

**OPTIMASI *DISPERSIVE SOLID PHASE EXTRACTION* BERBASIS
KARBON AKTIF DARI KAYU BAKAU UNTUK PENENTUAN RESIDU
*CIPROFLOXACIN***

(Tesis)

Oleh

**INNAMAA TRINA
NPM 2227011007**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

OPTIMASI *DISPERSIVE SOLID PHASE EXTRACTION* BERBASIS KARBON AKTIF DARI KAYU BAKAU UNTUK PENENTUAN RESIDU *CIPROFLOXACIN*

OLEH

INNAMAA TRINA

Ciprofloxacin merupakan antibiotik yang sering terdeteksi sebagai residu di perairan akibat proses degradasi yang tidak optimal. Penelitian ini bertujuan meningkatkan efisiensi *Dispersive Solid Phase Extraction* (DSPE) berbasis karbon aktif kayu bakau untuk penentuan residu *ciprofloxacin*, sebagai upaya mengatasi potensi pencemaran lingkungan perairan akibat residu antibiotik. Karbon aktif yang digunakan pada penelitian ini telah memenuhi standar mutu SNI 06-3730-1995. Hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDX menunjukkan pori-pori yang lebih terbuka setelah aktivasi, dengan peningkatan karbon dan penurunan oksigen. Hasil uji FTIR mengidentifikasi keberadaan gugus fungsi -OH, C=O, C=C, dan C-O, yang berperan dalam proses adsorpsi *ciprofloxacin*.

Pada optimasi DSPE menggunakan karbon aktif menunjukkan adsorpsi optimum pada konsentrasi *ciprofloxacin* 2 ppm, pH 4, massa adsorben 20 mg, dan waktu kontak 50 menit, dengan efisiensi adsorpsi sebesar 79,85%. Proses desorpsi yang optimum menggunakan pelarut campuran asam asetat:metanol (2:8) dengan efisiensi desorpsi sebesar 80,51%. Analisis isoterm adsorpsi menunjukkan bahwa proses adsorpsi cenderung mengikuti model isoterm Freundlich, yang menggambarkan pembentukan lapisan multilayer dengan permukaan pori yang heterogen.

Pada uji validasi metode menggunakan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan koefisien korelasi (R) sebesar 0,9975 mengindikasikan linearitas yang baik. Metode ini memiliki sensitivitas memadai dengan LoD sebesar 0,0461 ppm dan LoQ sebesar 0,1536 ppm. Nilai simpangan baku relatif (RSD) sebesar 4,3518% menunjukkan tingkat presisi yang dapat diterima, sedangkan % *recovery* sebesar 80,89% berada dalam rentang yang memenuhi kriteria validasi metode analitik. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif dari kayu bakau berpotensi sebagai adsorben dalam penentuan residu *ciprofloxacin* dan mendukung pengembangan metode berbasis material alami yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Kata kunci: adsorpsi, *ciprofloxacin*, DSPE, karbon aktif, kayu bakau.

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF DISPERSIVE SOLID PHASE EXTRACTION USING MANGROVE WOOD-BASED ACTIVATED CARBON FOR THE DETERMINATION OF CIPROFLOXACIN RESIDUES

BY

INNAMAA TRINA

Ciprofloxacin is an antibiotic frequently detected as a residue in aquatic environments due to suboptimal degradation processes. This study aims to enhance the efficiency of Dispersive Solid Phase Extraction (DSPE) using mangrove wood-based activated carbon for the determination of ciprofloxacin residues, as an effort to address potential environmental pollution caused by antibiotic residues in water bodies. The activated carbon used in this study meets the quality standards of SNI 06-3730-1995. Characterization results using SEM-EDX showed more open pores after activation, with an increase in carbon content and a decrease in oxygen. FTIR analysis identified the presence of functional groups such as -OH, C=O, C=C, and C-O, which play significant roles in the adsorption process of ciprofloxacin. Optimization of DSPE using activated carbon revealed optimal adsorption at a ciprofloxacin concentration of 2 ppm, pH 4, an adsorbent mass of 20 mg, and a contact time of 50 minutes, achieving an adsorption efficiency of 79.85%. The optimal desorption process was achieved using a solvent mixture of acetic acid:methanol (2:8), with a desorption efficiency of 80.51%. Adsorption isotherm analysis indicated that the adsorption process tends to follow the Freundlich isotherm model, which describes the formation of multilayer adsorption on a heterogeneous pore surface. Method validation using a UV-Vis spectrophotometer demonstrated a correlation coefficient (R) of 0.9975, indicating good linearity. The method showed adequate sensitivity with a Limit of Detection (LoD) of 0.0461 ppm and a Limit of Quantification (LoQ) of 0.1536 ppm. The relative standard deviation (RSD) of 4.3518% indicates an acceptable level of precision, while the recovery percentage of 80.89% falls within the range meeting the criteria for analytical method validation. Overall, this study demonstrates that mangrove wood-based activated carbon has potential as an adsorbent for ciprofloxacin residue determination and supports the development of environmentally friendly and sustainable material-based methods.

Keywords: adsorption, ciprofloxacin, DSPE, activated carbon, mangrove wood

**OPTIMASI *DISPERSIVE SOLID PHASE EXTRACTION* BERBASIS
KARBON AKTIF DARI KAYU BAKAU UNTUK PENENTUAN RESIDU
*CIPROFLOXACIN***

Oleh

INNAMAA TRINA

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER SAINS

Pada

**Program Pascasarjana Magister Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul : **OPTIMASI *DISPERSIVE SOLID PHASE EXTRACTION* BERBASIS KARBON AKTIF DARI KAYU BAKAU UNTUK PENENTUAN RESIDU *CIPROFLOXACIN***

Nama : **Innamaa Trina**

NPM : **2227011007**

Jurusan : **Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



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

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

**2. Ketua Program Studi Magister Kimia
FMIPA Universitas Lampung**

Prof. Dr. Ilim, M.S.
NIP. 196505251990032002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



.....

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



.....

Penguji Bukan Pembimbing

Anggota : Prof. Ir. Suharso, Ph.D.



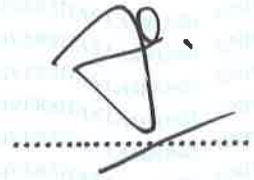
.....

Anggota : Dr. Dian Herasari, M.Si.



.....

Anggota : Prof. Andi Setiawan, M.Sc., Ph.D.

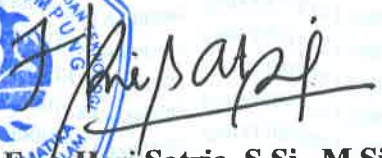


.....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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



Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP. 196403261989021001



Tanggal Lulus Ujian Tesis : 03 Januari 2025

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN TESIS**

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Innamaa Trina
Nomor Pokok Mahasiswa : 2227011007
Program Studi : Magister Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa tesis saya yang berjudul **“Optimasi *Dispersive Solid Phase Extraction* Berbasis Karbon Aktif Dari Kayu Bakau Untuk Penentuan Residu *Ciprofloxacin*”** adalah benar karya sendiri dan tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data dalam tesis ini digunakan dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 03 Januari 2025

Menyatakan



Innamaa Trina
NPM. 2227011007

RIWAYAT HIDUP



Innamaa Trina lahir di Bandar Lampung, pada tanggal 6 September 1999 sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara, pasangan Bapak Sahrin, S.H. dan Ibu Yulistina. Penulis mengawali jenjang pendidikan di TK Aisyah pada tahun 2005, lalu melanjutkan pendidikan di SDN 1 Rawa Laut Bandar Lampung pada tahun 2006. Selanjutnya, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 23 Bandar Lampung pada tahun 2011, dan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK SMTI Bandar Lampung pada tahun 2014. Penulis diterima di Jurusan S1 Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung pada tahun 2017 dan memperoleh gelar Sarjana Sains pada tahun 2022.

Pada tahun 2022, penulis terdaftar menjadi mahasiswi Magister Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Saat ini, penulis berprofesi sebagai Guru Produktif Jurusan Kimia Analisis di SMK Negeri 8 Bandar Lampung sejak tahun 2022. Penulis juga pernah menjadi Asisten Praktikum mata kuliah Kimia Analitik 2 tahun ajaran 2023-2024. Selama beberapa tahun terakhir, penulis telah berkontribusi dalam berbagai penelitian dan publikasi ilmiah. Pada tahun 2022, penulis berkontribusi dalam penelitian yang diterbitkan di jurnal *Analit: Analytical and Environmental Chemistry* dengan judul "*Potensi Karbon Aktif Kayu Bakau sebagai Solid Phase Extraction (SPE) pada Pengaruh Pemekatan Konsentrasi Fenol*". Selain itu, pada tahun 2023 penulis terlibat dalam publikasi di *Walisongo Journal* dengan penelitian berjudul "*Multivariate Analysis ANOVA Based Distribution of Nitrogen Dioxide in Lampung Barat and Way Kanan Regencies*," yang menganalisis distribusi nitrogen dioksida (NO₂) menggunakan pendekatan ANOVA multivariat. Di tahun yang sama, penulis juga berkontribusi dalam penelitian yang diterbitkan di jurnal

Analit: Analytical and Environmental Chemistry dengan judul "Analisis Sulfur Dioksida (SO₂) sebagai Polutan Udara di Kabupaten Lampung Barat dan Way Kanan pada Tahun 2019-2020". Selain itu, penulis berkontribusi dalam Penelitian "Evaluasi Mutu Air Muara Sungai Way Kuripan Menggunakan Indeks Pencemaran Dan Perangkat Lunak Surfer 8" yang dipublikasikan di Jurnal Ilmu Lingkungan pada tahun 2024. Di tahun yang sama, Penulis juga berkontribusi dalam penelitian berjudul "*River Water Quality Assessment Using Pollution Index Method in Lampung Province*" yang diterbitkan di *AIP Conference*.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

“Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi
Maha Penyayang”

Atas rahmat Allah SWT
Kupersembahkan karya ini sebagai wujud bakti dan
tanggung jawab kepada :

Kedua orang tuaku,
Abi Sahrin, S.H dan Memeh Yulistina
yang telah menyayangi, merawat, mendidik, mengajarkan
kebaikan, serta selalu mendoakan keberhasilanku dalam
setiap sujud. Terima kasih atas segala cinta, pengorbanan,
dan dukungan tanpa batas yang telah menjadi kekuatan
terbesar dalam hidupku.

