

**SINTESIS KOMPOSIT  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /KITOSAN-ALGINAT/ $\text{TiO}_2$   
DAN APLIKASINYA UNTUK FOTODEGRADASI ZAT  
WARNA PROCION RED DENGAN METODE RSM  
(*RESPONSE SURFACE METHODOLOGY*)**

**SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana**

**Bidang Studi Kimia**



**Oleh:**

**Annisah Falihah**

**08031282126071**

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

**2025**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**SINTESIS KOMPOSIT  $MnFe_2O_4$ /KITOSAN-ALGINAT/ $TiO_2$   
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 :

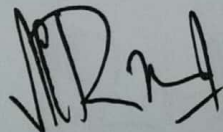
**ANNISAH FALIAH**

**08031282126071**

Indralaya, 18 Maret 2025

**Mengetahui,**

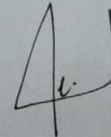
**Dosen Pembimbing I**



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

NIP. 196808271994022001

**Dosen Pembimbing II**



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

NIP. 196912251997022001

**Dekan FMIPA**



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

NIP. 197111191997021001

## HALAMAN PERSETUJUAN

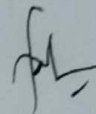
Karya tulis ilmiah berupa skripsi Annisah Falihah (08031282126071) dengan judul "Sintesis Komposit  $MnFe_2O_4$ /Kitosan-Alginat/ $TiO_2$  dan Aplikasinya untuk Fotodegradasi Zat Warna Procion red dengan Metode RSM (*Response Surface Methodology*)" telah diseminarkan di hadapan Tim Penguji Sidang Sarjana 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, 18 Maret 2025

Ketua :

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


NIP. 196207131991022001

(  )

Anggota :

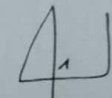
1. **Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si.**

NIP. 196808271994022001

(  )

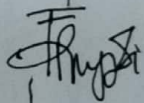
2. **Dr. Desnelli, M.Si.**

NIP. 196912251997022001

(  )

2. **Fahma Riyanti, S.Si., M.Si**

NIP. 197204082000032001

(  )

Mengetahui,

**Dekan FMIPA**


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

NIP. 197111191997021001

**Ketua Jurusan Kimia**


**Prof. Dr. Muharni, M.Si.**

NIP. 196903041994122001

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Annisah Falihah

NIM : 08031282126071

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 kesarjanaaan 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 sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 18 Maret 2025

Yang menyatakan,



Annisah Falihah

NIM. 08031282126071

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

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Annisah Falihah

NIM : 08031282126071

Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “Sintesis Komposit  $MnFe_2O_4$ /Kitosan-Alginat/ $TiO_2$  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, 18 Maret 2025

Yang menyatakan,



Annisah Falihah

NIM. 08031282126071

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*“Tuhanmu tidak meninggalkan engkau (Muhammad) dan tidak (pula)  
membencimu,”  
(QS. Ad-Duha: 3)*

**“Tuhan adalah satu satunya dzat yang menerima dirimu apa adanya  
tanpa mengukur banyaknya dosamu. Bersujud kepada Tuhan adalah  
tempat pulang teraman dan ternyaman bagimu”  
(Unknown)**

---

Skripsi ini sebagai bentuk rasa syukur kepada Allah SWT dan Rasulullah SAW.  
Skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Papa, Mama, dan Adik adikku tersayang yang selalu mendoakan penulis.
2. Prof. Dr. Poedji Loekitowato Hariani, M.Si dan Dr. Desnelli, M.Si selaku dosen pembimbing.
3. Sahabat serta teman teman seperjuangan penulis yang terlibat dalam proses menyelesaikan skripsi ini.
4. Universitas Sriwijaya.

## KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang maha pengasih dan maha penyayang. Saya ucapkan banyak rasa syukur atas kehadiran-Nya yang telah memberikan rahmat serta ridho-Nya di setiap langkah penulis dalam menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sintesis Komposit  $MnFe_2O_4$ /Kitosan-Alginat/ $TiO_2$  dan Aplikasinya untuk Fotodegradasi Zat Warna Procion red dengan Metode RSM (*Response Surface Methodology*)”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Penyusunan skripsi ini tidak selalu berjalan dengan mudah, berbagai rintangan mulai dari trial dan error penelitian hingga pengolahan data telah dilalui oleh penulis sehingga apabila masih terdapat banyak kekurangan di dalamnya, penulis menyampaikan permohonan maaf sebesar besarnya. Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M. Si dan Ibu Dr. Desnelli, M.Si yang telah membimbing dan selalu menemani penulis selama penelitian hingga skripsi ini selesai. Penulis juga menyampaikan terimakasih kepada :

1. Allah SWT yang selalu membersamai penulis.
2. Diri saya sendiri. Terimakasih selalu berdamai dengan diri sendiri dan telah berjuang hingga di titik ini. Terimakasih sudah kuat secara fisik dan mental untuk mendapatkan gelar ini. Terimakasih karena telah memilih jalan ketidakputusasaan dan tidak memilih berhenti di tengah jalan. Terimakasih telah percaya sepenuh hati atas diri ini. Terimakasih Nisa untuk segala hal yang telah dilewati selama hampir empat tahun selama masa perkuliahan.
3. Papa. Terimakasih telah menjadi support system dan sponsor penulis. Terimakasih banyak karena selalu mengusahakan segala hal untuk penulis. Terimakasih karena selalu bangga memiliki anak seperti penulis. Terimakasih karena telah menjadi manusia yang selalu menerima penulis apa adanya. Sehat sehat papa, terimakasih karena sudah menjadi papa Nisa. Semoga Tuhan selalu memberikan banyak rezeki untuk Papa.
4. Mama. Terimakasih banyak untuk semua dukungan emosionalnya. Terimakasih karena selalu menggenggam tangan penulis dan percaya jika penulis bisa melewati

- semuanya. Terimakasih banyak mama untuk semuanya, sehat selalu dan semoga Tuhan selalu memberikan banyak kebahagiaan hingga di ujung umur Mama.
5. Adik adikku. Nafis dan Fathi. Terimakasih banyak telah sayang kepada penulis. Terimakasih atas cinta dan dukungannya kepada penulis dan telah mendengarkan setiap keluhan penulis. Tolong temani penulis untuk hidup lebih lama, sehat selalu adik adikku.
  6. Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowato Hariani, M.Si selaku dosen pembimbing penulis. Mendapatkan dosen pembimbing penelitian seperti Ibu menjadi salah satu bentuk rezeki yang penulis miliki selama kuliah. Terimakasih telah menerima penulis sebagai anak bimbingan Ibu. Terimakasih atas semua bimbingan dan motivasi yang Ibu berikan. Semoga Tuhan selalu membersamai setiap langkah Ibu.
  7. Ibu Dr. Desnelli, M.Si. Ibu, saya ucapkan banyak terimakasih ke pada Ibu karena telah memberikan banyak perhatian kepada penulis mulai dari tahun pertama kuliah hingga skripsi ini selesai. Terimakasih banyak Ibu atas kebesaran hati Ibu di setiap proses penulis memperoleh gelar ini Bu.
  8. Bapak Prof. Hermansyah. S. Si., M. Si., Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
  9. Ibu Prof. Dr. Muharni, M. Si selaku Ketua Jurusan FMIPA Universitas Sriwijaya.
  10. Bapak Dr. Addy Rachmat, .,Si selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
  11. Seventeen. Terimakasih telah menambah warna dalam kehidupan penulis melalui karya lagu ataupun program going seventeen etc.
  12. Nike Octarina. Terimakasih telah menjadi teman pertama penulis selama perkuliahan. Banyak kenangan bahagia dan manis yang dirasakan oleh penulis selama pertemananan kita. Terimakasih telah menjadi teman penulis hingga di akhir masa kuliah ini. Doa terbaik dari penulis untukmu.
  13. Aditya Anandika. Terimakasih telah menjadi teman pertama penulis mulai dari maba hingga kita memperoleh gelar ini. Terimakasih atas semua bantuannya di setiap langkah penulis selama perkuliahan. Terimakasih banyak atas dukungan emosionalnya untuk setiap keluhan dan curhatan penulis. Terimakasih banyak karena telah menjadi partner in hardship dalam mencapai hal hal terbaik selama perkuliahan. Semoga Tuhan mengabulkan semua rencana terbaikmu, Adit!
  14. Andini Gusti Ayu. Terimakasih telah menjadi room mate penulis. Terimakasih telah menemani penulis selama masa perkuliahan penulis baik dalam suka ataupun duka.



