

**SINTESIS KOMPOSIT Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/KARBON AKTIF@NiO UNTUK ADSORPSI  
DAN DEGRADASI ZAT WARNA *CONGO RED***

**SKRIPSI**

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



**Oleh :**

**Riska Febrianti Wulandari**

**08031382025082**

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

**2024**

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Riska Febrianti Wulandari (08031382025082) dengan judul "Sintesis Komposit  $Fe_3O_4$ /Karbon Aktif@NiO untuk Adsorpsi dan Degradasi Zat Warna Congo Red" telah diseminarkan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 18 Juli 2024 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 18 Juli 2024

Ketua :

1. Prof. Dr. Muharal, M.Si  
NIP. 196903041994122001

Sekretaris :

2. Dr. Muhammad Said, M.T.  
197011152000122004

Pembimbing :







1. Fahma Riyanti, M. Si  
NIP. 197204082000032001

2. Prof. Dr. Poedji Leekitowati H, M.Si  
NIP. 196808271994022001

Penguji :

1. Dr. Addy Rachmat, M.Si  
NIP. 197409282000121001

2. Prof. Dr. Elifita, M.Si  
NIP. 196903261994122001

(  )  
(  )  
(  )  
(  )  
(  )  
(  )

Mengetahui,

Dekan FMIPA



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

Ketua Jurusan Kimia



Prof. Dr. Maharal, M.Si.  
NIP. 196903041994122001

**HALAMAN PENGESAHAN**

**SINTESIS KOMPOSIT  $F_{e_3O_4}$ /KARBON AKTIF@NIO UNTUK ADSORPSI  
DAN DEGRADASI ZAT WARNA CONGO RED**

**SKRIPSI**

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

**Oleh :**

**RISKA FEBRIANTI WULANDARI**

**08031382025082**

**Indralaya, 18 Juli 2024**

**Menyetujui,**

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**



**Fekma Rhyanti, M.Si.  
NIP. 197204082000072001**



**Prof. Dr. Poedji Loekitawati H, M.Si.  
NIP. 195906271994032001**

**Mengetahui,**

**Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Prof. Hermangyah, S.Si, M.Si, Ph.D.  
NIP. 197111191997021001**

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Riska Febrianti Wulandari  
NIM : 08031382025082  
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/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, 18 Juli 2024

Penulis



  
Riska Febrianti Wulandari  
NIM. 0803138205082

## HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama Mahasiswa : Riska Febrianti Wulandari  
NIM : 08031382025082  
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia  
Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya "hak bebas royalti non-eksklusif" (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: "Sintesis Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Karbon Aktif@NiO untuk Adsorpsi dan Degradasi Zat Warna *Congo Red*". 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.

Indralaya, 18 Juli 2024

Penulis



Riska Febrianti Wulandari

NIM. 08031382025082

## HALAMAN PERSEMBAHAN

“Maka sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya beserta kesulitan itu ada kemudahan.”

(QS. Al-Insyirah: 5-6)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”

(QS. Al-Baqarah: 286)

### **“REST, RISE, REACH”**

Skripsi ini sebagai salah satu bentuk rasa syukurku kepada Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW serta kupersembahkan kepada:

1. Ayah, Ibu, dan Mbak yang selalu mendoakan dan memberikan motivasi serta semangat selama ini.
2. Dosen pembimbing (Fahma Riyanti, M.Si dan Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si).
3. Teman-teman seperjuangan serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan membantu terselesaikannya skripsi ini.
4. Almamaterku (Universitas Sriwijaya).



## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanyalah milik Allah SWT semata, kita memujinya, memohon pertolongan dan ampunan hanya kepada-Nya dan pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Sintesis Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Karbon Aktif@NiO untuk Adsorpsi dan Degradasi Zat Warna *Congo Red*”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains bidang studi kimia pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.

Proses penyusunan skripsi ini tentunya tidak terlepas dari banyaknya rintangan yang datang silih berganti, mulai dari pengerjaan proposal hingga pengolahan data penelitian. Namun dengan keseriusan dan tekad yang kuat dari penulis akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya ibu Fahma Riyanti, M.Si dan ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, saran dan petunjuk kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya yang begitu besar. Terima kasih atas segalanya.
2. Teruntuk Ayah dan Ibu yang paling penulis sayang, terimakasih banyak sudah berjuang sekeras ini hingga sekarang demi menjadikan anakmu ini sarjana. Begitu banyak keringat dan air mata yang tumpah selama ini. Terimakasih banyak selalu mendukung, memberi motivasi, dan memberi semangat agar terus berjuang, yang selalu menomorsatukan pendidikan anak dibanding membangun rumah impian ditengah himpitan ekonomi. Kerja keras tak kenal waktu tak kenal lelah, penulis bangga menjadi anakmu yah, bu. Penulis akan selalu melakukan yang terbaik untuk membanggakan ibu dan ayah, mohon doanya selalu.
3. Teruntuk saudaraku tersayang, terimakasih sudah menjagaku selama ini. Memberikan dorongan semangat dan motivasi untuk terus berjuang. Tanpa kehadiranmu mungkin penulis tak sekuat sekarang, mari bersama-sama mewujudkan impian yang selalu kita bicarakan, ayo berjuang.