Pembimbing penelitianku :
Ibu Rinawati, M.Si., Ph.D
Bapak Dr. Agung Abadi Kiswando, M.Sc.
Terimakasih atas ilmu, nasihat, dan kesabaran dalam
membimbing selama ini.

Bapak Prof. Ir. Suharso, Ph.D., Ibu Dr. Dian Herasari, M.Si.,
Bapak Prof. Andi Setiawan, M.Sc., Ph.D., dan Dosen Jurusan
Kimia terimakasih telah mendidik dan membagi ilmunya
sampai menyelesaikan pendidikan magister.

Diriku yang telah berjuang

Keluarga dan sahabatku yang selalu membantu
perjuanganku dalam meraih gelar di kampus tercinta.

Almamater Tercinta Universitas Lampung

MOTTO

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”
(Al-Insyirah : 6)

“Lakukan yang terbaik, sehingga aku tak akan menyalahkan
diriku sendiri atas segalanya”
(Magdalena Neuner)

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu
kaum, kecuali mereka mengubah keadaan mereka sendiri”
(QS Ar Ra’d: 11)

“Berkirlah untuk berkata Bisa dalam segala hal”
(Innamaa Trina)

"Kesulitan hari ini adalah cerita kemenangan esok hari"
(Innamaa Trina)

"Kesuksesan tidak diukur dengan apa yang kita capai, tetapi
dengan seberapa besar kita mampu memberi manfaat kepada
orang lain"
(Innamaa Trina)

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT karena atas rahmat dan hidayah Nya penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Optimasi *Dispersive Solid Phase Extraction* Berbasis Karbon Aktif Dari Kayu Bakau Untuk Penentuan Residu *Ciprofloxacin*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains di Universitas Lampung.

Selama proses penyusunan tesis ini, penulis mendapatkan doa, dukungan, semangat, dan motivasi dari berbagai pihak. Dengan rasa hormat dan tulus dari hati yang paling dalam, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kepada kedua orang tua saya tercinta, Abi Sahrin, S.H., dan Memeh Yulistina yang telah menjadi cahaya dalam setiap langkah hidup Innamaa. Terima kasih atas perjuangan, kerja keras, dan pengorbanan yang tiada henti demi kebahagiaan dan keberhasilanku hingga menghantarkan Innamaa sampai mendapatkan gelar magister. Doa-doa yang tak pernah putus, perhatian yang tulus, serta kasih sayang yang melimpah telah menjadi sumber kekuatan yang mengiringi setiap usahaku. Abi dan Memeh adalah inspirasi terbesar Innamaa, tempat belajar tentang ketulusan, keikhlasan, dan dedikasi. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kesehatan, umur yang berkah, serta perlindungan kepada kalian, dan semoga penulis dapat selalu membanggakan serta membahagiakan kalian, sebagaimana kalian telah memberikan segalanya untuk Innamaa. Aamiin.
2. Ibu Rinawati, M.Si., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I dan Pembimbing Akademik (PA), penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala bimbingan, bantuan, nasihat, motivasi, kritik, saran, keikhlasan, kesabaran, ilmu, dan kesediaan menjadi tempat berdiskusi sehingga penulis

dapat menyelesaikan penelitian dan tesis ini dengan baik. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kemudahan dan membalas segala kebaikan Ibu yang telah memudahkan, melancarkan, dan membimbing penulis dalam proses pengerjaan tesis ini.

3. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II. Penulis berterima kasih banyak karena Bapak telah memudahkan, melancarkan, dan membimbing dalam proses pengerjaan tesis, serta memberi nasihat. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kemudahan dan membalas kebaikan Bapak.
4. Bapak Prof. Ir. Suharso, Ph.D. selaku Dosen Penguji, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala kemudahan, kelancaran, masukan, nasihat, serta saran yang telah diberikan dalam penyusunan tesis ini. Semoga Allah SWT senantiasa membalas segala kebaikan Bapak. Aamiin yaa rabbal 'aalamiin.
5. Ibu Dr. Dian Herasari, M.Si. selaku Dosen Penguji, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala kemudahan, kelancaran, masukan, nasihat, serta saran yang telah diberikan dalam penyusunan tesis ini. Semoga Allah SWT senantiasa membalas segala kebaikan Bapak. Aamiin yaa rabbal 'aalamiin.
6. Bapak Prof. Andi Setiawan, M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Penguji, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala kemudahan, kelancaran, masukan, nasihat, serta saran yang telah diberikan dalam penyusunan tesis ini. Semoga Allah SWT senantiasa membalas segala kebaikan Bapak. Aamiin yaa rabbal 'aalamiin.
7. Ibu Prof. Dr. Ilim, M.S. selaku Ketua Program Studi Magister Kimia FMIPA Universitas Lampung.
8. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.

9. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
10. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung, terimakasih atas seluruh ilmu, pengalaman, dan motivasi yang diberikan selama perkuliahan. Semoga Allah SWT senantiasa membalasnya.
11. Kakak-kakaku, Ria Widyastuti, S.Pd., Nuron Nafsihi, S.E., S.Pi. dan Sulvina, S.Pi., M.Si. Rahmat Hidayat dan Alm. M. Kholib yang selalu memberikan semangat dan motivasi kepada saya. Serta keponakan-keponakanku Nur Kholifah, Alfarezel Arfhan Nafsihi, Almaira Ghazea Nafsihi, Naransyah Radya, dan Rayyaz Radya yang selalu membuat suasana ceria.
12. Danis Jonathan, S.M., sebagai sahabat, pasangan, dan teman segalanya dalam perkuliahan dan yang selalu ada di setiap langkah perjalanan ini. Terima kasih atas dukungan penuh yang tak pernah surut, tawa dan hiburan yang meringankan beban, tenaga yang senantiasa dicurahkan, serta kesabaran tanpa batas dalam mendengarkan setiap cerita dan keluh kesah Penulis. Semoga Allah SWT senantiasa memberkahi setiap kebaikan dan ketulusan yang telah diberikan.
13. Sahabat seperbimbinganku, Kak Qudwah Mutawakkilah. Terima kasih atas kerja sama yang baik, dukungan yang tak henti-hentinya, nasihat yang bijak, saran yang membangun, serta kebersamaan dalam berjuang hingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.
14. Sahabatku Annisa Destaria dan Adik Sepupuku Putri Sania, terima kasih atas bantuan yang telah diberikan selama ini dalam mempersiapkan kelengkapan untuk seminar, mendukung perjuangan dalam penyelesaian tesis, dan selalu menjadi tim hore yang penuh semangat. Kehadiran kalian telah memberikan energi positif dan keceriaan yang tak tergantikan. Semoga kebaikan kalian mendapatkan balasan terbaik dari Allah SWT.

15. Sahabat seangkatan Magister Kimia tahun 2022 yaitu Kak Steven, Nurul, Kak Chintya, Pinkan, Siti Aisah, Kak Ella, Siti Aisah, dan Kak Santalum Alba. Terima kasih atas motivasi, dukungan, keceriaan, dan semangat yang tak terlupakan. Semoga setiap langkah kita ke depan senantiasa diberkahi dan mencapai kesuksesan yang diimpikan.
16. Teman-teman seperbimbingan *Rinawati' Research* yaitu Dian Rifani, Salwa, Elsa, Hinaya, dan Sulaiman. Terima kasih sudah membantu, memberikan ilmu yang bermanfaat, dan mendengarkan keluh kesah penulis selama mengerjakan penelitian ini
17. Pak Udin selaku laboran Kimia Analitik dan Mba Yuni selaku penjaga gedung jurusan kimia. Terima kasih atas bantuannya selama penulis mengerjakan penelitian di laboratorium.
18. Sahabat-sahabatku selama S1, yaitu Arya Sanda, Iffah, Putri, Amel, Nurbaiti, Jeremia. Terima kasih atas segala doa, motivasi, dukungan, keceriaan dan tempat berbagi cerita selama ini, semoga kalian di permudah dalam segala urusan.
19. Sahabat-sahabatku selama sekolah SMTI, yaitu Cindi, Eka, dan Ega. Terima kasih atas motivasi, dukungan, dan keceriaan selama ini. Semoga kita semua sukses.
20. Sahabat-sahabatku di SMKN 8 Bandar Lampung, yaitu Hernis, Mba Aya, Mb Isni, dan Vika. Terima kasih atas motivasi, dukungan, dan keceriaan selama ini. Semoga kita semua sukses.
21. Teman-teman Jurusan Kimia Analisis SMKN 8 Bandar Lampung yaitu Mba Reni, Mba Fatma, Mba Meynisa, dan Mba Resi. Terimakasih telah mendukung, memberikan motivasi, keceriaan, tempat berbagi cerita selama ini, memberikan ruang dan kesempatan dalam menyelesaikan studi.

