

**OPTIMASI *DISPERSIVE SOLID PHASE EXTRACTION* (DSPE)  
BERBASIS *GRAPHENE OXIDE* UNTUK PENENTUAN RESIDU  
ANTIBIOTIK *CEFADROXIL***

**(Skripsi)**

**Oleh**

**MACHRAYANA**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2026**

## ABSTRAK

### OPTIMASI *DISPERSIVE SOLID PHASE EXTRACTION* (DSPE) BERBASIS *GRAPHENE OXIDE* UNTUK PENENTUAN RESIDU ANTIBIOTIK *CEFADROXIL*

Oleh

MACHRAYANA

Tingginya jumlah kasus penyakit infeksi dapat mendorong peningkatan penggunaan antibiotik. Salah satu antibiotik yang sering digunakan adalah *cefadroxil*. Peningkatan pemakaian antibiotik ini berpotensi menimbulkan permasalahan baru yang serius, yaitu adanya residu antibiotik di lingkungan perairan. Pada waktu jangka panjang, keberadaan residu tersebut dapat memicu meningkatnya resistensi bakteri.

Teknik preparasi sampel *Dispersive Solid Phase Extraction* (DSPE) merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan dalam penentuan residu antibiotik *cefadroxil*. Adsorben yang digunakan yaitu berupa *Graphene Oxide* (GO). Pembuatan GO disintesis melalui metode hummers termodifikasi. Karakterisasi GO dilakukan menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi, XRD untuk mengetahui kristalinitas, SEM-EDX untuk mengetahui morfologi permukaan dan komposisi unsur yang terdapat pada GO, dan spektrofotometer *UV-Visible* untuk mengetahui kondisi optimal antibiotik *cefadroxil* dapat terserap pada GO.

Optimasi DSPE menggunakan GO dilakukan dengan tiga variasi, yaitu variasi pH, massa, dan waktu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum DSPE menggunakan GO sebanyak 30 mg pada kondisi pH 3 dan waktu kontak selama 20 menit. Studi ini membuktikan bahwa GO efektif digunakan sebagai adsorben untuk antibiotik *cefadroxil* serta menawarkan kemudahan dalam proses pemisahan pada teknik DSPE untuk pemantauan residu antibiotik *cefadroxil* di perairan.

**Kata kunci:** Antibiotik *cefadroxil*, *graphene oxide*, teknik DSPE

## **ABSTRACT**

### **OPTIMIZATION OF DISPERSIVE SOLID PHASE EXTRACTION (DSPE) BASED ON GRAPHENE OXIDE FOR THE DETERMINATION OF CEFADROXIL ANTIBIOTIC RESIDUES**

**By**

**MACHRAYANA**

The high number of infectious disease cases can lead to an increase in antibiotic usage. One of the antibiotics frequently used is cefadroxil. The increased use of antibiotics has the potential to cause a serious new problem, namely the presence of antibiotic residues in aquatic environments. Over the long term, the presence of these residues can trigger an increase in bacterial resistance.

The Dispersive Solid Phase Extraction (DSPE) sample preparation technique is one of the methods that can be used to determine cefadroxil antibiotic residues. The adsorbent used is Graphene Oxide (GO). GO was synthesized using a modified Hummers method. Characterization of GO was carried out using FTIR spectroscopy to identify functional groups, XRD to determine crystallinity, SEM-EDX to observe surface morphology and elemental composition of GO, and UV-Visible spectrophotometry to determine the optimal conditions for cefadroxil adsorption onto GO.

Optimization of DSPE using GO was performed with three variations: pH, mass, and contact time. The results showed that the optimum DSPE conditions using GO were 30 mg of GO at pH 3 with a contact time of 20 minutes. This study demonstrates that GO is effective as an adsorbent for cefadroxil antibiotics and offers ease of separation in the DSPE technique for monitoring cefadroxil antibiotic residues in aquatic environments.

**Keywords:** Cefadroxil antibiotics, graphene oxide, DSPE technique

**OPTIMASI *DISPERSIVE SOLID PHASE EXTRACTION* (DSPE)  
BERBASIS *GRAPHENE OXIDE* UNTUK PENENTUAN RESIDU  
ANTIBIOTIK *CEFADROXIL***

Oleh

**MACHRAYANA**

**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  
2026**

Judul : **OPTIMASI DISPERSIVE SOLID PHASE  
EXTRACTION (DSPE) BERBASIS GRAPHENE  
OXIDE UNTUK PENENTUAN RESIDU  
ANTIBIOTIK CEFADROXIL**

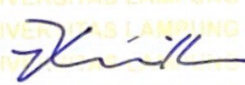
Nama : **Machrayana**


Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011028

Jurusan : Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

  
Rinawati, S.Si., M.Si., Ph.D.  
NIP. 197104142000032001

  
Dr. Sonny Widiarto, M.Sc.  
NIP. 197110301997031003

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung

  
Prof. Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.  
NIP. 197205302000032001

MENGESAHKAN

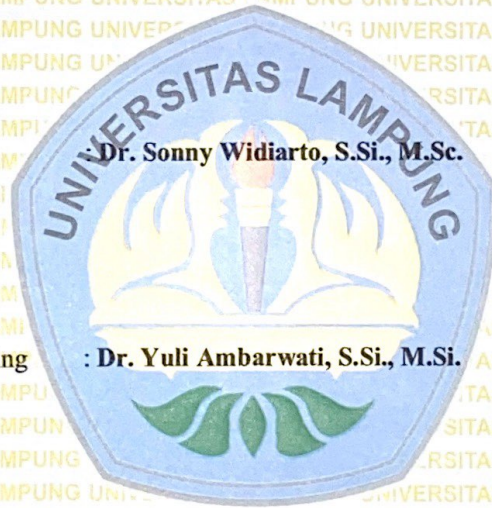
1. Tim Penguji

Ketua : Rinawati, S.Si., M.Si., Ph.D.

Sekretaris : Dr. Sonny Widiarto, S.Si., M.Sc.

Penguji

Bukan Pembimbing : Dr. Yuli Ambarwati, S.Si., M.Si.



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

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 28 Januari 2026

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Machrayana  
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011028  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan ini sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “**Optimasi Dispersive Solid Phase Extraction (DSPE) Berbasis Graphene Oxide untuk Penentuan Residu Antibiotik Cefadroxil**” 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, 28 Januari 2026  
Yang Menyatakan



Machrayana  
NPM. 1917011028

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Machrayana, lahir di Bandar Lampung, 7 Mei 2001 dan merupakan anak terakhir dari tiga bersaudara, putri dari Bapak Edy Marjoni, S.AP. dan Ibu Dra. Helyanti. Saat ini penulis bertempat tinggal di Perum. Nusantara Permai RT 02/LK II, Kecamatan Sukabumi, Kota Bandar Lampung, Lampung.

Penulis memulai pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) Negeri Pembina Bandar Lampung pada tahun 2006 dan lulus pada tahun 2007. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Dasar (SD) Negeri 2 Rawa Laut Bandar Lampung, pada tahun 2007. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 23 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2016. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 10 Bandar Lampung dan selesai pada tahun 2019. Pada tahun 2019 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 kemahasiswaan dimulai dengan mengikuti Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) sebagai kader muda pada tahun 2020. Pada 2021 penulis aktif di HIMAKI sebagai anggota bidang Sosial Masyarakat. Penulis pernah mengikuti kegiatan sosial seperti Karya Wisata Ilmiah (KWI) BEM-FMIPA Unila pada 2019. Pada Bulan Juni sampai September 2022, penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Provinsi Lampung. Penulis juga melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Gulak-Galik, Kecamatan Teluk Betung Utara, Kota Bandar Lampung pada bulan Januari sampai Februari 2022 selama 40 hari, serta

menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik FMIPA Universitas Lampung yang diberi Judul “**Optimasi *Dispersive Solid Phase Extraction (DSPE)* Berbasis *Graphene Oxide* untuk Penentuan Residu Antibiotik *Cefadroxil*”.**

## MOTTO



*“Bersyukurlah kepada Allah. Dan barangsiapa yang bersyukur (kepada Allah), maka sesungguhnya ia bersyukur untuk dirinya sendiri; dan barangsiapa yang tidak bersyukur, maka sesungguhnya Allah Maha Kaya lagi Maha Terpuji.”*

**(Q.S Luqman: 12)**

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

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

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

**(Q.S. Ali Imran:173)**

*“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”*

**(Q.S Al-Insyirah: 5)**

## PERSEMBAHAN



Dengan mengucapkan alhamdulillahirobbil'alamin puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang senantiasa diharapkan syafaatnya di hari akhir. Rasa syukur yang luar biasa ku persembahkan karya sederhanaku sebagai wujud cinta, bakti, dan tanggung jawabku kepada

**Orang tuaku,** Bapak Edy Marjoni dan Ibu Helyanti, yang selalu memberikan cinta, kasih sayang, dukungan, doa, dan motivasi selama ini.

**Keluarga besarku,** Udo Miko, Abang Ongki, Mba Ayu, dan kedua keponakanku Rafisqy dan Ayesha yang selalu menjadi penyemangatku.

