

**SINTESIS KOMPOSIT  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /KARBON AKTIF@ZnO UNTUK  
ADSORPSI DAN DEGRADASI ZAT WARNA CONGO RED**

**SKRIPSI**

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



**Oleh :**

**Putri Oktarisa**

**08031282025034**

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

**2024**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**SINTESIS KOMPOSIT  $MnFe_2O_4$ /KARBON AKTIF@ZnO UNTUK  
ADSORPSI DAN DEGRADASI ZAT WARNA CONGO RED**

**SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Bidang Studi Kimia

Oleh :

**PUTRI OKTARISA**

**08031282025034**

Indralaya, 19 Juli 2024

**Menyetujui,**

**Pembimbing I**



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

**Pembimbing II**



**Fahma Riyanti, M.Si**  
**NIP. 197204082000032001**

Mengetahui,

**Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



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

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Putri Oktarisa (08031282025034) dengan judul “Sintesis Komposit  $MnFe_2O_4$ /Karbon Aktif@ZnO 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, 19 Juli 2024

Ketua :

1. **Dr. Muhammad Said, M.T.**  
NIP. 197407212001121001

(  )

Sekretaris :

2. **Dr. Heni Yohandini K, M.Si.**  
NIP. 197011152000122004

(  )

Pembimbing:

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

(  )

2. **Fahma Riyanti, M.Si.**  
NIP. 197204082000032001

(  )

Penguji:

1. **Dr. Nova Yuliasari, M.Si.**  
NIP. 197307261999032001

(  )

2. **Dr. Ferlinahayati, M.Si.**  
NIP. 197402052000032001

(  )

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 bertandatangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Putri Oktarisa

NIM : 08031282025034

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, 19 Juli 2024

Yang menyatakan



Putri Oktarisa

NIM. 08031282025034

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

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

Nama : Putri Oktarisa  
NIM : 08031282025034  
Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “hak bebas royalti non-eksklusif” (*nonexclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: “Sintesis Komposit  $MnFe_2O_4$ /Karbon Aktif@ZnO 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.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 19 Juli 2024  
Yang menyatakan



Putri Oktarisa  
NIM. 08031282025034

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

"Wahai orang-orang yang beriman, jadikanlah sabar dan salat sebagai penolongmu. Sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar."

- (QS Al Baqarah:153)

"Kemudian apabila kamu telah membulatkan tekad, maka bertawakkallah kepada Allah. Sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang bertawakkal kepada-Nya." (Q.S Ali Imran: 159)

Skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Ibu dan Ayah
2. Seluruh keluarga besar
3. Almamater

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Sintesis Komposit  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Karbon Aktif@ZnO untuk Adsorpsi dan Degradasi Zat Warna *Congo Red*” dengan lancar. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan para sahabat serta seluruh pengikutnya hingga akhir zaman.

Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana Sains Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya. Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari adanya banyak rintangan dan kesulitan sehingga penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya banyak dukungan, bantuan baik material ataupun moril, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya kepada:

1. Kepada Allah SWT yang telah mendengar seluruh keluh kesah, memberi pertolongan dan jalan terbaik agar penulis bisa sampai pada tahap ini.
2. Kedua orang tua tercinta, Ibu Lina Badaria dan Bapak Edi Irawan yang telah memberikan kasih sayang, dukungan baik daam bentuk moril dan material, serta doa dan nasihat hingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Terimakasih ayah dan ibu untuk semuanya.
3. Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M. Si. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah bersedia menerima penulis menjadi salah satu anak bimbingan ibu. Serta terimakasih telah memberikan ilmu, masukan, pengetahuan, amanat, pengalaman kepada penulis dalam pengerjaan skripsi ini. Terimakasih ibu.
4. Ibu Fahma Riyanti, M.Si. selaku dosen pembimbing tugas akhir dan dosen pembimbing akademik, terimakasih ibu untuk ilmunya, pengalaman dan pengetahuan yang telah membimbing sampai semester akhir. Terimakasih ibu.