22. Teman-teman MGMP Projek IPAS SMKN 8 Bandar Lampung yaitu Bu Prita, Bu Maimun, Bu Lilin, Mba Reni, dan Mba Melli. Terimakasih telah mendukung, memberikan motivasi, memberikan ruang dan kesempatan dalam menyelesaikan studi.
23. Keluarga besar SMK Negeri 8 Bandar Lampung karena telah memberikan saya kesempatan menimba ilmu dan memberikan ruang bagi saya untuk menyelesaikan studi.
24. Almamater tercinta Universitas Lampung.
25. Kepada seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan, doa, serta dukungan kepada penulis dalam penyusunan tesis.
26. Tak lupa untuk diri sendiri. Terima kasih Nam, untuk segala usaha, kerja keras, dan ketekunan yang telah dilalui dengan penuh semangat. Terima kasih telah menerima setiap rasa senang, bahagia, bangga, haru, kecewa, sedih, dan tangis sebagai bagian dari proses menuju pencapaian ini. Semua perasaan itu mengajarkan banyak hal yang tak ternilai dan menjadikannya pengalaman hidup yang berharga. Terima kasih karena telah menyelesaikan perkuliahan dengan dedikasi yang luar biasa, sabar menghadapi setiap ujian, dan terus berusaha meski rintangan datang silih berganti. Semoga setiap langkah yang telah diambil membawa keberkahan, dan setiap doa serta niat baik yang dipanjatkan didengar, dikabulkan, dan diridhoi oleh Allah SWT. Aamiin.

Atas segala kebaikan yang telah diberikan, semoga Allah SWT membalasnya dengan pahala yang berlipat-lipat ganda, Aamiin yaa rabbal 'aalamiin.

Bandar Lampung, Januari 2025

Penulis

Innamaa Trina

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Antibiotik <i>Ciprofloxacin</i>	4
2.2 <i>Dispersive Solid Phase Extraction (DSPE)</i>	7
2.3 Karbon Aktif	8
2.3.1 Klasifikasi Karbon Aktif	9
2.3.2 Karbonisasi	10
2.3.3 Aktivasi.....	10
2.3.4 Uji Kualitas Karbon Aktif	12
2.4 Bakau (<i>Rhizophora mucronata</i>).....	13
2.5 Adsorpsi	14
2.5.1 Mekanisme Adsorpsi	15
2.5.2 Model Isoterm Adsorpsi	16
2.6 Karakterisasi.....	17
2.6.1 SEM-EDX	17
2.6.2 FTIR.....	19
2.6.3 Spektrofotometri Uv-Vis	21
2.6 Validasi Metode	23

2.6.2 Akurasi (Ketepatan).....	24
2.6.3 Presisi (Ketelitian)	24
2.6.4 Limit Deteksi dan Limit Kuantifikasi.....	25
III. METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	26
3.2 Alat dan Bahan.....	26
3.3 Prosedur Penelitian	27
3.3.1 Preparasi dan Pembuatan Karbon Aktif Dari Kayu Bakau	27
3.3.2 Uji Kualitas Karbon Aktif Kayu Bakau	28
3.3.3 Karakterisasi Karbon Aktif Kayu Bakau.....	30
3.3.4 Pembuatan Larutan Induk <i>Ciprofloxacin</i> 500 ppm	31
3.3.5 Optimasi Parameter Ekstraksi <i>Ciprofloxacin</i> Menggunakan Metode DSPE	31
3.3.6 Validasi Metode.....	33
3.3.7 Aplikasi.....	34
3.3.8 Diagram Alir.....	35
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Preparasi Kayu Bakau dan Pembuatan Karbon Aktif.....	36
4.2 Uji Kualitas Karbon Aktif.....	39
4.2.1 Rendemen	39
4.2.2 Kadar Air	40
4.2.3 Kadar Abu.....	40
4.2.4 Kadar Zat Menguap	41
4.2.5 Karbon Terikat	41
4.2.6 Daya Serap Iod.....	42
4.3 Karakterisasi.....	43
4.3.1 SEM-EDX (<i>Scanning Electron Microscopy-</i> <i>Energy Dispersive X-ray</i>)	43
4.3.2 FTIR (<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>)	46
4.4 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Larutan <i>Ciprofloxacin</i>	51
4.5 Optimasi Parameter Ekstraksi <i>Ciprofloxacin</i> Menggunakan Metode DSPE.....	51
4.5.1 Penentuan pH Optimum	51
4.5.2 Penentuan Massa Optimum	53

4.5.3 Penentuan Konsentrasi Optimum	55
4.5.4 Penentuan Waktu Kontak Optimum.....	58
4.5.5 Penentuan Pelarut Desorpsi	60
4.6 Validasi Metode	62
4.6.1 Uji Linearitas	62
4.6.2 Uji LoD dan LoQ.....	63
4.6.3 Uji Presisi.....	63
4.6.4 Uji Akurasi.....	64
4.7 Aplikasi	65
V. KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN.....	78

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi karbon aktif	9
2. Persyaratan kualitas karbon aktif SNI 06-3730-1995	13
3. Daerah gugus fungsi pada IR	20
4. Panjang Gelombang dan warna serapan Spektrofotometer Uv-Vis.....	22
5. Hasil uji kualitas karbon berdasarkan SNI 06-3730-1995	43
6. Hasil fraktogram SEM-EDX karbon sebelum dan sesudah diaktivasi	45
7. Perbandingan gugus fungsi pada karbon tak teraktivasi, karbon aktif, dan karbon aktif setelah proses adsorpsi	50
8. Data rata-rata uji adsorpsi penentuan pH optimum adsorbat	53
9. Data rata-rata uji adsorpsi penentuan massa optimum adsorben	54
10. Data rata-rata uji adsorpsi penentuan konsentrasi optimum adsorbat.....	56
11. Data rata-rata uji adsorpsi penentuan waktu kontak optimum.....	59
12. Data rata-rata uji desorpsi optimum.....	61
13. Perhitungan kurva kalibrasi untuk penentuan pH optimum.....	85
14. Data uji adsorpsi I penentuan pH optimum.....	85
15. Data uji adsorpsi II penentuan pH optimum	86
16. Data uji adsorpsi III penentuan pH optimum.....	87
17. Perhitungan kurva kalibrasi untuk penentuan massa optimum.....	88
18. Data uji adsorpsi I penentuan massa optimum.....	88
19. Data uji adsorpsi II penentuan massa optimum	89
20. Data uji adsorpsi III penentuan massa optimum	89
21. Perhitungan kurva kalibrasi untuk penentuan konsentrasi optimum	90
22. Data uji adsorpsi I penentuan konsentrasi optimum	90
23. Data uji adsorpsi II penentuan konsentrasi optimum.....	90
24. Data uji adsorpsi III penentuan konsentrasi optimum.....	90

25. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir.....	91
26. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich	91
27. Perhitungan kurva kalibrasi untuk penentuan waktu kontak optimum.....	92
28. Data uji adsorpsi I penentuan waktu kontak optimum.....	93
29. Data uji adsorpsi II penentuan waktu kontak optimum	93
30. Data uji adsorpsi III penentuan waktu kontak optimum	93
31. Perhitungan kurva kalibrasi untuk penentuan pelarut desorpsi optimum	94
32. Data uji adsorpsi I penentuan pelarut desorpsi optimum	94
33. Data uji adsorpsi II penentuan pelarut desorpsi optimum.....	95
34. Data uji adsorpsi III penentuan pelarut desorpsi optimum	95
35. Data rata-rata uji adsorpsi penentuan pelarut desorpsi optimum	95
36. Data Linearitas	96
37. Data LoD dan LoQ.....	97
38. Data Presisi	98
39. Data absorbansi <i>ciprofloxacin</i> untuk penentuan konsentrasi sampel.....	100
40. Data aplikasi karbon aktif	101

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur <i>Ciprofloxacin</i>	5
2. Skema teknik <i>dispersive solid phase extraction</i>	7
3. Mekanisme pengaktifan karbon dengan H_3PO_4	12
4. Hasil SEM (a) bahan baku tandan kosong kelapa sawit, (b) Karbon aktif TKKS, (c) Karbon aktif komersil.....	18
5. Hasil EDX karbon aktif sekam padi	19
6. Hasil FTIR karbon aktif (AC), AC-SBS (<i>Activated Carbon with Sodium Benzenesulfonate</i>), RAC (<i>Regenerated Activated Carbon</i>), dan RAC-SBS (<i>Regenerated Activated Carbon with Sodium Benzenesulfonate</i>).....	21
7. Kurva kalibrasi <i>ciprofloxacin</i>	23
8. Diagram alir dari penelitian	35
9. Kayu bakau (a) sebelum dibersihkan, (b) sesudah dibersihkan, (c) setelah pengeringan.....	36
10. (a) Aktivasi dengan H_3PO_4 10 % selama 24 jam, (b) filtrat hasil aktivasi.....	38
11. Karbon (a) sebelum, (b) sesudah aktivasi	39
12. Hasil SEM-EDX Karbon yang tidak diaktivasi	44
13. Hasil SEM-EDX karbon yang telah diaktivasi	44
14. Spektrum FTIR <i>ciprofloxacin</i>	46
15. Hasil spektrum FTIR (a) karbon (b) karbon aktif (c) karbon aktif setelah adsorpsi.....	47
16. Panjang gelombang maksimum <i>ciprofloxacin</i>	51
17. Hasil uji adsorpsi berdasarkan pengaruh pH adsorbat	52
18. Hasil uji adsorpsi berdasarkan pengaruh massa adsorben	54
19. Hasil uji adsorpsi berdasarkan pengaruh konsentrasi adsorbat.....	55
20. Grafik isoterm Langmuir.....	57

