

**OPTIMASI DSPE BERBASIS *GRAPHENE OXIDE* DARI TANDAN
KOSONG KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY* UNTUK PENENTUAN RESIDU ANTIBIOTIK
*CIPROFLOXACIN***

(SKRIPSI)

Oleh

**RIMA SORAYA PERMATA SARI
NPM 2117011025**



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

**OPTIMASI DSPE BERBASIS *GRAPHENE OXIDE* DARI TANDAN
KOSONG KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY* UNTUK PENENTUAN RESIDU ANTIBIOTIK
*CIPROFLOXACIN***

Oleh

RIMA SORAYA PERMATA SARI

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS**

Pada

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



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

ABSTRAK

OPTIMASI DSPE BERBASIS *GRAPHENE OXIDE* DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY* UNTUK PENENTUAN RESIDU ANTIBIOTIK *CIPROFLOXACIN*

Oleh

RIMA SORAYA PERMATA SARI

Kontaminasi air oleh residu antibiotik seperti *ciprofloxacin* (CIP) menjadi masalah serius karena dapat menyebabkan resistensi bakteri dan merusak ekosistem, untuk itu diperlukan metode penentuan residu CIP yang efisien. Tujuan penelitian ini adalah untuk mensintesis *graphene oxide* (GO) dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai adsorben padat pada teknik *Dispersive Solid Phase Extraction* (DSPE), mengkarakterisasi sifat fisik dan kimia adsorben GO, serta mengoptimasi teknik DSPE berbasis GO menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) untuk penentuan residu CIP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa GO berhasil disintesis berdasarkan analisis *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *X-ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), dan spektrofotometri Ultraviolet-Visibel (UV-Vis). Selanjutnya, optimasi menggunakan RSM menghasilkan kondisi optimum pada pH 3, massa adsorben 22,5 mg, dan waktu kontak selama 35 menit, dengan persentase adsorpsi CIP sebesar 90,592%. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa validasi optimasi menghasilkan nilai yang sangat mendekati prediksi model, yaitu 90,129% dengan nilai persentase *error* relatif kecil sebesar 0,005%, yang membuktikan bahwa model optimasi yang dihasilkan dapat diterapkan secara akurat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa GO dari TKKS dapat berfungsi efektif sebagai adsorben pada teknik DSPE, sekaligus membuka peluang pemanfaatan limbah TKKS sebagai bahan karbon alternatif dalam aplikasi lingkungan.

Kata kunci: antibiotik *ciprofloxacin*, desain *box bhenken*, *dispersive solid phase extraction*, *graphene oxide*, *response surface method*

ABSTRACT

OPTIMIZATION DSPE BASED GRAPHENE OXIDE FROM EMPTY FRUIT BUNCHES USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY FOR DETERMINING CIPROFLOXACIN ANTIBIOTICS RESIDUE

By

RIMA SORAYA PERMATA SARI

Water contamination by antibiotic residues such as ciprofloxacin (CIP) is a serious problem because it can cause bacterial resistance and damage the ecosystem, therefore an efficient method of determining CIP residues is needed. The objectives of this study were to synthesize graphene oxide (GO) from empty fruit bunches (EFB) as a solid adsorbent in the Dispersive Solid Phase Extraction (DSPE) technique, characterize the physical and chemical properties of GO adsorbents, and optimize the GO-based DSPE technique using Response Surface Methodology (RSM) for the determination of CIP residues. The results showed that GO was successfully synthesized based on Fourier Transform Infrared (FTIR), X-ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX), and Ultraviolet-Visible (UV-Vis) spectrophotometry analyses. Furthermore, optimization using RSM produced optimum conditions at pH 3, adsorbent mass of 22.5 mg, and contact time for 35 minutes, with a CIP adsorption percentage of 90.592%. The results also showed that the optimization validation produced a value very close to the model prediction, which was 90.129% with a relatively small percentage error value of 0.005%, which proved that the optimization model produced could be applied accurately. The results of this study indicate that GO from EFB can function effectively as an adsorbent in the DSPE technique, while opening up opportunities for the utilization of EFB waste as an alternative carbon material in environmental applications.

Keywords: ciprofloxacin antibiotic, box-behnken design, dispersive solid phase extraction, graphene oxide, response surface methodology.

Judul

: **OPTIMASI DSPE BERBASIS GRAPHENE OXIDE
DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT
MENGUNAKAN RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY UNTUK PENENTUAN RESIDU
ANTIBIOTIK CIPROFLOXACIN**

Nama Mahasiswa

: **Rima Soraya Permata Sari**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **2117011025**

Program Studi

: **Kimia**

Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Dr. Rinawati, M.Si.

NIP. 197104142000032001



Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.

NIP. 197007052005011003

2. Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kerja Sama

FMIPA Universitas Lampung



Mulyono, Ph.D.

NIP. 197406112000031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



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



Penguji

Bukan Pembimbing : **Prof. Drs. John Hendri, M.S., Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **23 Juni 2025**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini;

Nama : Rima Soraya Permata Sari
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117011025
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan ini sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “**Optimasi DSPE Berbasis *Graphene Oxide* dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan *Response Surface Methodology* untuk 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, 23 Juni 2025
Yang Menyatakan,



Rima Soraya Permata Sari
NPM. 2117011025

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Rima Soraya Permata Sari, lahir di Bandar Lampung, 21 November 2002. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara, putri dari Bapak Andri Budi Apriono dan Ibu Fatimah Hairlina. Saat ini penulis bertempat tinggal di Jl. Rawa Sari No. 1, RT/RW 008/000, Kecamatan Enggal, Kelurahan Enggal, Kota Bandar Lampung.

Penulis memulai pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) Aisyiyah 1 Enggal pada tahun 2008-2009. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Dasar Negeri (SDN) 1 Rawa Laut pada tahun 2009-2015, sekolah menengah pertama di SMPN 1 Bandar Lampung pada tahun 2015-2018, dan sekolah menengah atas di SMK SMTI Bandar Lampung pada tahun 2018-2021. Pada tahun 2021 penulis diterima sebagai mahasiswa di Program Studi S1 Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berorganisasi pada Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) Universitas Lampung. Pada periode tahun 2022 sebagai anggota biro kesekretariatan Himaki. Pada periode tahun 2023, menjabat sebagai ketua biro kesekretariatan Himaki. Pada tahun 2024, sebagai dewan pembina biro kesekretariatan Himaki. Selain itu, penulis pernah mengikuti kegiatan Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Penelitian sebagai anggota informasi dan komunikasi pada tahun 2021-2022. Penulis pernah mengikuti kegiatan sosial seperti Karya Wisata Ilmiah (KWI) BEM-FMIPA Unila pada 2021.

Sebagai bentuk pengabdian mahasiswa kepada masyarakat dan menjalankan Tri Dharma Perguruan Tinggi, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sukajaya Lempasing, Kecamatan Teluk Pandan, Kabupaten Pesawaran, Lampung. Pada bulan Juli-Agustus 2024, penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di PT. Sumber Indahperkasa, Lampung Selatan. Kemudian pada bulan Januari-Februari 2024, serta menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi FMIPA Unila yang diberi judul **“Optimasi DSPE Berbasis *Graphene Oxide* dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan *Response Surface Methodology* untuk Penentuan Residu Antibiotik *Ciprofloxacin*”**.

KATA INSPIRASI

“Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan”.
(Q.S. Ar-Rahman:13)

“Maka, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”.
(Q.S. Al-Insyirah:5-6)

“Sesungguhnya Allah tidak mengubah keadaan suatu kaum sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri”.
(Q.S. Ar-Ra'd:11)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah rabbil 'alamin, segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat, petunjuk, dan cahaya ilmu-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan penuh rasa syukur dan kebahagiaan. Berkat ketulusan dan kerendahan hati, karya sederhana ini penulis persembahkan kepada:

Bapak dan Ibu

Kepada Bapak Andri Budi Apriono dan Ibu Fatimah Hairlina, terima kasih yang tak terhingga atas cinta, doa, dan pengorbanan yang tak pernah surut. Kalian adalah cahaya di setiap jejak langkahku. Semoga Allah senantiasa melimpahkan keberkahan dan kebahagiaan untuk Bapak dan Ibu, sumber kekuatanku dalam tiap perjalanan hidup ini.

Mamasku Muhammad Fachri Pratama, terima kasih atas perhatian dan dukungannya yang tak pernah putus.

Rasa hormat saya kepada:

Dr. Rinawati, M.Si.

Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.

Terima kasih untuk segala bimbingan, ilmu, nasihat, dan kesabaran dalam mengarahkan penulis hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Kepada diriku sendiri atas setiap usaha, kerja keras, dan kesabaran yang tiada batas.

Serta Almamater tercinta, Universitas Lampung

SANWACANA

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penayang, segala puji dan syukur penulis panjatkan atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **"Optimasi DSPE Berbasis *Graphene Oxide* dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan *Response Surface Methodology* untuk Penentuan Residu Antibiotik *Ciprofloxacin*".** Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang selalu dinantikan syafaat-Nya di Yaumul Akhir nanti.

Skripsi ini merupakan hasil dari proses panjang pembelajaran, penelitian, serta refleksi ilmiah yang penulis jalani dengan penuh kesungguhan dan tanggung jawab. Penulis menyadari bahwa tanpa pertolongan Allah SWT serta dukungan dari berbagai pihak, penyusunan skripsi ini tidak akan berjalan dengan baik. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Rinawati, M.Si., selaku dosen pembimbing 1 yang telah sabar dalam membimbing, memberi ilmu, semangat, dukungan, arahan, serta motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc., selaku dosen pembimbing 2 sekaligus pembimbing akademik yang telah membimbing, arahan, memberi ilmu, dan semangat kepada penulis selama penulis kuliah serta menyelesaikan skripsi ini.

3. Bapak Prof. Drs. John Hendri, M.S., selaku dosen penguji dan pembahas yang telah memberikan kritik, saran, masukan dan arahan kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengatahuan Alam Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si., selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
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, Bapak Andri dan Ibu Fatimah yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa, perhatian, semangat, motivasi dan dukungan tiada henti dalam setiap langkah ini.
8. Kakak penulis, M. Fachri, terima kasih sudah berusaha menjadi kakak terbaik dan memberikan semangat serta dukungan dalam setiap proses yang penulis jalani.
9. Keluarga besar penulis yang selalu memberikan doa dan dukungan kepada penulis.
10. Teman seperjuangan Rinawati's Research 2021, Amelia Rizky Az-zahra, Aviana Hanifah Luthfi, Aranca Putri Maharani, dan Hafiz Sadewa Utama, terima kasih senantiasa saling memberi semangat, membantu, dan bertukar cerita selama penulis melakukan penelitian. Bangga bisa mengenal dan satu tim dengan kalian.
11. Kakak tingkat seperbimbingan, kak Salwa, kak Dian, dan kak Elsa, terima kasih sudah membantu dan memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama penelitian ini.
12. Laboran Kimia Analitik dan Instrumentasi, Mas Udin, terima kasih atas bantuannya selama penulis mengerjakan penelitian di laboratorium.
13. Sahabat terdekatku, Zahra Gidant Dewigita dan Nandia Devina Dwi Hendri, terima kasih telah menemani, mengingatkan, membantu, mendengarkan keluh kesah, dan memberi semangat. Penulis sangat bersyukur bisa mengenal kalian, kelak kita bisa terus menjalin pertemanan ini sampai tua, aamiin.

14. Sahabat-sahabat penulis Sajiddah Talfah, dan Amelia Rizky Az-zahra, terima kasih sudah menemaniku, membantu dan memberi semangat dalam menyelesaikan perkuliahan ini.
15. Taman-teman penulis, Ulma, Hanna, Rika, Avi, yang senantiasa belajar bersama dan memberi semangat pada penulis di masa perkuliahan ini.
16. Keluarga besar Kimia 2021, terima kasih atas segala pertemanan dan kekeluargaannya selama ini.
17. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Rangga Aditiya Saputra yang senantiasa ada serta selalu memberikan semangat, motivasi, doa, dukungan, cinta, dan perhatiannya di tengah proses panjang ini. Kehadirannya memberikan ketenangan dan kekuatan tersendiri dalam menyelesaikan skripsi ini.
18. Diriku sendiri, terima kasih telah berjuang dan bertahan sampai detik ini, memperjuangkan gelar sarjana yang diimpikan selama ini, semoga senantiasa kuat dan mampu menjalani kehidupan dengan lebih baik setiap harinya.
19. Semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian skripsi ini, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Akhir kata, hanya kepada Allah SWT penulis haturkan puji dan syukur atas limpahan rahmat-Nya, yang telah memudahkan setiap tahap penyusunan skripsi ini. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa karya ini masih jauh dari kata sempurna. Semoga penelitian ini senantiasa membawa manfaat bagi para pembaca dan menambah khazanah pengetahuan, sekaligus menjadi sumbangan kecil bagi upaya pemecahan persoalan lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Bandar Lampung, 23 Juni 2025

Penulis,



Rima Soraya Permata Sari

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	4
1.3. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Antibiotik <i>Ciprofloxacin</i>	5
2.2. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS).....	7
2.3. <i>Graphene Oxide</i> (GO).....	8
2.4. <i>Dispersive Solid Phase Extraction</i> (DSPE)	14
2.5. Karakterisasi	16
2.5.1. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	16
2.5.2. <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray</i> (Sem-EDX)	18
2.5.3. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	20
2.6. <i>Response Surface Method</i> (RSM).....	21
2.7. Spektrofotometri Ultraviolet-Visibel (UV-Vis)	24
III. METODE PENELITIAN	27
3.1. Waktu dan Tempat.....	27
3.2. Alat dan Bahan.....	27
3.3. Prosedur Kerja	28
3.3.1. Grafitisasi Tandan Kosong Kelapa Sawit	28
3.3.2. Pembuatan <i>Graphene Oxide</i> (GO) menggunakan Metode <i>Hummers</i> Termodifikasi.....	28
3.3.3. Karakterisasi GO	29
3.3.4. Pembuatan Larutan Induk CIP	29

3.3.5. Pembuatan Larutan Baku CIP	29
3.3.6. Pembuatan Larutan Standar CIP	30
3.3.7. Optimasi DSPE menggunakan RSM	30
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1. Grafitisasi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)	33
4.2. Sintesis <i>Graphene Oxide</i> (GO)	35
4.3. Karakterisasi <i>Graphene Oxide</i> dari Tandan Kosong Kelapa Sawit	38
4.3.1. Karakterisasi dengan <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	38
4.3.2. Karakterisasi dengan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	40
4.3.3. Karakterisasi dengan <i>Scanning Electron Microscopy-Energi Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX)	41
4.3.4. Karakterisasi dengan Spektrofotometri UV-Vis	43
4.4. Optimasi <i>Dispersive Solid Phase Exctraction</i> (DSPE) menggunakan <i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	45
4.4.1. Analisis Statistik.....	45
4.4.2. Optimasi Variabel Proses terhadap % Adsorpsi <i>Ciprofloxacin</i>	51
4.4.3. Penentuan Kondisi Optimum % Adsorpsi <i>Ciprofloxacin</i>	55
4.4.4. Validasi Hasil Optimasi.....	56
V. PENUTUP	58
5.1. Kesimpulan	58
5.2. Saran	59
DAFTAR PUSTAKA.....	60
LAMPIRAN.....	73
1. Perhitungan <i>yield</i> grafit dan <i>graphene oxide</i>	74
2. Kurva kalibrasi standar <i>Ciprofloxacin</i> untuk optimasi RSM.....	75
3. Data % adsorpsi <i>Ciprofloxacin</i> pada proses optimasi dengan RSM.....	78
4. Kurva kalibrasi standar <i>Ciprofloxacin</i> untuk validasi hasil optimasi	79
5. Data % adsorpsi <i>Ciprofloxacin</i> pada validasi hasil optimasi.....	80
6. Perhitungan % <i>error</i> pada validasi hasil optimasi	83

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komponen yang terkandung dalam TKKS	8
2. Level variabel independen dalam desain BBD	30
3. Desain eksperimen BBD	31
4. Hasil % adsorpsi CIP dengan adsorben GO	45
5. Model <i>fit summary</i> statistik	46
6. Hasil <i>Analysis of Varians</i> (ANOVA)	47
7. Koefisien statistik	48
8. Kondisi titik optimum yang disarankan oleh model	55
9. Hasil validasi optimasi % adsorpsi CIP	56
10. Data kalibrasi standar CIP untuk <i>run</i> 1,2,4,7-10,12,16, dan 17	75
11. Data kalibrasi standar CIP untuk <i>run</i> 13	76
12. Data kalibrasi standar CIP untuk <i>run</i> 14 dan 15	76
13. Data kalibrasi standar CIP untuk <i>run</i> 3,5,6, dan 11	77
14. Data % adsorpsi CIP	78
15. Data kalibrasi standar CIP untuk validasi hasil CIP	79
16. Data hasil percobaan kondisi optimum	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur kimia CIP	6
2. Distribusi bentuk CIP sebagai fungsi pH	6
3. Tandan kosong kelapa sawit.....	8
4. Struktur GO	9
5. Skema proses oksidasi grafit menjadi GO	13
6. Skema peran H_3PO_4 dalam pembentukan GO	13
7. Skema proses DSPE	14
8. Bilangan gelombang pada beberapa gugus fungsi	17
9. Spektrum FTIR GO	17
10. Gambar SEM dari (a) grafit dan (b) GO	19
11. Hasil EDX dari GO	19
12. Ilustrasi prinsip dasar XRD	20
13. Hasil XRD dari GO	21
14. Eksperimen BBD	23
15. Komponen Spektrofotometri UV-Vis.....	25
16. Kurva Kalibrasi CIP	26
17. Diagram alir penelitian.....	32
18. Limbah TKKS, (a) setelah dihancurkan menjadi potongan-potongan kecil, (b) setelah dikeringkan, (c) setelah dilakukan penggilingan	33
19. Grafit TKKS (a) suhu 400 °C, (b) suhu 500 °C, (c) suhu 600 °C.....	34
20. Grafit TKKS.....	35
21. Skema pembentukan gugus fungsional GO (a) gugus karbonil, (b) gugus karboksilat, (c) gugus karboksilat dan keton, (d) gugus hidroksil.....	36
22. <i>Graphene Oxide</i> TKKS.....	37