5. Bapak Prof. Hermansyah, S. Si, M. Si, Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya dan Ibu Prof. Dr, Muharni, M. Si. selaku ketua jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
6. Ibu Widia Purwaningrum, M. Si. selaku dosen pembahas selama seminar. Terimakasih atas masukan dan banyak bantuan yang telah ibu berikan kepa penulis.
7. Ibu Dr. Nova Yuliasari, M.Si. selaku dosen penguji selama sidang. Terimakasih atas masukan dan banyak bantuan yang telah ibu berikan kepa penulis.
8. Ibu Dr. Ferlinahayati, M.Si. selaku dosen pembahas dan penguji selama seminar dan sidang. Terimakasih atas masukan dan banyak bantuan yang telah ibu berikan kepa penulis.
9. Bapak Dr. Muhammad Said, M. T dan Dr. Heni Yohandini K, M.Si. selaku ketua dan sekretaris sidang akhir penulis. Terimakasih untuk bantuan, masukkan, motivasi dan semangatnya.
10. Mbak Novi dan Kak Iin selaku admin jurusan kimia yang selalu sabar dalam membantu pengurusan administrasi penulis selama perkuliahan hingga selesai.
11. Seluruh Dosen Kimia Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam yang telah memberikan ilmu serta pengalaman selama masa perkuliahan penulis.
12. Teman-teman tugas akhir satu dosen pembimbing Kamileh, Riska, dan Erida terimakasih atas bantuannya selama penelitian berlangsung, telah menemani, mengajari dan membagi ilmu yang telah kalian dapat kepada penulis. Teman-teman tugas akhir satu lab Nilda.
13. Kepada sobat Jumat es teh Iratun, Sipa, Citra, Zaharo, Indah, dan Resti untuk dukungan, doa, semangat yang diberikan kepada penulis. See you on top guys.
14. Serta semua pihak yang tidak dapat ditulis satu persatu yang juga banyak memberikan kontribusinya dalam perkuliahan ini.

Semoga kebaikan semua pihak yang telah memberikan bantuan dibalas oleh Allah SWT dan semoga skripsi ini bermanfaat bagi mahasiswa/mahasiswi Jurusan



Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya  
dan semua yang membutuhkannya.

Indralaya, 19 Juli 2024

Penulis

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Putri Oktarisa', with a stylized flourish at the end.

Putri Oktarisa

NIM. 08031282025034

## SUMMARY

### SYNTHESIS OF $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /ACTIVE CARBON@ZnO COMPOSITE FOR ADSORPTION AND DEGRADATION OF CONGO RED DYES

Putri Oktarisa : Supervised by Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si. and Fahma Riyanti, M.Si

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

xvii + 53 pages, 3 tables, 15 pictures, 13 attachments

Industrial development causes negative impacts on water pollution if liquid waste containing dyes is discharged directly into rivers without treatment. Congo red is an azo dye that is widely used in the textile industry. Synthesis of  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Activated Carbon@ZnO was carried out for the adsorption and degradation of Congo red dyes. Coal-based activated carbon was chemically activated using potassium hydroxide. Synthesis of  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Activated Carbon and  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Activated Carbon@ZnO was synthesized using the coprecipitation method. The composite is a pale brown powder that has magnetic properties. The results of the synthesis of  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Activated Carbon@ZnO were characterized using XRD, VSM and UV-Vis DRS. The XRD characterization results show that the crystal size of active carbon,  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ , and ZnO is 20.79; 12.89; and 28.68 nm. The VSM characterization results show a saturation magnetization value of 18.56 emu/g. The results of UV-Vis DRS characterization show that the energy gap for  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Activated Carbon@ZnO is 1.81 eV. The  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Activated Carbon@ZnO composite has a  $\text{pH}_{\text{pzc}}$  of 5.35. The best conditions for photodegradation and adsorption are determined by varying pH, concentration and contact time. The best conditions are obtained with pH 5 conditions with a concentration of 20 mg/L for 100 minutes. The effectiveness of reducing concentration by photodegradation and adsorption was found to be 93.58% and 79.04%.

Keywords:  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Activated Carbon@ZnO Composite, degradation, adsorption, photocatalytic, Congo red

Citations: 52 (2006-2023)

## RINGKASAN

### SINTESIS KOMPOSIT $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /KARBON AKTIF@ZnO UNTUK ADSORPSI DAN DEGRADASI ZAT WARNA CONGO RED

Putri Oktarisa: Dibimbing oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si dan Fahma Riyanti, M.Si

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya  
xvii + 53 halaman, 3 tabel, 15 gambar, 13 lampiran.

Perkembangan industri menyebabkan dampak negatif terhadap pencemaran air jika limbah cair yang mengandung zat warna dibuang langsung ke sungai tanpa pengolahan. *Congo red* merupakan zat warna azo yang banyak digunakan pada industri tekstil. Sintesis  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Karbon Aktif@ZnO dilakukan untuk adsorpsi dan degradasi zat warna *Congo red*. Karbon aktif berbasis batubara diaktivasi kimia menggunakan kalium hidroksida. Sintesis  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Karbon Aktif dan  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Karbon Aktif@ZnO disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi. Komposit berupa serbuk berwarna coklat pudar yang memiliki sifat magnetik. Hasil sintesis  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Karbon Aktif@ZnO dikarakterisasi dengan menggunakan XRD, VSM dan UV-Vis DRS. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan ukuran kristal dari karbon aktif,  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ , dan ZnO sebesar 20,79; 12,89; dan 28,68 nm. Hasil karakterisasi VSM menunjukkan nilai magnetisasi saturasi sebesar 18,56 emu/g. Hasil karakterisasi UV-Vis DRS menunjukkan *energy gap*  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /karbon aktif@ZnO sebesar 1,81 eV. Komposit  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /karbon aktif@ZnO memiliki pH<sub>pzc</sub> sebesar 5,35. Kondisi terbaik fotodegradasi dan adsorpsi ditentukan dengan variasi pH, konsentrasi, dan waktu kontak. Kondisi terbaik didapatkan dengan kondisi pH 5 dengan konsentrasi 20 mg/L selama 100 menit. Efektivitas penurunan konsentrasi secara fotodegradasi dan adsorpsi didapat sebesar 93,58% dan 79,04%.

