

**MODIFIKASI MAGNETIK PADA PERMUKAAN *GRAPHENE OXIDE*
UNTUK EKSTRAKSI SENYAWA ANTIBIOTIK *CIPROFLOXACIN***

(Skripsi)

Oleh

AMELIA RIZKY AZ-ZAHRA



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

MODIFIKASI MAGNETIK PADA PERMUKAAN *GRAPHENE OXIDE* UNTUK EKSTRAKSI SENYAWA ANTIBIOTIK *CIPROFLOXACIN*

Oleh

AMELIA RIZKY AZ-ZAHRA

Pencemaran air oleh residu antibiotik khususnya *ciprofloxacin* (CIP) menjadi masalah global yang serius karena mengancam ekosistem perairan. Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi *Graphene Oxide* (GO) menjadi *Magnetic Graphene Oxide* (MGO) sebagai adsorben dalam teknik *Dispersive Solid Phase Extraction* (DSPE) untuk preparasi monitoring residu CIP di lingkungan perairan.

MGO disintesis melalui metode kopresipitasi dengan menggabungkan GO dan partikel magnetik Fe_3O_4 yang memberikan sifat magnetik, sehingga memudahkan proses pemisahan dalam teknik DSPE. Karakterisasi MGO dilakukan dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), dan spektrofotometri UV-Vis.

Hasil menunjukkan bahwa MGO memiliki gugus fungsi yang mendukung adsorpsi CIP, dengan kondisi optimum adsorpsi pada pH 5, massa MGO 20 mg, dan waktu kontak 40 menit. Efisiensi adsorpsi MGO mencapai 75,28%, lebih besar dari adsorpsi GO yang hanya sebesar 65,53%. Penelitian ini menunjukkan bahwa MGO dapat digunakan sebagai adsorben antibiotik CIP dan menawarkan proses pemisahan yang mudah dalam teknik DSPE untuk monitoring residu antibiotik CIP di lingkungan perairan.

Kata kunci: *graphene oxide, magnetic graphene oxide, ciprofloxacin, dispersive solid phase extraction*

ABSTRACT

MAGNETIC MODIFICATION ON GRAPHENE OXIDE SURFACE FOR EXTRACTION OF ANTIBIOTIC COMPOUND CIPROFLOXACIN

By

AMELIA RIZKY AZ-ZAHRA

Water pollution caused by antibiotic residues, particularly ciprofloxacin (CIP), has become a serious global issue as it threatens aquatic ecosystems. This study aims to modify Graphene Oxide (GO) into Magnetic Graphene Oxide (MGO) to be used as an adsorbent in the Dispersive Solid Phase Extraction (DSPE) technique for the preparation and monitoring of CIP residues in aquatic environments. MGO was synthesized via the coprecipitation method by combining GO with magnetic Fe_3O_4 particles, which impart magnetic properties and facilitate the separation process in DSPE. The characterization of MGO was carried out using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX), and UV-Vis spectrophotometry. The results showed that MGO possesses functional groups that support CIP adsorption, with optimal adsorption conditions at pH 5, an MGO mass of 20 mg, and a contact time of 40 minutes. The adsorption efficiency of MGO reached 75.28%, which is higher than that of GO at only 65.53%. This study demonstrates that MGO can be used as an adsorbent for CIP antibiotics and offers an easy separation process in the DSPE technique for monitoring CIP antibiotic residues in aquatic environments.

Keywords: graphene oxide, magnetic graphene oxide, ciprofloxacin, dispersive solid phase extraction

**MODIFIKASI MAGNETIK PADA PERMUKAAN *GRAPHENE OXIDE*
UNTUK EKSTRAKSI SENYAWA ANTIBIOTIK *CIPROFLOXACIN***

Oleh

AMELIA RIZKY AZ-ZAHRA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2025

Judul Skripsi : MODIFIKASI MAGNETIK PADA
PERMUKAAN *GRAPHENE OXIDE* UNTUK
EKSTRAKSI SENYAWA ANTIBIOTIK
CIPROFLOXACIN

Nama Mahasiswa : **Amelia Rizky Az - Zahra**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2117011058

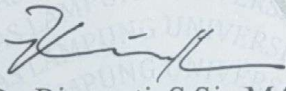
Program Studi : Kimia

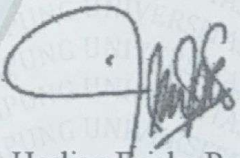
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



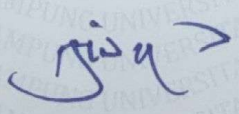
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Dr. Rinawati, S.Si., M.Si.
NIP. 197104142000032001


Dr. Herlian Eriska Putra
NIP. 198304212006041006

2. Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kerja Sama
FMIPA Universitas Lampung

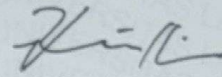

Mulyono, Ph.D.
NIP. 197406112000031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Dr. Rinawati, S.Si., M.Si.



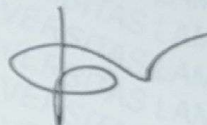
Sekretaris

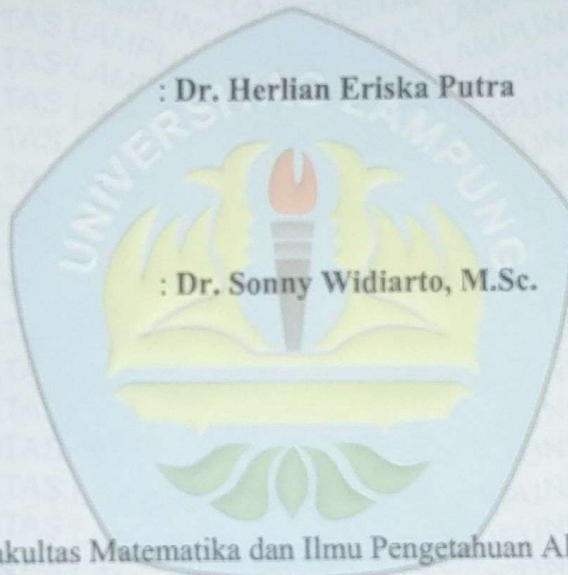
: Dr. Herlian Eriska Putra



Anggota

: Dr. Sonny Widiarto, M.Sc.





2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 26 Juni 2025

SURAT PERNYATAAN

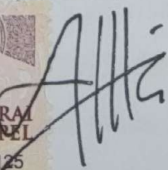
Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Amelia Rizky Az-zahra
Nomor Induk Mahasiswa : 2117011058
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Modifikasi Magnetik Pada Permukaan *Graphene Oxide* Untuk Ekstraksi Senyawa Antibiotik *Ciprofloxacin*” adalah benar karya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Saya tidak keberatan jika data dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Bandar Lampung, 30 Juni 2025

Yang Menyatakan,




Amelia Rizky Az-zahra

NPM 2117011058

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Amelia Rizky Az-zahra, lahir di Kalianda, 20 Mei 2003 dan merupakan anak pertama dari tiga bersaudara, putri dari Bapak Sarmin dan Ibu Yuli. Saat ini penulis bertempat tinggal di Jalan Karimun Jawa, Gg. Wisma I, Sukarame, Bandar Lampung.

Penulis memulai pendidikan di Taman Kanak-kanan (TK) Sriwijaya pada tahun 2008 dan lulus pada tahun 2009. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Dasar (SD) Negeri 1 Sukarame dan lulus pada tahun 2015. Pada tahun 2015 penulis melanjutkan pendidikan di Madrasah Tsanawiyah Negeri (MTsN) 2 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2018. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Teknologi Industri (SMTI) Bandar Lampung dan selesai pada tahun 2021. Pada tahun 2021 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menempuh pendidikan di Jurusan Kimia, penulis aktif dalam berbagai kegiatan organisasi kemahasiswaan. Organisasi yang pernah penulis ikuti adalah Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) sebagai kader muda Himaki (KAMI) tahun 2021, ROIS FMIPA sebagai kader muda Rois tahun 2021, anggota Bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia Himaki 2022, anggota Bidang Kaderisasi dan Kepemimpinan ROIS FMIPA 2022, Sekretaris Umum Himaki 2023, dan Sekretaris Dinas Pemberdayaan Wanita (PW) BEM FMIPA pada tahun 2024. Selain itu, penulis pernah mengikuti kegiatan Karya Wisata Ilmiah tahun 2021. Penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode 1 tahun 2023 di Desa Hurun, Kec. Teluk Pandan, Kab. Pesawaran, Lampung. Kemudian penulis

melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Sumber Indah Perkasa, Lampung Selatan pada tahun 2024. Akhirnya pada tahun 2025, penulis dapat menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik FMIPA Universitas Lampung dengan judul “**Modifikasi Magnetik Pada Permukaan *Graphene Oxide* Untuk Ekstraksi Senyawa Antibiotik *Ciprofloxacin***”.

MOTTO

“Cukuplah Allah sebagai penolong kami dan Allah adalah sebaik-baiknya tempat bersandar.”

(Q.S. Ali Imran:173)

(Ingatlah ketika Tuhanmu memaklumkan.

“Sesungguhnya jika kamu bersyukur, niscaya Aku akan menambah (nikmat) kepadamu, tetapi jika kamu mengingkari (nikmat-Ku), sesungguhnya azab-Ku benar-benar sangat keras.”

(Q.S. Ibrahim: 7)

Sebaik-baik rencanamu, percaya dan yakinkan rencana Allah jauh lebih baik. Maka, ikhlas dan bersyukurlah kamu, serta tetap lakukan yang terbaik dalam setiap kesempatan.

(Penulis)

PERSEMBAHAN



Atas izin dan keridhaan Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Hidayah-Nya serta rasa syukur yang luar biasa

Ku persembahkan karya sederhana ini sebagai wujud cinta, bakti, dan sayang ku kepada

Mamaku

Mama Yuli Wigati, wanita tersabar dan terkuat yang penuh kasih kepadaku

Ayahku

Ayah Sarmin Haifi, karena engkaulah aku penuh rasa syukur dalam menghadapi segala hal

Kedua Adikku

Beryl Azura Laksita dan Maliq Baqir Al-Muttaqin, semoga senantiasa dalam penjagaan Allah yang terbaik

Rasa hormat saya kepada

Ibu Dr. Rinawati, M.Si., Bapak Dr. Herlian Eriska Putra, dan Bapak Dr. Sonny Widiarto, M.Sc.

Serta seluruh dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila. Terima kasih atas bimbingan, ilmu, nasihat, dan pengalamannya selama penulis menempuh pendidikan di kampus hingga mendapat gelar sarjana. Semoga Allah SWT membalas kebaikan Bapak dan Ibu, Aamiin

Kepada orang-orang yang telah mendukung penulis selama ini
Terima kasih, penulis bersyukur

SANWACANA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Modifikasi Magnetik pada Permukaan *Graphene Oxide* untuk Ekstraksi Senyawa Antibiotik *Ciprofloxacin*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam proses pengerjaan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari kesulitan dan rintangan. Namun, semua itu dapat penulis lalui berkat Rahmat dan Ridho Allah SWT serta bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Rinawati, M.Si., selaku pembimbing satu dan kepala UPA Laboratorium Terpadu yang telah sabar membimbing, memberi masukan, motivasi, dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Bapak Dr. Herlian Eriska Putra, selaku pembimbing dua yang telah membimbing, memberikan ilmu, motivasi, dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
3. Bapak Dr. Sonny Widiarto, M.Sc., selaku penguji dan pembahas yang telah memberikan kritik, saran, dan arahan kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D., selaku dosen pembimbing akademik

yang memberikan semangat dan arahan kepada penulis, sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik.

5. Ibu Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Bapak Mulyono, Ph.D., selaku Wakil Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia yang telah memberikan ilmu pengetahuan sayang sangat bermanfaat kepada penulis selama menjadi mahasiswa jurusan kimia.
9. Kedua orang tua yang sangat penulis cintai. Terima kasih atas segala bentuk kerja keras, pengorbanan, doa, dan dukungan baik secara materi maupun moral. Terima kasih juga untuk segala cinta, kasih sayang, perhatian, dan kesabaran yang Ayah dan Mama berikan.
10. Adikku tersayang, Beryl Azura Laksita dan Maliq Baqir Al-Muttaqin. Terima kasih atas dukungan yang telah diberikan, kalian menjadi alasan ku untuk selalu semangat.
11. Keluarga besar penulis dari Mama maupun Ayah, khususnya Mbah dan Nenek yang selalu mendoakan, memberikan nasihat, dan motivasi selama kuliah.
12. Sahabat seperjuangan penelitian *Rinawati's Research Group* 2021 Rima Soraya Permata Sari, Aviana Hanifah Lutfi, Aranca Putri Maharani, dan Hafiz Sadewa Utama yang senantiasa hadir menemani suka duka penelitian.
13. Kakak tingkat seperbimbingan Kak Dian dan Kak Salwa, terima kasih sudah membantu, berbagi ilmu, dan memberikan saran selama penelitian.
14. Sahabatku “Ber 6 Ber S.Si.”, Sajiddah Talfah, Tiara Zalfa Nur Alifa, Anisah Isti Roqhmah, Desvica Romanda, dan Desrita Pratiwi. Terima kasih sudah bertahan dari maba sampai saat ini. Terima kasih atas doa, dukungan, motivasi, telinga, bahu, dan waktu yang kalian berikan.

