

**PEMBUATAN GRAPHENE OXIDE MOLECULARLY IMPRINTED  
POLYMER (GO-MIP) UNTUK METODE DISPERSIVE SOLID PHASE  
EXTRACTION (DSPE) DALAM PENENTUAN RESIDU ANTIBIOTIK  
CIPROFLOXACIN**

**(Skripsi)**

**Oleh**

***SITI SALWA KHOTIJAH***



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

## ABSTRAK

### PEMBUATAN *GRAPHENE OXIDE MOLECULARLY IMPRINTED POLYMER* (GO-MIP) UNTUK METODE *DISPERSIVE SOLID PHASE EXTRACTION* (DSPE) DALAM PENENTUAN RESIDU ANTIBIOTIK *CIPROFLOXACIN*

OLEH

SITI SALWA KHOTIJAH

*Graphene Oxide* (GO) merupakan turunan *graphene* yang memiliki luas permukaan yang besar dan tingkat kelarutan yang tinggi di air. GO memiliki selektivitas yang rendah sehingga perlu dilakukannya modifikasi permukaan GO dengan menggunakan *Molecularly Imprinted Polymer* (MIP). GO-MIP telah digunakan sebagai adsorben pada adsorpsi antibiotik terutama pada antibiotik *ciprofloxacin*. Pada studi ini, GO-MIP disintesis menggunakan asam metakrilat (MAA) sebagai monomer fungsional, *ciprofloxacin* sebagai molekul *templat*, etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) sebagai *crosslinker* dan ammonium persulfat (APS) sebagai inisiator. Karakterisasi GO-MIP dilakukan menggunakan instrumen FTIR dan SEM-EDX yang kemudian dilakukan uji adsorpsi pada antibiotik *ciprofloxacin*. Hasil karakterisasi FTIR diperoleh GO-MIP memiliki gugus fungsi -OH, C-C, C=O, C=C, C-O, C-O-C dan terdapat gugus fungsi tambahan yaitu N-H serta C-N yang berasal dari *ciprofloxacin*. Hasil karakterisasi SEM memiliki morfologi permukaan yang bergelombang dan terdapat pori-pori serta tersusun atas unsur C sebesar 58,41%; O 32,01%, N 7,03% dan F 2,56%. Uji adsorpsi *ciprofloxacin* dengan metode DSPE didapatkan hasil yang belum optimal, oleh karena itu perlu adanya evaluasi untuk uji adsorpsi *ciprofloxacin* dengan metode DSPE.

**Kata kunci:** *Ciprofloxacin, graphene oxide molecularly imprinted polymer, dispersive solid phase extraction*

## **ABSTRACT**

### **PREPARATION OF GRAPHENE OXIDE MOLECULARLY IMPRINTED POLYMER (GO-MIP) FOR DISPERSIVE SOLID PHASE EXTRACTION (DSPE) METHOD IN THE DETERMINATION OF CIPROFLOXACIN ANTIBIOTIC RESIDUES**

**By**

**SITI SALWA KHOTIJAH**

Graphene Oxide (GO) is a graphene derivative that has a large surface area and high solubility in water. GO has low selectivity so it is necessary to modify the GO surface using Molecularly Imprinted Polymer (MIP). GO-MIP has been used as an adsorbent for antibiotic adsorption, especially for ciprofloxacin antibiotic. In this study, GO-MIP were synthesized using methacrylic acid (MAA) as functional monomer, ciprofloxacin as template molecule, ethylene glycol dimethacrylate (EGDMA) as crosslinker and ammonium persulfate (APS) as initiator. Characterization of GO-MIP was carried out using FTIR and SEM-EDX instruments which were then tested for adsorption on ciprofloxacin antibiotics. FTIR characterization results obtained GO-MIP has -OH, C-C, C=O, C=C, C-O, C-O-C functional groups and there are additional functional groups namely N-H and C-N derived from ciprofloxacin. SEM characterization results have a wavy surface morphology and there are pores and are composed of C elements of 58.41%; O 32.01%, N 7.03% and F 2.56%. The ciprofloxacin adsorption test using the DSPE method obtained results that were not optimal, therefore it is necessary to evaluate the ciprofloxacin adsorption test using the DSPE method.

**Keyword:** Ciprofloxacin, graphene oxide molecularly imprinted polymer, dispersive solid phase extraction

**PEMBUATAN GRAPHENE OXIDE MOLECULARLY IMPRINTED  
POLYMER (GO-MIP) UNTUK METODE DISPERSIVE SOLID PHASE  
EXTRACTION (DSPE) DALAM PENENTUAN RESIDU ANTIBIOTIK  
CIPROFLOXACIN**

Oleh

*SITI SALWA KHOTIJAH*

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  
2024**

Judul : **PEMBUATAN GRAPHENE OXIDE MOLECULARLY IMPRINTED POLYMER (GO-MIP) UNTUK METODE DISPERSIVE SOLID PHASE EXTRACTION (DSPE) DALAM PENENTUAN RESIDU ANTIBIOTIK CIPROFLOXACIN**

Nama : **Siti Safwa Khotijah**

NPM : 2017011002

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Bandar Lampung, 15 Agustus 2024

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing



**Rinawati, Ph.D.**  
NIP. 197104142000032001



**Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.**  
NIP. 197007052005011003

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung



**Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.**  
NIP. 197406112000031002

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua : **Rinawati, Ph.D**



Sekretaris : **Dr. Agung Abadi Kiswando, M.Sc.**



Penguji  
Bukan Pembimbing : **Dr. Eng. Heri Satria, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.**  
NIP 197110012005011002

Tanggal lulus ujian skripsi : **8 Agustus 2024**

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Siti Salwa Khotijah  
Nomor Pokok Mahasiswa : 2017011002  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan ini sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul **“Pembuatan Graphene Oxide-Molecularly Imprinted Polymer untuk Metode Dispersive Solid Phase Extraction (DSPE) dalam Penentuan Residu 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, 13 Agustus 2024

Yang Menyatakan



7000  
METERAN  
TEMPEL  
27ALX287964010

Siti Salwa Khotijah  
NPM. 2017011002

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Siti Salwa Khotijah, lahir di Bandar Lampung, 15 Januari 2003 dan merupakan anak pertama dari dua bersaudara, putri dari Bapak Sama'i dan Ibu Rodiah. Saat ini penulis bertempat tinggal di Jalan Banten Gang Jambu, Gunung Mastur RT 03 LK II, Kelurahan Perwata, Kecamatan Teluk Betung Timur, Bandar Lampung, Lampung.

Penulis memulai pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) Aisyiah 1 Gudang Garam, Teluk Betung Selatan pada tahun 2007 dan lulus pada tahun 2008. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Dasar (SD) Negeri 2 Talang, pada tahun 2008. Pada tahun 2014, penulis melanjutkan sekolah di Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 3 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2017. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Sekolah Menengah Teknologi Industri (SMTI) dan selesai pada tahun 2020. Pada tahun 2020, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Universitas Lampung, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berorganisasi mulai dari Kader Muda Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) pada tahun 2020. Pada tahun 2021-2022 penulis aktif di HIMAKI sebagai anggota bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK). Penulis pernah mengikuti kegiatan sosial seperti Karya Wisata Ilmiah (KWI) yang diselenggarakan oleh BEM-FMIPA Universitas Lampung tahun 2020. Selain itu, penulis pernah mengikuti kegiatan Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Penelitian pada tahun 2021 hingga 2022 sebagai anggota Departement Kaderisasi



serta, penulis pernah mengikuti Pertukaran Pelajar ke Departement Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam ) FMIPA Universitas Gadjah Mada pada tahun 2022.

Pada bulan Januari hingga Februari tahun 2023, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Air Ringkih, Kecamatan Rebang Tangkas, Kabupaten Way Kanan selama 40 hari. Penulis juga melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Clariant, Tangerang pada bulan Juli hingga Agustus 2023 selama 40 hari, serta menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik FMIPA Universitas Lampung yang diberi judul **“Pembuatan *Graphene Oxide-Molecularly Imprinted Polymer* untuk Metode *Dispersive Solid Phase Extraction* (DSPE) dalam Penentuan Residu Antibiotik *Ciprofloxacin*”**

## MOTTO



*“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”*

*(Q.S Al-Baqarah: 286)*

*“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhan mu lah engkau berharap”*

*(Q.S. AL-Insyirah: 6-8)*

*“Life can be heavy, especially if you try to carry it all at once, part of growing up and moving into new chapters of your life is about catch or release. What I mean by that is, knowing what things to keep and what things to release, you can't carry all things*

*(Taylor Swift)*

*“You're always one decision away form a completely different life”*

*(Maudy Ayunda)*

*“Selalu ada harga dalam sebuah proses. Nikmati saja lelah-lelah itu. Lebarakan lagi rasa sabar itu. Semua yang kamu investasikam untuk menjadi dirimu serupa yang kau impikan, mungkin tak akan selalu berjalan lancar. Tapi, gelombang-gelombang itu yang bisa kau ceritakan”*

*(Boy Candra)*

## *PERSEMBAHAN*

Segala Puji dan Syukur Kehadirat Allah *Subhanallahu Wa Ta'ala* yang selalu memberikan anugerah, nikmat, kesehatan, rahmat dan hidayah-Nya. Dengan penuh rasa syukur dan bangga kupersembahkan goresan tinta dalam karya kecilku ini sebagai tanda bakti dan cintaku kepada:

*Ayah dan Ibu tercinta*

Terima kasih untuk segala doa yang tiada henti, perjuangan yang tiada lelah, hingga pengorbanan yang tiada berujung.

Untuk adikku Aulia Sulastri Dewi yang selalu memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan karya ini.

Rasa hormat saya kepada:

*Rinawati, Ph.D.*

*Dr. Agung Abadi Kiswondono, M.Sc.*

Terima kasih atas bimbingan, ilmu, nasihat, dan kesabaran dalam membimbing selama ini.

Diri sendiri yang sudah berusaha keras

Serta

*Almamaterku Tercinta  
Universitas Lampung*

## SANWACANA

Segala puji syukur panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya lah penulis diberikan kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pembuatan *Graphene Oxide-Molecularly Imprinted Polymer* untuk Metode *Dispersive Solid Phase Extraction* (DSPE) dalam Penentuan Residu Antibiotik *Ciprofloxacin*”**. Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang selalu kita nantikan syafaat-Nya di Yaumul Akhir nanti.

Penulis menyadari bahwa pengerjaan dan penulisan skripsi ini bukanlah semata-mata karena usaha dan kerja keras penulis sendiri, akan tetapi penulis banyak mendapatkan batuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Rinawati, Ph.D selaku pembimbing I yang telah sabar selama membimbing, memberi dukungan, masukan, motivasi, dan saran, serta semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswondono, M.Sc., selaku pembimbing II yang telah membimbing, memberikan ilmu, saran, arahan, waktu, dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Andi Setiawan, Ph.D. selaku pembimbing akademik yang telah memberikan motivasi dan arahan selama penulis kuliah.
4. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam universitas Lampung sekaligus sebagai penguji dan pembahas penulis yang telah memberikan kritik, saran, arahan, motivasi, dan semangat kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat kepada penulis selama menjadi mahasiswa jurusan kimia.
7. Kedua orang tua yang sangat penulis cintai. Terima kasih ayah Sama'i dan Ibu Rodiah yang sudah berjuang keras dan banyak pengorbanan yang sudah diberikan ke penulis. Terima kasih juga atas segala cinta, kasih sayang, dukungan, motivasi, dan do'a yang selalu ayah dan ibu berikan, sehingga awa bisa menyelesaikan studi di kimia ini. Semoga dengan karya ini bisa membuat ayah ibu bangga dengan awa.
8. Adik penulis Aulia Sulastri Dewi, terima kasih atas dukungan yang telah diberikan.
9. Nenek penulis Junaisih, terima kasih atas dukungan dan doa yang telah berikan kepada penulis.
10. Keluarga besar penulis yang selalu memberikan dukungan dan do'a kepada penulis.
11. Kawan seperjuangan Rinawati Research'20 Ahmad Sulaiman, Elsa Fitrianiingsih, dan Hinaya Gita, terima kasih sudah mendengarkan keluh kesah penulis selama mengerjakan penelitian ini. Terima kasih atas kehadirannya dikala senang dan sedih selama penulis melakukan penelitian ini terima kasih telah membantu penulis dalam mengerjakan penelitian ini. *Finally, see you guys* kalian keren bisa nyelesaikan penelitian ini walau penuh huru-hara.
12. Kakak tingkat seperbimbingan kak Dian Rifani, terima kasih sudah membantu dan memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama penelitian.
13. Mas Udin, selaku laboran Kimia Analitik dan Instrumentasi terima kasih atas bantuannya selama penulis mengerjakan penelitian di laboratorium.
14. Mba Yun, selaku penjaga gedung jurusan Kimia yang telah membantu penulis selama penulis saat penulis membutuhkan ruangan untuk seminar.
15. Kawan-kawan "BNN" Amelia Mareta, Elsa Fitrianiingsih, Mitha Angely, Ahmad Sulaiman, Muhamad Dwi Fansang, Muhammad Sabil, Surya Ibrahim terima kasih telah hadir selama perkuliahan penulis. Terima kasih telah mendengarkan cerita penulis, mengerjakan laporan praktikum bersama,