4. Keluarga besar penulis yang selalu memberikan semangat dan dukungan untuk penulis. Termasuk kak hafid yang sudah banyak membantu penulis.
5. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Dekan MIPA Universitas Sriwijaya.
6. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
7. Ibu Fahma Riyanti, M.Si selaku dosen Pembimbing Akademik. Terimakasih bu selama 4 tahun ini telah bersedia direpotkan dan meluangkan waktu bagi penulis. Selama ini dengan sabar membimbing penulis dan memberikan arahan terkait apa yang semestinya dilakukan kedepannya. Semoga kelak kebaikan ibu dibalas oleh yang maha kuasa serta ibu diberikan kesehatan dan dipermudah segala urusannya, aamiin.
8. Ibu Prof. Poedji Loekitowati H, M.Si selaku dosen pembimbing tugas akhir. Terimakasih banyak ibu atas bimbingan dan arahannya selama pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi. Semoga kelak kebaikan ibu dibalas oleh yang maha kuasa serta ibu diberikan kesehatan dan dipermudah segala urusannya, aamiin
9. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. dan Ibu Prof. Dr. Elfita, M.Si selaku dosen pembahas. Terimakasih banyak pak dan ibu atas saran dan masukkannya yang sangat bermanfaat dalam penyelesaian penulisan skripsi ini. Semoga kebaikan ibu dan bapak dibalas oleh allah SWT kelak.
10. Bapak Prof. Dr. Hasanuddin, M.Si terima kasih telah banyak membantu dan membimbing selama pelaksanaan PKM dan PIMNAS.
11. Seluruh Dosen FMIPA KIMIA UNSRI yang telah mendidik dan membimbing selama masa kuliah.
12. Kak Chosiin dan Mba Novi selaku Admin Jurusan Kimia yang selalu baik, ramah, sabar dan mau membantu penulis selama perkuliahan hingga lulus. Terimakasih banyak, semoga selalu diberikan kesehatan.
13. Teruntuk teman roommate slebew as fita salah satu teman pertama juga yang penulis kenal dikimia, makasih ya sudah banyak membantu selama ini hampir 3 tahun bareng suka duka bersama. Semangat dan selamat menjalani



kehidupan pasca kampus yaa, *don't ever forget me!!!. See u again* dengan versi yang lebih baik lagi ya.

14. Teman-teman penghuni lab, Erida, mileh, Putri, dan Nilda. Makasih banyak guys, karena bantuan kalian semua ini bisa selesai. Dari awal mengurus surat masuk lab sampai sekarang, tanpa kalian mungkin penulis masih kebingungan. Walaupun hari-hari dipenuhi dengan emosi dan marah-marah, but kalian terbaik guys. Erida yang paling dewasa walau kalau marah menyeramkan. Mileh yang selalu tidak jelas dengan kejametannya. Putri yang selalu marah-marah disaat bentrok dengan mileh. Dan nilda yang selalu kompor saat ada keributan dan request lagu cegil JKT48. Cerita ini bakal tersimpan dengan baik dan abadi untuk dikenang. Jangan pernah asing ya, *see u on top*.
15. Teman-teman syabunn fita, syakira, dinda, lamria, jeje, chindy, fenti, dan silvi terimakasih atas bantuannya selama ini suka duka selama kuliah. Semoga sukses selalu ya diluar sana, jangan lupain kalo pernah berjuang bareng selama kuliah. Semoga kita bisa bertemu lagi dilain kesempatan
16. Seluruh teman-teman angkatan 20 khususnya moli, ipeh, laellia, there, dan yang lain makasih sudah berjuang bersama-sama, kebersamaan, keceriaan, pengalaman dan masih banyak lagi. Semoga kalian sukses diluar sana ya.
17. Adik-adik angkatan 21-23 yang sudah terlibat dalam cerita selama kuliah khususnya adek asuh (aulia, manda, zaskia), riyanti, via, vina, puan, dilla dsb. Semangt terus kuliahnya ya.
18. Teman-teman yang penulis kenal selama kuliah baik dari organisasi ataupun kegiatan yang sama, terimakasih sudah menorehkan tinta kenangan dalam cerita singkat penulis selama kuliah.
19. Teruntuk seluruh member JKT48 yang sudah menghiasi hari-hari monokrom ku jadi lebih berwarna, khususnya oshi satu-satunya Gabriela Abigail Mewengkang as Ella. Makasih banyak ella sudah jadi moodbooster selama ini, kehadiranmu sungguh berarti terlebih selama proses pengerjaan skripsi ini. Beban terasa sedikit berkurang ketika lihat tingkah random dan konyol ella, *thanks u so much ellak*.

20. *Last but not least*, teruntuk pribadi penulis yang telah mau berusaha menyelesaikan skripsi ini hingga selesai dan bersedia untuk terus berjuang. Walaupun selalu mengeluh dan ingin menyerah, tapi pada akhirnya semua bisa terlewati. Suka dan duka sudah dirasakan selama ini dan pada akhirnya mimpi ini sedikit demi sedikit mulai tercapai, *your is the best*. Ini adalah awal perjuangan yang sebenarnya, teruslah berjuang masih banyak mimpi yang harus digapai.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan saran dan masukan dari para pembaca. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Indralaya, 16 Juli 2024



Penulis

## SUMMARY

Riska Febrianti Wulandari : Supervised of Fahma Riyanti, M.Si. and Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si.

Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Science, University of Sriwijaya

xi + 67 pages, 18 figures, 3 tables, 12 attachments.

Liquid waste produced by the textile industry is still a serious problem because its contain dyes which are difficult to decompose in the environment. Congo red is one of dyes liquid waste produced by textile industry. Therefore, it is necessary to develop effective and economical processing technology for wastewater remediation. Dye waste processing can be done using adsorption and degradation methods. In this research,  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{activated carbon@NiO}$  composite was synthesized the adsorption and degradation of Congo red dye. The  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{activated carbon@NiO}$  composite was synthesized using the coprecipitation method to produce a blackish brown powder which has magnetic properties. The synthesized composite was characterized using VSM, XRD, and UV-Vis DRS. The VSM characterization result show a saturation magnetization value of 56.24 emu/g. The results of characterization using XRD have diffraction patterns that are in accordance with JCPDS no.01-076-0956 with angles of  $18.32^\circ$ ,  $30.13^\circ$ ,  $35.46^\circ$ ,  $43.11^\circ$ ,  $44.52^\circ$ ,  $57.03^\circ$ ,  $62.65^\circ$ , and  $62.88^\circ$  and a particle size of 16.06 nm. The result of characterization using UV-Vis DRS show an energy gap of 1.92 eV. The best conditions for congo red dye adsorption using the  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{activated carbon@NiO}$  composite were obtained at pH 5 with a concentration of 20 ppm at a contact time of 120 minutes. The percentage effectiveness of concentration reduction obtained by irradiation was 81.68% and without irradiation was 68.41%.