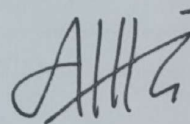
15. Teman-teman pimpinan Himaki 2023, Alya, Ajo, Talfa, Rima, Trie, Fera, Vira, Naurah, Ulma, Abe, Hafiz, Andra, Radit, dan Govin. Terima kasih sudah saling mendukung dan mendoakan.
16. Keluarga besar kimia 2021, terima kasih atas segala pertemanan dan semangatnya selama ini.
17. Seluruh laboran, staff, dan karyawan Jurusan Kimia FMIPA Unila, Mas Udin, Mba Yuni dan Pak Rudi yang telah membantu selama perkuliahan.
18. Almamater tercinta, Universitas Lampung.
19. Terima kasih kepada seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu atas bantuan, dukungan, dan doa kepada penulis.

Akhir kata, penulis mohon maaf apabila skripsi ini masih banyak kurangnya dan jauh dari kata sempurna. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat sebagaimana mestinya. *Aamiin Allahumma Aamiin.*

Wassalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Bandar Lampung, 30 Juni 2025

Penulis



Amelia Rizky Az-zahra

NPM 2117011058

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
I. PENDAHULUAN.....	20
1.1. Latar Belakang	20
1.2. Tujuan Penelitian	23
1.3. Manfaat Penelitian	23
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	24
2.1 Antibiotik <i>Ciprofloxacin</i> (CIP)	24
2.2 <i>Dispersive Solid Phase Extraction</i> (DSPE)	26
2.3 <i>Graphene Oxide</i> (GO).....	27
2.4 <i>Magnetic Graphene Oxide</i> (MGO).....	30
2.5 Karakterisasi	32
2.5.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	32
2.5.2 <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	33
2.5.2 <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX).....	34
2.6 Spektrofotometri Ultraviolet-Visibel (UV-Vis).....	36
III. METODE PENELITIAN.....	39
3.1 Waktu dan Tempat	39
3.2 Alat dan Bahan.....	39
3.3 Prosedur Kerja	40
3.3.1 Pembuatan <i>Graphene Oxide</i> (GO) Menggunakan Metode Hummers Termodifikasi	40
3.3.2 Pembuatan <i>Magnetic Graphene Oxide</i> (MGO) Menggunakan Metode Kopresipitasi.....	41
3.3.3 Karakterisasi	41
3.3.4 Pembuatan Larutan Induk.....	41

3.3.5 Pembuatan Kurva Kalibrasi.....	41
3.3.6 Optimasi Parameter Adsorpsi Antibiotik <i>Ciprofloxacin</i>	42
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Pembuatan <i>Graphene Oxide</i> (GO) Menggunakan Metode Hummers Termodifikasi	44
4.2 Pembuatan <i>Magnetic Graphene Oxide</i> (MGO) Menggunakan Metode Kopresipitasi	46
4.3 Karakterisasi <i>Magnetic Graphene Oxide</i>	47
4.3.1 Karakterisasi Menggunakan <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR). ..	47
4.3.2 Karakterisasi Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	49
4.3.3 Karakterisasi Menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX).....	50
4.3.4 Karakterisasi Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis.....	52
4.4 Penentuan Panjang Gelombang <i>Ciprofloxacin</i>	53
4.5 Optimasi Parameter Adsorpsi Antibiotik <i>Ciprofloxacin</i>	54
4.5.1 Penentuan pH Optimum.....	54
4.5.2 Penentuan Massa Optimum	56
4.5.3 Penentuan Waktu Kontak Optimum	57
4.6 Perbandingan Uji Adsorpsi Antibiotik <i>Ciprofloxacin</i> Menggunakan <i>Graphene Oxide</i> dan <i>Magnetic Graphene Oxide</i>	58
V. SIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Simpulan	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	72
1. Pengaruh Penentuan pH Optimum Adsorbat	73
2. Pengaruh Penentuan Massa Optimum Adsorben.....	77
3. Pengaruh Penentuan Waktu Kontak Optimum	80
4. Uji Adsorpsi Metode <i>Dispersive Solid Phase Extraction</i> (DSPE) dengan <i>Graphene Oxide</i> sebagai Adsorben	83
5. Perhitungan Keberterimaan %RSD (Konsentrasi 4 ppm)	84

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data rata-rata uji adsorpsi penentuan pH optimum adsorbat	55
2. Data rata-rata uji adsorpsi penentuan massa optimum adsorben	56
3. Data rata-rata uji adsorpsi penentuan waktu kontak optimum	58
4. Data rata-rata uji adsorpsi menggunakan GO dan MGO	59
5. Data uji adsorpsi I penentuan pH adsorbat optimum	73
6. Data uji adsorpsi II penentuan pH adsorbat optimum	75
7. Data rata-rata uji adsorpsi penentuan pH optimum adsorbat	76
8. Data uji adsorpsi I penentuan massa adsorben optimum	77
9. Data uji adsorpsi II penentuan massa adsorben optimum	78
10. Data rata-rata uji adsorpsi penentuan massa optimum adsorben	79
11. Data uji adsorpsi I penentuan waktu kontak optimum	80
12. Data uji adsorpsi II penentuan waktu kontak optimum	82
13. Data rata-rata uji adsorpsi penentuan waktu kontak optimum	83
14. Data uji adsorpsi I GO	83
15. Data rata-rata uji adsorpsi menggunakan GO	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur kimia CIP	24
2. Distribusi CIP sebagai fungsi pH	25
3. Mekanisme teknik DSPE	27
4. Struktur kimia (a) Grafit; (b) Graphene	28
5. Struktur kimia GO.....	29
6. Hipotesis mekanisme sintesis MGO	31
7. XRD (a) GO; (b) MGO	33
8. Spektrum FTIR (a) GO; (b) MGO.	34
9. SEM (a) GO; (b) MGO	35
10. EDX (a) GO; (b) MGO	36
11. Hasil spektrum UV-Vis (a) GO dan (b) MGO.....	37
12. Diagram alir penelitian.....	43
13. Skema pembentukan gugus fungsional GO (a) gugus karbonil, (b) gugus karboksilat, (c) gugus karboksilat dan keton, (d) gugus hidroksil	45
14. Graphene oxide	46
15. Magnetic graphene oxide	47
16. Hasil spektrum FTIR (a) GO dan (b) MGO.....	48
17. Hasil difraktogram XRD (a) GO dan (b) MGO	50
18. Hasil SEM (a) GO dan (b) MGO	51

19. Hasil EDX (a) GO dan (b) MGO	52
20. Hasil spektrum UV-Vis (a) GO dan (b) MGO.....	53
21. Panjang gelombang maksimum CIP	54
22. Hasil uji adsorpsi variasi pH adsorbat.....	54
23. Hasil uji adsorpsi variasi massa adsorben.....	56
24. Hasil uji adsorpsi variasi waktu kontak	57
25. Kurva kalibrasi I untuk penentuan pH optimum adsorbat	73
26. Kurva kalibrasi II untuk penentuan pH optimum adsorbat.....	75
27. Kurva kalibrasi I untuk penentuan massa optimum adsorben	77
28. Kurva kalibrasi II untuk penentuan massa optimum adsorben	78
29. Kurva kalibrasi I untuk penentuan waktu kontak optimum	80
30. Kurva kalibrasi II untuk penentuan waktu kontak optimum.....	81
31. Kurva Kalibrasi pengulangan I uji adsorpsi GO.....	83

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pencemaran lingkungan menjadi salah satu masalah semua makhluk hidup.

Isu masalah pencemaran lingkungan merupakan masalah bersama yang sangat penting untuk diselesaikan, karena menyangkut keselamatan, kesehatan, dan keberlangsungan hidup (Sompotan dan Sinaga, 2022). Pencemaran air merupakan kondisi yang diakibatkan masuknya bahan pencemar atau limbah buangan yang dapat berupa gas, bahan terlarut, dan partikulat. Pencemar yang masuk ke dalam perairan dapat dilakukan melalui atmosfer, tanah, limpasan atau *run off* dari lahan pertanian, limbah domestik, perkotaan, industri, dan lain-lain (Liku dkk., 2022).

Salah satu penyebab pencemaran air yang telah menjadi permasalahan serius secara global adalah limbah dari produk farmasi (Beek *et al.*, 2016). Salah satu antibiotik yang paling sering terdeteksi dalam air limbah adalah *ciprofloxacin* (CIP), yaitu antibiotik golongan fluorokuinolon yang digunakan secara luas dalam pengobatan infeksi bakteri. Antibiotik CIP memiliki struktur yang kompleks dan ketahanan tinggi terhadap degradasi, sehingga sulit dihilangkan dari air limbah. Akibatnya, senyawa ini terus terakumulasi di lingkungan yang dapat mengancam ekosistem perairan dan menyebabkan berkembangnya bakteri yang resisten terhadap antibiotik baik dalam konsentrasi rendah maupun waktu yang lama sehingga menimbulkan dampak negatif bagi manusia, hewan, dan lingkungan (Mohan and Balakrishnan, 2021). Oleh karena itu, perlu dilakukan pemantauan terhadap residu antibiotik CIP di lingkungan.

Penentuan residu antibiotik CIP dalam sampel lingkungan merupakan langkah awal yang penting untuk mengatasi masalah pencemaran CIP. Berbagai instrumen

telah digunakan untuk menentukan residu antibiotik CIP, seperti *High-Performance Liquid Chromatography* (HPLC) (Szerkus *et al.*, 2017), *Liquid Chromatography-Mass Spectrometry* (LC-MS) (Huidobro-López *et al.*, 2022), dan teknik elektrokimia seperti voltametri (Benjamin *and* Júnior, 2022).

Meskipun penentuan residu menggunakan instrumen memiliki sensitivitas dan selektivitas yang tinggi, namun kualitas hasil analisis sangat bergantung pada teknik preparasi sampel (Płotka *et al.*, 2016). Preparasi sampel yang tepat dapat meningkatkan kemampuan deteksi, sensitivitas, selektivitas, dan mencegah instrumen dari kerusakan (Li *et al.*, 2019; Widayanti, 2020).

Teknik preparasi yang umum digunakan untuk analit di lingkungan perairan, yaitu ekstraksi cair-cair. Namun, ekstraksi cair-cair memiliki beberapa kelemahan, termasuk penggunaan volume pelarut yang besar dan waktu ekstraksi yang lama (Płotka *et al.*, 2016). Selain itu, teknik preparasi *Solid-Phase Extraction* (SPE) memiliki kekurangan seperti waktu analisis yang panjang, konsumsi pelarut yang cukup banyak (Amanda dkk., 2022), resiko kehilangan analit, dan biaya yang relatif mahal (Maranata *et al.*, 2021). Oleh karena itu, dikembangkan teknik *Dispersive Solid-Phase Extraction* (DSPE).

Teknik DSPE adalah metode ekstraksi yang digunakan dalam analisis dan pemurnian senyawa, khususnya dalam bidang farmasi, toksikologi, dan analisis lingkungan. Teknik DSPE memiliki beberapa keunggulan, seperti waktu ekstraksi yang singkat, pelarut yang digunakan lebih sedikit, efektivitasnya tinggi, dan metode lebih sederhana. Teknik DSPE mampu meningkatkan efisiensi pemisahan analit dari matriks sampel yang kompleks. Pada dasarnya teknik DSPE tergantung pada jenis adsorbennya, karena adsorben fase padat didispersikan langsung ke dalam larutan sampel sehingga memungkinkan terjadi interaksi langsung antara analit dan adsorben (Ścigalski *and* Kosobucki, 2020). Oleh karena itu, pemilihan material adsorben sangat penting dilakukan untuk menghasilkan hasil yang optimum. Material adsorben yang diperlukan harus memiliki karakteristik tertentu, seperti luas permukaan yang tinggi, memiliki kestabilan termal, dan afinitas yang baik terhadap senyawa target. Material yang memiliki struktur nano

karbon cocok dijadikan sebagai adsorben karena kelebihanannya, yaitu tidak beracun, mempunyai daya serap yang tinggi, bahan yang teradsorpsi dalam skala nano dapat dihilangkan dengan mudah dari permukaan adsorben, dan adsorben dapat didaur ulang. Salah satu adsorben tersebut adalah *Graphene Oxide* (GO) (Soni *et al.*, 2020).

GO merupakan material karbon yang memiliki luas permukaan yang besar dan memiliki banyak gugus fungsi oksigen sehingga dapat digunakan sebagai adsorben. Menurut penelitian Rinawati *et al* (2024) GO telah digunakan sebagai adsorben pada DSPE untuk mengadsorpsi antibiotik. Namun, GO sebagai adsorben memiliki kelemahan karena sulitnya proses pemisahan dari larutan sehingga membutuhkan waktu yang relatif lama. Hal ini, berdampak pada rendahnya nilai adsorpsi dan residu GO yang berpotensi menjadi pencemar sekunder apabila tidak dipisahkan secara sempurna (Neolaka *et al.*, 2020). Ketika GO dikombinasikan dengan partikel magnetik, seperti Fe_3O_4 , terbentuklah material *Magnetic Graphene Oxide* (MGO) yang memiliki sifat magnetik. Sifat ini memungkinkan pemisahan material secara cepat dan efisien. Selain itu, dapat mengurangi kemungkinan terjadinya penurunan nilai adsorpsi dan mengurangi potensi menjadi limbah sekunder. Kombinasi GO dan Fe_3O_4 menjadi MGO dapat meningkatkan sifat adsorpsi terhadap polutan organik melalui interaksi fisik dan kimia (Chen *et al.*, 2021).