- membantu penulis, memberikan masukan dan saran serta contekan kepada penulis selama perkuliahan ini. Selamat menghadapi kehidupan selanjutnya.
16. Kawan terdekatku selama kuliah “Intan Aldara” terima kasih telah menemani penulis dari awal perkuliahan. Terima kasih telah mendengarkan cerita, memberikan semangat, saran, motivasi, dan dukungan kepada penulis selama perkuliahan ini. Selamat atas gelar yang sudah didapat terlebih dahulu, semoga dikehidupan setelah lulus ini lebih baik lagi dan *see you and enjoy the true journey of you're life*.
  17. Muhammad Irfan Hanafi, terima kasih telah memberikan saran dan dukungan kepada penulis, terima kasih telah mendengarkan cerita penulis pada perkuliahan ini. Selamat dan semangat menghadapi *life after graduate*.
  18. Amelia Mareta, terima kasih sudah membantu penulis selama perkuliahan ini, memberikan saran dan masukan kepada penulis, mendengarkan semua cerita penulis dari awal perkuliahan. Terima kasih telah menemani penulis selama melakukan penelitian ini. Selamat menjalankan kehidupan selanjutnya. Selamat mengukir cerita selanjutnya. Selamat merantau keluar lampung.
  19. Putri Ardila Buana, terima kasih telah menjadi teman penulis selama perkuliahan ini, terima kasih atas waktunya yang telah membantu dan menemani penulis selama mengerjakan penelitian ini. Terima kasih telah mendengarkan keluhan penulis selama penelitian. Semoga abis ini kalau sintesis gak gagal lagi ya. Selamat atas gelar yang diperoleh meskipun Cuma beda sehari dengan penulis. Selamat kembali ke rumah.
  20. Fitriana Artika Sari, terima kasih atas saran dan masukan kepada penulis, terima kasih telah mendengarkan cerita penulis selama perkuliahan ini, semangat menyelesaikan yang kamu mulai. Terima kasih atas cerita yang kamu berikan kepada penulis sehingga memberikan warna diperkuliahan penulis.
  21. Kawan SMA penulis “KITE-KITE” Risna Wahyuni Dongoran, Umi Villia, Popy Adhelia, terima kasih telah menemani penulis dari SMA hingga sekarang. Terima kasih atas dukungan dan sayang yang telah diberikan kepada penulis hingga detik ini. Semoga kalian bisa menghadapi huru-hara

skripsi ini. Selamat sukses kedepannya dan semangat kalian keren aku bangga sama kalian.

22. Kawan SMP penulis “YKKA” Abang, Igo, Nopral, PO, Rahma terima kasih telah menemani penulis hingga detik ini. Terima kasih atas perjalanan hidup yang berharga kepada penulis, terima kasih telah menyayangi penulis seperti adik kalian. Semangat atas perjalanan kalian, kalian sangat keren terima kasih telah mengajarkan banyak hal.
23. Kawan-kawan KKN Desa Air Ringkih, terima kasih telah menemani penulis selama 40 hari, terima kasih atas perjalanan kalian yang sangat keren dan berharga bagi penulis, terima kasih telah mendengarkan cerita penulis, dukungan, saran yang telah diberikan. Kalian semua hebat awa bangga sama kalian.
24. Ibu Elmi dan Bapak Bin, terima kasih telah menerima penulis selama 40 hari tinggal dirumah ibu dan bapak, terima kasih atas kasih sayang yang telah ibu dan bapak berikan kepada penulis. Semoga kita bisa ketemu lagi ya pak bu.
25. Kawan-kawan “PP UGM” terima kasih telah menemani penulis selama kuliah di Jogja, terima kasih telah suka dan duka yang telah diberikan kepada penulis. *See you on top guys.*
26. Keluarga Kimia C, terima kasih telah hadir diperkuliahan penulis, terima kasih atas bantuan kalian selama perkuliahan ini. Selamat bagi kalian yang sudah selesai mengerjakan penelitian selamat menempuh kehidupan selanjutnya dan semangat yang belum selesai penelitiannya.
27. Keluarga besar Kimia 2020, terima kasih atas pertemuannya ini, terima kasih telah hadir di kehidupan penulis. Semoga kita semua menjadi orang yang sukses dimasa mendatang.
28. Diriku sendiri “Awa”, terima kasih telah berjuang hingga detik ini, terima kasih telah bertahan meskipun dengan keluhan yang terus-terusan, capek dan nangis awa bisa didetik ini. Selamat atas gelar baru nya, selamat usaha yang dikeluarkan tidak sia-sia. Semangat menghadapi fase kehidupan selanjutnya jangan nyerah perjalanan awa masih panjang. Ingat usaha yang dikeluarkan pasti ada hasilnya tidak ada uaha yang sia-sia. *I’ve done just getting started.*

29. Kepada seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan, doa, serta dukungan kepada penulis.

Bandar Lampung, 12 Agustus 2024

Penulis

Siti Salwa Khotijah  
NPM. 2017011002



## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>ix</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	3
1.3. Manfaat Penelitian .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1. Antibiotik <i>Ciprofloxacin</i> .....	5
2.2. <i>Dispersive Solid Phase Extraction</i> (DSPE) .....	7
2.3. <i>Graphene Oxide</i> (GO) .....	8
2.4. <i>Molecularly Imprinted Polymer</i> (MIP) .....	12
2.5. Karakterisasi .....	18
2.5.1. <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray</i> (SEM-EDX) .....	18
2.5.2. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR) .....	19
2.6. Spektrofotometer UV-Vis .....	20
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	<b>22</b>
3.1. Tempat dan Waktu Pelaksanaan .....	22
3.2. Alat dan Bahan .....	22
3.3. Prosedur Kerja .....	23
3.3.1. Pembuatan <i>Graphene Oxide</i> (GO) Menggunakan Metode Hummers Termodifikasi .....	23
3.3.2. Pembuatan <i>Graphene Oxide Molecularly Imprinted Polymer</i> (GO-MIP) 24	
3.3.3. Karakterisasi <i>Graphene Oxide</i> (GO), <i>Graphene Oxide Molecularly Imprinted Polymer</i> (GO-MIP), dan <i>Graphene Oxide Non-Imprinted Polymer</i> (GO-NIP) .....	24
3.3.4. Pembuatan Larutan Induk <i>Ciprofloxacin</i> 500 ppm .....	25
3.3.5. Uji Adsorpsi Antibiotik <i>Ciprofloxacin</i> menggunakan Metode DSPE .....	25
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>27</b>
4.1. Sintesis <i>Graphene Oxide</i> .....	27
4.2. Sintesis <i>Graphene Oxide-Molecularly Imprinted Polymer</i> .....	29
4.3. Karakterisasi .....	31
4.3.1. Karakterisasi menggunakan FTIR .....	31
4.3.2. Karakterisasi menggunakan SEM-EDX .....	34

4.4.	Penentuan Panjang Gelombang <i>Ciprofloxacin</i> .....	37
4.5.	Uji Adsorpsi Antibiotik <i>Ciprofloxacin</i> menggunakan Metode DSPE.....	38
<b>V.</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>39</b>
5.1.	Kesimpulan.....	39
5.2.	Saran .....	39
	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>40</b>
	<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>47</b>
	Lampiran 1. Perhitungan massa bahan untuk pembuatan GO-MIP .....	48
	Lampiran 2: Perhitungan Persen Adsorpsi .....	49
	Lampiran 3: Grafik FTIR GO, GO-NIP, dan GO-MIP .....	52
	Lampiran 4: Diagram Sintesis Graphene Oxide.....	54
	Lampiran 5: Diagram Sintesis GO-MIP.....	55

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Hal
1. Struktur Antibiotik Ciprofloxacin .....	6
2. Bentuk Ion Antibiotik Ciprofloxacin dalam berbagai pH.....	6
3. Mekanisme Proses DSPE.....	7
4. Struktur Graphene .....	9
5. Struktur Graphene Oxide. ....	10
6. Pembentukan Gugus Fungsi GO.....	12
7. Proses Sintesis MIP.....	13
8. Monomer Fungsional yang Umum Digunakan.....	14
9. Cross-linkers yang Umum Digunakan.....	15
10. Inisiator yang Umum Digunakan .....	16
11. Reaksi Sintesis GO-MIP. ....	17
12. Hasil SEM GO, GO-NIP, dan GO-MIP.....	18
13. Hasil EDX GO dan GO-MIP. ....	19
14. Hasil FTIR GO, GO-NIP dan GO-MIP. ....	20
15. Kurva Kalibrasi Ciprofloxacin.....	21
16. Diagram Alir Penelitian .....	26
17. Hasil Sintesis GO .....	29
18. Reaksi Sintesis GO-MIP .....	30
19. Hasil Sintesis GO-MIP.....	31
20. FTIR <i>Ciprofloxacin</i> .....	32
21. FTIR (a) GO, (b) GO-NIP, (c) GO-MIP sebelum elusi, dan .....	33
22. (a) GO, (b) GO-NIP, (c) GO-MIP Sebelum Elusi, .....	34
23. EDX (a) GO, (b) GO-NIP, (c) GO-MIP Sebelum Elusi, dan .....	35
24. Panjang Gelombang Maksimum Antibiotik Ciprofloxacin .....	37

25. Kurva Kalibrasi 1 Standar Ciprofloxacin 1 .....	49
26. Kurva Kalibrasi Standar Ciprofloxacin 2 .....	51
27. Spektrum Hasil FTIR GO .....	52
28. Spektrum Hasil FTIR GO-NIP .....	52
29. Spektrum Hasil FTIR GO-MIP Sebelum Elusi .....	53
30. Spektrum Hasil FTIR GO-MIP Setelah Elusi.....	53
31. Diagram Sintesis Graphene Oxide .....	54
32. Diagram Sintesis GO-MIP .....	55

## DAFTAR TABEL

Tabel	Hal
1. EDX GO, GO-NIP, GO-MIP Sebelum Elusi, dan GO-MIP Setelah Elusi.....	36
2. Data Rata-Rata Uji Adsorpsi Antibiotik Ciprofloxacin.....	38
3. Data Kurva Kalibrasi 1 untuk Penentuan Persen Adsorpsi.....	49
4. Hasil Uji Adsorpsi 1.....	50
5. Data Kurva Kalibrasi 2 untuk Penentuan Persen Adsorpsi.....	51
6. Hasil Uji Adsorpsi 2.....	51
7. Data Rata-Rata Hasil Uji Adsorpsi .....	51

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Penyakit infeksi masih menjadi masalah utama di beberapa negara, terutama di negara berkembang. Infeksi dapat disebabkan oleh sejumlah mikroorganisme yang termasuk bakteri patogen. Antibiotik digunakan untuk menghambat kuman penyebab penyakit infeksi (Pratiwi, 2017). Penggunaan antibiotik pada manusia dan hewan yang terus meningkat, menyebabkan residu antibiotik yang dihasilkan juga meningkat. Senyawa induk atau metabolit antibiotik cukup stabil, sehingga dapat melewati pengolahan air dan masuk ke lingkungan. Residu antibiotik yang mengkontaminasi tanah dapat menyebabkan toksisitas kepada makhluk hidup yang meminum air tersebut. Residu antibiotik dalam tanah dapat mengganggu keseimbangan ekosistem mikroba dalam tanah, terutama mikroba fiksasi nitrogen yang menyediakan unsur hara dalam tanah. Selain itu, adanya residu antibiotik di lingkungan terutama pada perairan dapat menimbulkan bakteri yang resistensi terhadap antibiotik (Sanjayadi dan Violita, 2020).

Salah satu antibiotik yang digunakan yaitu *ciprofloxacin* dari golongan *floroquinolone* generasi kedua yang aktif pada bakteri gram negatif dan positif (Dewangga, 2022). Antibiotik *ciprofloxacin* dapat digunakan untuk mengobati infeksi pada saluran kemih dan *pneumonia* (Thai *et al.*, 2023). Residu antibiotik *ciprofloxacin* di lingkungan memiliki dampak negatif yang dapat membahayakan dikarenakan dapat terjadi resistensi bakteri dan dapat terjadinya mutasi gen serta menurunkan pertumbuhan dan sintesis klorofil (Mutiyar *and* Mittal, 2014). Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran antibiotik di lingkungan.