**Pembimbing penelitianku,** Ibu Rinawati, Ph.D., Bapak Dr. Sonny Widiarto, M.Sc., Ibu Dr. Yuli Ambarwati, M.Si., serta **semua dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila** yang telah membimbing, mendidik, memberikan banyak ilmu dan pengalamannya kepadaku

**Seluruh rekan-rekan saudara-saudariku keluarga besar kimia 2019** yang selalu berbagi kebahagiaan dan **almamaterku** yang kubanggakan, **Universitas Lampung.**

## SANWACANA

*Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Optimasi *Dispersive Solid Phase Extraction (DSPE)* Berbasis *Graphene Oxide* untuk Penentuan Residu Antibiotik *Cefadroxil*” 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 yang penulis hadapi. Namun itu semua bisa terlewati berkat rahmat dan ridho Allah SWT serta bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, sehingga dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Ibu Rinawati, Ph.D., selaku pembimbing satu dan kepala UPA Laboratorium Terpadu yang telah sabar membimbing dan memberi masukan serta saran dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Bapak Dr. Sonny Widiarto., S.Si., M.Sc., selaku pembimbing dua yang telah membimbing, memberikan ilmu, motivasi, dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Yuli Ambarwati, S.Si., M.Si., selaku penguji dan pembahas yang telah memberikan, kritik, saran, dan arahan kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, S.Si., M.T., selaku dosen pembimbing akademik yang memberikan semangat dan arahan kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Ibu Prof. Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., Selaku Dekan Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat kepada penulis selama menjadi mahasiswa jurusan kimia.
8. Kedua orang tua yang sangat penulis cintai. Terima kasih Papa Edy Marjoni dan bunda Helyanti atas segala bentuk kerja keras dan pengorbanan yang telah diberikan. Terima kasih juga untuk segala cinta, kasih sayang, perhatian, dukungan, motivasi, dan doa, yang selalu papa dan bunda berikan, hingga aku bisa menyelesaikan studi dan menjadi seorang sarjana kimia.
9. Keluarga besar penulis yang selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis, Cici Lethisia Nabila dan Njat Mas Aroma yang selalu memberiku semangat, doa, dan motivasi selama kuliah. Udo Miko, Abang Ongki, Mba Ayu serta kedua keponakan Rafisqy dan Ayesha yang sangat aku sayangi, kalian selalu menjadi alasan aku dalam berjuang.
10. Sahabat satu bimbingan hingga aku lulus Dian Rifani Muthia, terima kasih karena mau membantu, mengarahkan, dan mengajarkan hingga akhir. Terima kasih banyak untuk semuanya, semoga Allah SWT membalas semua kebaikanmu.
11. Sahabatku selama kuliah “Robot Club” Dian Rifani, Erika Noviana, Sabrina Ocha, Rizky Hadiwijaya, dan Neng Wiwit, terima kasih karena selalu saling membantu, menemani, dan selalu ada selama masa perkuliahan ini. Aku bersyukur bisa bertemu dan mengenal kalian semua, terima kasih untuk segala cerita dan kenangan indah yang pernah kita lalui bersama-sama selama masa kuliah. *I'm so grateful to know you guys, all the best for all of you.*
12. Sahabatku “Kf bebegig” Kania, Ayur, Leha dan Thio terima kasih sudah berbagi ilmu denganku kalian luar biasa, semoga ilmu dan kebaikan kalian menjadi ladang pahala.
13. Teman satu perjuangan Ify dan Jihan terima kasih telah berjuang bersama hingga selesai.
14. Sahabat terdekatku Annisa Gustiara Darmawan dan Fidela Valeska terima kasih sudah menemaniku walau dari jauh, sudah mengingatkanku dan

mendengarkan semua keluh kesahku, menyemangatiku, dan memberiku energi positif dan keyakinan bahwa aku mampu menyelesaikan ini. Semoga pertemanan ini bisa terus hingga kita tua.

15. Sahabat KKN aku Echa dan Fitria terima kasih yang teramat banyak atas segala waktu, dukungan, doa, dan segala afirmasi positif kalian selama ini. Aku bersyukur bisa kenal kalian, semoga pertemanan kita bisa terus sampai kita tua.
16. Keluarga besar Kimia 2019, terimakasih atas segala pertemanan dan kekeluargaannya selama ini. Semoga kita semua bisa menjadi orang yang sukses di masa depan serta berguna bagi keluarga, nusa, dan bangsa, aamiin.
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. Teruntuk diriku, terima kasih karena telah mampu dan berhasil hingga akhir dan selesai.

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.*

*Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Bandar Lampung, 28 Januari 2026  
Penulis

Machrayana  
NPM. 1917011028

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Manfaat Penelitian .....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Antibiotik <i>Cefadroxil</i> .....	4
2.2 <i>Dispersive Solid Phase Extraction</i> (DSPE) .....	5
2.3 <i>Graphene Oxide</i> .....	7
2.4 Karakterisasi.....	9
2.4.1 <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	9
2.4.2 <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX).....	11
2.4.3 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	13
2.5 Spektrofotometri UV-Vis .....	15
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	<b>17</b>
3.1 Waktu dan Tempat .....	17
3.2 Alat dan Bahan.....	17
3.3 Prosedur Kerja.....	18
3.3.1 Pembuatan <i>Graphene Oxide</i> Menggunakan Metode Hummers Termodifikasi .....	18
3.3.2 Karakterisasi <i>Graphene Oxide</i> .....	18
3.3.3 Pembuatan Larutan Induk Antibiotik <i>Cefadroxil</i> 500 ppm .....	19
3.3.4 Pembuatan Kurva Kalibrasi .....	19
3.3.5 Optimasi Parameter Ekstraksi Antibiotik <i>Cefadroxil</i> Menggunakan Metode DSPE .....	19
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>21</b>
4.1 Sintesis <i>Graphene Oxide</i> dengan Metode Hummers Termodifikasi ...	21
4.2 Karakterisasi.....	24
4.2.1 Karakterisasi Menggunakan <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR) .....	24

4.2.2 Karakterisasi Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	25
4.2.3 Karakterisasi Menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy- Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX) .....	26
4.3 Optimasi dengan Metode <i>Dispersive Solid Phase Extraction</i> (DSPE) 28	
4.3.1 Penentuan pH Optimum.....	29
4.3.2 Penentuan Massa Optimum .....	31
4.3.3 Penentuan Waktu Kontak Optimum .....	32
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>35</b>
5.1 Simpulan.....	35
5.2 Saran .....	35
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>36</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>42</b>
1. Pengaruh Penentuan pH Optimum Adsorbat .....	44
2. Pengaruh Penentuan Massa Optimum Adsorben.....	50
3. Pengaruh Penentuan Waktu Kontak Optimum .....	57

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data rata-rata uji adsorpsi penentuan pH optimum adsorbat .....	30
2. Data rata-rata uji adsorpsi penentuan massa optimum adsorben .....	32
3. Data rata-rata uji adsorpsi penentuan waktu kontak optimum .....	33
4. Perhitungan kurva kalibrasi I untuk penentuan pH optimum adsorbat .....	44
5. Data uji adsorpsi I penentuan pH adsorbat optimum .....	46
6. Perhitungan kurva kalibrasi II untuk penentuan pH optimum adsorbat .....	47
7. Data uji adsorpsi II penentuan pH adsorbat optimum .....	49
8. Data rata-rata uji adsorpsi penentuan pH optimum adsorbat .....	50
9. Perhitungan kurva kalibrasi I untuk penentuan massa optimum adsorben ....	51
10. Data uji adsorpsi I penentuan massa adsorben optimum .....	52
11. Perhitungan kurva kalibrasi II untuk penentuan massa optimum adsorben ...	53
12. Data uji adsorpsi II penentuan massa adsorben optimum .....	55
13. Data rata-rata uji adsorpsi penentuan massa optimum adsorben .....	56
14. Perhitungan kurva kalibrasi I untuk penentuan waktu kontak optimum .....	57
15. Data uji adsorpsi I penentuan waktu kontak optimum .....	58
16. Perhitungan kurva kalibrasi II untuk penentuan waktu kontak optimum .....	60
17. Data uji adsorpsi II penentuan waktu kontak optimum .....	62
18. Data rata-rata uji adsorpsi penentuan waktu kontak optimum .....	63

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1 Struktur <i>Cefadroxil</i> .....	5
2 Skema dispersi metode DSPE .....	6
3 Struktur <i>Graphene Oxide</i> .....	8
4 Sintesis <i>Graphene Oxide</i> .....	9
5 Hasil Karakterisasi FTIR grafit .....	10
6 Hasil Karakterisasi FTIR <i>graphene oxide</i> .....	10
7 Hasil SEM <i>graphene oxide</i> .....	12
8 Hasil EDX <i>graphene oxide</i> .....	13
9 Hasil XRD <i>graphene oxide</i> .....	15
10 Panjang Gelombang <i>Cefadroxil</i> .....	16
11 Diagram Alir Penelitian .....	20
12 Skema reaksi proses oksidasi .....	22
13 Skema pembentukan gugus fungsional GO .....	22
14 <i>Graphene Oxide</i> .....	23
15 Hasil Spektrum FTIR (a) GO dan (b) Grafit .....	24
16 Hasil difraktogram XRD GO Penelitian (a) dan Hasil difraktogram XRD GO Acuan (b).....	26
17 Hasil SEM GO .....	27
18 Hasil EDX GO .....	28
19 Hasil uji adsorpsi berdasarkan pengaruh pH adsorbat .....	29
20 Hasil uji adsorpsi pengaruh massa adsorben .....	31
21 Hasil uji adsorpsi berdasarkan pengaruh waktu kontak .....	33
22 Kurva kalibrasi I untuk penentuan pH optimum adsorbat.....	44
23 Kurva kalibrasi II untuk penentuan pH optimum adsorbat .....	47
24 Kurva kalibrasi I untuk penentuan massa optimum adsorben.....	50

25	Kurva kalibrasi II untuk penentuan massa optimum adsorben .....	53
26	Kurva kalibrasi I untuk penentuan waktu kontak optimum .....	57
27	Kurva kalibrasi II untuk penentuan waktu kontak optimum.....	60