MGO dapat mengadsorpsi berbagai jenis polutan organik termasuk antibiotik, logam berat, dan pewarna dari air limbah (Pérez-Rodriguez *et al.*, 2024). Mekanisme kerja MGO dalam ekstraksi CIP didasarkan pada interaksi antara gugus fungsional oksigen GO dan ion logam magnetik pada Fe_3O_4 dengan molekul CIP (J. Wang *et al.*, 2021). Sehingga, pengembangan adsorben MGO baik digunakan dalam proses ekstraksi antibiotik CIP.

Penentuan kondisi penyerapan optimum antibiotik CIP sangat diperlukan agar menghasilkan hasil yang optimal. Optimasi parameter seperti pH, massa adsorben, dan waktu kontak sangat penting dalam pembuatan adsorben MGO untuk

meningkatkan efisiensi adsorpsi. Berdasarkan uraian di atas, maka pada penelitian ini akan dilakukan modifikasi magnetik pada permukaan GO untuk ekstraksi senyawa antibiotik CIP di lingkungan perairan.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh *Magnetic Graphene Oxide* (MGO).
2. Mengetahui karakterisasi MGO menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), dan Spektrofotometri UV-Vis.
3. Mengetahui kondisi optimum adsorpsi CIP berdasarkan parameter pH, massa adsorben MGO, dan waktu kontak.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi ilmiah mengenai kemampuan MGO dalam ekstraksi residu antibiotik CIP di lingkungan perairan dan mengetahui parameter yang memengaruhi hasil adsorpsi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Antibiotik Ciprofloxacin (CIP)

Antibiotik adalah senyawa yang dihasilkan oleh mikroorganisme dan dapat menghambat atau membunuh pertumbuhan bakteri. Antibiotik bekerja dengan mengganggu struktur atau proses penting yang diperlukan untuk pertumbuhan atau kelangsungan hidup bakteri tanpa merusak sel inang (Hussein *et al.*, 2023). Antibiotik digunakan untuk mengobati berbagai infeksi bakteri seperti sinusitis, tonsilitis, infeksi telinga, infeksi saluran kemih, dan lainnya. Penggunaan antibiotik yang tidak tepat dapat melemahkan sistem kekebalan tubuh dan menyebabkan bakteri menjadi lebih resisten (Stokes *et al.*, 2019). Antibiotik dapat diklasifikasikan berdasarkan struktur atau mekanisme kerja (Hussein *et al.*, 2023).

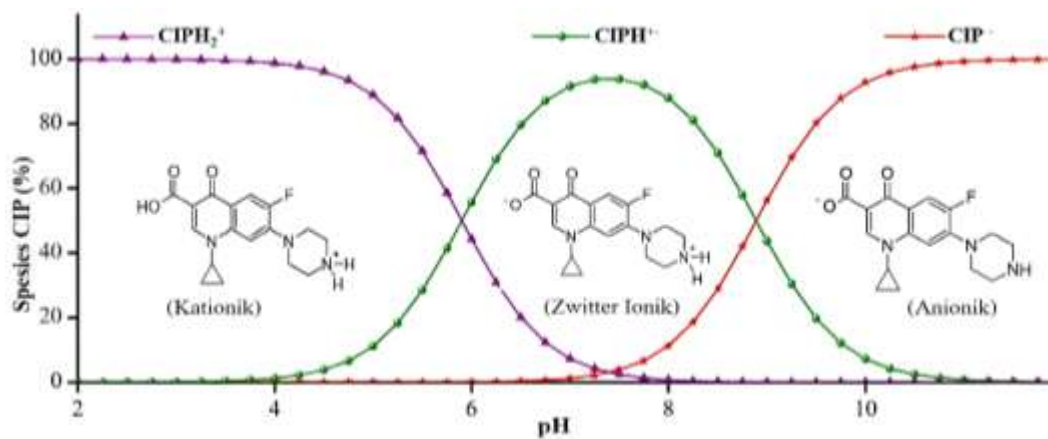


Gambar 1. Struktur kimia CIP (Bush *et al.*, 2020).

Ciprofloxacin (CIP) memiliki nama molekul 1-cyclopropyl-6-fluoro-4-oxo-7-(piperazine-1-yl)-1, 4-dihydroquinoline-3-carboxylic acid dengan rumus kimia $C_{17}H_{18}FN_3O_3$ dan memiliki berat molekul sebesar 331,34 g/mol. CIP merupakan antibiotik spektrum antimikroba yang luas dari golongan fluorokuinolon, karena memiliki gugus fluor pada posisi C-6 dan gugus piperazine. Selain itu, gugus

siklopropil juga berkaitan dengan aktivitas antibakteri CIP yang tinggi (Shariati *et al.*, 2022). Struktur kimia CIP ditunjukkan pada Gambar 1.

Menurut studi, gugus karboksil CIP pada pH rendah (1,2) cenderung terprotonasi, sehingga menyebabkan kelarutan lebih rendah. CIP pada pH netral (6,8) menunjukkan kelarutan yang lebih meningkat dibandingkan dengan pH yang lebih asam. Sedangkan pada kondisi pH yang tinggi gugus karboksil dapat mengalami deprotonasi. Meskipun bersifat lebih larut, namun kelarutan dalam air dapat berkurang karena sifat hidrofobik CIP (Darma dkk., 2020). CIP memiliki gugus fungsi *zwitterion*, yaitu gugus piperazin bermuatan positif dan karboksil bermuatan negatif. CIP dalam larutan asam ($\text{pH} < \text{pK}_a = 5,9$) akan mengalami protonasi dan dalam larutan basa ($\text{pH} > \text{pK}_a = 8,86$) akan mengalami deprotonasi. Sedangkan, pada pH netral, CIP dapat mencapai titik ekuipotensial, sehingga dapat mengalami degradasi dengan cepat. $\text{HO}\cdot$ berperan dalam serangan terhadap cincin piperazin dalam CIP (Gunawan *et al.*, 2023). Bentuk distribusi CIP sebagai fungsi pH terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2. Distribusi CIP sebagai fungsi pH (Gunawan *et al.*, 2023).

CIP adalah antibiotik fluorokuinolon yang banyak digunakan untuk mengobati berbagai infeksi bakteri, termasuk bakteri gram positif dan gram negatif (Yu *et al.*, 2023). CIP digunakan untuk melawan infeksi bakteri gram negatif seperti *Escherichia coli* dan *Salmonella* spp (Kutuzova *et al.*, 2021). CIP banyak digunakan untuk pengobatan berbagai macam infeksi, seperti infeksi saluran

pernapasan, infeksi gastrointestinal, infeksi kulit, infeksi tulang, dan infeksi saluran kemih (Shariati *et al.*, 2022).

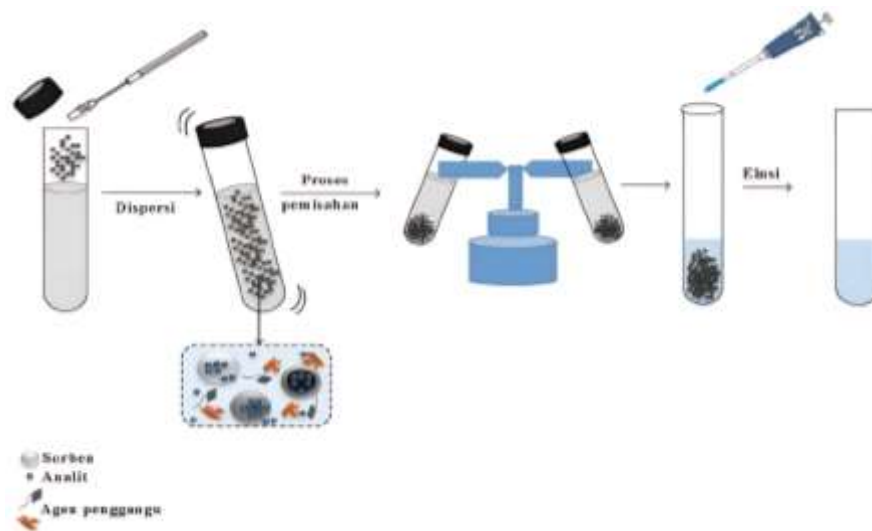
Penggunaan CIP yang semakin banyak, maka dapat menyebabkan semakin banyak juga residu yang dihasilkan. Residu CIP dapat menyebabkan dampak negatif yang berbahaya karena terjadinya resistensi bakteri dan efek ekotoksikologi, efek kondrotoksik pada hewan, serta menimbulkan beberapa penyakit seperti infeksi usus dan kulit pada manusia (Azriouil *et al.*, 2022). Beberapa studi telah menemukan bahwa polutan CIP telah terdeteksi pada lingkungan perairan. Konsentrasi rata-rata global CIP yang terdeteksi pada air limbah sebesar $10\text{-}10^3$ ng/L atau sebesar $10^{-2}\text{-}1$ ppb (Kovalakova *et al.*, 2020), sedangkan pada air permukaan berada dalam kisaran 10-100 ng/L, dengan konsentrasi tertinggi mencapai 2,5-6,5 mg/L (Rinawati *et al.*, 2024). Konsentrasi CIP pada air limbah rumah sakit sebesar 150 $\mu\text{g/L}$ dan pada pabrik obat mencapai 50 mg/L (Azzam *et al.*, 2022).

2.2 *Dispersive Solid Phase Extraction (DSPE)*

Dispersive Solid Phase Extraction (DSPE) adalah teknik pemisahan yang digunakan dalam analisis kimia untuk mengekstraksi dan memekatkan analit dari sampel yang kompleks (Hagarová and Nemček, 2021). Prinsip kerja DSPE adalah adsorben yang berinteraksi langsung dengan senyawa target, dipisahkan dari larutan sampel dengan cara filtrasi atau sentrifugasi. Kemudian desorpsi menggunakan pelarut yang sesuai (Büyüktiryaki *et al.*, 2020). DSPE bekerja dengan cara mendispersikan adsorben ke dalam sampel untuk memaksimalkan kontak permukaan antara adsorben dan analit. Setelah proses ekstraksi, adsorben yang mengandung analit dipisahkan dari matriks sampel melalui sentrifugasi atau metode pemisahan lainnya (Behbahani *et al.*, 2015).

Teknik ini memiliki beberapa keunggulan, seperti waktu ekstraksi yang singkat, pelarut yang digunakan lebih sedikit, efektivitasnya tinggi, dan metode lebih sederhana. DSPE juga digunakan dengan berbagai jenis adsorben, seperti

magnetik nanopartikel dan bahan berbasis karbon. DSPE telah digunakan secara luas dalam berbagai bidang, termasuk dalam analisis antibiotik CIP dari golongan fluorokuinolon yang sering terdeteksi dalam air limbah (Ścigalski *and* Kosobucki, 2020). Pengaplikasian DSPE sering digabungkan dengan metode kromatografi dan spektroskopi untuk meningkatkan sensitivitas dan selektivitas analisis. Kombinasi ini memungkinkan analisis yang lebih sederhana dan efektif dalam pemurnian dan analisis sampel, serta mengurangi biaya dan waktu pengolahan sampel dibandingkan dengan metode ekstraksi konvensional (Rahmatia, 2016). Mekanisme teknik DSPE ditunjukkan pada Gambar 3.



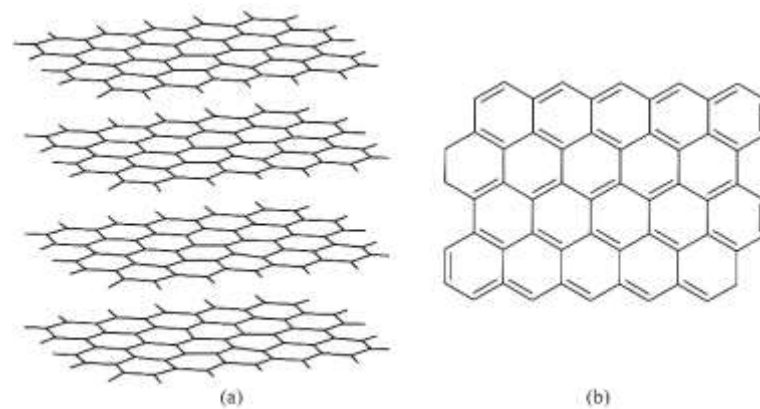
Gambar 3. Mekanisme teknik DSPE (Islas *et al.*, 2017).

2.3 Graphene Oxide (GO)

Grafit merupakan bentuk kristalin karbon yang berbentuk serbuk dan berwarna hitam. Setiap atom grafit hanya dikelilingi oleh tiga atom tetangganya yang akan membentuk ikatan dengan atom karbon lainnya sehingga membentuk struktur heksagonal yang diakibatkan terjadinya resonansi. Struktur heksagonal grafit memiliki ikatan antaratom yang membentuk orbital atom trigonal ikatan kovalen dengan hibridisasi sp^2 . Struktur kristal grafit tersusun atas lapisan-lapisan karbon yang sekarang dikenal dengan nama *graphene* (Amri, 2019).

