

**OPTIMASI *DISPERSIVE SOLID PHASE EXTRACTION* BERBASIS
GRAPHENE OXIDE DARI AMPAS TEBU MENGGUNAKAN
RESPONSE SURFACE METHODOLOGY UNTUK PENENTUAN RESIDU
ANTIBIOTIK *CIPROFLOXACIN***

(Skripsi)

Oleh

**ARANCA PUTRI MAHARANI S
NPM 2117011090**



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

ABSTRAK

OPTIMASI *DISPERSIVE SOLID PHASE EXTRACTION* BERBASIS *GRAPHENE OXIDE* DARI AMPAS TEBU MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY* UNTUK PENENTUAN RESIDU ANTIBIOTIK *CIPROFLOXACIN*

Oleh

ARANCA PUTRI MAHARANI S

Meningkatnya penggunaan *Ciprofloxacin* (CIP) sebagai antibiotik telah menjadi masalah serius karena dapat menghasilkan residu di lingkungan, khususnya lingkungan perairan. Pada penelitian ini digunakan teknik *Dispersive Solid Phase Extraction* (DSPE) menggunakan adsorben *Graphene Oxide* (GO) dari ampas tebu sebagai teknik preparasi awal dalam monitoring residu CIP di lingkungan. Pembuatan GO dilakukan dengan menggunakan metode *single step*. Karakterisasi GO dilakukan menggunakan *Fourier-Transform Infrared* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX). Optimasi menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dilakukan untuk memperoleh kondisi penyerapan CIP optimum berdasarkan pH, massa adsorben, dan waktu kontak dengan menggunakan *Box-Bhenken Design* (BBD). Hasil menunjukkan kondisi adsorpsi optimum tercapai pada pH 3,16; massa adsorben 43 mg; dan waktu kontak 29,93 menit dengan persentase adsorpsi CIP sebesar 88,39%. Validasi optimasi menunjukkan hasil yang baik dengan nilai persentase *error* sebesar 0,02%, sehingga kesesuaian model baik dan dapat diterapkan secara akurat. Hal tersebut menunjukkan bahwa GO dari ampas tebu dapat digunakan sebagai adsorben alternatif yang efektif pada teknik DSPE dalam lingkungan.

Kata kunci: *dispersive solid phase extraction*, antibiotik *cipofloxacin*, *graphene oxide*, ampas tebu, *box bhenken design*, *response surface method*

ABSTRACT

OPTIMIZATION DISPERSIVE SOLID PHASE EXTRACTION BASED GRAPHENE OXIDE FROM SUGARCANE BAGASSE USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY FOR DETERMINING CIPROFLOXACIN ANTIBIOTICS RESIDUE

By

ARANCA PUTRI MAHARANI S

The increasing use of Ciprofloxacin (CIP) as an antibiotic has become a serious problem because it can produce residues in the environment, especially aquatic environments. This study used the dispersive solid phase extraction (DSPE) technique using graphene oxide (GO) adsorbent from sugarcane bagasse for the initial preparation technique in monitoring CIP residues in the environment. GO was made using a single step method. GO characterization was carried out using fourier-transform infrared (FTIR), x-ray diffraction (XRD), and Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX). Optimization using response surface methodology (RSM) was carried out to obtain optimum CIP absorption conditions based on pH, adsorbent mass, and contact time using the bhenken box design (BBD). The results showed optimum conditions at pH 3.16; adsorbent mass 43 mg; and contact time 29.93 minutes with a CIP adsorption percentage of 88.39%. Optimization validation showed good results with a percentage error value of 0.02%, so that the model suitability is good and can be applied accurately. This shows that GO from sugarcane bagasse can be used as an effective alternative adsorbent in the DSPE technique in the environment.

Keywords: dispersive solid phase extraction, ciprofloxacin antibiotic, graphene oxide, bagasse, bhenken box design, response surface method

**OPTIMASI *DISPERSIVE SOLID PHASE EXTRACTION* BERBASIS
GRAPHENE OXIDE DARI AMPAS TEBU MENGGUNAKAN
RESPONSE SURFACE METHODOLOGY UNTUK PENENTUAN RESIDU
ANTIBIOTIK *CIPROFLOXACIN***

Oleh

Aranca Putri Maharani S

Skripsi

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

Pada

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



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

Judul Penelitian

: **OPTIMASI *DISPERSIVE SOLID PHASE EXTRACTION* BERBASIS *GRAPHENE OXIDE* DARI AMPAS TEBU MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY* UNTUK PENENTUAN RESIDU ANTIBIOTIK *CIPROFLOXACIN***

Nama Mahasiswa

: **Aranca Putri Maharani S**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2117011090

Program Studi

: Kimia

Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

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

Dian Septiani Pratama, S.Si., M.Si.
NIP.198009082009122003

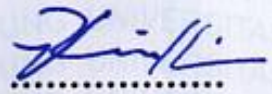
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung

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

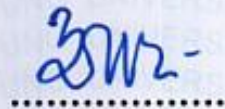
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



Sekretaris : **Dian Septiani Pratama, S.Si., M.Si.**



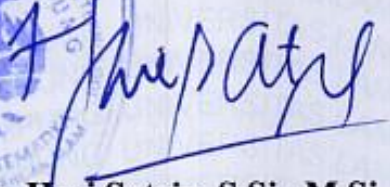
Anggota : **Prof. Dr. Buhani, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **28 Juli 2025**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Aranca Putri Maharani S
Nomor Pokok Mahasiswa	: 2117011090
Program Studi	: Kimia
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengatuan Alam
Perguruan Tinggi	: Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul **“Optimasi *Dispersive Solid Phase Extraction* Berbasis *Graphene Oxide* dari Ampas Tebu menggunakan *Response Surpace Methodology* untuk Penentuan Residu Antibiotik *Ciprofloxacin*”** adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, metode, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya, saya juga tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan dan sepanjang nama saya disebutkan.

Bandar Lampung, 8 Agustus 2025
Menyatakan



Aranca Putri Maharani S
NPM 2117011090

RIWAYAT HIDUP



Aranca Putri Maharani S, dilahirkan di Bandar Lampung pada 24 Januari 2003 dan merupakan anak pertama dari tiga bersaudara, putri dari Bapak Rudi Susanto dan Ibu Liza Tanzil. Saat ini penulis bertempat tinggal di Jalan Palem 1 Rt.008, kelurahan Beringin Raya, kecamatan Kemiling, Bandar Lampung, Lampung.

Penulis memulai pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) Al Hanif II pada tahun 2007 dan lulus pada tahun 2009. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Dasar Islam Terpadu (SDIT) Baitul Jannah pada tahun 2009. Pada tahun 2015, penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 14 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2018. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Sekolah Menengah Teknik Industri (SMTI) Bandar Lampung dan selesai pada tahun 2021. Pada tahun 2021, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Universitas Lampung, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi (SBMPTN).

Selain menjadi mahasiswa, penulis aktif mengikuti beberapa organisasi. Kegiatan organisasi yang pernah penulis ikuti dimulai dari Kader Muda Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) pada tahun 2021. Pada tahun 2022-2023 penulis aktif di HIMAKI sebagai anggota Biro Kesekretariatan (kestari). Penulis pernah mengikuti kegiatan sosial seperti Karya Wisata Ilmiah (KWI) yang diselenggarakan oleh BEM-FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2021. Selain itu, penulis mengikuti kegiatan Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) English Society Universitas Lampung periode 2021, dan staff kementrian Advokasi Mahasiswa

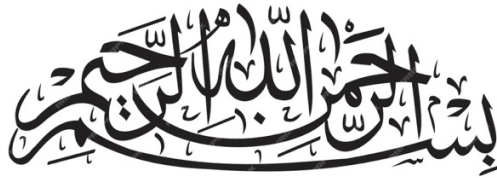
(ADKESMA) Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Universitas Lampung periode 2023.

Selain berorganisasi, penulis juga mengeksplor diri dengan mengikuti program Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) Membangun Desa di desa Hanura, Kabupaten Pesawaran pada Januari hingga Februari 2024 dan sebagai bentuk aplikasi bidang ilmu didunia kerja penulis telah menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT Sumber IndahPerkasa, Lampung Selatan pada Juli hingga Agustus 2024, serta menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik FMIPA Universitas Lampung yang diberi judul “**Optimasi Dispersive Solid Phase Extraction Berbasis Graphene Oxide dari Ampas Tebu menggunakan Response Surpace Methodology untuk Penentuan Residu Antibiotik Ciprofloxacin**”.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”
(Q.S Al-Baqarah:286)

“enjoy the process, for every step holds its own lesson”



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

Ku persembahkan karya sederhanaaku sebagai wujud cinta, bakti, dan tanggung jawabku kepada

Kedua orang tuaku

Bapak Rudi Susanto dan Ibu Liza Tanzil yang selalu memberikan cinta, kasih sayang, dukungan, doa, dan motivasi selama ini.

Rasa hormat kepada

Dr. Rinawati, Ph.D.

Dian Septiani Pratama, S.Si., M.Si.

Serta seluruh dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Terima kasih atas bimbingan, memberikan banyak ilmu dan pengalamannya kepada saya hingga mencapai gelar Sarjana.

Seluruh sahabat dan keluarga besar kimia 2021 yang telah membersamai, mendukung, dan memberi semangat.

SANWACANA

Alhamdulillahirobbil'alamin puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Optimasi *Dispersive Solid Phase Extraction* Berbasis *Graphene Oxide* Dari Ampas Tebu Menggunakan *Response Surpace Methodology* Untuk Penentuan Residu Antibiotik *Ciprofloxacin*”**. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW yang kita nantikan syafaatnya di yaumul akhir kelak.

Penulis menyadari bahwa dalam proses pengerjaan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari kesulitan dan rintangan yang penulis hadapi. Namun itu semua dapat terlewati berkat rahmat dan ridho Allah SWT serta bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, sehingga dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
2. Ibu Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung dan Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan masukan, semangat, dan motivasi bagi penulis, sehingga penulis sampai pada titik ini. Semoga Allah senantiasa melimpahkan kebaikan dan keberkahan dimanapun Ibu berada. *Aamiin ya rabbal'alamin*.
3. Ibu Dr. Rinawati, Ph.D. selaku pembimbing satu dan kepala laboratorium kimia analitik yang telah sabar membimbing dan memberi masukan, saran, serta semangat, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan

baik. Semoga Allah senantiasa melimpahkan kesehatan dan kebaikan dimanapun Ibu berada. *Aamiin ya rabbal'alam.*

4. Ibu Dian Septiani Pratama, S.Si., M.Si. selaku pembimbing dua yang telah membimbing, memberikan ilmu, motivasi, dan semangat kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini. Semoga Allah senantiasa melimpahkan kebaikan dan keberkahan bagi Ibu. *Aamiin ya rabbal'alam.*
5. Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si. selaku dosen pembahas dan penguji yang telah memberikan kritik, saran, dan arahan yang membangun kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga Allah senantiasa melimpahkan kebaikan dan keberkahan bagi Ibu. *Aamiin ya rabbal'alam.*
6. Bapak Ibu Dosen jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung, terima kasih atas segala ilmu, pengalaman, dan motivasi yang telah diberikan selama masa perkuliahan. Semoga Allah senantiasa melimpahkan kesehatan dan kebaikan dimanapun Ibu berada. *Aamiin ya rabbal'alam.*
7. Kakak tingkat seperbimbingan Ibu Dr. Rinawati, Ph.D., kak Dian Rifani dan kak Siti Salwa, terima kasih sudah membantu, memberikan ilmu, pengalaman, dan bimbingannya dalam penelitian hingga pengerjaan skripsi. Semoga kakak-kakak diberikan kelancaran dan kemudahan disetiap jalan menuju kesuksesan. *Aamiin ya rabbal'alam.*
8. Rekan seperjuangan “**CIP**” penelitian Rinawati's *Research*, Aviana Hanifah, Rima Soraya, Amelia Rizky, dan kak Hafiz Sadewa, terima kasih telah melangkah bersama-sama, saling membantu, melalui suka dan duka bersama-sama. Semoga pertemanan kita akan terus berlanjut dan semoga senantiasa diberikan kemudahan dalam meraih kesuksesan. *Aamiin ya rabbal'alam.*
9. Sahabat-sahabat “**Hayuk**” tersayang, Siti Nurkholisoh, Sovia Nurlaily, Debora Luciana, Mariana Lupita, Azizah Hurin, dan Adelia Feby, terima kasih telah hadir menemani penulis selama masa perkuliahan, selalu mendengarkan cerita penulis, mengerjakan laporan praktikum hingga laporan akhir bersama, saling menyemangati, memberikan masukan dan saran kepada penulis selama perkuliahan ini, serta menemani disetiap suka dan duka. *See you and enjoy the true journey of you're life.*