15. Vema Ramadhaniah. Terimakasih telah menjadi teman dekat penulis. Terimakasih banyak atas bantuan dan dukungannya selama menjadi teman dengan penulis.
16. Teman teman absurd (Nima, Amel, Elsa). Terimakasih untuk semua masa masa bahagiannya selama perkuliahan penulis.
17. Agung Pratama. Terimakasih telah menjadi abang yang super pintar bagi penulis. Terimakasih telah menjawab semua pertanyaan sulit dan ambigu penulis. Terimakasih atas new insight yang telah diberikan. Cepat lulus S2-nya ya abang!
18. Teman teman seperjuangan penelitian RSM (Sodifa dan Puan). Penulis mengucapkan banyak rasa syukur karena berada satu tim dengan kalian. Terimakasih atas dukugan dan bantuannya selama penelitian hingga proses penulisan skripsi. Get better and be the best for yall!
19. Anak anak mami (Dey, Cingka, Devimultiani). Terimakasih telah menemani penulis selama masa penelitian hingga proses penulisan skripsi ini. Terimakasih banyak ya!
20. Sahabat Perawang City (Selvi, Syifa, Riska). Terimakasih karena telah menjadi teman yang tulus untuk penulis. Penulis mengucapkan permohonan maaf karena seolah penulis menghilang dari *lane* selama masa perkuliahan. Tapi percayalah, penulis bersyukur punya teman seperti kalian.
21. Sahabat Fantastic Four (Endah, Dian, Anggra). Komunikasi kita udah jarang banget ya, tapi terimakasih karena telah terlibat dalam batin penulis. Sukses terus ya untuk kita!
22. Bang Wan. Terimakasih banyak karena telah membantu penulis dalam memahami RSM dan mau direpotkan oleh penulis dalam menjawab pertanyaan pertanyaan penulis.
23. Teman teman asisten LKU dan ayuk analis. Semua asisten LKU serta ayuk analis yang tidak bisa disebutkan secara menyeluruh. Terimakasih telah menjadi rumah kedua bagi penulis. Semangat untuk semuanya!
24. Adik asuhku (Bella, Mar'ah, dan Fresia). Terimakasih selalu menyemangati penulis. Terimakasih banyak atas dukungannya selama perkuliahan penulis.
25. Kak Iin dan Mba Novi selaku admin jurusan yang telah banyak direpotkan oleh penulis.
26. Yuk Yuniar, Yuk Nur, dan Mba Yanti. Terimakasih atas bantuannya selama masa penlitian dan ilmu ilmu barunya yang penulis peroleh selama magang di LKAIP.
27. Teman teman angkatan 2021. Terimakasih untuk semua warna yang kalian berikan selama perkuliahan. Semangan dan sukses selalu.

Untuk nama yang tidak dapat tercantum di halaman persembahan ini, penulis tetap mengucapkan banyak terimakasih karena telah terlibat dalam perkuliahan penulis. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Indralaya, 18 Maret 2025

Penulis

Annisah Falihah

## SUMMARY

### **SYNTHESIS OF MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/KITOSAN-ALGINAT/TiO<sub>2</sub> COMPOSITE AND ITS APPLICATION FOR PROCION RED PHOTODEGRADATION WITH RSM METHOD (RESPONSE SURFACE METHODOLOGY)**

Annisah Falihah: Supervised by oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M,Si dan Dr. Desnelli, M,Si

Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Science, Universitas Sriwijaya  
xviii + 53 pages, 7 tables, 10 figures, 12 attachments

Procion red is one of the reactive dyes commonly used in the textile industry. This dye is included in the type of azo dyes that have the potential to pollute the environment and have a negative impact on living organisms. Therefore, it is needed a method to degrade procion red such as using the photodegradation method with the help of semiconductor materials and has an effective ability to be applied on a large scale.

This research conducted synthesizes MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Kitosan-alginate/TiO<sub>2</sub> composites as catalysts in the photodegradation of procion red. MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> serves as a material that has high magnetic properties to facilitate the separation of catalysts when applied in a dye solution. In addition, MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> also acts as an additional material to minimize the bandgap of TiO<sub>2</sub> so that the composite can be used in visible light. Chitosan-alginate acts as a material to reduce the potential for the formation of electron/hole pair recombination. The synthesized MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Kitosan-alginate/TiO<sub>2</sub> composite was characterized using VSM, XRD, SEM-EDS, and UV-Vis. The optimum conditions were determined using the RSM method with BBD.

The VSM characterization results of the composite show Mr value of 16.92 emu/g, Ms value of 45.22 emu/g, Hc value of 2.22 Tesla, and S-shaped hysteresis curve, indicating this composite exhibits superparamagnetic behaviour. The XRD characterization results of the composite obtained the highest peak at an angle of  $2\theta = 25.35^\circ$  with a crystallite size average of 60.47 nm. SEM-EDS characterization results of the composite obtained heterogeneous morphology and has constituent elements namely Mn (13%), Fe (23%), O (24%), C (10%), N (4%), and Ti (26%). UV-Vis DRS characterization results obtained a bandgap value of 1.69 eV so that the composite can be used in visible light.

Optimization of procion red degradation was conducted using the RSM Method based on a fitted quadratic polynomial model to obtain the optimum conditions at a procion red dye concentration of 58 ppm, pH 3, and contact time of 33 minutes with visible irradiation resulting in a degradation efficiency of 97,32%. A comparison of different treatments was carried out at these optimum conditions to see the difference in the degradation efficiency value. The degradation efficiency value at optimum conditions using a composite without visible irradiation is 75,76%. The degradation efficiency value at optimum conditions without using composites with visible irradiation is 14,24%.

Keyword : procion red, composite MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Kitosan-alginat/TiO<sub>2</sub>, RSM

Citations : 93 (2014-2025)

## RINGKASAN

### SINTESIS KOMPOSIT $MnFe_2O_4$ /KITOSAN-ALGINAT/ $TiO_2$ DAN APLIKASINYA UNTUK FOTODEGRADASI ZAT WARNA PROCION RED DENGAN METODE RSM (*RESPONSE SURFACE METHODOLOGY*)

Annisah Falihah: Dibimbing oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M,Si dan Dr. Desnelli, M,Si

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya  
xviii + 53 halaman, 7 tabel, 10 gambar, 12 lampiran

Zat warna procion red merupakan salah satu zat warna reaktif yang umum digunakan dalam industri tekstil. Zat warna ini termasuk ke dalam jenis zat warna azo yang berpotensi mencemari lingkungan dan berdampak buruk bagi makhluk hidup. Oleh karena itu diperlukan suatu cara untuk mendegradasi zat warna procion red seperti menggunakan metode fotodegradasi dengan bantuan material semikonduktor dan memiliki kemampuan yang efektif untuk diaplikasikan dalam skala besar.

Penelitian ini melakukan sintesis komposit  $MnFe_2O_4$ /Kitosan-alginat/ $TiO_2$  yang digunakan sebagai katalis dalam fotodegradasi zat warna procion red.  $MnFe_2O_4$  berfungsi sebagai material yang memiliki sifat magnetik yang tinggi sehingga memudahkan pemisahan katalis pada saat diaplikasikan dalam larutan zat warna. Selain itu,  $MnFe_2O_4$  juga berperan sebagai material tambahan sebagai upaya untuk memperkecil bandgap  $TiO_2$  agar komposit dapat digunakan pada sinar *visible*. Kitosan-alginat berperan sebagai material untuk mengurangi potensi terbentuknya rekombinasi pasangan *electron/hole*. Hasil sintesis komposit  $MnFe_2O_4$ /Kitosan-alginat/ $TiO_2$  dikarakterisasi menggunakan VSM, XRD, SEM-EDS, dan UV-Vis. Kondisi optimum ditentukan menggunakan metode RSM dengan BBD.