Keywords : Adsorption, Degradation, Congo Red,  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Activated Carbon@NiO}$  Composite

Citation : 70 (2007-2023)

## RINGKASAN

### SINTESIS KOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /KARBON AKTIF@NiO UNTUK ADSORPSI DAN DEGRADASI ZAT WARNA *CONGO RED*

Riska Febrianti Wulandari : Dibimbing oleh Fahma Riyant, M.Si. dan Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si.

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

xi + 67 halaman, 18 gambar, 3 tabel, 12 lampiran.

Limbah cair hasil produksi industri tekstil masih menjadi permasalahan yang serius karena mengandung zat warna yang sukar untuk terurai di lingkungan. Salah satu limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil adalah *congo red*. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan teknologi pengolahan yang efektif dan ekonomis untuk remediasi air limbah. Pengolahan limbah zat warna dapat dilakukan dengan menggunakan metode adsorpsi dan degradasi. Pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /karbon aktif@NiO untuk adsorpsi dan degradasi zat warna *congo red*. Komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /karbon aktif@NiO disintesis dengan metode presipitasi menghasilkan serbuk berwarna coklat kehitaman yang memiliki sifat magnetik. Komposit hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan VSM, XRD, dan Uv-Vis DRS. Hasil karakterisasi VSM menunjukkan nilai magnetisasi saturasi sebesar 56,24 emu/g. Hasil karakterisasi menggunakan XRD memiliki pola difraksi yang sesuai dengan JCPDS no.01-076-0956 pada sudut  $18,32^\circ$ ,  $30,13^\circ$ ,  $35,46^\circ$ ,  $43,11^\circ$ ,  $44,52^\circ$ ,  $57,03^\circ$ ,  $62,65^\circ$ , dan  $62,88^\circ$  serta ukuran partikel sebesar 16,06 nm. Hasil karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS menunjukkan *energy gap* sebesar 1,92 eV. Kondisi terbaik dari penyerapan zat warna *congo red* menggunakan komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /karbon aktif@NiO diperoleh pada pH 5 dengan konsentrasi 20 ppm pada waktu kontak 120 menit. Presentase efektivitas penurunan konsentrasi yang didapatkan dengan penyinaran sebesar 81,68% dan tanpa penyinaran sebesar 68,41%.

Kata kunci : Adsorpsi, Degradasi, *Congo Red*, Komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /Karbon Aktif@NiO

**Kutipan** : 72 (2007-2023)

## DAFTAR ISI

	Halaman
<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 KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>xi</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	
<b>.....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Limbah Industri Tekstil.....	4
2.2 Zat Warna <i>Congo Red</i> .....	4
2.3 Bambu .....	5
2.4 Karbon aktif .....	6
2.5 Nanopartikel Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> .....	7
2.6 Nanopartikel NiO .....	8
2.7 Komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /karbon aktif@NiO .....	9
2.8 Adsorpsi .....	10
2.9 Fotodegradasi .....	10

2.10	<i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i> .....	12
2.11	<i>X-ray Diffraction (XRD)</i> .....	13
2.13	<i>pH Point of Zero Charge (pHpzc)</i> .....	14
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>16</b>
3.1	Waktu dan Tempat .....	16
3.2	Alat dan Bahan .....	16
3.2.1	Alat.....	16
3.2.2	Bahan.....	16
3.3	Prosedur Kerja.....	16
3.3.1	Pengambilan Sampel Bambu .....	16
3.3.2	Sintesis Karbon Aktif dari Bambu .....	16
3.3.3	Pengujian Kualitas Karbon Aktif dari Bambu .....	17
3.3.4	Sintesis Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /karbon aktif .....	17
3.3.5	Sintesis Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /karbon aktif@NiO.....	18
3.4	Karakterisasi Material .....	18
3.5	Penentuan Konsentrasi Zat Warna <i>Congo Red</i> .....	19
3.6	Penentuan Kondisi Terbaik Penyerapan <i>Congo Red</i> .....	19
3.7	Analisis data .....	20
3.7.1	VSM .....	20
3.7.2	XRD .....	20
3.7.3	UV-Vis DRS .....	21
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>22</b>
4.1	Hasil Sintesis Karbon Aktif .....	22
4.2	Hasil Sintesis Komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif.....	23
4.3	Hasil Sintesis Komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif@NiO .....	24
4.4	Karakterisasi Material .....	24
4.4.1	Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i> Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif, dan Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif@NiO.....	24
4.4.2	Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>X-ray diffraction (XRD)</i> Karbon Aktif, Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif, dan Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif@NiO .....	25