21. Grafik isoterm Freundlich	58
22. Hasil uji adsorpsi berdasarkan pengaruh waktu kontak.....	59
23. Hasil uji desorpsi berdasarkan pengaruh desorpsi pelarut	60
24. Kurva kalibrasi larutan <i>ciprofloxacin</i>	62
25. Kurva kalibrasi untuk penentuan pH optimum	85
26. Kurva kalibrasi untuk penentuan massa optimum	88
27. Kurva kalibrasi untuk penentuan konsentrasi optimum.....	89
28. Kurva kalibrasi untuk penentuan waktu kontak optimum	92
29. Kurva kalibrasi untuk penentuan pelarut desorpsi optimum.....	94
30. Kurva standar <i>ciprofloxacin</i> untuk penentuan konsentrasi sampel.....	100
31. Lokasi pengambilan sampel air.....	102

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan penggunaan antibiotik dalam berbagai sektor seperti industri, obat-obatan, peternakan, pertanian, dan akuakultur, berpotensi merusak lingkungan perairan karena dapat meningkatkan resistensi bakteri (Wardani *et al.*, 2022). Kontaminasi oleh residu antibiotik, salah satunya adalah *ciprofloxacin*. Antibiotik *ciprofloxacin*, yang sering digunakan dalam pengobatan manusia dan hewan yang tidak sepenuhnya dimetabolisme, sehingga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan perairan jika tidak terurai dengan baik (Faleye *et al.*, 2018; Muslim dkk., 2020). *Ciprofloxacin* adalah sejenis antibiotik turunan *flouroquinolone* generasi kedua untuk mencegah pertumbuhan bakteri (Agustanty dan Budi, 2022) dan merupakan senyawa yang sulit terurai dengan stabilitas tinggi di lingkungan (Diniz *et al.*, 2021).

Ciprofloxacin telah terdeteksi dalam air limbah rumah sakit dengan konsentrasi mencapai hingga $34 \mu\text{g L}^{-1}$ (Rodrigues-Silva *et al.*, 2019). Selain itu, konsentrasi *ciprofloxacin* yang $\geq 310 \mu\text{g L}^{-1}$ telah ditemukan menghambat pertumbuhan bakteri dalam tangki aerasi lumpur aktif selama proses pengolahan limbah (Diniz *et al.*, 2021). Residu antibiotik ini dapat mencemari ekosistem perairan dan menyebabkan dampak ekotoksikologi dalam konsentrasi tinggi (Hunge *et al.*, 2023; Muslim dkk., 2020). Oleh karena itu, diperlukan metode yang lebih efektif dan efisien untuk mendeteksi residu *ciprofloxacin* di lingkungan perairan secara presisi dan akurat.

Beberapa metode analisis seperti kromatografi, spektrofotometri UV-Vis, elektroforesis kapiler (CE) yang digabungkan dengan spektrometer massa (MS), telah digunakan untuk menentukan antibiotik. Keberagaman komponen dalam

matriks lingkungan menjadikannya kompleks, hal ini membuat proses analisis menjadi rumit (Khataei *et al.*, 2022). Preparasi sampel yang presisi dan efisien diperlukan untuk memisahkan analit dari matriks. Meskipun pada ekstraksi cair-cair umum digunakan, teknik ini memerlukan banyak pelarut organik dan waktu ekstraksi yang lama (Rinawati *et al.*, 2019). Oleh karena itu, diperlukan metode preparasi sampel yang lebih efektif seperti *Dispersive Solid Phase Extraction* (DSPE). *Dispersive Solid Phase Extraction* merupakan teknik ekstraksi fase padat yang digunakan untuk memisahkan analit dari matriks kompleks, dengan menggunakan adsorben seperti karbon aktif. Karbon aktif dipilih karena memiliki pori-pori besar yang mendukung proses adsorpsi (Bruni *et al.*, 2023). Sebagai adsorben, karbon aktif sering menjadi pilihan utama dalam berbagai aplikasi adsorpsi yang berkontribusi dalam menyerap berbagai zat (Ineke dan Rizki, 2023). Dibandingkan dengan *Solid Phase Extraction* (SPE) konvensional, DSPE lebih unggul karena lebih hemat biaya, membutuhkan lebih sedikit pelarut, serta lebih cepat dan mudah digunakan (Rinawati *et al.*, 2024).

Sebagai alternatif yang lain, dapat dilakukan upaya untuk membuat karbon aktif dari bahan alam yang mudah didapatkan dan ekonomis (Manousi *et al.*, 2021), seperti kayu bakau yang kaya akan karbon sebagai alternatif yang lebih ekonomis (Abas *et al.*, 2015). Indonesia memiliki hutan bakau yang luas sebagai negara tropis dengan sumber daya alam yang melimpah, termasuk di Provinsi Lampung yang terletak di kawasan pesisir. Namun, kayu kering dari bakau hanya dimanfaatkan sebagai bahan bakar arang, filter air, dan briket, dengan sebagian dibuang tanpa pengolahan lebih lanjut (Maryudi dkk., 2021). Kayu bakau menawarkan potensi besar sebagai adsorben dalam pengolahan limbah karena memiliki struktur yang keras dan padat, serta kandungan karbon yang dapat mencapai $\geq 45\%$ (Paryanto dkk., 2019). Salah satu langkah yang dapat diambil adalah mengubahnya menjadi karbon aktif dengan melibatkan serangkaian tahap konversi dan sintesis kimia.

Pada beberapa penelitian yang telah dilakukan dengan material karbon terbukti efektif dalam mengadsorpsi dan menghilangkan *ciprofloxacin* dari lingkungan

perairan (Tran *et al.*, 2022). Pada penelitian Udyani dkk. (2019); Masthura dan Putra (2018); Putri dan Musfirah (2019) menggunakan kayu bakau dapat digunakan sebagai karbon aktif yang telah diaktivasi dalam menurunkan kadar analit dan pori-pori yang terbentuk dengan baik membentuk lubang-lubang besar secara luas serta merata.

Berdasarkan uraian tersebut, maka pada penelitian ini akan dilakukan optimasi DSPE berbasis karbon aktif dari kayu bakau untuk penentuan residu *ciprofloxacin*. Uji kualitas karbon aktif kayu bakau dilakukan berdasarkan SNI 06-3730-1995 dan karakterisasi yang dilakukan yaitu SEM-EDX, FTIR, serta spektrofotometer UV-VIS.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh karbon aktif dari kayu bakau.
2. Karakterisasi karbon aktif menggunakan FTIR dan SEM-EDX.
3. Menentukan optimasi dengan parameter pH, massa adsorben, konsentrasi *ciprofloxacin*, waktu kontak optimum, dan pelarut desorpsi dalam ekstraksi senyawa antibiotik *ciprofloxacin*.
4. Melakukan validasi metode penentuan *ciprofloxacin* dengan spektrofotometer UV-Vis.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kemampuan karbon aktif dari kayu bakau sebagai adsorben untuk penentuan residu antibiotik *ciprofloxacin* dan diaplikasikan pada proses adsorpsi sampel limbah dalam menangani masalah pencemaran air oleh *ciprofloxacin*.

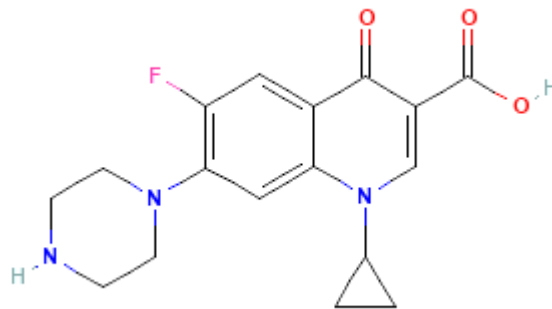
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Antibiotik *Ciprofloxacin*

Antibiotik adalah senyawa kimia yang mampu menghambat pertumbuhan bakteri, digunakan dalam pencegahan dan pengobatan infeksi pada manusia dan hewan. Beberapa di antaranya digunakan sebagai stimulan pertumbuhan dalam pakan hewan dan akuakultur. Antibiotik dapat dibedakan berdasarkan struktur kimia dan mekanisme aksinya (Sodhi and Singh, 2022). *Ciprofloxacin* adalah sejenis antibiotik turunan *flouoroquinolone* generasi kedua (Agustanty dan Budi, 2022) yang bekerja dengan menghambat enzim *topoisomerase* dan *gyrase* dalam pembelahan sel bakteri, mencegah pertumbuhan dan memudahkan penghilangan bakteri. Antibiotik ini efektif dalam melawan bakteri gram positif dan negatif (Muslim dkk., 2020).

Ciprofloxacin merupakan senyawa yang sulit terurai dengan stabilitas tinggi di lingkungan dan kelebihan *ciprofloxacin* dapat meningkatkan risiko perkembangan resistensi bakteri terhadap antibiotik, yang dapat mengurangi efektivitas pengobatan infeksi bakteri pada manusia dan hewan (Diniz *et al.*, 2021).

Ciprofloxacin berada dalam kisaran konsentrasi ng L⁻¹ dan µg L⁻¹ di perairan, dengan kisaran konsentrasi hingga 34 µg L⁻¹ terdeteksi dalam air limbah rumah sakit (Rodrigues-Silva *et al.*, 2019). Selain itu, konsentrasi *ciprofloxacin* yang berkisar ≥310 µg L⁻¹ telah ditemukan menghambat pertumbuhan bakteri dalam tangki aerasi lumpur aktif selama proses pengolahan limbah (Diniz *et al.*, 2021). Residu antibiotik ini dapat mencemari ekosistem perairan dan menyebabkan dampak ekotoksikologi dalam konsentrasi tinggi (Hunge *et al.*, 2023; Muslim dkk., 2020).