10. Rekan-rekan Kimia angkatan 2021 terutama teman-teman Kimia 21B, terima kasih atas kebersamaannya dan segala bantuan selama masa kuliah. Semoga selalu diberi kemudahan disetiap urusannya.
11. Sahabat sejak SMK, Diyah Fitri dan Chika Putri terima kasih karena selalu ada dalam suka dan duka. Terima kasih telah mendengarkan cerita penulis, memberikan masukan dan saran selama perkuliahan ini.
12. Sahabat sejak SMP, Gabby Alisya, Aisyah Inayatullah, Feby Ariyantika, Dilla Mareta, Aflah Tamami, dan Dwi Inneke, terima kasih untuk kebersamaan yang telah dilalui, saling mendukung, dan mendoakan.
13. Mayang Anggraini, terima kasih sudah menemani penulis dalam setiap kondisi, mendengarkan keluh kesah, memberikan dukungan, dan menemani disetiap suka dan duka. Semoga segala urusannya dipermudah oleh Allah SWT, *see you and miss you*.
14. Anisah Isti Roqhmah, terima kasih sudah menemani penulis selama perkuliahan ini, memberikan saran dan masukan kepada penulis, mendengarkan semua cerita penulis dari awal perkuliahan. Selamat menjalankan kehidupan selanjutnya dan mengukir cerita selanjutnya sobu.
15. Keluarga besar kimia 2021, terima kasih atas segala pertemanan dan semangatnya selama ini.
16. Seluruh laboran dan staff Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung, mas Udin, mba Yuni, dan pak Rudi yang telah membantu selama perkuliahan.
17. Adik-adikku, Faris Adnan Nugraha dan Luthfi Genta Gumilang terima kasih untuk dukungan yang telah diberikan, kalian salah satu alasan untuk selalu semangat.
18. Kedua orang tua tersayang, Ayah Rudi Susanto dan Bunda Liza Tanzil yang sudah berjuang keras dan banyak pengorbanan yang sudah diberikan kepada penulis. Terima kasih atas segala cinta, kasih sayang, dukungan disetiap situasi, memberikan saran dan nasihat, serta memberikan mengat dan doa tulus yang tiada henti, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga dan semoga Allah SWT senantiasa melindungi keluarga

19. Kepada seseorang yang tidak kalah penting kehadirannya, Hafiz Imam Al Ghifari, terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis, berkontribusi banyak dalam menyelesaikan skripsi ini, baik tenaga, materi, maupun waktu kepada penulis. Terima kasih sudah selalu mendukung, menghibur, mendengarkan keluh kesah, dan menyaksikan tiap tangisan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
20. Diriku sendiri “aca”, terima kasih telah berjuang hingga detik ini, sudah bertahan meskipun dengan banyak keluhan. Selamat atas gelar barunya, selamat atas usaha yang telah dikeluarkan tidak sia-sia. Semangat menghadapi fase kehidupan selanjutnya, jangan menyerah karena perjalanan masih panjang.
21. Kepada seluruh pihak yang tidak disebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan, doa, serta dukungan kepada penulis

Bandar Lampung, 8 Agustus 2025

Penulis

Aranca Putri Maharani S

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxi
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 Ampas Tebu	7
2.3 <i>Graphene Oxide</i>	9
2.4 Karakterisasi.....	12
2.4.1 <i>Fourier Transform Infrared</i>	12
2.4.2 <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray</i>	13
2.4.3 <i>X-Ray Diffraction</i>	16
2.5 <i>Dispersive Solid Phase Extraction</i>	18
2.6 <i>Response Surface Methodology</i>	20
2.7 Spektrofotometer UV- <i>Vis</i>	22
III.METODE PENELITIAN	25
3.1 Waktu dan Tempat	25
3.2 Alat dan Bahan	25
3.3 Prosedur Kerja.....	26
3.3.1 Pembuatan GO menggunakan Metode <i>Single Step</i>	26
3.3.2 Karakterisasi GO.....	26
3.3.3 Pembuatan Larutan Induk CIP.....	27
3.3.4 Pembuatan Larutan Baku CIP.....	27
3.3.5 Pembuatan Larutan Standar CIP	27
3.3.6 Optimasi DSPE menggunakan RSM	27

IV.HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1. Pembuatan <i>Graphene Oxide</i> (GO) dari Ampas Tebu Menggunakan Metode <i>Single Step</i>	31
4.2 Karakterisasi <i>Graphene Oxide</i> dari Ampas Tebu.....	33
4.2.1. Karakterisasi dengan <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	33
4.2.2. Karakterisasi dengan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	34
4.2.3. Karakterisasi dengan <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX).....	36
4.3. Optimasi <i>Dispersive Solid Phase Extraction</i> (DSPE) menggunakan <i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	38
4.3.1. Analisis Statistik.....	38
4.3.2. Efek Interaksi dalam Variabel Proses dan Pengaruhnya Terhadap Adsorpsi CIP (%).....	43
4.3.3. Validasi Percobaan dengan Uji Konfirmasi RSM Terhadap % Adsorpsi <i>Ciprofloxacin</i>	46
V.SIMPULAN DAN SARAN	48
5.1. Simpulan.....	48
5.2. Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komponen Kandungan Ampas Tebu	9
2. Level Variabel Independent dalam Desain BBD	28
3. Desain Eksperimen BBD	29
4. Hasil % Adsorpsi CIP dengan Adsorben GO	38
5. Model <i>Fit Summary</i> Statistik	39
6. Hasil <i>Analisis of Varians</i> (ANOVA).....	41
7. Koefisien Statistik	42
8. Hasil Uji Konfirmasi Optimasi Adsorpsi CIP	47
9. Data Kalibrasi Standar CIP untuk <i>Run</i> 1, 2, 4-7, 9, 10, 13-17	63
10. Kurva Kalibrasi Standar CIP untuk <i>Run</i> 3, 8, 11, dan 12	63
11. Data % Adsorpsi CIP	65
13. Data Hasil Percobaan Kondisi Optimum	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Kimia CIP	6
2. Bentuk Ionik CIP dalam Berbagai pH	7
3. Ampas Tebu	8
4. Struktur GO	10
5. Skema Ilustrasi Sintesis GO	11
6. Instrumentasi Spektrofotometer IR	13
7. Spektrum FTIR GO	13
8. Prinsip Kerja SEM	14
9. Mikrograf SEM Hasil Sintesis Grafit dan GO	15
10. Spektrum EDX GO grafit dan GO	16
11. Pola Difraksi XRD dari Grafit dan GO	18
12. Skema Metodologi Dispersi dengan DSPE	19
13. Representasi Grafis BBD	22
14. Skema Spektrofotometer UV-Vis	23
15. Kurva Kalibrasi CIP	24
16. Diagram Alir Penelitian	30
17. Ampas Tebu Setelah Dibersihkan, Setelah Dikeringkan, Setelah Dilakukan Penggilingan, dan Setelah Dikarbonisasi	32
18. <i>Graphene Oxide</i> dari Ampas Tebu	32
19. Spektrum FTIR Grafit Ampas Tebu dan GO Ampas Tebu	33
20. Hasil Difraktogram XRD Grafit Ampas Tebu dan GO Ampas Tebu	35
21. Morfologi Perbesaran 5000x Grafit Ampas Tebu dan GO Ampas Tebu	36
22. Komposisi Unsur GO Ampas Tebu	37

23. Grafik Probabilitas Normal Residu, Data Hasil Prediksi Terhadap Yang Sebenarnya, Residual vs <i>Run</i>	40
24. Plot Kontur (2D) dan Respons Permukaan (3D): Interaksi Antara Massa GO dan pH, Interaksi Waktu Kontak dan pH, dan Interaksi Antara Waktu Kontak dan Massa GO	43
25. Interaksi pada Proses Adsorpsi CIP dan GO.....	46
26. Uji Konfirmasi CIP dengan GO dalam Bentuk Ramp	61
27. Kurva Kalibrasi Standar CIP untuk Run 1,2,4-7,9,10,13-17	62
28. Kurva Kalibrasi Standar CIP untuk Run 3,8,11, dan 12	64
29. Kurva Kalibrasi Standar CIP untuk Validasi Hasil Optimasi.....	66

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Perhitungan <i>yield Graphene Oxide</i>	59
2. Kurva Kalibrasi Standar <i>Ciprofloxacin</i> untuk Optimasi RSM.....	59
3. Data % Adsorpsi <i>Ciprofloxacin</i> pada Proses Optimasi dengan RSM.....	61
4. Kurva Kalibrasi Standar <i>Ciprofloxacin</i> untuk Validasi Hasil Optimasi.....	62
5. Data % Adsorpsi <i>Ciprofloxacin</i> pada Validasi Hasil Optimasi.....	63
6. Perhitungan % <i>error</i> pada Validasi Hasil Optimasi.....	64

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyakit infeksi masih menjadi masalah kesehatan yang utama di negara maju dan berkembang, seperti halnya di Indonesia yang masih menjadi penyebab utama tingginya angka kematian (Puji dkk., 2023). Salah satu cara untuk mengatasi masalah tersebut adalah antimikroba yang meliputi antijamur, antiprotozoa, antivirus, dan antibiotik. Antibiotik merupakan obat yang paling banyak digunakan pada infeksi yang disebabkan oleh bakteri (Kurniasari dkk., 2020). Dalam beberapa tahun terakhir, antibiotik digunakan secara global akibat munculnya penyakit menular yang terjadi secara terus-menerus. Penggunaan antibiotik dalam skala besar berdampak pada pencemaran lingkungan. Hal ini dikarenakan limbah sisa penggunaan antibiotik tidak dapat terdegradasi dengan baik sehingga mengakibatkan terjadi pencemaran lingkungan perairan (Pijoh dkk., 2021).

Salah satu antibiotik yang telah dikenal secara luas sejak tahun 2000-an adalah antibiotik *Ciprofloxacin*. *Ciprofloxacin* (CIP) merupakan antibiotik golongan *fluoroquinolone*. CIP efektif terhadap bakteri gram negatif dan tingkat yang lebih rendah terhadap bakteri gram positif, serta digunakan dalam pengobatan infeksi saluran kemih. Saluran pernapasan, tulang dan sendi, intra-abdomen, dan infeksi lainnya (Mintz *et al.*, 2023). Karena penggunaan antibiotik yang semakin meningkat, CIP terdeteksi sebagai salah satu antibiotik yang paling umum ditemukan di lingkungan perairan (Bhagat *et al.*, 2020). Senyawa antibiotik yang berada di lingkungan dalam jangka waktu tertentu dapat menyebabkan beberapa mikroorganisme patogen menjadi persisten dan tertahan di lingkungan karena

sulit diurai secara alami (Kurniawan dan Mariadi, 2019). Diantara senyawa farmasi yang ditemukan dalam air limbah, antibiotik menjadi perhatian karena sifatnya yang persisten, metabolisme parsial, dan pergerakannya yang mudah melalui ekosistem (Ortúzar *et al.*, 2022). *Micropollutants* yang berada dalam lingkungan dalam jumlah yang sangat kecil dengan konsentrasi bagian per miliar (ppb) atau bagian per triliun (ppt) dalam air memiliki dampak pada kesehatan manusia karena bersifat kronik (Kurniawan dan Mariadi, 2019). Keberadaan CIP yang terdapat dalam air mengancam berbagai ekosistem dan kesehatan manusia. Upaya pencegahan untuk mengurangi resiko kontaminasi CIP di lingkungan adalah dengan monitoring kandungan CIP (Pijoh dkk., 2021).

Seiring pengaruhnya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, dikembangkan metode untuk pemantauan keberadaan zat berbahaya di lingkungan perairan, khususnya metode preparasi sampel seperti *Liquid-Liquid Extraction* (LLE), *Solid Phase Extraction* (SPE), *Dispersive Solid Phase Extraction* (DSPE), *Solid Phase Microextraction* (SPME), *Stir Bar Sorptive Extraction* (SBSE), *Matrix Solid-Phase Dispersion* (MSPD), dan *Ion-Exchange Solid Phase Extraction* (IE-SPE). Diantara metode yang tersebut, DSPE merupakan metode yang cepat dan efektif dibandingkan metode SPE karena menggunakan lebih sedikit pelarut dan sorben yang menjadikannya ramah lingkungan (Ścigalski and Kosobucki, 2020). DSPE didasarkan pada penambahan sorben langsung ke dalam larutan sampel dan diikuti dengan *disperse* yang mendukung kontak antara sorben dan analit (Islas *et al.*, 2017).

Penggunaan bahan mesopori atau nanomaterial, seperti karbon aktif, *graphene*, dan *Graphene Oxide* (GO) untuk adsorpsi merupakan salah satu metode untuk menghilangkan residu antibiotik. GO memiliki luas permukaan yang tinggi dan memiliki afinitas yang kuat terhadap polutan organik dan anorganik. Keuntungan utama GO adalah kemampuannya untuk menghilangkan berbagai macam zat kontaminan (Anegbe *et al.*, 2024). Saat ini sintesis GO menggunakan material alternatif yang kaya karbon dan biaya yang relatif rendah seperti ampas tebu sebagai pengganti grafit. GO dapat diperoleh secara komersial, namun relatif mahal dan terbuat dari grafit komersial yang tidak terbarukan. GO yang berasal

dari limbah pertanian lebih ramah lingkungan untuk pengolahan limbah (Silva *et al.*, 2024).

Provinsi Lampung berperan besar dalam memenuhi kesediaan gula nasional. Hal tersebut dibuktikan pada tahun 2017, Provinsi Lampung berkontribusi sebesar 60,12% dari jumlah keseluruhan produksi gula nasional (Andriadi dkk., 2021). Berdasarkan laporan Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2023, Provinsi Lampung berada di posisi kedua setelah Provinsi Jawa Timur dalam produksi gula di Indonesia dengan total luas perkebunan tebu sebesar 141.200 hektar dengan volume produksi mencapai 648.300 ton. Jumlah hasil tebu yang diproduksi menghasilkan limbah berupa ampas tebu (*bagasse*). Hal ini menunjukkan banyaknya limbah tebu yang dihasilkan dari produksi gula. Ampas tebu yang dihasilkan dari produksi gula sebesar 35-40% dari berat tebu giling (Ariyanti *et al.*, 2021). Ampas tebu adalah residu padat yang tersisa setelah tebu dihancurkan untuk diambil sarinya, yang digunakan untuk produksi gula atau etanol. Produksi gula dan etanol menghasilkan ampas tebu dan jerami tebu dalam jumlah besar, yaitu sekitar 35% dari total berat tebu. Sebagai limbah agroindustri, ampas tebu dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan GO karena memiliki kandungan karbon yang tinggi yaitu 37,65% selulosa, 30% hemiselulosa, 22,09% lignin, 27,97% pentosan, 3,01% SiO₂, 3,82% abu, dan sari buah sebesar 1,81% (Zalmi dan Khair, 2021).