4.4.3 Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Uv-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (Uv-Vis DRS) Karbon Aktif, Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif, dan Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif@NiO .....	28
4.4.4 Hasil <i>pH Point Of Zero Charge</i> (pH <sub>PZC</sub> ) Komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif@NiO.....	29
4.5 Penentuan Kondisi Terbaik Penyerapan <i>Congo Red</i> .....	30
4.5.1 Pengaruh Variasi pH .....	30
4.5.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi .....	32
4.5.3 Pengaruh Variasi Waktu Kontak.....	33
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>35</b>
5.1 Kesimpulan .....	35
5.2 Saran.....	35
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>36</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>42</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Struktur molekul <i>congo red</i> ( $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$ ) .....	5
<b>Gambar 2.</b> Gambar tanaman bambu (Iroegbu and Ray, 2021).....	6
<b>Gambar 3.</b> Struktur molekul $Fe_3O_4$ (Pekdur <i>et al.</i> , 2020). .....	8
<b>Gambar 4.</b> Mekanisme degradasi zat warna <i>congo red</i> (Bhat <i>et al.</i> , 2020).....	11
<b>Gambar 5.</b> Kurva histeresis komposit $Fe_3O_4/NiO$ (Koochi <i>et al.</i> , 2021). .....	12
<b>Gambar 6.</b> Grafik XRD komposit $Ni/NiO/Fe_3O_4$ (Xie <i>et al.</i> , 2018). .....	13
<b>Gambar 7.</b> Spektra Uv-Vis DRS komposit $Fe_3O_4$ dan $Fe_3O_4@SiO$ (Subhan <i>et al.</i> , 2019).....	14
<b>Gambar 8.</b> Grafik pHpzc komposit $Fe_3O_4/NiO$ (Koochi <i>et al.</i> , 2021). .....	15
<b>Gambar 9.</b> Karbon Aktif dari Bambu .....	22
<b>Gambar 10.</b> Komposit $Fe_3O_4$ /Karbon Aktif .....	23
<b>Gambar 11.</b> Komposit $Fe_3O_4$ /Karbon Aktif@NiO.....	24
<b>Gambar 12.</b> Kurva histeresis dari komposit $Fe_3O_4$ /Karbon Aktif dan $Fe_3O_4$ /Karbon Aktif@NiO .....	25
<b>Gambar 13.</b> Spektra XRD (a) Karbon aktif, (b) $Fe_3O_4$ /karbon aktif, dan (c) $Fe_3O_4$ /karbon aktif@NiO .....	26
<b>Gambar 14.</b> Nilai <i>band gap</i> (a) karbon aktif, (b) $Fe_3O_4$ /karbon aktif, (c) $Fe_3O_4$ /karbon aktif@NiO .....	29
<b>Gambar 15.</b> Kurva pHpzc $Fe_3O_4$ /Karbon Aktif@NiO .....	30
<b>Gambar 16.</b> Grafik efektivitas penurunan konsentrasi zat warna dengan variasi pH (a) dengan penyinaran dan (b) tanpa penyinaran .....	31
<b>Gambar 17.</b> Grafik efektivitas penurunan konsentrasi zat warna dengan variasi konsentrasi (a) dengan penyinaran dan (b) tanpa penyinaran .....	32
<b>Gambar 18.</b> Grafik efektivitas penurunan konsentrasi zat warna dengan variasi waktu kontak (a) dengan penyinaran dan (b) tanpa penyinaran....	33

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Hasil pengujian kualitas karbon aktif beberapa penelitian.....	23
<b>Tabel 2.</b> Nilai magnetisasi saturasi komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /karbon aktif dan Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /karbon aktif@NiO .....	25
<b>Tabel 3.</b> Sudut 2θ dengan JCPDS dan ukuran kristal.....	27

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b>	Diagram Alir Prosedur Penelitian.....	43
<b>Lampiran 2.</b>	Syarat mutu karbon aktif menurut SNI No. 06-3730-1995 .....	46
<b>Lampiran 3.</b>	Pengujian kualitas karbon aktif.....	47
<b>Lampiran 4.</b>	Reaksi .....	48
<b>Lampiran 5.</b>	Hasil Karakterisasi Menggunakan VSM .....	50
<b>Lampiran 6.</b>	Hasil Karakterisasi Menggunakan XRD.....	51
<b>Lampiran 7.</b>	Hasil Karakterisasi Menggunakan Uv-Vis DRS .....	55
<b>Lampiran 8.</b>	Panjang Gelombang Maksimum <i>Congo Red</i> .....	58
<b>Lampiran 9.</b>	Kurva Kalibrasi <i>Congo Red</i> .....	59
<b>Lampiran 10.</b>	Data dan Grafik pH <i>Point Of Zero Charge</i> (pHpzc) Komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif@NiO .....	60
<b>Lampiran 11.</b>	Kondisi Terbaik Penurunan Konsentrasi Zat Warna <i>Congo Red</i> Menggunakan Komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif@NiO.....	61
<b>Lampiran 12.</b>	Gambar Penelitian.....	67

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Limbah yang berasal dari kegiatan industri masih menjadi permasalahan lingkungan yang serius terutama limbah dalam fasa cair. Limbah cair dapat mencemari atau merusak lingkungan secara menyeluruh. Salah satu limbah cair yang dapat merusak lingkungan adalah limbah dari industri tekstil (Suprihatin *et al.*, 2021). Industri tekstil menghasilkan limbah yang mengandung zat warna yang sukar untuk terurai di lingkungan. Zat warna adalah satu dari banyaknya komponen utama yang menjadi perhatian khusus bagi lingkungan karena sifatnya yang berbahaya (Bassim *et al.*, 2023; Chen *et al.*, 2015). Zat warna *congo red* ( $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$ ) termasuk zat warna yang berbahaya karena mutagenesisnya yang dapat menyebabkan penyakit seperti kanker (Parvin *et al.*, 2020). Oleh karena itu, diperlukan pengembangan teknologi pengolahan yang efektif dan ekonomis untuk remediasi air limbah (Nadeem *et al.*, 2022).

Beberapa metode telah digunakan untuk mengurangi konsentrasi zat warna dari larutan seperti koagulasi, elektrokimia, fotokatalitik, oksidasi kimia, filtrasi, adsorpsi, ozonisasi pertukaran ion, dan proses membran. Metode adsorpsi dan fotodegradasi paling menjanjikan karena operasinya yang sederhana, efisiensi tinggi, kebutuhan energi yang rendah, dan pemulihan yang mudah atau penggunaan kembali material (Lei *et al.*, 2017). Pemilihan adsorben yang memiliki efektivitas tinggi, kapasitas adsorpsi yang tinggi serta biaya yang rendah diperlukan agar proses pemisahan lebih efektif (Koochi *et al.*, 2021). Karbon aktif selain digunakan sebagai adsorben dapat juga digunakan sebagai penunjang katalis karena memiliki volume mikropori dan mesopori yang tinggi sehingga dihasilkan luas permukaan yang luas, massa jenis rendah, sifat daur ulang yang baik, dan tahan dalam suasana asam maupun basa (Mohammadian *et al.*, 2021). Salah satu sumber karbon aktif yang dapat digunakan adalah bambu (Emamverdian *et al.*, 2020). Karbon aktif dari bambu memiliki luas permukaan  $300 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , sepuluh kali lipat luas permukaan karbon aktif dari kayu. Karbon aktif dari bambu merupakan adsorben yang kuat karena sifat adsorpsi alami dan luas permukaannya yang besar. Banyak polutan dan senyawa berbahaya lainnya dapat ditangkap pori-porinya (Chaturvedi *et al.*, 2023).

