye Degradation Under UV-Light Irradiation. *Solid State Sciences*, 145(July), 107312.
- Wang, X., Zhang, Y., Mei, H., Xu, H., Gan, L., & Zhang, R. (2021). Meso-Erythritol-Regulated Biobr Nanosheets With Surface Hydroxyl Imprinting Sites For Considerably Improved Photocatalytic Capability. *Applied Surface Science*, 546(January), 149116.
- Wen, Z., Peng, R., Gao, D., Lin, J., Zeng, J., Li, Z., Ke, F., Xia, Z., & Wang, D. (2024). Chitosan-Alginate Sponge With Multiple Cross-Linking Networks For Adsorption Of Anionic Dyes : Preparation , Property Evaluation , Mechanism Exploration, And Application. *Journal of Chromatography A*, 1713(November 2023), 464507.
- Widarsaputra, A. Y., Prawatya, Y. E., & Sujana, I. (2022). Response Surface Methodology (RSM) Untuk Optimasi Pengolahan Keripik Nanas Menggunakan Mesin Vacuum Frying. *Integrate: Industrial Engineering and Management System*, 6(2), 70–77.
- Yusof, N. A. A., Zain, N. M., & Pauzi, N. (2019). Synthesis Of Chitosan / Zinc Oxide Nanoparticles Stabilized By Chitosan Via Microwave Heating. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, 14(2), 450–458.
- Zun Wahyu Yulianti, M. (2020). Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> Berbasis Bahan Alam Sebagai Material Pengadsorpsi Pewarna dalam Air. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 09(01), 1–4.