Kata kunci : Komposit  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Karbon Aktif@ZnO, degradasi, adsorpsi, fotokatalitik, *Congo red*

Sitasi: 52 (2006-2023)

## DAFTAR ISI

<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>x</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Karbon Aktif .....	4
2.2 Nanomagnetik $MnFe_2O_4$ .....	4
2.3 Komposit $MnFe_2O_4$ /Karbon Aktif .....	5
2.4 <i>Congo Red</i> .....	5
2.5 Adsorpsi .....	6
2.6 Fotodegradasi .....	6
2.7 Spektrometri UV-Vis .....	7
2.8 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	7
2.9 <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM) .....	8
2.10 <i>UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> .....	9
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>10</b>
3.1 Waktu dan Tempat .....	10
3.2 Alat dan Bahan.....	10
3.2.1 Alat .....	10

3.2.2 Bahan.....	10
3.3 Prosedur Penelitian.....	10
3.3.1 Sintesis Karbon Aktif Batu Bara .....	10
3.3.2 Pengujian Kualitas Karbon Aktif Batu Bara .....	11
3.3.3 Sintesis Nanomagnetik MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif .....	11
3.3.4 Sintesis Komposit MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif@ZnO.....	12
3.4 Karakterisasi Material .....	12
3.4.1 X-Ray Diffraction (XRD).....	12
3.4.2 Vibrating Sample Magnetometer (VSM).....	12
3.4.3 Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS) .....	12
3.4.4 Penentuan pH <sub>pzc</sub> (pH Point Zero Charge).....	12
3.5 Penentuan Kondisi Terbaik Penurunan Konsentrasi Zat Warna Congo Red.....	14
3.5.1 Pembuatan Larutan Stok Standar Congo Red 1000 mg/L ....	13
3.5.2 Penentuan Panjang Gelombang Optimum Congo Red .....	13
3.5.3 Penentuan Kurva Kalibrasi Zat Warna Congo Red.....	13
3.5.4 Pengaruh pH Larutan .....	13
3.5.5 Pengaruh Konsentrasi Zat Warna.....	13
3.5.6 Pengaruh Waktu Kontak .....	14
3.7 Analisis Data .....	14
3.7.1 X-Ray Diffraction (XRD).....	14
3.7.2 Vibrating Sample Magnetometer (VSM).....	14
3.7.3 Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS) .....	14
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>15</b>
4.1 Karbon Aktif dan MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif Hasil Sintesis .....	15
4.2 MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif@ZnO Hasil Sintesis .....	15
4.3 Hasil Karakterisasi .....	16
4.3.1 Hasil Pengujian Kadar Air dan Kadar Abu Karbon Aktif ....	16
4.3.2 Hasil Karakterisasi Karbon Aktif, MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif dan MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif@ZnO Menggunakan XRD.....	16
4.3.3 Hasil Karakterisasi MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif dan MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif@ZnO Menggunakan VSM .....	18
4.3.4 Hasil Karakterisasi Karbon Aktif, MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif dan MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif@ZnO Menggunakan UV-Vis DRS .....	19

4.3.5 Hasil Karakterisasi pH Point Zero Charge MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Karbon Aktif@ZnO .....	20
4.4 Penentuan Kondisi Terbaik Penurunan Konsentrasi Zat Warna <i>Congo Red</i> .....	21
4.4.1 Pengaruh Variasi pH .....	21
4.4.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi Zat Warna .....	22
4.4.3 Pengaruh Variasi Waktu Kontak.....	23
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>25</b>
5.1 Kesimpulan .....	25
5.2 Saran.....	25
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>26</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Skema struktur nano $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ .....	5
Gambar 2.	Struktur zat warna <i>Congo Red</i> .....	6
Gambar 3.	XRD (a) Karbon Aktif dan (b) $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ .....	8
Gambar 4.	Kurva magnetisasi dari $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ .....	9
Gambar 5.	Hasil sintesis (a) Karbon Aktif dan (b) $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Karbon Aktif....	15
Gambar 6.	$\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Karbon Aktif@ZnO .....	16
Gambar 7.	Difaktrogram (a) Karbon Aktif, (b) $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Karbon Aktif, (c) $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Karbon Aktif@ZnO .....	17
Gambar 8.	Kurva histeresis $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Karbon Aktif dan $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Karbon Aktif@ZnO .....	18
Gambar 9.	UV-Vis DRS Karbon Aktif.....	19
Gambar 10.	UV-Vis DRS $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Karbon Aktif.....	19
Gambar 11.	UV-Vis DRS $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Karbon Aktif@ZnO.....	20
Gambar 12.	Grafik pH <sub>pzc</sub> $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Karbon Aktif@ZnO .....	21
Gambar 13.	Grafik efektifitas pengaruh pH zat warna <i>Congo red</i> .....	22
Gambar 14.	Grafik efektifitas pengaruh konsentrasi zat warna <i>Congo red</i> .....	23
Gambar 15.	Grafik efektifitas pengaruh waktu kontak zat warna <i>Congo red</i> ...	24