Pengaruh *variable* pada proses adsorpsi dianalisis dengan *Desain Box Behnken* (BBD) dengan variabel pH, massa adsorben, dan waktu kontak (Singh and Bhateria, 2020). Optimasi parameter tersebut dilakukan dengan mengevaluasi pengaruh satu faktor pada satu waktu dan mengatur variabel lain tetap konstan sehingga memakan waktu dan keterbatasan pemahaman interaksi antar variabel. Oleh karena itu dikembangkan metode *Response Surface Methodology* (RSM). RSM merupakan metode statistika untuk mengembangkan, meningkatkan, dan mengoptimalkan proses yang dipengaruhi oleh beberapa faktor. Keunggulan RSM adalah tidak memerlukan data percobaan dalam jumlah besar dan efisiensi waktu (Prabudi dkk., 2018). Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian ini dilakukan optimasi *Dispersive Solid Phase Extraction* (DSPE) berbasis *Graphene*

Oxide (GO) dari ampas tebu menggunakan *Response Surface Methodology* untuk penentuan residu antibiotik *Ciprofloxacin*.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

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

1.3 Manfaat Penelitian

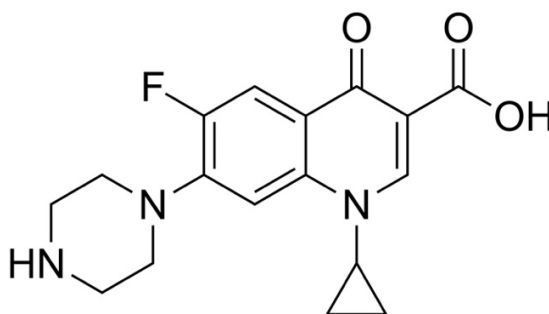
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai alternatif pemanfaatan ampas tebu sebagai adsorben khususnya dalam penyerapan antibiotik CIP di lingkungan perairan serta mengetahui kondisi optimum dari variabel yang mempengaruhi hasil adsorpsi menggunakan RSM.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Antibiotik *Ciprofloxacin*

Antibiotik berasal dari Bahasa Yunani dari kata “anti” yang artinya melawan dan “*bios*” yang artinya hidup. Istilah antibiotik diperkenalkan oleh seorang mikrobiolog pada tahun 1947 (Aditya dkk., 2016). Antibiotik merupakan golongan senyawa alami maupun sintetik yang dihasilkan oleh mikroorganisme bakteri atau jamur. Antibiotik digunakan untuk menghambat kuman bahkan mematikan dengan toksisitas yang relatif kecil (Krisdianto dan Walid, 2023). Prinsip umum antibiotik adalah senyawa tersebut menghambat pertumbuhan bakteri tanpa membahayakan inang manusia karena antibiotik harus mempengaruhi beberapa aspek pada bakteri yang ada di dalam sel-sel manusia (Muntasir dkk., 2021). Penggunaan antibiotik efektif apabila digunakan secara tepat. Antibiotik selain membunuh mikroorganisme atau menghentikan reproduksi bakteri juga membantu sistem pertahanan alami tubuh untuk mengeliminasi bakteri tersebut (Nuraini dkk., 2018). Antibiotik dapat dikelompokkan berdasarkan struktur kimia dan mekanisme kerjanya, salah satu antibiotik yang sering digunakan di Indonesia adalah *Ciprofloxacin* (Thai *et al.*, 2023).

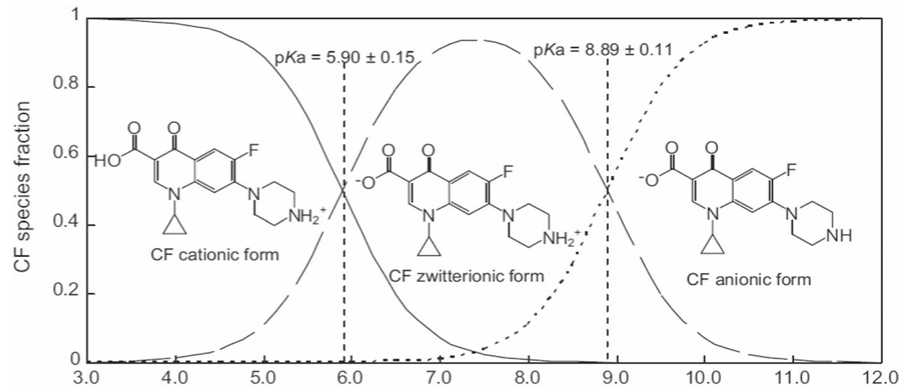
Ciprofloxacin (CIP) (1- *cyclopropyl-6-fluoro-1,4-dihydro-4-okso-7-(1-piperazinyl)-3-quinoline carboxylic acid*) merupakan antibiotik *fluoroquinolone* generasi kedua sintetik yang digunakan untuk mencegah dan mengobati penyakit bakteri menular. Pada umumnya CIP banyak digunakan untuk manusia dan penggunaan hewan, memberikan *respons* bakterisidal yang sangat baik terhadap patogen gram negatif dan gram positif (Chuiprasert *et al.*, 2022).



Gambar 1. Struktur kimia *Ciprofloxacin* (Gezahegn *et al.*, 2019)

CIP merupakan senyawa berbentuk serbuk putih padat dengan rasa pahit yang memiliki waktu paruh sekitar 3-4 jam. CIP disimpan di tempat gelap pada suhu 4 °C untuk menghindari fotodegradasi. CIP memiliki titik leleh 255-257 °C dan kelarutannya bergantung pada pH. Pada pH dibawah 5 kelarutannya maksimum dan minimum Ketika pH mendekati 7, yaitu titik isoelektrik (Gaub and Sanexa, 2023). Konstanta disosiasi untuk CIP adalah $pK_{a1}=5,76-6,09$ (asam) dan $pK_{a2}=8,62$ (basa) (Vidyavathi and Srividya, 2018)

CIP memiliki dua gugus fungsi yang dapat diionisasi, gugus 6-karboksilat dan N-4 dari substituen piperazina dikarenakan asam karboksilat merupakan asam yang lebih kuat daripada gugus ammonium, konstanta ionisasi pertama pK_{a1} (6,09) sesuai dengan disosiasi proton dari gugus karboksil. Sedangkan pK_{a2} (8,62) sesuai dengan disosiasi proton dari N-4 dalam gugus piperazinil. Pada pH yang paling relevan secara fisiologis, nilai pK_{a2} adalah 8,25 dan disosiasi signifikan dari asam 6-karobiksilat dan gugus basa 10-(1-piperazino) terjadi, yang menghasilkan fraksi spesies *zwitter ion* yang signifikan (Sharma *et al.*, 2017). CIP memiliki muatan positif pada $pH < 5,90$, muatan *zwitter ion* pada $8,89 < pH 5,90$ dan muatan negatif pada $pH > 8,89$ (Rostamian and Behnejad, 2018).



Gambar 2. Bentuk ionik CIP dalam berbagai pH (Sharifpour *et al.*, 2020)

Saat ini tingkat residu antibiotik di air permukaan mulai menjadi perhatian. Komite Eropa (EC) menetapkan 2018/03/07EU untuk pemantauan berkelanjutan terhadap kontaminan yang muncul seperti residu antibiotik di air permukaan, untuk memperkirakan resiko kesehatan dari senyawa ini terhadap kesehatan. Diantara berbagai antibiotik, CIP berada dalam limbah karena pengolahan air limbah konvensional sering kali tidak cukup efektif untuk menghilangkan CIP sepenuhnya, sehingga senyawa ini tetap berada di lingkungan perairan dalam berbagai konsentrasi. Ketika senyawa ini masuk ke dalam sistem perairan melalui limbah rumah sakit atau aktivitas manusia lainnya, dapat menyebabkan beberapa masalah lingkungan. Salah satu dampak utamanya adalah pengembangan resistensi antibiotik pada mikroorganisme patogen yang ada di perairan. CIP dapat mengganggu ekosistem perairan dengan mempengaruhi organisme non-target, seperti alga dan invertebrate (Sarafraz *et al.*, 2020).

2.2 Ampas Tebu

Tebu (*Saccharum officinarum L.*) merupakan tanaman yang memiliki berbagai macam manfaat, seperti sukrosa yang terdapat pada batang tebu yang dimanfaatkan untuk mendapatkan kristal gula (Paramitadevi *et al.*, 2017). Sekitar 65% produksi gula di dunia berasal dari tebu. Tebu juga dimanfaatkan untuk industri farmasi, industri pangan, dan lainnya yang menggunakan olahan tebu (Sari dan Sukmawan, 2018).



Gambar 3. Ampas Tebu (Sutini *et al.*, 2019)

Dalam memproduksi gula di Indonesia, Provinsi Lampung berada di posisi kedua setelah Provinsi Jawa Timur. Posisi pertama berada pada kabupaten Lampung Tengah yang mencapai 281,23 ton atau sekitar 43,76% produksi gula di Lampung (Kementerian Pertanian, 2023). Hal ini menjadikan banyak limbah tebu yang dihasilkan dari produksi gula yang disebut ampas tebu. Ampas tebu yang dihasilkan dari produksi gula sebesar 35-40% dari berat tebu giling (Ariyanti *et al.*, 2021). Ketersediaan ampas tebu semakin melimpah dilihat dari banyaknya industri yang memproduksi gula. Berdasarkan data P3GI (Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia), jumlah ampas tebu sebanyak 32% dalam sekali produksi (Adila *et al.*, 2024).

Sekitar 50% ampas tebu yang dihasilkan pada pabrik gula dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler dan sisanya ditimbun sebagai pembuangan yang memiliki nilai ekonomis yang rendah. Penimbunan ampas tebu dalam waktu tertentu akan menimbulkan permasalahan di lingkungan, karena ampas tebu mudah terbakar dan mencemari lingkungan sekitar (Hidayati *et al.*, 2016). Ampas tebu dapat digunakan sebagai bahan pembuatan karbon aktif yang nantinya akan digunakan sebagai adsorben. Pada ampas tebu mengandung material yang sebagian besar mengandung lignoselulosa (Putri dkk., 2019). Ampas tebu mengandung selulosa 37,65%, hemiselulosa 30%, lignin 22,09%, pentosan 27,97, SiO₂ 3,01%, abu 3,82%, dan sari buah 1,81% (Zalmi dan Khair, 2021). Selain itu, ampas tebu mengandung komponen-komponen lain yang dapat dilihat pada Tabel 1. Hal tersebut menjadi dasar bagasse tebu digunakan sebagai bahan baku pembuatan GO sebagai adsorben untuk mengadsorpsi residu antibiotik CIP.

Tabel 1. Komponen kandungan ampas tebu

Komponen	Kadar (%)
Selulosa	35,01
Hemiselulosa	25,24
Lignin	6,4
Silikat	9,35

(Hidayati *et al.*, 2016)

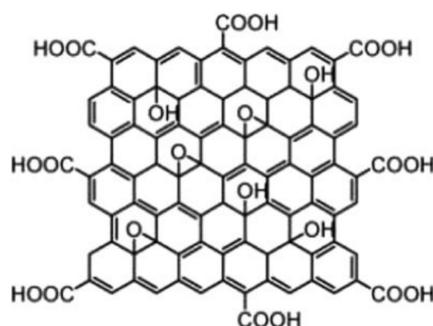
2.3 Graphene Oxide

Graphene merupakan material baru terunggul, tertutup, dan terkuat yang terbentuk dari satu lapis atom C (karbon) dengan struktur heksagonal menyerupai sarang lebah. *Graphene* berasal dari kata *graphite* dan *ene* (Truong and Lee, 2013). *Graphene* merupakan nanomaterial berbentuk dua dimensi monoatomik yang terdiri dari satu lapis grafit. *Graphene* didapatkan melalui beberapa tahapan yakni, *graphite* dioksidasi menjadi *graphite oxide*, lalu lembaran-lembaran *graphite* tereksfoliasi dalam air dan membentuk *oksida graphene*, kemudian konsentrasi dari O₂ dalam *graphene oxide* direduksi sampai habis dan menghasilkan lapisan *graphene* (Syakir *et al.*, 2015).

GO merupakan senyawa turunan *graphene* yang mengalami proses oksidasi dan terkandung unsur karbon, oksigen, dan hidrogen. GO sering diaplikasikan dalam berbagai bidang, hal ini dikarenakan GO memiliki ikatan dengan gugus fungsi oksigen yang reaktif, sebagai contoh pada bagian tepi lembaran GO terdapat beberapa gugus fungsi seperti gugus karboksil (–COOH), karbonil (–C=O), dan gugus fenol. Selain itu pada bagian basal terdapat gugus epoksi (C–O–C) dan hidroksil (–OH) yang menjadikan GO bersifat hidrofilik (Tohamy *et al.*, 2022). Senyawa turunan dari GO memiliki perbedaan pada strukturnya. *Graphene* memiliki struktur berbentuk planar, sedangkan GO memiliki lengkungan yang disebabkan oleh adanya gugus oksigen (Bete *et al.*, 2019).