23. Skema sintesis GO secara umum	38
24. Hasil spektrum FTIR (a) grafit TKKS, (b) GO TKKS, (c) GO komersial	39
25. Hasil difraktogram XRD (a) grafit TKKS, (b) GO TKKS, (c) GO komersial	41
26. Morfologi GO TKKS pada perbesaran (a) 5000x, (b) 10000x dan GO komersial pada perbesaran (c) 5000x, (d) 10000x	42
27. Komposisi unsur (a) GO TKKS dan (b) GO komersial	43
28. Hasil spektrum spektrofotometri UV-Vis (a) grafit TKKS, (b) GO TKKS, (c) GO komersial	44
29. Grafik (a) probabilitas normal residu, (b) data hasil prediksi terhadap yang sebenarnya, (c) residual vs run	49
30. Plot kontur (2D) dan respons permukaan (3D): interaksi antara massa GO dan pH (a,b), interaksi waktu kontak dan pH (c,d), dan interaksi antara waktu kontak dan massa GO (e,f)	52
31. Interaksi proses adsorpsi CIP dengan GO	54
32. Kurva kalibrasi standar CIP untuk <i>run</i> 1,2,4,7-10,12,16, dan 17	75
33. Kurva kalibrasi standar CIP untuk <i>run</i> 13	75
34. Kurva kalibrasi standar CIP untuk <i>run</i> 14 dan 15	76
35. Kurva kalibrasi standar CIP untuk <i>run</i> 3,5,6, dan 11	77
36. Kurva kalibrasi standar CIP untuk validasi hasil optimasi	79

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sumber daya air sangat penting bagi kehidupan manusia dan semua makhluk hidup lainnya di bumi. Semakin berkembangnya proses industri dan aktivitas sehari-hari, menyebabkan air terkontaminasi oleh berbagai polutan. Di antara polutan-polutan tersebut, terdapat polutan yang disebut *emerging pollutants*, hal tersebut dikenal karena keberadaannya di lingkungan perairan sebagai polutan yang mulai menimbulkan kekhawatiran dan memiliki potensi risiko terhadap kesehatan manusia dan keseimbangan ekologi lingkungan walaupun terdeteksi dalam konsentrasi rendah (Krishnan *et al.*, 2021; Feng *et al.*, 2021), yang meliputi obat-obatan, produk perawatan pribadi, aditif industri, dan pestisida (Arman *et al.*, 2021; Rigoletto *et al.*, 2022).

Di antara banyaknya *emerging pollutants*, salah satu kelompok yang menimbulkan kekhawatiran terbesar adalah antibiotik. Perkiraan konsumsi antibiotik di seluruh dunia berkisar antara 100.000-200.000 ton per tahun dan penelitian terbaru menunjukkan bahwa pada tahun 2030, penggunaan antibiotik secara global akan meningkat sebesar 200% dibandingkan tahun 2015 (Haciosmanoğlu *et al.*, 2022). Setelah dikonsumsi, sebagian antibiotik di metabolisme dalam tubuh dan mayoritas tidak dapat di metabolisme atau diurai secara sempurna oleh manusia. Oleh karena itu, sisa residunya di lingkungan menimbulkan ancaman bagi kesehatan dan ekologi (Dutta and Mala, 2020).

Ciprofloxacin (CIP) adalah salah satu antibiotik yang paling banyak digunakan dalam 5 tahun terakhir (Velusamy *et al.*, 2021). CIP termasuk antibiotik dari

golongan *flouoroquinolone* yang sangat efektif melawan bakteri gram-positif dan gram-negatif seperti *E. coli*, *H. influenza*, dan digunakan secara luas untuk mengobati infeksi kulit, dan penyakit pernapasan bagian atas lainnya seperti bronkitis dan pneumonia (Aden *et al.*, 2023). Residu CIP telah terdeteksi di berbagai sumber air limbah, seperti air limbah rumah sakit pada kadar 0,154–0,21 mg/L, air limbah industri farmasi pada kadar 0,3–165,5 mg/L, dan air limbah domestik pada kadar 0,5–2,5 µg/L. Di sisi lain, konsentrasi prediktif tanpa efek untuk CIP dilaporkan hanya sebesar 0,064 µg/L. Keberadaan CIP di perairan dengan konsentrasi melebihi ambang aman berpotensi bersifat toksik, karsinogenik, teratogenik, serta mendorong resistensi bakteri terhadap antibiotik. (Yakameran *et al.*, 2024). Oleh karena itu, penentuan CIP yang tepat dalam air limbah perlu dilakukan untuk mengurangi masalah pencemaran air yang dapat mengganggu kesehatan makhluk hidup dan lingkungan sekitar.

Hingga saat ini, metode penentuan residu antibiotik telah banyak dikembangkan. Namun, persiapan sampel yang memainkan peranan penting perlu diperhatikan dalam proses analisis residu antibiotik, untuk memisahkan analit target sekaligus menghilangkan gangguan matriks yang dapat mempengaruhi sensitivitas dan kinerja analitis. Maka, diperlukan metode analisis yang kuat, akurat, dan andal untuk ekstraksi dan penentuan antibiotik dalam sampel lingkungan perairan (Duo *et al.*, 2023). Metode yang biasanya digunakan meliputi, *Liquid-Liquid Extraction* (LLE), *Solid Phase Extraction* (SPE), *Solid Phase Microextraction* (SPME), dan *Dispersive Solid Phase Extraction* (DSPE). Dari beberapa metode tersebut, DSPE menjadi salah satu metode dengan efisiensi ekstraksi yang tinggi. Kelebihan DSPE dari beberapa metode lainnya adalah konsumsi pelarut yang sedikit, cepat, fleksibel, dan sederhana. Pada DSPE sorben padat menjadi bagian yang sangat penting karena meningkatkan kemampuan adsorben untuk berinteraksi dengan analit target (Nakhonchai *et al.*, 2024).

Material adsorben pada proses DSPE untuk pengolahan air limbah mayoritas menggunakan bahan berbentuk mesopori atau nano karena kelebihanannya, yaitu tidak beracun, mempunyai daya serap yang tinggi, mengadsorpsi dalam skala nano, dan dapat didaur ulang. Salah satu adsorben dengan bentuk mesopori adalah

Graphene Oxide (GO) (Soni *et al.*, 2020). GO bersifat hidrofilik dan mudah terdispersi dalam air. Selain itu, GO mengandung aromatik (sp^2) dan alifatik (sp^3) domain, yang menyebabkan peningkatan jenis interaksi yang dapat terjadi pada permukaannya (Jiříčková *et al.*, 2022). Pada umumnya, GO dapat diperoleh secara komersial dengan harga yang mahal dan dapat pula dibuat dari grafit komersial yang tidak terbarukan (Donato *et al.*, 2023). Oleh karena kelemahan tersebut, menjadikan suatu upaya untuk memperoleh GO dari berbagai alternatif terbarukan, menggunakan material yang melimpah, murah, dan mudah didapat. Salah satunya dapat memanfaatkan limbah perkebunan, seperti tandan kosong kelapa sawit (Sajab *et al.*, 2018). Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan potensi GO dari limbah biomassa, antara lain Sujiono *et al* (2020) telah berhasil melakukan sintesis GO dengan memanfaatkan tempurung kelapa menggunakan metode hummers termodifikasi dan Rinawati *et al* (2024), yang berhasil menerapkan *Response Surface Methodology* (RSM) untuk mengoptimasi teknik DSPE berbasis GO kulit singkong pada penentuan residu CIP.

Keberadaan kelapa sawit menjadi salah satu komoditas unggulan di Provinsi Lampung yang merupakan sumber penghasilan bagi petani. Saat ini, produksi kelapa sawit di Provinsi Lampung mencapai 202.216 ton (Badan Pusat Statistik, 2022). Jumlah ini tentunya akan berbanding lurus dengan produk utama serta limbah hasil olahan kelapa sawit yang dihasilkan. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) adalah salah satu biomassa yang mengandung 40,93-68,3% unsur karbon, 41,3-45% selulosa, 25,3-33,8% hemiselulosa, dan 27,6-32,5% lignin (Hardi *et al.*, 2021). Sehingga, TKKS sangat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan GO.

Kondisi optimum dalam adsorpsi residu antibiotik CIP ditentukan dengan pemodelan *Box Bankhen Desain* (BBD) dikombinasikan dengan *Response Surface Methodology* (RSM) yang merupakan sebuah teknik statistik untuk menentukan kondisi optimum dengan pendekatan kontrol beberapa variabel dan untuk menunjukkan hubungan antara berbagai faktor dalam satu atau lebih respon. Keuntungan metode ini, yaitu efisiensi waktu dan pemakaian bahan kimia yang lebih sedikit sehingga biaya yang diperlukan juga sedikit

dibandingkan dengan metode konvensional (Sun *et al.*, 2019). Penggunaan RSM dalam proses optimasi adsorpsi menggunakan GO untuk polutan di lingkungan perairan telah banyak diteliti sebelumnya, seperti *norfloxacin* (Hongswat *et al.*, 2021), ion klorida pada air minum (Sarani *et al.*, 2024), pewarna *crystal violet* pada limbah industri (Kifayatullah *et al.*, 2020), logam berat (Ibrahim *et al.*, 2022), dan lain-lain.

Berdasarkan uraian tersebut, maka pada penelitian ini akan dilakukan optimasi DSPE berbasis GO dari TKKS menggunakan RSM untuk penentuan residu antibiotik *ciprofloxacin* berdasarkan parameter waktu kontak, konsentrasi CIP, pH, dan massa adsorben GO.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh GO dari hasil sintesis tandan kosong kelapa sawit.
2. Mengetahui karakteristik GO dari tandan kosong kelapa sawit menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), dan spektrofotometri UV-Vis.
3. Mengetahui kondisi optimum adsorpsi CIP berdasarkan parameter pH, waktu kontak, dan massa adsorben GO menggunakan teknik RSM.

1.3. Manfaat Penelitian

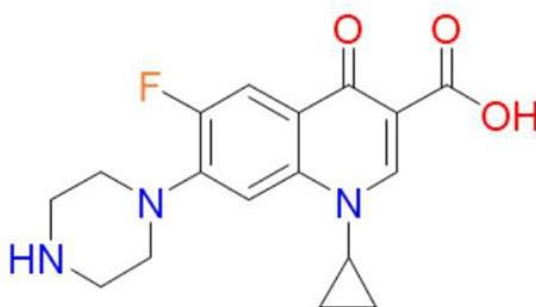
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit menjadi GO sebagai adsorben pada teknik DSPE, khususnya dalam penyerapan antibiotik CIP di lingkungan perairan serta mengetahui kondisi optimum dari variabel yang memengaruhi hasil adsorpsi menggunakan RSM.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Antibiotik *Ciprofloxacin*

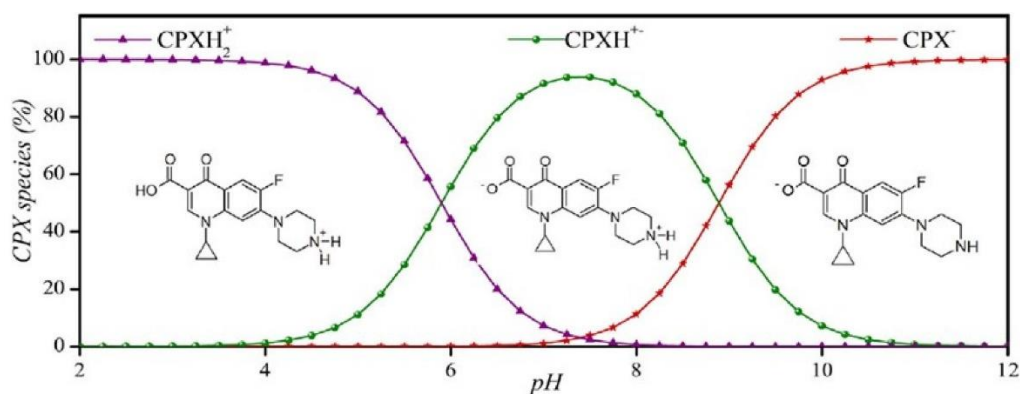
Antibiotik berasal dari bahasa Yunani, yaitu *anti* yang artinya melawan dan *biotikos* artinya berhubungan dengan kehidupan. Secara umum, antibiotik dapat didefinisikan sebagai zat kimia, alami, atau sintetik, yang memiliki efek spesifik terhadap mikroorganisme, terutama bakteri atau protozoa, yang dapat mengurangi bahkan menghentikan perkembangbiakan mikroba tersebut. Pada awalnya, antibiotik diyakini hanya terbatas pada bidang medis manusia (Khmaissa *et al.*, 2024). Namun, saat ini penggunaan antibiotik diperluas di berbagai sektor seperti kebersihan, pertanian, peternakan, perikanan, dan lain-lain. Sehingga, antibiotik dapat diklasifikasikan berdasarkan struktur kimianya dan mekanisme kerjanya (Barathe *et al.*, 2024).

Ciprofloxacin (CIP) merupakan antibiotik dari kelompok *fluoroquinolone* (FQ) yang memiliki nama molekul *1-cyclopropyl-6-fluoro-4-oxo-7-(piperazine-1-yl)-1,4-dihydroquinoline-3-carboxylic acid* dengan berat molekul 331.34 g/mol dan rumus kimianya, yaitu $C_{17}H_{18}FN_3O_3$ (Zhang *et al.*, 2018). Gugus fluor pada posisi C-6 dan gugus piperazin pada C-7 menyebabkan perluasan spektrum antimikroba CIP. Kelompok piperazin, juga ditemukan pada *cefoperazone* dan *piperacillin*, meningkatkan aktivitas CIP melawan *Pseudomonas*. Gugus siklopropil pada posisi C-1 memiliki keterkaitan dengan aktivitas antibakteri CIP yang tinggi (Shariati *et al.*, 2022). Berikut merupakan struktur dari CIP dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur kimia CIP (Shariati *et al.*, 2022)

CIP memiliki kelarutan yang bergantung pada pH. Kelarutannya maksimum pada pH di bawah 5 dan minimum mendekati titik isoelektrik (pH 7) (Sharma *et al.*, 2017). CIP mampu berada dalam tiga bentuk pada larutan, yaitu dalam bentuk kationik (dengan gugus amino terprotonasi pada pH di bawah $5,90 \pm 0,15$), dalam bentuk anionik (dengan gugus asam karboksilat terdeprotonasi pada pH di atas $8,89 \pm 0,11$) dan bentuk *zwitterionic*. Pada bentuk *zwitterionic* ditemukan paling sensitif terhadap fotodegradasi pada pH sedikit basa (Tatarchuk *et al.*, 2023). Bentuk CIP dalam keadaan ion pada berbagai pH dapat dilihat pada Gambar 2.



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

Menurut salah satu studi yang telah dilakukan, residu CIP dilaporkan telah terdeteksi di perairan Hyderabad, India melalui penelitian yang dilakukan oleh Konda *et al.* (2024), CIP adalah salah satu antibiotik yang paling sering ditemukan dalam air limbah, dengan konsentrasi $19,295 \pm 4,16 \mu\text{g/L}$. Sementara, perkiraan konsentrasi CIP tanpa efek dilaporkan sebesar $0,064 \mu\text{g/L}$ (Yakamercan *et al.*, 2024). Residu CIP sangat berbahaya karena dapat menyebabkan terjadinya

resistensi bakteri dan efek ekotoksilogi, efek kondrotoksik pada hewan, serta menimbulkan beberapa penyakit seperti infeksi usus dan kulit pada manusia (Azriouil *et al.*, 2022).