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penemuan antibiotik menjadi sejarah dalam bidang kesehatan yang memberikan dampak besar bagi kehidupan manusia. Penggunaan antibiotik terbukti mampu membantu menurunkan risiko kematian akibat infeksi bakteri. Antibiotik dipandang sebagai terapi yang efektif dalam mengatasi infeksi mikroba dan menyebabkan penggunaannya semakin meningkat (Pijoh dkk.,2021). Penggunaan antibiotik pada manusia dan hewan yang terus meningkat, menyebabkan residu antibiotik yang dihasilkan juga meningkat, selain itu senyawa induk atau metabolit yang ada pada 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 paling banyak digunakan adalah *cefadroxil*, termasuk generasi pertama golongan *cephalosporin*  $\beta$ -*lactam* yang memiliki spektrum luas sehingga efektif melawan berbagai bakteri gram positif dan gram negatif. *Cefadroxil* telah digunakan untuk menyembuhkan berbagai penyakit yang disebabkan oleh bakteri seperti *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Escherichia coli*, dan *Proteus mirabilis* dan pasien yang memiliki reaksi alergi penisilin (Atif *et al.*, 2022). Adapun fungsi lain dari antibiotik *cefadroxil* yaitu dapat mengobati penyakit hewan seperti infeksi kulit, pioderma, infeksi jaringan lunak, dan infeksi kulit lainnya (Aldhalemy and Al-Rufaie, 2023). Maraknya

penggunaan antibiotik mengakibatkan terjadinya pencemaran lingkungan yang berdampak pada resisten bakteri (Pijoh dkk., 2021). Kassa and Amare, (2021) melaporkan kadar *cefadroxil* dalam sampel urin manusia setelah mengonsumsi antibiotik sebesar 40,2  $\mu\text{M}$ , sehingga perlu dilakukan pemantauan residu antibiotik di lingkungan perairan. Adapun kendala yang terjadi seperti rendahnya konsentrasi analit dan kompleksitas matriks lingkungan membuat penentuan residu menjadi sulit sehingga membutuhkan teknik preparasi dan instrumen yang tepat.

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 tingkat keefektifan tinggi dan aman, tetapi teknik SPE juga mempunyai kelemahan yaitu membutuhkan waktu yang lama, dapat terjadi *plugging* pada kolom SPE, dan mahal (Rizki 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 yang tepat untuk efisiensi proses ekstraksi analit. 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).

*Graphene Oxide* dapat digunakan sebagai adsorben dalam adsorpsi *methylene blue* di perairan (Jahan *et al.*, 2022) serta GO dapat pula digunakan untuk adsorpsi antibiotik tetrasiklin (Li *et al.*, 2023).

Berdasarkan uraian diatas, maka pada penelitian ini dilakukan sintesis adsorben berupa *graphene oxide* yang kemudian dilakukan teknik ekstraksi DSPE sebagai salah satu upaya dalam menjaga lingkungan perairan dari limbah senyawa antibiotik *cefadroxil*.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memperoleh adsorben berupa *graphene oxide* melalui proses sintesis.
2. Memperoleh karakteristik *graphene oxide* menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared*), SEM-EDX (*Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray*), dan XRD (*X-Ray Diffraction*).
3. Memperoleh kondisi optimum adsorpsi antibiotik *cefadroxil* berdasarkan pengaruh pH adsorbat, massa adsorben, dan waktu kontak.

## 1.3 Manfaat Penelitian

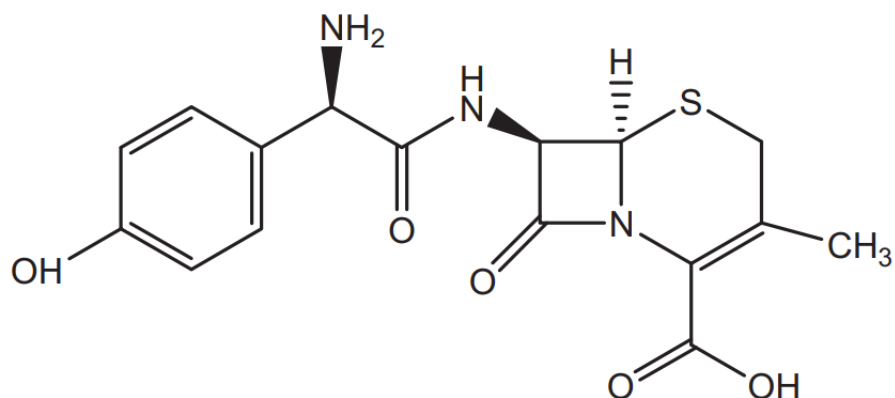
Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk memberi penjelasan tentang pembuatan *graphene oxide* sebagai adsorben sebagai salah satu upaya dalam menjaga lingkungan perairan dari limbah senyawa antibiotik *cefadroxil*.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Antibiotik *Cefadroxil*

*Cefadroxil* merupakan antibiotik  $\beta$ -lactam semisintesis generasi pertama dari golongan sefalosporin yang memiliki spektrum luas, sehingga efektif dalam mengatasi berbagai bakteri gram positif maupun gram negatif. Antibiotik ini diberikan secara oral untuk pasien yang mengalami infeksi yang disebabkan oleh *Streptococcus pneumoniae*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, dan *Escherichia coli* (Kassa and Amare, 2021).

*Cefadroxil* memiliki rumus molekul  $C_{16}H_{17}N_3O_5S$  dengan nama IUPAC 8-[2-amino-2-(4-hidroksifenil)-asetil]amino-4-metil-7-oxo-2-tia-6-azabisisiklo[4.2.0]okt-4-ena-5-asam karboksilat. Senyawa ini berbentuk kristal berwarna kuning dan memiliki kelarutan yang baik dalam air. Mekanisme kerja *cefadroxil* adalah dengan menghambat sintesis dinding sel bakteri. Setelah dikonsumsi, *cefadroxil* dimetabolisme dalam tubuh dan diekskresikan terutama melalui ginjal, dengan lebih dari 90% dosis yang diberikan ditemukan kembali dalam urin dalam bentuk senyawa induk. Shoghi *et al.* (2013) mengkaji kelarutan *cefadroxil* berdasarkan pH dan menjelaskannya melalui tiga nilai pKa, yaitu 2,52 untuk gugus asam karboksilat, 7,65 untuk amina primer terprotonasi, dan 10,05 untuk gugus fenol. Pada pH rendah, spesies kationik mendominasi, sedangkan pada pH tinggi atau basa, *cefadroxil* berbentuk anionik. Dalam kedua kondisi tersebut, kelarutan meningkat karena adanya spesies bermuatan. Sekitar pH 5, *cefadroxil* bersifat zwitterion, dan terjadi peningkatan agregasi spesies mono-anionik. Struktur *cefadroxil* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur *Cefadroxil*

Menurut penelitian Elbalkiny *et al.* (2019), kadar beberapa antibiotik, termasuk cefadroxil, yang terdeteksi di perairan limbah farmasi mencapai 18,25 µg/mL. Oleh karena itu, pemantauan konsentrasi antibiotik *cefadroxil* menjadi hal yang sangat penting untuk dilakukan.

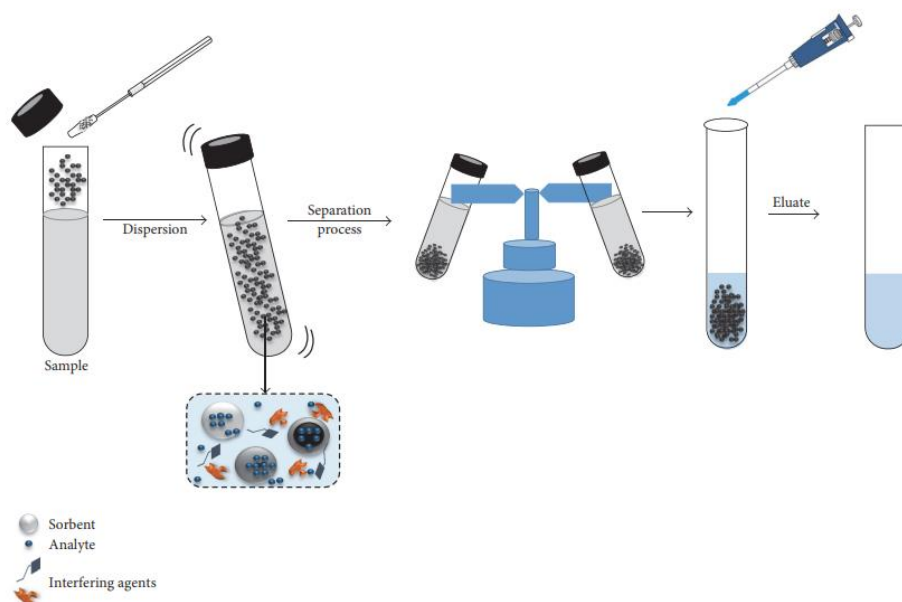
## 2.2 *Dispersive Solid Phase Extraction (DSPE)*

*Dispersive Solid Phase Extraction (DSPE)* merupakan metode preparasi sampel yang digunakan untuk menganalisis senyawa dengan menggunakan adsorben yang ada dalam larutan sampel yang didalamnya terkandung analit target, kemudian dilanjutkan dengan proses dispersi (Anastassiades *et al.*, 2003). Setelah proses dispersi, adsorben kemudian diisolasi dengan cara sentrifugasi atau filtrasi, lalu setelah fase padat diisolasi analit yang telah teradsorpsi pada permukaan adsorben akan mudah dielusikan proses ekstraksi, adsorben yang masih mengandung analit kemudian dipisahkan dengan cara penyaringan (filtrasi) ataupun sentrifugasi (Jamali *et al.*, 2013). Pada metode DSPE umumnya menggunakan waktu yang relatif cepat, hal ini dikarenakan adsorben pada metode ini didispersikan dalam larutan sampel dan dipisahkan pada ekstraksi yang terakhir. Sehingga menyebabkan analit dan adsorben yang terdispersi mengalami waktu efisiensi ekstraksi (Román *et al.*, 2011).