Graphene mengacu pada satu lapisan grafit, dengan atom karbon hibridisasi sp^2

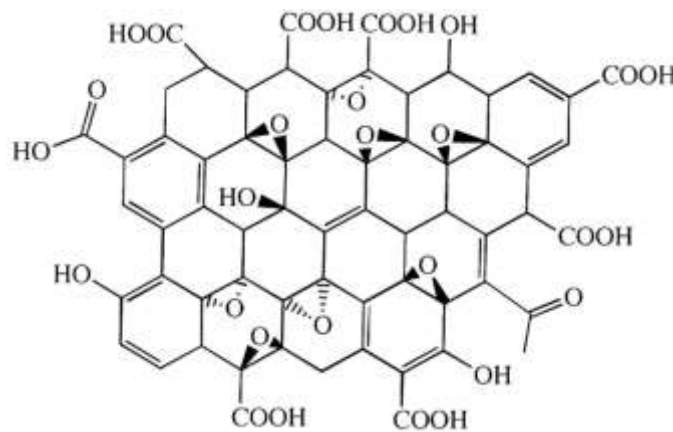
yang tersusun dalam kisi heksagonal dan sebagian diisi oleh orbital π pada bagian atas dan bawah bidang lembaran *graphene* (Amri, 2019). *Graphene* memiliki konduktivitas listrik yang tinggi, kekuatan mekanik yang baik, dan kemampuan untuk mengalirkan panas dengan efisien (Manousi *et al.*, 2020). Bentuk ikatan karbon pada *graphene* adalah ikatan kovalen dan terdapat ikatan kovalen rangkap pada salah satu atomnya, dimana antara dua lapisan terdekat *graphene* terdapat ikatan *Van Der Waals* (Dwandaru dkk., 2019). Interaksi ikatan *Van Der Waals* yang kuat dan interaksi π - π antarlapisan dapat mengurangi luas permukaan dan kemampuan adsorpsi. Namun, adanya turunan *graphene* yaitu *graphene oxide* dapat mengatasi masalah tersebut (Neolaka *et al.*, 2020). Adapun struktur kimia dari grafit dan *graphene* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur kimia (a) Grafit; (b) *Graphene* (Naraprawatphong *et al.*, 2022).

Graphene Oxide (GO) adalah bentuk teroksidasi *graphene* yang mengandung berbagai gugus fungsional oksigen seperti epoksi, hidroksil, dan karboksil (Dwandaru dkk., 2019). Beberapa keunggulan yang dimiliki GO adalah memiliki fleksibilitas, stabilitas kimia dan termal yang baik, serta memiliki luas permukaan tinggi yang spesifik (Smith *et al.*, 2019). Keberadaan gugus fungsi oksigen menyebabkan GO bersifat hidrofobik dan meningkatkan kelarutan yang baik dalam banyak pelarut, terutama air (Trikkaliotis *et al.*, 2021). Selain itu, terdapat situs reaktif untuk modifikasi kimia dan fungsional pada gugus fungsi yang mengandung oksigen (Razaq *et al.*, 2022).

Penggunaan GO sebagai adsorben banyak digunakan sebagai penyerap ion logam, zat warna, dan polutan organik melalui gaya elektrostatis, ikatan hidrogen, interaksi π , dan gaya interaksi lainnya (Zhao *et al.*, 2021). Berbagai studi telah dikembangkan penggunaan GO untuk menyerap residu CIP (Adray, 2023), tetrasiklin (Kistianti, 2022), *enrofloxacin*, dan rhodamin B (Yang *et al.*, 2022). Adapun struktur kimia GO ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur kimia GO (Naraprawatphong *et al.*, 2022).

GO dapat disintesis dengan beberapa cara seperti metode hummers, metode *Liquid Phase Exfoliation*, dan *Chemical Vapor Deposition* (CVD).

20. Metode Hummers

Metode hummers memiliki prinsip dasar oksidasi grafit menjadi GO melalui serangkaian reaksi kimia menggunakan agen pengoksidasi kuat seperti campuran kalium permanganat (KMnO_4), natrium nitrat (NaNO_3), dan asam sulfat (H_2SO_4). Proses pencampuran akan menghasilkan GO yang diikuti dengan pencucian dan pemurnian. Metode ini telah dikembangkan dengan berbagai modifikasi (Jiříčková *et al.*, 2022).

Metode hummers termodifikasi dilakukan dengan meningkatkan oksidan KMnO_4 dan mengubah proporsi untuk meningkatkan hasil (Santamaria *et al.*, 2019). Selain itu, metode hummers termodifikasi juga lebih ramah lingkungan karena tidak menggunakan natrium nitrat (NaNO_3) yang berpotensi sebagai gas beracun (Muhammad *et al.*, 2022).

21. Metode *Liquid Phase Exfoliation* (LPE)

Metode ini melibatkan pencampuran grafit dengan pelarut organik, di mana grafit akan dioksidasi untuk menghasilkan GO. Metode ini membutuhkan waktu reaksi yang sangat lama sehingga tidak efisien dan menghasilkan produk yang tidak homogen (Benzait *et al.*, 2021).

22. *Chemical Vapor Deposition* (CVD)

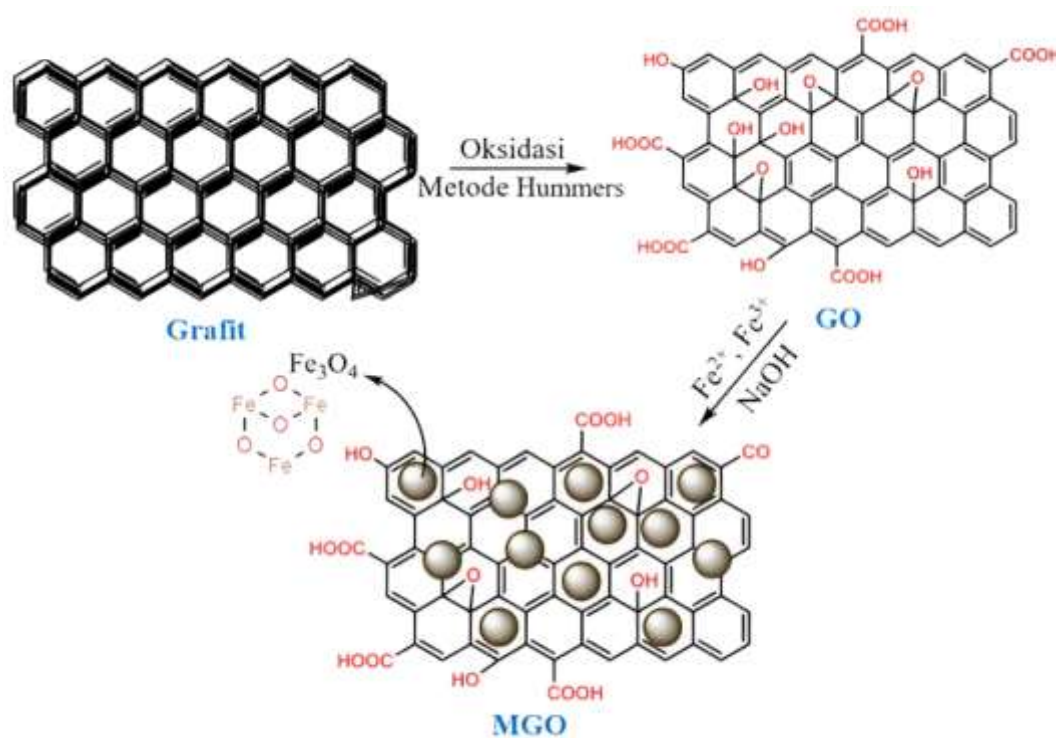
GO pada metode ini diproduksi dengan memanfaatkan proses deposisi uap kimia dari sumber karbon seperti metana. Metode ini lebih mahal dan rumit, namun dapat menghasilkan lapisan *graphene* dengan kualitas tinggi yang cocok untuk aplikasi elektronik (Santhiran *et al.*, 2021).

2.4 *Magnetic Graphene Oxide* (MGO)

Magnetic Graphene Oxide (MGO) adalah senyawa yang terdiri dari oksida *graphene* dan oksida besi (He *et al.*, 2021). Oksida besi adalah senyawa yang terbentuk dari reaksi antara besi dan oksigen. Oksida besi dapat muncul dalam beberapa bentuk, salah satunya dalam bentuk Fe_3O_4 yang memiliki sifat magnet yang kuat, sehingga baik digunakan untuk aplikasi adsorpsi yang memerlukan pemisahan dengan mudah setelah proses adsorpsi. Partikel nano oksida besi juga memiliki luas permukaan yang besar, sehingga mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap zat pencemar (Lestari dkk., 2024). Selain itu, MGO juga memiliki stabilitas kimia yang baik (He *et al.*, 2021).

Penerapan MGO sebagai adsorben dalam teknik DSPE telah menarik banyak perhatian. Senyawa ini menunjukkan dispersibilitas yang baik, luas permukaan terhadap volume yang tinggi rasio, dan sifat superparamagnetik yang membuatnya mudah diisolasi dari matriks oleh eksternal medan magnet, tanpa menahan magnetisasi sisa. Magnetit (Fe_3O_4) termasuk nanopartikel yang paling banyak

digunakan dalam DSPE (Ścigalski *and* Kosobucki, 2020). MGO dapat mengadsorpsi berbagai jenis polutan organik seperti antibiotik, logam berat, dan pewarna dari air limbah (Pérez-Rodríguez *et al.*, 2024). Beberapa studi menunjukkan bahwa MGO dapat digunakan untuk mengekstrak Pb(II), Cu(II), Zn(II), Ni(II), Cr(III) (Ain *et al.*, 2020), dan antibiotik tetrasiklin (Xanana, 2022). Hipotesis mekanisme sintesis MGO ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hipotesis mekanisme sintesis MGO (Kheiry *et al.*, 2024).

MGO dapat disintesis melalui metode kopresipitasi. Larutan magnetik dibuat dengan melarutkan $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, dalam akuades lalu diaduk selama 30 menit pada suhu 40°C . Kemudian, pada gelas *beaker* dibuat larutan GO dan diaduk menggunakan magnetik *stirrer* selama 15 menit. Setelah itu, campurkan larutan GO ke dalam larutan magnetik dan ditambahkan NaOH 1 M secara bertahap hingga mencapai pH 10, lalu dilakukan pengadukan selama 1-2 jam. Kemudian dicuci endapan yang terbentuk dengan akuades untuk menghilangkan sisa reaktan, lalu keringkan endapan dalam oven pada suhu $60\text{-}80^\circ\text{C}$ (He *et al.*, 2021).

2.5 Karakterisasi

2.5.1 *X-Ray Diffraction (XRD)*

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan teknik karakterisasi yang umum digunakan untuk material skala nano yang digunakan untuk identifikasi fase, kemurnian sampel, ukuran kristalit, dan morfologi (Holder *and* Schaak, 2019). Karakterisasi XRD memberikan informasi mengenai dimensi kisi dan fase kristal suatu material (Ain *et al.*, 2020). Prinsip dasar kerja dari XRD didasarkan pada difraksi gelombang. Ketika sinar-X melewati kisi kristal, gelombang tersebut mengalami pembiasan akibat interaksi dengan atom-atom dalam kisi tersebut. Interferensi konstruktif dan destruktif antara gelombang yang terhambur menghasilkan pola difraksi yang unik untuk setiap jenis material. Pola ini mencerminkan struktur internal material yang dapat digunakan untuk menentukan komposisi dan sifat fisik lainnya (Muttaqin dkk., 2023).

XRD didasarkan pada Hukum Bragg yang memungkinkan untuk menghitung jarak antarbidang atom dalam kristal berdasarkan sudut dan intensitas sinar-X yang terpantul (Ali *et al.*, 2022). XRD menyatakan perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-X yang merupakan kelipatan panjang gelombang yang dapat ditulis dengan Persamaan 1.