Akan tetapi pada proses adsorpsi, adsorben hanya memindahkan polutan tanpa menghancurkan menjadi senyawa yang tidak toksik dan ketika mengalami kejenuhan adsorben tidak dapat mengadsorpsi polutan kembali (Ramesh, 2021).

Oleh karena itu, efisiensi penghilangan zat warna dapat ditingkatkan dengan penambahan metode degradasi fotokatalitik menggunakan nanopartikel NiO. Fotodegradasi merupakan alternatif yang dapat digunakan untuk memineralisasi polutan sepenuhnya tanpa menghasilkan produk samping yang berbahaya (Ramesh, 2021). Nikel oksida (NiO) berupa semikonduktor tipe-p intrinsik yang memiliki stabilitas termal kimia yang baik. NiO berfungsi sebagai lapisan antar muka sekaligus bahan penahan elektron karena pita konduksinya yang tinggi 3,5-3,93 eV (Ghosh *et al.*, 2016). Nanopartikel NiO telah banyak digunakan sebagai fotokatalis untuk menghilangkan pewarna dari air karena daya tahannya yang tinggi, fotosensitifitas yang sangat baik, dan sifat optik yang tinggi (Far *et al.*, 2022). Disisi lain penggunaan nanopartikel NiO menyulitkan proses pemisahan setelah aplikasi material sehingga pemisahan material fotokatalitik lebih mudah dengan bantuan sifat magnetik, salah satunya besi oksida.

Aktivitas fotokatalitik dioptimalkan melalui pengembangan suatu material pendukung. Besi oksida yang dapat digunakan digunakan yaitu Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang dikenal sebagai magnetit. Magnetit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> termasuk ferimagnetik, tetapi pada orde nanometer material Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> akan bersifat superparamagnetik serta memiliki sifat magnetisasi saturasi yang tinggi (Khaira *et al.*, 2022). Sebelumnya Alswat *et al* (2023) telah melakukan penelitian dengan menggabungkan nanohibrid NiO-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> untuk meningkatkan kinerja adsorpsi karbon aktif dari daun Yaman-Khat untuk menghilangkan ion Pb(II) dan Hg(II) dalam sistem perairan dengan nilai efisiensi penyisihan air limbah masing-masing sebesar 88,95% dan 87,56%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa NiO-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang dimuat pada permukaan karbon aktif mampu meningkatkan kinerja adsorben dalam menghilangkan ion Pb(II) dan Hg(II) dari air limbah.

Berdasarkan latar belakang tersebut dilakukan sintesis komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/karbon aktif@NiO untuk mengadsorpsi serta mendegradasi zat warna *congo red*. Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/karbon aktif/NiO yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*, *X-ray Diffraction (XRD)*, dan *UV-Vis diffuse*

*reflectance spectroscopy* (UV-Vis DRS). Efektivitas adsorpsi dan degradasi *congo red* dilakukan berdasarkan pengaruh pH, konsentrasi zat warna, dan waktu kontak.

### **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana hasil sintesis dan karakterisasi komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/karbon aktif@NiO?
2. Bagaimana efektivitas dari komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/karbon aktif@NiO dalam menurunkan konsentrasi zat warna *congo red*?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Mensintesis dan mengkarakterisasi komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/karbon aktif@NiO menggunakan VSM, XRD, dan UV-Vis DRS.
2. Menentukan kondisi terbaik komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/karbon aktif@NiO saat adsorpsi dan degradasi zat warna *congo red* dengan variasi pH, konsentrasi zat warna, dan waktu kontak.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini nantinya dapat memberikan pemahaman tentang sintesis komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/karbon aktif@NiO dalam mengadsorpsi dan mendegradasi zat warna *congo red*. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi alternatif yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan limbah zat warna tekstil khususnya zat warna *congo red*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alamrani, N. A., and Al-Aoh, H. A. (2021). rahaman *Adsorption Science and Technology*, 2021.
- Ali, N., Said, A., Ali, F., Raziq, F., Ali, Z., Bilal, M., Reinert, L., Begum, T., and Iqbal, H. M. N. (2020). Photocatalytic Degradation of Congo Red Dye from Aqueous Environment Using Cobalt Ferrite Nanostructures: Development, Characterization, and Photocatalytic Performance. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231(2).
- Al-Maliky, E. A., Gzar, H. A., and Al-Azawy, M.G. (2021). Determination of Point of Zero Charge (PZC) of Concrete Particles Adsorbents. *ICAREST*, 1184(2021), 1-8.
- Alshabanat, M. N., and Al-Anazy, M. M. (2018). An Experimental Study of Photocatalytic Degradation of Congo Red Using Polymer Nanocomposite Films. *Journal of Chemistry*, 2018, 1-8.
- Alswat, A. A., Ashmali, A. M., Alqasmi, T. M., Alhassani, H. R., and Alshorifi, F. T. (2023). Role of nanohybrid NiO–Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> in enhancing the adsorptive performance of activated carbon synthesized from Yemeni-Khat leave in removal of Pb (II) and Hg (II) from aquatic systems. *Heliyon*, 9(2023), 1-12.
- Aminullah, M. W., Setiawan, H., Huda, A., Samaulah, H., Haryati, S., and Bustan, M. D. (2019). Pengaruh Komposisi Material Semikonduktor Dalam Menurunkan Energi Band Gap dan Terhadap Konversi Gelombang Mikro. *Jeeccis*, 13(2), 65–70.
- Azeez, M. A., and Orege, J. I. (2018). Bamboo, Its Chemical Modification and Products. *Bamboo - Current and Future Prospects*.
- Bassim, S., Mageed, A. K., AbdulRazak, A. A., and Al-Sheikh, F. (2023). Photodegradation of Methylene Blue with Aid of Green Synthesis of CuO/TiO<sub>2</sub> Nanoparticles from Extract of Citrus Aurantium Juice. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, 18(1), 1–16.
- Bharathi, S., Nataraj, D., Mangalaraj, D., Masuda, Y., Senthil, K., and Yong, K. (2010). Highly mesoporous  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanostructures: Preparation, characterization and improved photocatalytic performance towards Rhodamine B (RhB). *Journal of Physics D: Applied Physics*, 43(1).
- Bhat, S.A., Zafar, F., Mondal, A.H., Kareem, A., Mirza, A. U., Khan, S., Mohammad, A., Haq, Q. M. R., and Nishat, N. (2019). Photocatalytic degradation of carcinogenic Congo red dye in aqueous solution, antioxidant activity and bactericidal effect of NiO nanoparticles. *Journal of the Iranian Chemical Society*, 17, 215–227.
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. gabriela, and Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(4), 289–299.
- Chaturvedi, K., Singhwane, A., Dhargar, M., Mili, M., Gorhae, N., Naik, A., Prashant, N., Srivastava, A. K., and Verma, S. (2023). Bamboo for producing charcoal and biochar for versatile applications. *Biomass Conversion and*