Adapun prinsip dari metode DSPE adalah adsorben yang berinteraksi langsung dengan senyawa target, dipisahkan dari larutan sampel dengan cara sentrifugasi atau filtrasi. Selanjutnya desorpsi menggunakan pelarut yang sesuai (Büyüktiryaki *et al.*, 2020). Dalam penggunaan metode DSPE umumnya terdiri dari tiga langkah utama yaitu (Anastassiades *et al.*, 2003) :

1. Dispersi adsorben ke dalam sampel.
2. Pemisahan adsorben dari matriks sampel.
3. Elusi analit dari adsorben.

Pemilihan adsorben dalam metode DSPE perlu diperhatikan, dimana adsorben yang digunakan harus memberikan eluat yang bersih untuk analisis kromatografi dan memberikan *recovery* yang tinggi dari senyawa yang dianalisis. Adsorben yang menggunakan metode ini sebagian besar bekerja sesuai dengan prinsip adsorpsi, sehingga menyebabkan timbulnya ikatan yang kuat antara adsorben dengan adsorbat (Cvetkovic *et al.*, 2016). Selain itu, perlu juga mempertimbangkan karakteristik kimia dan fisik dari adsorben yang memungkinkan adanya interaksi antara adsorben dengan analit serta memastikan ekstraksi selektivitas analit yang muncul dalam analisis matriks (Fagerquist *et al.*, 2005). Adapun skema proses pada metode DSPE dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema dispersi metode DSPE (Islas *et al.*, 2017)

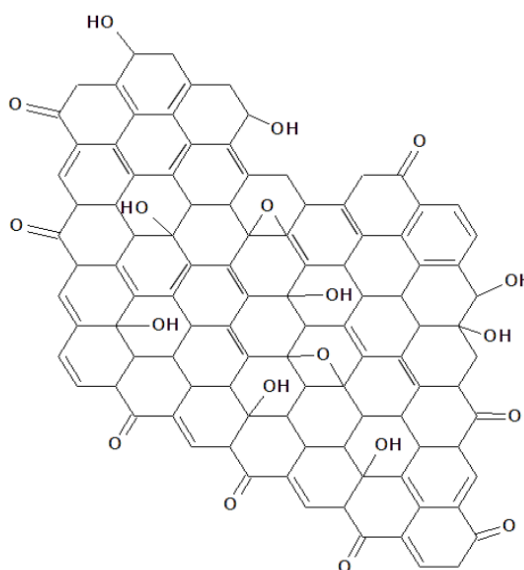
Adsorpsi merupakan suatu proses ketika suatu fluida terikat pada permukaan padatan dan membentuk lapisan tipis akibat ketidakseimbangan gaya di permukaan. Zat yang menempel disebut adsorbat, sedangkan bahan yang menyerapnya dikenal sebagai adsorben (Larasati dkk., 2015). Adsorben adalah zat berwujud 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).

Adsorben memerlukan proses aktivasi, hal ini karena proses aktivasi adsorben akan meningkatkan energi pada permukaannya yang mengakibatkan adanya peningkatan tarikan terhadap molekul adsorbat.

### **2.3 Graphene Oxide**

*Graphene oxide* (GO) merupakan senyawa yang berasal dari turunan *graphene* yang mengalami proses oksidasi dan terkandung unsur karbon, oksigen, dan hidrogen didalamnya. *Graphene oxide* kerap kali digunakan dalam pengaplikasian pada beberapa bidang, hal ini dikarenakan *graphene oxide* memiliki ikatan dengan gugus fungsi oksigen yang reaktif. *Graphene oxide* mempunyai banyak gugus reaktif yang terkandung oksigen didalamnya, contohnya pada bagian tepi lembaran *graphene oxide* terdapat beberapa gugus fungsi seperti gugus karboksil, karbonil, dan gugus fenol, selain itu pada bagian basal terdapat gugus epoksi dan hidroksil yang menyebabkan *graphene oxide* bersifat hidrofilik. Lembar nano *graphene oxide* dapat disintesis melalui proses oksidasi kimia (He *et al.*, 2021). Oksigen yang terdapat pada *graphene oxide* menyebabkan berkurangnya sifat-sifat unggul dari *graphene* yang kemudian berdampak pada penggunaan *graphene oxide* secara maksimal yaitu dengan menggunakannya sebagai adsorben kuat yang memiliki aktivitas antibakteri yang efektif (Tohamy *et al.*, 2020). Lembar nano *graphene*

*oxide* dapat disintesis melalui proses oksidasi kimia (He *et al.*, 2021). Adapun gambar dari struktur *graphene oxide* ditunjukkan oleh Gambar 3.



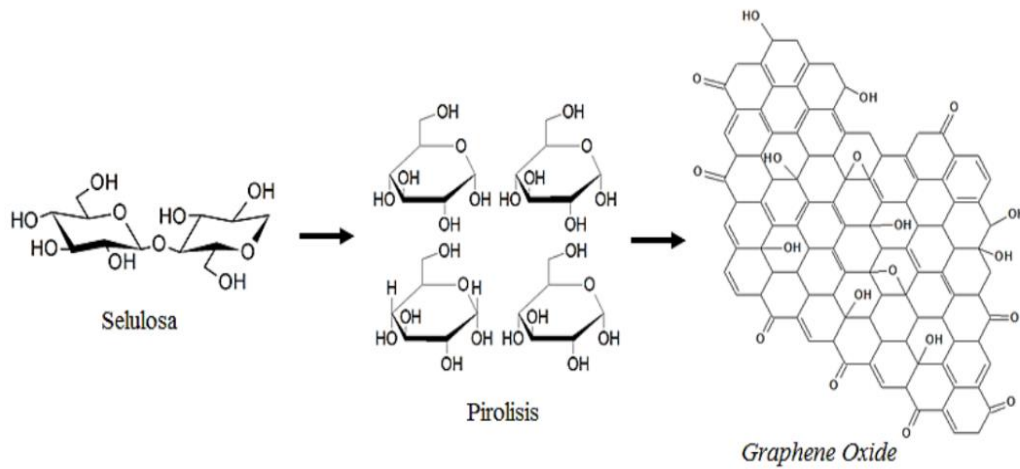
Gambar 3. Struktur *Graphene Oxide* (Neolaka *et al.*, 2020).

Penggunaan GO sebagai adsorben banyak digunakan sebagai penyerap ion logam, zat warna, dan polutan organik melalui gaya elektrostatik, ikatan hidrogen, interaksi  $\pi$ , dan gaya interaksi lainnya (Zhao *et al.*, 2021).

*Graphene oxide* (GO) dapat diproduksi melalui berbagai metode, salah satunya yaitu metode Hummers. Metode ini didasarkan pada proses oksidasi grafit menjadi *graphene oxide* melalui serangkaian reaksi kimia menggunakan zat pengoksidasi kuat, seperti campuran kalium permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ), natrium nitrat ( $\text{NaNO}_3$ ), dan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Proses ini dilanjutkan dengan tahap pencucian dan pemurnian untuk memperoleh GO. Seiring waktu, metode ini telah mengalami berbagai pengembangan dan modifikasi (Jiříčková *et al.*, 2022).

Metode hummers termodifikasi dilakukan dengan meningkatkan oksidan  $\text{KMnO}_4$  dan mengubah proporsi untuk meningkatkan hasil (Santamaria *et al.*, 2020). Selain itu, metode hummers termodifikasi juga lebih ramah lingkungan karena tidak menggunakan natrium nitrat ( $\text{NaNO}_3$ ) yang berpotensi sebagai gas beracun (Muhammad *et al.*, 2022).

Adapun proses pembuatan *graphene oxide* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Sintesis *Graphene Oxide* (Debbarma *et al.*, 2019).