GO merupakan turunan *graphene* yang paling mudah disintesis dan memiliki gugus fungsional oksigen yang terpasang pada bidang dasar dan tepi lembarannya. Oksigen yang terdapat pada GO menyebabkan penurunan sifat-sifat

unggul dari *graphene* yang kemudian berdampak pada penggunaan GO secara maksimal yaitu dengan menggunakannya sebagai adsorben yang memiliki aktivitas antibakteri yang efektif. Pada umumnya, proses sintesis GO melibatkan oksidasi grafit menggunakan metode Hummers yang melibatkan penggunaan asam kuat dan agen pengoksidasi seperti kalium permanganat (Sjahriza *et al.*, 2021). Adapun struktur GO ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur GO (Gerani *et al.*, 2017)

GO dapat disintesis dengan berbagai metode, seperti metode Brodie, Staudenmaier, Hummers, dan Hummers termodifikasi.

1. Metode Brodie

Metode Brodie merupakan metode pertama untuk proses pembuatan GO pada tahun 1859. Brodie membuat grafit dalam campuran KClO_3 dan HNO_3 berasap pada suhu 60°C . Proses ini memiliki resiko ledakan karena penggunaan KClO_3 . Akibat kekurangan tersebut, maka dicari metode lain untuk menghilangkan resiko ledakan dan membuat proses lebih efisien (Ikram *et al.*, 2020).

2. Metode Staudenmaier

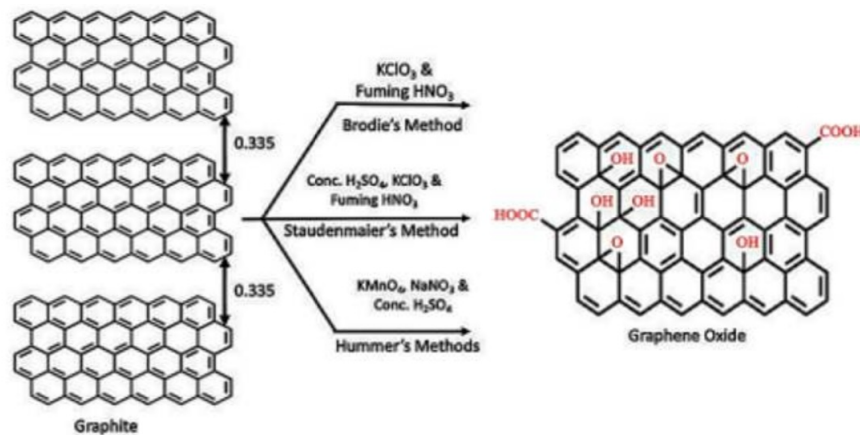
Staudenmaier memperbaiki metode Brodie dengan menambahkan asam sulfat pekat (H_2SO_4) sebagai pengganti HNO_3 dalam proses oksidasi *graphene*. Namun, penggunaan KClO_3 menyebabkan sintesis harus berada pada suhu tinggi yang dapat menimbulkan resiko ledakan (Ikram *et al.*, 2020).

3. Metode Hummers

Metode Hummers merupakan metode yang lebih cepat dibandingkan dengan metode sebelumnya. Akibat kurangnya pada metode Staudenmaier, maka metode Hummers dikenalkan dengan menggunakan KMnO_4 sebagai pengganti KClO_3 dan bahan berupa NaNO_3 sebagai pengganti HNO_3 yang menyebabkan metode ini bersifat aman dari adanya ledakan saat proses oksidasi (Zaaba *et al.*, 2017).

4. Metode Hummers termodifikasi

Metode Hummers termodifikasi dilakukan dengan meningkatkan jumlah oksidator KMnO_4 , menghilangkan penggunaan NaNO_3 , dan mereaksikan bahan dalam campuran H_2SO_4 dan H_3PO_4 (Santamaría *et al.*, 2019).



Gambar 5. Skema ilustrasi sintesis GO (Adetayo dan Runsewe, 2019)

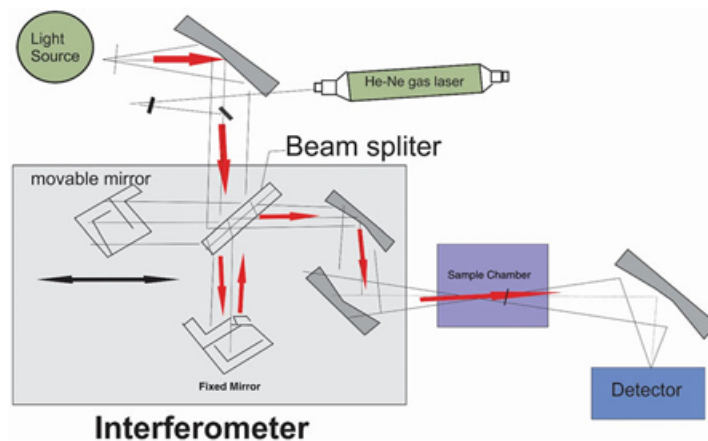
Dari penguraian metode sintesis tersebut, diketahui bahwa kebutuhan bahan yang banyak dan waktu sintesis yang berlangsung lama menjadikan metode satu langkah (*single step*) sebagai solusi sebagai metode pembuatan yang berkualitas tinggi. Metode *single step* tergolong prosesnya cepat, mudah, dan ramah lingkungan karena tidak menggunakan bahan kimia yang berbahaya bahkan menyebabkan toksisitas. Debbarma *et al.* (2019) memanfaatkan limbah tebu, yaitu ampas tebu sebagai *graphite*. Didapatkan GO dengan pirolisis pada suhu 350°C menggunakan ferrocene. Proses pirolisis dilakukan dengan suhu tinggi agar dihasilkan serbuk hitam untuk karakterisasi GO.

2.4 Karakterisasi

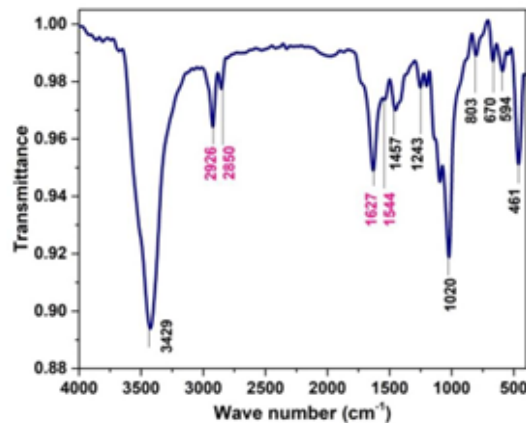
2.4.1 Fourier Transform Infrared

Fourier Transform Infrared (FTIR) merupakan metode pengukuran secara spektroskopi untuk mendeteksi struktur molekul senyawa (Sulistiyani, 2018). FTIR dikenal sebagai metode analisis yang baik untuk senyawa organik maupun anorganik dalam rentang bilangan gelombang $4000\text{ cm}^{-1} - 400\text{ cm}^{-1}$ (Riyanto dan Nas, 2016). Spektroskopi FTIR merupakan analisis yang cepat, non-destruktif, dan prosedur pengukurannya yang sangat mudah dilakukan (Kučević *et al.*, 2017). Spektroskopi FTIR tidak hanya cepat, tetapi analisis ini sangat memungkinkan untuk dilakukan perubahan parameter pengukuran sesuai kebutuhan, seperti dapat ditentukan rentang panjang gelombang pengukuran (Kotadiya dan Khristi, 2019).

Prinsip kerja FTIR adalah interaksi antara energi (molekul senyawa kompleks) dengan sinar inframerah yang mengakibatkan adanya vibrasi pada molekul-molekul. Besarnya energi vibrasi berbeda-beda tiap komponennya bergantung pada atom-atom dan kekuatan ikatan. Adanya perbedaan tingkat vibrasi komponen tersebut dapat mengidentifikasi keberadaan gugus fungsi dalam suatu molekul (Bijang *et al.*, 2018). Spektrometer FTIR terdiri dari sumber cahaya IR, *interferometer*, kompartemen sampel, *detector*, dan komputer. Pada prinsipnya FTIR merupakan metode untuk memperoleh spektrum inframerah, yang awalnya mencakup pengumpulan *interferogram* dari sinyal sampel menggunakan *interferometer* dan kemudian melakukan *Transformasi Fourier* (FT) pada *interferogram* untuk memperoleh spektrum.



Gambar 6. Instrumentasi spektrofotometer IR (Khan *et al.*, 2018)



Gambar 7. Spektrum FTIR GO (Surekha *et al.*, 2020)

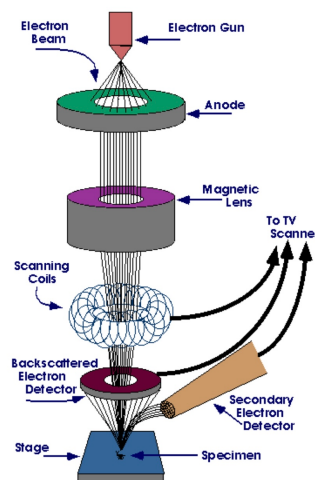
2.4.2 Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan mikroskop elektron yang membuat gambar profil permukaan objek dengan mengarahkan berkas elektron ke objek. SEM bekerja dengan menggunakan berkas elektron yang dihasilkan oleh elektron *gun* dari filamen tungsten yang dipanaskan. Berkas elektron difokuskan menggunakan lensa *magnetic* untuk membentuk titik kecil pada permukaan sampel. Selanjutnya, berkas elektron dipindai secara menyeluruh pada permukaan sampel dengan bantuan koil pemindai. Ketika elektron mengenai sampel, terjadi interaksi yang menghasilkan hamburan elektron, baik sebagai *Secondary*

Electrons (SE) maupun *Backscattered Electrons* (BE). Elektron yang terhambur kemudian ditangkap oleh *detector* dan diubah menjadi sinyal yang diproses untuk menghasilkan gambar dengan resolusi tinggi pada monitor. SEM sangat dibutuhkan untuk mempelajari topografi, morfologi, komposisi, dan informasi kristalografi dari sampel dengan detail yang sangat tinggi (Karolina, 2022).

Bagian utama dari SEM terdiri dari elektron *gun*, lensa untuk elektron, dan sistem vakum. Fungsi dari masing-masing bagian adalah (Wijayanto dan Bayuseno, 2014):

1. Elektron *gun*, umumnya berupa filamen dari unsur yang mudah untuk melepaskan elektron.
2. Lensa untuk elektron, bersifat magnetis karena elektron yang bermuatan negatif dapat dibelokkan oleh medan magnet.
3. Sistem vakum, jika terdapat molekul udara yang lain, maka elektron akan terpencar oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran.

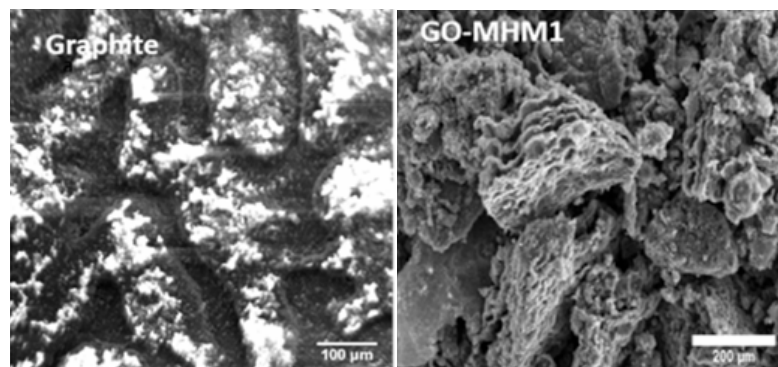


Gambar 8. Prinsip kerja SEM (Sudradjat dan Bayuseno, 2013)

SEM yang dilengkapi dengan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) dapat mengidentifikasi komposisi unsur-unsur yang terkandung. EDX bekerja dengan memanfaatkan berkas elektron yang difokuskan pada sampel, menyebabkan emisi sinar-X karakteristik dari atom-atom dalam sampel tersebut. Setiap elemen dalam sampel memancarkan sinar-X pada tingkat energi spesifik yang unik untuk

elemen tersebut. Dengan mendeteksi dan menganalisis sinar-X yang dipancarkan, EDX dapat menentukan keberadaan dan kelimpahan *relative* elemen-elemen dalam sampel. Teknik ini sering digunakan bersamaan dengan SEM untuk analisis komposisi yang mendetail pada skala mikro atau nano.

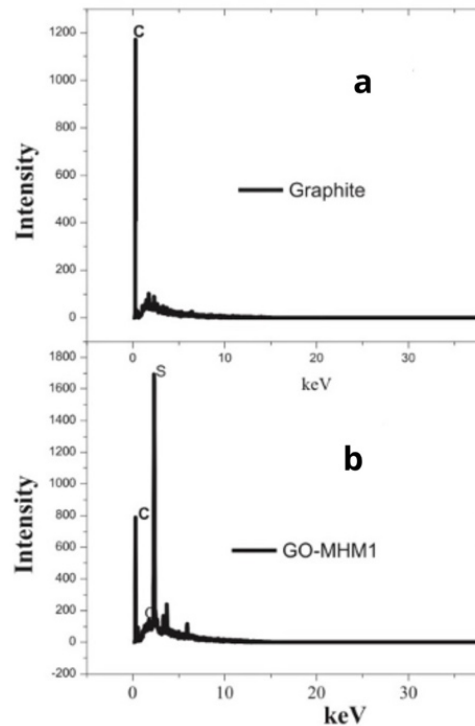
SEM-EDX merupakan metode yang digunakan untuk pengamatan morfologi permukaan, struktur, dan pemetaan kandungan berbagai jenis sampel mulai dari bahan alam, organik, anorganik, polimer, logam hingga sampel biologi. Metode ini menggunakan berkas elektron pancaran energi untuk memindai objek sehingga menghasilkan citra dan komposisi sampel. Berkas elektron yang digunakan memiliki panjang gelombang lebih pendek dibandingkan panjang gelombang cahaya tampak, sehingga menghasilkan resolusi dan detail gambar yang lebih baik dibandingkan dengan mikroskop optik. Dengan prinsip tersebut menjadikan metode ini memiliki keunggulan lebih dengan menghasilkan gambar tiga dimensi dengan perbesaran dan resolusi yang jauh lebih tinggi (Sahdiah dan Kurniawan, 2023).