2.2. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Kelapa sawit merupakan tanaman perkebunan penting penghasil minyak makanan, minyak industri maupun bahan bakar nabati (biodiesel) (Rosmegawati, 2021). Sentra komoditas sawit Indonesia adalah Pulau Sumatra. Daerah pengembangan kelapa sawit di Sumatra adalah Provinsi Lampung. Pada tahun 2021, perkebunan kelapa sawit di Provinsi Lampung mencapai 109.976 ha, dengan produksi 203.893 ton, dan produktivitas rata-rata 2,2 ton/ha (Badan Pusat Statistik, 2022). Hal ini berbanding lurus dengan limbah yang dihasilkan. Limbah kelapa sawit merupakan sisa hasil dari proses budidaya tanaman kelapa sawit, industri pengolahan sawit menjadi CPO, maupun pengolahan bagian kernel menjadi minyak inti sawit / *Palm Kernel Oil* (PKO) (Praevia dan Widayat, 2022).

Tandan kosong kelapa sawit merupakan salah satu limbah yang dihasilkan dari proses produksi minyak kelapa sawit dengan volume mencapai 25% tandan buah segar (Sari *and* Malik, 2023). Umumnya, TKKS belum dimanfaatkan secara maksimal sehingga menimbulkan bau busuk, menjadi tempat bersarangnya serangga dan mencemari lingkungan (Aktawan *et al.*, 2020). Oleh karena itu, pemanfaatan TKKS secara efektif sangat diperlukan. TKKS mengandung 41,3-45% selulosa, 25,3-33,8% hemiselulosa, dan 27,6-32,5% lignin serta komponen-komponen tersebut tersusun atas sejumlah karbon, yaitu 40,93-68,3% dalam satu tandan yang digunakan sebagai sumber karbon (Hardi dkk., 2021; Said *et al.*, 2023). Komponen yang terkandung pada TKKS dapat dilihat pada Tabel 1.

TKKS dapat dimanfaatkan sebagai adsorben dengan memanfaatkan kandungan karbon yang tinggi sebagai karbon aktif atau sebagai komposisi utama dalam penyusunan GO (Aziz *et al.*, 2023; Elias *et al.*, 2021). Kandungan selulosa pada TKKS dapat berkontribusi pada pembentukan grafit dan menghasilkan karbon

bebas (Kayiwa *et al.*, 2021). GO TKKS dapat dimanfaatkan sebagai adsorben karena sifatnya yang memiliki luas permukaan tinggi dan mudah dimodifikasi secara kimia serta memiliki kemampuan adsorpsi yang sangat baik (Wang *et al.*, 2017). Berdasarkan komposisi penyusunnya, TKKS dapat digunakan sebagai adsorben berbasis GO. Selama ini, pemanfaatan adsorben TKKS difokuskan pada penghilangan pewarna dan logam berat dari air limbah (Somsiripan *and* Sangwichien, 2023; Thoe *et al.*, 2019). Gambar TKKS dilihat pada Gambar 3.

Tabel 1. Komponen yang terkandung dalam TKKS

Kandungan	Kadar (%)
Karbon	40,93-68,3
Lignin	27,6-32,5
Hemiselulosa	25,3-33,8
Selulosa	41,3-45

(Hardi dkk., 2021; Said *et al.*, 2023)



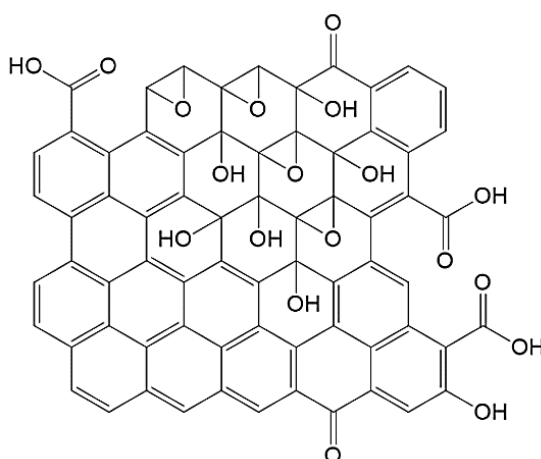
Gambar 3. Tandan kosong kelapa sawit (Sukma dan Asmawit, 2017)

2.3. Graphene Oxide (GO)

Graphene merupakan alotrop karbon yang berbentuk lembaran tipis dan tersusun dalam kisi heksagonal dari sebuah atom berikatan sp^2 (Nuriskasari dkk., 2023). Satu lapisan grafit akan membentuk *graphene* dengan bentuk dua dimensi yang dikemas dalam struktur cincin benzena (Hanifa *and* Dwandaru, 2021). Sistem *phi*

yang kaya elektron dan permukaan yang sangat hidrofobik menjadikan *graphene* sebagai adsorben potensial dalam menghilangkan berbagai jenis polutan organik dari air limbah (Abbo *et al.*, 2021). Akan tetapi, kecenderungan *graphene* untuk membentuk agregasi dalam larutan akibat kuatnya interaksi π - π dan gaya *van der Waals* di antara lembaran *graphene*, dapat menurunkan luas permukaan dan kemampuan adsorpsi. Salah satu bahan turunan *graphene* yang dapat memberikan sifat yang sesuai pada permukaan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi adalah *Graphene Oxide* (Neolaka *et al.*, 2020).

Graphene Oxide (GO) adalah struktur karbon berlapis dengan gugus fungsi yang mengandung oksigen, seperti karbonil ($=O$), hidroksil ($-OH$), epoksi ($-O-$), asam karboksilat ($-COOH$), dan melekat pada kedua sisi lapisan serta tepi bidang. Seperti halnya material karbon 2D lainnya, GO juga dapat memiliki struktur lapisan tunggal atau multilapis (Jiříčková *et al.*, 2022). Dalam temuan Lerf dan Klinowski, model struktur GO yang disebut model L-K, telah diterima bahwa di antara gugus-gugus ini, gugus fenolik dan epoksida terdapat pada tingkat dasar. Sedangkan gugus karboksilat terdapat pada bagian tepinya. Sehingga, GO bersifat hidrofilik dan mudah terdispersi dalam air, tidak seperti *graphene* yang bersifat hidrofobik. Selain itu, interaksi permukaan GO jauh lebih tinggi karena mereka memiliki domain aromatik (sp^2) dan alifatik (sp^3) (Singh *et al.*, 2023). Berikut merupakan struktur GO ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur GO (Jiříčková *et al.*, 2022)

Pada GO adanya gugus fungsi hidrofilik yang mengandung oksigen ini mendorong adsorpsi polutan bermuatan positif dari air limbah. Dengan demikian,

GO dapat digunakan dalam menghilangkan polutan dari air limbah (Abbo *et al.*, 2021), seperti pewarna dan ion logam (Zhang *et al.*, 2023). Selain itu, akibat adanya gugus fungsi yang melimpah, luas permukaan yang besar, dan efisiensi yang sangat baik maka GO banyak digunakan untuk menghilangkan antibiotik dari air permukaan (Radmehr *et al.*, 2021). Penelitian sebelumnya mengungkapkan bahwa GO telah digunakan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi *Metformin*, *Acetaminophen*, *Diclofenac* (Almeida-Naranjo *et al.*, 2023) dan lain-lain.

GO dapat disintesis menggunakan berbagai metode, untuk sintesis kimia yang menghasilkan GO, terdapat tiga metode utama yang telah dilakukan dalam beberapa tahun terakhir, yaitu metode Brodie, metode Staudenmaier, metode Hummer dan metode Hummer termodifikasi. Perbedaan antara ketiga metode ini adalah bilangan oksidasi dapat divariasikan berdasarkan stoikiometri, kondisi reaksi (tekanan, suhu, dll), jenis grafit, dan jenis sumber grafit (Omar *et al.*, 2022). Di antara metode-metode tersebut adalah sebagai berikut:

1. Metode Brodie

Pada tahun 1859, Brodie telah mensintesis GO. Ia menggunakan sistem asam nitrat berasap dan kalium klorat sebagai oksidan, dan mencampurkan bubuk grafit dan asam nitrat berasap dalam lingkungan campuran air es. Reaksi dilakukan selama kurang lebih 24 jam, kemudian pada suhu 60 °C selama 4 hari pada suhu konstan, dicuci dengan air sebanyak 4 kali, diperoleh padatan berwarna kuning setelah dikeringkan pada suhu 100 °C. Produknya disebut asam grafit, yang kemudian disebut *graphene oxide* (GO). Namun, penggunaan KClO_3 menimbulkan risiko ledakan pada proses ini (Liu *et al.*, 2022).

2. Metode Staudenmaier

Sintesis GO menggunakan metode Staudenmaier, serpihan grafit berkualitas tinggi digunakan sebagai bahan awal. Asam sulfat pekat (H_2SO_4) dan asam nitrat (HNO_3) bertindak sebagai oksidator, sedangkan kalium klorat (KClO_3) membantu dalam proses oksidasi. Serpihan grafit digabungkan dengan larutan asam dalam bejana reaksi, diaduk pada suhu terkontrol, dan dipanaskan selama beberapa jam. Penambahan KClO_3 secara bertahap berlangsung selama proses ini. Setelah oksidasi, campuran reaksi didinginkan dengan cepat dengan

menuangkannya ke dalam air deionisasi atau larutan asam. Campuran yang dihasilkan kemudian disaring untuk mengumpulkan produk padat, yaitu GO. Pencucian berulang kali dengan air atau pelarut dilakukan untuk menghilangkan kotoran dari GO yang dikumpulkan. Namun, metode ini juga dapat menghasilkan gas klor yang beracun sehingga tidak umum digunakan (Anegbe *et al.*, 2024).

3. Metode Hummers

Metode Hummers adalah metode yang paling banyak digunakan untuk sintesis GO, karena GO yang dihasilkan memiliki konsentrasi gugus fungsi oksigen yang tinggi, sehingga sangat hidrofilik (Anegbe *et al.*, 2024). Metode ini menggunakan H_2SO_4 untuk mengelupas grafit dengan NaNO_3 dan KMnO_4 sebagai oksidator grafit. Metode Hummers mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan metode Brodie dan Staudenmaier. Pertama, KMnO_4 sebagai oksidan kuat membantu mempercepat reaksi sehingga sintesis dapat tercapai dalam beberapa jam. Kedua, tidak digunakannya klorat sehingga menghilangkan kemungkinan ledakan ClO_2 . Ketiga, substitusi fumigasi dengan NaNO_3 menghilangkan kabut asam yang dihasilkan oleh HNO_3 . Kerugiannya adalah pelepasan gas nitrogen oksida pada reaksi tidak dapat sepenuhnya dihindari, begitu pula kontaminasi logam berat, sedangkan Na dan NO_3 dalam produk tidak mudah dihilangkan. Selain itu juga, terdapat risiko ledakan MnO_2 yang dihasilkan oleh reaksi kalium permanganat dalam asam sulfat pekat dingin di atas $55\text{ }^\circ\text{C}$ (Liu *et al.*, 2022; Sujiono *et al.*, 2020).

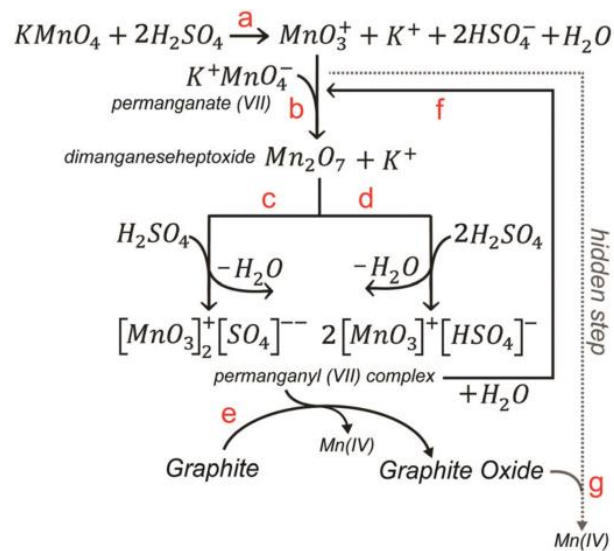
4. Metode Hummers Termodifikasi

Metode ini merupakan pengembangan dari metode Hummers, dimana NaNO_3 dihilangkan, meningkatkan jumlah oksidan KMnO_4 , dan melakukan reaksi dalam campuran $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_3\text{PO}_4$ dengan perbandingan volume 9:1 (Rao *et al.*, 2021). Reaksi KMnO_4 dengan asam sulfat (H_2SO_4) menghasilkan MnO_3^+ dan membentuk diamangan heptoksida (Mn_2O_7) yang merupakan spesies aktif untuk mengoksidasi grafit. Mn_2O_7 jauh lebih reaktif dibandingkan senyawa monometalik tetraoksida (MnO_4^-) dan diketahui bahwa Mn_2O_7 akan meledak bila dipanaskan pada suhu lebih dari $55\text{ }^\circ\text{C}$ atau bila bersentuhan dengan senyawa organik (Santamaria *et al.*, 2019). Mn_2O_7 bereaksi dengan H_2SO_4

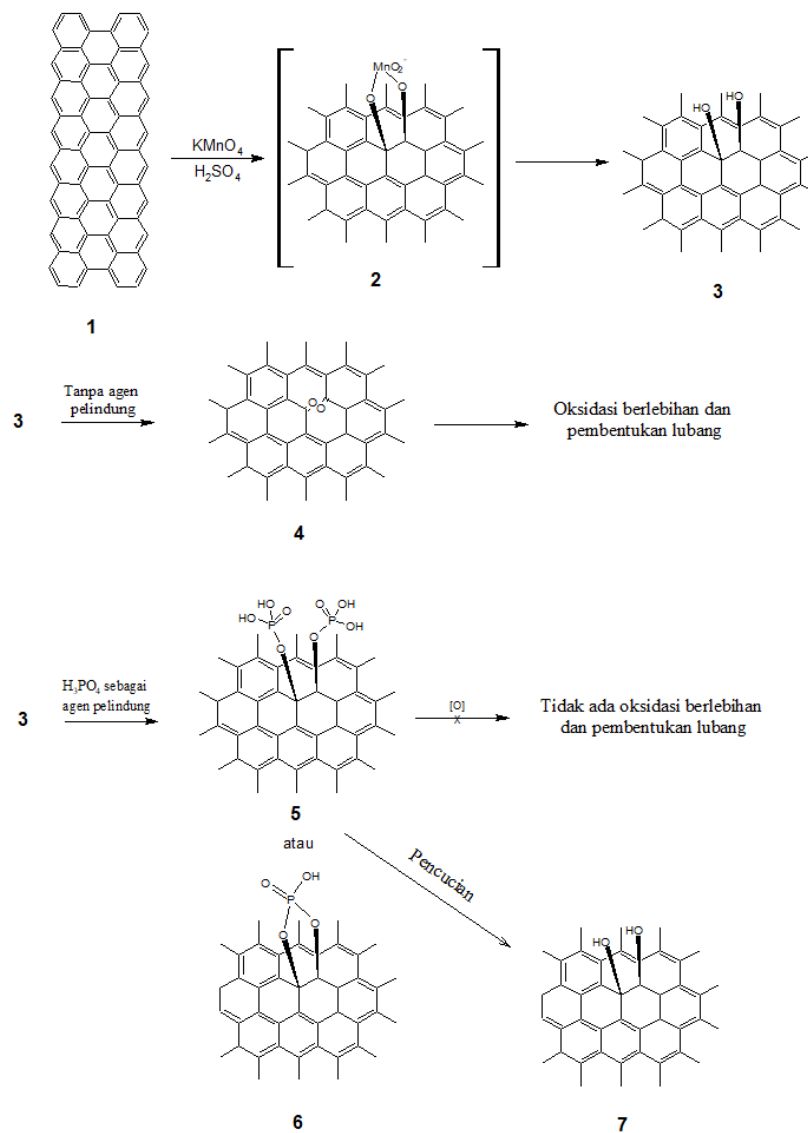
menghasilkan kompleks permanganil (VII) yang tereduksi menjadi Mn (IV) dan mengoksidasi grafit menjadi grafit oksida. Lalu, Mn (IV) bereaksi lebih lanjut dengan H_2SO_4 menjadi garam mangan sulfat dan MnO_4^- bertindak pada proses oksidasi tahap II (*Hidden Step*) setelah penambahan air sebelum dilakukan penambahan H_2O_2 (Brisebois *and* Siaj, 2020). Skema proses oksidasi grafit menjadi GO ditunjukkan pada Gambar 5.

Sementara, penambahan H_3PO_4 membantu menstabilkan campuran reaksi dan mengurangi risiko ledakan. Kombinasi kedua asam ini mempermudah pengendalian suhu selama reaksi dan mengurangi produksi gas beracun, sehingga meningkatkan keamanan dan efisiensi proses sintesis GO (Marcano *et al.*, 2010). Selain itu, penggunaan H_3PO_4 juga berfungsi sebagai agen pelindung yang melindungi lembaran *graphene* dari oksidasi berlebihan, membantu mempertahankan struktur dan sifat-sifat yang diinginkan dari GO, sehingga GO yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik (Sohail *et al.*, 2017). Hal tersebut dapat dijelaskan pada Gambar 6. Skema tersebut menunjukkan proses sintesis GO dari grafit (1) yang dioksidasi menggunakan KMnO_4 dan H_2SO_4 (2), membentuk gugus epoksi dan hidroksil pada permukaan (3), namun tanpa agen pelindung (4) akan terjadi oksidasi berlebih yang menyebabkan pembentukan lubang pada struktur *graphene*, sedangkan dengan penambahan H_3PO_4 sebagai agen pelindung (5), oksidasi menjadi lebih terkontrol sehingga mencegah kerusakan struktur dan lubang, menghasilkan struktur GO yang lebih utuh (6) yang kemudian dapat diproses kembali membentuk gugus hidroksil dan epoksi (7) untuk menghasilkan GO dengan struktur yang kaya gugus fungsional dan minim kerusakan.