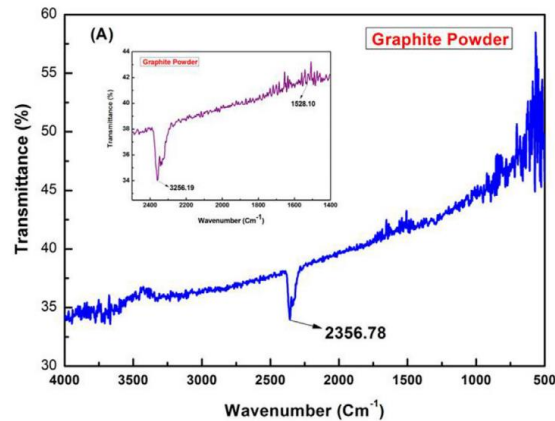
## 2.4 Karakterisasi

### 2.4.1 *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

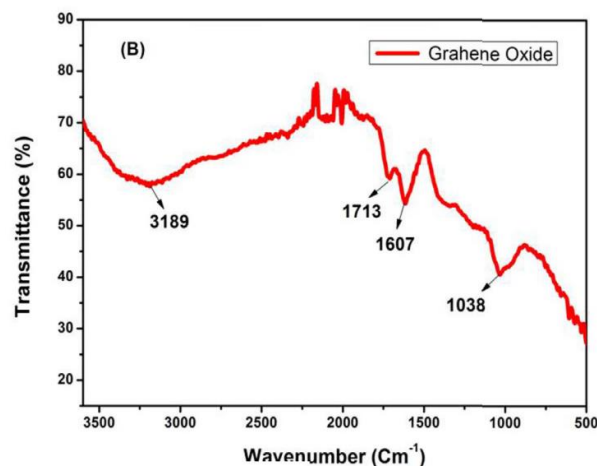
*Fourier Transform Infrared (FTIR)* merupakan instrumen karakterisasi yang bersifat universal dan digunakan secara luas untuk menganalisis berbagai jenis material, khususnya dalam proses identifikasi sampel yang belum diketahui. FTIR telah digunakan untuk berbagai hal, seperti mengidentifikasi pengotor, zat murni, dan berbagai material (Kowalczyk *and* Pitucha, 2019). Prinsip kerja FTIR didasarkan pada interaksi antara materi dengan radiasi inframerah, yang menyebabkan molekul-molekul mengalami vibrasi. Besarnya energi vibrasi tersebut bervariasi untuk setiap komponen molekul, tergantung pada jenis atom dan kekuatan ikatan kimia yang ada, sehingga menghasilkan frekuensi vibrasi yang berbeda-beda. Perbedaan tingkat vibrasi masing-masing komponen memungkinkan identifikasi keberadaan komponen maupun gugus fungsi tertentu dalam suatu molekul (Bijang dkk., 2018).

Molekul yang dianalisis menggunakan FTIR mampu menyerap energi inframerah melalui perubahan energi rotasi dan vibrasi pada ikatan kovalen yang mengalami

perubahan momen dipol. Karakterisasi dengan FTIR bertujuan untuk menentukan jenis vibrasi antar atom, sehingga gugus fungsi yang terdapat dalam suatu senyawa dapat dikenali (Mujiyanti dan Kunarti, 2010). Adapun contoh dari hasil karakterisasi grafit dan GO ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Hasil Karakterisasi FTIR grafit (Shivananda *et al.*, 2023)



Gambar 6. Hasil Karakterisasi FTIR *graphene oxide* (Shivananda *et al.*, 2023)

GO sebagai nanomaterial monolayer atau *few layer graphene* yang memiliki gugus fungsi oksigen, seperti gugus karboksil ( $-\text{COOH}$ ), karbonil ( $-\text{C}=\text{O}$ ), dan gugus fenol pada tepi lembaran, serta gugus epoksi ( $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ ) dan hidroksil ( $-\text{OH}$ ) pada bidang basal menghadirkan lebih banyak sisi aktif (Nazri *et al.*, 2018; Sujiono *et al.*, 2020). Spektra IR pada grafit menghasilkan puncak serapan yang teramati pada  $1528\text{ cm}^{-1}$  dan  $3256,19\text{ cm}^{-1}$  menandakan adanya ikatan  $\text{C}=\text{C}$  dan kuatnya ikatan kovalen serta lapisan kristal. Sedangkan spektra IR pada GO,

menunjukkan adanya frekuensi yang tinggi di daerah  $3000\text{-}3700\text{ cm}^{-1}$ , hal tersebut mengindikasikan adanya gugus O-H, bilangan gelombang  $1713\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus C=O, bilangan gelombang  $1038\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus C-O, bilangan gelombang  $1300\text{ cm}^{-1}$  dan  $1713\text{ cm}^{-1}$  masing masing menunjukkan gugus C-OH. Terdeteksinya puncak-puncak yang berasal dari molekul karbon-oksigen menunjukkan keberhasilan sintesis GO (Shivananda *et al.*, 2023).

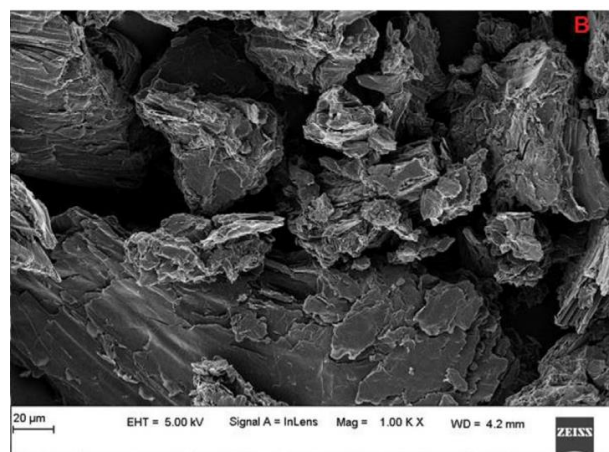
#### **2.4.2 Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)**

*Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan profil permukaan suatu sampel. Prinsip kerja alat SEM adalah dengan memanfaatkan hamburan balik electron (*electron beam*) pada permukaan objek dan mengambil gambar dengan mendeteksi elektron yang muncul pada permukaan objek (Setyaningsih dan Septiano, 2019). SEM yang dilengkapi dengan Spektroskopi Sinar-X Dispersif Energi (EDX) merupakan teknik karakterisasi yang sangat informatif, karena mampu memberikan analisis mengenai morfologi, ukuran, serta komposisi kimia pada permukaan nanopartikel. EDX dapat diterapkan pada sampel yang memiliki komposisi unsur homogen dengan permukaan datar dalam kisaran volume interaksi berkas elektron primer (energi hingga  $30\text{ keV}$  dalam SEM konvensional) dengan sampel. Hal tersebut juga bergantung terhadap energi pancaran serta nomor atom konstituen sampel. SEM EDX dapat menganalisis sampel pada volume dalam kisaran sekitar satu mikrometer kubik (Rades *et al.*, 2014).

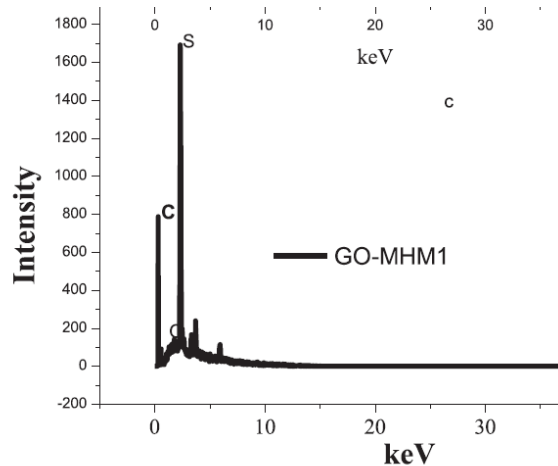
Sistem detektor EDX mampu menampilkan secara simultan seluruh sinar-X berenergi menengah ( $1\text{-}30\text{ keV}$ ) yang terakumulasi selama proses analisis pada setiap titik pengukuran. Energi sinar-X direpresentasikan dalam bentuk spektrum, yaitu grafik histogram berdasarkan distribusi energinya. Spektrum tersebut menyediakan informasi bersifat semikualitatif maupun semikuantitatif. Sinar-X juga dapat terbentuk ketika berkas elektron diperlambat oleh medan elektrostatik

inti atom dari unsur yang terdapat dalam spesimen. Radiasi ini menghasilkan spektrum kontinu yang muncul sebagai dasar di bawah puncak-puncak spektrum (Scimeca *et al.*, 2018).

Karakterisasi menggunakan SEM pada mikrograf grafit 10  $\mu\text{m}$  dengan perbesaran 40.00KX menunjukkan struktur kristal seperti fibrin. Sedangkan, mikrograf GO 20  $\mu\text{m}$  menunjukkan bahwa permukaan sampel memiliki struktur yang kusut dan berlapis. GO memiliki banyak gugus yang mengandung oksigen, terlebih lagi bentuk gulungan yang diilustrasikan dalam mikrograf 2  $\mu\text{m}$  (Shivananda *et al.*, 2023). Spektrum EDX dan persentase berat unsur diperoleh untuk sampel serpihan grafit dan GO seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Hasil analisis grafit menggunakan EDX menunjukkan adanya komposisi unsur C sebesar 95,7%, unsur O 0,3% dan C/O sebesar 318,2%. Sedangkan, komposisi pada GO yang disintesis menggunakan metode Hummers Termodifikasi menunjukkan penurunan komposisi unsur C menjadi 56,02%, dan C/O 8,3%. Komposisi unsur O mengalami kenaikan menjadi 6,73%, hal tersebut menunjukkan lebih banyak unsur O yang terbentuk pada GO. Adanya unsur lain seperti unsur sulfur (S) dimungkinkan karena adanya proses oksidasi yang belum selesai atau sisa proses oksidasi (Kigozi *et al.*, 2020). Adapun contoh hasil karakterisasi SEM dan EDX ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Hasil SEM *graphene oxide* (Shivananda *et al.*, 2023)



Gambar 8. Hasil EDX *graphene oxide* (Kigozi *et al.*,2020)

### 2.4.3 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD adalah metode karakterisasi material padat yang berguna untuk mengetahui kemurnian, perubahan parameter kisi suatu kristal, struktur kristal dan fasa kristalin. Selain itu, XRD juga dimanfaatkan untuk mengetahui rincian lain seperti susunan berbagai jenis atom dalam kristal, kehadiran cacat, orientasi, dan cacat kristal (Smallman dan Bishop, 2000). Prinsip dari metode ini adalah ketika sinar X mengenai bahan padat, sinar-X tersebut dihamburkan oleh elektron-elektron yang berputar mengelilingi inti atom. Gelombang-gelombang yang tersebar ini, dipancarkan ke berbagai arah dan saling mengganggu. Interferensi dapat bersifat konstruktif atau destruktif, berdasarkan arah dan jenis interaksi gelombang (Fultz *and* Howe, 2013). Informasi tentang nomor atom dan posisi atom dalam sel ditentukan oleh intensitas puncak difraksi, sedangkan posisi puncak difraksi memberikan informasi tentang ukuran dan bentuk sel satuan (Lee, 2021). XRD didasarkan pada Hukum Bragg yang memungkinkan untuk menghitung jarak antar bidang 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,