Gambar 9. Mikrograf SEM hasil sintesis (a) grafit (b) GO (Kigozi *et al.*, 2020)

Karakterisasi menggunakan SEM pada mikrograf grafit menunjukkan permukaan padat dengan struktur berlapis-lapis yang khas. GO menunjukkan permukaan menjadi lebih berpori dan bergelombang. Struktur GO menunjukkan lapisan-lapisan tipis yang terbuka, menggambarkan pembentukan oksigen di antara lapisan karbon. Hasil analisis grafit menggunakan EDX menunjukkan komposisi unsur C yang sangat tinggi sekitar 95,47%, unsur O 0,3%. Sedangkan komposisi pada GO yang disintesis menggunakan metode Hummers Termodifikasi

menunjukkan komposisi unsur C menurun signifikan menjadi 56,02% dan unsur O meningkat menjadi 6,73%. Karakterisasi grafit dan GO menggunakan SEM dan EDX ditunjukkan pada Gambar 9 dan 10.



Gambar 10. Spektrum EDX GO (a) grafit (b) GO (Kigozi *et al.*, 2020)

2.4.3 X-Ray Diffraction

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan teknik yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal dalam sampel (Ali *et al.*, 2022). XRD digunakan untuk mengidentifikasi material kristalin, seperti identifikasi struktur kristalin dan fasa dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X. Selain itu, dimanfaatkan untuk mengetahui susunan berbagai jenis atom dalam kristal dan cacat kristal.

Prinsip dasar XRD adalah mendifraksi cahaya yang melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi atau kristal dapat terjadi apabila difraksi berasal dari radius dengan panjang gelombang yang setara dengan jarak antar atom, yaitu sekitar 1 angstrom. Radiasi yang digunakan berupa radiasi sinar-X, elektron, dan neutron.

Sinar-X merupakan foton dengan energi tinggi yang memiliki panjang gelombang berkisar antara 0,5 sampai 2,5 angstrom. Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, maka sebagian berkas akan diabsorpsi, ditransmisikan, dan sebagian lagi dihamburkan terdifraksi. Hamburan terdifraksi inilah yang dideteksi oleh XRD (Hakim dan Nawir, 2019). XRD didasarkan pada hukum *Bragg* yang menyatakan perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-X harus merupakan kelipatan panjang gelombang yang dapat ditulis pada Persamaan 1.

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

Keterangan:

n = bilangan bulat

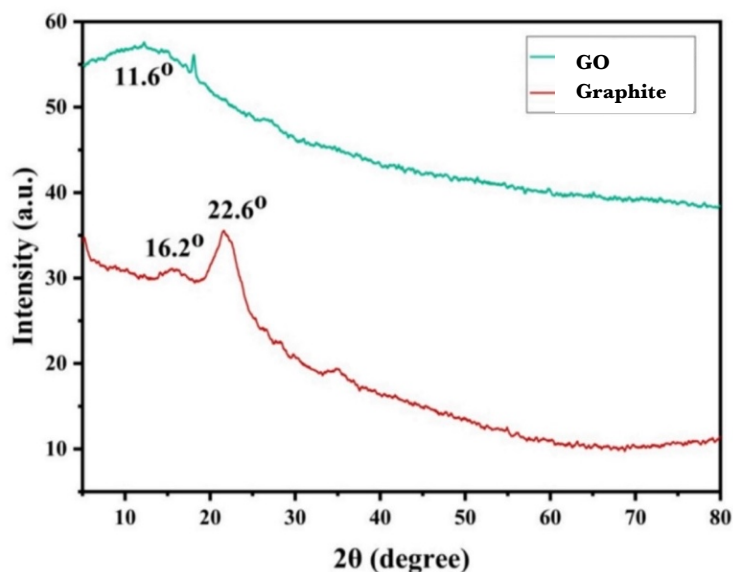
λ = panjang gelombang sinar-X

d = jarak antar bidang

θ = sudut difraksi

Karakterisasi menggunakan XRD menghasilkan pola difraksi atau yang disebut dengan difraktogram. Difraktogram merupakan suatu grafik dua dimensi berupa susunan garis atau puncak yang memberikan informasi berupa nilai intensitas pada sumbu vertikal dan nilai sudut difraksi (2θ) pada sumbu horizontal (Safira *et al.*, 2022). Dalam analisis GO menggunakan XRD bermanfaat untuk memperoleh struktur kristal dan orientasi dari bahan tersebut. Data XRD menghasilkan pola puncak yang mencerminkan jarak antar bidang kristal dan komposisi fasa material, wawasan terhadap sifat kristalografi, dan komposisi GO.

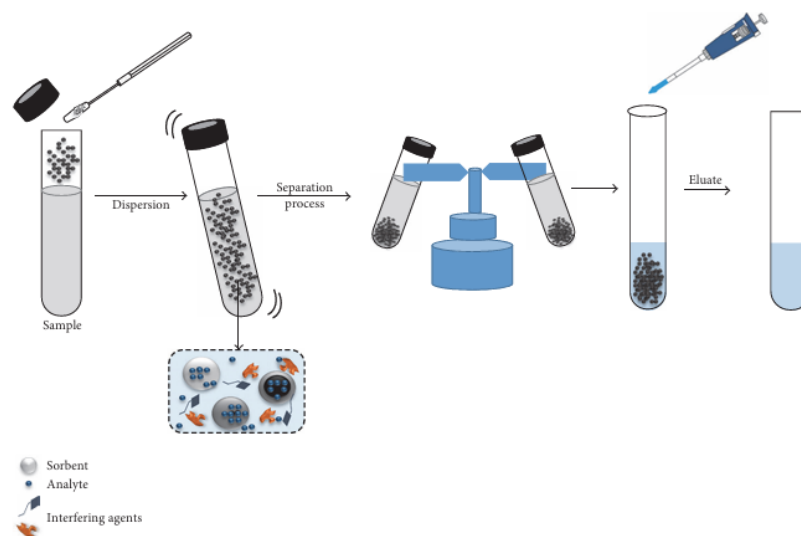
Karakterisasi GO menggunakan XRD dari grafit menunjukkan hasil puncak difraksi yang tajam diamati pada sekitar $2\theta = 26,5^\circ$ sesuai dengan jarak antar lapisan sebesar 0,34 nm. Setelah proses oksidasi, puncak difraksi XRD GO bergeser ke $2\theta = 11,6^\circ$ menunjukkan jarak antar lapisan yang lebih besar sekitar 0,79 nm. Adanya peningkatan jarak tersebut disebabkan oleh adanya gugus fungsional oksigen yang masuk ke dalam lapisan graphene (Mohamed *et al.*, 2024). Contoh karakterisasi GO menggunakan XRD ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Pola difraksi XRD dari grafit dan GO (Mohamed *et al.*, 2024)

2.5 Dispersive Solid Phase Extraction

Dispersive Solid Phase Extraction (DSPE) adalah modifikasi dari *Solid Phase Extraction* (SPE), dimana DSPE merupakan teknik ekstraksi yang digunakan untuk memisahkan analit dari matriks sampel yang kompleks. DSPE banyak diaplikasikan dalam menganalisis polutan lingkungan seperti senyawa antibiotik (Zhang *et al.*, 2017) dan menganalisis residu pestisida (González *et al.*, 2012; Rejczak dan Tuzimski, 2017; Zhao *et al.*, 2018). DSPE digunakan sebagai metode preparasi sampel untuk menganalisis suatu senyawa dengan menggunakan adsorban yang ada di dalam larutan sampel yang didalamnya terkandung analit target dan dilanjutkan proses dispersi (Anastassiades dan Lehotay, 2003). Setelah proses dispersi, sorben dengan analit akan tertahan di permukaan dan dipisahkan dengan sentrifugasi. Setelah fase padat diisolasi, analit yang teradsorpsi pada permukaan adsorban dapat dengan mudah dielusi atau dihilangkan dengan penambahan pelarut organik yang memadai (Islas *et al.*, 2017). DSPE memiliki beberapa keunggulan seperti penggunaan pelarut yang sedikit, prosedur yang lebih sederhana, dan cepat (Szynkiewicz *et al.*, 2023). Skema teknik DSPE ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Skema metodologi dispersi dengan DSPE (Islas *et al.*, 2017)

Dalam pemilihan adsorben perlu diperhatikan dalam DSPE, dimana adsorben yang digunakan harus memiliki eluat yang bersih untuk memberikan *recovery* yang tinggi dari senyawa yang di analisis. Adsorben yang digunakan sebagian besar bekerja dengan prinsip adsorpsi, sehingga menyebabkan timbulnya ikatan yang kuat antara adsorben dengan adsorbat (Cvetković *et al.*, 2016). Adsorpsi merupakan proses di mana molekul atau ion dari suatu zat (adsorbat) menempel pada permukaan lain (adsorben) melalui interaksi fisik atau kimia. Dalam metode DSPE, adsorpsi terjadi ketika sorben padat dicampurkan dengan sampel cair. Molekul analit dari sampel akan menempel pada permukaan sorben karena adanya gaya tarik-menarik, seperti gaya *Van der Waals* atau ikatan hidrogen (Ścigalski dan Kosobucki, 2020). Proses adsorpsi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti massa adsorben, suhu, pH larutan, dan ukuran molekul adsorben. Adsorben merupakan bahan dengan struktur berpori tinggi untuk menempatkan adsorbat dalam pori-pori dindingnya. Pemilihan adsorben didasarkan pada kapasitas, selektifitas, kecepatan dalam adsorpsi, aman dari kontaminan berbahaya, harga yang terjangkau dan mudah diregenerasi (Sulistyawati *et al.*, 2022).

2.6 Response Surface Methodology

Response Surface Methodology (RSM) merupakan metode statistika yang berguna untuk mengembangkan, meningkatkan, dan mengoptimalkan proses, dimana respon dipengaruhi oleh beberapa faktor. RSM digunakan untuk memilih kondisi proses yang paling optimal. Metode RSM membantu dalam menentukan kondisi operasi yang optimum sehingga menghemat biaya dan waktu. Keunggulan RSM tersebut menjadikan metode yang populer untuk studi optimasi saat ini (Prabudi *et al.*, 2018).

RSM memiliki aplikasi yang luas dalam berbagai bidang dengan keunggulan seperti membutuhkan jumlah percobaan yang sedikit dan dapat memberikan informasi yang banyak dengan biaya yang rendah. Metode ini mampu menentukan efek interaksi antara parameter input dan memungkinkan prediksi hasil dari kombinasi faktor yang berbeda. Jika dibandingkan dengan metode lain seperti Taguchi atau metode satu faktor, RSM lebih efektif dalam pemodelan matematis dan prediksi respon. Namun, RSM juga memiliki beberapa kelemahan seperti ketergantungan pemilihan rentang parameter yang tepat dan tidak mampu menjelaskan penyebab interaksi yang berkembang (Reji dan Kumar, 2022).

Hubungan antara respons dan perlakuan dapat dilihat dengan menentukan bentuk hubungannya. Hubungan tersebut dapat dituliskan dalam Persamaan 2.

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_k) + a \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

- y = variabel *respons*
- f = fungsi *respons*
- X_k = variabel independen/faktor (i = 1,2,3...,k)
- a = *error*

Permasalahan dalam RSM adalah tidak diketahui hubungan antara variabel *respons* dan variabel independen. Langkah pertama dalam RSM yaitu menentukan bentuk hubungan menggunakan pendekatan yang tepat. Hubungan linear umumnya dicoba terlebih dahulu karena merupakan bentuk sederhana (*low-order polynomial*). Jika hubungan ini terbukti linear, maka model yang digunakan disebut sebagai *first-order* model yang ditunjukkan dalam Persamaan 3.

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \varepsilon \dots \dots \dots (3)$$

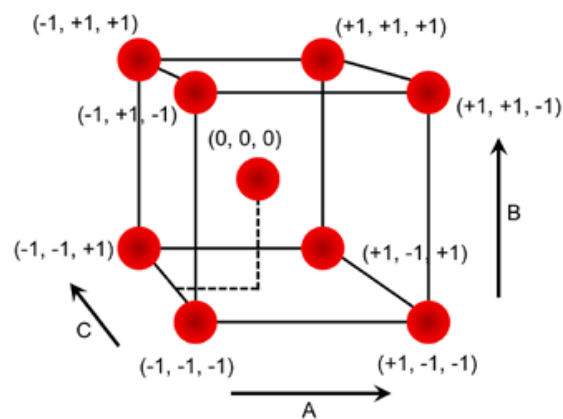
Jika bentuk hubungannya merupakan kuadrat, maka digunakan pendekatan dengan polinomial derajat lebih tinggi, yaitu *second-order* model yang ditunjukkan dalam Persamaan 4.

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_{22}x_2^2 + \beta_{12}x_1x_2 + \varepsilon \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

y	=	variabel <i>respons</i>
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	=	<i>error</i>

RSM merupakan serangkaian metode Desain Eksperimen (DOE) tingkat lanjut untuk mengoptimalkan respons. DOE merupakan pendekatan untuk menentukan korelasi antara parameter proses dan *output*. Setelah faktor dan respon ditentukan, dilanjutkan dengan merancang eksperimen dengan memilih titik-titik di mana respons dapat diprediksi dan dievaluasi. Setelah faktor diidentifikasi, berbagai jenis DOE dikembangkan untuk membentuk permukaan respons. DOE digunakan untuk desain faktorial untuk mengetahui pengaruh variabel secara efisien. Adapun macam-macam desain untuk elaborasi seperti, *Central Composite Design* (CCD), *Box-Behnken Design* (BBD), dan orthogonal design. Desain BBD dapat memprediksi koefisien orde pertama dan kedua secara efisien karena menggunakan lebih sedikit desain, sehingga menghemat waktu dan biaya. Meskipun BBD tidak memiliki desain faktorial bawaan seperti CCD, BBD tetap efektif dalam menghasilkan respons orde lebih tinggi dengan sedikit pengujian dibandingkan desain faktorial tiga tingkat atau CCD (Veza et al., 2023).