Pada akhir reaksi penambahan H_2O_2 bertujuan untuk mengurangi kelebihan KMnO_4 dan menghentikan reaksi oksidasi. Hasilnya adalah suspensi GO (Hashmi *et al.*, 2022). Keunggulan dari metode Hummer yang telah dimodifikasi, yaitu sederhana, biaya produksi lebih rendah dan bahan yang digunakan ramah lingkungan, menghasilkan GO yang teroksidasi dengan baik dan lebih hidrofilik, konduktivitas lebih baik, dan tidak menghasilkan gas berbahaya (Safira *et al.*, 2023; Chasanah *et al.*, 2021).

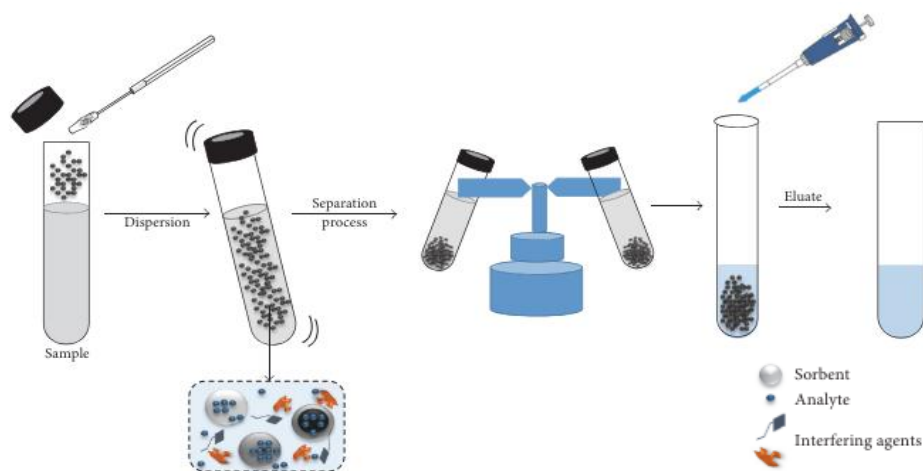


Gambar 5. Skema proses oksidasi grafit menjadi GO

Gambar 6. Skema peran H_3PO_4 dalam pembentukan GO (Sohail *et al.*, 2017)

2.4. Dispersive Solid Phase Extraction (DSPE)

Dispersive solid phase extraction (DSPE) atau ekstraksi fase padat dispersif merupakan suatu teknik yang ditemukan sekitar tahun 2000an dan telah berhasil diterapkan sebagai metode ekstraksi, isolasi, dan pemurnian dalam perlakuan analitik terhadap berbagai macam obat hewan dan industri peternakan (Anastassiades *et al.*, 2003). Metode DSPE menjadi salah satu metode ekstraksi utama yang digunakan untuk melakukan pra-konsentrasi dan memisahkan beberapa analit organik/anorganik dari matriks kompleks sebelum dilakukan analisis kualitatif atau kuantitatif. Pada metode ini, sejumlah kecil sorben ditambahkan langsung ke dalam sampel/larutan standar dan proses pencampuran diterapkan pada larutan ini untuk mendispersikan sorben ke dalam larutan. Proses dispersi ini meningkatkan area kontak antara sorben dan analit. Setelah dispersi, sorben diisolasi dengan proses sentrifugasi atau filtrasi. Setelah fase padat diisolasi, analit atau gangguan yang teradsorpsi pada permukaan sorben dapat dengan mudah dielusi atau dihilangkan dengan penambahan pelarut yang sesuai (Öner *et al.*, 2023; Islas *et al.*, 2017). Skema proses DSPE dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema proses DSPE (Islas *et al.*, 2017)

Metode sederhana ini memastikan permukaan kontak yang tinggi antara sorben dan sampel. Sehingga memungkinkan keseimbangan ekstraksi tercapai dengan cepat. Artinya, metode ini menghasilkan proses yang cepat dan terbukti efektif, serta mengingat jumlah sorben dan pelarut yang dibutuhkan sangat sedikit,

metode ini dapat dipandang sebagai metode yang lebih ramah lingkungan dibandingkan ekstraksi fase padat standar. Selain itu, tidak memerlukan tahap pengkondisian, dan *recovery* ekstraksi yang tinggi (Ścigalski *and* Kosobucki, 2020; Zhang *et al.*, 2022).

Adsorpsi merupakan fenomena *reversible* dimana atom, ion atau molekul terakumulasi pada permukaan adsorben. Di sisi lain, pemisahan atom, ion atau molekul dari permukaan adsorben didefinisikan sebagai desorpsi. Zat yang terakumulasi pada permukaan adsorben disebut adsorbat dan zat pengadsorpsi disebut adsorben. Proses adsorpsi berlangsung melalui interaksi antara adsorbat dan pusat aktif adsorben. Proses adsorpsi terjadi karena gaya antar molekul tidak seimbang pada permukaan batas bahan dan terjadi penumpukan pada permukaan batas (Büyüktiryaki *et al.*, 2020). Beberapa faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi suatu bahan, yaitu:

1. Karakteristik fisik dan kimia adsorben, antara lain luas permukaan, ukuran pori, adsorpsi kimia dan sebagainya.
2. Karakteristik kimia adsorbat, antara lain ukuran molekul, polaritas molekul, komposisi kimia dan sebagainya.
3. Konsentrasi adsorbat dalam larutan.
4. Karakteristik larutan, antara lain pH dan temperatur.
5. Lama waktu adsorpsi (Anggriani dkk., 2021).

Penggunaan adsorben pada metode DSPE untuk ekstraksi senyawa target dapat menggunakan adsorben dalam skala nano. Salah satunya, yaitu *graphene oxide*, karena bersifat hidrofilik sehingga dapat membentuk koloid berair yang stabil dan memiliki banyak gugus yang mengandung oksigen reaktif, dengan tetap mempertahankan struktur dasar *graphene*. Efek hidrofilik yang kuat dihasilkan dari gugus fungsi teroksigenasi memberikan GO dengan dispersi yang baik dalam berbagai pelarut, khususnya air. Selain ikatan hidrogen, interaksi koordinasi dan interaksi elektrostatis dengan senyawa organik juga dapat dilakukan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi GO. Jarak antara lapisan atom karbon di GO juga lebih besar karena adanya gugus teroksigenasi, sehingga menghasilkan efisiensi adsorpsi yang lebih tinggi (Jing *et al.*, 2021; Mateos *et al.*, 2019).

2.5. Karakterisasi

2.5.1. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Spektroskopi FTIR adalah suatu alat atau instrumen yang digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi. Spektroskopi FTIR dapat menganalisis adanya campuran dalam sampel tanpa merusak sampel yang akan dianalisisnya (Andriansyah *et al.*, 2021). Spektrometri FTIR dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan yang dihadapi dengan instrumen dispersif karena proses pemindaian yang lambat. Sehingga, sebuah solusi dikembangkan dengan menggunakan perangkat optik yang sangat sederhana disebut interferometer. Interferometer menghasilkan jenis sinyal unik yang seluruh frekuensi inframerahnya “dikodekan” ke dalamnya. Sinyal dapat diukur dengan sangat cepat, biasanya dalam waktu kurang lebih satu detik (Ganzoury *et al.*, 2015).

Prinsip kerja dari instrumen ini, yaitu interaksi suatu molekul dengan radiasi elektromagnetik dimana ketika molekul tersebut menyerap radiasi inframerah (IR), maka mode vibrasinya peregangan dan pembengkokan dipol listrik berubah menjadi keadaan tereksitasi. Gugus fungsi dalam molekul organik menyerap IR sesuai dengan mode getaran karakteristiknya. Alat analisa FTIR mengukur IR yang diserap untuk mengidentifikasi komposisi molekul permukaan, isomer struktural dan geometri, orientasi dalam polimer dan larutan, dan mengukur pengotor (Guerrero-Pérez and Patience, 2020; Nurhamzah dkk., 2024).

Berdasarkan bilangan gelombangnya, inframerah dibagi menjadi tiga bagian, yaitu inframerah dekat ($12800\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$), inframerah tengah ($4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$), dan inframerah jauh ($400\text{--}10\text{ cm}^{-1}$). Berdasarkan interaksi radiasi dengan molekul, wilayah inframerah tengah lebih umum digunakan dibandingkan wilayah lain dalam analisis kualitatif dan kuantitatif (Song *et al.*, 2020).

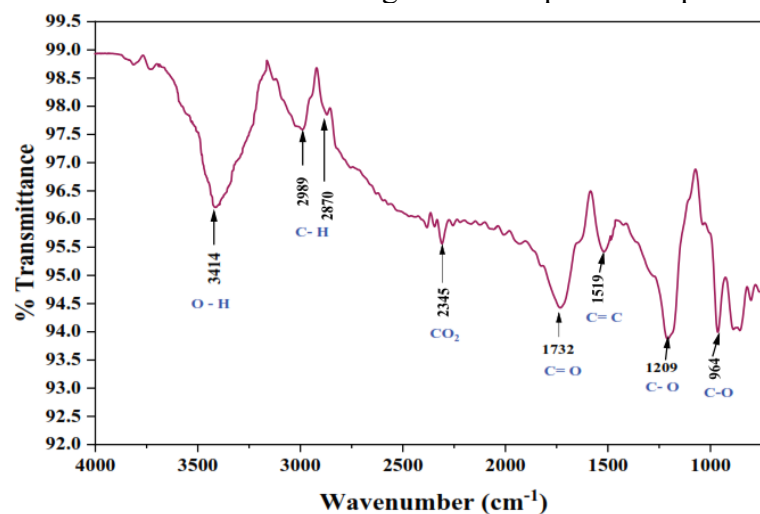
Gugus fungsional pada GO terdiri dari gugus karbonil (C=O), aromatik (C=C), karboksil (-COOH), epoksi (C-O-C), dan hidroksil (O-H) (Surekha *et al.*, 2020). Hal ini terkonfirmasi pada penelitian yang telah dilakukan oleh Eksik *et al.*, (2023) pada konversi grafit menjadi GO. Pita vibrasi peregangan O-H yang kuat

dan luas pada 3414 cm^{-1} disebabkan oleh oksidasi yang luas yang terjadi pada permukaan GO. Puncak-puncak yang signifikan disebabkan oleh vibrasi peregangan C-H pada 2989 cm^{-1} , pita vibrasi peregangan C=O dari gugus karboksilat pada 1732 cm^{-1} , pita peregangan C=C aromatik pada 1519 cm^{-1} , peregangan C-O simetris pada gugus C-O-C berada di 1209 cm^{-1} , dan pita C-O (epoksi) pada 964 cm^{-1} . Spektra FTIR dari GO menunjukkan kesesuaian yang baik dengan penelitian sebelumnya (Ahmed *et al.*, 2021). Bilangan gelombang pada beberapa gugus fungsi dapat ditunjukkan pada Gambar 8.

NAME	POSITIONS OF INFRARED BANDS	
Aliphatic	C-H	
Methyl	2960	
Methylene	2930	
Unsaturated	C=C	
Alkenes	3050	1640
Vinyl	910	1640
Vinylidene	890	1640
Cis	700	1640
Trans	965	1670
Alkynes	3200	2200
Aromatics	Ring	
Mono	750	700
Ortho	750	...
Meta	782	700
Para	817	...
Oxygen Groups	C-O	O-H
Ether	1100	
Alcohol	1100	3350
Carbonyl Groups	C=O	
Aldehyde	2700	1730
Ketone		1700
Ester	1200	1740
Carboxylic Acid	3100	1720
Nitrogen Groups	N-H	C≡N
Amide	1640	3200
Amine		3300
Nitrile		2250

Gambar 8. Bilangan gelombang pada beberapa gugus fungsi

Contoh spektrum hasil karakterisasi dengan FTIR dapat dilihat pada Gambar 9.



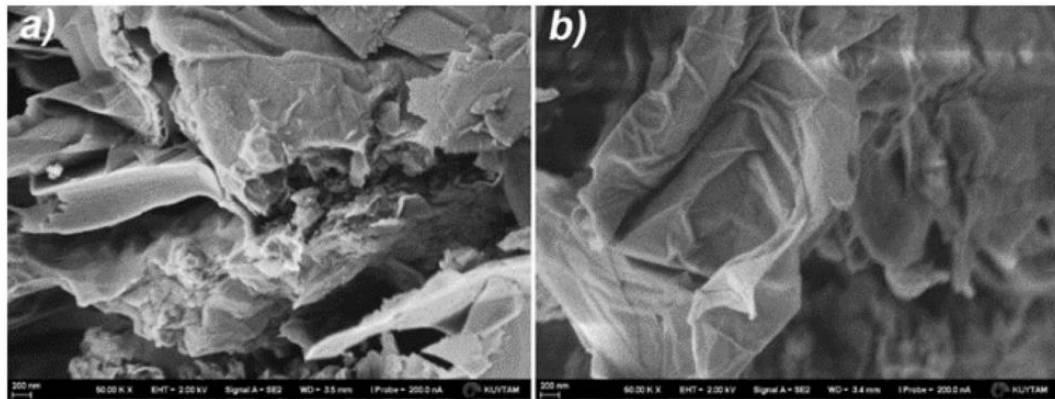
Gambar 9. Spektrum FTIR GO

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

Scanning Electron Microscopy adalah mikroskop elektron yang dirancang untuk mengamati permukaan benda padat secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10-3.000.000x, kedalaman bidang 4-0,4 mm dan resolusi 1-10 nm. SEM memfokuskan seberkas elektron pada permukaan objek dan mengambil gambar dengan cara mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan objek. Fungsi dari instrumen SEM, antara lain untuk memperoleh informasi tentang topografi, morfologi, dan komposisi suatu sampel yang dianalisis. SEM bekerja dengan prinsip membentuk suatu gambar dengan menembakkan suatu sinar elektron berenergi tinggi antara 1-20V melewati sampel dan kemudian mendeteksi ‘*Secondary electron*’ dan ‘*Backscattered electron*’ yang dikeluarkan. ‘*Secondary electron*’ berasal 5-15 nm dari permukaan sampel dan memberikan informasi topografi dan untuk tingkat yang kurang, pada variasi unsur dalam sampel. Sementara, ‘*Backscattered electron*’ terlepas dari daerah sampel yang lebih dalam dan memberikan informasi terutama pada jumlah atom rata-rata dari sampel (Hidayanti and Harnovan, 2020; Siswanto dan Wiyono, 2020).

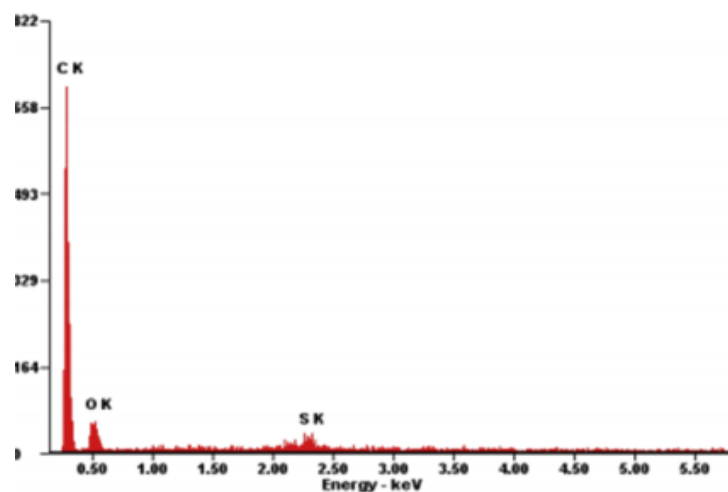
Instrumen SEM dapat digabungkan dengan *Energy Dispersive X-ray* yang menghasilkan komposisi elemen kimia semi-kuantitatif dari sampel yang dianalisis. Namun demikian, resolusi yang berkaitan dengan analisis kimia masih terbatas pada $\sim 1 \mu\text{m}$ melalui penyebaran sinar, walaupun kedalaman fokus yang lebih besar dan resolusi yang lebih tinggi dapat dijangkau oleh SEM (González-Santamaría *et al.*, 2021). SEM-EDX merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui struktur morfologi dan kandungan unsur dalam suatu sampel secara kuantitatif maupun kualitatif. Penggunaan instrumen SEM-EDX ini memiliki keuntungan dimana memiliki kemampuan untuk mengamati daerah yang sangat sempit. Hasil analisis SEM-EDX yang berbentuk tampilan gambar ini dipengaruhi oleh komposisi unsur-unsurnya. Unsur logam dengan nomor atom lebih tinggi menghasilkan warna terang atau putih, sedangkan logam dengan nomor atom lebih rendah menghasilkan warna gelap atau hitam (Husein *et al.*, 2019). EDX bekerja dengan memanfaatkan sinar-X yang ditembakkan pada area tertentu untuk

mendeteksi komposisi unsur. Setelah sinar-X ditembakkan, akan muncul puncak-puncak spesifik yang mewakili unsur-unsur yang ada. Selain itu, EDX juga dapat menghasilkan pemetaan elemen dengan menunjukkan elemen-elemen di permukaan sampel melalui warna yang berbeda (Scimeca *et al.*, 2018). Gambar hasil karakterisasi grafit dan GO dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Gambar SEM dari (a) grafit dan (b) GO (Eksik *et al.*, 2023)

Gambar 10a menunjukkan terjadinya beberapa tumpukan dalam struktur grafit. Setelah proses oksidasi, jumlah tumpukan pada Gambar 10b lebih sedikit, yang menunjukkan bahwa struktur grafit telah terkelupas. Dari gambar-gambar ini tampak jelas bahwa proses oksidasi berlangsung dengan sukses. Sementara hasil karakterisasi GO dengan EDX dapat dilihat pada Gambar 11, di mana puncak tertinggi diperoleh untuk karbon yang mengandung oksigen dan sulfur.