Gambar 1. Struktur *Ciprofloxacin*
(National Center for Biotechnology Information, 2024)

Ciprofloxacin mengandung siklopropil, asam karboksilat, fluoro, dan piperazin-1-yl pada posisi 1, 3, 6, dan 7. Pada keadaan asam, nilai pKa *ciprofloxacin* adalah 5,76, sedangkan dalam keadaan basa adalah 8,68 yang membuatnya berada dalam bentuk *zwitterion* saat netral dan dalam bentuk kationik saat dalam keadaan asam. *Ciprofloxacin* memiliki rumus molekul $C_{17}H_{18}FN_3O_3$ dan berbentuk serbuk putih dengan rasa pahit. Massa mol *ciprofloxacin* adalah 331,3 g/mol dengan titik leleh berkisar antara 313–315°C. *Ciprofloxacin* memiliki kelarutan yang tinggi dalam asam asetat, namun kelarutannya terbatas dalam pelarut polar seperti air, metanol, etanol, dan aseton. Sifat kelarutan ini menunjukkan bahwa *ciprofloxacin* lebih mudah terlarut dalam pelarut asam, yang dapat mendukung efisiensi proses adsorpsi oleh adsorben. Kelarutannya yang rendah dalam pelarut polar berpotensi mempengaruhi efektivitas dalam aplikasi pengolahan air dan pemurnian, di mana interaksi antara senyawa dan pelarut sangat mempengaruhi proses adsorpsi dan pemisahan (National Center for Biotechnology Information, 2024).

Mekanisme kerja *ciprofloxacin* dalam bakteri melibatkan gangguan pada proses pemisahan DNA berstruktur *double helix* (dua untai DNA yang saling melilit), yang merupakan langkah penting selama replikasi dan transkripsi. Dalam kondisi saat tidak ada gangguan dari antibiotik, proses ini membutuhkan bantuan enzim DNA *gyrase* (*topoisomerase* II) dan *topoisomerase* IV. Kedua enzim ini berperan

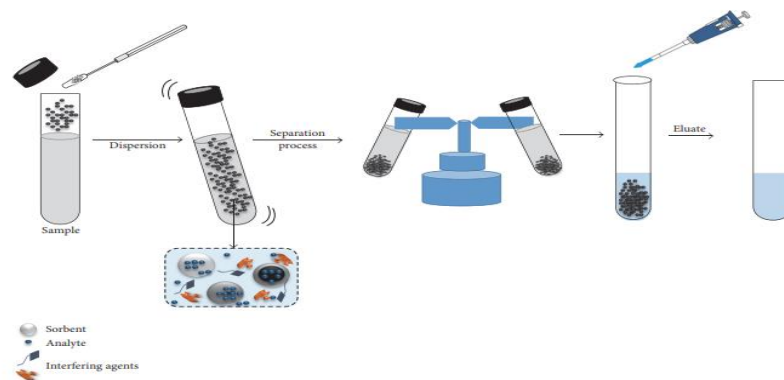
dalam mengatasi tegangan mekanis yang terbentuk pada DNA akibat pemisahan struktur *double helix* (Chuiprasert *et al.*, 2022). Ketika DNA dipisahkan selama replikasi atau transkripsi, terjadi peningkatan tegangan (*overwinding*) pada bagian DNA yang tidak terpisah, yang dapat menyebabkan kekusutan atau distorsi pada struktur heliks. Enzim DNA *gyrase* dan *topoisomerase IV* bekerja untuk merelaksasi tegangan ini dengan cara memutuskan dan menyambungkan kembali untai DNA, sehingga memungkinkan proses pemisahan untai DNA berlangsung lancar. DNA *gyrase* melepaskan tegangan berlebih yang terjadi di titik pemisahan, sementara *topoisomerase IV* membantu memisahkan untai DNA baru yang terbentuk. Dengan demikian, enzim-enzim ini memastikan kelancaran proses replikasi dan transkripsi DNA bakteri (Agustanty dan Budi, 2022).

Ciprofloxacin menghambat mekanisme ini dengan berikatan pada kompleks enzim-DNA, yang mencegah DNA *gyrase* dan *topoisomerase IV* berfungsi dengan baik. Akibatnya, pemisahan dan penggulangan ulang DNA terganggu, yang menyebabkan gangguan pada replikasi dan transkripsi. Karena proses ini terhambat, bakteri tidak dapat berkembang biak dan akhirnya mengalami penghambatan pertumbuhannya. Oleh karena itu, *ciprofloxacin* diklasifikasikan sebagai antibiotik bakterisida, karena kemampuannya untuk menghambat pertumbuhan bakteri dengan mengganggu mekanisme replikasi DNA bakteri (Muslim dkk., 2020).

Dalam hal dampak lingkungan, *ciprofloxacin* telah diidentifikasi sebagai kontaminan yang signifikan dalam lingkungan air. Penelitian menunjukkan bahwa obat ini dapat bertahan di perairan dan berpotensi mengganggu ekosistem akuatik. Oleh karena itu, terdapat kebutuhan yang tumbuh untuk metode yang efektif menghilangkan *ciprofloxacin* dari air, seperti penggunaan adsorben yang dihasilkan dari bahan organik efektif menghilangkan *ciprofloxacin* dari air dengan efisiensi 92,62% (Rinawati *et al.*, 2024).

2.2 Dispersive Solid Phase Extraction (DSPE)

Dispersive Solid Phase Extraction (DSPE) adalah teknik ekstraksi yang digunakan untuk memisahkan dan memurnikan analit dari sampel dengan menggunakan fase padat yang terdispersi dalam larutan. Teknik ini yang cukup mudah dan efisien dengan sejumlah keunggulan, seperti kemudahan penggunaannya, jumlah pelarut organik yang minim, dan waktu yang efisien (Bruni *et al.*, 2023). DSPE bekerja dengan cara menambahkan adsorben ke dalam larutan sampel, yang kemudian terdispersi secara merata di dalam larutan. Proses ini memfasilitasi interaksi langsung antara adsorben dan analit, sehingga analit dapat terikat pada permukaan adsorben. Setelah dispersi selesai, adsorben yang telah mengikat analit dipisahkan dari larutan menggunakan metode mekanis, seperti sentrifugasi atau filtrasi, untuk memperoleh analit yang terkonsentrasi dan terpisah dari matriks sampel. Mekanisme teknik DSPE ditunjukkan pada Gambar 2 (Islas *et al.*, 2017).



Gambar 2. Skema teknik *dispersive solid phase extraction* (Islas *et al.*, 2017)

Penggunaan DSPE dalam analisis dan deteksi kontaminan, termasuk residu antibiotik cukup umum karena efisiensinya yang tinggi dan cepat. Bahan yang berbasis kandungan karbon dapat menjadi pilihan sebagai adsorben untuk menghilangkan antibiotik dari air yang tercemar (Chen *and* Ye, 2017). Salah satu adsorben yang dapat digunakan adalah karbon aktif. Penggunaan karbon aktif yang berasal dari bahan alami tidak hanya efektif tetapi juga ramah lingkungan, karena banyaknya limbah organik yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber karbon untuk menghasilkan adsorben berkualitas tinggi (Pal *et al.*, 2020).

Pada dasarnya, DSPE membutuhkan pelarut yang memiliki sifat kepolaran yang sejalan dengan matriks analit yang digunakan agar analit dapat terelusi dari adsorben. Kepolaran elusi analit dari adsorben ini sesuai dengan prinsip "*like dissolves like*", yang berarti senyawa non polar akan larut dalam pelarut polar, begitu pula sebaliknya (Ścigalski *and* Kosobucki, 2020).

2.3 Karbon Aktif





Karbon atau arang adalah material padat berpori yang terdiri dari 85-95% karbon. Selain berfungsi sebagai bahan bakar, arang juga dapat dimanfaatkan sebagai adsorben (Putri dan Musfirah, 2019). Karbon aktif adalah karbon yang sudah diaktifkan sehingga pori-porinya terbuka dan daya serapnya lebih besar dari pada arang biasa karena terdapat volume pori yang dapat menyerap gas dan residu dalam larutan sehingga dapat terserap. Karbon aktif dapat dibuat dari bahan yang mengandung karbon, baik bahan organik maupun anorganik yang dapat berasal dari biomassa (Budianto *et al.*, 2019).

Karbon aktif banyak dimanfaatkan oleh pabrik-pabrik untuk berbagai tujuan, diantaranya sebagai pembersih air, pemurnian gas, atau pengolahan limbah cair. Dalam perindustrian, karbon aktif sangat berguna karena dapat mengadsorpsi bau, warna, gas serta logam (Sidiq, 2014). Karbon aktif berbentuk amorf, berwarna hitam, tak berbau, dan memiliki daya adsorpsi tinggi dibandingkan karbon biasa. Luas permukaan spesifiknya berkisar antara 300-1500 m²/g, di mana pori-pori yang lebih besar dapat meningkatkan luas permukaan dan kecepatan adsorpsi. Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai bahan baku seperti batubara, kayu, atau tempurung kelapa dan sangat efektif dalam menghilangkan berbagai kontaminan dari air, termasuk senyawa organik dan klorin. Dalam pengolahan air limbah, karbon aktif semakin penting untuk menghilangkan zat beracun yang tidak mudah terurai secara hayati (Tran *et al.*, 2022).

2.3.1 Klasifikasi Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan material adsorben yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam pengolahan air, pengendalian polusi udara, dan pemurnian kimia, seperti pemisahan dan pemurnian zat terlarut dalam industri kimia. Berdasarkan bentuk fisiknya, karbon aktif dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis utama, yaitu *Powdered Activated Carbon (PAC)*, *Fiber Activated Carbon (FAC)*, *Granular Activated Carbon (GAC)*, dan *Extruded Activated Carbon (EAC)* yang dapat dilihat pada Tabel 1. Setiap jenis karbon aktif memiliki karakteristik yang berbeda, yang mempengaruhi kinerjanya dalam aplikasi tertentu. Pemahaman tentang klasifikasi ini sangat penting untuk memilih jenis karbon aktif yang paling sesuai dengan kebutuhan spesifik dalam berbagai proses pemurnian dan pengolahan (Rahman *et al.*, 2012).