Hasil karakterisasi VSM dari komposit memperoleh nilai  $M_r$  sebesar 16,92 emu/g, nilai  $M_s$  sebesar 45,22 emu/g, nilai  $H_c$  2,22 Tesla, serta kurva histeresis berbentuk S yang mengindikasikan komposit termasuk ke dalam superparamagnetik. Hasil karakterisasi XRD dari komposit menghasilkan puncak tertinggi pada sudut  $2\theta=25,35^\circ$  dengan ukuran kristal 60,47 nm. Hasil karakterisasi SEM-EDS dari komposit memperoleh hasil morfologi heterogen dan memiliki unsur penyusun yaitu Mn (13%), Fe (23%), O (24%), C (10%), N (4%), dan Ti (26%). Hasil karakterisasi UV-Vis DRS memperoleh nilai *bandgap* sebesar 1,99 eV sehingga komposit dapat digunakan pada sinar *visible*.

Optimasi degradasi zat warna procion red dilakukan menggunakan metode RSM berdasarkan model polinomial kuadrat yang sesuai sehingga diperoleh kondisi optimum pada konsentrasi zat warna procion red 58 ppm, pH 3, dan waktu kontak 33 menit dengan penyinaran *visible* yang menghasilkan efisiensi degradasi sebesar 97,32%. Perbandingan perlakuan berbeda dilakukan pada kondisi optimum tersebut untuk melihat perbedaan nilai efisiensi degradasi yang dihasilkan. Nilai efisiensi degradasi pada kondisi optimum menggunakan komposit tanpa penyinaran *visible* sebesar 75,76%. Nilai efisiensi degradasi pada kondisi optimum tanpa menggunakan komposit dengan penyinaran *visible* sebesar 14,24%.

Kata kunci : procion red, komposit  $MnFe_2O_4$ /Kitosan-alginat/ $TiO_2$ , RSM

Kutipan : 93 (2014-2025)

## DAFTAR ISI

|  |             |
|--|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>   | <b>i</b>    |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>  | <b>ii</b>   |
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>   | <b>iii</b>  |
| <b>PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....</b>   | <b>iv</b>   |
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....</b>   | <b>v</b>    |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>   | <b>vi</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>   | <b>vii</b>  |
| <b>SUMMARY .....</b>   | <b>xi</b>   |
| <b>RINGKASAN .....</b>   | <b>xii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>   | <b>xiii</b> |
| <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>   | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang .....   | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah .....  | 3           |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....  | 4           |
| 1.4 Manfaat Penelitian .....   | 4           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>   | <b>5</b>    |
| 2.1 Fotodegradasi .....  | 5           |
| 2.2 Komposit .....   | 6           |
| 2.3 Spinel Ferrit $MnFe_2O_4$ .....  | 6           |
| 2.4 Kitosan-Alginat .....  | 7           |
| 2.5 Katalis $TiO_2$ .....  | 8           |
| 2.6 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....   | 9           |
| 2.7 <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i> .....                                   | 9           |
| 2.8 <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)</i> ..... | 10          |
| 2.9 <i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)</i> .....     | 11          |
| 2.10 <i>Respon Surface Methodology (RSM)</i> .....                                     | 11          |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>   | <b>14</b>   |
| 3.1 Waktu dan Tempat .....   | 14          |
| 3.2 Alat dan Bahan.....  | 14          |
| 3.2.1 Alat.....  | 14          |
| 3.2.2 Bahan.....   | 14          |

|  |   |           |
|--|---|-----------|
| 3.3                                      | Prosedur Penelitian.....  | 14        |
| 3.3.1                                    | Sintesis MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....   | 14        |
| 3.3.2                                    | Komposit MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Alginat .....  | 15        |
| 3.3.3                                    | Komposit MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Alginat/TiO <sub>2</sub> .....   | 15        |
| 3.4                                      | Karakterisasi Material .....  | 16        |
| 3.4.1                                    | <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....   | 16        |
| 3.4.2                                    | <i>Scanning Electron Microscopy-Energi Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDS).....   | 16        |
| 3.4.3                                    | <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM).....   | 16        |
| 3.4.4                                    | <i>UV-VIS Diffuse Reflectance spectroscopy</i> (UV-Vis DRS)..   | 16        |
| 3.4.5                                    | Penentuan <i>pH Point of Zero Charge</i> .....  | 17        |
| 3.5                                      | Pengukuran Konsentrasi Procion red .....  | 17        |
| 3.5.1                                    | Pembuatan Larutan Induk Procion red 1000 ppm.....   | 17        |
| 3.5.2                                    | Pembuatan Larutan Standar Zat Warna Procion red.....  | 17        |
| 3.5.3                                    | Penentuan Panjang Gelombang Maksimum .....  | 17        |
| 3.5.4                                    | Pembuatan Kurva Kalibrasi Zat Warna Procion red.....  | 18        |
| 3.6                                      | Penentuan Kondisi Optimum Fotodegradasi Zat Warna Procion red.....  | 18        |
| 3.6.1                                    | Pelaksanaan Desain Eksperimen Berdasarkan <i>Respon Surface Methodology</i> (RSM) .....   | 18        |
| 3.6.2                                    | Analisis Data Menggunakan <i>Respon Surface Methodology</i> (RSM).....  | 18        |
| 3.7                                      | Analisis Data Penentuan Kondisi Optimum .....   | 19        |
| 3.8                                      | Perbandingan Efisiensi Degradasi Zat Warna Procion red pada Kondisi Optimum.....  | 20        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b> |   | <b>21</b> |
| 4.1                                      | Hasil Karakterisasi Material MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Alginat, MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Alginat/TiO <sub>2</sub> ..... | 21        |
| 4.1.1                                    | Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM).....   | 21        |
| 4.1.2                                    | Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)  | 22        |
| 4.1.3                                    | Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy-Energi Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS).....   | 26        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.1.4 Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>UV-VIS Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-Vis DRS).....                                  | 28        |
| 4.1.5 Nilai pH Point of Zero Charge (pHpzc) Komposit MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Alginat/TiO <sub>2</sub> .....           | 30        |
| 4.2 Penentuan Kondisi Optimum Fotodegradasi Zat Warna Procion red.....  | 31        |
| 4.2.1 Analisis Hasil Data Desain Eksperimen Menggunakan <i>Respon Surface Methodology</i> (RSM).....                                    | 31        |
| 4.2.2 Analisis Optimasi Fotodegradasi Zat Wana Procion Red Menggunakan <i>Respon Surface Methodology</i> (RSM).....                     | 38        |
| 4.2.3 Analisis Perbandingan Efisiensi Degradasi pada Kondisi Optimum .....  | 39        |
| 4.3 Mekanisme Degradasi Zat Warna Procion Red dengan Komposit MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Kitosan-Alaginat/TiO <sub>2</sub> ..... | 40        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>   | <b>44</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....  | 44        |
| 5.2 Saran.....  | 44        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>   | <b>45</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>  | <b>54</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| <b>Gambar 1.</b> Kurva histerisis dari $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ , $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}$ , dan $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}/\text{TiO}_2$ ..... | 21 |
| <b>Gambar 2.</b> Difraktogram $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ , $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}$ , dan $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}/\text{TiO}_2$ .....          | 23 |
| <b>Gambar 3.</b> Morfologi (a) $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ (b) $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}$ (c) $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}/\text{TiO}_2$ .....         | 26 |
| <b>Gambar 4.</b> Hasil SEM-EDS Mapping komposit $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}/\text{TiO}_2$ .....   | 28 |
| <b>Gambar 5.</b> Nilai bandgap (a) $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ (b) $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}$ (c) $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}/\text{TiO}_2$ .....     | 29 |
| <b>Gambar 6.</b> Kurva $\text{pH}_{\text{pzc}}$ komposit $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}/\text{TiO}_2$ .....  | 30 |
| <b>Gambar 7.</b> Plot diagnostik model (a) plot normal residu, (b) dan (c) plot residu terhadap nilai prediksi, serta (d) plot residu terhadap running.....                                   | 35 |
| <b>Gambar 8.</b> Grafik model 3D surface (kiri) dan plot kontur (kanan) untuk pengaruh (a) konsentrasi dan waktu kontak (b) pH dan waktu kontak (c) konsentrasi dan pH .....                  | 36 |
| <b>Gambar 9.</b> Grafik batang perbandingan efisiensi degradasi.....  | 40 |
| <b>Gambar 10.</b> Skema fotodegradasi zat warna procion red .....   | 41 |



## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabel 1.</b> Desain penentuan kondisi optimum menggunakan BBD.....  | 19 |
| <b>Tabel 2.</b> Nilai $M_r$ , $M_s$ , dan $H_c$ dari material $MnFe_2O_4$ ,<br>$MnFe_2O_4$ /Kitosan-Alginat, dan $MnFe_2O_4$ /Kitosan-Alginat/ $TiO_2$ ..... | 22 |
| <b>Tabel 3.</b> Sudut $2\theta$ dengan ICSD dan ukuran kristal .....   | 24 |
| <b>Tabel 4.</b> Unsur penyusun $MnFe_2O_4$ , $MnFe_2O_4$ /Kitosan-Alginat, dan<br>$MnFe_2O_4$ /Kitosan-Alginat/ $TiO_2$ .....                                | 27 |
| <b>Tabel 5.</b> Hasil desain eksperimen terhadap respon .....  | 32 |
| <b>Tabel 6.</b> Hasil ANOVA .....  | 34 |
| <b>Tabel 7.</b> Hasil validasi kondisi optimum degradasi .....   | 39 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|                     |   |    |
|---------------------|---|----|
| <b>Lampiran 1.</b>  | Diagram Alir Prosedur Penelitian.....   | 55 |
| <b>Lampiran 2.</b>  | Reaksi Pembentukan $MnFe_2O_4$ .....  | 58 |
| <b>Lampiran 3.</b>  | Hasil Karkterisasi Menggunakan XRD $MnFe_2O_4$ ,<br>$MnFe_2O_4$ /Kitosan-Alginat, dan<br>$MnFe_2O_4$ /Kitosan-Alginat/ $TiO_2$ .....                                      | 59 |
| <b>Lampiran 4.</b>  | Hasil Karakterisasi Menggunakan SEM-EDS $MnFe_2O_4$ ,<br>$MnFe_2O_4$ /Kitosan-Alginat, dan<br>$MnFe_2O_4$ /Kitosan-Alginat/ $TiO_2$ .....                                 | 66 |
| <b>Lampiran 5.</b>  | Hasil Karakterisasi Menggunakan UV-Vis DRS $MnFe_2O_4$ ,<br>$MnFe_2O_4$ /Kitosan-Alginat, dan<br>$MnFe_2O_4$ /Kitosan-Alginat/ $TiO_2$ .....                              | 70 |
| <b>Lampiran 6.</b>  | Penentuan pH <sub>pzc</sub> Komposit $MnFe_2O_4$ /Kitosan-Alginat/ $TiO_2$ .....  | 73 |
| <b>Lampiran 7.</b>  | Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Zat Warna<br>Procion red .....   | 74 |
| <b>Lampiran 8.</b>  | Penentuan Kurva Kalibrasi Zat Warna Procion red.....  | 75 |
| <b>Lampiran 9.</b>  | Hasil Optimasi Menggunakan RSM.....   | 76 |
| <b>Lampiran 10.</b> | Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Zat Warna Procion red<br>dengan Metode Respon Surface Methodology Menggunakan<br>Komposit $MnFe_2O_4$ /Kitosan-Alginat/ $TiO_2$ ..... | 77 |
| <b>Lampiran 11.</b> | Perbandingan Degradasi Zat Warna Procion red dengan Variasi<br>Keadaan pada Kondisi Optimum .....   | 79 |
| <b>Lampiran 12.</b> | Gambar Penelitian.....  | 81 |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pemerintah Indonesia menetapkan bahwa salah satu target untuk memenuhi agenda *Sustainable Development Goals* (SDGs) adalah meningkatkan industri dan kualitas air bersih dengan meminimalkan pembuangan material limbah dan kimia berbahaya. Peningkatan industri dan kualitas air bersih seharusnya dapat dicapai tanpa berkontradiksi satu sama lain. Faktanya, perkembangan yang pesat dari industri diiringi dengan peningkatan pencemaran lingkungan. Salah satu industri yang terlibat atas pencemaran lingkungan adalah industri tekstil. Industri tekstil menduduki posisi ketiga di dunia sebagai pengguna air bersih terbanyak yang digunakan untuk proses pewarnaan hingga proses *bleaching* (De Almeida *et al.*, 2021). Hal ini mengakibatkan industri tekstil berpotensi sebagai penyumbang limbah cair zat warna ke lingkungan.

Industri tekstil dapat menghasilkan volume limbah zat warna sintetik yang tinggi sebesar 75%. Selain menghasilkan volume limbah yang tinggi, limbah dari jenis industri tekstil juga mengandung konsentrasi zat warna yang tinggi dikarenakan 20-50% zat warna yang digunakan dalam proses industri menjadi limbah (Da Cruz Severo *et al.*, 2020). Ada banyak jenis zat warna yang digunakan dalam industri tekstil dimana sekitar 45% zat warnanya bersifat reaktif (Agustina *et al.*, 2019). Salah satu zat warna reaktif yang umum digunakan dalam industri tekstil adalah zat warna procion red.

Zat warna procion red memiliki nama kimia kloro-1,3,5-triazine ( $C_{19}H_{10}Cl_2N_6S_2Na_2O_7$ ) atau C.I reactive dye 2. Secara umum, struktur zat warna azo memiliki satu atau lebih gugus azo ( $-N=N-$ ) yang bertindak sebagai kromofor untuk menghasilkan warna pada area cahaya tampak (Kamenická, 2024). Gugus azo pada struktur ini umumnya juga berikatan dengan cincin naftalena ataupun benzena dan memiliki kelarutan yang tinggi di dalam air karena adanya kehadiran gugus lateral seperti hidroksil ( $-OH$ ) dan *sulfonate* ( $-SO_3^-$ ) (Brillas & Oliver, 2024). Struktur yang dimiliki zat warna procion red ini berpotensi untuk mencemari danau dan sungai yang menyebabkan menurunnya estetika perairan. Selain itu, zat warna jenis ini juga berdampak berbahaya bagi hewan dan manusia

yang dapat mengakibatkan efek ruam kulit, alergi, dan eksim (Tao & Wang, 2023) karena bersifat karsinogenik (Da Cruz Severo *et al.*, 2020). Dampak negatif lain juga dilaporkan bahwasannya zat warna jenis azo terkhususnya zat warna procion red sukar untuk didegradasi karena memiliki berat molekul yang tinggi (615,33 g/mol) (Bera & Tank, 2021).

Beberapa metode pengolahan limbah zat warna sudah dilakukan seperti koagulasi-flokulasi, elektrokoagulasi, bioremediasi, metode membran, dan fotodegradasi. Berkaitan dengan hal tersebut, metode fotodegradasi dianggap sebagai metode yang efektif untuk degradasi limbah zat warna karena biayanya yang murah dan tidak menghasilkan produk samping dalam prosesnya seperti metode koagulasi-flokulasi dan elektrokoagulasi (Agustina *et al.*, 2020). Hal tersebut juga didukung oleh penelitian Puspitarum *et al.*, (2025) bahwasannya metode fotodegradasi dengan komposit  $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$  memiliki kemampuan untuk mendegradasi zat warna metilen biru hingga 98% dengan penyinaran cahaya ultraviolet selama 120 menit. Fotodegradasi merupakan metode pengolahan limbah yang melibatkan katalis dan interaksi sumber cahaya untuk mengurai molekul organik limbah menjadi karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (Suliman *et al.*, 2024). Proses fotodegradasi ini terdiri dari dua reaksi diantaranya oksidasi dari lubang yang dihasilkan dari cahaya dan reduksi dari elektron yang dihasilkan dari cahaya (Ali *et al.*, 2024).