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Hasil analisis kadar air dan kadar abu karbon aktif .....	16
Tabel 2. Sudut $2\theta$ dan ukuran kristal karbon aktif, $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ , dan $\text{ZnO}$ .....	17
Tabel 3. <i>Band gap</i> karbon aktif, $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ /Karbon Aktif, dan $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ / Karbon Aktif@ $\text{ZnO}$ .....	22



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Diagram Alir Prosedur Penelitian .....	31
Lampiran 2.	Reaksi Pembentukan .....	34
Lampiran 3.	Syarat Mutu Karbon Aktif Menurut SNI No. 06-3730-1995.....	36
Lampiran 4.	Pengujian Kadar Air dan Kadar Abu Karbon Aktif.....	37
Lampiran 5.	Hasil Karakterisasi Komposit Karbon Aktif, $MnFe_2O_4$ /Karbon Aktif dan $MnFe_2O_4$ /Karbon Aktif@ZnO Menggunakan XRD...	38
Lampiran 6.	Hasil Karakterisasi Menggunakan VSM.....	41
Lampiran 7.	Hasil Karakterisasi Menggunakan UV-Vis DRS .....	42
Lampiran 8.	Penentuan pH Point Zero Charge (pHpzc) Komposit $MnFe_2O_4$ /Karbon Aktif@ZnO .....	44
Lampiran 9.	Penentuan Panjang Gelombang <i>Congo Red</i> .....	45
Lampiran 10.	Penentuan Kurva Kalibrasi <i>Congo Red</i> .....	46
Lampiran 11.	Penentuan Kondisi Optimum Penurunan Konsentrasi Zat Warna <i>Congo Red</i> Menggunakan Komposit $MnFe_2O_4$ /Karbon Aktif@ZnO Terhadap Pengaruh pH.....	47
Lampiran 12.	Penentuan Kondisi Optimum Penurunan Konsentrasi Zat Warna <i>Congo Red</i> Menggunakan Komposit $MnFe_2O_4$ /Karbon Aktif@ZnO Terhadap Pengaruh Konsentrasi .....	49
Lampiran 13.	Penentuan Kondisi Optimum Penurunan Konsentrasi Zat Warna <i>Congo Red</i> Menggunakan Komposit $MnFe_2O_4$ /Karbon Aktif@ZnO Terhadap Pengaruh Waktu Kontak.....	51

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Industri tekstil di dunia mengalami perkembangan yang pesat. Perkembangan industri menyebabkan dampak negatif terhadap pencemaran air jika limbah cair yang mengandung zat warna dibuang langsung ke sungai tanpa pengolahan (Tussa'adah & Astuti, 2015). Zat warna dapat menghalangi penetrasi cahaya ke dalam air dan mengalami degradasi yang lambat di bawah sinar matahari. *Congo red* merupakan zat warna azo yang banyak digunakan pada industri tekstil (Sanjaya *et al.*, 2018). *Congo red* sangat stabil terhadap degradasi secara alami karena struktur aromatikanya yang kompleks (Khaniabadi *et al.*, 2018).

Pengolahan limbah yang mengandung zat warna dapat dilakukan dengan metode pemisahan membran, pertukaran ion, degradasi biologis, koagulasi-flokulasi, elektrokimia, oksidasi kimia, dan adsorpsi. Metode adsorpsi digunakan karena kesederhanaan, kapasitas penyerapan yang tinggi, ramah lingkungan, dan tidak beracun (Khaniabadi *et al.*, 2018). Faktor yang dapat mempengaruhi adsorpsi adalah jenis adsorben yang digunakan, waktu kontak, dan pH larutan (Herlina *et al.*, 2017). Salah satu metode alternatif untuk mengolah limbah adalah metode fotodegradasi. Metode fotodegradasi ini menguraikan limbah zat warna menjadi komponen sederhana yang tidak berbahaya bagi lingkungan (Husna *et al.*, 2019). Salah satu faktor penentu dalam proses degradasi adalah adsorpsi karena zat warna terlebih dahulu akan teradsorpsi pada permukaan partikel fotokatalis (Wismayanti *et al.*, 2015).