Tabel 1. Klasifikasi karbon aktif (Rahman *et al.*, 2012).

Jenis Karbon	Ukuran	Kegunaan	Bentuk
<i>Powdered Activated Carbon (PAC)</i>	50–150 μm atau < 0,18 mm	Digunakan pada aplikasi fasa cair dan penyaringan pada gas buang	
<i>Fiber Activated Carbon (FAC)</i>	7–15 μm atau 0,8-5 mm	Diaplikasikan dalam bidang perlakuan udara seperti penangkapan larutan	
<i>Granular Activated Carbon (GAC)</i>	0,2 sampai 5 mm	Digunakan pada fasa cair dan gas	
<i>Extruded Activated Carbon (EAC)</i>	0,8 - 5 mm	Diaplikasikan pada fasa gas karena nilai <i>pressure drop</i> -nya rendah, kekuatan mekanik yang tinggi dan rendah kandungan abu.	

2.3.2 Karbonisasi

Karbonisasi atau proses pengarangan, adalah pemanasan bahan organik pada suhu tertentu dengan oksigen yang sangat terbatas atau tanpa oksigen sama sekali, biasanya dilakukan dalam tanur. Tujuan utamanya adalah menghilangkan zat-zat yang mudah menguap (*volatile matter*) dari bahan dasar. Proses ini memecah senyawa organik dalam bahan, menghasilkan air, uap asam asetat, tar, dan hidrokarbon. Sisa material padat setelah karbonisasi berupa karbon dalam bentuk karbon dengan struktur pori-pori yang sempit (Masthura dan Putra, 2018).

Karbonisasi berlangsung dalam beberapa tahap, yaitu dehidrasi untuk menghilangkan air, penguapan selulosa, penguapan lignin, dan pemurnian karbon. Pada proses dehidrasi serta penguapan selulosa dan lignin terjadi pada suhu hingga 400 °C, sementara pemurnian karbon berlangsung pada suhu 500-80 °C. Pada rentang suhu ini, sekitar 80% unsur karbon dihasilkan (Pal *et al.*, 2020).

2.3.3 Aktivasi

Aktivasi merupakan tahap penting dalam pembuatan karbon aktif yang bertujuan untuk membuka, memperluas, dan mengembangkan pori-pori yang terbentuk selama proses karbonisasi. Proses ini meningkatkan daya adsorpsi dan luas permukaan karbon aktif dengan menghilangkan sisa-sisa zat seperti hidrokarbon, tar, dan senyawa organik yang menutupi pori-pori karbon hasil karbonisasi (Paryanto dkk., 2019). Proses aktivasi terdiri dari 2 jenis, yaitu :

a. Aktivasi Fisika

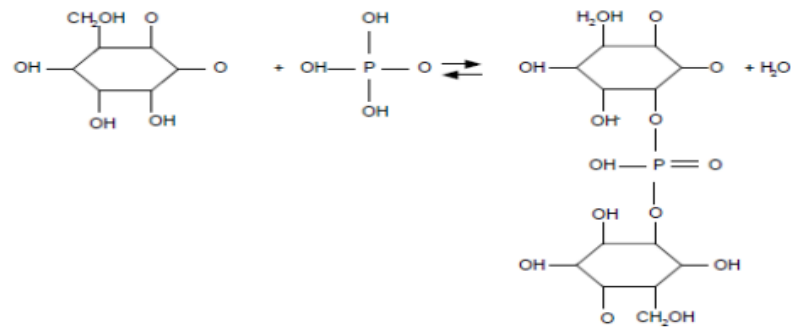
Aktivasi fisika dilakukan dengan memanaskan karbon pada suhu 500-800 °C sambil dialiri gas pengoksidasi seperti uap air, oksigen, atau CO₂. Reaksi gas pengoksidasi dengan karbon menghasilkan karbon monoksida dan hidrogen (dari uap air), serta melepaskan produk samping yang membuka pori-pori karbon dan meningkatkan daya adsorpsinya. Selama proses ini, massa karbon berkurang secara signifikan, membentuk struktur karbon yang lebih optimal. Namun, difusi gas pengoksidasi ke dalam karbon dapat menyebabkan terbentuknya oksida

eksternal yang berlebih dan terkadang mengurangi suatu ukuran adsorben yang dihasilkan (Lubis dkk., 2020).

Pada penelitian Masthura dan Putra (2018) menunjukkan bahwa aktivasi kayu bakau pada suhu 500 °C menghasilkan pori-pori yang terbentuk dengan baik, serta berupa lubang-lubang besar yang merata dan bersih dari pengotor. Namun, pada suhu 900 °C, pori-pori yang terbentuk cenderung pipih, memanjang, dan tidak terbuka sempurna karena adanya kandungan abu yang tinggi, yang sebagian menutupi pori-pori tersebut. Proses aktivasi fisika membantu membuka pori-pori karbon dengan menguapkan senyawa organik volatil yang menutupi permukaan. Semakin banyak pori yang terbentuk, semakin besar juga luas permukaan karbon yang dihasilkan (Desi dkk., 2015).

b. Aktivasi kimia

Aktivasi kimia adalah proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik menggunakan bahan kimia sebagai agen pengaktivasi. Dalam metode ini, bahan kimia (aktivator) berperan sebagai reagen yang meningkatkan daya serap karbon aktif. Aktivator bekerja dengan memasuki pori-pori dan membersihkan permukaan karbon aktif dari deposit tar yang menutupi. Proses aktivasi dilakukan dengan merendam karbon dalam larutan aktivator, baik asam seperti H_3PO_4 , HNO_3 , HCl , dan H_2SO_4 , maupun basa seperti KOH dan NaOH . Aktivasi ini mampu mengubah struktur pori-pori karbon, meningkatkan luas permukaan, dan memperbaiki kapasitas adsorpsinya (Desi dkk., 2015). H_3PO_4 adalah agen aktivasi yang memberikan hasil terbaik dibandingkan dengan ZnCl_2 dan KOH . Sebagai asam lemah, H_3PO_4 berfungsi mengaktifkan permukaan karbon dari kayu bakau tanpa merusak struktur kristal karbon aktif. Selain itu, sifat higroskopisnya memungkinkan H_3PO_4 menyerap kandungan air yang ada pada karbon kayu bakau, sehingga meningkatkan efektivitas aktivasi (Kadang dkk., 2020)



Gambar 3. Mekanisme pengaktifan karbon dengan H_3PO_4
(Esterlita dan Herlina, 2015)

Sebagai agen aktivator, H_3PO_4 berperan menyerap kandungan mineral pada bahan baku karbon aktif sehingga mencegah pembentukan abu pada produk akhir. Berdasarkan Gambar 3, pereaksi H_3PO_4 bereaksi dengan karbon yang telah terbentuk dan menghasilkan mikropori pada permukaan karbon. Mikropori ini berfungsi sebagai lokasi utama proses penyerapan, yang secara signifikan memperluas area permukaan penyerapan pada karbon tersebut (Esterlita dan Herlina, 2015).

2.3.4 Uji Kualitas Karbon Aktif

Uji kualitas karbon aktif merupakan langkah penting dalam memastikan bahwa produk karbon aktif memenuhi standar yang ditetapkan oleh SNI (Standar Nasional Indonesia). Proses ini melibatkan serangkaian pengujian yang dirancang untuk mengevaluasi karakteristik fisik dan kimia dari karbon aktif, termasuk kemampuan adsorpsi, ukuran partikel, dan keberadaan gugus fungsi pada permukaannya. Dengan mengikuti prosedur yang ditetapkan dalam SNI, pengguna karbon aktif dapat memastikan bahwa produk yang dihasilkan tidak hanya efektif dalam aplikasi penyaringan dan pemurnian, tetapi juga aman dan sesuai dengan regulasi lingkungan. Karbon aktif berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Persyaratan kualitas karbon aktif SNI 06-3730-1995

Uraian	Persyaratan Kualitas
Rendemen	Tidak nilai minimal atau maksimal
Kadar Air	Maksimal 15%
Kadar Abu	Maksimal 10%
Kadar Zat menguap	Maksimal 25%
Kadar Karbon Terikat	Minimal 65%
Daya Serap Iod	Minimal 750 mg/g

2.4 Bakau (*Rhizophora mucronata*)

Pohon bakau dari genus *Rhizophora*, tumbuh subur di lingkungan dengan kadar garam dan air yang bervariasi, dari rendah hingga tinggi. Selain bermanfaat sebagai bahan bakar dan karbon, pohon bakau juga dimanfaatkan untuk pewarnaan dan dalam pengobatan tradisional. Bakau menghasilkan beragam metabolit sekunder seperti triterpenoid, alkaloid, saponin, alkana, alkohol rantai panjang, fitosterol, karbohidrat, asam amino bebas, senyawa sulfur, lemak, PUFA, dan ester, yang berperan dalam pertahanan tanaman terhadap pathogen, predator, dan kondisi lingkungan yang ekstrem (Alappatt, 2018).

Kayu bakau hanya dimanfaatkan sebagai bahan bakar arang, filter air, dan briket yang memiliki keunggulan daya tahan yang lebih baik dibandingkan arang dari kayu lain karena strukturnya yang keras dan padat, lalu sebagian dibuang tanpa pengolahan lebih lanjut (Maryudi dkk., 2021). Salah satu langkah yang dapat diambil adalah mengubahnya menjadi karbon aktif melalui serangkaian proses konversi dan sintesis kimia, di mana konversi merujuk pada perubahan fisik dan kimia bahan prekursor menjadi senyawa yang lebih reaktif, sementara sintesis melibatkan pembentukan struktur pori pada karbon aktif melalui reaksi kimia yang mengarah pada pengaktifan bahan tersebut agar memiliki kapasitas adsorpsi yang optimal. Kayu bakau menawarkan potensi besar sebagai adsorben dalam pengolahan limbah karena memiliki struktur yang keras dan padat, serta kandungan karbon yang mencapai $\geq 45\%$. Oleh karena itu, penting untuk melakukan penelitian

dan mengelola kayu bakau secara efektif untuk menjaga lingkungan dan mendukung ekonomi di daerah pesisir (Paryanto dkk., 2019).