Senyawa  $\text{TiO}_2$  menjadi salah satu katalis yang sudah banyak diteliti untuk terlibat dalam penguraian polutan organik karena sifatnya yang stabil, murah, mempunyai kemampuan katalis yang tinggi, dan tidak beracun (Wahyuni *et al.*, 2024). Senyawa  $\text{TiO}_2$  memiliki tiga fase kristal dengan nilai *bandgap* yang berbeda yaitu anastase 3,2 eV, brookite 3,1–3,4 eV, dan rutile 3,0 eV. Hal ini menunjukkan bahwasannya nilai *bandgap* dari  $\text{TiO}_2$  hanya berpotensi sebagai katalis pada daerah sinar ultra-violet sehingga membatasi efektivitas katalis  $\text{TiO}_2$  jika diaplikasikan di bawah sinar *visible* (Safeen *et al.*, 2023). Selain itu,  $\text{TiO}_2$  memiliki potensi rekombinasi pasangan *electron/hole* ( $e^-/h^+$ ) yang tinggi (Kumar *et al.*, 2023) dan pengaplikasiannya dalam ukuran nano yang cukup sukar untuk pengolahan limbah cair.

Berdasarkan permasalahan tersebut, komposit dapat menjadi salah satu cara untuk meningkatkan efektivitas  $\text{TiO}_2$  sebagai katalis. Salah satu senyawa yang dapat digunakan untuk membuat komposit dengan  $\text{TiO}_2$  berupa senyawa  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ . Senyawa  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$  merupakan salah satu jenis spinel ferrit  $\text{MFe}_2\text{O}_4$  ( $\text{M} = \text{Ca}, \text{Mg}, \text{Zn}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Cd}, \text{Mn}$ ) yang memiliki permukaan area yang luas, bersifat superparamagnetik, memiliki magnetisasi yang tinggi (de Andrade et al., 2021), dan memiliki nilai band gap  $< 2$  eV sehingga dapat memperkecil nilai bandgap dari  $\text{TiO}_2$  (Rahmayeni et al., 2021). Menurut Abdel-Wahed et al., (2020) bahwa mengkomposit  $\text{TiO}_2$  dengan magnetik ferrit pada konsentrasi tinggi dapat memicu terjadinya peningkatan rekombinan pasangan elektron/hole ( $e^-/h^+$ ) dan kecenderungan membentuk agglomerasi. Untuk itu, diperlukan tambahan senyawa lain untuk mengatasi potensi terjadinya rekombinasi elektron dengan penambahan senyawa kitosan-alginat. Kitosan-alginat termasuk polimer alami polikationik dan polianionik yang dapat menghasilkan kompleks polielektrolit (PEC) karena adanya interaksi antara gugus karboksil dari alginat dan gugus amino dari kitosan. Pembentukan kompleks polielektrolit ini dapat meningkatkan sisi aktif permukaan adsorben (Purnaningtyas et al., 2020).

Berdasarkan latar belakang tersebut maka pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit  $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}/\text{TiO}_2$  yang digunakan untuk mendegradasi larutan zat warna procion red. Karakterisasi komposit dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*, *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)*, dan *Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)*. Optimasi degradasi menggunakan metode *Respon Surface Methodology (RSM)* sebagai pemodelan analisis mengenai pengaruh komposit terhadap kondisi tertentu dengan menggunakan variabel bebas berupa konsentrasi zat warna procion red, derajat keasaman (pH), dan waktu kontak.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana keberhasilan dari sintesis komposit  $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}/\text{TiO}_2$ ?

2. Bagaimana hasil optimasi fotodegradasi menggunakan metode RSM dengan variasi konsentrasi zat warna *procion red*, derajat keasaman (pH), dan waktu kontak?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Melakukan sintesis komposit  $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}/\text{TiO}_2$  dan melakukan karakterisasi hasil sintesis menggunakan XRD, VSM, SEM, dan UV-Vis DRS.
2. Menentukan optimasi fotodegradasi  $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{Kitosan-Alginat}/\text{TiO}_2$  terhadap zat warna *procion red* dengan metode RSM dengan variasi konsentrasi zat warna *procion red*, derajat keasaman (pH), dan waktu kontak.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan yang lebih luas dalam pemilihan komposit yang efektif untuk pengaplikasian fotodegradasi limbah zat warna.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Wahed, M. S., El-Kalliny, A. S., Badawy, M. I., Attia, M. S., & Gad-Allah, T. A. (2020). Core Double-Shell MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>@RGO@TiO<sub>2</sub> Superparamagnetic Photocatalyst for Wastewater Treatment Under Solar Light. *Chemical Engineering Journal*, 382(September 2019), 122936.
- Aguilar, M. I., Liorens, M., Ortuno, J. F., Meseguer, V. F., Perez-Marin, A. B., & Cases, A. (2023). Use of the Box–Behnken Experimental Design for the Optimization of Orange II (Acid Orange 7) Adsorption on Aloe vera. *Sustainability*, 15(15727), 1-22.
- Agustina, T. E., Melwita, E., Bahrin, D., Gayatri, R., & Purwaningtyas, I. F. (2020). Synthesis of Nano-Photocatalyst ZnO-Natural Zeolite to Degrade Procion red. *International Journal of Technology*, 11(3), 472–481.
- Agustina, T. E., Teguh, D., Rismawati, R., & Patika, Y. (2019). Study on Fenton Reaction for Degradation of Procion red Synthetic Dyes. *AIP Conference Proceedings*, 2085(March 2019).
- Ahuja, P., Ujjain, S. K., Kanojia, R & Attri, P. (2021). Transition Metal Oxides and Their Composites for Photocatalytic Dye Degradation. *Journal of Composites Science*, 5(82), 1-27.
- Alaizeri, Z. A. M., Alhadlaq, H. A., Aldawood, S., & Ahamed, M. (2024). Chemical Synthesis, Characterization, and Anticancer Potential of CuO/ZrO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>/RGO Nanocomposites Against Human Breast (MCF-7) Cancer Cells. *RSC Advances*, 14(51), 37697–37708.
- Alharbi, M., Althubayani, H., Alarfaj, E., Dastan, D., Timoumi, A., Tao, L., Albetran, H., & Țălu. (2024). Photocatalytic Performances of Dip-Coated Ag Doped TiO<sub>2</sub> Thin Films. *Archives of Metallurgy and Materials*, 69(3), 987–996.
- Ali, M. A., Maafa, I. M., & Qudsieh, I. Y. (2024). Photodegradation of Methylene Blue Using a UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Irradiation System. *Water (Switzerland)*, 16(3).
- Alqarni, L. S., Algethami, J. S., EL Kaim Billah, R., Alorabi, A. Q., Alnaam, Y. A., Algethami, F. K., Bahsis, L., Jawad, A. H., Wasilewska, M., & López-Maldonado, E. A. (2024). A Novel Chitosan-Alginate@Fe/Mn Mixed Oxide Nanocomposite for Highly Efficient Removal of Cr (VI) From Wastewater: Experiment and Adsorption Mechanism. *International Journal of Biological Macromolecules*, 263(December 2023).
- Ashok, A., Beula, R. J., Magesh, R., Unnikrishnan, G., Paul, P. M., Bennet, H. C., Joselin, F & Abiram, A. (2024). Bandgap Engineering of CuO/TiO<sub>2</sub> Nanocomposites and Their Synergistic Effect on The Performance of Sye-Sensitized Solar Cells. *Optical Materials*, 148(2024), 114896.
- Awang, H., & Talalah, N. I. (2019). Synthesis of Reduced Graphene Oxide-Titanium (rGO-TiO) Composite Using a Solvothermal and Hydrothermal Methods and Characterized via XRD and UV-Vis. *Natural Resources*, 10(02),

17–28.