Pada umumnya residu antibiotik yang ada di lingkungan sangat kecil, sehingga diperlukan preparasi sampel agar konsentrasi sampel saat analisis sesuai dengan yang dibutuhkan. Teknik pemisahan yang umum dapat digunakan untuk memperbesar konsentrasi sampel diantaranya adalah *Solid Phase Extraction* (SPE).

Teknik SPE adalah teknik pemisahan yang memiliki keefektifan tinggi dan aman. Namun, SPE mempunyai kelemahan yaitu membutuhkan waktu yang lama, dapat terjadi *plugging* pada kolom SPE, dan mahal (Amanda dkk., 2022). Oleh karena itu, perlu dikembangkan metode menggunakan *Dispersive Solid Phase Extraction* (DSPE) atau metode ekstraksi padat terdispersi untuk memisahkan analit dalam sampel. Teknik DSPE merupakan pengembangan dari SPE yang didasarkan pada penambahan adsorben ke dalam larutan dan mempertahankan kontak antara adsorben dan analit (Islas *et al.*, 2017). Pada teknik DSPE, perlu dilakukan pemilihan adsorben agar analit dapat bekerja dengan efektif. Material yang bersifat nano karbon dapat digunakan sebagai adsorben karena memiliki luas permukaan yang besar dan memiliki kapasitas adsorpsi yang baik (Liu *et al.*, 2015). Nano karbon yang dapat digunakan sebagai adsorben yaitu *fullerence*, *carbon nanotubes* (CNTs), dan *graphene oxide*.

*Graphene Oxide* (GO) memiliki struktur karbon heksagonal yang merupakan turunan dari *graphene* yang mengandung gugus hidroksil (-OH), epoksi (C-O-C), karbonil (C=O), asam karboksilat (-COOH) dan gugus fungsi berbasis oksigen lainnya. Selain itu, GO mempunyai luas permukaan yang besar dan memiliki tingkat kelarutan yang tinggi terhadap air. Oleh karena itu, dapat digunakan untuk ekstraksi senyawa yang bersifat polar dan hidrofilik (Smith *et al.*, 2019). GO dapat digunakan sebagai adsorben dalam adsorpsi *methylene blue* di perairan (Jahan *et al.*, 2022). Selain itu, GO dapat digunakan untuk adsorpsi antibiotik tetrasiklin (Li *et al.*, 2023). Pembuatan GO untuk penentuan residu antibiotik *cefriaxone* telah dilakukan oleh Rinawati *et al* (2024) hasil yang diperoleh pada adsorpsi GO dengan antibiotik *cefriaxone* kurang optimum dikarenakan hasil

yang diperoleh hanya sebesar 47%. Sehingga, penggunaan GO masih belum selektif sebagai adsorben pada teknik DSPE.

Peningkatan selektivitas GO sebagai adsorben dapat dilakukan dengan memodifikasi permukaan GO dengan *Molecularly Imprinted Polymer* (MIP). MIP dihasilkan dari proses polimerisasi molekul *template*, monomer fungsional, *cross-linkers*, dan inisiator (Sedghi *et al.*, 2017). MIP dapat memungkinkan adsorpsi yang cepat dan sangat selektif pada analit target (Meng *et al.*, 2020). MIP dapat digunakan sebagai adsorben pada ekstraksi kelompok antibiotik dari spesies yang terkait secara struktural. Modifikasi GO dengan MIP sebagai adsorben menunjukkan hasil yaitu dapat memiliki aktivitas pengikat yang cepat, tingkat selektivitas, dan tingkat adsorpsi yang tinggi (Chen *and* Ye, 2017).

Berdasarkan uraian diatas, maka dalam penelitian ini akan dilakukan pembuatan *Graphene Oxide Molecularly Imprinted Polymer* (GO-MIP) untuk metode *Dispersive Solid Phase Extraction* (DSPE) sebagai adsorben pada penentuan residu antibiotik *ciprofloxacin*

## 1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan *Graphene Oxide Molecularly Imprinted Polymer* (GO-MIP).
2. Karakterisasi *Graphene Oxide Molecularly Imprinted Polymer* (GO-MIP) menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX).
3. Pengujian adsorpsi antibiotic *ciprofloxacin* dengan metode DSPE



### **1.3. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kemampuan *Graphene Oxide Molecularly Imprinted Polymer* (GO-MIP) sebagai adsorben untuk penentuan residu antibiotik *ciprofloxacin*.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

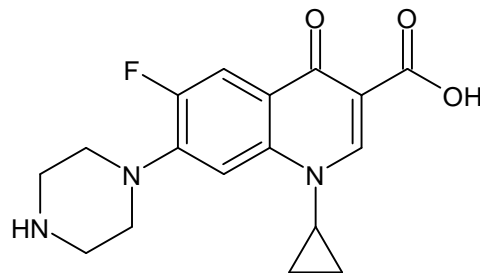
### 2.1. Antibiotik *Ciprofloxacin*

Antibiotik adalah obat yang berasal dari senyawa organik yang dihasilkan oleh spesies mikroorganisme tertentu dan bersifat toksik bagi spesies mikroorganisme lain. Sifat toksik senyawa antibiotik dapat menghambat pertumbuhan bakteri atau membunuh bakteri (Tjaboali, 2015). Zat-zat turunan yang dibuat secara semi sintesis juga ke dalam kelompok antibiotik, begitu pula senyawa hasil sintesis yang berkhasiat sebagai antibakteri (Pratiwi, 2017). Umumnya, antibiotik digunakan untuk pengobatan dan pencegahan infeksi bakteri pada hewan dan manusia. Selain itu, digunakan dalam pakan hewan, akuakultur dan hewan unggas sebagai *growth promoter* (pemacu pertumbuhan). Antibiotik dapat dikelompokkan berdasarkan pada struktur kimia dan mekanisme aksinya (Sodhi and Singh, 2022).

Antibiotik *ciprofloxacin* digunakan untuk mengobati infeksi bakteri pada infeksi saluran kemih dan *pneumonia*. Antibiotik ini juga aktif melawan bakteri gram negatif (Thai *et al.*, 2023). Prinsip kerja antibiotik *ciprofloxacin* yaitu menghambat pertumbuhan bakteri dengan menghambat mekanisme kerja enzim DNA *girase* yang berperan dalam pembelahan sel bakteri. *Ciprofloxacin* dengan konsentrasi yang tinggi dapat mengganggu sintesis DNA pada isolat resistensi dibandingkan strain induk (Dewangga, 2022).

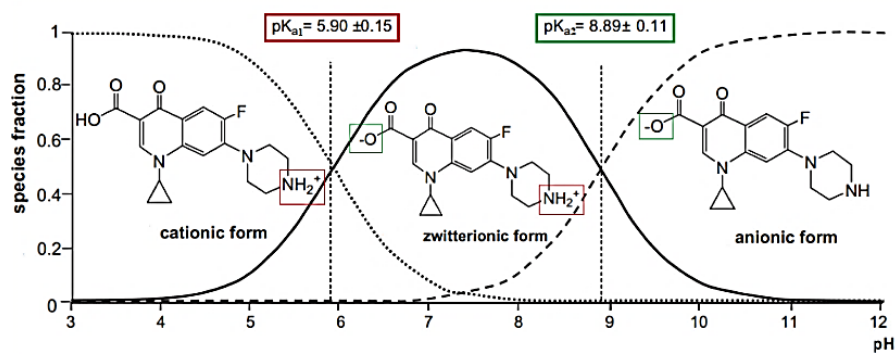
Antibiotik *ciprofloxacin* adalah jenis antibiotik turunan *flouroquinolone* generasi kedua yang memiliki nama IUPAC *1-cyclopropyl-6-fluoro-4-oxo-7-(piperazin-1-yl)-1,4-dihydroquinoline-3-carboxylic acid* dengan rumus molekul  $C_{17}H_{18}FN_3O_3$

dan memiliki berat molekul 331,346 g/mol (Sumampouw, 2018). Struktur antibiotik *ciprofloxacin* dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Struktur Antibiotik *Ciprofloxacin* (Sumampouw, 2018).

Antibiotik *ciprofloxacin* terdapat dua gugus fungsi yang dapat terionisasi yaitu gugus 6-karboksilat dan N-4 dari substituen piperazin. Gugus asam karboksilat pada *ciprofloxacin* adalah asam yang lebih kuat dibandingkan dengan gugus amonium. Hal ini menyebabkan *ciprofloxacin* memiliki konstanta ionisasi pertama  $pK_{a1}$  (6,09) terdapat disosiasi proton dari gugus karbonil dan  $pK_{a2}$  (8,62) terdapat disosiasi proton dari N-4 pada piperazinil. Fraksi spesies zwitterionik dihasilkan dari disosiasi yang terjadi secara signifikan dari gugus asam 6-karboksilat dan basa 10-(1-piperazino). Selain itu, pH secara fisiologis secara relevan yaitu nilai  $pK_{a2}$  sebesar 8,25 (Sharma *et al.*, 2010). Antibiotik *ciprofloxacin* mempunyai muatan positif pada  $pH < 5,90$ , muatan netral atau zwitter ion pada  $8,89 < pH < 9,90$  dan muatan negatif  $pH > 9,90$  (Rostamian and Behnejad, 2018). Bentuk ion antibiotik *ciprofloxacin* dalam berbagai pH ditunjukkan pada Gambar 2.

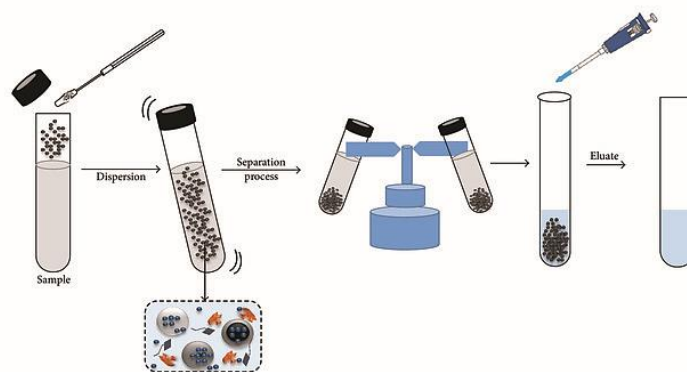


**Gambar 2.** Bentuk Ion Antibiotik *Ciprofloxacin* dalam berbagai pH (Rostamian and Behnejad, 2018).

Beberapa studi telah melaporkan bahwa residu antibiotik *ciprofloxacin* sudah terdeteksi pada perairan. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya kebutuhan pada *ciprofloxacin*. Antibiotik *ciprofloxacin* terdeteksi pada air permukaan sebesar  $5 \cdot 10^{-1} - 10^{-5}$  ng/L dan pada air dengan konsentrasi rata-rata global sebesar  $10 - 10^3$  ng/L (Kovalakova *et al.*, 2020). Residu antibiotik *ciprofloxacin* memiliki dampak negatif yang dapat membahayakan dikarenakan dapat terjadi resistensi bakteri dan memiliki efek ekotoksikologi, kondrotoksik, dan dapat menimbulkan penyakit yang diantaranya infeksi usus dan kulit (Herrera-Hidalgo *et al.*, 2021). Selain itu, residu antibiotik *ciprofloxacin* di lingkungan dapat terjadinya mutasi gen dan dapat menurunkan pertumbuhan dan sintesis klorofil (Mutiyar *and* Mittal, 2014).

## 2.2. Dispersive Solid Phase Extraction (DSPE)

*Dispersive Solid Phase Extraction* (DSPE) adalah teknik pemisahan fase padat yang berdasarkan pada penambahan adsorben langsung ke dalam larutan analit yang diikuti dengan dispersi yang mendukung kontak antara adsorben dan analit. Setelah proses dispersi telah selesai, sorben dengan analit akan tertahan di permukaannya dan dipisahkan dengan sentrifugasi. Setelah fase padat diisolasi, analit yang teradsorpsi pada permukaan adsorben dapat dengan mudah dielusi atau dihilangkan dengan penambahan pelarut organik yang memandai (Islas *et al.*, 2017). Mekanisme proses DSPE ditunjukkan pada Gambar 3.