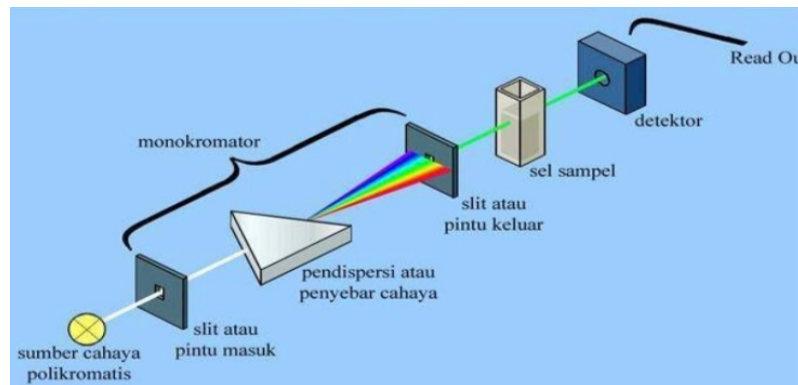
Gambar 13. Representasi grafis BBD (Veza *et al.*, 2023)

2.7 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri UV-Visible merupakan teknik analisis spektroskopi yang menggunakan sumber radiasi elektromagnetik *ultraviolet* dekat (190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm) dengan menggunakan instrumen spektrofotometer. Sesuai dengan namanya, spektrofotometri merupakan instrumen yang terdiri dari *spectrometer* dan fotometer. Spektrofotometer menghasilkan sinar dari *spectrum* dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer sebagai alat pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau diabsorpsi. Hal tersebut menjadikan spektrofotometer digunakan dalam mengukur energi relatif jika energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan atau diemisikan sebagai fungsi panjang gelombang (Putri, 2017). Terdapat dua tipe instrumen spektrofotometer UV-Visible, yaitu *single-beam* yang digunakan untuk mengukur absorbansi pada panjang gelombang tunggal dengan panjang gelombang paling rendah (190-210 nm) dan paling tinggi (800-1000 nm). Sedangkan *double-beam* memiliki dua sinar yang dibentuk oleh pemecah sinar, digunakan pada panjang gelombang 190-750 nm (Abriyani *et al.*, 2023).

Prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis adalah sumber cahaya (sinar polikromatis) ditewatkan melalui monokromator sehingga menjadi sinar monokromatis yang kemudian diteruskan melalui sel yang berisi sampel. Sebagian sinar akan diserap oleh sel dan sebagian akan diteruskan ke fotosel yang akan mengubah energi

cahaya menjadi energi listrik. Energi listrik akan memberikan sinyal pada detektor dan diubah menjadi nilai serapan (absorbansi) (Miarti dan Legasari, 2022). Skema spektrofotometer UV-*Vis* ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Skema spektrofotometer UV-*Vis* (Putri, 2017).

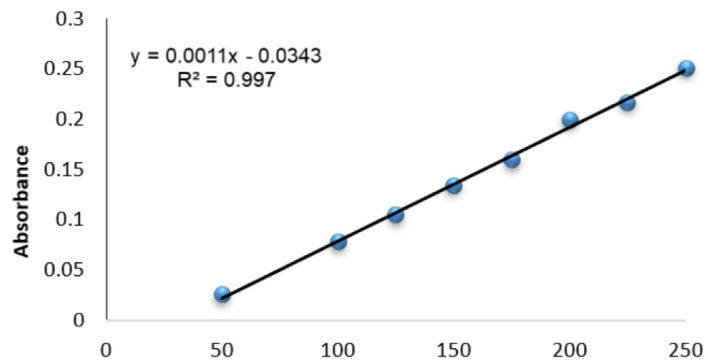
Menurut Angraini dan Yanti (2021), secara sederhana spektrofotometer UV-*Vis* terdiri dari sumber cahaya, monokromator, sel sampel, detektor, dan *read out*.

Fungsi dari masing-masing bagian adalah:

1. Sumber cahaya, berfungsi sebagai sumber cahaya polikromatis dengan berbagai macam gelombang dari lampu *tungsten/wolfram* pada daerah *Visible* dan *deuterium* pada daerah *Ultraviolet*.
2. Monoktomator, berfungsi sebagai penyeleksi panjang gelombang.
3. Sel sampel/Kuvet, berfungsi sebagai tempat sampel.
4. Detektor, berfungsi sebagai penangkap sinar yang melewati sampel dan diubah menjadi arus listrik.
5. *Read out*, berfungsi sebagai sistem yang menangkap isyarat listrik hasil dari detektor dan mengeluarkan dalam bentuk angka transmittan atau absorbansi yang ditampilkan pada *display*.

Spektrofotometer UV-*Vis* memiliki beberapa kelebihan dalam hal sensitivitas, spesifisitas, dan akurasi, serta asil analisis dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi zat dalam suatu sampel, analisis struktur senyawa kimia, dan mendeteksi pengotor dalam suatu sampel (Abriyani *et al.*, 2024) . Oleh karena itu, spektrofotometri UV-*Vis* dapat diaplikasikan dalam analisis residu antibiotik

tetrasiklin, ofloksasin, kloramfenikol (Li *et al.*, 2022), dan CIP (Maged *et al.*, 2020). Kurva kalibrasi CIP dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Kurva kalibrasi CIP (Mahmoud *et al.*, 2023)

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan selama bulan Oktober s.d. Maret 2025 di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi FMIPA, Universitas Lampung. Karakterisasi *Graphene Oxide* (GO) menggunakan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) di Unit Pelaksana Analisis Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPA-LTSIT), *X-Ray Diffraction* (XRD) di Universitas Negeri Padang, dan uji adsorpsi GO dengan antibiotik CIP menggunakan Spektrofotometer *Ultraviolet-Visible* (UV-Vis) dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi FMIPA, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas kimia, labu erlenmeyer, labu ukur, neraca analitik (AND HR-150A 152 g/0,1mg), tabung reaksi, rak tabung reaksi, mortar dan alu, *centrifuge* (Fischer Scientific 1827001027164), tabung *centrifuge*, oven (Memmert 55), corong kaca, pipet tetes, pipet volume, *bulb*, kertas saring, cawan krus, batang pengaduk, spatula, pH meter (XS pH 60 Vio Lab), botol semprot, desikator, ultrasonik (1510 Brason), FTIR (Agilent Cary 630), SEM-EDX (EVO[®] MA 10) dan Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1780).

Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah ampas tebu (PT. Gunung Madu Plantations), Ferrocene (Supelco Sigmaaldrich), antibiotik standar

CIP (Hexpharm Jaya), HCl 37% (Smart-Lab), NaOH (MerckTM), asam asetat glasial (Smart-Lab) dan akuades.

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Pembuatan GO menggunakan Metode *Single Step*

Ampas tebu dicuci hingga bersih dengan air untuk menghilangkan kotoran, lalu dikeringkan selama 2 hingga 3 hari di bawah sinar matahari dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100 °C selama 5 jam. Ampas tebu yang telah kering digiling hingga menjadi serbuk halus. Ampas tebu yang sudah menjadi serbuk dimasukkan ke dalam cawan krus dan difurnace dengan suhu 400 °C selama 1 jam untuk memperoleh ampas tebu yang telah dikarbonisasi.

Ampas tebu yang telah dikarbonisasi dihaluskan menggunakan mortar, kemudian diayak dengan ayakan 100 mesh. Sebanyak 5 gram ampas tebu yang telah dikarbonisasi ditambahkan 1 gram ferrocene dan ditempatkan dalam cawan krus. Kemudian difurnace pada suhu 300 °C selama 15 menit untuk membentuk GO (Mohamed *et al.*, 2024).

3.3.2 Karakterisasi GO

Karakterisasi dilakukan dengan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi, untuk mengetahui morfologi, identifikasi unsur, dan komposisi kuantitatif dilakukan menggunakan SEM-EDX, serta tingkat kristalinitas diidentifikasi menggunakan XRD, serta untuk mengetahui sifat optik dari GO Ampas tebu dilakukan menggunakan Spektrofotometri UV-*Vis*. Hasil karakterisasi yang diperoleh dibandingkan dengan GO yang disintesis dari grafit komersial.

3.3.3 Pembuatan Larutan Induk CIP

Larutan induk CIP 500 ppm dibuat dengan cara menimbang 50 mg CIP yang dilarutkan dengan akuades dalam labu ukur 100 mL hingga tanda tera, lalu dihomogenkan.

3.3.4 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 tanda 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 tandaa tera dan dihomogenkan.

3.3.5 Pembuatan Larutan Standar CIP

Larutan standar CIP 2,4,6,8, dan 10 ppm dibuat dengan memipe 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.

3.3.6 Optimasi DSPE menggunakan RSM

Dalam eksperimen pada DSPE dirancang dengan metode *Box-Bhenken Design* (BBD) dengan 3 level tingkat berupa nilai maksimum (+1), nilai medium (0), dan nilai minimum (-1) pada faktor seperti massa adsorben, pH, dan waktu kontak yang ditunjukkan pada Tabel 2. Berdasarkan desain eksperimen menggunakan *software* Design Expert 13.0, dihasilkan 17 percobaan yang ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil % adsorpsi yang diperoleh dari uji DSPE digunakan sebagai variabel respon yang akan dianalisis dengan *ANOVA* dan dibuat grafik RSM untuk mengetahui kondisi optimum DSPE CIP dengan adsorben GO (Gupta *et al.*, 2017).

Tabel 2. Level variabel independent dalam desain BBD

Faktor	-1	0	+1
Massa adsorben GO (mg)	10	30	50
pH	2	5	8
Waktu Kontak (menit)	10	35	60

Dalam penelitian ini, percobaan dilakukan secara bergantian dan sesuai dengan nilai yang diberikan pada desain BBD yang ditunjukkan pada Tabel 3. Untuk setiap sampel, larutan CIP dengan konsentrasi tertentu dicampurkan dengan adsorben GO dalam jumlah tertentu dalam kondisi pH dan waktu kontak yang sudah ditentukan. GO dipisahkan dengan sentrifugasi dan filtrasi, sehingga konsentrasi CIP yang tersisa dalam larutan diukur dengan Spektrofotometer UV-*Vis* pada panjang gelombang 270 nm. Persentase adsorpsi antibiotik dianggap variabel respon menurut Persamaan 5.

$$\text{Adsorpsi (\%)} = \frac{C_o - C_x}{C_o} \times 100 \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan:

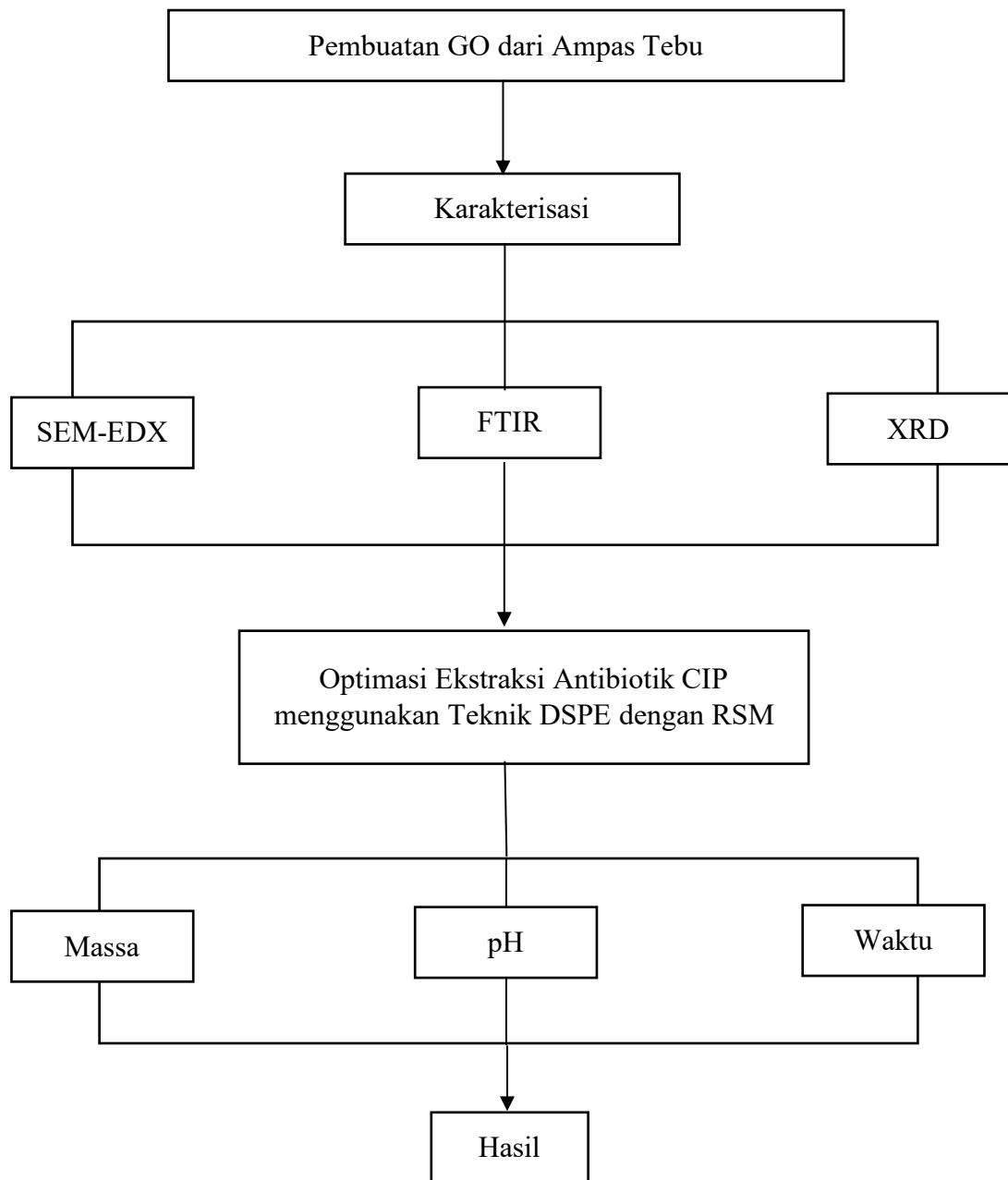
C_o = Konsentrasi awal CIP

C_x = Konsentrasi akhir CIP setelah adsorpsi dalam larutan ($\mu\text{g/mL}$)