Berdasarkan pada beberapa penelitian sebelumnya yaitu Udyani dkk. (2019); Masthura dan Putra (2018); Putri dan Musfirah (2019) menggunakan kayu bakau dapat digunakan sebagai karbon aktif yang telah diaktivasi dalam menurunkan kadar analit dan pori-pori yang terbentuk dengan baik membentuk lubang-lubang besar secara luas serta merata. Sedangkan pada penelitian Trina *et al.* (2022) menggunakan kayu bakau diperoleh teradsorpsi fenol sebesar 77,046% sehingga dapat dimanfaatkan lebih lanjut dalam penelitian. Secara taksonomi, klasifikasi dari jenis bakau ini adalah:

Kingdom : *Plantae* (tumbuh-tumbuhan)

Divisi (divisio): *Magnoliophyta* (tumbuhan berbunga)

Kelas (class) : *Magnoliopsida* (biji berkeping dua / dikotil)

Bangsa (ordo) : *Myrtales*

Suku (family) : *Rhizophoraceae*

Marga (genus): *Rhizophora*

Jenis (species) : *Rhizophora mucronata*

2.5 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses di mana molekul, ion, atau atom dari suatu zat (adsorbat) mengalami pengikatan atau penyerapan selektif pada permukaan suatu padatan atau cairan (adsorben), yang terjadi akibat ketidakseimbangan gaya pada permukaan tersebut, di mana atom atau molekul menempel pada permukaan zat padat melalui gaya tarik tanpa meresap ke dalamnya (Violet *et al.*, 2018). Proses ini terjadi di batas antara dua fase, biasanya antara fase cair-gas, cair-cair, atau cair-padat, yang melibatkan interaksi fisik (*physisorption*) atau (*chemisorption*) kimia (Haryati dkk., 2017).

Proses adsorpsi dipengaruhi oleh faktor seperti berat adsorben, pH larutan, waktu kontak, suhu, dan ukuran molekul adsorben. Adsorben biasanya memiliki porositas tinggi untuk menempatkan adsorbat pada dinding pori, dan pemilihan adsorben didasarkan pada kapasitas, selektivitas, kecepatan adsorpsi, serta kemampuan regenerasi yang mudah. Pada adsorpsi, permukaan adsorben yang bersifat polar akan menarik molekul yang bersifat polar, sedangkan permukaan adsorben yang non-polar akan menarik molekul yang bersifat non-polar (Sulistiyawati *et al.*, 2020).

2.5.1 Mekanisme Adsorpsi

Mekanisme adsorpsi dapat dibedakan menjadi dua jenis utama yaitu *physisorption* dan *chemisorption*. *Physisorption* terjadi melalui interaksi fisik, seperti gaya *Van der Waals*, tanpa melibatkan pembentukan ikatan kimia yang kuat. Proses ini umumnya bersifat *reversible* karena energi adsorpsi yang rendah (<40 kJ/mol), sehingga memungkinkan adsorbat mudah dilepaskan kembali dari permukaan adsorben dan mendominasi pada suhu rendah, *physisorption* tidak bersifat spesifik dan dapat terjadi pada berbagai jenis permukaan adsorben. Karena sifatnya yang non-spesifik dan interaksi yang lemah, proses ini memungkinkan terbentuknya penumpukan beberapa lapisan molekul (*multilayer adsorption*) pada permukaan adsorben (Büyüktiryaki *et al.*, 2020).

Chemisorption melibatkan pembentukan ikatan kimia antara adsorbat dan permukaan adsorben, menghasilkan interaksi yang lebih kuat dengan energi adsorpsi yang lebih tinggi (>40 kJ/mol). Karena pembentukan ikatan kimia ini, *chemisorption* bersifat *irreversible* dan sangat spesifik, memerlukan kesesuaian distribusi elektron dalam molekul antara adsorbat dan adsorben serta pembentukan ikatan kovalen (Büyüktiryaki *et al.*, 2020). *Chemisorption* lebih sering terjadi pada suhu tinggi karena pembentukan ikatan kimia memerlukan energi aktivasi. Pada proses ini biasanya menghasilkan *unilayer adsorption*, di mana hanya terbentuk satu lapisan molekul (*monolayer*) pada permukaan

adsorben, karena setiap situs aktif hanya dapat menampung satu molekul adsorbat (Jahan *et al.*, 2022).

2.5.2 Model Isoterm Adsorpsi

Dua model isoterm yang paling umum digunakan untuk menggambarkan proses adsorpsi adalah isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich (Dan *et al.*, 2023).

2.5.2.1 Isoterm Langmuir

Model isoterm Langmuir mengasumsikan bahwa semua situs pada permukaan adsorben identik dan dapat menampung satu molekul adsorbat saja (*monolayer*). Persamaan isoterm Langmuir dinyatakan dalam Persamaan 1.

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m b} \cdot \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (1)$$

Keterangan:

q : kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan (mg/g).

q_m : kapasitas maksimum adsorpsi (mg/g).

b : konstanta Langmuir (L/mg).

C_e : konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan (mg/L).

2.5.2.2 Isoterm Freundlich

Isoterm Freundlich menggambarkan adsorpsi pada permukaan yang heterogen, di mana terdapat variasi energi adsorpsi. Persamaan Freundlich dinyatakan dalam Persamaan 2.

$$q = K_f C_e^{1/n} \quad (2)$$

Keterangan:

K_f : konstanta Freundlich yang menunjukkan kapasitas adsorpsi.

n : parameter heterogenitas yang menunjukkan seberapa banyak kapasitas adsorpsi dipengaruhi oleh konsentrasi.

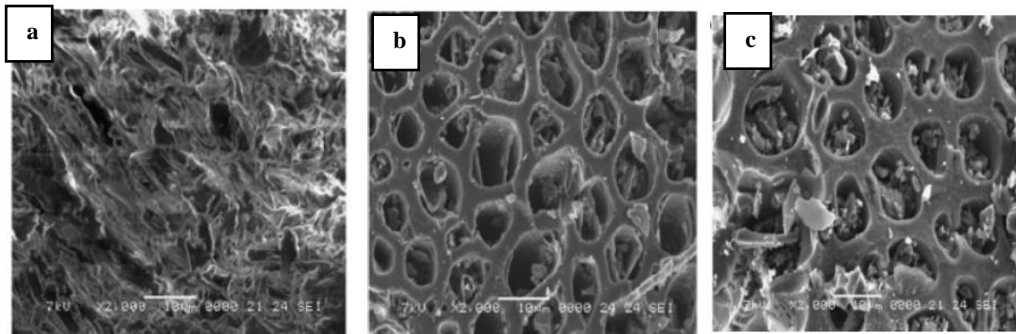
C_e : konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan (mg/L).

2.6 Karakterisasi

2.6.1 SEM-EDX

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah alat mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk memvisualisasikan profil permukaan sampel. Dengan berkas elektron berenergi tinggi, SEM menghasilkan berbagai sinyal pada permukaan sampel padat, memberikan informasi tentang morfologi, komposisi kimia, dan struktur sampel. Dibandingkan dengan cahaya, elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi, mencapai 0,1 - 0,2 nm, sehingga memberikan detail yang lebih halus. Interaksi antara elektron dan atom dalam sampel menghasilkan sinyal yang memberikan informasi tentang topografi permukaan, komposisi, dan karakteristik lainnya, termasuk konduktivitas listrik (Ellingham *et al.*, 2018).

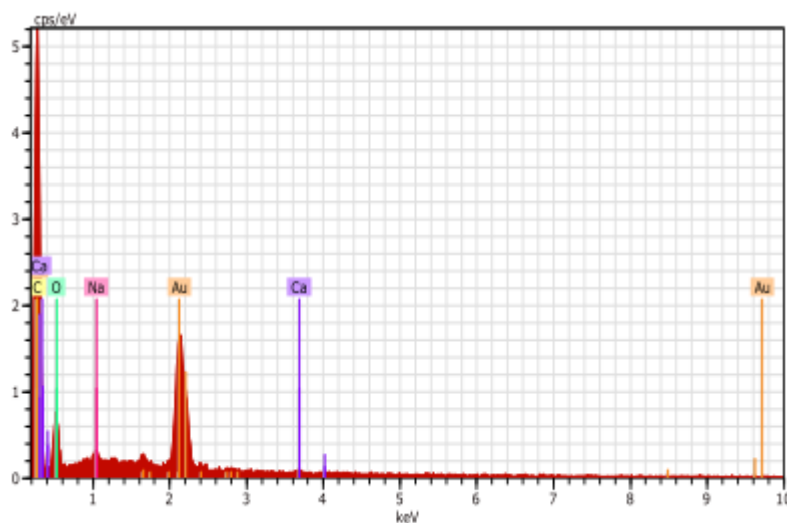
Cara kerja *Scanning Electron Microscopy* (SEM) melibatkan pemindahan berkas elektron dari elektro gun ke sampel. Dengan kedalaman ruang yang besar, SEM dapat menangani banyak sampel sekaligus dan menghasilkan bayangan tiga dimensi yang akurat. Teknologi ini sering digunakan dalam penelitian dan industri riset (Septiano dkk., 2021). Prinsip dari SEM adalah interaksi antara permukaan material atau sampel dengan berkas elektron yang berenergi tinggi. Permukaan sampel yang tersinari akan memantulkan kembali berkas elektron atau disebut dengan berkas elektron sekunder. Elektron sekunder akan tereksitasi dari permukaan sampel ketika permukaan dipindai dengan berkas elektron dengan intensitas tinggi (Farooq *et al.*, 2022). Detektor yang terdapat di dalam SEM akan mendeteksi berkas elektron berintensitas tinggi yang dipantulkan oleh sampel.