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

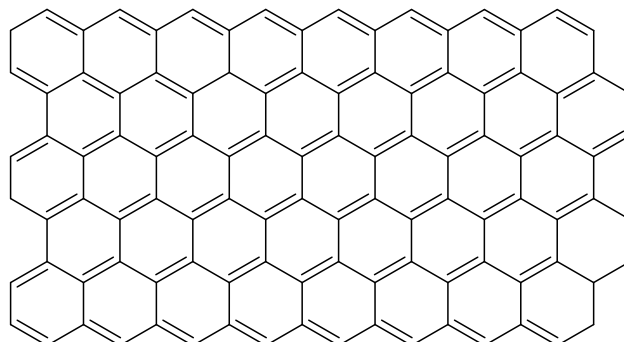
Dispersi sorben mengarah pada peningkatan permukaan aktifnya dan karena itu dapat meningkatkan kinetika ekstraksi. Pada peningkatan ini memungkinkan penggunaan adsorben lebih kecil dibandingkan dengan pendekatan secara konvensional (Jamali *et al.*, 2013). Analit dapat dipantau secara langsung pada permukaan adsorben dengan menggunakan teknik spektroskopi atau dengan elusi atau diserap untuk analisis berikutnya dari fraksi elusi (Büyüktiryaki *et al.*, 2020). Elusi analit dari adsorben harus menggunakan pelarut yang memiliki kepolaran yang sesuai dengan matriks agar analit dapat terelusi dari adsorben. Ketika analit bersifat polar menggunakan pelarut polar begitu pula pada analit non polar menggunakan pelarut non polar juga (Utami *and* Putri, 2020). Pada teknik DSPE, diperlukan pemilihan adsorben agar ekstraksi analit dapat berlangsung dengan efisien. Material yang bersifat nano karbon dapat digunakan sebagai adsorben karena memiliki luas permukaan yang besar dan memiliki kapasitas adsorpsi yang baik (Liu *et al.*, 2015).

Adsorpsi adalah proses ketika suatu fluida terikat pada padatan dan akhirnya akan membentuk lapisan tipis atau film pada permukaan tersebut karena adanya ketidakseimbangan pada permukaan. Zat yang teradsorpsi dikenal dengan adsorbat dan zat pengadsorpsi disebut dengan adsorben (Larasati dkk., 2015). Adsorben adalah zat berwujud padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari fluida. Adsorben kebanyakan bahan-bahan yang sangat berpori dan adsorpsi berlangsung pada dinding pori-pori. Proses adsorpsi terjadi pada adsorben yang memiliki tingkat kepolaran yang sama, ketika permukaan adsorben polar maka akan mengikat molekul yang bersifat polar juga begitu pula dengan adsorben non polar akan mengikat molekul non polar juga (Rahmayani dan Siswarni, 2013).

### **2.3. Graphene Oxide (GO)**

*Graphene* adalah material dua dimensi yang tersusun atas karbon yang berhibridisasi  $sp^2$  dan memiliki susunan heksagonal. *Graphene* merupakan satu lapisan dari grafit. Dalam struktur grafit setiap atom karbon membentuk ikatan

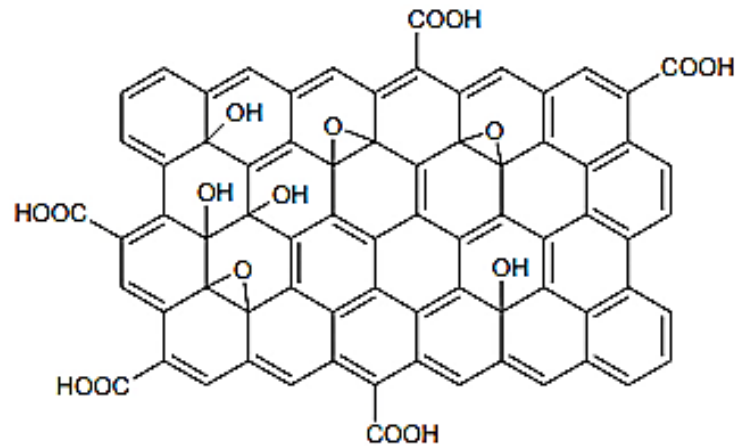
kovalen dengan tiga atom karbon lainnya membentuk lapisan heksagonal dengan struktur berlapis. *Graphene* memiliki sifat semikonduktor, transparan, dan kuat (Hanifa dan Dwandaru, 2021). Struktur *graphene* dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Struktur *Graphene* (Hanifa dan Dwandaru, 2021).

*Graphene* dapat digunakan sebagai adsorben karena memiliki luas permukaan yang besar, stabilitas termal yang baik, situs aktif yang melimpah, dan memiliki ikatan  $\pi$  yang terdelokalisasi. Sistem elektron  $\pi$  poliaromatik dari *graphene* dapat berinteraksi dengan struktur aromatik melalui ikatan  $\pi$  (Sun *et al.*, 2017). Hal ini dapat terjadinya interaksi *Van der Waals* yang kuat interaksi antar ikatan  $\pi$  maka cenderung membentuk agregasi, sehingga menyebabkan luas permukaan sulit dipertahankan dan kemampuan beradsorpsi akan berkurang. Turunan *graphene* yang dapat memberikan permukaan dengan sifat yang cocok untuk meningkatkan adsorpsi yaitu GO (Neolaka *et al.*, 2020).

Struktur GO yang mirip dengan *graphene* tetapi mengandung gugus hidroksil (-OH), epoksi (C-O-C), karbonil (C=O), asam karboksilat (-COOH) dan gugus fungsi berbasis oksigen lainnya. Oleh karena itu, dapat digunakan untuk ekstraksi senyawa yang bersifat polar dan hidrofilik (Smith *et al.*, 2019). Gugus fungsi ini memungkinkan GO diproses dengan mudah dalam dispersi dan memberinya stabilitas koloid yang tinggi dalam air (Tarcán *et al.*, 2020). Struktur GO dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Struktur *Graphene Oxide* (Tarcan *et al.*, 2020).

Kandungan GO terdiri dari aromatik ( $sp^2$ ) yang tidak teroksidasi dan alifatik ( $sp^3$ ) yang mengarah pada pengikatan jenis interaksi yang terjadi pada permukaan (Yu *et al.*, 2020). Saat ini, GO muncul sebagai kandidat adsorben kuat dengan aktivitas antibakteri yang efektif (Tohamy *et al.*, 2020). Luas permukaan yang besar, kelarutan dalam air yang tinggi, dan memiliki gugus fungsi yang mengandung oksigen, sehingga memungkinkan GO untuk mengikat ion logam dan molekul organik yang bermuatan positif melalui interaksi elektrostatik dan koordinasi (Jahan *et al.*, 2022).

Sintesis GO dapat dilakukan dengan beberapa metode, seperti metode Brodie, Staudenmaier, Hummers, dan Hummers termodifikasi.

#### 1. Metode Brodie

Pembuatan GO dilakukan pertama oleh Brodie pada tahun 1859 dengan dilakukan pengasapan pada grafit menggunakan kalium klorat ( $KClO_3$ ) selama 4 hari pada suhu  $60\text{ }^\circ\text{C}$  (Brodie, 1859). Sintesis dengan metode ini membutuhkan waktu yang lama dan dapat terbentuknya  $ClO_2$  yang mudah meledak (Ikram *et al.*, 2020).

#### 2. Metode Staudenmaier

Sintesis GO dengan menggunakan metode ini berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan metode brodie yang dikarenakan pada proses oksidasi hanya

terjadi satu langkah. Penggunaan  $\text{HNO}_3$  digantikan dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  namun tetap menggunakan  $\text{KClO}_3$ . Proses oksidasi dilakukan pada suhu tinggi sekitar  $90\text{ }^\circ\text{C}$  selama 4 hari, sehingga dapat menimbulkan resiko ledakan (Ikram *et al.*, 2020).

### 3. Metode Hummers

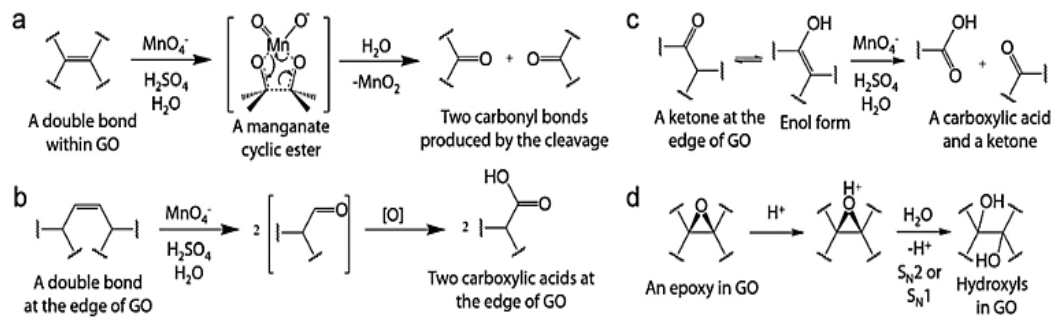
Proses sintesis pada metode ini membutuhkan waktu yang lebih cepat dibanding metode lainnya dikarenakan pada proses oksidasi dapat dilakukan dalam satu kali percobaan.  $\text{KMnO}_4$  digunakan sebagai pengganti  $\text{KClO}_3$  untuk mencegah ledakan spontan yang dapat terjadi pada proses oksidasi dan  $\text{HNO}_3$  diganti dengan  $\text{NaNO}_3$  yang digunakan untuk mencegah pembentukan kabut asam selama proses oksidasi. Namun, pada proses sintesis dapat terbentuk gas beracun seperti  $\text{NO}_2$  dan  $\text{N}_2\text{O}_4$  (Zaaba *et al.*, 2017).

### 4. Metode Hummers Termodifikasi

Metode ini dilakukan untuk meningkatkan oksidan  $\text{KMnO}_4$ , tidak menggunakan  $\text{NaNO}_3$ , dan dilakukan reaksi oksidasi dalam campuran  $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_3\text{PO}_4$  (Santamaría *et al.*, 2020). Penggunaan  $\text{KMnO}_4$  untuk sebagai oksidator dalam suasana asam dalam  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Proses oksidasi ditandai dengan  $\text{KMnO}_4$  bereaksi dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  membentuk  $\text{MnO}_3^+$ .

Terbentuknya gugus fungsi pada GO dikarenakan terdapat proses dari beberapa tahap yang diantaranya pembelahan oksidatif ikatan  $\text{C}=\text{C}$  melalui gugus ester siklik mangan yang dapat menghasilkan dua ikatan karbonil, pembelahan oksidatif ikatan  $\text{C}=\text{C}$  yang dapat menghasilkan dua asam karboksilat, pembelahan keton menjadi satu asam karboksilat dan satu keton, serta hidrolisis epoksi dengan menggunakan katalis asam membentuk dua ikatan hidroksil (Kang *et al.*, 2016). Skema pembentukan gugus fungsi GO ditunjukkan pada Gambar 6.





**Gambar 6.** Pembentukan Gugus Fungsi GO (Kang *et al.*, 2016).

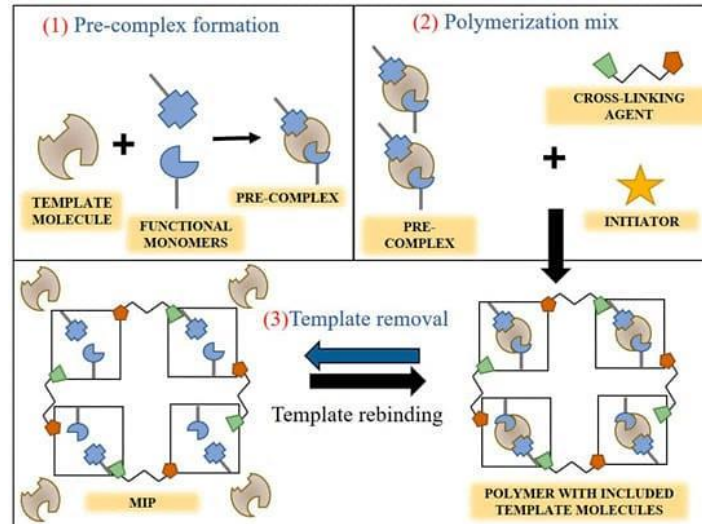
Metode Hummers termodifikasi dapat digunakan pada produksi GO dengan skala besar dikarenakan dapat meningkatkan kinerja reaksi pada sintesis GO. Selain itu, metode ini lebih ramah lingkungan yang dapat mengurangi produksi gas-gas beracun dan dapat mencegah terjadinya ledakan jika dibandingkan dengan metode lainnya (Méndez-Lozano *et al.*, 2022).

#### 2.4. *Molecularly Imprinted Polymer (MIP)*

*Molecularly Imprinted Polymer (MIP)* adalah polimer yang disintesis dari molekul *template* (molekul target) dan monomer fungsional. Monomer fungsional dapat dihubungkan ke *template* melalui interaksi non kovalen (hidrogen, ionik, dan hidrofobik) atau kovalen yang membentuk kompleks sebelum reaksi *cross-linkers* dalam pelarut (Preda *et al.*, 2022). Monomer dipilih untuk berinteraksi dengan gugus fungsi dari molekul *template*. Setelah polimerisasi terjadi, molekul *template* diekstraksi dan situs pengikatan dengan bentuk, ukuran, dan molekul *template*. Setelah polimerisasi terjadi, molekul *template* diekstraksi dan situs pengikatan dengan bentuk, ukuran, dan fungsional yang dilengkapi analit target yang dibuat (Turiel and Martín-Esteban, 2010).