Tabel 3. Desain eksperimen BBD

<i>Run</i>	pH	Massa Adsorben (mg)	Waktu Kontak (min)
1	5	50	60
2	5	30	35
3	2	30	10
4	5	30	35
5	8	10	35
6	5	10	10
7	5	10	60
8	2	50	35
9	8	30	60
10	5	30	35
11	2	10	35
12	2	30	60
13	5	50	10
14	5	30	35
15	8	30	10
16	8	50	35
17	5	30	35

Diagram alir dari penelitian ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Diagram Alir Penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, maka dapat kesimpulan bahwa:

1. Pada penelitian ini berhasil dilakukan pembuatan *Graphene Oxide* (GO) yang dibuktikan dengan hasil karakterisasi FTIR, XRD dan SEM-EDX.
2. GO yang telah diperoleh memiliki gugus fungsi hidroksil, karbonil, karboksil, dan epoksi melalui karakterisasi FTIR, GO juga menunjukkan pola difraksi khas GO pada $2\theta = 10,08^\circ$ berdasarkan hasil karakterisasi XRD, dan memiliki morfologi permukaan berupa lembaran tipis dengan sedikit kerutan berdasarkan hasil karakterisasi SEM, serta memiliki komposisi unsur C dan O berdasarkan hasil karakterisasi EDX.
3. Adsorpsi *Ciprofloxacin* dengan GO yang berasal dari ampas tebu mencapai 88,3948% dalam kondisi optimum dengan tingkat desirability 1 pada pH 3,14; massa adsorben GO 43 mg; dan waktu kontak 29,93 menit pada RSM. Hasil validasi eksperimen terhadap kondisi optimum menunjukkan rata-rata % adsorpsi 88,3948% dengan % error sebesar 0,0233%, sehingga membuktikan keakuratan dan kesesuaian model prediksi dengan data aktual.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah

1. Diperlukan penambahan agen pengoksidasi untuk memastikan terbentuknya kristal yang dapat terdeteksi dalam karakterisasi XRD.
2. Perlu dilakukan penyesuaian model ANOVA, seperti massa adsorben GO perlu dikurangi untuk melihat pengaruh adsorpsi yang signifikan terhadap interaksi pH dan waktu kontak.

DAFTAR PUSTAKA

- Abriyani, E., Nissa, A. K., Nurcahyani, I., Haniatin, K., dan Andriyani, N. 2024. Analisis Hasil Penentuan Struktur Kimia Senyawa Asam Askorbat Dengan Metode Spektrofotometri UV-*Vis* Sebagai Bahan Ajar Kimia Analitik. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, **10**(11): 134–138.
- Abriyani, E., Widyaningsih, A., Pangestu, A. D., Dewi, S. R., dan Setiawan, S. 2023. Literatur Riview : Penetapan Kadar Salbutamol Sediaan Tablet Secara Spektrofotometri *Ultraviolet* Universitas Pahlawan Tuanku Tambusai. *Jurnal Pendidikan Dan Konseling*, **5**(1): 813–822.
- Adetayo, A., and Runsewe, D. 2019. Synthesis and Fabrication of Graphene and Graphene Oxide: A Review. *Journal of Composite Materials*, **9**(2): 207–229.
- Adila, H., Wisnu, W., Handayani, T. E., Fathin, R. H., dan Rusdianto, S. A. 2024. Efektivitas Limbah Ampas Tebu (*Saccharum Officinarum L.*) Sebagai Adsorben Dengan Metode Pirolisis Untuk Meningkatkan Kualitas Air Limbah Industri Gula. *Jurnal Penelitian Sains Dan Teknologi Indonesia*, **3**(1).
- Aditya, R., Kestriani, N. D., dan Maskoen, T. T. 2016. Antibiotik Empirik di Intensive Care Unit (ICU). In *Anesthesia and Critical Caree*, **34**(1).
- Ali, A., Chiang, Y. W., and Santos, R. M. 2022. X-Ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization: A Review for Engineers of the Fundamentals, Applications, and Research Directions. *Minerals*, **12**(2).
- Al-Marshadi, A. H., Aslam, M., and Abdullah, A. 2021. Uncertainty-Based Trimmed Coefficient of Variation with Application. *Journal of Mathematics*. **20**(1): 1–6.
- Aman, A. M. N., Selvarajoo, A., Lau, T. L., and Chen, W. 2023. Optimization via Response Surface Methodology of Palm Kernel Shell Biochar for Supplementary Cementitious Replacement. *Chemosphere*, 313, 137477.

- Anastassiades, M., and Lehotay, S. J. 2003. Fast and Easy Multiresidue Method Employing Acetonitrile Extraction/Partitioning and “Dispersive Solid-Phase Extraction” for the Determination of Pesticide Residues in Produce. In *Journal of AOAC Internasional*, **86**(2).
- Andriadi, M. T., Prasmatiwi, E., dan Riantini, M. 2021. Analisis Pendapatan dan Tingkat Kesejahteraan Rumah Tangga Petani Tebu Rakyat di Kecamatan Bungamayang Kabupaten Lampung Utara. In *Jurnal Ilmu Ilmu Agribisnis: Journal of Agribusiness Science*, **9**(1).
- Anegebe, 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. In *Environmental Sciences Europe*, **36**(1).
- Ariyanti, D., Lesdantina, D., Budiyo, and Satriadi, H. 2021. Synthesis and Characterization of Graphene-like Material Derived from Sugarcane Bagasse. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **1053**(1).
- Bete, Y. I., Bukit, M., Zicko, A., Dan, J., dan Pingak, R. K. 2019. Kajian Awal Sifat Optik Graphene Oxide Berbahan Dasar Arang Tongkol Jagung Yang Disintesis Dengan Metode Liquid Phase Exfoliation (LPE). *Jurnal Fisika Sains Dan Aplikasinya*, **4**(2): 2657–1900.
- Bhagat, C., Kumar, M., Tyagi, V. K., and Mohapatra, P. K. 2020. Proclivities for Prevalence and Treatment of Antibiotics in The Ambient Water: A Review. In *npj Clean Water*, **3**(1).
- Bijang, C. M., Tehubijuluw, H., dan Ghereds Kaihatu, T. 2018. Biosorpsi Ion Logam Kadmium (Cd^{2+}) Pada Biosorben Rumput Laut Coklat (Padina Australis) Asal Pantai Liti Pulau Kisar. In *J. Chem. Res*, **6**(1).
- Chen, H., Gao, B., and Li, H. 2015. Removal of Sulfamethoxazole and Ciprofloxacin from Aqueous Sultions by Graphene Oxide. *Journal of Hazardous Materials*, **282**(1): 201-207.
- Chuiprasert, J., Boontanon, S. K., Srinives, S., Boontanon, N., Polprasert, C., and Ramungul, N. 2022. Molecularly Imprinted Polymer Functionalized on Reduced Graphene Oxide Electrochemical Sensor for Detection of Ciprofloxacin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **973**(1).

- Cvetković, J. S., Mitić, V. D., Stankov Jovanović, V. P., Dimitrijević, M. V., and Stojanović, G. S. 2016. The Evaluation of Different Sorbents and Solvents Mixtures in PAH Sample Preparation For GC/GC-MS Analysis. *Advanced Technologies*, **5**(1): 31–38.
- Dethan, J. J. S., dan 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.
- Fajrin, J. and Marchelina, N. 2017. Aplikasi Metode Eksperimen Response, *Jurnal Rekayasa Sipil*, **13**(2): 79–90.
- Gamon, F., Tomaszewski, F., Cema, G., and Buczynska, A., Z. 2023. Adsorption of Oxytetracycline and Ciprofloxacin on Carbon-Based Nanomaterials As Affected By pH. *Archives of Environmental Protection*, **48**(2): 34-41.
- Gaub, P., and Saxena A. 2023. Ciprofloxacin properties, impacts, and remediation. *CABI Reviews*.
- Gerani, K., Mortaheb, H. R., and Mokhtarani, B. 2017. Enhancement in Performance of Sulfonated PES Cation-Exchange Membrane by Introducing Pristine and Sulfonated Graphene Oxide Nanosheets Synthesized through Hummers and Staudenmaier Methods. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, **56**(5): 543–555.
- Gezahegn, T., Tegegne, B., Zewge, F., and Chandravanshi, B. S. 2019. Salting-out Assisted Liquid-Liquid Extraction for The Determination of Ciprofloxacin Residues in Water Samples by High Performance Liquid Chromatography-diode Array Detector. *BMC Chemistry*, **13**(3).
- González, M. Á., Ramos, A. M., Herrera, A. V., and Borges, H. J. 2012. Pesticide residue analysis in cereal-based baby foods using multi-walled carbon nanotubes dispersive solid-phase extraction. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, **404**(1): 183–196.
- Hakim, L., dan Nawir, D. M. 2019. Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C Dengan Menggunakan X-Ray Difraction (X-RD) Di Kota Palangkaraya. In *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, **1**(1).

- Hidayati, A. S. D. S. N., Kurniawan, S., Restu, N. W., dan Ismuyanto, B. 2016. Potensi Ampas Tebu Sebagai Alternatif Bahan Baku Pembuatan Karbon Aktif. *NATURAL*, **3**(4): 311–317.
- Ibrahim, E. H., Tajuddin, N. A., Hamid, A. A., Saleh, S. H., Hadzir, N. M., Omar, R., Saaïd, M., and Hamzah, N. 2022. Optimisation of Reaction Parameters in Transesterification of Waste Cooking Oil Using Response Surface Methodology. *Malaysian Journal of Chemistry*. **24**(2): 97–109.
- Ikram, R., Jan, B. M., and Ahmad, W. 2020. An Overview of Industrial Scalable Production of Graphene Oxide and Analytical Approaches for Synthesis and Characterization. In *Journal of Materials Research and Technology*, **9**(5): 11587–11610.
- Islas, G., Ibarra, I. S., Hernandez, P., Miranda, J. M., and Cepeda, A. 2017. Dispersive Solid Phase Extraction for the Analysis of Veterinary Drugs Applied to Food Samples: A Review. In *International Journal of Analytical Chemistry*.
- Karolina, R. 2022. *Scanning Electron Microscope (SEM) TM 3000: Teori dan Aplikasinya*. Medan.
- Kementerian Pertanian. 2023. *Komoditas Perkebunan Tebu*. Jakarta
- Khan, S. A., Khan, S. B., Khan, L. U., Farooq, A., Akhtar, K., and Asiri, A. M. 2018. Fourier Transform Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Application in Functional Groups and Nanomaterials Characterization. In *Handbook of Materials Characterization*, 317–344.
- Kigozi, M., Koech, R. K., Kingsley, O., Ojeaga, I., Tebandeke, E., Kasozi, G. N., and Onwualu, A. P. 2020. Synthesis and Characterization of Graphene Oxide from Locally Mined Graphite Flakes and Its Supercapacitor Applications. *Results in Materials*, **7**.
- 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.
- Kotadiya, M., and Khristi, A. 2019. Quantitative Determination and Validation of Teneligliptine Hydrobromide Hydrate using FTIR Spectroscopy. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, **9**(11): 109–114.