Bahan fotokatalis yang dapat digunakan adalah semikonduktor seperti  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan lain-lain. Semikonduktor ini mampu menyerap cahaya sebagai sumber foton (Islammiyati *et al.*, 2022). Seng oksida ( $\text{ZnO}$ ) memiliki bandgap sebesar 3,17 eV dapat dipergunakan dalam fotodegradasi, namun mempunyai kemampuan adsorpsi yang rendah, sehingga dikombinasikan dengan material adsorben seperti karbon aktif (Wismayanti *et al.*, 2015).

Karbon aktif dapat diproduksi dari berbagai bahan yang mengandung karbon, baik dari tumbuh-tumbuhan, hewan, maupun barang tambang. Karbon aktif yang berasal dari tumbuh-tumbuhan memiliki kadar abu yang lebih tinggi daripada batubara sehingga dapat mengurangi kemampuan adsorpsi (Lestari *et al.*, 2020). Batubara memiliki potensi besar untuk diubah menjadi karbon aktif karena kandungan *fixed* karbonnya mencapai sekitar 54-86% (Kusdarini *et al.*, 2017). Karbon aktif memiliki struktur mikropori, mesopori, dan makropori yang berperan penting dalam menentukan kinerjanya sebagai adsorben (Alfi *et al.*, 2020).

Penambahan bahan magnet pada komposit dapat mempermudah pengambilan kembali setelah digunakan untuk degradasi karena adanya sifat magnetik (Boutra *et al.*, 2020). Nanopartikel magnetik  $MnFe_2O_4$  memiliki sifat magnetik, stabilitas kimia yang tinggi dan kekerasan mekanik (Boutra *et al.*, 2020). Penggunaan  $MnFe_2O_4$  sebagai adsorben mempunyai keunggulan yaitu bahannya berukuran nano sehingga mempunyai luas permukaan yang besar (Riyanti *et al.*, 2018). Celah pita  $MnFe_2O_4$  sebesar 1,74 eV dapat menurunkan celah pita komposit sehingga efektif untuk fotodegradasi (Boutra *et al.*, 2020).

Berdasarkan uraian tersebut maka pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit  $MnFe_2O_4$ /Karbon Aktif@ZnO. Karakterisasi material menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) dan *UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS). Komposit hasil sintesis digunakan untuk adsorpsi dan degradasi zat warna *Congo Red* variabel adsorpsi atau degradasi meliputi pengaruh pH, konsentrasi zat warna dan waktu kontak.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah

1. Bagaimana keberhasilan sintesis komposit  $MnFe_2O_4$ /Karbon Aktif@ZnO berdasarkan hasil karakterisasi XRD, VSM, dan UV-Vis DRS?
2. Bagaimana kemampuan  $MnFe_2O_4$ /Karbon Aktif@ZnO dalam adsorpsi dan degradasi zat warna *Congo red*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mensintesis dan mengkarakterisasi komposit  $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{Karbon Aktif@ZnO}$  menggunakan XRD, VSM, dan UV-Vis DRS.
2. Menentukan kemampuan  $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{Karbon Aktif@ZnO}$  dalam adsorpsi dan degradasi *Congo Red* dengan variabel pH, konsentrasi dan waktu kontak.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberi pengetahuan tentang proses sintesis  $\text{MnFe}_2\text{O}_4/\text{Karbon Aktif@ZnO}$  sehingga dapat meningkatkan peluang penerapannya dalam aplikasi fotodegradasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mengatasi masalah limbah zat warna tekstil dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahriani, Zelviani, S., Hernawati, & Fitriyanti. (2021). Analisis Nilai Absorbansi untuk Menentukan Kadar Flavonoid Daun Jarak Merah (*Jatropha Gossypifolia* L.) Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. *Jurnal Fisika Dan Terapannya*, 8(2), 56–64. <https://doi.org/10.24252/jft.v8i2.23379>
- Alfarisa, S., Rifai, D. A., & Toruan, P. L. (2018). Studi Difraksi Sinar-X Struktur Nano Seng Oksida (ZnO). *Risalah Fisika*, 2(2), 53–57. <https://doi.org/10.35895/rf.v2i2.114>
- Alfi, R., Lubis, F., Nasution, H. I., Zubir, M., Kimia, J., Matematika, F., Alam, P., & Medan, U. N. (2020). Production of Activated Carbon from Natural Sources for Water Purification. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology State University of Medan*, 03(2), 67–73.
- Alshabanat, M. N., & Al-Anazy, M. M. (2018). An Experimental Study of Photocatalytic Degradation of Congo Red Using Polymer Nanocomposite Films. *Journal of Chemistry*, 2018, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2018/9651850>
- Amsah, L. O. M. Y., Kurnia, L. M. H., & Malim, A. I. L. O. (2022). Evaluasi Kualitas Batubara pada Front Penambangan dan Ship Loading di Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Geoecebes*, 6(1), 87–92. <https://doi.org/10.20956/geoecebes.v6i1.19729>
- Aziam, R., Boukarma, L., Abali, M., Zerbet, M., Sinan, F., Eddaoudi, E. hassane, & Chiban, M. (2022). Equilibrium and Thermodynamic Studies for the Removal of Anionic Congo Red Dye by *Carpobrotus Edulis* Plant as Low-Cost Biomaterial. *Journal of Material Sciences & Manufacturing Research*, 3(3), 1–7. [https://doi.org/10.47363/jmsmr/2022\(3\)138](https://doi.org/10.47363/jmsmr/2022(3)138)
- B.R.Kirupakar, Dr.B.A.Vishwanath, Sree, M. P., & Deenadayalan. (2016). Vibrating Sample Magnetometer and Its Application in Characterisation of Magnetic Property of the Anti Cancer Drug Magnetic Microspheres. *International Journal of Pharmaceutics & Drug Analysis*, 4(5), 227–233.
- Bhernama, B. G., Safni, & Syukri. (2015). Degradasi Zat Warna Metanil Yellow secara Fotolisis dan Penyinaran Matahari dengan Penambahan Katalis TiO<sub>2</sub> - anatase dan SnO<sub>2</sub>. *Journal of Islamic Science and Technology*, 1(1), 49–62.
- Boutra, B., Güy, N., Özacar, M., & Trari, M. (2020). Magnetically Separable MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/TA/ZnO Nanocomposites for Photocatalytic Degradation of Congo Red Under Visible Light. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 497, 165994. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2019.165994>
- Desnelli, D., Yohandini, H., Nurnawaty, E., & Hariani, P. L. (2022). Study of Adsorption Isotherm and Thermodynamic Aspects of Congo Red and Procion Red over Natural and Zn / Fe Pillared Bentonite. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 7(2), 51–57. <https://doi.org/10.24845/ijfac.v7.i2.51>

- Elmorsi, T. M., Elsayed, M. H., & Bakr, M. F. (2017). Enhancing the Removal of Methylene Blue by Modified ZnO Nanoparticles: Kinetics and Equilibrium Studies. *Canadian Journal of Chemistry*, 95(5), 590–600. <https://doi.org/10.1139/cjc-2016-0456>
- Guo, W., Zhu, H., Ren, Q., Chen, S., Ding, Y., Xiong, C., Chen, J., & Jia, X. (2023). MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/ZnO/Diatomite Composites with Electromagnetic Wave Absorption and Antibacterial Bifunctions. *Solid State Sciences*, 138, 107152. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatedsciences.2023.107152>
- Hakim, L., Dirgantara, M., & Nawir, M. (2019). Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C dengan Menggunakan X-Ray Difrraction (X-RD) di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*, 1(1), 44–51. <https://doi.org/10.36873/jjms.v1i1.136>
- Herlina, R., Masri, M., & Sudding. (2017). Studi Adsorpsi Dedak Padi terhadap Zat Warna Congo Red di Kabupaten Wajo. *Jurnal Chemica*, 18(1), 16–25.
- Hidayati, P., Ulfin, I., & Juwono, H. (2016). Adsorpsi Zat Warna Remazol Brilliant Blue R Menggunakan Nata De Coco: Optimasi Dosis Adsorben dan Waktu Kontak. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 5(2), 2337–3520.
- Husna, I., Umar, A. A., & Ramli, M. A. (2019). Aplikasi Sintesis TiO<sub>2</sub> Nanopartikel dalam Degradasi Fotokatalitik Metil Jingga. *Sainstek : Jurnal Sains Dan Teknologi*, 10(1), 5. <https://doi.org/10.31958/js.v10i1.1203>
- Islammiyati, A., Azwar, A., & Asri, A. (2022). Studi Pengaruh Penyinaran Lampu Ultraviolet pada Kinerja Fotodegradasi Metilen Biru Berfotokatalis TiO<sub>2</sub>. *Prisma Fisika*, 10(3), 430–435.
- I Gusti Ayu Adesia Saraswati, Diantariani, N. P., & Suarya, P. (2015). Fotodegradasi Zat Warna Tekstil Congo Red dengan Fotokatalis ZnO-Arang Aktif dan Sinar Ultraviolet (UV). *Jurnal Kimia*, 9(2), 175–182.
- Januariawan, W., Wayan, I., Suyasa, B., & Gunawan, G. (2019). Biodegradasi Congo Red Menggunakan Biofilm yang Ditumbuhkan dengan Inokulum Suspensi Aktif pada Permukaan Batu Vulkanik. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 7(1), 36–45.
- 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. <https://doi.org/10.24252/jft.v9i1.28815>
- Karaagac, O., & Köçkar, H. (2020). The Effects of Temperature and Reaction Time on The Formation of Manganese Ferrite Nanoparticles Synthesized By Hydrothermal Method. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(3), 2567–2574. <https://doi.org/10.1007/s10854-019-02795-8>
- Khaniabadi, Y. O., Basiri, H., Nourmoradi, H., Mohammadi, M. J., Yari, A. R., Sadeghi, S., & Amrane, A. (2018). Adsorption of Congo Red Dye from Aqueous Solutions by Montmorillonite as a Low-Cost Adsorbent. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 16(1).