Polimer yang diperoleh adalah polimer matriks yang berpori makro yang memiliki rongga mikro dengan struktur tiga dimensi yang melengkapi struktur *template*. Penghilangan molekul *template* dari polimer dengan mencuci menggunakan pelarut dan meninggalkan tempat pengikat yang bentuknya saling melengkapi

dengan *template*. Polimer yang dihasilkan mengenali dan mengikat molekul *template* secara selektif (Khoo *et al.*, 2019). Proses sintesis MIP dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Proses Sintesis MIP (Preda *et al.*, 2022).

Sintesis MIP dilakukan dengan polimerisasi dari molekul *template*, monomer fungsional, pelarut, *cross-linkers*, dan inisiator.

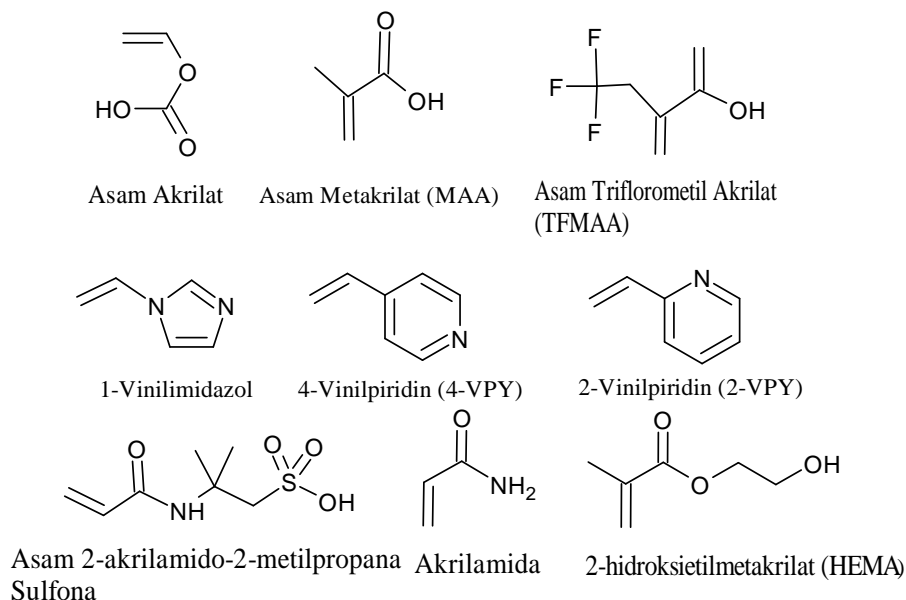
- Molekul *template*

*Template* mempengaruhi dalam pemilihan monomer fungsional, *cross-linkers*, inisiator, dan pelarut porogen. *Template* merupakan senyawa target yang digunakan untuk analisis yang digunakan dalam sintesis MIP harus stabil dan memiliki gugus fungsi yang inert. Selain itu, *template* harus memiliki suhu dan stabilitas kimia yang baik sehingga tidak terjadi degradasi selama polimerisasi (Murdaya *et al.*, 2022). Pada penelitian ini, digunakan molekul *template* antibiotik *ciprofloxacin*.

- Monomer fungsional

Monomer fungsional merupakan hal terpenting dalam pembentukan interaksi *template* dan substrat. Monomer bertanggung jawab dalam interaksi ikatan pada sisi ikatan dalam sisi ikatan *imprinted* (Anggrawati, 2023). Monomer fungsional akan berinteraksi dengan molekul *template* secara non-kovalen, misalnya dengan

ikatan hidrogen (pemilihan donor ikatan –H dan akseptor ikatan –H) (Włoch *and* Datta, 2019). Beberapa monomer fungsional yang sering digunakan ditunjukkan pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Monomer Fungsional yang Umum Digunakan

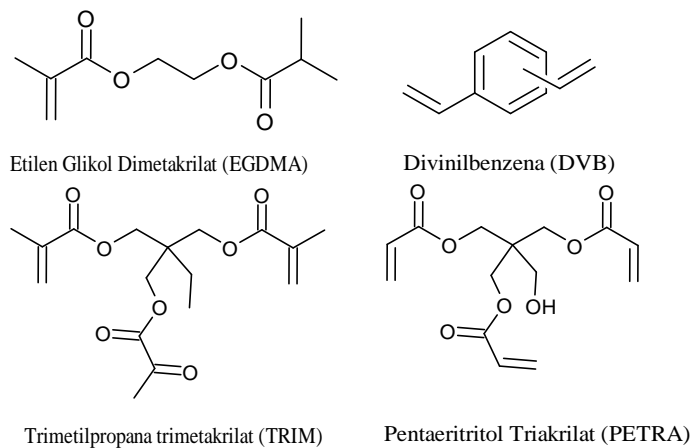
Pada penelitian ini, digunakan monomer asam metakrilat (MAA) karena memiliki gugus ester dan amida yang banyak digunakan sebagai monomer fungsional untuk memudahkan sintesis dalam hal pengikatan kovalen dan non-kovalen (Nishchaya *et al.*, 2023). Monomer MAA merupakan asam monokarboksilat tak jenuh alfa yang mempunyai bentuk cairan tidak berwarna dan memiliki bau yang menyengat. Monomer MAA memiliki berat molekul sebesar 86,09 g/mol. Selain itu, monomer MAA memiliki titik leleh sebesar 16 °C dan titik nyala sebesar 76 °C. Monomer MAA bersifat korosif terhadap logam dan jaringan dan mudah terbakar serta dapat berpolimerisasi secara eksotermis. Monomer MAA dapat membentuk ikatan hidrogen dan interaksi elektrostatik dengan *template ciprofloxacin* yang terjadi pada gugus karboksil MAA dan *ciprofloxacin* selama polimerisasi. Monomer MAA dengan *ciprofloxacin* dapat membentuk kompleks donor reseptor yang stabil (Hashemi *et al.*, 2020).

- Pelarut porogen

Selama proses polimerisasi, porogen bertindak sebagai media pendispersi dan dapat membantu membentuk rongga yang homogen. Pelarut berfungsi dalam menggabungkan semua konstituen menjadi satu fase dan menyediakan pori-pori bagi polimer makropori. Gaya interaksi analit dengan polimer cenderung akan menurun ketika menggunakan pelarut yang lebih polar dikarenakan pelarut yang lebih polar cenderung akan melepaskan interaksi non-kovalen pada kompleks pre-polimer (Murdaya *et al.*, 2022).

- *Cross-linkers*

*Cross-linkers* pada sintesis MIP berfungsi untuk mengontrol morfologi matriks polimer, menstabilkan situs ikatan, dan menjaga kestabilan mekanik (Anggrawati, 2023). *Cross-linkers* dapat memperbaiki monomer fungsional di sekitar molekul *template* pada saat proses polimerisasi berlangsung yang akan menghasilkan pembentukan jaringan polimer kaku yang saling berikatan silang (Włoch and Datta, 2019). Beberapa *cross-linkers* yang sering digunakan ditunjukkan pada Gambar 9.



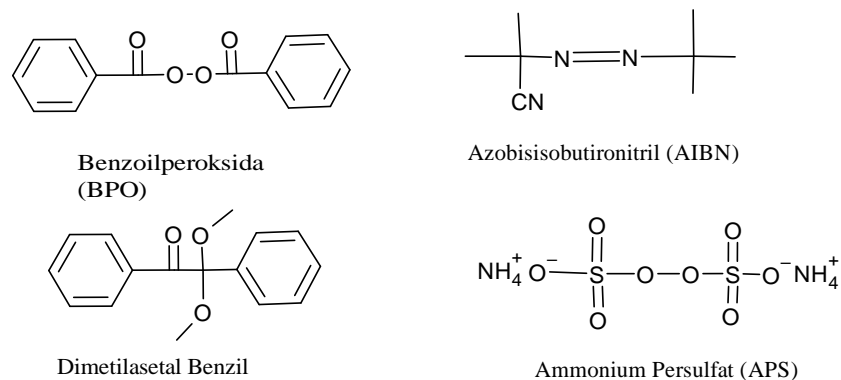
**Gambar 9.** *Cross-linkers* yang Umum Digunakan

Pada penelitian ini digunakan *cross-linkers* Etilen Glikol Dimetakrilat (EGDMA) karena EGDMA mempunyai gugus fungsi ester yang mudah berinteraksi dengan gugus fungsi yang terdapat pada monomer MAA dan membentuk ikatan silang

antar MAA, sehingga menghasilkan MIP dengan derajat kestabilan dan kekakuan yang tinggi (Yusuf dan Sianita, 2022).

- Inisiator

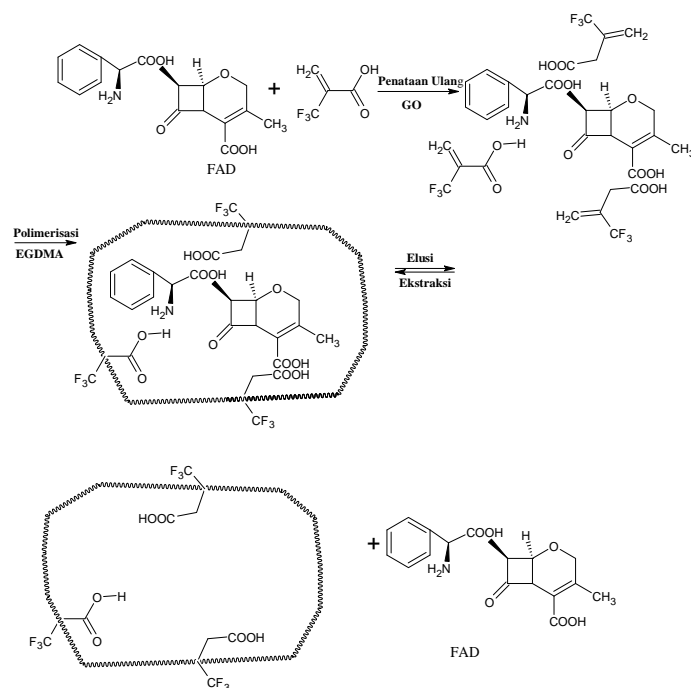
Inisiator menginisiasi pembentukan polimer pada polimerisasi adisi. Inisiator berkaitan dengan jumlah radikal bebas yang terbentuk yang dimana inisiator memiliki peranan penting untuk membentuk radikal bebas (Sihombing dan Ngatin, 2021). Inisiator yang sering digunakan ditunjukkan pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Inisiator yang Umum Digunakan

Inisiator yang digunakan pada penelitian ini yaitu Ammonium Persulfat (APS). Inisiator APS berfungsi sebagai perantara oksidasi yang sangat kuat, memiliki sifat inisiator radikal dan katalis yang kuat. Penambahan APS dapat menghasilkan radikal bebas pada gugus fungsional dan membentuk radikal yang sangat reaktif sehingga monomer dapat menjadi polimer (Sihombing dan Ngatin, 2021).

Sintesis MIP dapat dilakukan dengan tiga tahapan yaitu *self-assembly* molekul-molekul *template* dengan monomer dalam pelarut porogen, polimerisasi kompleks monomer-*template* dengan *cross-linkers* dan penghilangan *template* untuk mendapatkan ruang kosong yang terdapat dalam polimer yang mirip dengan molekul *template* (Asman *et al.*, 2016). Sintesis GO-MIP telah dilakukan oleh Chen and Ye (2017) dengan menggunakan molekul *template* antibiotik *cefadroxil*, monomer Asam Metakrilat (MAA), *cross-linkers* Etilen Glikol Dimetakrilat (EGDMA) dan inisiator Azobisisobutyronitril (AIBN). Reaksi sintesis dapat ditunjukkan pada Gambar 11.