- Krisdianto, A. N., dan Walid, M. 2023. Gambaran Tingkat Pengetahuan Obat Antibiotik Secara Rasional Pasien Di Apotek Kimia Farma Pemalang. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, **2**(3): 1207–1220.
- Kučević, D. S., Glamočić, D. M., Trivunović, S. J., Jajić, I. M., Perišić, B., and Krstović, S. Z. 2017. Validation and Application of FTIR Spectroscopy in Raw Milk Analysis. *Acta Periodica Technologica*, **48**, 167–175.
- Kuncara, J., Setyawan, M., and Hakika, D. C. 2025. Manufacture of Industrial Scale Bagasse Biochar: Effect of Temperature and Residence Time and Biochar Characterization. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, **8**(2): 33–44.
- Kurniasari, S., Fauzan, H., dan Ida, S. 2020. Penggunaan Antibiotik Oleh Penderita Infeksi Saluran Kemih di Instalasi Rawat Inap (IRNA) 2 RSUD Dr. H. Slamet Martodirdjo Pemekasan Tahun 2018. *Jurnal Ilmiah Farmasi ATTAMRU*, **01**, 15–27.
- Kurniawan, I., dan Mariadi, P. D. 2019. Analisis Potensi Cemaran Sisa Penggunaan Antibiotik di Perairan Umum (Studi Kasus : Badan Sungai Musi Kota Palembang). *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, **16**(2): 110.
- Li, F., Wang, X., Yang, M., Zhu, M., Chen, W., Li, Q., Sun, D., Bi, X., Maletskyi, Z., and Ratnaweera, H. 2022. Detection Limits of Antibiotics in Wastewater by Real-Time UV–Vis Spectrometry at Different Optical Path Length. *Processes*, **10**(12).
- Maged, A., Kharbish, S., Ismael, I. S., and Bhatnagar, A. 2020. Characterization of Activated Bentonite Clay Mineral and the Mechanisms Underlying its Sorption for Ciprofloxacin from Aqueous Solution. *Environmental Science and Pollution Research*, **27**(26): 32980–32997.
- Mahmoud, T. Y., Hamza, I. S., and Jarallah, A. L. 2023. Spectrophotometric Method for the Determination of Ciprofloxacin in Pure and Pharmaceutical Preparations: Development and Validation. *Engineering Proceedings*, **59**(1).
- Miarti, A., dan Legasari, L. 2022. Ketidakpastian Pengukuran Analisa Kadar Biuret, Kadar Nitrogen, dan Kadar Oil Pada Pupuk Urea di Laboratorium Kontrol Produksi PT Pupuk Sriwidjaja Palembang. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, **2**(3): 861–874.
- Mintz, I., Chowers, M., and Obolski, U. 2023. Prediction of Ciprofloxacin Resistance in Hospitalized Patients Using Machine Learning. *Communications Medicine*, **3**(1).

- Mohamed, K. M., Vijaya, J. J., Winston, A. J. P., Akash, K., Sagayaraj, Rajeshkumar, S., and Al-Sadoon, M. K. 2024. Untapped Potential: Sugarcane Bagasse to Biocompatible Graphene Oxide As Biomedicine. *Diamond and Related Materials*, 148.
- Muntasir, Abdulkadir, W.S., Harun, A. I., Tenda, P. E., Makkasau., Muliyadi., Saksosno, R. Y., Fernandes, S., dan Wonga, T. M. 2021. *Antibiotik dan Resistensi Antibiotik*.
- Nuraini, A., Yulia, R., dan Herawati, F. 2018. Hubungan Pengetahuan dan Keyakinan dengan Kepatuhan Menggunakan Antibiotik Pasien Dewasa The Relation between Knowledge and Belief with Adult Patient's Antibiotics Use Adherence. *JMPF*, 8(4): 165–174.
- Ortúzar, M., Esterhuizen, M., Hernández, D. R., López, J., and Aranda, E. 2022. Pharmaceutical Pollution in Aquatic Environments: A Concise Review of Environmental Impacts and Bioremediation Systems. In *Frontiers in Microbiology*, 13.
- Paramitadevi, Y. V., Nofriana, R., dan Yulisa, A. 2017. Penerapan Produksi Bersih Dalam Upaya Penurunan Timbulan Limbah Cair di Pabrik Gula Tebu. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 14(2): 54–61.
- Pijoh, J. E. E., Palandeng, H. M. F., dan Ottay, R. I. 2021. *Gambaran Kandungan Antibiotik Pada Sedimen Kawasan Pesisir Teluk Manado*. 314–345.
- Prabudi, M., Nurtama, B., dan Purnomo, H. 2018. Aplikasi Response Surface Methodology (RSM) dengan Historical Data pada Optimasi Proses Produksi Burger Application of Response Surface Methodology (RSM) Using Historical Data on Optimization Burger Production Process. *Jurnal Mutu Pangan*, 5(2): 109–115.
- Puji Lestari, M. 2023. Upaya Pencegahan Resistensi Antibiotik dengan Edukasi Penggunaan Obat yang Rasional. *Journal of Innovation in Community Empowerment (JICE)*, 5(2): 86–90.
- Putri, L. E. 2017. Penentuan Konsentrasi Senyawa Berwarna KMnO₄ Dengan Metoda Spektroskopi UV Visible. *Natural Science Journal*, 3(1): 391–398.
- Putri, W., Rizka, dan Haryati, S. 2019. Pengaruh Suhu Karbonisasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif dari Limbah Ampas Tebu. In *Jurnal Teknik Kimia*, 25(1).

- Redhwan, A. A. M., Azmi, W. H., Sharif, M. Z., Zawawi, N. N. M., and Zainal Ariffin, S. 2020. Utilization of Response Surface Method (RSM) in Optimizing Automotive Air Conditioning (AAC) Performance Exerting Al₂O₃/PAG Nanolubricant. *Journal of Physics: Conference Series*. **1532**(1): 012003.
- Rejczak, T., and Tuzimski, T. 2017. QuEChERS-Based Extraction with Dispersive Solid Phase Extraction Clean-Up Using PSA and ZrO₂-Based Sorbents for Determination of Pesticides in Bovine Milk Samples by HPLC-DAD. *Food Chemistry*, **217**, 225–233.
- Reji, M., and Kumar, R. 2022. Response Surface Methodology (RSM): An Overview to Analyze Multivariate Data. *Indian Journal of Microbiology Research*, **9**(4): 241–248.
- Rinawati, R., Buhani, B., Widiarti, W., Isro, A., Fitrianiingsih, E., Rahmawati, A., Kiswandono, A. A., and Nitti, F. (2024). Enhancing Ciprofloxacin Removal: Unveiling the Potential of Graphene Oxide Synthesised from Cassava Peels through Box-Behnken Design Optimisation. *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.
- Riyanto, R., and Nas, S. W. 2016. Validation of Analytical Methods for Determination of Methamphetamine Using Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, **11**(05): 51–59.
- 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, V. R. N., Perkasa, M. B., Fitrilawati, dan Syakir, N. 2022. Perbandingan Pendekatan Fungsi Gauss dan Fungsi Lorentz Pada Dekomposisi Pola XRD Oksida Grafena dan Oksida Grafena Tereduksi. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, **12**(1): 34–43.
- Sahdiah, H., dan Kurniawan, R. 2023. Optimasi Tegangan Akselerasi pada Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX) untuk Pengamatan Morfologi Sampel Biologi. *Jurnal Sains Dan Edukasi Sains*, **6**(2): 117–123.

- Salari, M. 2022. Optimization by Box–Behnken Design and Synthesis of Magnetite Nanoparticles for Removal of The Antibiotic from An Aqueous Phase. *Adsorption Science and Technology*. 2022(1): 1–13.
- Santamaría, J. G., Gómez-Barojas, E., Quiroga-González, E., Sánchez-Mora, E., Quintana-Ruiz, M., and Deisy Santamaría-Juárez, J. 2019. Safer Modified Hummers' Method for The Synthesis of Graphene Oxide with High Quality and High Yield. *Materials Research Express*, 0–31.
- Sarafraz, M., Ali, S., Sadani, M., Heidarinejad, Z., Bay, A., Fakhri, Y., and Mousavi Khaneghah, A. 2020. A Global Systematic, Review-Meta Analysis and Ecological Risk Assessment of Ciprofloxacin in River Water. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1–15.
- Sari, S., dan Sukmawan, Y. 2018. Pengaruh Bagian Setek Bud Chip Dan Komposisi Pupuk Organik Pada Kandungan Glukosa, Fruktosa, dan Sukrosa Pertanaman Tebu. *Journal of Precision Agriculture*, 2(2): 113–121.
- Ścigalski, P., and Kosobucki, P. 2020. Recent Materials Developed for Dispersive Solid Phase Extraction. In *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25(21).
- Sharifpour, N., Moghaddam, F. M., Mardani, G., and Malakootian, M. 2020. Evaluation of The Activated Carbon Coated with Multiwalled Carbon Nanotubes in Removal of Ciprofloxacin from Aqueous Solutions. *Applied Water Science*, 10(6).
- 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. In *Frontiers in Pharmacology*, 8.
- Shivananda, C. S., Madhu, S., Poojitha, G., Sudarshan, A. R., Jeethendra, S., and Nagi Reddy, K. 2023. Structural, Chemical and Morphological Properties of Graphite Powder, Graphene Oxide and Reduced Graphene Oxide. *Materials Today: Proceedings*. 89: 49–53.
- Silva, M. P., de Souza, A. C. A., Ferreira, Á. R. D., do Nascimento, P. L. A., Fraga, T. J. M., Cavalcanti, J. V. F. L., Ghislandi, M. G., and da Motta Sobrinho, M. A. 2024. Synthesis of Superparamagnetic Fe₃O₄–graphene Oxide-based Material for the Photodegradation of Clonazepam. *Scientific Reports*, 14(1).
- Singh, R., and Bhateria, R. 2020. Optimization and Experimental Design of The Pb²⁺ Adsorption Process On a Nano-Fe₃O₄-Based Adsorbent Using the Response Surface Methodology. *ACS Omega*, 5(43): 28305–28318.

- Sitohang, R. G., Turnip, N. J. R., dan Aditia, A. (2022). Optimasi proses adsorpsi zat warna indigosol di air limbah artifisial menggunakan response surface methodology dengan pendekatan desirability function. *Jurnal Rekayasa Proses*, **16**(2): 60–65.
- Sjahriza, A., Herlambang, D. S., dan Artikel, I. 2021. Sintesis Oksida Grafena dari Arang Tempurung Kelapa Untuk Aplikasi Antibakteri dan Antioksidan. *Jurnal Ilmu Kimia Dan Terapan*, **8**(2), 51–58.
- Solo, I. R., Bukit, M., Johannes, A., dan Pingak, R. K. 2020. Kajian Awal Sifat Optik Graphene Oxide Berbahan Dasar Arang Sekam Padi Dengan Metode Liquid Phase. *Jurnal Fisika: Fisika Sains Dan Aplikasinya*, **5**(2): 2657–1900.
- Sudradjat, A., dan Bayuseno, A. P. 2013. Analisis Korosi dan Kerak Pipa Nickel Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler. In *Jurnal Teknik Mesin S-1*, **2**(1).
- Sulistyawati, E., Anggarawati, H., Rochmah, N., dan Ariardini, N. 2022. Isoterm dan Termodinamika Adsorpsi Mikrokapsul Kitosan Tertaut Silang Kalium Persulfat Terhadap Zat Warna Methyl Orange Isotherm and Adsorption Thermodynamics Cross-Linked Chitosan Microcapsules of Kalium Persulphate to Methyl Orange Dye. *Eksergi*, **19**(2): 51–57.
- 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).
- Sutini, Widiastuty, Y. R., dan Ramadhani, A. N. 2019. Review: Hidrolisis Lignoselulosa dari Agricultural Waste Sebagai Optimasi Produksi Fermentable Sugar. *Equilibrium*, **3**(2).
- Syakir, N., Nurlina, R., Anam, S., Aprilia, A., Hidayat, S., dan Fitriwati. 2015. Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena dalam Jumlah Besar Kajian Pembuatan Oksida Grafit untuk Produksi Oksida Grafena dalam Jumlah Besar. *Jurnal Fisika Indonesia*, **55**.
- Szynkiewicz, D., Georgiev, P., Ulenberg, S., Bączek, T., and Belka, M. 2023. Dispersive solid-phase extraction facilitated by newly developed, fully 3D-printed device. *Microchemical Journal*, **187**.
- Tamilselvi, R., Ramesh, M., Lekshmi, G. S., Bazaka, O., Levchenko, I., Bazaka, K., and Mandhakini, M. 2020. Graphene oxide-based supercapacitors from agricultural wastes: A step to mass production of highly efficient electrodes for electrical transportation systems. *Renewable Energy*, **151**, 731–739.
- Thai, T., Salisbury, B. H., and Zito, P. M. 2023. Ciprofloxacin. In *StatPearls*.

- Tohamy, H. A. S., El-Sakhawy, M., and Kamel, S. 2022. Development of Magnetite/Graphene Oxide Hydrogels from Agricultural Wastes for Water Treatment. *Journal of Renewable Materials*, **10**(7): 1889–1909.
- Veza, I., Spraggon, M., Fattah, I. M. R., and Idris, M. 2023. Response Surface Methodology (RSM) For Optimizing Engine Performance and Emissions Fueled With Biofuel: Review of RSM For Sustainability Energy Transition. In *Results in Engineering*, 18.
- Vidyavathi, M., and Srividya, G. 2018. A review on ciprofloxacin: Dosage form perspective. In *International Journal of Applied Pharmaceutics*, **10**(4): 6–10.
- Wijayanto, S. O., dan Bayuseno, A. P. 2014. Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian: Mokrografi dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin*, **2**(1): 33–39.
- Zaaba, N. I., Foo, K. L., Hashim, U., Tan, S. J., Liu, W. W., and Voon, C. H. 2017. Synthesis of Graphene Oxide using Modified Hummers Method: Solvent Influence. *Procedia Engineering*, **184**, 469–477.
- Zalmi, H., dan Khair, M. 2021. Sintesis dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Ampas Tebu Diaktivasi Menggunakan Gelombang Mikro. *Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang*, **10**.
- 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., Wubieneh, 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, Z., Wu, Y., Li, X., Wang, Y., Li, H., Fu, Q., Shan, Y., Liu, T., and Xia, X. 2017. Multi-Class Method for The Determination Of Nitroimidazoles, Nitrofurans, and Chloramphenicol In Chicken Muscle And Egg by Dispersive-Solid Phase Extraction and Ultra-High Performance Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. *Food Chemistry*, **217**, 182–190.
- Zhao, P., Alvarez, P. J. J., Li, X., and Pan, C. 2018. Development of an Analytical Method For Pesticide Residues In Berries with Dispersive Solid Phase Extraction Using Multiwalled Carbon Nanotubes and Primary Secondary Amine Sorbents. *Analytical Methods*, **10**(7): 757–766.