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (1)$$

Keterangan:

n = urutan difraksi,

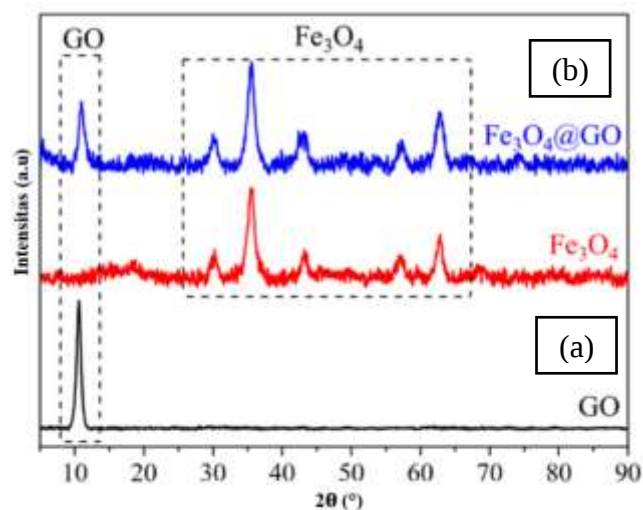
λ = panjang gelombang sinar-X,

d = jarak antar bidang atom dalam kristal,

θ = sudut difraksi antara sinar-X yang datang dan bidang kristal

Difraktogram akan memberikan informasi deretan puncak difraksi dengan intensitas relatif sepanjang nilai 2θ pada rentang yang ditentukan. Besar intensitas relatif puncak yang muncul tergantung pada banyaknya atom di dalam sampel dan

distribusinya dalam material (Sumari dkk., 2020). Terdapat informasi berupa intensitas puncak, distribusi intensitas sebagai fungsi dari sudut difraksi, dan posisi sudut difraksi maksimum yang berfungsi untuk mengidentifikasi fase-fase dalam suatu material (Pratama dkk., 2019). Informasi tersebut dapat dihubungkan dengan data mikroskop untuk menguji apakah pengamatan mikroskopis pada sejumlah kecil partikel mewakili sebagian besar sampel (Holder *and* Schaak, 2019). Contoh dari karakterisasi GO dan MGO menggunakan XRD ditunjukkan pada Gambar 7. Pada Gambar 7 terdapat 2θ sebesar $11,0^\circ$ yang menunjukkan GO berbentuk kristalin, serta 2θ sebesar $30,1$; $35,5$; $43,1$; $57,0$; dan $62,7$ yang menunjukkan adanya Fe_3O_4 (Uten *et al.*, 2024).

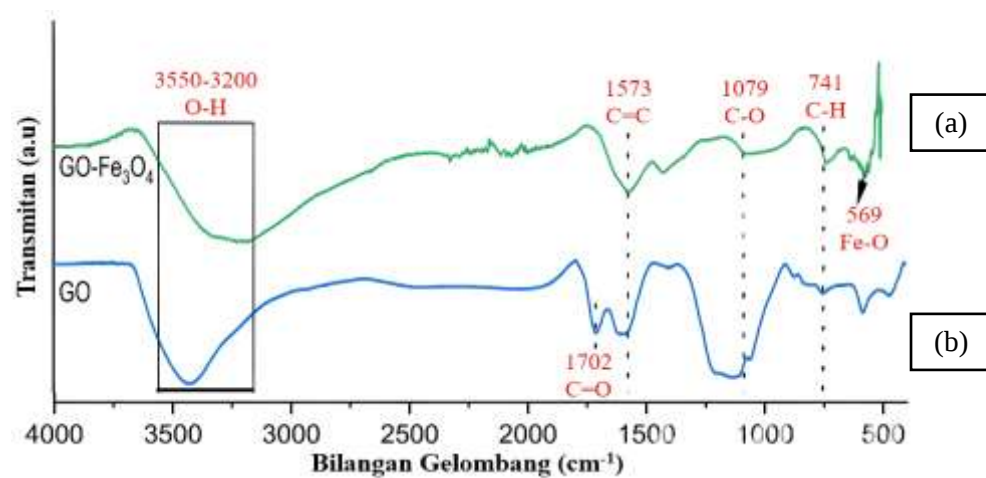


Gambar 7. XRD (a) GO; (b) MGO (Uten *et al.*, 2024).

2.5.2 *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Fourier Transform Infrared (FTIR) adalah teknik analisis yang menggunakan sinar infra merah untuk mengidentifikasi gugus fungsi kimia dalam suatu molekul (Ain *et al.*, 2020). FTIR sudah digunakan untuk mengidentifikasi pengotor, komposisi, dan zat murni dari berbagai material (Kowalczyk *and* Pitucha, 2019). FTIR menjadi salah satu pengembangan dalam bidang analisis yang menghasilkan diagnosis senyawa dengan lebih cepat, mudah, dan objektif (Byrne *et al.*, 2020).

Prinsip dasar FTIR adalah bahwa setiap molekul memiliki frekuensi vibrasi yang terkait dengan gugus fungsi kimia yang ada dalam molekul. Ketika molekul dipanaskan, atom-atom dalam molekul bergetar dan menghasilkan radiasi infra merah yang berkaitan dengan frekuensi vibrasi (Ain *et al.*, 2020). Bertambahnya massa atom akan menggetarkan atom pada frekuensi atau energi yang lebih rendah (Sharma *et al.*, 2018). Spektrum infra merah yang dihasilkan dapat diinterpretasikan untuk mengidentifikasi gugus fungsi kimia dalam molekul (Ain *et al.*, 2020).



Gambar 8. Spektrum FTIR (a) GO; (b) MGO (Souhuat *et al.*, 2024).

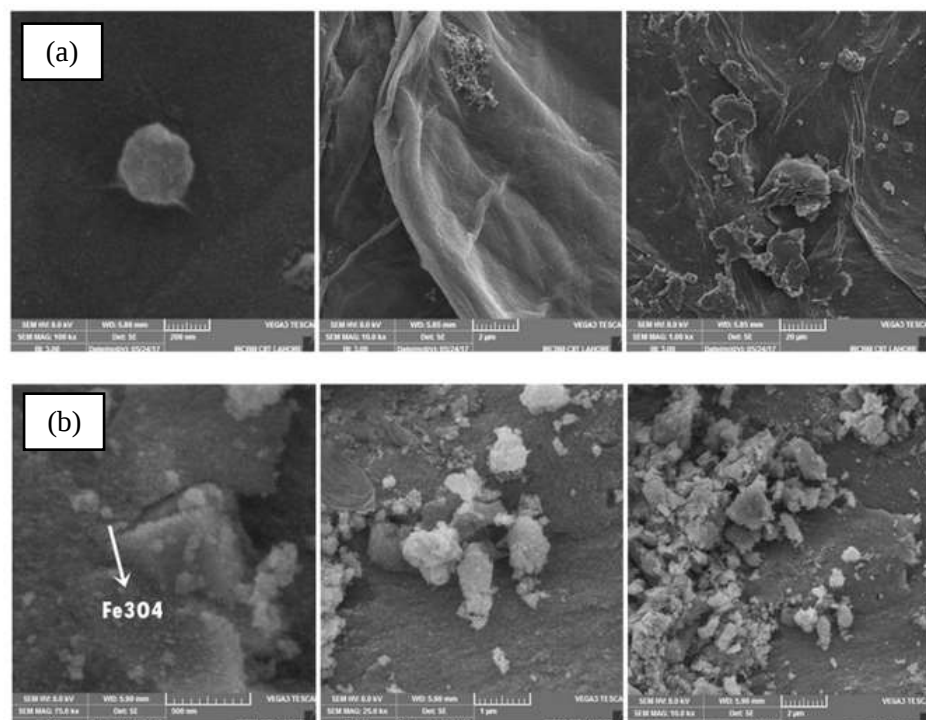
Puncak-puncak tertentu pada spektrum FTIR menunjukkan keberadaan gugus fungsi tertentu. Misalnya, pada GO dan MGO muncul puncak pada daerah 3200-3550 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi gugus -OH, bilangan gelombang 1720 cm^{-1} menunjukkan gugus C=O, bilangan gelombang 1573 cm^{-1} menunjukkan gugus C=C aromatik, bilangan gelombang 1079 cm^{-1} menunjukkan gugus epoksi, bilangan gelombang 741 cm^{-1} menunjukkan gugus C-H, dan bilangan gelombang 569 cm^{-1} menunjukkan gugus Fe-O (Souhuat *et al.*, 2024). Spektrum IR pada GO dan MGO ditunjukkan pada Gambar 8.

2.5.2 Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)

SEM-EDX adalah gabungan dari dua teknik analisis, dimana SEM berfungsi

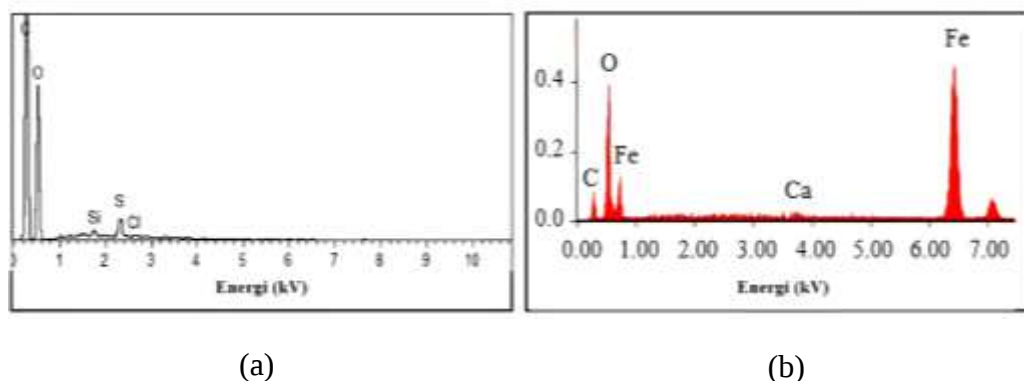
untuk menghasilkan gambar morfologi atau struktur permukaan sampel padatan dengan sinar elektron, sehingga dapat memberikan perbesaran tinggi dan detail yang sangat baik tentang topografi permukaan. Sementara itu, EDX digunakan untuk analisis komposisi kimia material dengan mendeteksi sinar-X yang dipancarkan oleh elemen-elemen dalam sampel saat terkena sinar elektron (Kustomo, 2020). Proses interaksi antara sinar elektron dan atom dalam sampel menghasilkan berbagai sinyal yang kemudian dianalisis untuk mendapatkan informasi morfologi dan komposisi kimia (Sahdiah dan Kurniawan, 2023).

Prinsip dasar dari SEM-EDX adalah bahwa elektron yang ditembakkan ke permukaan sampel menyebabkan emisi sinar-X. Setiap elemen akan menghasilkan spektrum emisi yang berbeda, memungkinkan identifikasi dan kuantifikasi unsur-unsur dalam sampel. Ketika berkas elektron mengenai permukaan, elektron akan terhambur kembali dan memicu emisi sinar-X dari atom-atom dalam sampel. Detektor mengumpulkan data dari sinar-X ini untuk menghasilkan gambar morfologi serta analisis komposisi kimia (Septiano dkk., 2021).



Gambar 9. SEM (a) GO; (b) MGO (Ain *et al.*, 2020).

SEM-EDX memiliki beberapa kelebihan seperti mampu untuk memberikan resolusi tinggi gambar morfologi dan mampu untuk mendeteksi unsur-unsur (Sahdiah dan Kurniawan, 2023), sehingga dapat digunakan pada berbagai jenis material termasuk logam, plastik, bahkan sampel biologi (Kustomo, 2020). Selain itu, analisis SEM-EDX relatif cepat dan tidak memerlukan preparasi sampel yang rumit (Ain *et al.*, 2020). Contoh karakterisasi SEM-EDX ditunjukkan pada Gambar 9 dan 10.



(a) (b)
Gambar 10. EDX (a) GO; (b) MGO (Khiam *et al.*, 2022; Neolika *et al.*, 2020).

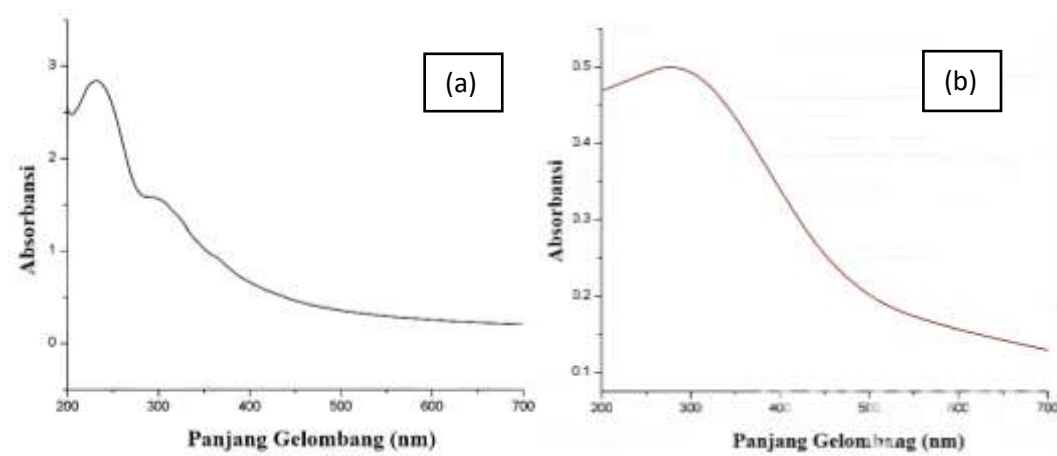
2.6 Spektrofotometri Ultraviolet-Visibel (UV-Vis)

Spektrofotometri UV-Vis adalah teknik pengukuran radiasi elektromagnetik oleh suatu penyerap. Analisis spektrofotometri UV-Vis menggunakan sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet (190-380 nm) dan visibel (380-78 nm) (Nurulhadi dkk., 2024). Intensitas cahaya ultraviolet dapat diserap dengan cairan yang mengandung gugus kromofor, sedangkan intensitas cahaya visibel dapat diserap dengan cairan berwarna (Hidayah dkk., 2024). Selain itu, syarat senyawa yang dapat dianalisis menggunakan spektrofotometri UV-Vis adalah senyawa yang mengandung gugus aoksokrom. Gugus aoksokrom adalah gugus fungsi yang mempunyai elektron bebas seperti OH, NO₂, dan NH₂ (Pratiwi dan Nandiyanto, 2022).