**Gambar 11.** Reaksi Sintesis GO-MIP (Chen *and* Ye, 2017).

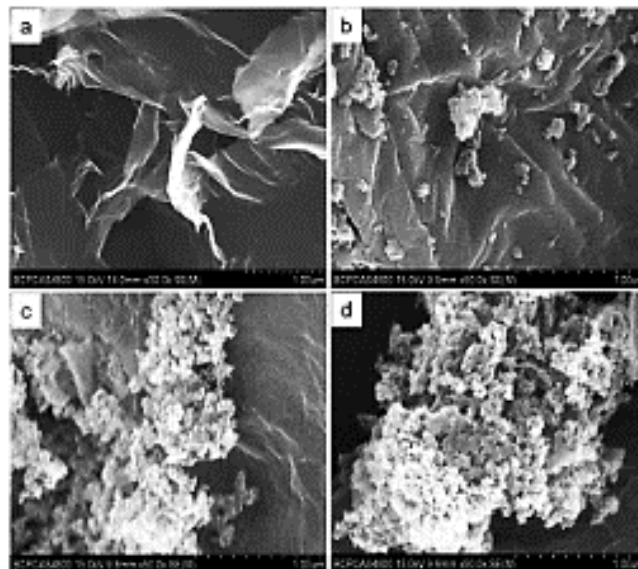
Pada penyiapan MIP terdapat tiga pendekatan yaitu pendekatan kovalen, semi kovalen, dan non-kovalen. Pendekatan kovalen melibatkan pembentukan ikatan kovalen *reversible* antara *template* dan monomer sebelum polimerisasi. Pendekatan semi kovalen, *template* terikat secara kovalen pada monomer fungsional tetapi penataan ulang *template* hanya didasarkan interaksi non-kovalen. Pendekatan non-kovalen didasarkan dengan pembentukan interaksi non-kovalen yang relatif rendah antara molekul *template* dengan monomer terpilih sebelum polimerisasi (Turiel *and* Martín-Esteban, 2010).

Pendekatan non-kovalen pada MIP memiliki kekurangan yaitu kompleks polimer yang dihasilkan sering mengalami keruntuhan struktural dan menyusutnya sebagian besar situs pengikat akibat penumpukan jaringan tegangan pada polimer, yang menyebabkan relaksasi rantai polimer. Untuk mengatasi kelemahan MIP, GO diperkenalkan untuk membentuk bahan *hybrid Graphene Oxide-Molecularly Imprinted Polymer* (GO-MIP) (Khoo *et al.*, 2019). GO-MIP menunjukkan kapasitas pengikatan yang tinggi, kemampuan yang baik untuk ekstraksi, meningkatkan kinetika respon, spesifik dan meningkatnya selektivitas terhadap molekul *template* (Zhao *et al.*, 2018).

## 2.5. Karakterisasi

### 2.5.1. Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)

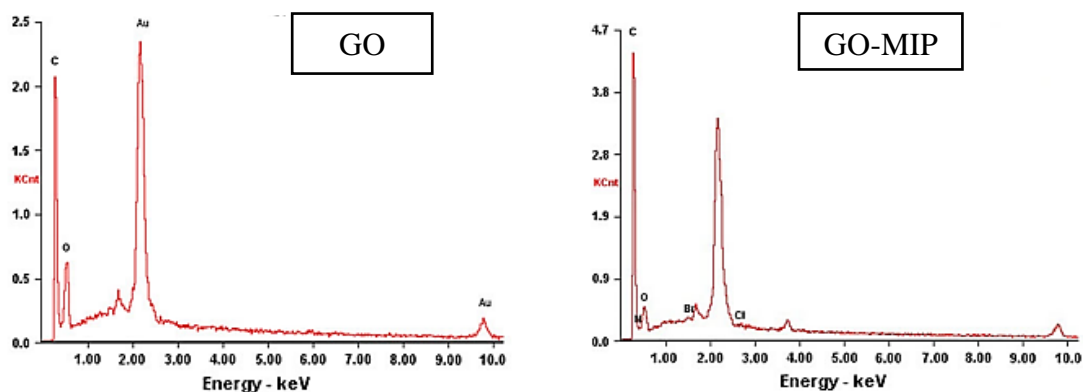
*Scanning Electron Microscopy* (SEM) adalah mikroskop elektron yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan citra permukaan suatu sampel dengan resolusi tinggi (Septiano dkk., 2021). Penggunaan SEM untuk mengamati di dalam dan di sekitar *interface* antara bahan dengan lapisan oksida dengan menggambarkan permukaan sampel melalui proses *scan* dengan menggunakan pancaran energi yang tinggi dari elektron dalam suatu pola *scan raster*. Prinsip kerja SEM yaitu permukaan yang dikenai berkas elektron energi tinggi akan memantulkan kembali berkas tersebut, sehingga menghasilkan elektron sekunder ke segala arah dan terdapat suatu arah yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Elektron yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi akan terdeteksi dan ditentukan lokasinya oleh detektor dalam SEM. Contoh hasil karakterisasi (a) GO, (b) GO-NIP, (c) GO-MIP sebelum *template* dielusi dan (d) GO-MIP setelah *template* dielusi menggunakan SEM ditunjukkan pada Gambar 12.



**Gambar 12.** Hasil SEM GO, GO-NIP, dan GO-MIP (Chen *and* Ye, 2017).

Komposisi unsur yang terkandung dalam permukaan sampel dapat diamati dengan menggunakan *Energy Dispersive X-ray* (EDX). EDX sudah terangkai langsung dengan SEM. Prinsip kerja EDX adalah menentukan energi pada puncak dalam

spektrum dan dibandingkan dengan tabel energi emisi sinar x dari unsur-unsur yang sudah diketahui. Unsur-unsur dengan nomor atom di bawah 4 (H, He, dan Li) tidak dapat dideteksi oleh detektor EDX (Sari dan Mufit, 2014). Contoh hasil karakterisasi GO dan MIP menggunakan EDX ditunjukkan pada Gambar 13.



**Gambar 13.** Hasil EDX GO dan GO-MIP (Chang *et al.*, 2011).

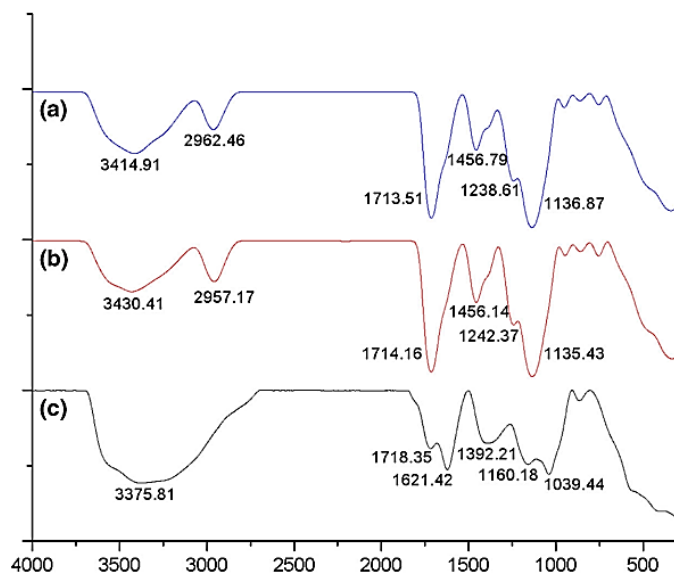
### 2.5.2. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

*Fourier Transform Infrared (FTIR)* adalah instrumen analisis untuk mengevaluasi berbagai material, khususnya untuk mengidentifikasi material yang tidak diketahui. Pada FTIR, terjadi serapan molekul dari senyawa yang energi dengan tingkat energi vibrasi dan rotasi pada ikatan kovalen yang mengalami perubahan momen dipol. Penggunaan FTIR untuk analisis senyawa dengan melihat kekuatan absorpsi senyawa pada panjang gelombang tertentu dan menentukan gugus fungsi molekul. Prinsip kerja FTIR adalah interaksi antara materi dengan sinar *infrared* mengakibatkan adanya vibrasi pada molekul-molekul dimana besarnya energi vibrasi pada molekul-molekul dimana besarnya energi vibrasi tersebut berbeda-beda tiap komponen molekul tergantung pada atom-atom dan kekuatan ikatan ikatan menghasilkan frekuensi yang berbeda. Adanya perbedaan tingkat vibrasi komponen tersebut, dapat mengidentifikasi keberadaan komponen atau gugus fungsi dalam molekul (Bijang dkk., 2018).

Gugus-gugus fungsional pada GO menjadikan material ini banyak diminati karena dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang seperti *bio device*, bahan komposit,



*coating*, dan adsorben. GO sebagai nanomaterial *monolayer graphene* yang memiliki gugus fungsi oksigen, seperti karboksil (-COOH), karbonil (-C=O), dan gugus fenol pada tepi lembaran, epoksi (C-O-C) dan hidroksil (-OH) menghadirkan lebih banyak sisi aktif (Tohamy *et al.*, 2020). Contoh hasil karakterisasi (a) GO-MIP, (b) GO-NIP, dan (c) GO ditunjukkan Gambar 14.



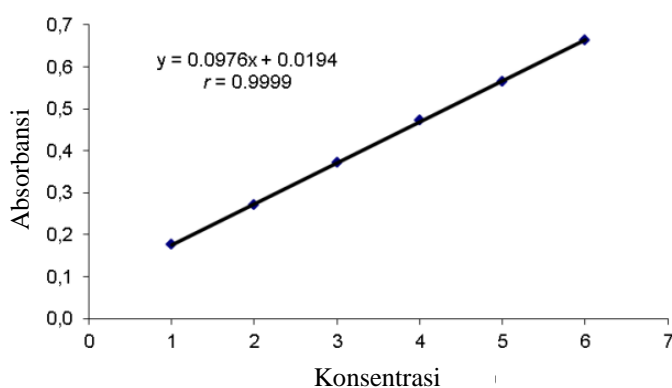
**Gambar 14.** Hasil FTIR GO, GO-NIP dan GO-MIP (Khoo *et al.*, 2019).

## 2.6. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis adalah metode analisis kimia untuk mendeteksi senyawa berdasarkan absorbansi foton. Sinar *ultraviolet* mempunyai panjang gelombang antara 200-400 nm dan sinar *visible* mempunyai panjang gelombang 400-750 nm. Syarat senyawa yang dapat dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis adalah senyawa yang mengandung gugus auskokrom dan kromofor. Gugus ausksrokrom adalah gugus fungsional yang mempunyai elektron bebas seperti –OH, NO<sub>2</sub>, dan NH<sub>2</sub>. Gugus kromofor adalah gugus yang memberikan serapan pada daerah sinar *ultraviolet* dan *visible*. Prinsip dasar spektrofotometri UV-Vis didasarkan pada pengukuran panjang gelombang dan intensitas sinar *ultraviolet* dan *visible* yang diserap analit sebagai fungsi panjang gelombang. Eksitasi elektron pada spektrofotometri UV-Vis dicatat dalam bentuk spektrum dinyatakan

sebagai panjang gelombang dan absorbansi, sesuai dengan jenis elektron yang ada dalam molekul yang dianalisis. Semakin mudah elektron tereksitasi, semakin tinggi absorbansinya (Pratiwi *et al.*, 2021).

Antibiotik *ciprofloxacin* dapat ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis yang dilihat dari struktur *ciprofloxacin* yang mempunyai gugus kromofor. Antibiotik ini dapat menyerap radiasi pada panjang gelombang di daerah ultraviolet. Serapan maksimum pada *ciprofloxacin* dengan menggunakan pelarut akuades yaitu pada panjang gelombang 278 nm (Tjaboali, 2015). Kurva kalibrasi *ciprofloxacin* dapat dilihat pada Gambar 15.



**Gambar 15.** Kurva Kalibrasi *Ciprofloxacin*

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik FMIPA Universitas Lampung pada bulan Januari sampai Juni 2024. Karakterisasi *Graphene Oxide* dan *Graphene Oxide Molecularly Imprinted Polymer* (GO-MIP) menggunakan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan di Unit Pelaksanaan Teknis Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT-LTSIT) Universitas Lampung dan Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro. Uji adsorpsi antibiotik *ciprofloxacin* dengan Spektrofotometer Ultraviolet-Visible (Uv-Vis) dilakukan di Laboratorium Terpadu Institut Teknologi Sumatra.

#### 3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas beaker, labu Erlenmeyer, labu ukur, neraca analitik, tabung reaksi, rak tabung reaksi, *hot plate magnetic stirrer*, *spinbar*, centrifuge (Fischer Scientific 1827001027164), tabung *centrifuge*, corong kaca, gelas ukur, pipet tetes, pipet volume, *bulp*, kertas saring, batang pengaduk, spatula, pH meter, labu bulat, termometer, botol semprot, ultrasonik (1510 Branson), mortal, alu, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Agilent Cary 630 Japan, *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) EVO® MA 10 Australia, dan Spektrofotometer Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Shimadzu 1800 Japan.

Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *graphite* (Supelco Sigmaaldrich), *ciprofloxacin* (Hexpharm Jaya),  $H_2SO_4$  pekat (MerckTM),  $KMnO_4$  (MerckTM),  $H_2O_2$  30% (Supelco Sigmaaldrich), larutan HCl 5%, larutan HCl 0,1M (MerckTM), Asam Metakrilat (MAA) (Supelco Sigmaaldrich), Etilen Glikol Dimetakrilat(EGDMA) (Supelco Sigmaaldrich), Ammonium Persulfat (APS) (Supelco Sigmaaldrich), dimetilformamida (DMF) (Supelco Sigmaaldrich), asam asetat (MerckTM), metanol (MerckTM), dan akuades.