*Biorefinery*, 0123456789.

- Chen, W., Xiao, H., Hang Xu, Ding, T., and Gu, Y. (2015). Photodegradation of methylene blue by a ternary magnetic  $\text{TiO}_2/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{graphene}$  oxide nanocomposite under visible light. *International Journal of Photoenergy*, 225, 464–474.
- Dan, S., and Chattree, A. (2021). Influence of modifiers on point of zero charge ( $\text{pH}_{\text{PZC}}$ ) of PMMA modified and PMMA-PEG modified  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$  nanoparticles. *International Journal of New Innovations in Engineering and Technology*, 17(2), 25–29.
- Dirgayanti, D. S., Koesnarpadi, S., and Hindryawati, N. (2021). Synthesis and characterization of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -Activated carbon and its application to adsorb methylene blue. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 623(1).
- Długosz, O., Szostak, K., Krupiński, M., and Banach, M. (2021). Synthesis of  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$  nanoparticles and their application for the photodegradation of anionic and cationic dyes. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18(3), 561–574.
- Effah, B., Asibey, O., Boampong, E., Pongo, N. A., and Nkrumah, A. (2014). Small and Medium Bamboo and Rattan Enterprises in Economic Empowerment in Kumasi: Perspectives of Producers. *Journal of Social Economics*, 1(1), 11–21.
- El-Kemary, M., Nagy, N., and El-Mehasseb, I. (2013). Nickel oxide nanoparticles: Synthesis and spectral studies of interactions with glucose. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 16(6), 1747–1752.
- El-Naas, M. H., and Alhajja, M. A. (2013). Modelling of adsorption processes. *Mathematical Modelling*, May, 579–600.
- Emamverdian, A., Ding, Y., Ranaei, F., and Ahmad, Z. (2020). Application of Bamboo Plants in Nine Aspects. *Scientific World Journal*, 2020.
- Fadilla, P. J., Sururi, M. R., Marganingrum, D., and Dirgawati, M. (2022). Utilization of Bottom Ash as an Adsorbent for Color and COD Removal for Textile Industry Waste. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 19(1), 78–88.
- Far, H., Hamici, M., Brihi, N., Haddadi, K., Boudissa, M., Chihi, T., and Fatmi, M. (2022). High-Performance Photocatalytic Degradation of NiO Nanoparticles Embedded on  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  Nanoporous Layers under Visible Light Irradiation. *Journal of Materials Research and Technology*, 19, 1944–1960.
- Fisli, A., Ariyani, A., Wardiyati, S., dan Yusuf, S. (2018). Adsorben Magnetik Nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -Karbon Aktif untuk Menyerap Thorium. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 13(3): 192-197.
- Fisli, A., Ridwan, Krisnandi, Y. K., and Gunlazuardi, J. (2017). Preparation and Characterization of  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  Composite for Methylene Blue Removal in Water. *International Journal of Technology*, 8(1), 76–84.
- Ghosh, P., Senthilarasu, S., Nixon, T., and Krishnamurthy, S. (2016). Influence of Nanostructures in Perovskite Solar Cells. *Reference Module in Materials*

*Science and Materials Engineering*, 1–14.