Prinsip dasar spektrofotometri UV-Vis adalah pengukuran panjang gelombang

dan intensitas sinar ultraviolet visibel yang diserap analit sebagai fungsi panjang gelombang. Eksitasi elektron pada spektrofotometri UV-Vis dicatat dalam bentuk spektrum yang dinyatakan sebagai panjang gelombang dan absorbansi, sesuai dengan jenis elektron yang ada dalam molekul yang dianalisis. Semakin mudah elektron tereksitasi, maka semakin tinggi nilai absorbansi (Pratiwi dan Nandiyanto, 2022).

Spektrofotometri UV-Vis memiliki beberapa kelebihan, antara lain metodenya sederhana dan relatif cepat, tingkat akurasi dan presisi yang tinggi, serta biaya yang relatif murah dibandingkan dengan teknik analisis lain. Selain itu, spektrofotometri UV-Vis dapat digunakan untuk menganalisis senyawa organik maupun anorganik dan memiliki sensitivitas yang tinggi, sehingga dapat mendeteksi senyawa dalam konsentrasi rendah. Beberapa studi menunjukkan karakterisasi dan pengujian menggunakan spektrofotometri UV-Vis, seperti antibiotik tetrasiklin (Esati dkk., 2023), analisis residu pestisida (Hidayah dkk., 2024), dan antibiotik CIP (Rinawati *et al.*, 2024). Karakterisasi menggunakan spektrofotometri UV-Vis dapat dilakukan dengan menentukan puncak absorbansi maksimum yang berkaitan dengan transisi elektronik. Gambar 11 menunjukkan puncak serapan GO muncul pada 238 nm dan puncak serapan MGO pada 300 nm (Ain *et al.*, 2020). Hasil spektrofotometri UV-Vis GO dan MGO ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil spektrum UV-Vis (a) GO dan (b) MGO (Ain *et al.*, 2020).

Hasil pengujian menggunakan spektrofotometri UV-Vis dapat dievaluasi dengan melihat tingkat presisi data yang diperoleh. Parameter statistik yang umum digunakan adalah Standar Deviasi (SD) dan *Relative Standard Deviation* (RSD). SD adalah ukuran yang menunjukkan sebaran atau variasi data terhadap nilai rata-rata dari suatu kumpulan data. SD menggambarkan seberapa jauh setiap titik data menyimpang dari nilai rata-rata dan untuk menilai konsistensi data (Febriani, 2022). Sedangkan RSD atau koefisien variasi adalah ukuran presisi yang dinyatakan dalam persentase, dimana diperoleh dengan membandingkan SD terhadap nilai rata-rata. Nilai RSD yang rendah menunjukkan bahwa hasil pengukuran relatif presisi, sedangkan nilai RSD yang tinggi maka semakin tidak konsisten hasil pengukuran (Asis dkk., 2020). Perhitungan SD dan %RSD dapat menggunakan rumus pada persamaan 2 dan 3.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (X - \underline{X})^2}{n-1}} \quad (2)$$

$$RSD \text{ percobaan (\%)} = \frac{SD}{\underline{X}} \times 100\% \quad (3)$$

Nilai keberterimaan RSD yang diperoleh dari suatu analisis dapat dihitung menggunakan persamaan Horwitz. Persamaan Horwitz adalah persamaan yang menghubungkan nilai RSD dengan konsentrasi analit (Indryati *et al.*, 2024). Persamaan Horwitz ditunjukkan pada Persamaan 4, dimana C adalah konsentrasi analit.

$$CV \text{ Horwitz} = 2^{(1-0,5\log C)} \quad (4)$$

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan selama bulan Oktober 2024-Maret 2025 di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi MGO menggunakan FTIR dilakukan di Institut Teknologi Sumatera, XRD di Universitas Negeri Padang, dan SEM-EDX di UPA Laboratorium Terpadu Universitas Lampung. Karakterisasi MGO dan uji adsorpsi MGO antibiotik CIP menggunakan Spektrofotometer *Ultraviolet-Visible* (UV-Vis) di Laboratorium Kimia Analitik FMIPA Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas *beaker*, termometer, gelas ukur, pipet ukur, labu ukur, corong kaca, *bulp*, botol semprot, tabung *centrifuge*, spatula, batang pengaduk, pipet tetes, pH meter (XS pH 60 Vio Lab), *centrifuge* (Fischer Scientific 1827001027164), *hot plate magnetic stirrer* (Stuart Biocote R200000 685), neraca analitik (AND HR-150A 152 g/0,1 mg), ultrasonik (1510 Branson), oven (Heareus), XRD (XPert PRO PANalytical PW3040/60), FTIR (Shimadzu QATR-S), SEM-EDX (EVO® MA 10), dan Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1780).

Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah grafit (Supelco Sigmaaldrich), antibiotik standar CIP (Hexpharm Jaya), H₂SO₄ 97% (Supelco Sigmaaldrich), KMnO₄ (MerckTM), H₂O₂ 30% (Supelco Sigmaaldrich), HCl 37%

(MerckTM), BaCl₂ (MerckTM), NaOH (MerckTM), kertas saring, FeSO₄·7H₂O, FeCl₃·6H₂O (Supelco Sigmaaldrich), dan akuades.

3.3 Prosedur Kerja

Prosedur kerja yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pembuatan GO dan MGO, kemudian dilakukan karakterisasi, dan optimasi parameter adsorpsi.

3.3.1 Pembuatan *Graphene Oxide* (GO) Menggunakan Metode Hummers Termodifikasi

Sebanyak 1 g grafit dicampurkan dengan larutan 23 mL H₂SO₄ 96% dalam gelas kimia 500 mL dengan pengadukan selama 30 menit menggunakan magnetik *stirrer* dalam wadah berisi es. Sebanyak 3 g KMnO₄ ditambahkan secara perlahan ke dalam campuran sambil dilakukan pengadukan dengan magnetik *stirrer* dengan suhu dipertahankan agar berada di bawah 10 °C. Kemudian, campuran diaduk pada suhu 35 °C selama 30 menit. Sebanyak 46 mL akuades ditambahkan secara perlahan hingga terjadi kenaikan suhu mencapai 98 °C, lalu didiamkan selama 15 menit. Setelah itu, 140 mL akuades ditambahkan ke dalam campuran, diikuti dengan penambahan 10 mL H₂O₂ 30% sambil diaduk dengan magnetik *stirrer* selama 10 menit. Suspensi yang terbentuk dicuci dengan HCl 5% untuk menghilangkan ion sulfat dan dilakukan uji dengan larutan barium klorida untuk memastikan bahwa ion sulfat telah hilang yang ditandai dengan tidak adanya endapan berwarna putih. Kemudian, cuci dengan akuades hingga pH 5, lalu disentrifugasi selama 10 menit. Padatan yang dihasilkan didispersikan dalam 450 mL akuades dan disonikasi selama 2 jam, lalu disaring dengan kertas saring. Padatan yang diperoleh dikeringkan pada suhu 60 °C selama 5 jam dalam oven (Sujiono *et al.*, 2020).

3.3.2 Pembuatan *Magnetic Graphene Oxide* (MGO) Menggunakan Metode Kopresipitasi

Sebanyak 100 mL akuades ditambahkan dengan 0,556 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan 1,081 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, lalu diaduk selama 30 menit menggunakan magnetik *stirrer* pada suhu 40 °C. Kemudian, pada gelas *beaker* lain 0,025 g GO dilarutkan dalam 50 mL akuades dan *distirrer* selama 15 menit. Setelah itu, campurkan larutan GO ke dalam larutan magnetik dan tambahkan NaOH 1 M secara bertahap hingga mencapai pH 10 dan lakukan pengadukan selama 1-2 jam. Kemudian dicuci endapan yang terbentuk dengan akuades hingga pH netral, lalu keringkan endapan dalam oven pada suhu 60-80 °C (He *et al.*, 2021).

3.3.3 Karakterisasi

MGO yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX untuk mengetahui morfologi, unsur, dan komposisi kuantitatif pada MGO, menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi pada MGO, XRD untuk mengetahui fase kristal molekul yang terdapat pada MGO, dan Spektrofotometri UV-Vis untuk mengetahui transisi elektron pada MGO.

3.3.4 Pembuatan Larutan Induk

Larutan induk antibiotik CIP 500 ppm dibuat dengan cara melarutkan 50 mg antibiotik CIP dengan akuades hingga tanda tera dalam labu takar 100 mL dan dihomogenkan. Kemudian, dilakukan pengenceran pada larutan induk hingga didapatkan larutan baku 100 ppm dan 50 ppm.

3.3.5 Pembuatan Kurva Kalibrasi

Dibuat larutan standar 2; 4; 6; 8 dan 10 ppm dengan pengenceran bertingkat

terhadap larutan induk 50 ppm. Lalu, larutan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.3.6 Optimasi Parameter Adsorpsi Antibiotik *Ciprofloxacin*

3.3.6.1 Penentuan pH Optimum

Ditimbang 20 mg MGO, lalu dimasukkan ke dalam masing-masing gelas *beaker* dan ditambahkan 20 mL larutan standar CIP dengan konsentrasi 4 ppm dengan variasi pH 3; 4; 5; 6; 7 dan 8 menggunakan larutan HCl 0,1 M atau larutan NaOH 0,1 M. Selanjutnya, campuran *distirrer* selama 30 menit. Setelah itu, campuran dipisahkan menggunakan batangan magnet. Larutan yang dihasilkan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

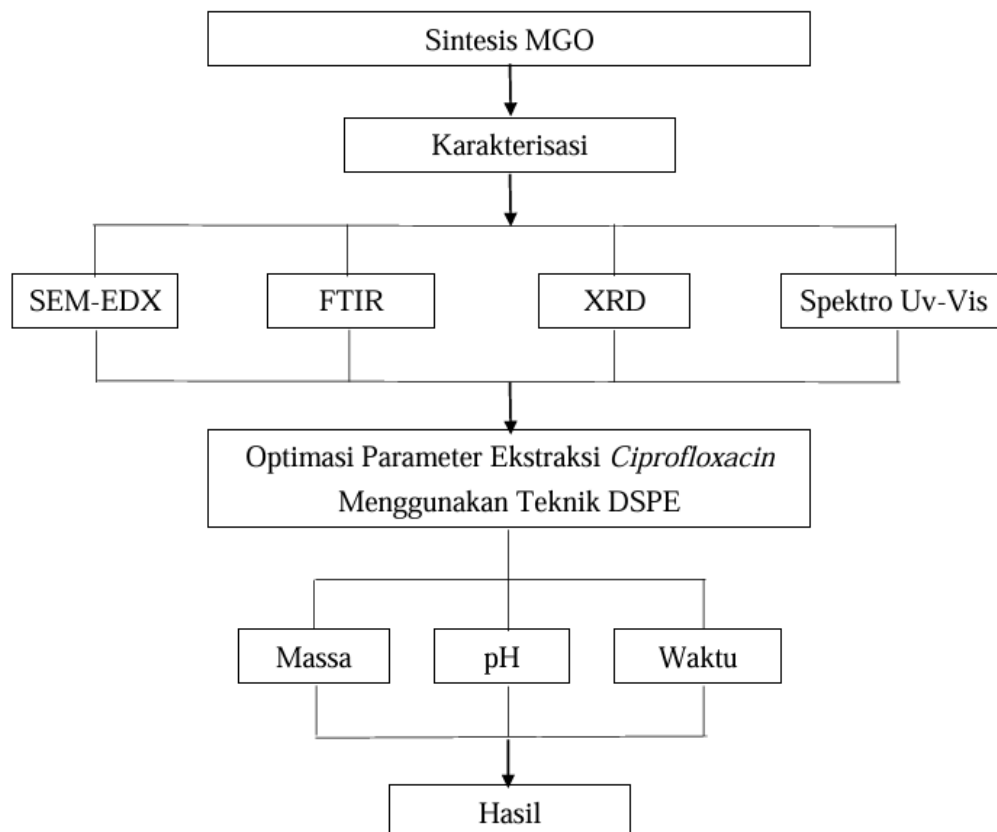
3.3.6.3 Penentuan Massa MGO Optimum

Ditimbang MGO sebanyak 5; 10; 20 dan 30 mg, dimasukkan ke dalam masing-masing gelas *beaker* dan ditambahkan 20 mL larutan standar CIP 4 ppm dengan kondisi pH optimum. Selanjutnya, campuran *distirrer* selama 30 menit. Setelah itu, campuran dipisahkan menggunakan batangan magnet. Larutan yang dihasilkan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.3.6.4 Penentuan Waktu Kontak Optimum

Ditimbang MGO dengan massa optimum, dimasukkan ke dalam gelas *beaker* dan ditambahkan 20 mL larutan standar CIP dengan konsentrasi 4 ppm dan pH optimum. Selanjutnya, campuran *distirrer* dengan variasi waktu 10; 20; 30; 40

dan 50 menit. Setelah itu, campuran dipisahkan menggunakan batangan magnet. Larutan yang dihasilkan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Diagram alir penelitian.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan bahwa:

1. Pada penelitian ini telah berhasil dilakukan pembuatan MGO yang dibuktikan dengan hasil karakterisasi FTIR, XRD, SEM-EDX, dan Spektrofotometri UV-Vis.
2. MGO yang telah diperoleh memiliki gugus fungsi karboksil, epoksi, hidroksil, C=C aromatik, dan Fe-O berdasarkan hasil karakterisasi FTIR, didapatkan puncak 2θ sebesar $9,72^\circ$; $32,12^\circ$; $36,54^\circ$; $43,96^\circ$; $57,53^\circ$ dan $63,14^\circ$ pada MGO berdasarkan hasil XRD, memiliki morfologi permukaan lembaran tipis dengan titik-titik terang berdasarkan hasil SEM, memiliki komposisi unsur Fe, C, dan O berdasarkan hasil EDX, serta menunjukkan pergeseran puncak serapan berdasarkan hasil spektrofotometri UV-Vis.
3. Adsorpsi antibiotik CIP oleh MGO optimum pada kondisi pH 5, massa 20 mg, dan waktu kontak 40 menit dengan tingkat adsorpsi sebesar 75,28%, serta %RSD < 8,6% yang menunjukkan hasil pengujian baik.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah

1. Perlu dilakukan optimasi metode DSPE menggunakan parameter lain seperti konsentrasi adsorbat dan volume adsorbat.
2. Penentuan desorpsi optimum perlu dilakukan agar adsorben MGO dapat

digunakan kembali.