<https://doi.org/10.1515/ijcre-2016-0203>

- Kurniawan, N. A., Setiawan, F., & Sofyan, E. (2022). Pengujian Tarik Komposit Spesimen Campuran Serat Pisang Alur Diagonal dan Pasir Besi dengan Matrik Resin Polyester dengan Metode Hand Lay-Up. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 8(2), 281–288. <https://doi.org/10.56521/teknika.v8i2.657>
- Kusdarini, E., Budianto, A., & Ghafarunnisa, D. (2017). Produksi Karbon Aktif dari Batubara Bituminus dengan Aktivasi Tunggal  $H_3PO_4$ , Kombinasi  $H_3PO_4-NH_4HCO_3$ , dan Termal. *Reaktor*, 17(2), 74–80. <https://doi.org/10.14710/reaktor.17.2.74-80>
- Lestari, S., Arfiati, D., Masrevaniah, A., & Sholichin, M. (2020). Treatment of Water River with Activated Carbon from Coal and Palm Shells as Adsorbent. *Jurnal Pembangunan Dan Alam Lestari*, 11(1), 8–13. <https://doi.org/10.21776/ub.jp.al.2020.010.01.02>
- Mawarni, T., Fadarina, H. C., Aznury, M., & Taufik, M. (2021). Degradasi Zat Warna Rhodamin B Menggunakan Sintesis Fotokatalis  $ZnO/NiFe_2O_4$  dan Diaplikasikan pada Limbah Cair Industri Pulp dan Kertas Degradation. *Jurnal Kinetika*, 12(03), 44–50. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/indexTelp>
- Muslimah, F. A., Mustikasari, K., & Yunus, R. (2019). Pengaruh Aerasi terhadap Degradasi Congo Red secara Fotokimia dengan  $TiO_2$  dan  $H_2O_2$ . *Sains Dan Terapan Kimia*, 13(1), 29–38.
- Nagarajan, V., Thayumanavan, A., & Chandiramouli, R. (2018). DFT Application on the Interaction Properties of Ethanol Vapors with  $MnFe_2O_4$  Nanostructures. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 28(5), 1753–1763. <https://doi.org/10.1007/s10904-018-0824-9>
- Novananda, A., Rahmawati, I., Sani, S., Astuti, D. H., & Suprianti, L. (2020). Karbon Aktif dari Batubara Lignite dengan Proses Aktivasi Menggunakan Hidrogen Flourida. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(1). [https://doi.org/10.33005/jurnal\\_tekkim.v15i1.2297](https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v15i1.2297)
- Paryanto, Arsyad, M. F., & Aji, M. F. I. (2018). Penentuan Nilai Kesetimbangan Adsorpsi Zat Warna Alami Kulit Mahoni ke dalam Kain dengan Proses Batch. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 3(2), 7. <https://doi.org/10.31942/inteka.v3i2.2482>
- Putri, L. E. (2017). Penentuan Konsentrasi Senyawa Berwarna  $KMnO_4$  dengan Metoda Spektroskopi UV Visible. *Natural Science Journal*, 3(1), 391–398.
- Putri, N., & Puryanti, D. (2020). Sintesis Nanopartikel Manganese Ferrite ( $MnFe_2O_4$ ) dari Pasir Besi dan Mangan Alam dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Fisika Unand*, 9(3), 375–380. <https://doi.org/10.25077/jfu.9.3.375-380.2020>
- Putri, R., Sanjaya, H., & Yohandri. (2022). Pengaruh Waktu Radiasi terhadap Degradasi Zat Warna Methanil Yellow Menggunakan Metoda Fotosonolisis

dengan Bantuan Katalis ZnO. *Periodic*, 11(1), 98–101.