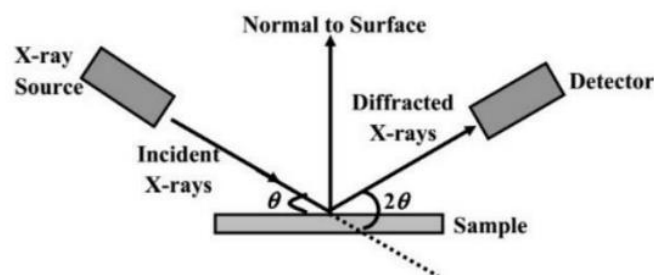


Gambar 11. Hasil EDX dari GO (Sujiono *et al.*, 2020)

2.5.3. X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction adalah suatu metode atau instrumen yang digunakan untuk menentukan struktur atom dan molekul suatu kristal dengan cara mendifraksikan seberkas sinar-X ke segala arah. Secara umum, fungsi dari alat XRD adalah untuk mengidentifikasi dan menganalisa fasa dari suatu material, baik yang berbentuk serbuk maupun padatan, baik yang berbentuk polikristalin maupun amorf. XRD dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif. Dalam analisis kuantitatif, data yang disajikan meliputi dua sudut *theta*, intensitas puncak, dan jumlah konstanta kisi. Untuk analisis kualitatif, data yang disajikan meliputi analisis fasa, yang dapat berupa identifikasi jenis fasa, komposisi fasa (persentase), ukuran kristalit, orientasi, dan lain-lain (Fatimah *et al.*, 2022).

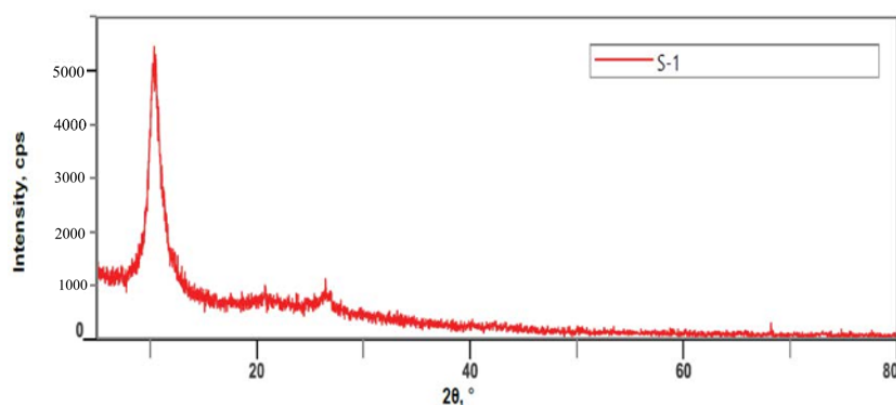
Prinsip dasar XRD adalah mendifraksikan cahaya melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi atau kristal dapat terjadi jika difraksi tersebut berasal dari jari-jari yang memiliki panjang gelombang yang setara dengan jarak antar atom, yaitu sekitar 1 angstrom. Radiasi yang digunakan berupa radiasi sinar-X, elektron, dan neutron. Sinar-X adalah foton dengan energi tinggi yang memiliki panjang gelombang berkisar antara 0,5-2,5 angstrom. Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, sebagian berkas akan diserap, ditransmisikan, dan sebagian lagi dihamburkan dalam bentuk difraksi. Difraksi yang tersebar inilah yang dideteksi oleh XRD sesuai Hukum Bragg. Berkas sinar-X yang tersebar ada yang saling meniadakan karena fasanya berbeda dan ada pula yang saling menguatkan karena fasanya sama. Difraksi sinar-X yang diperoleh merupakan pola difraksi yang khas dari material tersebut (Hakim dkk., 2019). Gambar 12 mengilustrasikan prinsip dasar XRD.



Gambar 12. Ilustrasi prinsip dasar XRD (Fatimah *et al.*, 2022)

Pola difraktogram yang dihasilkan berupa deretan puncak-puncak difraksi yang bereaksi dengan intensitas relatif yang bervariasi sepanjang nilai 2θ tertentu. Intensitas relatif dari deretan puncak-puncak tersebut bergantung pada jumlah atom atau ion dan distribusinya di dalam sel satuan material. Pola difraksi setiap padatan kristal sangat khas bergantung pada kisi kristal, unit parameter, dan panjang gelombang sinar-X yang digunakan. Dengan demikian, sangat kecil kemungkinannya pola difraksi yang sama akan dihasilkan untuk padatan kristal yang berbeda (Fatimah *et al.*, 2022).

Contoh hasil karakterisasi GO dengan XRD diperoleh puncak yang luas teramati pada $2\theta = 10,399^\circ$ yang sesuai dengan jarak antar lapisan $8,5 \text{ \AA}$, yang konsisten dengan nilai literatur $2\theta = 11,4^\circ$ dan jarak $d = 7,8 \text{ \AA}$ (Ahmed *et al.*, 2021). Contoh tersebut dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Hasil XRD dari GO (Ahmed *et al.*, 2021)

2.6. Response Surface Method (RSM)

Response Surface Method adalah kumpulan metode statistik dan matematika yang berguna untuk mengembangkan, meningkatkan, dan mengoptimalkan proses. Metodologi ini juga memiliki aplikasi penting dalam desain, pengembangan, dan formulasi produk baru, serta dalam peningkatan desain produk yang sudah ada (Myers *et al.*, 2011). Dalam teknik ini, tujuan utamanya adalah untuk mengoptimalkan permukaan respon (variabel *output*) yang dipengaruhi oleh berbagai parameter proses/independen (variabel *input*). Metode RSM didasarkan pada kecocokan model matematika (linier, fungsi polinomial kuadrat, dan lainnya)

dengan hasil eksperimen yang dihasilkan dari percobaan yang dirancang dan verifikasi model yang diperoleh dengan menggunakan teknik statistik (Ye *et al.*, 2017).

Penerapan metode RSM dalam proses optimasi, hanya dibutuhkan waktu yang singkat untuk menguji semua variabel yang telah ditentukan, sehingga tahap uji laboratorium menjadi lebih efisien dan efektif (Said *and* Amin, 2015).

Berdasarkan keunggulan dalam menentukan kondisi optimal suatu percobaan serta mengetahui dan memahami pengaruh variasi terhadap respon yang dilakukan menggunakan RSM, beberapa penelitian dilakukan seperti optimasi adsorpsi CIP dengan *graphene* hidrogel (Sun *et al.*, 2019), *removal* antibiotik *cephalexin* dengan magnetik GO nanokomposit (Alishiri *et al.*, 2023), optimasi ekstraksi polifenol (Szopa *et al.*, 2024) dan lain-lain.

Keterkaitan antara respon dan perlakuan atau variabel independen dapat dianalisis dengan menentukan bentuk hubungannya. Dalam RSM, memungkinkan untuk menggambarkan parameter proses secara kuantitatif dalam bentuk Persamaan (1).

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, X_4 \dots, X_k) \pm \varepsilon \quad (1)$$

keterangan:

Y : Respon
 f : Fungsi respon
 $X_1, X_2, \dots, X_k$: Variabel independen
 ε : *Error*

Langkah pertama dari RSM dengan menemukan fungsi pendekatan yang tepat untuk melihat hubungan antara respon Y dan faktor X melalui persamaan polinomial orde pertama (*first-order-model*). Pada pendekatan ini ciri utamanya, yaitu diperoleh hubungan yang linier dan bertujuan agar diperoleh daerah yang paling optimal. *First-order-model* ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon \quad (2)$$

keterangan:

Y : Respon
 β_0 : Intersep
 β_1, β_2 : Koefisien regresi variabel X_1, X_2
 ε : *Error*

Jika hubungan tidak linier, maka fungsi polinomial dengan orde yang lebih tinggi digunakan, yaitu fungsi polinomial orde kedua (*second-order-model*). Persamaan ini memiliki bentuk kuadrat dan biasanya terdapat kelengkungan serta berguna untuk mencari titik optimal. *Second-order-model* ditunjukkan pada Persamaan (3).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \varepsilon \quad (3)$$

keterangan:

Y : Respon

β_0 : Intersep

β_1 : Koefisien linier

β_{11} : Koefisien kuadratik

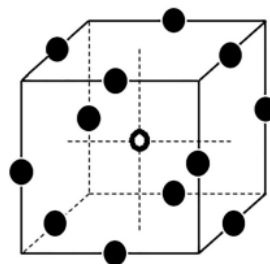
β_{12} : Koefisien interaksi perlakuan

X_1 : Kode perlakuan faktor ke-1

X_2 : Kode perlakuan faktor ke-2

ε : *Error*

Eksperimen optimasi statistik dapat dilakukan dengan desain yang berbeda didasarkan pada pilihan titik eksperimen dan jumlah run (percobaan), diantaranya adalah *full factorial 3-level design* (FFD), *Box–Behnken design* (BBD) dan *central composite design* (CCD) (Jasem *et al.*, 2021). BBD merupakan desain respon permukaan tiga tingkat desain faktorial yang tidak ada axial/star runs pada rancangannya. Sehingga, BBD paling sering digunakan karena membutuhkan jumlah percobaan yang lebih sedikit dan efisien. Representasi grafis BBD ditunjukkan pada Gambar 14 (Mahmoud *and* Mcconville, 2023; Szpisják-Gulyás *et al.*, 2023).



Gambar 14. Eksperimen BBD (Szpisják-Gulyás *et al.*, 2023)

Parameter statistik yang digunakan untuk memperkirakan interaksi antara faktor independen dan respons dapat ditentukan dengan *analysis of variants* (ANOVA). Hasil ANOVA diterapkan untuk mengevaluasi signifikansi dari model yang

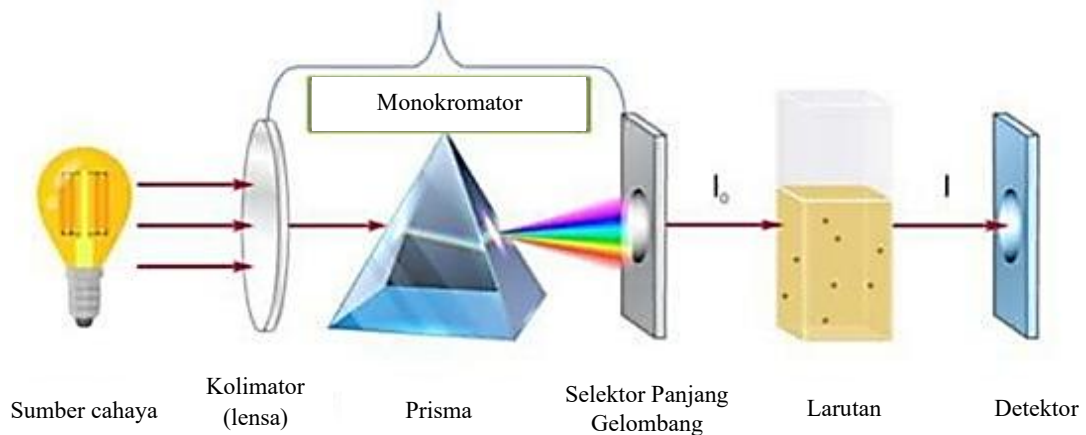
dibangun dan parameter operasi individu serta efek interaktifnya. Secara statistik, model yang sangat signifikan memiliki nilai probabilitas yang lebih rendah ($p\text{-value} < 0,05$) (Emeji and Patel, 2024). Korelasi yang kuat dengan data aktual memiliki nilai koefisien determinasi yang tinggi ($R^2 = 0,999$) atau mendekati 1, sehingga R^2 menandakan relevansi yang baik antara data percobaan dan data model yang diusulkan (Tobbi *et al.*, 2024). Nilai ketidaksesuaian model (*lack of fit*) menunjukkan hasil yang tidak signifikan atau lebih besar ($p\text{-value} > 0,05$) yang maknanya ketidaktepatan model kuadratik bersifat tidak signifikan atau tepat untuk digunakan. Sehingga, evaluasi pemodelan dikatakan memadai dengan memperhatikan $p\text{-value} < 0,05$; *lack of fit* ($p\text{-value} > 0,05$); dan $R^2 > 0,9$ (Nurik dkk., 2021; Variyana dkk., 2023).

2.7. Spektrofotometri Ultraviolet-Visibel (UV-Vis)

Spektrofotometri UV-Vis merupakan teknik analisis yang digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif berbagai senyawa kimia. Teknik ini memanfaatkan penyerapan sinar ultraviolet atau sinar tampak oleh molekul, sehingga memberikan wawasan tentang struktur molekul, konsentrasi, dan kemurnian. Spektrofotometri UV-Vis banyak digunakan karena kesederhanaan, kecepatan, dan sifatnya yang tidak merusak, sehingga menjadi pilihan yang tepat di berbagai industri seperti farmasi, pemantauan lingkungan, dan manufaktur bahan kimia. Prinsipnya didasarkan pada interaksi cahaya dengan materi, dimana molekul menyerap cahaya pada panjang gelombang daerah ultraviolet (200-400 nm) atau daerah tampak (400-700 nm) yang mendorong elektron ke kondisi energi yang lebih tinggi (keadaan tereksitasi) dalam gugus fungsi yang disebut kromofor. Data serapan ini akan dihasilkan oleh spektrofotometri UV-VIS dalam bentuk transmittan atau absorbansi yang dapat dibaca oleh spektrofotometer sebagai spektrum UV-VIS (Nanvare and Chopade, 2024; Pratiwi and Nandiyanto, 2022).

Menurut Zurweni and Sanova (2023), spektrofotometer UV-Vis umumnya terdiri dari komponen-komponen berikut, yang dapat dilihat pada Gambar 14.

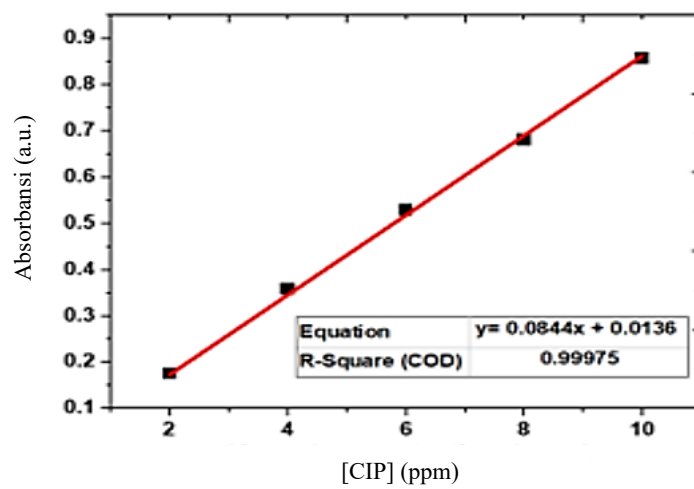
1. Sumber cahaya: Biasanya lampu deuterium (untuk UV) dan lampu tungsten (untuk cahaya tampak) digunakan untuk menyediakan spektrum cahaya.
2. Monokromator: Kisi difraksi atau prisma yang digunakan untuk mengisolasi masing-masing panjang gelombang cahaya.
3. Tempat sampel: Sebuah kuvet (biasanya kuarsa untuk UV dan kaca untuk Vis) menampung larutan sampel.
4. Detektor: Mengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan, biasanya berupa fotodioda atau tabung pengganda, yang mengubah cahaya menjadi sinyal listrik.
5. *Display/Output*: Nilai absorbansi atau transmitansi ditampilkan, biasanya dalam bentuk spektrum.