3. Perlu dilakukan pengembangan metode sintesis MGO berbahan dasar limbah biomassa untuk meningkatkan nilai tambah dan lebih ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adray, I. D. M. 2023. Optimasi Dispersive Solid Phase Extraction Berbasis Graphene Oxide dari Limbah Tongkol Jagung (*Zea mays* L.) untuk Ekstraksi Antibiotik Ciprofloxacin. *Skripsi*.
- Ain, Q. U., Farooq, M. U., and Jalees, M. I. 2020. Application of Magnetic Graphene Oxide for Water Purification: Heavy Metals Removal and Disinfection. *Journal of Water Process Engineering*, 33(101044).
- Ali, A., Chiang, Y. W., and Santos, R. M. 2022. X-Ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization: A Review for Engineers of the Fundamentals, Applications, and Research Directions. *Minerals*, 12(2), 1–25.
- Amanda, E. R., Nisyak, K., Nurdianti, W., dan Sefti Febriari, W. 2022. Pengembangan Metode Ekstraksi Fase Padat Terdispersi Berbasis Karbon Aktif untuk Pemisahan Amoxicillin dalam Urin. *Indonesian Chemistry and Application Journal*, 5(1), 5–14.
- Amri, A. 2019. *Mengenal Grafena dan Aplikasinya* (B. Y. Hendri (ed.)). UR Press Pekanbaru.
- Asis, M. A., Purnawansyah, P., dan Manga, A. R. 2020. Penerapan Sistem Development Life Cycle pada Sistem Validasi Metode Analisis Sediaan Farmasi. *Buletin Sistem Informasi dan Teknologi Islam*, 1(3), 145–149.
- Azriouil, M., Aghris, S., Matrouf, M., Loudiki, A., Laghrib, F., Farahi, A., Bakasse, M., Saqrane, S., Lahrich, S., and El Mhammedi, M. A. 2022. Efficacy of Clay Materials for Ciprofloxacin Antibiotic Analysis in Urine and Pharmaceutical Products. *Materials Chemistry and Physics*, 279.
- Azzam, A. B., Tokhy, Y. A., El Dars, F. M., and Younes, A. A. 2022. Construction of Porous Biochar Decorated with NiS for The Removal of Ciprofloxacin Antibiotic from Pharmaceutical Wastewaters. *Journal of Water Process Engineering*, 49, 103006.
- Baruah, U., and Chowdhury, D. 2018. Functionalized Graphene Oxide as An Electrochemical Sensing Platform for Detection of Bisphenol A. *Advanced Materials Letters*, 9(7), 516–525.
- Beek, T. A. Der, Weber, F. A., Bergmann, A., Hickmann, S., Ebert, I., Hein, A., and Küster, A. 2016. Pharmaceuticals in The Environment-Global

- Occurrences and Perspectives. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35(4), 823–835.
- Behbahani, M., Ghareh Hassanlou, P., Amini, M. M., Omid, F., Esrafil, A., Farzadkia, M., and Bagheri, A. 2015. Application of Solvent-Assisted Dispersive Solid Phase Extraction as a New, Fast, Simple, and Reliable Preconcentration and Trace Detection of Lead and Cadmium Ions in Fruit and Water Samples. *Food Chemistry*, 187, 82–88.
- Benjamin, S. R., and Miranda Ribeiro Júnior, E. J. 2022. Graphene-Based Electrochemical Sensors for Detection of Environmental Pollutants. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 29, 100381.
- Benzait, Z., Chen, P., and Trabzon, L. 2021. Enhanced Synthesis Method of Graphene Oxide. *Nanoscale Advances*, 3(1), 223–230.
- Bush, N. G., Diez-Santos, I., Abbott, L. R., and Maxwell, A. 2020. Contributions to Antibiotic Resistance. *Molecules*, 25(23), 5662.
- Büyüktiryaki, S., Keçili, R., and Hussain, C. M. 2020. Functionalized Nanomaterials in Dispersive Solid Phase Extraction: Advances and Prospects. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 127(115893).
- Byrne, H. J., Bonnier, F., McIntyre, J., and Parachalil, D. R. 2020. Quantitative Analysis of Human Blood Serum Using Vibrational Spectroscopy. *Clinical Spectroscopy*, 2(100004).
- Cao, V., Cao, P. A., Han, D. L., Ngo, M. T., Vuong, T. X., and Manh, H. N. 2024. The Suitability of Fe₃O₄/Graphene Oxide Nanocomposite for Adsorptive Removal of Methylene Blue and Congo Red. *Nature Environment and Pollution Technology*, 23(1), 255–263.
- Chen, R., Cheng, Y., Wang, P., Wang, Q., Wan, S., Huang, S., Su, R., Song, Y., and Wang, Y. 2021. Enhanced Removal of Co(II) and Ni(II) from High-Salinity Aqueous Solution Using Reductive Self-Assembly of Three-Dimensional Magnetic Fungal Hyphal/Graphene Oxide Nanofibers. *Science of the Total Environment*, 756, 143871.
- Darma, S. A., Widayanti, A., and Priyanto. 2020. Uji Disolusi Terbanding Tablet Ciprofloxacin Hidroklorida Inovator dan Generik. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, 7(2), 107–115.
- Donato, K. Z., Tan, H. L., Marangoni, V. S., Martins, M. V. S., Ng, P. R., Costa, M. C. F., Jain, P., Lee, S. J., Koon, G. K. W., Donato, R. K., and Castro Neto, A. H. 2023. Graphene Oxide Classification and Standardization. *Scientific Reports*, 13(1), 6064.
- Dwandaru, W. S. B., Wijaya, R. I. W., and Parwati, L. D. 2019. Nanomaterial

Graphene Oxide Sintesis dan Karakterisasinya. *UNY Press*.

- Esati, N. K., Cahyadi, K. D., dan Dewi Lestari, G. A. 2023. Uji Kualitatif dan Kuantitatif Tetrasiklin dalam Simulasi Sampel Secara Spektrofotometri Uv-Vis. *Jurnal Farmamedika (Pharmamedica Journal)*, 8(1), 56–66.
- Febriani, S. 2022. Analisis Deskriptif Standar Deviasi. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6(1), 910–913.
- Gunawan, G., Prasetya, N. B. A., and Wijaya, R. A. 2023. Degradation of Ciprofloxacin (CIP) Antibiotic Waste Using The Advanced Oxidation Process (AOP) Method with Ferrate (VI) from Extreme Base Electrosynthesis. *Trends in Sciences*, 20(7).
- Habte, A. T., and Ayele, D. W. 2019. Synthesis and Characterization of Reduced Graphene Oxide (rGO) Started from Graphene Oxide (GO) Using the Tour Method with Different Parameters. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1–9.
- Hagarová, I., and Nemček, L. 2021. Application of Metallic Nanoparticles and Their Hybrids as Innovative Sorbents for Separation and Pre-Concentration of Trace Elements by Dispersive Micro-Solid Phase Extraction: A Minireview. *Frontiers in Chemistry*, 9(672755), 1–9.
- He, Y., Yi, C., Zhang, X., Zhao, W., and Yu, D. 2021. Magnetic Graphene Oxide: Synthesis Approaches, Physicochemical Characteristics, and Biomedical Applications. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 136.
- Hidayah, H., Mudrikah, S., Tanti, A., and Helsen. 2024. Perbandingan Metode Analisis Instrumen HPLC dan Spektrofotometer UV-VIS. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(13), 377–386.
- Holder, C. F., and Schaak, R. E. 2019. Tutorial on Powder X-ray Diffraction for Characterizing Nanoscale Materials. *ACS Nano*, 13(7), 7359–7365.
- Huidobro-López, B., López-Heras, I., Alonso-Alonso, C., Martínez-Hernández, V., Nozal, L., and de Bustamante, I. 2022. Analytical Method to Monitor Contaminants of Emerging Concern in Water and Soil Samples from a Non-Conventional Wastewater Treatment System. *Journal of Chromatography A*, 1671, 463006.
- Hussein, H., Abdel Jabbar, B., Amin, S., Jawad, A., Abbas, R., and Jawad, S. 2023. Study of Drugs: Antibiotic and Study Mechanism and Adverse Effects. *Al-Nahrain Journal of Science*, 26(1), 15–20.
- Indryati, S., Hidayat, A. E., Pratama, A. A., Laksmana, R. I., Widana, K. S., Ramlan, M. A., Purwanti, T., Prassanti, R., Anggraini, M., and Rommy, R. 2024. Analytical Method Validation of Thorium in Ore Sample Using UV-

Vis Spectrophotometer. *Eksplorium*, 44(2), 75.

- Islas, G., Ibarra, I. S., Hernandez, P., Miranda, J. M., and Cepeda, A. 2017. Dispersive Solid Phase Extraction for the Analysis of Veterinary Drugs Applied to Food Samples. *International Journal of Analytical Chemistry*, 8215271, 1–16. 1
- Jiříčková, A., Jankovský, O., Sofer, Z., and Sedmidubský, D. 2022. Synthesis and Applications of Graphene Oxide. *Materials*, 15(3).
- Kang, J. H., Kim, T., Choi, J., Park, J., Kim, Y. S., Chang, M. S., Jung, H., Park, K. T., Yang, S. J., and Park, C. R. 2016. Hidden Second Oxidation Step of Hummers Method. *Chemistry of Materials*, 28(3), 756–764.
- Kheiry, P., Hosseinzadeh, H., Saraei, M., and Masoumi, B. 2024. Fabrication and Characterization of Magnetic Graphene Oxide-g-Poly (Acrylamide)/Gelatin Hydrogel Nanocomposites for Effective Adsorption of Copper Ions from Aqueous Solutions. *Water Practice and Technology*, 19(9), 3676–3692.
- Khiam, G. K., Karri, R. R., Mubarak, N. M., Khalid, M., Walvekar, R., Abdullah, E. C., and Rahman, M. E. 2022. Modelling and Optimization for Methylene Blue Adsorption Using Graphene Oxide/Chitosan Composites via Artificial Neural Network-Particle Swarm Optimization. *Materials Today Chemistry*.
- Kistianti, O. S. 2022. Aplikasi Graphene Oxide dari Limbah Kulit Singkong (Manihot utilisima) untuk Ekstraksi Antibiotik Tetrasiklin. *Skripsi*.
- Konuk, H. H. 2023. Manyetik Nanopartiküller İçerikli Grafen Oksit Sentezi Ve Karakterizasyonu. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 1–14. I
- Kovalakova, P., Cizmas, L., McDonald, T. J., Marsalek, B., Feng, M., and Sharma, V. K. 2020. Occurrence and Toxicity of Antibiotics in the Aquatic Environment. *Chemosphere*, 251(126351).
- Kowalczyk, D., and Pitucha, M. 2019. Application of FTIR Method for The Assessment of Immobilization of Active Substances in The Matrix of Biomedical Materials. *Materials*, 12(18), 1–13.
- Kustomo. 2020. Uji Karakterisasi dan Mapping Magnetit Nanopartikel Terlapisi Asam Humat dengan SEM-EDX. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(3), 149–153.
- Kutuzova, A., Dontsova, T., and Kwapinski, W. 2021. Application of TiO₂-Based Photocatalysts to Antibiotics Degradation: Cases of Sulfamethoxazole, Trimethoprim and Ciprofloxacin. *Catalysts*, 11(6).
- Lestari, I., Prasetyo, E., dan Gusti, D. R. 2024. Penggunaan Karbon Aktif Magnetit sebagai Penyerap Zat Warna Remazol Yellow. *Jurnal Bio-Geo*

Material dan Energi, 1(1), 29–37.