- Dariz, M. A., Marmentini, J. E. Clpani, G. L., Fiori, M. A., Recco, A. A. C., Alves, O. C., Fidelis, Z. M & Brackmann, R. (2025). Exploring The Unique Pychocehmical Properties of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@TiO<sub>2</sub>-Nd Magnetic Nanocomposites Synthesized via Hydrothermal Coprecipitation. *Journal of Magentism and Magnetis Materials*, 614(2025), 172752.
- De Moraes, N. P., Silva, F. N., da Silva, M. L. C. P., Campos, T. M. B., Thim, G. P., & Rodrigues, L. A. (2018). Methylene Blue Photodegradation Employing Hexagonal Prism-Shaped Niobium Oxide as Heterogeneous Catalyst: Effect of Catalyst Dosage, Dye Concentration, and Radiation Source. *Materials Chemistry and Physics*, 214, 95–106.
- Dong, J., Li, P., Ji, X., Kang, Y., Yuan, X., Tang, J., Shen, B., Dong, H & Lyu, H. (2023). Electrons of d-orbital (Mn) and p-orbital (N) Enhance The Photocatalytic Degradation of Antibiotics by Biochar While Maintaining Biocompatibility: A Combined Chemical and Biological Analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 451(2023), 1-15.
- Balakrishnan, A., Suryaa K, V., Marskole, R., Chinthala, M., & Kumar, A. (2024). Degradation of Tetracycline Via Peroxymonosulfate Activation by Highly Reusable Titanium Dioxide/Impregnated Zirconium-Chitosan Beads. *Journal of Environmental Management*, 370(September), 122514.
- Bemis, R., Nelson, Ngatijo, Nurjanah, S., & Maghviroh, N. (2019). Sintesis Dan Karakterisasi Katalis ZnO/Karbon Aktif dan Aplikasinya pada Degradasi Rhodamin B. *Chempublish Journal*, 4(2), 101–113.
- Bera, A., & Mande, S. (2025). Modeling and Optimization of Power Distribution Network Using Response Surface Methodology for Power Integrity Analysis. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 190(August 2024), 155644.
- Bera, S. P., & Tank, S. K. (2021). Microbial Degradation of Procion red by Pseudomonas stutzeri. *Scientific Reports*, 11(1), 1–12.
- Brillas, E., & Oliver, R. (2024). Development of Persulfate-Based Advanced Oxidation Processes to Remove Synthetic Azo Dyes from Aqueous Matrices. *Chemosphere*, 355(January), 141766.
- Cahyono, K., Nurcahyani, E., Wahyuningsih, S., Irawan, B & Sumardi. (2021). Imobilisasi Bakteri Asam Laktat dengan Menggunakann Alginat. *Jurnal Ilmiah Farmasi Farmasyifa*, 4(1), 33-40.
- Da Cruz Severo, E., Dotto, G. L., Silvestri, S., Dos Santos Nunes, I., Da Silveira Salla, J., Martinez-De La Cruz, A., Da Boit Martinello, K., & Foletto, E. L. (2020). Improved Catalytic Activity of EDTA-Modified BiFeO<sub>3</sub>powders for Remarkable Degradation of Procion red by Heterogeneous Photo-Fenton Process. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(4), 103853.
- De Almeida, E. J. R., Halfeld, G. G., Reginatto, V., & de Andrade, A. R. (2021). Simultaneous Energy Generation, Decolorization, and Detoxification of The



- Azo Dye Procion red MX-5B In A Microbial Fuel Cell. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 106221.
- De Andrade, F. V., de Oliveira, A. B., Siqueira, G. O., Lage, M. M., de Freitas, M. R., de Lima, G. M., & Nuncira, J. (2021). MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticulate Obtained by Microwave-Assisted Combustion: An Efficient Magnetic Catalyst for Degradation of Malachite Green Cationic Dye In Aqueous Medium. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5).
- Dharmayanti, N., Mulfida, N., Permadi, A., Asriani, Salampessy, R. B., Nurbani, Z & Indriati, N. (2021). Penambahan Konsentrasi Alginat dari *Sargassum Polycystum* untuk Formulasi Krim Lulur. *Jurnal Akuatek*, 2(2), 81-94.
- Dhiman, P., Kumar, A., Shekh, M., Sharma, G., Rana, G., Vo, D. V. N., AlMasoud, N., Naushad, M., & ALothman, Z. A. (2021). Robust Magnetic ZnO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Z-Scheme Heterojunctions With In-Built Metal-Redox for High Performance Photo-Degradation of Sulfamethoxazole and Electrochemical Dopamine Detection. *Environmental Research*, 197(February), 111074.
- Elhaddad, E., & Al-fawwaz, A. T. (2023). Synthesis, Characterization And Mechanism of MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>@G-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Nanocomposite as An Effective Photocatalyst for The Generation of Hydrogen and Organic Contamination Degradation. *Egyptian Journal of Petroleum*, 32(2), 41–46.
- Fahira, C. A., Damayanti, D. R., Febrianti, A., & Lestari, R. A. S. (2021). Adsorb Red Procion in Batik Waste Used Baggase Adsorbent. *AIP Conference Proceedings*, 2349(June 2021).
- Fajarwati, F. I., Kurniawan, M. A., Fatima, M. N., & Fikrina, R. (2018). Penghilangan Zat Warna Menggunakan Kompleks Polielektrolit Kitosan-Alginat. *JPSCR : Journal of Pharmaceutical Science and Clinical Research*, 3(1), 36.
- Farooq, M. H., Aslam, I., Shuaib, A., Anam, H. S., Rizwan, M., & Kanwal, Q. (2019). Band Gap Engineering for Improved Photocatalytic Performance of CuS/TiO<sub>2</sub> Composites Under Solar Light Irradiation. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 33(3), 561–571.
- Fatmawati, A. H., Adawiyah, D. R., & Wulandari, N. (2021). Optimasi Formula Produk Gel Oles Berbahan Dasar Biji Selasih Menggunakan Teknik Response Surface Methodology. *AgriTECH*, 41(3), 294.
- Fauzi, R., Widyasanti, A., Dwiratna Nur Perwitasari, S., & Nurhasanah, S. (2022). Optimasi Proses Pengeringan terhadap Aktivitas Antioksidan Bunga Telang (*Clitoria Ternatea*) Menggunakan Metode Respon Permukaan. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 23(1), 9–22.
- Feng, L., Liu, Y., Shan, Y., Yang, S., Wu, L & Shi, T. (2024). Degradation of Ciprofloxacin by Magnetic CuS/MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Catalysts Efficiently Activated Peroxymonosulfate. *Journal of Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 161(2024), 105533.
- Fitriyani, Y. O., Septiani, U., Wellia, D. V., Putri, R. A., & Safni, S. (2017).

- Degradasi Zat Warna Direct Red-23 Secara Fotolisis dengan Katalis C-N-codoped TiO<sub>2</sub>. *Jurnal Kimia VALENSI*, 3(November), 151–159.
- Furqonita, A., Aritonang, A. B & Wibowo, M. A. (2021). Sintesis Tio<sub>2</sub> Terdoping Bi<sup>3+</sup> Dan Uji Aktivitas Fotokatalisis Antibakteri E.Coli dengan Bantuan Sinar Tampak. *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*, 4(2), 69-80.
- Gautam, A., Das, S & Ahmad, I. (2024). Bandgap Engineering Throught Calcium Addition in (Mg, Co, Ni, Cu, Zn) O High Entropy Oxide for Efficient Photocatalysis. *Surfaces and Interfaces*, 46(2024), 1-11.
- Ghaffar, D. N., Arman, M. M., El-Dek, S. I., & Ramadan, R. (2024). Studying The Preparation, Characterization, and Physical Properties of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, TiO<sub>2</sub>, and NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> Nanocomposite. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 130(4).
- Grzegórska, A., Ofoegbu, J. C., Cervera-Gabalda, L., Gómez-Polo, C., Sannino, D., & Zielińska-Jurek, A. (2023). Magnetically Recyclable TiO<sub>2</sub>/MXene/MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Photocatalyst for Enhanced Peroxymonosulphate-Assisted Photocatalytic Degradation of Carbamazepine and Ibuprofen Under Simulated Solar Light. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(5).
- Hamza, M. A., Zidan, A., E-Rahman, S. A., El-Naggar, A. M & Abdu-Gamra, Z. M. (2024). Effect of Thiophene-Hydrazinyl-Thiazole Derivative as an Effective Dye Sensitizer and Performance Enhancer of TiO<sub>2</sub> toward Rhodamine B Photodegradation. *Chemosphere*, 365 (2024), 1-14.
- Hermosilla, E., Seabra, A. B., Louremco, I, M., Ferreira, F. F., Tortella, G & Rubilar, O. (2021). Highly Sensitive Oxidation of MBTH/DMAB by MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanopartciles as A Promising Method for Nnaozyme-based Sensor Development. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 621(2021), 126585.
- Hu, Q., Ren, T., Xu, L., Chen, J., Xiao, Y., & He, P. (2021). Constructing Carbon Microspheres/MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Composite Photocatalysts for Enhanced Photocatalytic Activity Under Visible Light Irradiation. *Inorganic Chemistry Communication*, 134(2021), 108947.
- Husain, S., Suryajaya, S., Haryanti, N. H., Manik, T. N., Rodiansono, R., Hutasoit, S. M., Riyanto, A., & Sudarningsih, S. (2019). Potensi Nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@C dari Bijih Besi sebagai Pendeteksi Kadar Glukosa. *Positron*, 9(2), 44.
- Islam, A., Rathour, R., Kumar, B., Das, A., & Kumar, N. (2025). Progress In Engineering Science Optimizing and Predicting Energy at Break of Dual-Sheath Single-Core Hybrid Yarn Using Box Behnken Design. *Progress in Engineering Science*, 2(1), 100044.
- Javanbakht, V., & Ghoreishi, S. M. (2017). Application Of Response Surface Methodology for Optimization of Lead Removal from An Aqueous Solution by A Novel Superparamagnetic Nanocomposite. *Adsorption Science and*

*Technology*, 35(1–2), 241–260.