Gambar 15. Komponen Spektrofotometri UV-Vis (Workneh *et al.*, 2024)

Spektrofotometri UV-Vis memiliki beberapa kelebihan diantaranya, yaitu kemudahan dalam pengoprasian, memerlukan preparasi sampel yang minimal, memberikan hasil yang cepat tanpa merusak sampel, analisis kuantitatif yang akurat dan andal apabila dikalibrasi dengan benar, dapat menganalisis berbagai senyawa organik dan anorganik di berbagai industri, serta mampu mendeteksi konsentrasi analit sangat rendah atau memiliki sensitivitas tinggi (Patel *et al.*, 2022). Karena kelebihanannya tersebut aplikasi spektrofotometer UV-Vis sangat luas digunakan di industri maupun berbagai sektor kehidupan. Salah satunya dapat digunakan untuk menganalisis antibiotik CIP, yang memiliki gugus kromofor dalam strukturnya. Antibiotik ini dapat menyerap radiasi pada panjang gelombang di rentang UV. Menurut Masiyambiri *et al* (2023), CIP yang dilarutkan

dalam akuades menunjukkan serapan maksimum pada panjang gelombang 278 nm. Kurva kalibrasi CIP dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Kurva Kalibrasi CIP (Masiyambiri *et al.*, 2023)

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan selama bulan Oktober 2024 s.d. Maret 2025 di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi GO menggunakan SEM-EDX dan FTIR dilakukan di UPT LTSIT Universitas Lampung, XRD di BRIN Bandung, karakterisasi spektrofotometer UV-Vis dan uji adsorpsi GO dengan antibiotik CIP menggunakan spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi FMIPA Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas kimia, labu erlenmeyer, labu ukur, neraca analitik (AND HR-150A 152 g/0,1 mg), tabung reaksi, rak tabung reaksi, mortar dan alu, *hot plate magnetic stirrer* (Stuart Biocote R200000 685), spinbar, centrifuge (Fischer Scientific 1827001027164), tabung *centrifuge*, oven (Heareus), corong kaca, pipet tetes, pipet volume, bulb, kertas saring, cawan krus, batang pengaduk, spatula, pH meter (XS pH 60 Vio Lab), botol semprot, desikator, furnace (Naberthrem L24/B510), ultrasonik (1510 Branson), FTIR (Agilent Cary 630), SEM-EDX (EVO® MA 10), XRD (D8 Advance Bruker), dan spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1780).

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah tandan kosong kelapa sawit (PT. Sinar Jaya Agro Investama), H₂SO₄ pekat (Supelco

Sigmaaldrich), KMnO_4 (MerckTM), H_2O_2 30% (Supelco Sigmaaldrich), BaCl_2 (MerckTM), antibiotik standar CIP (Hexpharm Jaya), HCl 37% (Smart-Lab), NaOH , dan akuades.

3.3. Prosedur Kerja

3.3.1. Grafitisasi Tandan Kosong Kelapa Sawit

TKKS dihancurkan dan dicuci hingga bersih dengan air. Selanjutnya, TKKS dikeringkan selama 5 hari dengan bantuan sinar matahari. Setelah itu, bahan diproses dengan cara dipotong menjadi ukuran kecil (ukuran asli menjadi ukuran pencacah) dan kemudian dikeringkan pada suhu $100\text{ }^\circ\text{C}$ selama 24 jam. TKKS yang telah kering digiling dan diayak dengan ukuran 200 mesh, kemudian disimpan dalam desikator untuk menjaga kadar air (Akhavan *et al.*, 2014). Selanjutnya, sebanyak 6 g sampel ditimbang lalu dilakukan pirolisis pada suhu 400, 500, dan $600\text{ }^\circ\text{C}$ lalu ditahan selama 3 jam untuk optimasi (Nasir *et al.*, 2017).

3.3.2. Pembuatan *Graphene Oxide* (GO) menggunakan Metode Hummers Termodifikasi

Sebanyak 2 g grafit dimasukkan ke dalam gelas kimia 500 mL, ditambahkan $\text{H}_2\text{SO}_4\text{:H}_3\text{PO}_4$ pekat 23:2,5 mL, lalu diaduk dengan *magnetic stirrer* dalam wadah berisi es (*ice bath*) selama 30 menit, kemudian ditambahkan 3 g KMnO_4 ke dalam campuran tersebut secara perlahan, suhu dipertahankan agar berada di bawah $10\text{ }^\circ\text{C}$. Setelah itu, campuran diaduk pada suhu $35\text{ }^\circ\text{C}$ selama 30 menit, ditambahkan 46 mL akuades setelahnya secara perlahan hingga terjadi kenaikan suhu mencapai $98\text{ }^\circ\text{C}$, kemudian didiamkan selama 15 menit (Marcano *et al.*, 2010; Sujiono *et al.*, 2020).

Akuades sebanyak 140 mL ditambahkan ke dalam campuran, diikuti dengan penambahan 10 mL larutan H_2O_2 30% sembari diaduk dengan *magnetic stirrer*

selama 10 menit untuk mengoptimalkan reaksi oksidasi yang terjadi. Suspensi yang terbentuk kemudian dicuci berulang kali dengan HCl 5% untuk menghilangkan ion sulfat dan diuji dengan larutan barium klorida untuk memastikan ion sulfat telah hilang, ditandai dengan tidak munculnya endapan berwarna putih. Setelah itu, dicuci dengan akuades secara berulang hingga mencapai pH 5, kemudian larutan dipisahkan dengan *centrifuge* selama 10 menit. Endapan yang dihasilkan didispersikan dalam 450 mL akuades, lalu disonikasi selama 30 menit, kemudian dikeringkan pada suhu 60 °C selama 5 jam dalam oven (Li *et al.*, 2013).

3.3.3. Karakterisasi GO

Karakterisasi dilakukan dengan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi, SEM-EDX untuk mengetahui morfologi, identifikasi unsur, dan komposisi kuantitatif, XRD untuk mengidentifikasi tingkat kristalinitas, serta spektrofotometri UV-Vis untuk mengetahui sifat optik dari GO TKKS.

3.3.4. Pembuatan Larutan Induk CIP

Larutan CIP 500 ppm dibuat dengan menimbang 50 mg CIP, kemudian melarutkannya dengan akuades hingga tera lalu dihomogenkan.

3.3.5. Pembuatan Larutan Baku CIP

Larutan baku CIP 100 ppm dibuat dengan memipet 20 mL larutan induk CIP 500 ppm ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian dilarutkan dengan akuades hingga tera dan dihomogenkan. Sementara, larutan baku 50 ppm dibuat dengan memipet 50 mL larutan baku CIP 100 ppm ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian dilarutkan dengan akuades hingga tera dan dihomogenkan.

3.3.6. Pembuatan Larutan Standar CIP

Larutan standar CIP 2, 4, 6, 8, dan 10 ppm dibuat dengan memipet larutan baku CIP 50 ppm masing-masing sebanyak 1, 2, 3, 4, dan 5 mL ke dalam labu takar 25 mL, kemudian dilarutkan dengan akuades hingga tera dan dihomogenkan.

3.3.7. Optimasi DSPE menggunakan RSM

Eksperimen DSPE dirancang menggunakan metode *Box-Behnken Design* (BBD) dengan tiga level variabel, yaitu maksimal (+1), medium (0), dan minimal (-1), yang diterapkan pada faktor massa adsorben, pH, dan waktu kontak (Tabel 2). Berdasarkan desain eksperimen yang dibuat pada *software* Design Expert 13.0, terdapat 17 percobaan yang tercantum dalam Tabel 3. Persentase adsorpsi yang diperoleh dari pengujian DSPE digunakan sebagai variabel respon yang akan dianalisis melalui ANOVA, serta dibuat grafik RSM untuk menentukan kondisi optimum proses DSPE CIP menggunakan adsorben GO (Rinawati *et al.*, 2024).

Tabel 2. Level variabel independen dalam desain BBD

Faktor	-1	0	+1
Massa adsorben GO (mg)	5	22,5	40
pH	2	5	8
Waktu kontak (menit)	10	35	60

Percobaan dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap sesuai dengan nilai yang diberikan pada desain BBD (Tabel 3). Dalam kondisi pH dan waktu kontak yang sudah ditentukan, larutan CIP dengan konsentrasi tertentu untuk setiap sampel dicampur dengan adsorben GO dalam jumlah tertentu. Pemisahan GO dilakukan melalui sentrifugasi dan filtrasi. Kemudian, konsentrasi CIP yang tersisa dalam larutan dapat diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 274 nm.

Tabel 3. Desain eksperimen BBD

Run	pH	Massa Adsorben (mg)	Waktu Kontak (min)
1	5	22,5	35
2	5	22,5	35
3	8	22,5	10
4	2	22,5	60
5	8	40	35
6	8	5	35
7	5	40	10
8	5	22,5	35
9	5	5	60
10	2	22,5	10
11	8	22,5	60
12	5	5	10
13	2	5	35
14	5	40	60
15	5	22,5	35
16	5	22,5	35
17	2	40	35

Persentase adsorpsi antibiotik yang dihasilkan digunakan sebagai variabel respon, yang mencerminkan efisiensi proses adsorpsi terhadap residu antibiotik CIP. Nilai ini dihitung berdasarkan perbandingan antara selisih konsentrasi awal dan konsentrasi akhir CIP dengan konsentrasi antibiotik yang tersedia dalam larutan awal serta dijelaskan lebih lanjut pada Persamaan 4. Variabel respon ini penting untuk mengevaluasi kinerja adsorben dalam proses ekstraksi dan deteksi residu antibiotik CIP.

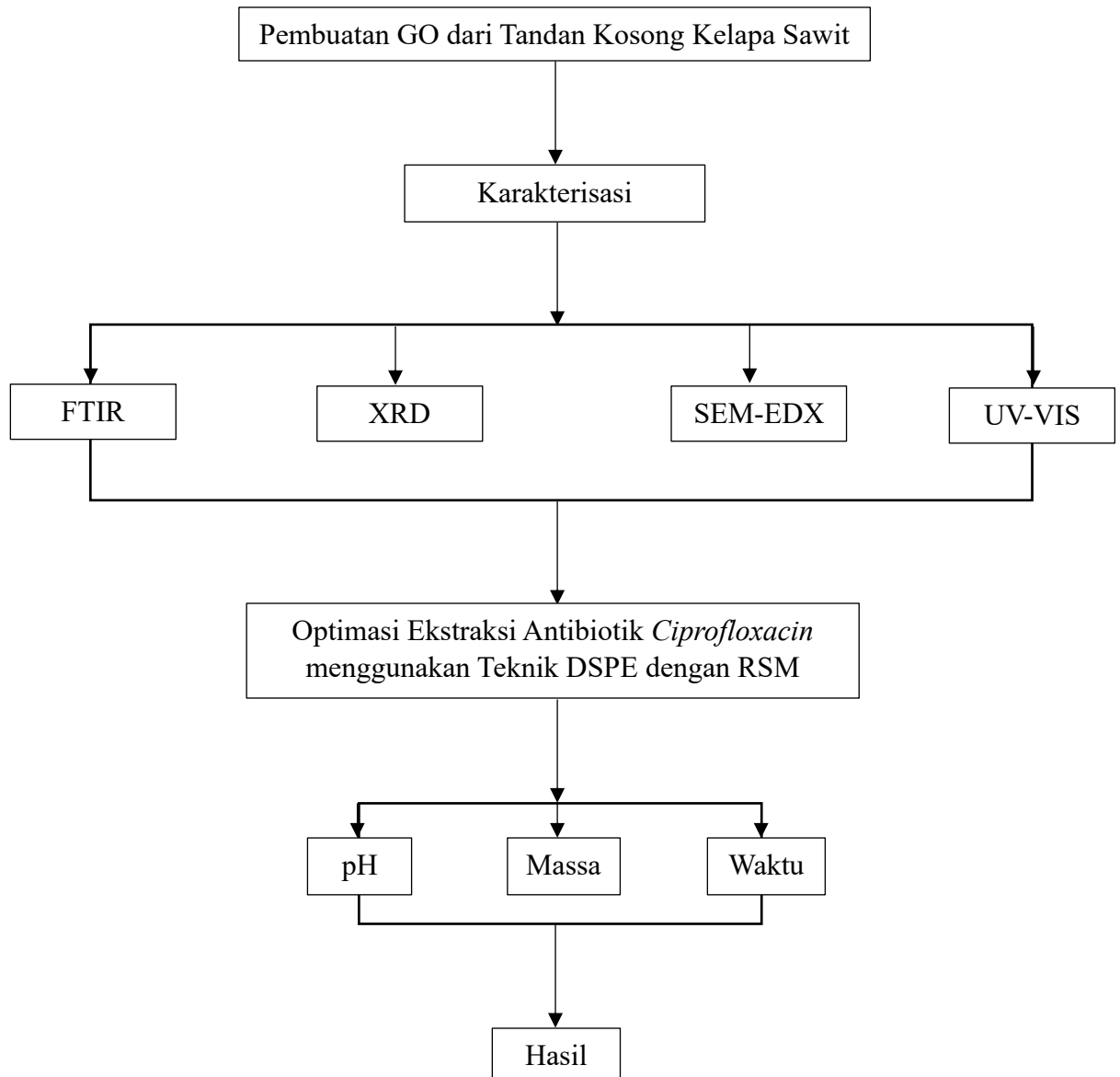
$$Adsorpsi (\%) = \frac{C_o - C_x}{C_o} \times 100\% \quad (4)$$

keterangan :

Co : Konsentrasi awal CIP (ppm)

Cx : Konsentrasi akhir CIP setelah adsorpsi dalam larutan (ppm)

Secara keseluruhan, diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Diagram alir penelitian

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada penelitian ini, sintesis GO terbukti berhasil melalui analisis FTIR, SEM-EDX, XRD, dan spektrofotometri UV-Vis.
2. Karakterisasi GO TKKS menggunakan FTIR, SEM-EDX, XRD, dan spektrofotometri UV-Vis menunjukkan keberhasilan proses oksidasi grafit menjadi GO. FTIR mengidentifikasi adanya gugus fungsi hidroksil (-OH), karbonil (C=O), karboksil (-COOH), dan epoksi (C-O-C); SEM-EDX mengonfirmasi morfologi lembaran-lembaran tipis dengan sedikit bergelombang; XRD memperlihatkan pola difraksi khas GO pada $2\theta = 9,34^\circ$; dan spektrofotometri UV-Vis menunjukkan adanya puncak serapan pada panjang gelombang 200 nm.
3. Optimasi proses DSPE berbasis GO dari TKKS untuk penentuan residu CIP menghasilkan kondisi optimum pada pH 3, massa adsorben sebesar 22,5 mg, dan waktu kontak selama 35 menit, dengan prediksi persen adsorpsi sebesar 90,592%. Hasil validasi eksperimen terhadap kondisi optimum ini menunjukkan rata-rata % adsorpsi sebesar 90,129%, dengan nilai % *error* sebesar 0,005%, sehingga membuktikan keakuratan dan kesesuaian model prediksi dengan data aktual.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah

1. Perlu dilakukan uji desorpsi sekaligus penentuan kondisi optimumnya untuk penggunaan kembali adsorben GO.
2. Melakukan pengaplikasian dari hasil kondisi optimum % adsorpsi CIP dengan GO untuk monitoring residu antibiotik CIP di lingkungan perairan dan air limbah, khususnya air limbah rumah sakit.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbo, H. S., Gupta, K. C., Khaligh, N. G., and Titinchi, S. J. J. 2021. Carbon Nanomaterials for Wastewater Treatment. *ChemBioEng Reviews*, 8(5), 463–489.
- Aden, S. F., Mahmoud, L. A. M., Ivanovska, E. H., Terry, L. R., Ting, V. P., Katsikogianni, M. G., and Nayak, S. 2023. Controlled Delivery Of Ciprofloxacin Using Zirconium-Based Mofs And Poly-Caprolactone Composites. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 88(8), 104894.
- Ahmed, S., Fatema, T., Mahdi, M. M., Mahmudunnabi, D. M., Choudhury, T. R., Alam, M. Z., and Nurnabi, M. 2021. Synthesis And Characterization Of Graphene Oxide For Removal Of Cr(III) From Tannery Effluent. *Desalination and Water Treatment*, 244, 201–211.
- Akhavan, O., Bijanzad, K., and Mirsepah, A. 2014. Synthesis Of Graphene From Natural And Industrial Carbonaceous Wastes. *RSC Advances*, 4(39), 20441–20448.
- Akhtar, M. S., Sohrab, D., Jutt, R., Aslam, S., Nawaz, R., Irshad, M. A., Khan, M., Khairy, M., Irfan, A., Al-hussain, S. A., and Zaki, M. E. A. 2024. Green Synthesis Of Graphene Oxide And Magnetite Nanoparticles And Their Arsenic Removal Efficiency From Arsenic Contaminated Soil. *Scientific Reports*, 24(23094), 1–18.
- Aktawan, A., Maryudi, Salamah, S., and Astuti, E. 2020. Gasification Of Oil Palm Shells And Empty Fruit Bunches To Produce Gas Fuel. *Key Engineering Materials*, 849 KEM, 3–7.
- Alishiri, M., Abdollahi, S. A., Neysari, A. N., Ranjbar, S. F., Abdoli, N., and Afsharjahanshahi, M. 2023. Removal Of Ciprofloxacin And Cephalexin Antibiotics In Water Environment By Magnetic Graphene Oxide Nanocomposites; Optimization Using Response Surface Methodology. *Results in Engineering*, 20(10), 101507.
- Almeida-Naranjo, C. E., Guerrero, V. H., and Villamar-Ayala, C. A. 2023. Emerging Contaminants and Their Removal from Aqueous Media Using Conventional/Non-Conventional Adsorbents: A Glance at the Relationship between Materials, Processes, and Technologies. *Water (Switzerland)*, 15(8).