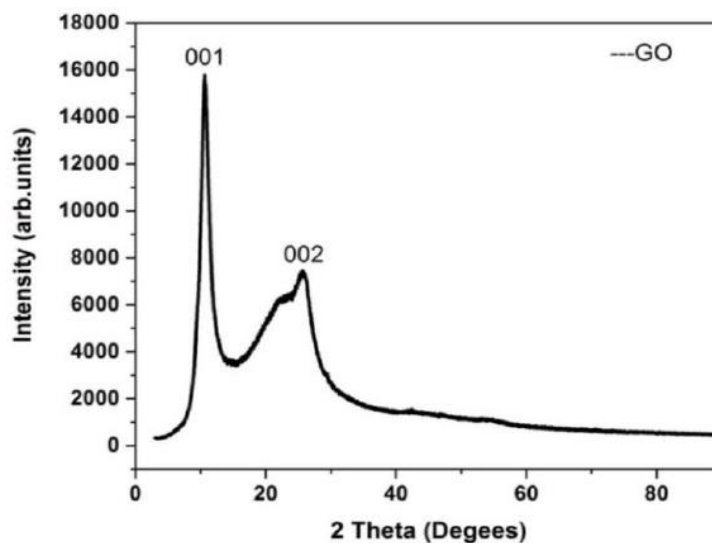
$\lambda$  = panjang gelombang sinar-X,

$d$  = jarak antar bidang atom dalam kristal,

$\theta$  = sudut difraksi antara sinar-X yang datang dan bidang kristal

Difraktogram menyajikan informasi berupa deretan puncak difraksi dengan intensitas relatif sepanjang rentang nilai  $2\theta$  yang telah ditetapkan. Besarnya intensitas relatif setiap puncak bergantung pada jumlah atom dalam sampel serta pola distribusinya di dalam material (Lee, 2021). Adanya tiga jenis informasi utama yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi fase dalam suatu material meliputi intensitas puncak, pola distribusi intensitas sebagai fungsi sudut difraksi, serta posisi sudut difraksi pada titik intensitas maksimum (Pratama dkk., 2019). Informasi yang diperoleh dapat dikorelasikan dengan data mikroskop untuk menguji apakah pengamatan mikroskopis pada sejumlah kecil partikel mewakili sebagian besar sampel (Holder *and* Raymond, 2019).

Karakterisasi GO menggunakan XRD menunjukkan hasil puncak difraksi GO diamati pada  $10,64^\circ$  sesuai dengan jarak dengan lapisan sebesar 0,817 nm dan indeks (001) seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Terdapat satu puncak difraksi yang lebar diamati pada  $26,3^\circ$  dengan jarak antar lapisan sekitar 0,34 nm dan indeks (002). Puncak utama (002) grafit hilang total jika GO dikeringkan. Puncak tersebut lebih luas dan intensitasnya sangat rendah dibandingkan grafit alam dan mewakili graphene dengan lapisan yang berkurang (Surekha *et al.*, 2020). Adapun contoh hasil XRD *graphene oxide* ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil XRD *graphene oxide* (Surekha *et al.*, 2020)

## 2.5 Spektrofotometri UV-Vis

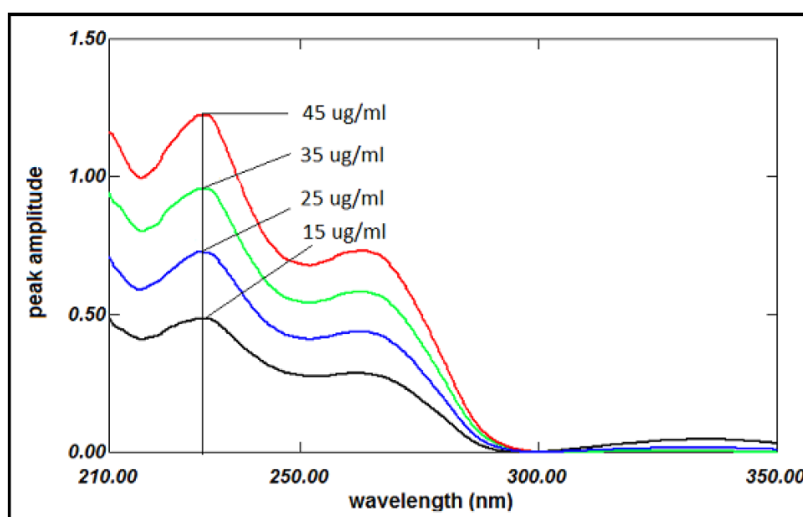
Spektrofotometri UV-Vis merupakan teknik analisis kimia yang digunakan untuk mengidentifikasi senyawa berdasarkan absorbansi foton. Sinar *ultraviolet* berada pada rentang panjang gelombang 200-400 nm, sedangkan sinar cahaya tampak (*visible*) memiliki panjang gelombang sekitar 400-750 nm. Adapun syarat agar suatu senyawa dapat dianalisis menggunakan spektrofotometri UV-Vis adalah senyawa harus yang mengandung gugus aoksokrom. Gugus aoksokrom adalah gugus fungsi yang mempunyai elektron bebas seperti OH, NO<sub>2</sub>, dan NH<sub>2</sub> (Pratiwi *and* Nandiyanto, 2022).

Prinsip dasar spektrofotometri UV-Vis didasarkan pada pengukuran panjang gelombang dan intensitas sinar *ultraviolet* dan *visible* yang diserap analit sebagai fungsi panjang gelombang. Pada spektrofotometri UV-Vis, proses eksitasi elektron dicatat dalam bentuk spektrum yang ditampilkan sebagai hubungan antara panjang gelombang dan absorbansi, bergantung pada jenis elektron dalam molekul yang dianalisis. Semakin mudah elektron mengalami eksitasi, semakin besar nilai absorbansi yang dihasilkan (Pratiwi *and* Nandiyanto, 2022).

Spektrofotometri UV-Vis juga memiliki beberapa kelebihan seperti dapat

digunakan untuk menganalisis zat organik maupun anorganik, selektif, mempunyai ketelitian yang tinggi dengan kesalahan relatif besar 1-3% dan hasil yang diperoleh akurat karena angka yang terbaca langsung dicatat oleh detektor dan dicetak dalam bentuk angka digital (Rohmah *et al.*, 2021).

Analisis spektrofotometri UV-Vis terhadap antibiotik *cefadroxil* dapat dilihat dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Attia *et al.* (2016) yang menunjukkan bahwa panjang gelombang kerja yang paling sesuai untuk kuantifikasi adalah 230 nm. Amplitudo serapan antibiotik *cefadroxil* berbanding lurus dengan konsentrasi pada panjang gelombang tersebut, sehingga memungkinkan penentuan kuantitatif yang akurat, bahkan di hadapan produk degradasi alkali. Hal ini dibuktikan dengan menggunakan penerapan *ratio subtraction method* dan *simultaneous equation method*, dimana puncak serapan di 230 nm tetap dapat dipisahkan dari interferensi degradasi. Dengan demikian, pemilihan panjang gelombang 230 nm menjadi dasar penting dalam penetapan metode spektrofotometri yang sensitif, selektif, dan dapat diaplikasikan pada sediaan farmasi berbasis *cefadroxil*. Adapun panjang gelombang *cefadroxil* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Panjang Gelombang *Cefadroxil* (Attia *et al.*, 2016)

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2025 – Agustus 2025 di Laboratorium Kimia Analitik FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi *Graphene Oxide* dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan di Institut Teknologi Sumatera, *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dilakukan di Unit Pelayanan Teknis Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT- LTSIT) Universitas Lampung, untuk *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Universitas Negeri Padang. Uji adsorpsi antibiotik *cefadroxil* dengan Spektrofotometer UV-Vis (*Ultraviolet-Visible*) dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik FMIPA Universitas Lampung.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas beaker, labu erlenmeyer, labu ukur, neraca analitik, tabung reaksi, rak tabung reaksi, *hot plate magnetic stirrer*, *spinbar*, *centrifuge*, tabung *centrifuge*, corong kaca, gelas ukur, pipet tetes, pipet volume, *bulp*, kertas saring, batang pengaduk, spatula, pH meter, labu bulat, termometer, botol semprot, ultrasonik, mortal, alu, FTIR, XRD, SEM-EDX, dan Spektrofotometer UV-Vis. Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *graphite*, antibiotik *cefadroxil*,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat, ortofosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ),  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  30%, larutan HCl 0,1 M, larutan NaOH 0,1 M, dan akuades.