- Jiang, X., Tan, Z., Jiang, G., Liu, C., Gao, G., & Liu, Z. (2024). Novel Magnetic MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-Decorated Graphite-Like Porous Biochar as a Heterogeneous Catalyst for Activation of Peroxydisulfate Toward Degradation of Rhodamine B. *ACS Omega*, 9(6), 6455–6465.
- Jumardin, Maddu, A., Santoso, K., & Isnaeni. (2022). Karakteristik Sifat Optik Nanopartikel Karbon (Carbon Dots) dengan Metode Uv-Vis Drs (Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy). *JFT: Jurnal Fisika Dan Terapannya*, 9(1), 1–15.
- Kamenická, B. (2024). Chemical degradation of azo dyes using different reducing agents: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 61(April).
- Kanani, N., Wardhono, E. Y., Adiwibowo, M. T., Pinem, M. P., Mardalia, Demustila, H., Farhan, M & Anwari, R. (2023). Ekstraksi Kitosan Berbasis Cangkang Keong Mas (*Pomcea canaliculata*) Menggunakan Gelombang Ultrasonikasi. *Jurnal Integrasi Proses*, 12(2), 73-80.
- Karthikeyan, C., Tharmalingam, N., Varaprasad, K., Mylonakis, E & Yallapu, M. M. (2021). Biocidal and Biocampataible Hybrid Nanomaterials from Biomolecule Chitosan, Alginate, and ZnO. *Carbohydrate Polymers*, 274(2021), 118646.
- Kumar, A., Raorane, C. J., Syed, A., Bahkali, A. H., Elgorban, A. M., Raj, V., & Kim, S. C. (2023). Synthesis of TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>/PAni, TiO<sub>2</sub>/PAni/GO Nanocomposites and Photodegradation of Anionic Dyes Rose Bengal and Thymol Blue in Visible Light. *Environmental Research*, 216(P3), 114741.
- Kumar, J. V., Karthika, D., Rosaiah, P., Devanesan, S., Mythili, R., Dhananjaya, M., & Joo, S. W. (2024). Fabrication Of SnO<sub>2</sub>/nGO Hybrid Nanocomposite as An Effective Photocatalyst for Binary Dye Degradation Under Sunlight Illumination. *Process Safety and Environmental Protection*, 188(May), 398–405.
- Kumar, P., Pathak, S., Singh, A., Jain, K., Khanduri, H., Wang, L., Partridge, J., & Pant, R. P. (2023). Effect of Post Annealing Process on Structural, Magnetic and Spin Dynamics Properties of MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles. *Materials Today: Proceedings*, xxxx, 2–7.
- Lingamdinne, L. P., Vemula, K. R., Chang, Y., Yang, J., Karri, R. R & Koduru, J. R. (2020). Process Optimization and Modeling of Lead Removal Using Iron Oxide Nanocomposite Generated from Bio-Waste Mass. *Chemosphere*, 243(2020), 125257.
- Liu, J., Sun, R., Wu, Y & Xing, S. (2023). Regeneration of Granular Activated Carbon Adsorbent by Peroxymonosulfate Activation with MnO<sub>2</sub>/MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. *Journal of Water Process Engineering*, 56(2023), 104567.
- Mallakpour, S., Radfar, Z & Feiz, M. (2022). Optimization of Chitosan/Tannic Acis@ZnFe Layered Double Hydroxide Bionanocomposite Film for Removal of Reactive Blue 4 Usig a Response Surface Methodology. *International*

*Journal of Biological Macromolecules*, 209(2022), 747-762.

- Morales-Urrea, D., Contreras, E. M., & López-Córdoba, A. (2024). Assessment of Potato Surpluses as Eco-Friendly Adsorbent for Removal of Orange II: Optimization and Kinetic Modelling at Different pH Values. *Scientific Reports*, 14(1), 1–14.
- Morawski, F. de M., Caon, N. B., Sousa, K. A. P., Faita, F. L., Parize, A. L., & Jost, C. L. (2021). Hybrid Chitosan-Coated Manganese Ferrite Nanoparticles for Electrochemical Sensing Of Bifenox Herbicide. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 106298.
- Moukachi, O., Lamouri, R., Salmani, E., Hamedoun, M & Benyoussef, A. (2021). Origin of The Magnetic Properties of  $MnFe_2O_4$  Spinel Ferrite: Ab Initio and Monte Carlo Simulation. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*., 5333(2021), 1-6.
- Muttaqin, R. (2023). Pengembangan Buku Panduan Teknik Karakterisasi Material : X-ray Diffractometer (XRD) Panalytical Xpert3 Powder. *Indonesian Journal of Laboratory*, 1(1), 9.
- Nandiyanto, A. B. D., Zaen, R., & Oktiani, R. (2020). Correlation Between Crystallite Size and Photocatalytic Performance of Micrometer-Sized Monoclinic  $WO_3$  Particles. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(1), 1283–1296.
- Natalia, G., Budi, E., & Sugihartono, I. (2023). Analisis Morfologi Dan Komposisi Lapisan Komposit Ni-Aln Dengan Metode Elektrodposisi Menggunakan Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS). *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, XI, 97–102.
- Nikolaus, S., Bano, M., Levis, L.R., Chamdra, Y. S. (2020). *Fruitset Sains : Jurnal Pertanian Agroteknologi*. 9(1), 62.
- Obaidullah, M., Bahadur, N. M., Al Nahid, M. A., Siddiquey, I. A., Furusawa, T., Sato, M., & Suzuki, N. (2024). Microwave Assisted Sol Gel Synthesis of  $Fe_2O_3@TiO_2$  Core–Shell Nanocomposite for The Enhanced Photocatalytic Activity Under Visible Light and The Investigation of Their Optical Properties. *Advanced Powder Technology*, 35(12), 104714.
- Oramahi, H. A. (2016). Optimasi dengan RSM dan Rancangan Percobaan (Aplikasi dengan SPSS dan SAS). *Gava Media*, I(September 2016), 212.
- Ozdemir, E. T., Yildirim, S., Ozler, B., Dikici, T., Erol, M., & Yurddaskal, M. (2023). Effects of Annealing on The Structural and Magnetic Properties of Flame Spray Pyrolyzed  $MnFe_2O_4$  Nanoparticles. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 20(6), 3775–3785.
- Pereira, M. A., Pereira, K. R., Ferreira, G. M. D., de Paiva, P. R. P., Guimarães, J. B., Valadão, D. R. B., Arantes, L. S., & Fonseca, C. S. (2024). Evaluation of Materials Derived From Rice Husk as Adsorbents Of Cationic and Anionic Dyes. *Ceramica*, 70(1), 1-14.
- Purnaningtyas, M. A. K., Sudiono, S., & Siswanta, D. (2020). Synthesis of