- Amin, S. A. S., and Sobhi, N. 2023. Process optimization in poultry feed mill. *Scientific Reports*, 13(1), 1–17.
- 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 The Determination Of Pesticide Residues In Produce. *Journal of AOAC International*, 86(2), 412–431.
- Andriansyah, I., Wijaya, H. N. M., dan Purwaniati, P. 2021. Analisis Adulteran Pada Kopi Luwak Dengan Metode Fourier Transform Infrared (FTIR). *Jurnal Kimia Riset*, 6(1), 26.
- Anegbe, B., Ifijen, I. H., Maliki, M., Uwidia, I. E., and Aigbodion, A. I. 2024. Graphene Oxide Synthesis And Applications In Emerging Contaminant Removal: A Comprehensive Review. *Environmental Sciences Europe*, 36(1).
- Anggriani, U. M., Hasan, A., dan Purnamasari, I. 2021. Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif Dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) Dan Timbal (Pb). *Jurnal Kinetika*, 12(02), 29–37.
- Arman, N. Z., Salmiati, S., Aris, A., Salim, M. R., Nazifa, T. H., Muhamad, M. S., and Marpongahtun, M. 2021. A Review On Emerging Pollutants In The Water Environment: Existences, Health Effects And Treatment Processes. *Water (Switzerland)*, 13(22), 1–31.
- Aryani, T., dan Mu’awanah, A. I. U. 2023. Kajian Awal Sintesis Reduced Graphene Oxide (rGO) Metode Iradiasi Microwave dan Ultrasonikasi. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 6(8), 1055–1060.
- Azharini, R., Widyasanti, A., dan Nurhasanah, S. 2021. Optimasi Proses Ekstraksi Bunga Telang (*Clitoria ternatea*) Berbantu Gelombang Mikro Menggunakan Aplikasi Response Surface Methodology. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pertanian Indonesia*, 14(1), 88–96.
- Aziz, N. A. H. A., Ali, U. F. M., Ahmad, A. A., Dzahir, M. I. H. M., Khamidun, M. H., and Abdullah, M. F. 2023. Non-Functionalized Oil Palm Waste-Derived Reduced Graphene Oxide For Methylene Blue Removal: Isotherm, Kinetics, Thermodynamics, And Mass Transfer Mechanism. *Arabian Journal of Chemistry*, 16(1), 104387.
- Azriouil, M., Aghris, S., Matrouf, M., Loudiki, A., Laghrib, F., Farahi, A., Bakasse, M., Saqrane, S., Lahrich, S., and El Mhammedi, M. A. 2022. Efficacy Of Clay Materials For Ciprofloxacin Antibiotic Analysis In Urine And Pharmaceutical Products. *Materials Chemistry and Physics*, 279, 125787.
- Badan Pusat Statistik. 2022. *Produksi Tanaman Perkebunan Provinsi Lampung*. BPS.
- Bansal, K., Singh, J., and Dhaliwal, A. S. 2022. Synthesis And Characterization Of Graphene Oxide And Its Reduction With Different Reducing Agents. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1225(1), 1–8.

- Barathe, P., Kaur, K., Reddy, S., Shriram, V., and Kumar, V. 2024. Antibiotic Pollution And Associated Antimicrobial Resistance In The Environment. *Journal of Hazardous Materials Letters*, 5(2), 100105.
- Baruah, U., and Chowdhury, D. 2018. Functionalized Graphene Oxide As An Electrochemical Sensing Platform For Detection Of Bisphenol A. *Advanced Materials Letters*, 9(7), 516–525.
- 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.
- Büyüktiryaki, S., Keçili, R., and Hussain, C. M. 2020. Functionalized Nanomaterials In Dispersive Solid Phase Extraction: Advances & prospects. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 127, 115893.
- Chasanah, U., Trisunaryanti, W., Triyono, Oktaviano, H. S., and Fatmawati, D. A. 2021. The Performance Of Green Synthesis Of Graphene Oxide Prepared By Modified Hummers Method With Oxidation Time Variation. *Rasayan Journal of Chemistry*, 14(3), 2017–2023.
- 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.
- Dethan, J. J. S., and Kette, A. U. S. 2024. Model Prediksi Nilai Panas Tinggi Biobriket Daun Kesambi (*Schleichera oleosa*) Torrefied. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 12(1), 23–34.
- 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), 1–9.
- Duo, H., Yue, J., Wan, X., Sha, L., Hou, X., and Zhu, Q. 2023. Recent Advances In Synthesis And Applications Of Metal–Organic Frameworks For Sample Preparation In Antibiotic Analysis. *Microchemical Journal*, 193, 109053.
- Dutta, J., and Mala, A. A. 2020. Removal Of Antibiotic From The Water Environment By The Adsorption Technologies: A Review. *Water Science and Technology*, 82(3), 401–426.
- Eksik, O., Arvas, M. B., and Yavuz, R. 2023. PAN-Based Nanofiber Reduced Graphene Oxide Electrodes For Supercapacitor Applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 34(26), 0–14.
- Elias, M. A., Hadibarata, T., and Sathishkumar, P. 2021. Modified Oil Palm Industry Solid Waste As A Potential Adsorbent For Lead Removal. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 3, 1–7.
- Emeji, I. C., and Patel, B. 2024. Box-Behnken assisted RSM and ANN modelling for Biodiesel Production Over Titanium Supported Zinc-Oxide Catalyst. *Energy*, 308(February), 132765.

- Engelen, A., Sugiyono, dan Budjianto, S. 2015. Optimasi Proses dan Formula pada Pengolahan Mi Sagu Kering (Metroxylon sagu). *Agritech*, 35(4), 359–367.
- Fadlurrahman, M. D., Widiyanti, L., Erlinawati, E., Rusnadi, I., & Pratiwi, I. 2024. Pengaruh Variasi Massa Tempurung Kelapa dan Waktu Karbonisasi Terhadap Kualitas Arang. *Jurnal Redoks*, 9(2), 205-212.
- Fatimah, S., Ragadhita, R., Al Husaeni, D. F., and Nandiyanto, A. B. D. 2022. How to Calculate Crystallite Size from X-Ray Diffraction (XRD) using Scherrer Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 2(1), 65–76.
- Fauzi, F., dan Dwandaru, W. S. B. 2021. Analisis Karakteristik Graphene Oxide dan Reduksinya melalui Gelombang Mikro. *Jurnal Fisika*, 11(1), 9–18.
- Feng, G., Huang, H., And Chen, Y. 2021. Effects Of Emerging Pollutants On The Occurrence And Transfer Of Antibiotic Resistance Genes: A Review. *Journal of Hazardous Materials*, 420(2), 126602.
- Ganzoury, M. A., Allam, N. K., Nicolet, T., and All, C. 2015. Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 50).
- González- Santamaría, D. E., Justel, A., Fernández, R., Ruiz, A. I., Stavropoulou, A., Rodríguez-Blanco, J. D., and Cuevas, J. 2021. SEM-EDX Study Of Bentonite Alteration Under The Influence Of Cement Alkaline Solutions. *Applied Clay Science*, 212.
- Guerrero-Pérez, M. O., and Patience, G. S. 2020. Experimental Methods in Chemical Engineering: Fourier transform Infrared Spectroscopy—FTIR. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 98(1), 25–33.
- Haciosmanoğlu, G. G., Mejías, C. M., Martín, J., Santos, J. L., Aparicio, I., and Alonso, E. 2022. Antibiotic Adsorption By Natural And Modified Clay Minerals As Designer Adsorbents For Wastewater Treatment: A Comprehensive Review. *Journal of Environmental Management*, 317, 115397.
- Hakim, L., Dirgantara, M., dan Nawir, M. 2019. Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C Dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (X-RD) Di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*, 1(1), 44–51.
- Hanifa, I. I., and Dwandaru, W. S. B. 2021. Synthesis and Characterization of Graphene Oxide Based on Processed Graphite Using Audiosonication Method. *Jurnal Ilmu Fisika Dan Terapannya*, 8(1), 17–20.
- Hardi, A. D., Joni, R., Syukri, S., dan Aziz, H. 2021. Pembuatan Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Fisika Unand*, 9(4), 479–486.
- Hashmi, S., Mushtaq, A., Ahmed, R., and Ali, Z. U. 2022. Synthesis and Characterization of Reduced Graphene Oxide from Indigenous Coal: A Non-

- Burning Solution. *International Journal of Membrane Science and Technology*, 9(1), 1–12.
- Hidayanti, F., and Harnovan, A. A. 2020. Application of Scanning Electron Microscopy: a Review. *International Journal of Applied Science and Engineering Review*, 1(6), 91–102.
- Hongsawat, P., Bungokule, S., Boonchouy, N., Prarat, P., and Punyapalakul, P. 2021. Response Surface Methodology Approach For Optimization Of Norfloxacin By The Graphene Oxide Under The Presence Of Tannic Acid And Its Adsorption Mechanism. *Desalination and Water Treatment*, 217(1), 272–285.
- Hoque, M. A., Rahman, A. F. M. M., Rahman, M. M., Bhuiyan, M. N. I., Jahan, S. A., Ali Shaikh, M. A., and Nurnabi, M. 2024. Effect of Successive Recycling And Reuse Of Acid Liquor For The Synthesis Of Graphene Oxides With Higher Oxygen-To-Carbon Ratios. *Heliyon*, 10(6), 1–18.
- Husein, S., Wahyuni, E. T., and Mudasir, M. 2019. Synthesis of Tin(II) Oxide (SnO) Nanoparticle by Hydrothermal Method. *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 4(3), 145.
- Ibrahim, A., Vohra, M. S., Bahadi, S. A., Onaizi, S. A., Essa, M. H., and Mohammed, T. 2022. Heavy Metals Adsorption Onto Graphene Oxide: Effect Of Mixed Systems Anresponse Surface Methodology Modeling. *Desalination and Water Treatment*, 266, 78–90.
- Irmawati, A., Masrukan, SAR, K., dan Firsta, N. 2023. Agrotech : Jurnal Ilmiah Teknologi Optimasi Formulasi Virgin Coconut Oil (VCO), Susu Full Cream, dan Maltodekstrin Terhadap Karakteristik Fisikokimia Mayonnaise Rendah Lemak Menggunakan Response Surface Methodology (RSM) lebih lanjut mengenai “ Optimas. *Agrotech: Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian Journal*, 5(1), 1–12.
- Ishiwu, C. N. 2022. Response Surface Methodology (RSM): Review of the Practical Approach in Food Science and Technology Research. *International Journal of Agriculture, Food, and Biodiversity* 1(1), 52–59.
- 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.
- Ithnin, N. F. B. M., and Liu, W. W. 2024. Exfoliation of Graphite into Graphene Oxide and Reduction by Plant Extract to Synthesize Graphene. *International Journal of Nanoelectronics and Materials*, 17(2), 284–287.
- Jasem, S., Breig, M., Jaber, K., and Luti, K. 2021. Response surface Methodology : A Review On Its Applications And Challenges In Microbial Cultures. *Materials Today: Proceedings*, 42, 2277–2284.
- Jing, W., Wang, J., Kuipers, B., Bi, W., and Chen, D. D. Y. 2021. Recent Applications Of Graphene And Graphene-Based Materials As Sorbents In

- Trace Analysis. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 137, 116212.
- Jiříčková, A., Jankovský, O., Sofer, Z., and Sedmidubský, D. 2022. Synthesis and Applications of Graphene Oxide. *Materials*, 15(3).
- Karim, N. A., Ghazali, C. M. R., Ramli, M. M., Marniati, Tb, D. R. Y., Payana, M. D., and Zulfadhly, M. F. M. 2023. Graphitization of Empty Fruit Bunch (EFB) Waste At Lower Heating Temperature. *AIP Conference Proceedings*, 2484.
- Kayiwa, R., Kasedde, H., Lubwama, M., and Kirabira, J. B. 2021. Characterization and Pre-Leaching Effect On The Peels Of Predominant Cassava Varieties In Uganda For Production Of Activated Carbon. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4(3), 100083.
- Khanam, P. N., Popelka, A., Alejji, M., and Al Maadeed, M. A. 2017. Biotechnological Production Process And Life Cycle Assessment Of Graphene. *Journal of Nanomaterials*, 2017(1), 1–10.
- Khmaissa, M., Zouari-Mechichi, H., Sciara, G., Record, E., and Mechichi, T. 2024. Pollution from Livestock Farming Antibiotics An Emerging Environmental And Human Health Concern: A review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 13(11).
- Kifayatullah, H. M., Tahir, H., and Shah, A. R. 2020. Modeling and Optimization Of Ultrasound-Assisted Adsorption Of Crystal Violet Dye By Graphene Oxide Nanoparticles Using Response Surface Methodology. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 00(00), 1–17.
- Kim, Y. S., Hanif, M. A., Song, H., Kim, S., Cho, Y., Ryu, S. K., and Kim, H. G. 2024. Wood-Derived Graphite: A Sustainable and Cost-Effective Material for the Wide Range of Industrial Applications. *Crystals*, 14(4), 1–14.
- Konda, S., Nagendla, N. K., Williams, M., and Mudiam, M. K. R. 2024. Investigating Pharmaceuticals and Personal Care Products In Musi River: A Exploratory Study in Hyderabad, India. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 14(2), 100420.
- Krishnan, R. Y., Manikandan, S., Subbaiya, R., Biruntha, M., Govarthan, M., & Karmegam, N. 2021. Removal of Emerging Micropollutants Originating From Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) in Water and Wastewater by Advanced Oxidation Processes: A Review. *Environmental Technology and Innovation*, 23, 101757.
- Li, C., Lu, Y., Yan, J., Yu, W., Zhao, R., Du, S., & Niu, K. 2021. Effect of Long-term Ageing on Graphene Oxide: Structure and Thermal Decomposition. *Royal Society Open Science*, 8(12), 202309.
- 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), 1–16.
- Liu, J., Chen, S., Liu, Y., and Zhao, B. 2022. Progress in Preparation, Characterization, Surface Functional Modification Of Graphene Oxide: A Review. *Journal of Saudi Chemical Society*, 26(6), 101560.
- Liyanage, C. D., Kumar, H., Perera, I., Abeykoon, P. G., Chen, F., Joya, J. S., Suib, S. L., and Adamson, D. H. 2024. Synthesis of Graphene Oxide: Effect of Sonication during Oxidation. *Carbon*, 223, 119047.
- Mahmoud, B. S., and Mcconville, C. 2023. Box – Behnken Design of Experiments of Polycaprolactone Nanoparticles Loaded with Irinotecan Hydrochloride. *Pharmaceutics*, 15(1271), 1–17.
- Marcano, D., Kosynkin, D., Berlin, J., Sinitski, A., Sun, Z., Slesarev, A., Alemany, L., Lu, W., and Tour, J. 2010. Improved Synthesis of Graphene Oxide. *ACS Nano*, 4(8), 4806–4814.
- Masiyambiri, V., Yaou Balarabe, B., Adjama, I., Moussa, H., Illiassou Oumarou, M. N., and Iro Sodo, A. M. 2023. A Study of the Phytoremediation Process Using Water Lettuce (*Pistia Stratiotes*) in the Removal of Ciprofloxacin. *American Journal of Life Science and Innovation*, 2(1), 1–8.
- Mateos, R., Vera-López, S., Saz, M., Díez-Pascual, A. M., and San Andrés, M. P. 2019. Graphene/sepiolite Mixtures As Dispersive Solid-Phase Extraction Sorbents For The Anaysis Of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons In Wastewater Using Surfactant Aqueous Solutions For Desorption. *Journal of Chromatography A*, 1596, 30–40.
- Myers, Raymond, H., Montgomery, Douglas, C., and Anderson-Cook, Christine, M. 2011. *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiment* (Third Edit). John Wiley & Sons. Inc.
- Nakhonchai, N., Prompila, N., Ponhong, K., Siriengkawut, W., Vichapong, J., & Supharoek, S. 2024. Green Hairy Basil Seed Mucilage Biosorbent For Dispersive Solid Phase Extraction Enrichment Of Tetracyclines In Bovine Milk Samples Followed by HPLC Analysis. *Talanta*, 271, 125645.
- Nanvare, K. G., and Chopade, V. 2024. A Review Paper On Method Validation Of UV Visible Spectroscopy : An Overview. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 6(11), 3436–3449.
- Nasir, S., Hussein, M. Z., Yusof, N. A., and Zainal, Z. 2017. Oil Palm Waste-Based Precursors as a Renewable and Economical Carbon Sources for the Preparation of Reduced Graphene Oxide from Graphene Oxide. *Nanomaterials*, 7, 1–18.
- 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 (GO-Fe₃O₄) Synthesized From Natural Cellulose-Based Graphite (Kusambi Wood Or Schleicheria Oleosa): Study Of Kinetics, Isotherms And Thermodynamics.

Journal of Materials Research and Technology, 9(3), 6544–6556.