- Prinandito, S., Kurniawati, D., Alizar, A., & Nasra, E. (2022). Pengaruh Ukuran Partikel dan Kecepatan Pengadukan terhadap Penyerapan Fenol Menggunakan Biosorben Kulit Kelengkeng (*Dimocarpus longan* Lour). *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP*, 11(1), 29. <https://doi.org/10.24036/p.v11i1.113417>
- Riyanti, F., Hariani, P. L., Purwaningrum, W., Elfita, Santika, S., & Amelia, I. (2018). The Synthesis of MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-Activated Carbon Composite for Removal of Methyl Red From Aqueous Solution. *Molekul*, 13(2), 123–132. <https://doi.org/10.20884/1.jm.2018.13.2.435>
- Sahara, E., Gayatri, P. S., & Putu, S. (2018). Adsorpsi Zat Warna Rhodamin-B dalam Larutan oleh Arang Aktif Batang Tanaman Gunitir Teraktivasi Asam Fosfat. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 6(1), 37–44.
- Sanjaya, H., Hardeli, & Syafitri, R. (2018). Degradasi Metil Violet Menggunakan Katalis ZnO-TiO<sub>2</sub> secara Fotosonolisis. *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 19(1), 91–99. <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol19-iss1/131>
- Septiana, A. R., Teluma, Y. C. R., & Rifani, A. (2022). Sintesis dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Prekursor Batubara. *Indonesian Physical Review*, 5(1), 15–22.
- Septiani, U., Gustiana, M., & Safni. (2015). Pembuatan dan Karakterisasi Katalis TiO<sub>2</sub>/Karbon Aktif dengan Metode Solid State. *Jurnal Riset Kimia*, 9(1), 34. <https://doi.org/10.25077/jrk.v9i1.257>
- Setyaningtyas, T., & Sulaeman, U. (2007). Pengaruh pH Larutan dan Ukuran Partikel Abu Sekam Padi Terhadap Penurunan Kadar Congo Red. *Molekul*, 2(1), 7–12.
- Shao, L., Ren, Z., Zhang, G., & Chen, L. (2012). Facile Synthesis, Characterization of a MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Activated Carbon Magnetic Composite and its Effectiveness in Tetracycline Removal. *Materials Chemistry and Physics*, 135(1), 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2012.03.035>
- Sugiyana, D., & Notodarmojo, S. (2015). Studi Mekanisme Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Azo Acid Red 4 Menggunakan Katalis Mikropartikel TiO<sub>2</sub>. *Arena Tekstil*, 30(2), 83–94.
- Sun, L., Zhou, Q., Mao, J., Ouyang, X., Yuan, Z., Song, X., Gong, W., Mei, S., & Xu, W. (2022). Study on Photocatalytic Degradation of Acid Red 73 by. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(3574), 1–11. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/7/3574>
- Supriyanto, R., Gita, R., Dio, R., Bahri, S., & Kiswandono, A. A. (2021). Fotodegradasi Pewarna Tekstil Congo Red Menggunakan Katalis ZnO/Zeolit Y secara Spektrofotometri UV-Vis. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 6(02), 104–113.



- Tebriani, S. (2019). Analisis Vibrating Sample Magnetometer (VSM) pada Hasil Elektrodeposisi Lapisan Tipis Magnetite Menggunakan Aruscontinue Direct Current. *Natural Science Journal*, 5(1), 722–730.
- Tussa'adah, R., & Astuti. (2015). Sintesis Material Fotokatalis TiO<sub>2</sub> untuk Penjernihan Limbah Tekstil. *Jurnal Fisika Unand*, 4(1), 91–96.
- Wijaya, K., Sugiharto, E., Fatimah, I., Sudiono, S., & Kurniaysih, D. (2006). Utilisasi TiO<sub>2</sub>-Zeolit dan Sinar UV untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red. *Teknoin*, 11(3), 199–209. <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol11.iss3.art4>
- Wismayanti, D. A., Diantariani, N. P., & Santi, S. R. (2015). Pembuatan Komposit ZnO-Arang Aktif Sebagai Fotokatalis untuk Mendegradasi Zat Warna Metilen Biru. *Jurnal Kimia*, 9(1), 109–116.
- Yanlinastuti, & Fatimah, S. (2016). Pengaruh Konsentrasi Pelarut untuk Menentukan Kadar Zirkonium dalam Paduan U-Zr dengan Menggunakan Metode Spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Batan*, IX(17), 22–33.
- Yuniar, Agustina, T. E., Faizal, M., & Hariani, P. L. (2023). Synthesis and Characterization of ZnO/MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanocomposites for Degrading Cationic Dyes. *Journal of Ecological Engineering*, 24(4), 252–263. <https://doi.org/10.12911/22998993/160514>
- Zou, Y., Huang, X., Fan, B., Liu, Y., & Yue, J. (2023). Triple-Layer Structure of Carbon Foam Coated with Carbon Nanotubes and Feni Alloy for High-Performance Electromagnetic Wave Absorption. *Journal of Alloys and Compounds*, 946. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.169404>