### 3.3 Prosedur Kerja

#### 3.3.1 Pembuatan *Graphene Oxide* Menggunakan Metode Hummers Termodifikasi

Sebanyak 3 gram grafit dimasukkan ke dalam gelas beaker berkapasitas 500 mL, kemudian ditambahkan 23 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Campuran tersebut diaduk menggunakan *magnetic stirrer* di dalam wadah berisi es selama 30 menit. Selanjutnya, secara perlahan sebanyak 3 gram KMnO<sub>4</sub> dimasukkan ke dalam larutan dengan menjaga suhu tetap di bawah 10°C. Setelah itu, larutan diaduk pada suhu 35°C selama 30 menit, kemudian 46 mL akuades ditambahkan secara bertahap hingga suhu naik mencapai 98°C, dan campuran dibiarkan selama 15 menit (Li *et al.*, 2013). Selanjutnya, 140 mL akuades ditambahkan ke dalam campuran, diikuti dengan penambahan 10 mL larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 10 menit. Suspensi yang terbentuk kemudian dicuci dengan larutan HCl 5% untuk menghilangkan ion sulfat, dan dilakukan uji menggunakan larutan barium klorida untuk memastikan hilangnya ion sulfat, yang ditandai dengan tidak adanya endapan putih. Setelah itu, suspensi dicuci dengan akuades hingga mencapai pH 5, kemudian disentrifugasi selama 10 menit. Padatan yang diperoleh didispersikan dalam 450 mL akuades, disonikasi selama 2 jam, dan disaring menggunakan kertas saring. Padatan hasil saringan kemudian dikeringkan pada suhu 60°C selama 5 jam di dalam oven (Li *et al.*, 2013).

#### 3.3.2 Karakterisasi *Graphene Oxide*

Karakteristik gugus fungsi pada *graphene oxide* diidentifikasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Morfologi, identifikasi unsur, dan komposisi kuantitatif *graphene oxide* diidentifikasi menggunakan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX). Fase kristal molekul diidentifikasi menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD).

### 3.3.3 Pembuatan Larutan Induk Antibiotik *Cefadroxil* 500 ppm

Larutan induk antibiotik *cefadroxil* 500 ppm dibuat dengan cara melarutkan 12,5 mg padatan antibiotik *cefadroxil* dengan akuades dalam labu takar 25 mL hingga tanda tera dan dihomogenkan (Rinawati *et al.*, 2024). Kemudian dilakukan pengenceran pada larutan induk hingga didapatkan larutan baku 50 ppm.

### 3.3.4 Pembuatan Kurva Kalibrasi

Dibuat larutan standar 4; 6; 8; 10; dan 12 ppm dengan melakukan pengenceran bertingkat terhadap larutan induk 50 ppm. Lalu, larutan standar dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 229 nm (Rinawati *et al.*, 2024; Sanz *et al.*, 2019).

### 3.3.5 Optimasi Parameter Ekstraksi Antibiotik *Cefadroxil* Menggunakan Metode DSPE

#### 3.3.5.1 Penentuan pH Optimum

Ditimbang 20 mg GO dimasukkan ke dalam gelas beaker, ditambahkan 20 mL larutan standar *cefadroxil* dengan konsentrasi 8 ppm yang sudah diatur pHnya 1; 2; 3; 4 dan 5 menggunakan larutan HCl 0,1 M dan NaOH 0,1 M. Campuran yang dihasilkan dihomogenkan menggunakan *stirrer* selama 30 menit, lalu GO dipisahkan dari larutan dengan sentrifugasi pada kecepatan 10.000 rpm selama 15 menit. Lalu disaring menggunakan kertas saring, filtrat yang dihasilkan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimumnya (Rinawati *et al.*, 2024).

#### 3.3.5.2 Penentuan Massa Optimum

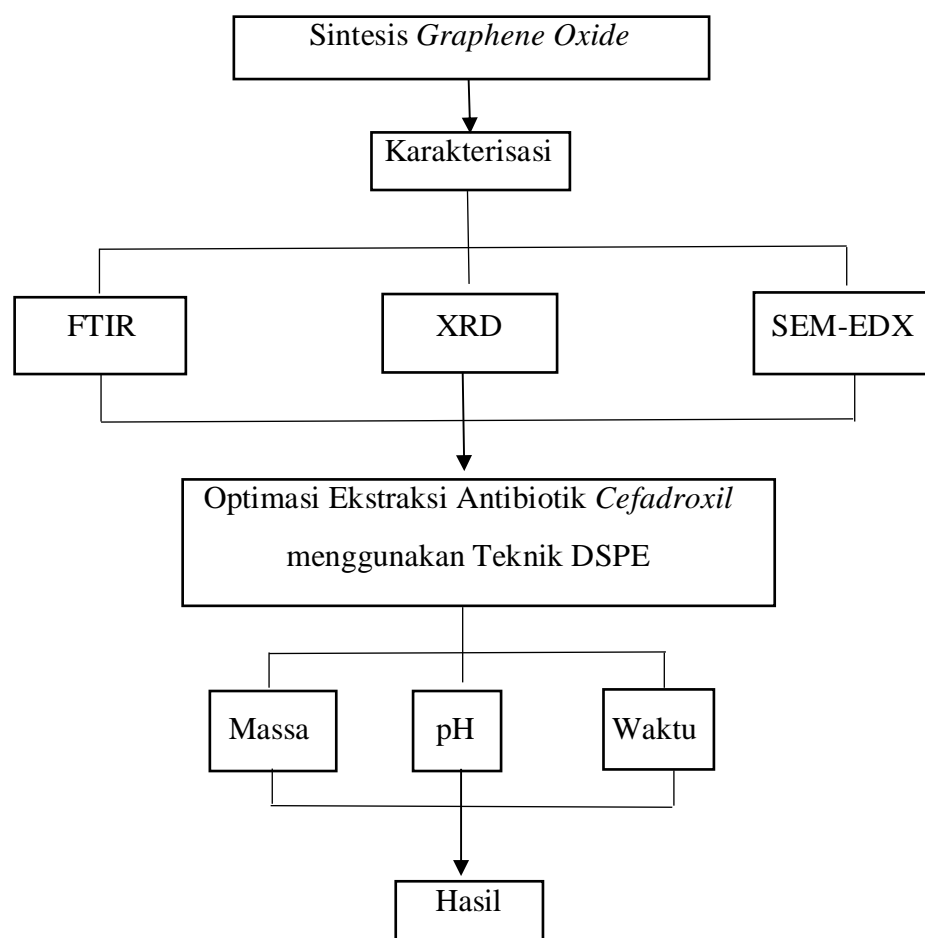
Ditimbang sebanyak 10; 15; 20; 25 dan 30 mg GO dimasukkan ke dalam gelas beaker, ditambahkan 20 mL larutan standar *cefadroxil* pada pH konsentrasi optimum. Campuran yang dihasilkan dihomogenkan menggunakan *stirrer* selama 30 menit, lalu GO dipisahkan dari larutan dengan sentrifugasi pada kecepatan 10.000 rpm selama 15 menit. Lalu disaring menggunakan kertas saring, filtrat yang

dihasilkan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimumnya (Rinawati *et al.*, 2024).

### 3.3.5.3 Penentuan Waktu Kontak Optimum

Ditimbang GO pada massa optimum dimasukkan kedalam gelas beaker, ditambahkan 20 mL larutan standar *cefadroxil* pada pH konsentrasi optimum. Campuran yang dihasilkan dihomogenkan menggunakan *stirrer* selama 10; 20; 30; 40 dan 50 menit, lalu GO dipisahkan dari larutan dengan sentrifugasi pada kecepatan 10.000 rpm selama 15 menit. Lalu disaring menggunakan kertas saring, filtrat yang dihasilkan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimumnya (Rinawati *et al.*, 2024).

Adapun diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram Alir Penelitian

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa:

1. Pada penelitian ini telah berhasil dilakukan pembuatan GO yang dibuktikan dengan hasil karakterisasi FTIR, XRD, dan SEM-EDX.
2. GO yang telah diperoleh memiliki gugus fungsi karboksil, epoksi, karbonil, dan hidroksil berdasarkan hasil karakterisasi FTIR, didapatkan puncak  $2\theta$  sebesar  $11,10^\circ$  pada GO berdasarkan hasil XRD, memiliki morfologi permukaan lembaran tipis dengan permukaan halus dan beberapa area yang memiliki kerutan yang bergelombang berdasarkan hasil SEM, memiliki komposisi unsur C dan O berdasarkan hasil EDX.
3. Adsorpsi antibiotik *cefadroxil* oleh GO optimum pada kondisi pH 3 dengan tingkat adsorpsi sebesar 71,31%, lalu optimum pada berat massa sebesar 30 mg dengan tingkat adsorpsi 92,01%, dan waktu kontak selama 20 menit dengan tingkat adsorpsi sebesar 80,29%, serta %RPD < 10% yang menunjukkan hasil yang baik.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

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

## DAFTAR PUSTAKA

- Aldhalemy, B., and Al-Rufaie, M. 2023. Utilization of Spectrophotometric Technique for the Quantitative Evaluation of Cefadroxil Monohydrate in its Pure form and Its Therapeutic Doses. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, E. Medical Entomology & Parasitology*. 15(1): 61–72.
- 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.
- Anastassiades, M., Lehotay, S. J., Štajnbaher, D., and Schenck, F. J. 2003. Fast and Easy Multiresidue Method Employing Acetonitrile Extraction/Partitioning and “Dispersive Solid-Phase Extraction” for. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*. 86(2): 412–31.
- AOAC. 2016. *Guidelines for Standard Method Performance Requirements (Appendix F)*. Washington D.C.: AOAC Official Methods of Analysis.
- Atif, S., JA.Baig, Afrid, H., Waris, M., Asif, W., Naeem, A., and Sidhu, A. 2022. Analytical Comparison of Cefadroxil Determination by Square Wave Adsorptive Stripping Voltammetric and Spectrophotometric Methods. *Austin Journal of Analytical and Pharmaceutical Chemistry*. 9(1): 1–7.
- Attia, K. A. M., Nassar, M. W. I., Mohamad, A. A., and Abdel-Monem, A. H. 2016. Spectrophotometric Quantitative Estimation and Validation of Cefadroxil Monohydrate in Presence of its Alkali-Induced Degradation Product. *Analytical Chemistry Letters*. 6(5): 631–643.
- Az-Zahra, A. R. 2025. Modifikasi Magnetik Pada Permukaan Graphene Oxide Untuk Ekstraksi Senyawa Antibiotik Ciproflxacin. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Bhaumik, R., Mondal, N.K., Das, B., Roy, P., Pal, K.C., Banerjee, A., and Datta, J.K. 2011. Eggshell Powder as an Adsorbent for Removal of Fluoride from Aqueous Solution: Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies. *Journal of Chemistry*. 9(3): 1457-1480.
- Bijang, C. M., Tehubijuluw, H., dan Kaihatu, T. G. 2018. Biosorpsi Ion Logam Kadmium (Cd<sup>2+</sup>) Pada Biosorben Rumpun Laut Coklat (*Padina australis*) Asal Pantai Liti Pulau Kisar. *Indo. J. Chem. Res*. 6(1): 51–58.