- Hariani P.L., Said, M., Salni., Rachmat A., Aprianti, N., and Sthephanie, E.A.(2022) Synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/NiO magnetic composite: Evaluation of its catalytic activity for methylene blue degradation. *Global NEST Journal*, 25(2), 36-43.
- Hariani, P. L., Said, M., Rachmat, A., Nurmansyah, A., and Amalia, R. H. T. (2023). Comparison of the Photocatalytic Degradation of Congo Red Dye Using NiO and NiO-NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Composite. *International Journal of Environmental Science and Development*, 13(3), 57-62.
- Haryono., Faizal, M. D., Liamita, C. N., dan Rostika, A. (2018). Pengolahan Limbah Zat Warna Tekstil Terdispersi dengan Metode Elektroflotasi. *Jurnal Kimia dan Pendidikan*. 3(1), 94-105.
- Herlina, R., Masri, M., and Sudding. (2017). Studi Adsorpsi Dedak Padi terhadap Zat Warna Congo Red di Kabupaten Wajo. *Jurnal Chemica*, 18(1), 16–25.
- Iqbal, J., Shah, N. S., Sayed, M., Niazi, N. K., Imran, M., Khan, J. A., Khan, Z. U. H., Hussien, A. G. S., Polychronopoulou, K., and Howari, F. (2021). Nano-zerovalent manganese/biochar composite for the adsorptive and oxidative removal of Congo-red dye from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 403(August 2020), 123854.
- Iroegbu, A. O. C., and Ray, S. S. (2021). Bamboos: From Bioresource to Sustainable Materials and Chemicals. *Sustainability*, 13(21), 12200.
- Ismail, I. S., Rashidi, N. A., and Yusup, S. (2022). Production and characterization of bamboo-based activated carbon through single-step H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> activation for CO<sub>2</sub> capture. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(9), 12434–12440.
- Izdebska, J and Thomas, S. (2016). *Printing on Polymers Fundamentals and Applications*. Elsevier Science. ISBN 978-0-323-37468-2.
- Jamilatun, S., Setyawan, M., Salamah, S., Purnama, D A. A., dan Putri, R. U. M. (2015). Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dengan Aktivasi Sebelum dan Sesudah Pirolisis. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*. ISSN : 2407 – 1846.
- Jirekar, D. B., Ubale, M., and Mazahar, F. (2016). Evaluation of Adsorption Capacity of Low Cost Adsorbent for the Removal of Congo Red Dye from Aqueous Solution. *Orbital - The Electronic Journal of Chemistry*, 8(5), 282-287.
- Julizen, R dan Sanjaya, H. (2023). Perbandingan Pengaruh Lampu UV dan Sinar Matahari Pada Degradasi Zat Warna Congo Red Menggunakan Metode Fotolisis Dengan Bantuan Katalis TiO<sub>2</sub>. *Periodic*, 12(3), 27-30.
- Karna, R., Noerpel, M., Luxton, T., and Scheckel, K. (2018). Point of Zero Charge: Role in Pyromorphite Formation and Bioaccessibility of Lead and Arsenic in Phosphate-Amended Soils. *Soil Systems*, 2(2), 22.
- Khaira, I., Rahayu, S., Usna, A., Material, L. F., Fisika, J., Matematika, F., Alam, P., Andalas, U., Unand, K., and Manis, L. (2022). Sintesis dan karakterisasi

- sifat magnet nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{PEG} : \text{ZnO}$ . *Jurnal Fisika Unand*, 11(1), 57–61.
- Khairol, N. F., Sapawe, N., and Danish, M. (2020). Study the band gap properties of copper incorporated onto eggshell using UV-Vis diffuse reflectance spectroscopy. *Materials Today: Proceedings*, 31, 237–240.
- Kirupakar, B. R., Vishwanath, B. A., Padma, S. M., and Deenadayalan. (2016). Vibrating Sample Magnetometer and Its Application In Characterisation Of Magnetic Property Of The Anti Cancer Drug Magnetic Microspheres. *International Journal of Pharmaceutics and Drug Analysis*, 4(5), 227–233.
- Koohi, P., Rahbar-kelishami, A., and Shayesteh, H. (2021). Efficient removal of congo red dye using  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{NiO}$  nanocomposite: Synthesis and characterization. *Environmental Technology and Innovation*, 23, 101559.
- Kurniawati, S. dan Indriyanti, N. Y. (2021). Adsorption of Anionic and Cationic Dyes in Batik Wastewater Using Biomass Adsorbents. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, 6(3), 274-291.
- Lei, C., Pi, M., Jiang, C., Cheng, B., and Yu, J. (2017). Synthesis of hierarchical porous zinc oxide (ZnO) microspheres with highly efficient adsorption of Congo red. In *Journal of Colloid and Interface Science* (Vol. 490).
- Li, Y., Kong, W., Liu, H., Hong, Y., and Huang, T. (2022). Enhanced degradation of phenolic compounds in coal gasification wastewater by activated carbon- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles coupled with anaerobic co-metabolism. *Biochemical Engineering Journal*, 189(September), 108717.
- Ma, H., Wang, M., Yang, R., Wang, W., Zhao, J., Shen, Z., & Yao, S. (2007). Radiation degradation of Congo Red in aqueous solution. *Chemosphere*, 68(6), 1098–1104.
- Matei, E., Predescu, A., Vasile, E., and Predescu, A. (2011). Properties of magnetic iron oxides used as materials for wastewater treatment. *Journal of Physics: Conference Series*, 304(1).
- Meraz, E. D. I Ángel, Castro, M. A. P., and Pérez, A. E. C. (2019). Synthesis and characterization of  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ -impregnated activated carbon adsorbent from coconut shell. *Materials Science Forum*, 948 MSF(3), 49–53.
- Mohammadian, S., Hamadi, H., and Kazeminezhad, I. (2021). Synthesis of  $\text{CoFe}_2\text{O}_4@ \text{Pd}$ /Activated carbon nanocomposite as a recoverable catalyst for the reduction of nitroarenes in water. *Journal of Solid State Chemistry*, 302(June), 122381.
- Moussa, S. I., Ali, M. M. S., and Sheha, R. R. (2021). The performance of activated carbon/ $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  magnetic composite to retain heavy metal ions from aqueous solution. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 29, 135–145.
- Nadeem, N., Yaseen, M., Rehan, Z. A., Zahid, M., Shakoor, R. A., Jilani, A., Iqbal, J., Rasul, S., and Shahid, I. (2022). Coal fly ash supported  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanocomposites: Synergetic Fenton-like and photocatalytic degradation of methylene blue. *Environmental Research*, 206(September 2021).
- Nguyen, M. D., Tran, H.V., Xu, S., and Lee, T. R. (2021).  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Nanoparticles:

- Structures, Synthesis, Magnetic Properties, Surface Functionalization, and Emerging Applications. *Applied Sciences*, 11(23), 1-34.
- Ojemaye, M. O., Okoh, O. O., and Okoh, A. I. (2017). Performance of NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> Magnetic Photocatalyst for the Effective Photocatalytic Reduction of Cr(VI) in Aqueous Solutions. *Journal of Nanomaterials*, 2017, 1–11.
- Pangesti, M. I., Dwityaningsih, R., dan Satriawan, D. (2022). Efektivitas Karbon dari Sekam Padi dengan Aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> sebagai Media Filter Penjerapan CO<sub>2</sub> dari Biogas. *SENOVTEK*. 100 – 107.
- Parvin, S., Mamun, A., Rubbi, M. F., Ruman, M. A., Rahman, M. M., and Biswas, B. K. (2020). Utilization of egg-shell, a locally available biowaste material, for adsorptive removal of congo red from aqueous solution. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 9(2), 63–74.
- Patiung, H. B., Pasae, Y., and Gazali, A. (2020). Pemanfaatan Arang Aktif dari Bambu untuk Pengolahan Limbah Cair. *Jurnal Saintis*, 1(2), 37–42.
- Pekdur, Ö. S., Yıdırım, S. Ö., and Büyükmumcu, Z. (2020). Synthesis and Thermal Properties of Magnetite Nano Structures and DFT Analysis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Cluster as its Smallest Representative Unit. *Journal of Molecular Structure*, 1222.
- Qu, F., Wang, Y., Liu, J., Wen, S., Chen, Y., and Ruan, S. (2014). Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-NiO Core-Shell Composites: Hydrothermal Synthesis and Toluene Sensing Properties. *Materials Letters*, 132, 167–170.
- Rahman, S. S., Siddiqua, S., and Cherian, C. (2022). Sustainable applications of textile waste fiber in the construction and geotechnical industries: A retrospect. *Cleaner Engineering and Technology*, 6(2022), 100420.
- Rahmayanti, M., Santosa, S. J., Sutarno, Hamidi, H., and Binagara, L. (2020). Synthesis , Characterization , and Application of Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) Particles as Gold Adsorbent from Simulation Waste. *CHEMICA : Jurnal Teknik Kimia Vol.*, 7(2), 151–158.
- Ramesh, M. (2021). N and Fe doped NiO Nanoparticles for Enhanced Photocatalytic Degradation of Azo Dye Methylene Blue in The Presence of Visible Light. *SN Applied Sciences*, 3(817), 1-13.
- Salih, S., J., Kareem, A., S., A., and Anwer, S., S. (2022). Adsorption Of Anionic Dyes From Textile Wastewater Utilizing Raw Corncob. *Heliyon*, 8(8), 1-9.
- Saraswati, I. G. A., Diantariani, N. P., and Suarya, D. P. (2015). Fotodegradasi Zat Warna Tekstil Congo Red Dengan Fotokatalis ZnO-Arang Aktif Dan Sinar Ultraviolet (UV). *Jurnal Kimia*, 2(2), 175–182.
- Shi, M., Qiu, T., Tang, B., Zhang, G., Yao, R., Xu, W., Chen, J., Fu, X., Ning, H., and Peng, J. (2021). Temperature-Controlled Crystal Size of Wide Band Gap Nickel Oxide and Its Application in Electrochromism. *Micromachines*, 12(1), 1–11.
- Siddiqui, S. I., Allehyani, E. S., Al-Harbi, S. A., Hasan, Z., Abomuti, M. A., Rajor, H. K., and Oh, S. (2023). Investigation of Congo Red Toxicity towards Different Living Organisms: A Review. *Processes*, 11(3), 807.

- Sosa, J. A., Lainers, J. R., Garcia, D. S., Hernandez, R., Zappi, M., and Monteros, A. E. E. (2023). Activated Carbon: A Review of Residual Precursors, Synthesis Processes, Characterization Techniques, and Applications in the Improvement of Biogas. *Environmental Engineering Research*, 28(3), 1-21.
- Subhan, F., Aslam, S., Yan, Z., Khan., Etim, U. J., and Naeem, M. (2019). Effective adsorptive performance of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub> core shell spheres for methylene blue: kinetics, isotherm and mechanism. *Journal of Porous Materials*, 26(5), 1465–1474.
- Suprihatin, I. E., Murdani, N. D., and Suarsa, I. W. (2021). Bentonit-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Sebagai Fotokatalis dalam Proses Fotodegradasi Naphthol Blue Black dengan Iradiasi Uv. *Jurnal Kimia*, 15(1), 59.
- Teoh, L. G. and Li, K. D. (2012). Synthesis and Characterization of NiO Nanoparticles by SolGel Method. *Materials Transactions*, 53(12), 2135-2140.
- Wahyuni, D., Nurhanisa, M., Bahtiar, A., and Rutdiyanti, R. (2022). Optimasi Sintesis Karbon Aktif dari Bambu Buluh (*Schizostachyum brachycladum*) dengan Variasi Suhu Karbonisasi untuk Penyerapan Besi pada Air Sumur Gambut. *Jurnal Fisika Unand*, 11(3), 292–298.
- Wibowo, D., Setyadhi, L., and Ismadji, S. (2018). Modification of the surface chemistry of activated carbon and its influence on methylene blue adsorption. In *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 5(1), 74.
- Xie, Y., Wang, X., Tang, K., Li, Q., and Yan, C. (2018). Blending Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Into a Ni/NiO Composite for Efficient and Stable Bifunctional Electrocatalyst. *Electrochimica Acta*, 264, 225–232.
- Zhu, H. Y., Jiang, R., Huang, S. H., Yao, J., Fu, F. Q., and Li, J. B. (2015). Novel magnetic NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/multi-walled carbon nanotubes hybrids: Facile synthesis, characterization, and application to the treatment of dyeing wastewater. *Ceramics International*, 41(9).