- Li, W., Jian, W., and Fu, Y. 2019. Basic Sample Preparation Techniques in LC-MS Bioanalysis. *Sample Preparation in LC-MS Bioanalysis*, 1–30.
- Liku, J. E. A., Mulya, W., Sipahutar, M. K., Sari, I. P., dan Noeryanto, N. 2022. Mengidentifikasi Sumber Pencemaran Air Limbah di Tempat Kerja. *Eunoia*, 1(1), 14–19.
- Malik, Y. 2023. Akurasi dan Presisi Analisis Kadar Nikel (Ni) pada Sampel Nikel Laterit Menggunakan X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF). *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, 12, 87–94.
- Manousi, N., Rosenberg, E., Deliyanni, E., Zachariadis, G. A., and Samanidou, V. 2020. Magnetic Solid-Phase Extraction of Organic Compounds Based on Graphene Oxide Nanocomposites. *Molecules*, 25(5), 1–22.
- Maranata, G. J., Surya, N. O., and Hasanah, A. N. 2021. Optimising Factors Affecting Solid Phase Extraction Performances of Molecular Imprinted Polymer as Recent Sample Preparation Technique. *Heliyon*, 7(1).
- Mohan, S., and Balakrishnan, P. 2021. Kinetics of Ciprofloxacin Removal Using a Sequential Two-Step Ozonation-Biotreatment Process. *Environmental Technology and Innovation*, 21, 101284.
- Momeni, S., and Ghorbani-Vaghei, R. 2025. Novel Modified Magnetic Graphene Oxide as An Efficient and Green Catalyst for One-Pot Synthesis of Pyrazoles. *Scientific Reports*, 15(1), 1–20.
- Muhammad, A. J., Yumnawati, Al Rayid, M. H., and Saleh, I. 2022. Synthesis and Morphological Characterization of Graphene (rGO) from Graphene Oxide (GO). *Indonesian Journal of Physics and Its Applications*, 2(1), 1–3.
- Muttaqin, R., Prayitno, W. S. W., dan Nurbaiti, U. 2023. Pengembangan Buku Panduan Teknik Karakterisasi Material : X-Ray Diffractometer (XRD) Panalytical Xpert3 Powder. *Indonesian Journal of Laboratory*, 6(1), 9–16.
- Naraprawatphong, R., Chokradjaroen, C., Thiangtham, S., Yang, L., and Saito, N. 2022. Nanoscale Advanced Carbons as an Anode for Lithium-Ion Battery. *Materials Today Advances*, 16, 100290.
- Neolaka, Y. A. B., Lawa, Y., Naat, J. N., Riwu, A. A. P., Iqbal, M., Darmokoesoemo, H., and Kusuma, H. S. 2020. The Adsorption of Cr(VI) from Water Samples Using Graphene Oxide-Magnetic Synthesized from Natural Cellulose-Based Graphite. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 6544–6556.
- Nurulhadi, Z. F., Anita, A., Helsen, H., Ujung, R. M. U., dan Abriyani, E. 2024.

- Analisis Vitamin C Menggunakan Metode Spektrofotometri UV-Vis (Tinjauan Literatur dan Aplikasi). *Jurnal Kesmas Asclepius*, 6(1), 90–100.
- Pérez-Rodriguez, E. M., Gutierrez-Niño, N., Santos-Santos, N., Cabanzo-Hernandez, R., and Mejia-Ospino, E. 2024. Synthesis and Characterization of Magnetic Graphene Oxide: Nanomaterial to Reduce Heavy Oil Viscosity. *Emergent Materials*.
- Płotka-Wasyłka, J., Szczepańska, N., de la Guardia, M., and Namieśnik, J. 2016. Modern Trends in Solid Phase Extraction: New Sorbent Media. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 77, 23–43.
- Pratama, R., Jalinus, N., Sari, N. R., dan Arafat, A. 2019. Analisis Struktur dan Fase Paduan Seng Mampu Terserap Tubuh untuk Aplikasi Implan Biomedis. *Ranah Research*, 1(4), 798–804.
- Pratiwi, R. A., and Nandiyanto, A. B. D. 2022. How to Read and Interpret UV-VIS Spectrophotometric Results in Determining the Structure of Chemical Compounds. *Indonesian Journal of Educational Research and Technology*, 2(1), 1–20.
- Rahmatia, T. U. 2016. Metode SPE sebagai Alternatif Terbaru dalam Analisis dan Pemurnian Senyawa Obat. *Farmaka*, 14(2), 151–170.
- Razaq, A., Bibi, F., Zheng, X., Papadakis, R., Jafri, S. H. M., and Li, H. 2022. Review on Graphene, Graphene Oxide, Reduced Graphene Oxide-Based Flexible Composites. *Materials*, 15(3).
- Rinawati, Buhani, Widiarti, Isro, A., Fitriyaningsih, E., Rahmawati, A., Kiswandono, A. A., and Nitti, F. 2024. Enhancing Ciprofloxacin Removal: Unveiling the Potential of Graphene Oxide Synthesised from Cassava Peels through Box-Behnken Design Optimisation. *J. Sustain. Dev. Energy Water Environ System*, 12(4), 1120516.
- Rinawati, Pirdaus, P., Rahmawati, A., Buhani, and Kiswandono, A. A. 2024. Graphene Oxide Derived From Cassava Peel as A Potential Adsorbent for Tetracycline Removal from Aqueous Environment. *Rasayan Journal of Chemistry*, 17(1), 154–164.
- Rinawati, Rahmawati, A., Muthia, D. R., Imelda, M. D., Latief, F. H., Mohamad, S., and Kiswandono, A. A. 2024. Removal of Ceftriaxone and Ciprofloxacin Antibiotics from Aqueous Solutions Using Graphene Oxide Derived from Corn Cob. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 10(2), 573–588.
- Rinawati, Sidabalok, P. P. C., Supriyanto, R., Kiswandono, A. A., dan Hidayat, D. 2019. Fungsionalisasi Silika Sekam Padi dengan Difenilamin untuk Adsorpsi Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (Phenantrena). *Analytical and*

Environmental Chemistry, 4(1), 51–64.

- Sahdiah, H., and Kurniawan, R. 2023. Optimasi Tegangan Akselerasi pada SEM-EDX untuk Pengamatan Morfologi Sampel Biologi. *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*, 6(2), 117–123.
- Santamaria, G., Barojas, E. G., Gonzalez, E. Q., Mora, E. S., Ruiz, M. Q., and Santamaria-Juarez, D. 2019. Safer Modified Hummars Method for Synthesis of Graphene Oxide with Higher Quality and High Yield. *Materials Research Express*, 1–10.
- Santhiran, A., Iyngaran, P., Abiman, P., and Kuganathan, N. 2021. Graphene Synthesis and Its Recent Advances in Applications—A Review. *Journal of Carbon Research*, 7(4), 76.
- Ścigalski, P., and Kosobucki, P. 2020. Recent Materials Developed for Dispersive Solid Phase Extraction. *Molecules*, 25(21), 1–26.
- Septiano, F. A., Erna S, N., dan Susilo. 2021. Analisis Citra Hasil SEM EDX Komposit Resin Timbal dengan Metode Contrast to Noise Ratio (CNR). *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 44(2), 81–85.
- Shariati, A., Arshadi, M., Khosrojerdi, M. A., Abedinzadeh, M., Ganjalishahi, M., Maleki, A., Heidary, M., and Khoshnood, S. 2022. The Resistance Mechanisms of Bacteria Against Ciprofloxacin and New Approaches for Enhancing The Efficacy of This Antibiotic. *Frontiers in Public Health*, 10.
- Sharma, S. K., Verma, D. S., Khan, L. U., Kumar, S., and Khan, S. B. 2018. Handbook of Materials Characterization. In *Springer International Publishing*.
- Shivananda, C. S., Madhu, S., Poojitha, G., Sudarshan, A. R., Jeethendra, S., and Nagi Reddy, K. 2023. Structural, Chemical and Morphological Properties of Graphite Powder, Graphene Oxide and Reduced Graphene Oxide. *Materials*, 89, 49–53.
- Siti Zulaicha, A., Syahjoko Saputra, I., Puspita Sari, I., dan Annas, D. 2020. Sintesis dan Karakterisasi Modifikasi Mikropartikel Magnetit (Fe_3O_4) dalam Pemanfaatan Karat dengan Ekstrak Daun Ilalang (*Imperata Cylindrica* L). *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, 2(2), 51–55.
- Smith, A. T., LaChance, A. M., Zeng, S., Liu, B., and Sun, L. 2019. Synthesis, Properties, and Applications of Graphene Oxide/Reduced Graphene Oxide and Their Nanocomposites. *Nano Materials Science*, 1(1), 31–47.
- Sompotan, D. D., dan Sinaga, J. 2022. Pencegahan Pencemaran Lingkungan. *Jurnal Sains, Teknologi, dan Kesehatan*, 1(1), 6–13.

- Soni, R., Pal, A. K., Tripathi, P., Lal, J. A., Kesari, K., and Tripathi, V. 2020. An Overview of Nanoscale Materials on The Removal of Wastewater Contaminants. *Applied Water Science*, 10(8).
- Souhuat, A., Aritonang, H. F., and Koleangan, H. S. J. 2024. Magnetically Active GO-Fe₃O₄ Nanocomposite for Enhanced Rhodamine B Removal Efficiency. *Indonesian Journal of Chemistry*, 24(6), 1784–1796.
- Stokes, J. M., Lopatkin, A. J., Lobritz, M. A., and Collins, J. J. 2019. Bacterial Metabolism and Antibiotic Efficacy. *Cell Metabolism*, 30(2), 251–259.
- Sujiono, E. H., Zurnansyah, Zabrian, D., Dahlan, M. Y., Amin, B. D., Samnur, and Agus, J. 2020. Graphene Oxide Based Coconut Shell Waste: Synthesis by Modified Hummers Method and Characterization. *Heliyon*, 6(8).
- Sumari, S., Prakasa, Y. F., Asrori, M. R., dan Baharintasari, D. R. 2020. Analisis Kandungan Mineral Pasir Pantai Bajul Mati Kabupaten Malang Menggunakan XRF dan XRD. *Fullerene Journal of Chemistry*, 5(2), 58.
- Szerkus, O., Jacyna, J., Gibas, A., Sieczkowski, M., Siluk, D., Matuszewski, M., Kaliszan, R., and Markuszewski, M. J. 2017. Robust HPLC–MS/MS Method for Levofloxacin and Ciprofloxacin Determination in Human Prostate Tissue. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 132, 173–183.
- Tanwar, S., and Mathur, D. 2020. Magnetite-Graphene Oxide Nanocomposites: Facile Synthesis and Characterization of Optical and Magnetic Property. *Materials Today: Proceedings*, 30, 1–6.
- Trikkaliotis, D. G., Christoforidis, A. K., Mitropoulos, A. C., and Kyzas, G. Z. 2021. Graphene Oxide Synthesis, Properties and Characterization Techniques. *Chem Engineering*, 5(3).
- Uten, S., Boonbanjong, P., Prueksathaporn, Y., Treerattrakoon, K., Sathirapongsasuti, N., Chanlek, N., Pinitsoontorn, S., Luksirikul, P., and Japrun, D. 2024. Magnetic Graphene Oxide Nanocomposites for Selective miRNA Separation and Recovery. *ACS Omega*, 9, 2263–2271.
- Wang, J., Li, X., Tang, L., Ma, X., Lu, L., Chen, Y., and Changming, Z. 2021. Synthesis Approaches to Magnetic Graphene Oxide and Its Application in Water Treatment. *Water, Air, and Soil Pollution*, 232(8).
- Wang, X., Li, Y., Qin, J., Pan, P., Shao, T., dan Long, X. 2023. Degradation of Ciprofloxacin in Water by Peroxymonosulfate Activated with Magnetic Graphene-Oxide. *Journal of Toxics*. 11 (1016).
- Widayanti, F. D. 2020. Kajian Metode Preparasi Sampel dan Deteksi Karbamazepin dan Karbamazepin-10, 11-Epoksida dalam Cairan Hayati Menggunakan KCKT. *Paper Knowledge . Toward a Media History of*

Documents, 1–27.

- Xanana, P. 2022. Modifikasi Magnetik pada Permukaan Graphene Oxide dari Limbah Kulit Singkong (*Manihot utilissima*.) untuk Ekstraksi Senyawa Antibiotik Ciprofloxacin. *Skripsi*.
- Yang, J., Shojaei, S., and Shojaei, S. 2022. Removal of Drug and Dye from Aqueous Solutions by Graphene Oxide: Adsorption Studies and Chemometrics Methods. *Clean Water*, 5(1), 1–10.
- Yu, B., Chang, H., Wei, W., Yu, H., Chen, Z., Cheng, X., Chen, D., Jin, Y., Han, D., and Xu, W. 2023. Highly Effective Removal of Ciprofloxacin Antibiotic from Water by Magnetic Metal–Organic Framework. *Water*, 15(14).
- Zhao, Y., Liu, Y., Zhang, X., and Liao, W. 2021. Environmental Transformation of Graphene Oxide in The Aquatic Environment. *Chemosphere*, 262,
- Zisti, F., Chandrika, K., and Balarak, D. 2023. Effective Adsorption of Ciprofloxacin Antibiotic Using of Novel Magnetic Fe₃O₄/Activated Carbon Nanocomposite from Aqueous Solution. *International Journal of Pharmaceutical Investigation*, 13(4), 778–783.