- Nikam, R. S., Rindhe, P. S., Mukhamale, S. V., and Devade, S. K. 2024. Synthesis and characterization of Graphene Oxide via the Hummers Method : A Short Review. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 11(4), 124–130.
- Nurhamzah, R., Hasan, T., dan Dwijayanti, E. 2024. Karakterisasi Kitosan Dan Nanokitosan Pada Cangkang Kerang Kijing (*Plisbryoconcha exilis*) Asal Kabupaten Maros Menggunakan FTIR dan SEM. *AlGhazali Journal of Chemistry and Science Technology*, 1(01), 24–35.
- Nurik, I., Nisa, F. N., Azizah, N., dan Suhartini, S. 2021. Optimasi Kondisi Ekstraksi Vanillin Hasil Degradasi Lignoselulosa Bagas Tebu menggunakan Response urface Method (RSM). *Jurnal Bioteknologi Dan Biosains Indonesia*, 8(1), 89–104.
- Nuriskasari, I., Handaya, D., Prayogi, A. S., Mustopa, I. I., Sihombing, T. S., dan Ramadhan, M. T. N. 2023. Pengaruh Perbedaan Jenis Elektrolit Dan Konsentrasi Terhadap Sintesis Graphene Secara Elektrokimia Menggunakan Reaktor Solenoida. *Jurnal Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, 15(1), 63–68.
- Oktavian, P., Anas, M., dan Erniwati. 2022. Analisis Gugus Fungsi Silika yang Diekstrak Dari Limbah Dedaunan Menggunakan FTIR (Fourier Transform Infra Red). *Indonesian Journal of Physics and Its Applications*, 2(2), 34–38.
- Omar, H., Malek, N. S. A., Nurfazianawatie, M. Z., Rosman, N. F., Bunyamin, I., Abdullah, S., Khusaimi, Z., Rusop, M., and Asli, N. A. 2022. A Review Of Synthesis Graphene Oxide From Natural Carbon Based Coconut Waste By Hummer's Method. *Materials Today: Proceedings*, 75(1), 188–192.
- Öner, M., Demir, C., Çetin, G., and Bakırdere, S. 2023. Development of a Rapid And Efficient Analytical Method For Trace Lead Determination: Manganese Dioxide Nanoflower Based Dispersive Solid-Phase Extraction. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 211(10).
- Osadiaye, N. H., and Obahiagobon, K. 2024. Prediction and Optimization of Activated Tungsten Inert Gas Welding Process Parameters using Expert Systems. *Advances in Engineering Design Technology*, 6(1), 20–30.
- Patel, D., Panchal, D., Patel, K., Dalwadi, M., and Upadhyay, U. 2022. A Review on “UV Visible Spectroscopy.” *International Journal of Pharmaceutical Research and Applications*, 10(5), 1144–1151.
- Praevia, M. F., dan Widayat, W. 2022. Analisis Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Cofiring pada PLTU Batubara. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(1), 28–37.
- 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.

- Putri, N. A., dan Supardi, Z. A. I. 2023. Sintesis Dan Karakterisasi Graphene Oxide (Go) Dari Bahan Alam Tempurung Kelapa. *Inovasi Fisika Indonesia*, 12(2), 47–55.
- Radmehr, S., Hosseini Sabzevari, M., Ghaedi, M., Ahmadi Azqhandi, M. H., and Marahel, F. 2021. Adsorption of Nalidixic Acid Antibiotic Using A Renewable Adsorbent Based On Graphene Oxide From Simulated Wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 105975.
- Rahman, M., Aziz, Y., dan Utama, P. S. 2021. Optimasi Kondisi Proses Sintesis Biodiesel Berbasis Reaksi Esterifikasi Palm Fatty Acid Distillate Dengan Katalis Cu-Hidroksiapatit Dari Limbah Tulang Ikan. *Journal of Bioprocess, Chemical and Environmental Engineering Science*, 2(1), 1–13.
- Rao, N., Singh, R., and Bashambu, L. 2021. Carbon-based nanomaterials: Synthesis and Prospective Applications. *Materials Today: Proceedings*, 44, 608–614.
- Rigoletto, M., Calza, P., Gaggero, E., and Laurenti, E. 2022. Hybrid Materials For The Removal Of Emerging Pollutants In Water: Classification, Synthesis, And Properties. *Chemical Engineering Journal Advances*, 10(1), 100252.
- Rinawati, R., Buhani, B., Widiarti, W., Isro, A., Fitriarningsih, 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. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 12(4), 1–20.
- 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.
- Rosmegawati. 2021. Peran Aspek Tehnologi Pertanian Kelapa Sawit Untuk Meningkatkan Produktivitas Produksi Kelapa Sawit. *JURNAL AGRISIA*, 13(2), 1–23.
- 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.
- Safira, I., Darvina, Y., and Ulfa Jhora, F. 2023. Analysis of Optical Properties of Graphene Oxide from Bamboo Petung (*Dendrocalamus Asper*) Synthesized by Modified Hummer Method. *Journal of Experimental and Applied Physics*, 1(2), 88.
- Said, K., and Amin, M. 2015. Overview on the Response Surface Methodology (RSM) in Extraction Processes. *Journal of Applied Science & Process Engineering*, 2(1), 8–17.

- Said, M., Lestari, N., Ulfa, M., Rachmat, A., Desnelli, and Faizal, M. 2023. Synthesis of Reduced Graphene Oxide From Oil Palm Empty Fruit Bunches Using Matoa Leaf Extract. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 18(5), 471–478.
- Sajab, M. S., Jauhari, W. N. W. A. R., Chia, C. H., Zakaria, S., Kaco, H., and Noor, A. M. 2018. Oleophilicity and Oil-Water Separation By Reduced Graphene Oxide Grafted Oil Palm Empty Fruit Bunch Fibres. *Sains Malaysiana*, 47(8), 1891–1896.
- Santamaria, G., B, E. G., Arojas, Gonzalez, E. Q., Mora, E. S., Ruiz, M. Q., and Santamaria-Juarez, D. 2019. Safer Modified Hummars Method For Synthesis Of Graphene Oxide With Higher Quality And High Yeild. *Materials Research Express*, 0–31.
- Santika, R., & Astuti, S. R. A. U. 2023. Sintesis dan Karakterisasi Sifat Fisis Graphene Oxide berbahan Dasar Limbah Bulu Ayam dengan Metode Liquid Phase Exfoliation. *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, 12(2).
- Sarani, P., Sabbaghi, S., Rasouli, K., Mirbagheri, N. S., and Rasouli, J. 2024. Optimization of Chloride Ion Removal From Drinking Water Using Graphene Oxide Modified with AgNO₃ via CCD-based RSM Method. *Inorganic Chemistry Communications*, 160, 111930.
- Sargin, F., Ak Azem, F., Kanbur, K., Birlik, I., and Türk, A. 2024. Evaluating the Impact of Sonication Process on Graphene Oxide Structural Properties. *Niğde Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 13(4), 1139–1149.
- Sari, W. K., and Malik, P. A. 2023. The Effects Of Application Of Biochar From Oil Palm Empty Fruit Bunches On Chemical Properties Of Ultisols And The Growth Of Cacao Seedlings. *Kultivasi*, 22(2), 157–167.
- Ścigalski, P., and Kosobucki, P. 2020. Recent Materials Developed for Dispersive Solid Phase Extraction. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25(21), 1–26.
- 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(1), 89–99.
- Shariati, A., Arshadi, M., Khosrojerdi, M. A., Abedinzadeh, M., Ganjalishahi, M., Maleki, A., Heidary, M., and Khoshnood, S. 2022. The Resistance Mechanisms of Bacteria Against Ciprofloxacin And New Approaches for Enhancing The Efficacy of This Antibiotic. *Frontiers in Public Health*, 1–28.
- Sharma, D., Patel, R. P., Zaidi, S. T. R., Sarker, M. M. R., Lean, Q. Y., and Ming, L. C. 2017. Interplay of the Quality of Ciprofloxacin and Antibiotic Resistance in Developing Countries. *Frontiers in Pharmacology*, 8(AUG), 1–7.
- Singh, J., Jindal, N., Kumar, V., and Singh, K. 2023. Role of Green Chemistry in Synthesis and Modification Of Graphene Oxide and Its Application: A

- review study. *Chemical Physics Impact*, 6(October 2022), 100185.
- Siswanto, dan Wiyono, T. 2020. Efek Pemaparan Komposit High Density Polyethylene (HDPE) Limbah Berpenguat Serat Cantula Agave Terhadap Perubahan Sifat Lentur dan Impak. *Politeknosains*, XIX, 2–9.
- Sohail, M., Saleem, M., Ullah, S., Saeed, N., Afridi, A., Khan, M., and Arif, M. 2017. Modified and improved Hummer's Synthesis of Graphene Oxide for Capacitors Applications. *Modern Electronic Materials*, 3(3), 110–116.
- Somsiripan, T., and Sangwichien, C. 2023. Enhancement of adsorption capacity of Methylene blue, Malachite green, and Rhodamine B onto KOH activated carbon derived from oil palm empty fruit bunches. *Arabian Journal of Chemistry*, 16(12), 105270.
- Song, Y., Cong, Y., Wang, B., and Zhang, N. 2020. Applications of Fourier Transform Infrared Spectroscopy To Pharmaceutical Preparations. *Expert Opinion on Drug Delivery*, 17(4), 551–571.
- Soni, R., Pal, A. K., Tripathi, P., Lal, J. A., Kesari, K., and Tripathi, V. 2020. An Overview Of Nanoscale Materials On The Removal Of Wastewater Contaminants. *Applied Water Science*, 10(8).
- Spence, J. R., and Stanley, D. J. 2024. Tempered Expectations: A Tutorial for Calculating and Interpreting Prediction Intervals in the Context of Replications. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, 7(1).
- Sujiono, E. H., Zurnansyah, Zabrian, D., Dahlan, M. Y., Amin, B. D., Samnur, and Agus, J. 2020. Graphene Oxide Based Coconut Shell Waste: Synthesis By Modified Hummers Method And Characterization. *Heliyon*, 6(8), 4568.
- Sukma, A., and Asmawit. 2017. Kemampuan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bioadsorben Logam Perak Pada Limbah Cair Sisa Pengukuran Cod . *Majalah Biam*, 13(1), 17–21.
- Sun, Y., Yang, Y., Yang, M., Yu, F., and Ma, J. 2019. Response Surface Methodological Evaluation And Optimization For Adsorption Removal Of Ciprofloxacin Onto Graphene Hydrogel. *Journal of Molecular Liquids*, 284, 124–130.
- 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).
- Szopa, D., Witek-krowiak, A., and Wróbel, P. 2024. Enhancing polyphenol extraction efficiency : A Systematic Review On The Optimization Strategies With Natural Deep Eutectic Solvents. *Journal of Molecular Liquids* . 404(May).
- Szpisják-Gulyás, N., Al-tayawi, A. N., Horváth, Z. H., László, Z., Kertész, S., and Hodúr, C. 2023. Methods for Experimental Design, Central Composite Design And The Box – Behnken Design, To Optimise Operational

- Parameters: A Review. *Acta Alimentaria*, 52(4), 521–537.
- Tatarchuk, T., Soltys, L., and Macyk, W. 2023. Magnetic Adsorbents For Removal Of Pharmaceuticals: A Review Of Adsorption Properties. *Journal of Molecular Liquids*, 384(May), 122174.
- Thoe, J. M. L., Surugau, N., and Chong, H. L. H. 2019. Application of Oil Palm Empty Fruit Bunch as Adsorbent: A Review. *Transactions on Science and Technology*, 6(1), 9–26.
- Tobbi, O., Hattab, Z., Boutefnouchet, H., Benouis, B., Benamia, F., and Djellabi, R. 2024. Cost-Effective Walnut Shell Biosorbent for Efficient Cr(VI) Removal from Water: Batch Adsorption and Optimization Using RSM-BBD. *Desalination and Water Treatment*, 6, 100783.
- Variyana, Y., Hanifah, W., Wulandari, Y. R., dan Gelegar, I. 2023. Ekstraksi Kapulaga (Amomum Cardamomum) Menggunakan Metode Microwave Assisted Hydrodistillation (MAHD) : Analisis Optimasi dan Kinetika. *Angkasa Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, 15(2), 253–263.
- Velusamy, K., Periyasamy, S., Kumar, P. S., Jayaraj, T., Krishnasamy, R., Sindhu, J., Sneha, D., Subhashini, B., and Vo, D. V. N. 2021. Analysis on the Removal Of Emerging Contaminant From Aqueous Solution Using Biochar Derived From Soap Nut Seeds. *Environmental Pollution*, 287(May), 117632.
- Visca, R., Dewi, M. N., Liviani, A., and Satriawan, B. D. 2022. Characterization of FTIR in Graphite from Palm Oil Waste with Ferric Chloride Catalyst. *Interdisciplinary Social Studies*, 1(11), 2020–2023.
- Wang, F., Pan, Y., Cai, P., Guo, T., and Xiao, H. 2017. Single and Binary Adsorption Of Heavy Metal Ions From Aqueous Solutions Using Sugarcane Cellulose-Based Adsorbent. *Bioresource Technology*, 241, 482–490.
- Weldekidan, H., Mohanty, A. K., and Misra, M. 2022. Upcycling of Plastic Wastes and Biomass for Sustainable Graphitic Carbon Production: A Critical Review. *ACS Environmental Au*, 2(6), 510–522.
- Widiatmoko, P., Sukmana, I. F., Nurdin, I., Prakoso, T., and Devianto, H. 2019. Increasing Yield Of Graphene Synthesis From Oil Palm Empty Fruit Bunch Via Two-Stages Pyrolysis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 543(1).
- Workneh, S. M., Dagnaw, G. A., Adamu, A. M., and Wubetu, G. A. 2024. Low-Cost Visible Spectrophotometer For Detecting Absorption And Emission In Metallic Blends Of Colorful Samples Solution. *Results in Optics*, 16(2), 100703.
- Yakamercan, E., Aygün, A., and Simsek, H. 2024. Antibiotic Ciprofloxacin Removal From Aqueous Solutions By Electrochemically Activated Persulfate Process: Optimization, Degradation Pathways, And Toxicology Assessment. *Journal of Environmental Sciences*, 143, 85–98.
- Yasmin, S., Azam, G., Hossain, S., Sarmeen, U., and Kabir, H. 2024. Efficient

- Removal Of Ciprofloxacin From Aqueous Solution Using Zn – C Battery Derived Graphene Oxide Enhanced By Hydrogen Bonding , Electrostatic And π - π Interaction. *Heliyon*, 10(12), 1–17.
- Ye, G., Ma, L., Li, L., Liu, J., Yuan, S., and Huang, G. 2017. Application of Box–Behnken Design and Response Surface Methodology For Modeling And Optimization Of Batch Flotation Of Coal. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 40(2), 131–145.
- Yudiastuti, S. O. N., Handayani, W., Sari, E. K. N., Brilliantina, A., and Slamet, A. H. H. 2024. The utilization of *Trichoderma Viride* in Optimising Xylanase Production from Coffee Cherry Processing Waste. *International Jurnal Islamic Education, Research and Multiculturalism*, 6(1), 102–122.
- Zainul, R., Rahmad, E. U., Ramadhani, R. O., Ahmad, M. S., Yohandri, Lubis, A. P., and Ganefri. 2023. Optimizing Hydrogen Gas Concentration Using Response Surface Methodology (RSM) with Design Optimizing Hydrogen Gas Concentration Using Response Surface. *IOP Conference Series: Earth AndEnvironmental Science*, 1281(1), 012025.
- Zewide, Y. T., Yemata, T. A., Ayalew, A. A., Kedir, H. J., Tadesse, A. A., Fekad, A. Y., Shibesh, A. K., Getie, F. A., Tessema, T. D., Wubiench, T. A., Kululo, W. W., and Mihiret, M. T. 2025. Application of Response Surface Methodology (RSM) For Experimental Optimization In Biogenic Silica Extraction From Rice Husk And Straw Ash. *Scientific Reports*, 15(1), 1–17.
- Zhang, C., Xing, H., Yang, L., Fei, P., and Liu, H. 2022. Development Trend and Prospect Of Solid Phase Extraction Technology. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 42, 245–255.
- Zhang, G. F., Liu, X., Zhang, S., Pan, B., and Liu, M. L. 2018. Ciprofloxacin Derivatives And Their Antibacterial Activities. *European Journal Of Medicinal Chemistry*, 146, 599–612.
- Zhang, T. Y., Liou, T. H., Chiu, S. E., Hsu, C. C., and Liu, W. Y. 2023. A sustainable route for production of graphene oxide-contained nanostructured Carbons From Rice Husk Waste And Its Application In Wastewater Treatment. *Environmental Technology and Innovation*, 32, 103270.
- Zhu, L., Shi, T., and Chen, Y. 2015. Preparation and Characteristics of Graphene Oxide from the Biomass Carbon Material Using Fir Powder as Precursor. *Fullerenes Nanotubes and Carbon Nanostructures*, 23(11), 961–967.
- Zurweni, Z., and Sanova, A. 2023. Development of UV-VIS Spectrophotometer Virtual Laboratory Media for Instrumental Analytical Chemistry Digital Practicum. *Formatif: Jurnal Ilmiah Pendidikan MIPA*, 13(1), 89–100.