- Brisebois, P. P., and Siaj, M. 2020. Harvesting Graphene Oxide Years 1859 to 2019: A Review of its Structure, Synthesis, Properties and Exfoliation. *Journal of Materials Chemistry C*. 8(5): 1517-1547.
- Büyükçiyay, 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.
- 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.
- Cvetkovic, J., Mitic, V., Jovanovic-Stankov, V., Dimitrijevic, M., and Stojanovic, G. 2016. The Evaluation of Different Sorbents and Solvent Mixtures in PAH Sample Preparation for GC/GC-MS Analysis. *Advanced technologies*. 5(1): 31–38.
- Debbarma, J., Naik, M. J. P., and Saha, M. 2019. From Agrowaste to Graphene Nanosheets: Chemistry and Synthesis. *Fullerenes Nanotubes and Carbon Nanostructures*. 27(6): 482–485.
- Dewi, K. 2020. *Sintesis Dan Karakterisasi Natural Graphite dan Graphite Oxide (GO) Dari Limbah Tongkol Jagung*. Universitas Pertamina. Jakarta.
- 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.
- Elbalkiny, H. T., Yehia, A. M., Riad, S. M., and Elsayharty, Y. S. 2019. Removal and Tracing of Cephalosporins in Industrial Wastewater by SPE-HPLC: Optimization of Adsorption Kinetics on Mesoporous Silica Nanoparticles. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*. 6: 1-10
- Fultz, B., and Howe, J. 2013. *Transmission Electron Microscopy and Diffractometry of Materials*. Springer. London.
- Fagerquist, C. K., Lightfield, A. R., and Lehotay, S. J. 2005. Confirmatory and Quantitative Analysis of  $\beta$ -Lactam Antibiotics in Bovine Kidney Tissue by Dispersive Solid-Phase Extraction and Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. *Analytical Chemistry*. 77(5): 1473–1482.
- 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.

- 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.
- Holder, C. F., and Raymond, E. S. 2019. Tutorial on Powder X-ray Diffraction for Characterizing Nanoscale Materials. *ACS Nano*. 13(7): 7359–7365.
- Husnah, M., Hafizh, A. F., Rohman., Akfiny, H.A., and Ferry, I. 2017. A Modified Marcano Method for Improving Electrical Properties of Reduced Graphene Oxide (RGO). *Materials Research Express*. 4(6): 064001.
- 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(2): 1-16.
- 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): 100239.
- Jamali, M. R., Firouzjah, A., and Rahnama, R. 2013. Solvent-Assisted Dispersive Solid Phase Extraction. *Talanta*. 116: 454–459.
- 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.
- Kasih, Y. O. 2019. Studi Karbon Aktif Magnetik dari Limbah Kulit Singkong (Manihot Utilissima) Sebagai Adsorben untuk Menentukan Senyawa Antibiotik Tetrasiklin Di Perairan. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Kassa, A., and Amare, M. 2021. Highly Selective and Sensitive Differential Pulse Voltammetric Method Based on Poly(Alizarin)/GCE for Determination of Cefadroxil in Tablet and Human Urine Samples. *Arabian Journal of Chemistry*. 14(8): 103296.
- Kigozi, M., Koech, R. K., Kingsley, O., Ojeaga, I., Tebandeke, E., Kasozi, G. N., and Onwualu, A. P. 2020. Synthesis and Characterization of Graphene Oxide from Locally Mined Graphite Flakes and Its Supercapacitor Applications. *Results in Materials*. 7(100113): 1–12.
- 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(2972): 1–13.

- 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.
- Lee, M. 2021. *X-ray Diffraction for Materials Research from Fundamentals to Applications*. CRC Press. USA.
- 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., and 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): 1903–1910.
- 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.
- Mujiyanti, D. R., dan Kunarti, E. S. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Siika Gel dari Abu Sekam Padi yang Diimobilisasi dengan 3-(Trimetoksisilil)-1-Propantiol. *Sains dan Terapan Kimia*. 4(2): 150–167.
- Nazri, S. R. B., Liu, W. W., Khe, C. S., Hidayah, N. M. S., Teoh, Y. P., Voon, C. H., Lee, H. C., and Adelyn, P. Y. P. 2018. Synthesis, Characterization and Study of Graphene Oxide. *AIP Conference Proceedings*. 2045(2016): 3–6.
- 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.
- Özgan, Ş., and Eskalen, H. 2020. Electrical Properties of the Octyl Cyanobiphenyl Nematic Liquid Crystal Dispersed with Graphene Oxide. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 31(22): 19787-19796.
- Pijoh, J. E. E., Palandeng, H. M. F., dan Ottay, R. I. 2021. Gambaran Kandungan Antibiotik Pada Sedimen Kawasan Pesisir Teluk Manado. *J Kedokt Kom Tropik*. 9(2): 341–345.

- 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.
- Rades, S., Hodoroaba, Vasile-Dan, Salge, Tobias, Thomas, Wirth, Lobera, M. Pilar, Labrador, Roberto Hanoi, Natte, Kishore, Behnke, Thomas, Gross, Thomas, and Unger, Wolfgang E. S. 2014. High-Resolution Imaging with SEM/T SEM, EDX and SAM As A Combined Methodical Approach for Morphological and Elemental Analyses of Single Engineered Nanoparticles. *RSC Advances*. 4: 49577–49587.
- 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, Buhani, Widiarti, Isro, A., Fitrianiingsih, 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, 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.
- Riyanto, Ph.D. 2014. *Validasi dan Verifikasi Metode Uji: Sesuai dengan ISO/IEC 17025 Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi*. Deepublish. Yogyakarta.
- Rizki Amanda, E., 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.
- Rohmah, S. A. A., Muadifah, A., dan Martha, R. D. 2021. Validasi Metode Penetapan Kadar Pengawet Natrium Benzoat pada Sari Kedelai di Beberapa Kecamatan di Kabupaten Tulungagung Menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis. *Jurnal Sains Dan Kesehatan*. 3(2): 120-127.
- Román, I. P., Chisvert Alberto, A., and Canals, A. 2011. Dispersive Solid-Phase Extraction Based on Oleic Acid-Coated Magnetic Nanoparticles Followed by Gas Chromatography-Mass Spectrometry for UV-Filter Determination in Water Samples. *Journal of Chromatography A*. 1218(18): 2467–2475.

- 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) (e-Journal)*. 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.
- Sanz, C. G., Serrano, S. H. P., and Brett, C. M. A. 2019. Electrochemical Characterization of Cefadroxil  $\beta$ -lactam Antibiotic and Cu ( II ) Complex Formation. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 844:124–131.
- Scimeca, M., Bischetti, S., Lamsira, H. K., Bonfiglio, R., and Bonanno, E. 2018. Energy Dispersive X-ray (EDX) Microanalysis: A Powerful Tool in Biomedical Research and Diagnosis. *European Journal of Histochemistry*. 62(2841):1–10.
- Setyaningsih, N. E., dan Septiano, A. F. 2019. Optimasi Kualitas Citra Scanning Electron Microscopy (SEM) dengan Metode Contrast to Noise Ratio (CNR). *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*. 44(2): 1–5.
- 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 Today: Proceedings*. 89: 49–53.
- Shoghi, E., Fuguet, E., Bosch, E., and Ràfols, C. 2013. Solubility-pH Profiles of Some Acidic, Basic and Amphoteric Drugs. *European Journal of Pharmaceutical Sciences : Official Journal of The European Federation for Pharmaceutical Sciences*. 48(1-2): 291–300.
- Smallman, R. E., dan Bishop, R. J. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Erlangga. Jakarta.
- Smith, A. T., LaChance, A. M., Zeng, S., Liu, B., and Sun, L. 2019. Synthesis, Properties, an Applications of Graphene Oxide/Reduced Graphene Oxide and Their Nanocomposites. *Nano Materials Science*. 1(1): 31–47.
- 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(04568): 1–8.
- Surekha, G., Krishnaiah, K. V., Ravi, N., and Padma Suvarna, R. 2020. FTIR, Raman and XRD Analysis of Graphene Oxide Films Prepared By Modified Hummers Method. *Journal of Physics: Conference Series*. 1495(1): 012012.

- 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.
- Zaini, N., Hanapi, N. S. M., Ibrahim, W. N. W., Osman, R., Kamaruzaman, S., Yahaya, N., and Anis, A. L. 2022. Dispersive Micro Solid Phase Extraction (D $\mu$ SPE) with Polypyrrole-Graphene Oxide (Ppy-GO) Nanocomposite Sorbent for the Determination of Tetracycline Antibiotics in Water Samples. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*. 26(5): 953-964.
- Zhao, Y., Liu, Y., Zhang, X., and Liao, W. 2021. Environmental Transformation of Graphene Oxide in The Aquatic Environment. *Chemosphere*. 262: 127885.