### 3.3. Prosedur Kerja

#### 3.3.1. Pembuatan Graphene Oxide (GO) Menggunakan Metode Hummers Termodifikasi

1 g grafit dimasukkan ke dalam gelas *beaker* 500 mL, ditambahkan 23 mL  $H_2SO_4$ , kemudian diaduk dengan magnetic stirrer dalam wadah yang berisi es selama 30 menit. Sebanyak 3 g  $KMnO_4$  ke dalam larutan dengan secara perlahan dan suhu dipertahankan tetap di bawah 10 °C. Setelah itu, larutan diaduk pada suhu 35 °C selama 30 menit, lalu ditambahkan 46 mL akuades secara perlahan hingga kenaikan suhu mencapai 98 °C, dan didiamkan selama 15 menit (Li *et al.*, 2013).

140 mL akuades ditambahkan ke dalam campuran diikuti dengan penambahan 10 mL larutan  $H_2O_2$  30% sambil diaduk dengan *magnetic 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 dengan ditandai tidak terdapat endapan berwarna putih. Setelah itu, dicuci dengan akuades hingga pH menjadi 5 yang kemudian disentrifugasi selama 10 menit. Padatan yang dihasilkan didispersikan dalam 450 mL akuades, kemudian disonikasi selama 2 jam lalu disaring dengan kertas saring. Padatan yang telah disaring dikeringkan pada suhu 60 °C selama 5 jam dalam oven (Li *et al.*, 2013). Setelah didapatkan padatan GO, sebanyak 120 mg GO yang telah dihasilkan disonikasi dalam 40 mL dimetilformamida (DMF) selama 2 jam.

### 3.3.2. Pembuatan Graphene Oxide Molecularly Imprinted Polymer (GO-MIP)

Sintesis MIP dibuat dengan menggunakan *ciprofloxacin* sebagai molekul *template* dan asam metakrilat (MAA) sebagai monomer fungsional dengan 1 mmol *ciprofloxacin* dan 4 mmol MAA ke dalam 10 mL metanol:air (1:1). Setelah campuran homogen, ditambahkan 20 mL dispersi GO, 20 mmol etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) dan 40 mg inisiator ammonium persulfat (APS). Gas pada campuran tersebut dihilangkan dengan sonikasi selama 10 menit, lalu dilakukan *bubbling* dengan nitrogen selama 10 menit. Proses *degassing* dan *bubbling* diulang sebanyak tiga kali. Kemudian, dilakukan polimerisasi pada suhu 75 °C selama 24 jam. Setelah 24 jam, GO-MIP yang diperoleh kemudian dihaluskan memakai mortar. Serbuk yang dihasilkan dicuci dengan asam asetat:metanol (20:80 (v/v)), kemudian dicuci dengan akuades dan dikeringkan pada suhu 60 °C untuk mendapatkan berat konstan. Sementara itu, *GO-functional-Non-Imprinted Polymer* (GO-NIP) disintesis dengan prosedur yang sama tetapi tanpa penambahan *ciprofloxacin* sebagai molekul *template* selama polimerisasi (Chen and Ye, 2017).

### 3.3.3. Karakterisasi Graphene Oxide (GO), Graphene Oxide Molecularly Imprinted Polymer (GO-MIP), dan Graphene Oxide Non-Imprinted Polymer (GO-NIP)

Karakterisasi gugus fungsi GO, GO-MIP, dan GO-NIP menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Morfologi, identifikasi unsur, dan komposisi kuantitatif diidentifikasi menggunakan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX).

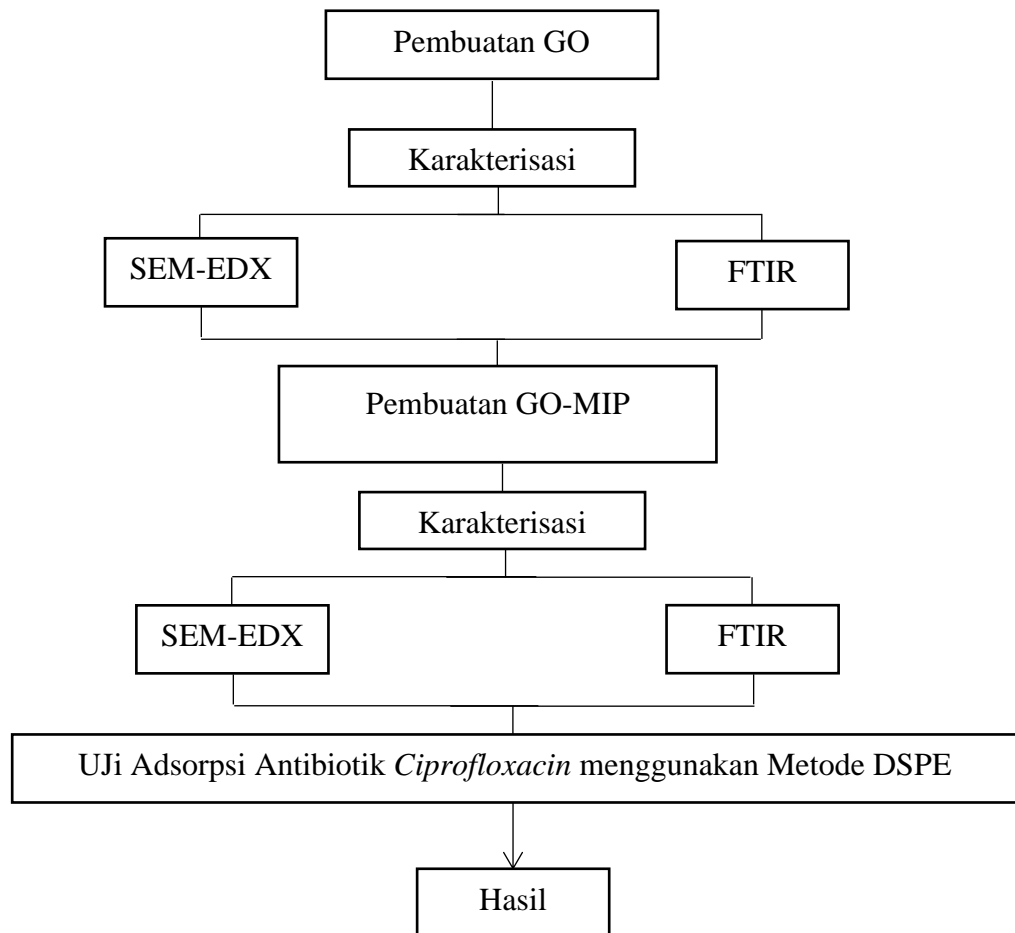
### **3.3.4. Pembuatan Larutan Induk *Ciprofloxacin* 500 ppm**

Larutan induk antibiotik *ciprofloxacin* 500 ppm dibuat dengan cara 50 mg antibiotik *ciprofloxacin* dilarutkan dengan akuades dalam labu takar 100 mL hingga tanda tera dan dihomogenkan. Kemudian, dilakukan pengenceran pada larutan induk hingga didapati larutan standar 0,5; 1; 1,5; 2; dan 2,5 ppm untuk menentukan panjang gelombang maksimum dan pengukuran absorbansi filtrat.

### **3.3.5. Uji Adsorpsi Antibiotik *Ciprofloxacin* menggunakan Metode DSPE**

Ditimbang sebanyak 20 mg GO-MIP dimasukkan ke dalam gelas beaker, ditambahkan 20 mL larutan standar *ciprofloxacin* pada pH 4 dengan konsentrasi 2 ppm. Campuran yang dihasilkan distirer selama 40 menit, lalu GO-MIP dipisahkan dari larutan dengan sentrifugasi pada kecepatan 10.000 rpm selama 15 menit. Selanjutnya, campuran disaring menggunakan kertas saring, filtrat yang dihasilkan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimumnya.

Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 16.



**Gambar 16.** Diagram Alir Penelitian

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa:

1. Pada penelitian ini berhasil dilakukan pembuatan GO-MIP yang dibuktikan dengan karakterisasi SEM-EDX dan FTIR.
2. GO-MIP yang diperoleh memiliki gugus fungsi hidroksil, karboksil, karbonil dan epoksi yang dibuktikan dengan FTIR dan memiliki morfologi permukaan yang bergelombang banyak pori-pori berdasarkan karakterisasi SEM serta tersusun atas C sebesar 58,41%; O 32,01%, N 7,03% dan F 2,56%.
3. Uji adsorpsi *ciprofloxacin* dengan metode DSPE didapatkan hasil yang belum optimal.

### 5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian selanjutnya adalah

1. Proses optimasi perlu dilakukan hingga didapatkan adsorpsi maksimum pada GO-MIP.
2. Perlu dilakukan penyesuaian dengan metode pembuatan GO-MIP, seperti konsentrasi atau jenis monomer dan *crosslinker* yang digunakan.
3. Perlu dilakukan variasi pelarut pada pencucian GO-MIP sehingga tidak adanya sisa senyawa *template* pada GO-MIP.



## DAFTAR PUSTAKA

- Amanda, E. R., Nisyak, K., Nurdianti, W., dan Sefti, 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.
- Anggrawati. 2023. Molekular Imprinting Polimer Untuk Pengujian Atenolol Dalam Cairan Biologis : Review Jurnal. *Farmaka*. 16: 213–221.
- Asman, S., Mohamad, S., and Sarih, N. M. 2016. Study of the Morphology and the Adsorption Behavior Of Molecularly Imprinted Polymers Prepared By Reversible Addition-Fragmentation Chain Transfer (RAFT) Polymerization Process Based On Two Functionalized B-Cyclodextrin As Monomers. *Journal of Molecular Liquids*. 214: 59–69.
- Bijang, C. M., Tehubijuluw, H., dan Kaihatu, T. G. 2018. Biosorpsi Ion Logam Kadmium (Cd<sup>2+</sup>) Pada Biosorben Rumput Laut Coklat (Padina australis) Asal Pantai Liti Pulau Kisar. *Indo. J. Chem. Res.* 6(1), 51–58.
- Brodie, B, C. 1859. On the Atomic Weight of Graphite. JBy. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 49: 249–259.
- Butar, M., dan Sianita, M. M. 2022. Pengaruh Jumlah Crosslinker Terhadap Sintesis Molecularly Imprinted Polymer (MIP) Terhadap Kemampuan Adsorpsi Kloramphenikol. *UNESA Journal of Chemistry*. 11(1): 18–25.
- Büyüktiryaki, S., Keçili, R., and Hussain, C. M. 2020. Functionalized Nanomaterials In Dispersive Solid Phase Extraction: Advances & Prospects. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*. 127
- Chang, L., Wu, S., Chen, S., and Li, X. 2011. Preparation of Graphene Oxide-Molecularly Imprinted Polymer Composites Via Atom Transfer Radical Polymerization. *Journal of Materials Science*. 46(7): 2024–2029.
- Chang, L., Wu, S., Chen, S., and Li, X. 2011. Preparation of Graphene Oxide-Molecularly Imprinted Polymer Composites Via Atom Transfer Radical Polymerization. *Journal of Materials Science*. 46(7): 2024–2029.

- Chen, X., and Ye, N. 2017. A Graphene Oxide Surface–Molecularly Imprinted Polymer As A Dispersive Solid-Phase Extraction Adsorbent For The Determination Of Cefadroxil In Water Samples. *RSC advances*. 7(54).
- Chen, X., Qu, Z., Liu, Z., and Ren, G. 2022. Mechanism of Oxidization of Graphite to Graphene Oxide by the Hummers Method. *ACS Omega*. 7(27): 23503–23510. Chen, X., and Ye, N. 2017. A Graphene Oxide Surface–Molecularly Imprinted Polymer As A Dispersive Solid-Phase Extraction Adsorbent For The Determination Of Cefadroxil In Water Samples. *RSC Advances*. 7(54): 34077–34085.
- Dewangga, A. R. V. S. 2022. Uji Resistensi Bakteri Pada Urin Penderita ISK Terhadap Antibiotik Levofloxacin Dan Ciprofloxacin Di Laboratorium Klinik Prodia Makassar. *Pharmacon– Program Studi Farmasi, FMIPA, Universitas SAM RATULANGI*. 11: 1591–1596.
- Fan, W., He, M., You, L., Zhu, X., Chen, B., and Hu, B. 2016. Water-Compatible Graphene Oxide/Molecularly Imprinted Polymer Coated Stir Bar Sorptive Extraction Of Propranolol From Urine Samples Followed By High Performance Liquid Chromatography-Ultraviolet Detection. *Journal of Chromatography A*. 1443: 1–9.
- Gaho, M. M., Memon, G. Z., Memon, J. ur R., Arain, J. B., Arain, A. J., Shah, A., and Samejo, M. Q. 2022. Synthesis of Novel Magnetic Molecularly Imprinted Polymers By Solid-Phase Extraction Method For Removal Of Norfloxacin. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*. 50(6).
- Galván-Romero, V., Gonzalez-Salazar, F., Vargas-Berrones, K., Alcantara-Quintana, L. E., Martinez-Gutierrez, F., Zarazua-Guzman, S., and Flores-Ramírez, R. 2024. Development and Evaluation of Ciprofloxacin Local Controlled Release Materials Based on Molecularly Imprinted Polymers. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 195.
- Habte, A. T., Ayele, D. W., and Hu, M. 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.
- Hanifa, I. I., dan Dwandaru, W. S. B. 2021. Sintesis Dan Karakterisasi Graphene Oxide Berbahan Dasar Grafit Olahan Menggunakan Metode Audiosonikasi. *Jurnal Ilmu Fisika Dan Terapannya*. 8(1): 17–20.
- Hashemi, S. H., Ziyaadini, M., Kaykhaii, M., Jamali Keikha, A., and Naruie, N. 2020. Separation and Determination Of Ciprofloxacin In Seawater, Human Blood Plasma And Tablet Samples Using Molecularly Imprinted Polymer Pipette-Tip Solid Phase Extraction And Its Optimization By Response Surface Methodology. *Journal of Separation Science*. 43(2): 505–513.