- Activated Carbon/Chitosan/Alginate Beads Powder as An Adsorbent for Methylene Blue and Methyl Violet 2b Dyes. *Indonesian Journal of Chemistry*, 20(5), 1119–1130.
- Puspitarum, D. L., Istiqomah, N. I., Larasati, D. A., Asri, N. S., Angel, J., Kusumaatmaja, A & Suharyadi, E. (2025). Novel Magnetically Recoverable  $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$  Nanocomposites Synthesized Using Green Route for Photocatalytic Degradation of Methylene Blue. *Water Cycle* 6, 6(2025), 49–60.
- Rahmawati, I., Arief Fachri, B., Nurtsulutsiyah, N., Hendrikson Manurung, Y., Reza, M., Palupi, B., Fitri Rizkiana, M., & Wika Amini, H. (2022). Penerapan Response Surface Methodology dalam Optimasi Kondisi Proses Ekstraksi Antosianin pada Limbah Kulit Kakao dengan Metode Maserasi Menggunakan Pelarut Etanol. *JC-T (Journal Cis-Trans): Jurnal Kimia Dan Terapannya*, 6(1).
- Rahmayeni, R., Oktavia, Y., Stiadi, Y., Arief, S., & Zulhadjri, Z. (2021). Spinel Ferrite of  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$  Synthesized in Piper Betle Linn Extract Media and Its Application as Photocatalysts and Antibacterial. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 42(3), 465–474.
- Ratnawati, S. E., Ekantari, N., Pradipta, R. W., & Paramita, B. L. (2018). Aplikasi Response Surface Methodology (RSM) pada Optimasi Ekstraksi Kalsium Tulang Lele The Application of Response Surface Methodology (RSM) on the Optimization of Catfish Bone Calcium Extraction. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 20(1), 41–48.
- Rohmawati, L., Alfina, F. T., Pratiwi, D. R. P., Pratama, A. A., Muadhif, F. I., Setyarsih, W., Munasir, M., Nerito, P., & Darminto, D. (2024). Effect of Bleaching Containing Polydopamine and Chitosan-Modified  $\text{TiO}_2$  on the Level of Brightness and Microhardness of Teeth. *Current Applied Science and Technology*, xx(x), e0260818.
- Rompis, J., Aritonang, H., & Pontoh, J. (2020). Sintesis Nanokomposit Zno-Mgo dan Analisis Efektivitas sebagai Antibakteri. *Chemistry Progress*, 13(1), 56–62.
- 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  $\text{ZnO}@\text{Fe}_3\text{O}_4$  Chitosan–Alginate Nanocomposite Synthesized Using Camellia Sinensis Extract. *Journal of Environmental Management*, 303(2022), 114128.
- Safeen, K., Ullah, R., Safeen, A., Zulfiqar, Kabeer, M., Khan, R., Ullah, H., Zaman, A., Shafique Ahmad, K., Ullah Shah, M. Z., Elansary, H. O., Mohamed Moussa, I., Casini, R., & Mahmoud, E. A. (2023). Structure Phase-Dependent Dielectric and Photodegradation Properties of Co-Doped  $\text{TiO}_2$  Nanoparticles Synthesized via Co-Precipitation Route. *Journal of Saudi Chemical Society*, 27(5), 101711.
- Safira, V. R. N., Fitrilawati, F., & Syakir, N. (2023). Perbandingan Pendekatan

- Fungsi Gauss Dan Fungsi Lorentz Pada Dekomposisi Pola Xrd Oksida Grafena dan Oksida Grafena Tereduksi. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 12(01), 34.
- Senadi, B., Suryasaputra, D., & Ristianti, D. (2014). Fotodegradasi Zat Warna Tekstil dengan Katalis  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$ . *Prosiding SNIJA, December 2017*.
- Setiawan, O., & Pradipta, T. (2024). Penggunaan Metode Response Surface Methodology Box Behnken Untuk Pemodelan dan Optimasi Proses Fenton pada Pengolahan Limbah Cair Home Industri Sarung Tenun Tradisional Medangan Gresik. *Metana: Media Komuniaksi Rekayasa Proses dan Teknologi Tepat Guna*, 20(2), 97–107.
- Sharma, A., Dipesh, Srivastava, A. K & Raina, S. (2024). Microstructural, Dielectric, Electrical, Electromagnetic, and Magnetic Property Enhancements in  $\text{GdIG/TrIG/Mn}_{0.2}\text{Co}_{0.3}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  Ferrites Composites for Electronic Devices Application. *Nano Structures & Nano-Objects*, 40 (2024), 101331.
- Soleiman-Gorgani, A., Al-Sabahi, J., Nejad, S. A. T., Eydari, M., Al-Abri, M & Namaeighasemi, A. (2023). Visible-Light-Driven Super-Active Sn and GO Single- and Sn/Cu Co-doped Nanophotocatalysts for Phenol Degradation: Thin-Film Printability, Thermal Stability, and Cytotoxicity Assay. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 120(2023), 514-528.
- Somasundaram, A. J., & Lydia, I. S. (2024). Unique Magnetically Separable  $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{HAP}$  Nanocomposite Photocatalyst for the Removal of Dye Pollutants. *Oriental Journal Of Chemistry*, 40(4), 952–965.
- Souza, F. C., Bellato, C. R., Neto, J. D. M., Ferreira, S. O & de Araujo, E. N. D. (2024). Preparation and Evaluation of Magnetic Iron Oxide-MgCeAl Lamellar Composite- $\text{TiO}_2$  in The Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Dye. *Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 691(2024), 1-12.
- Suliman, Z. A., Mecha, A. C & Mwasiagi, J. I. (2024). Effect of  $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$  Nanopowder Synthesis Method on Visible Light Photocatalytic Degradation of Reactive Blue Dye. *Heliyon*, 10(2024), 1-13.
- Suprihatin, I. E., Sibarani, J., Sulihingtyas, W. D., & Ariati, K. (2019). Photodegradation of Remazol Brilliant Blue Using  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  Intercalated Bentonite. *Journal of Physics: Conference Series*, 1341(3).
- Tao, J., Liu, Y., Li, Y., Xie, X., Feng, L., Yang, S., & Shan, Y. (2023). Magnetic  $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{MoS}_2$  Nanocomposites Synthesis for Rapid Degradation of Sulfamethoxazole by Activated Peroxymonosulfate. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 146(December 2022), 104777.
- Tebriani, S. (2019). Analisis Vibrating Sample Magnetometer (VSM) Pada Hasil Elektrodeposisi Lapisan Tipis Menggunakan Aruscontinue Direct Current. *Natural Science Journal*, 59(1), 722-730.
- Tjahjanti, P. H. (2018). Buku Ajar Teori dan Aplikasi Material Komposit dan

Polimer.UMSIDA Press.

- Utami, I., Utami, I., Mardiah, Amalia, L., & Aminah, S. (2023). Optimasi Minuman Serbuk Instan Antiobesitas Menggunakan Metode Response Surface Methodology (RSM) Berbasis Rosela (*Hibiscus sabdariffa* 1). *Jurnal Agroindustri Halal*, 9(2), 206–217.
- Wahyuni, E. T., Annur, S., Lestari, N. D., & Mudasir, M. (2024). Results In Engineering Conversion of Iron Rusty Waste Into Fe Dopant of TiO<sub>2</sub> to Increase Its Photocatalytic Activity Under Visible Light for Photodegradation Of Rhodamine-B. *Results in Engineering*, 22(September 2022), 102296.
- 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.
- Yazi, H., Zobeidi, A., Ali, D., Tidjani, E., Moussaoui, Y., Ghernaout, D., & Elboughdiri, N. (2024). Insight into Adsorption Mechanism, Optimization and Modeling of Cationic Methylene Blue Dye Using a Chitosan/Alcime Clay Composite: Box Behnken Design Application. *Journal of Propulsion Technology*, 45(4), 475-493.
- Yu, P., Guo, Z., Wang, T., Wang, J., Guo, Y., & Zhang, L. (2024). Elucidating The Photodegradation Mechanism of Octylisothiazolinone and Dichlorooctylisothiazolinone in Surface Water: An In-Depth Comprehensive Analysis. *Science of The Tital Environment*, 946 (2024), 174185.
- Zhang, Y., Chen, Q., Qin, H., Huang, J & Yu, Y. (2022). Identification of Reactive Oxygen Species and Mechanism on Visible Light-Induced Photosensitized Degradation of Oxytetracycline. *International Journal pf Environemntal Research and Public Health*, 19 (15550), 1-11.
- 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.