- Herrera-Hidalgo, L., Gil-Navarro, M. V., Dilly Panchala, S., López-Cortes, L. E., de Alarcón, A., Luque-Márquez, R., López-Cortes, L. F., and Gutiérrez-Valencia, A. 2021. Corrigendum: “Ceftriaxone pharmacokinetics by a sensitive and simple LC–MS/MS method: Development and application”. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 201.
- Ikram, R., Jan, B. M., and Ahmad, W. 2020. An Overview of Industrial Scalable Production of Graphene Oxide and Analytical Approaches for Synthesis and Characterization. *Journal of Materials Research and Technology*. 9(5): 11587–11610.
- 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: A Review. *International Journal of Analytical Chemistry*. 2017.
- Jahan, N., Roy, H., Reaz, A. H., Arshi, S., Rahman, E., Firoz, S. H., and Islam, M. S. 2022. A Comparative Study on Sorption Behavior of Graphene Oxide and Reduced Graphene Oxide Towards Methylene Blue. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6(7).
- Jamali, M. R., Firouzjah, A., and Rahnema, R. 2013. Solvent-Assisted Dispersive Solid Phase Extraction. *Talanta*. 116: 454–459.
- 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.
- Khoo, W. C., Kamaruzaman, S., Lim, H. N., Jamil, S. N. A. M., and Yahaya, N. 2019. Synthesis and Characterization of Graphene Oxide-Molecularly Imprinted Polymer For Neopterin Adsorption Study. *Journal of Polymer Research*. 26(8).
- 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: A review. *Chemosphere*. 251.
- Kowalczyk, D. 2020. FTIR Characterization of The Development of Antimicrobial Catheter Coatings Loaded With Fluoroquinolones. *Coatings*. 10(9). 1–14.
- Larasati, A. I., Susanawati, L. D., dan Suharto, B. (2015). Efektivitas Adsorpsi Logam Berat Pada Air Lindi Menggunakan Media Karbon Aktif, Zeolit, dan Silika Gel Di TPA Tlekung, Batu. *Sumber Daya Alam Dan Lingkungan*. 2(1): 44–48.
- Li, F., Zhao, D. L., Bai, L. Z., and Zhang, D. D. 2013. Fabrication of Nano Hollow Graphene Oxide Spheres Via Water-In-Oil Emulsion. *Applied Mechanics and Materials*. 320: 540–543.

- Li, Z., Jiang, H., Wang, X., Wang, C., and Wei, X. 2023. Effect of pH on Adsorption of Tetracycline Antibiotics on Graphene Oxide. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 20(3).
- Liu, X., Wang, C., Wang, Z., Wu, Q., & Wang, Z. (2015). Nanoporous Carbon Derived from a Metal Organic Framework as a New Kind of Adsorbent for Dispersive Solid Phase Extraction of Benzoylurea Insecticides. *Microchimica Acta*. 182: 11–12.
- Méndez-Lozano, N., Pérez-Reynoso, F., and González-Gutiérrez, C. 2022. Eco-Friendly Approach for Graphene Oxide Synthesis by Modified Hummers Method. *Materials*. 15(20).
- Meng, X., Shi, L., Yao, L., Zhang, Y., and Cui, L. 2020. Selective Binding of Antibiotics Using Magnetic Molecular Imprint Polymer (MMIP) Networks Prepared From Vinyl-Functionalized Magnetic Nanoparticles Joel. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 3.
- Murdaya, N., Triadenda, A. L., Rahayu, D., and Hasanah, A. N. 2022. A Review: Using Multiple Templates for Molecular Imprinted Polymer: Is It Good?. *Polymers*. 14(20): 1–22.
- Mutiyar, P. K., and Mittal, A. K. 2014. Risk Assessment of Antibiotic Residues In Different Water Matrices In India: Key Issues And Challenges. *Environmental Science and Pollution Research*. 21(12): 7723–7736.
- Neolaka, Y. A. B., Lawa, Y., Naat, J. N., Riwu, A. A. P., Iqbal, M., Darmokoemo, H., and Kusuma, H. S. 2020. The Adsorption of Cr(VI) from Water Samples Using Graphene Oxide-Magnetic (GO-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) Synthesized From Natural Cellulose-Based Graphite (Kusambi Wood Or *Schleichera Oleosa*): Study Of Kinetics, Isotherms And Thermodynamics. *Journal of Materials Research and Technology*. 9(3): 6544–6556.
- Nishchaya, K., Rai, V. K., and Bansode, H. 2023. Methacrylic Acid as a Potential Monomer For Molecular Imprinting: A Review of Recent Advances. *Materials*. 18(2).
- Pratiwi, R. A., Bayu, A., and Nandiyanto, D. 2021. 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.
- Pratiwi, R. H. 2017. Mekanisme Pertahanan Bakteri Patogen Terhadap Antibiotik. *Jurnal Pro-Life*. 4(3): 418–429.
- Preda, D., David, I. G., Popa, D. E., Buleandra, M., and Radu, G. L. 2022. Recent Trends in the Development of Carbon-Based Electrodes Modified with Molecularly Imprinted Polymers for Antibiotic Electroanalysis. *Chemosensors*. 10(7).

- Rahmayani, F., dan Siswarni, M. 2013. Pemanfaatan Limbah Batang Jagung Sebagai Adsorben Alternatif Pada Pengurangan Kadar Klorin Dalam Air Olahan (Treated Water). *Jurnal Teknik Kimia USU*. 2(2): 1–5.
- 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.
- Rostamian, R., and Behnejad, H. 2018. A Comprehensive Adsorption Study And Modeling Of Antibiotics As A Pharmaceutical Waste By Graphene Oxide Nanosheets. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 147: 117–123.
- Sanjayadi, dan Violita, L. B. 2020. Penetapan Kadar Tetrasiklin dalam Air Limbah dengan High Performance Liquid Chromatography-Photodiode Array Detector (HPLC-PDA). *Jurnal Farmasi Galenika (Galenika Journal of Pharmacy)*, 6(2): 237–242.
- Santamaría, G., Gómez, E., Quiroga, E., and Quintana, M. 2020. Safer Modified Hummers' Method For the Synthesis of Graphene Oxide With High Quality And High Yield. *Materials Research Express*. 1–27.
- Sari, T. A., dan Mufit, F. 2014. Identifikasi Mineral Magnetik Pada Guano Di Gua Bau-Bau Kalimantan Timur Menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM). *Pillar of Physics*. 1(4): 97–104.
- Sedghi, R., Heidari, B., and Yassari, M. 2017. Novel Molecularly Imprinted Polymer Based On B-Cyclodextrin@Graphene Oxide: Synthesis And Application For Selective Diphenylamine Determination. *Journal of Colloid and Interface Science*. 503: 47–56.
- Septiano, A. F., Susilo, S., dan Setyaningsih, N. E. 2021. Analisis Citra Hasil Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray (SEM EDX) Komposit Resin Timbal dengan Metode Contrast to Noise Ratio (CNR). *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*. 44(2): 81–85.
- Sharma, P. C., Jain, A., Jain, S., Pahwa, R., and Yar, M. S. 2010. Ciprofloxacin: Review on Developments In Synthetic, Analytical, And Medicinal Aspects. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*. 25(4): 577–589.
- Sihombing, R. P., dan Ngatin, A. 2021. Pengaruh Asam Itakonat terhadap Properti Polimer Perekat Akrilik Berbasis Air. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*. 7(2): 98–102.
- 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.

- Sodhi, K., and Singh, C. K. 2022. Recent Development In The Sustainable Remediation of Antibiotics: A Review. *Total Environment Research Themes*. 3(4): 1–10.
- Sumampouw, O. J. 2018. Uji Sensitivitas Antibiotik Terhadap Bakteri *Escherichia coli* Penyebab Diare Balita Di Kota Manado. *Journal of Current Pharmaceutical Sciences*. 2(1): 105.
- Sun, T., Sun, H., and Zhao, F. 2017. Dispersive Solid-Phase Extraction For The Determination Of Trace Organochlorine Pesticides In Apple Juices Using Reduced Graphene Oxide Coated With ZnO Nanocomposites As Sorbent. *Journal of Separation Science*. 40(18).
- Tarcan, R., Todor-Boer, O., Petrovai, I., Leordean, C., Astilean, S., and Botiz, I. (2020). Reduced Graphene Oxide Today. *Journal of Materials Chemistry C*. 8(4): 1198–1224.
- Thai, T., Salisbury, B. H., and Zito, P. M. 2023. Ciprofloxacin. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK535454/>
- Tjaboali, H. 2015. Validasi Metode Untuk Penetapan Kadar Ciprofloxacin Dalam Sediaan Tablet Dengan Nama Dagang Dan Generik Secara Spektrofotometri Ultraviolet. *Pharmacon*. 4(4).
- Tohamy, H. A. S., Anis, B., Youssef, M. A., Abdallah, A. E. M., El-Sakhawy, M., and Kamel, S. 2020. Preparation of Eco-Friendly Graphene Oxide From Agricultural Wastes For Water Treatment. *Desalination and Water Treatment*. 191: 250–262.
- Turiel, E., & Martín-Esteban, A. 2010. Molecularly Imprinted Polymers For Sample Preparation: A Review. *Analytica Chimica Acta*. 668(2): 87–99.
- Utami, L. A., and Putri, D. H. 2020. The Effect of Ethanol Solvent Concentration on Antimicrobial Activities The Extract of Andalas Endophytic Bacteria (*Morus Macroura* Miq.) Fermentation Product. *Eksakta : Berkala Ilmiah Bidang MIPA*. 21(1): 1–6.
- Włoch, M., and Datta, J. 2019. Synthesis and Polymerisation Techniques Of Molecularly Imprinted Polymers. *Comprehensive Analytical Chemistry*. 86: 17–40.
- Yu, W., Sisi, L., Haiyan, Y., and Jie, L. 2020. Progress in the Functional Modification Of Graphene/Graphene Oxide: A review. *RSC Advances*. 10(26): 15328–15345.
- Yusuf, T. M., dan Sianita, M. M. (2022). Pengaruh Jumlah Porogen pada Sintesis MIP terhadap Adsorpsi MIP-Kloramfenikol. *UNESA Journal of Chemistry*, 11(1): 53–60.

- Zaaba, N. I., Foo, K. L., Hashim, U., Tan, S. J., Liu, W. W., and Voon, C. H. (2017). Synthesis of Graphene Oxide using Modified Hummers Method: Solvent Influence. *Procedia Engineering*. 184: 469–477.
- Zhang, X., Gao, X., Huo, P., and Yan, Y. 2012. Selective Adsorption Of Micro Ciprofloxacin By Molecularly Imprinted Functionalized Polymers Appended Onto Zns. *Environmental Technology (United Kingdom)*. 33(17): 2019–2025.
- Zhao, X. F., Duan, F. F., Cui, P. P., Yang, Y. Z., Liu, X. G., and Hou, X. L. 2018. A Molecularly-Imprinted Polymer Decorated On Graphene Oxide For The Selective Recognition Of Quercetin. *Xinxing Tan Cailiao/New Carbon Materials*. 33(6): 529–543.
- Zulfania, F., Arbadin, Fathoni, R., dan Nur, A., M. 2022. Kemampuan Adsorpsi Logam Berat Zn Dengan Menggunakan Adsorben Kulit Jagung (*Zea Mays*). *Jurnal Chemurgy*. 6(2): 65-69.