Gambar 4. Hasil SEM (a) bahan baku tandan kosong kelapa sawit, (b) Karbon aktif TKKS, (c) Karbon aktif komersil (Lubis dkk., 2020)

Hasil karakterisasi karbon aktif menggunakan SEM dapat dilihat pada Gambar 4. Karbon aktif yang telah diaktivasi menunjukkan pori-pori yang lebih besar dibandingkan karbon tanpa aktivasi, yang masih tertutup oleh senyawa seperti hidrogen, abu, air, nitrogen, dan belerang. Pada Gambar 4b, ukuran pori-pori ini mirip dengan karbon aktif komersial pada Gambar 4c, tetapi dengan kandungan pengotor yang lebih rendah.

SEM biasanya dilengkapi dengan EDX untuk mendeteksi unsur dalam material melalui interaksi radiasi elektromagnetik dengan partikel. EDX adalah teknik analitik yang memanfaatkan emisi sinar-X oleh unsur dalam sampel untuk mengidentifikasi kandungan kimia. Proses ini melibatkan energi tinggi dari partikel bermuatan atau sinar-X yang mengenai sampel, mengeksitasi elektron dalam atom sampel untuk menghasilkan sinar-X karakteristik yang dipancarkan oleh atom dalam sampel setelah elektron di dalam atom tersebut dipindahkan ke tingkat energi yang lebih tinggi dan kemudian kembali ke keadaan dasar. Sinar-X ini memiliki karakteristik yang spesifik untuk setiap unsur kimia, yang memungkinkan identifikasi unsur tersebut dalam sampel (Ellingham *et al.*, 2018; Neolaka *et al.*, 2020). Contoh hasil karakterisasi EDX karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil EDX karbon aktif sekam padi (Rinawati *et al.*, 2019)

2.6.2 FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Spektroskopi FTIR digunakan sebagai teknik analisis yang sering dimanfaatkan untuk menguji berbagai produk karena instrumennya dilengkapi dengan interferometer Michelson yang terletak di depan monokromator. Interferometer tersebut mengirimkan sinyal ke detektor sesuai dengan intensitas frekuensi vibrasi molekul dalam bentuk interferogram. FTIR memberikan informasi tentang struktur dan gugus fungsi dalam sampel dengan rentang panjang gelombang yang umumnya digunakan adalah 2,5-50 μm , dan bilangan gelombang inframerah sekitar 400 cm^{-1} . Pada sistem optik FTIR digunakan *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER) digunakan untuk memperkuat radiasi inframerah yang diinterferensikan, sehingga sinyal radiasi inframerah yang diterima oleh detektor menjadi lebih lengkap dan baik (Riyanto *and* Nas, 2016).

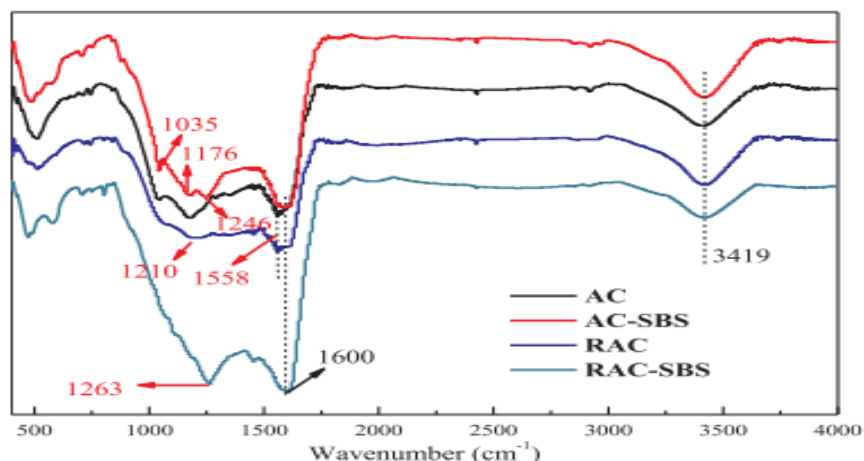
Prinsip kerja FTIR secara umum adalah sumber cahaya IR menghasilkan cahaya polikromatik yaitu beberapa berkas cahaya membentuk sinyal interferogram (Khan *et al.*, 2020). Kemudian, gelombang tersebut dilewatkan pada sampel dan ditangkap oleh detektor yang terhubung ke komputer sehingga dihasilkan gambaran spektrum sampel yang di uji dimana spektrum tersebut menunjukkan

hubungan antara sampel dengan bilangan gelombang (Jahan *et al.*, 2022). Satuan yang sering digunakan dalam spektrofotometri inframerah adalah Bilangan Gelombang. Selain itu, FTIR memiliki kemampuan untuk menganalisis gugus fungsi dengan cepat tanpa merusak sampel dan dapat menganalisis beberapa komponen secara bersamaan. Korelasi antara jenis ikatan gugus fungsi dan frekuensi ditunjukkan pada Tabel 3.

Contoh hasil Spektrum FTIR pada karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 6. Pada keempat jenis karbon memiliki spektrum serupa, dengan puncak utama di 3419 cm^{-1} ($-\text{OH}$), 1558 cm^{-1} ($-\text{C}=\text{O}$ pada AC dan RAC), dan 1600 cm^{-1} (cincin aromatik atau $\text{C}=\text{C}$ pada AC-SBS dan RAC-SBS). Puncak di rentang $1000\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan C, O, H, dan N. Pada RAC dan RAC-SBS memiliki lebih sedikit puncak karena reaksi NaOH mengurangi kelompok fungsional asam (Wang *et al.*, 2017).

Tabel 3. Daerah gugus fungsi pada IR

Jenis Ikatan	Gugus	Golongan Senyawa	Kisaran Frekuensi (cm^{-1})
Ikatan tunggal dengan hidrogen	C-H	Alkana	2850-3000
	=C-H	Alkena dan senyawa aromatik	3030-3140
	$\equiv\text{C-H}$	Alkuna	3300
	O-H	Alkohol dan fenol	3500-3700
	C-O	Alkohol, Eter, Asam karboksilat, Ester	1050-1300
	N-H	Amina	3200-3600
	S-H	Tiol	2550-2600
Ikatan rangkap	C=C	Alkena	1600-1680
	C=N	Oksim	1500-1650
	C=O	Aldehid	1650-1780
	N=O	Senyawa Nitro	1500-1570
			1300-1370
Ikatan rangkap tiga	$\text{C}\equiv\text{C}$	Alkuna	2100-2260
	$\text{C}\equiv\text{N}$	Nitril	2200-2400



Gambar 6. Hasil FTIR karbon aktif (AC), AC-SBS (*Activated Carbon with Sodium Benzenesulfonate*), RAC (*Regenerated Activated Carbon*), dan (*Regenerated Activated Carbon with Sodium Benzenesulfonate*) RAC-SBS (Wang *et al.*, 2017).

2.6.3 Spektrofotometri Uv-Vis

Spektrofotometri UV-Vis adalah alat yang memanfaatkan dua sumber cahaya berbeda, yaitu cahaya ultraviolet dan cahaya tampak, untuk analisis. Instrumen ini menggunakan radiasi elektromagnetik ultraviolet (190-380 nm) dan cahaya tampak (380-780 nm) untuk analisis. Senyawa yang dapat menyerap cahaya ultraviolet disebut kromofor, sedangkan untuk analisis dalam cahaya tampak, senyawa tersebut harus berwarna (Shi *et al.*, 2022).

Prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis adalah pengukuran penyerapan cahaya tampak dan ultraviolet oleh molekul yang menyebabkan eksitasi molekul dari tingkat energi rendah ke tingkat energi yang lebih tinggi. Sampel yang dianalisis harus memiliki kemampuan menyerap foton dalam rentang UV-Vis. Senyawa yang dapat dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis harus mengandung gugus aoksokrom dan kromofor. Gugus aoksokrom adalah gugus fungsional dengan elektron bebas seperti $-OH$, NH_2 , NO_2 , $-X$. Sementara itu, gugus kromofor adalah gugus dalam senyawa organik yang menyerap cahaya di daerah sinar tampak dan ultraviolet. Sebagian besar kromofor memiliki ikatan rangkap terkonjugasi, seperti

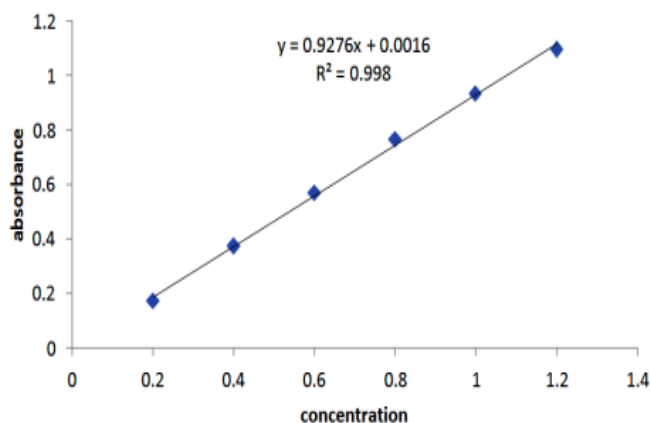
diena (C=C-C=C), dienon (C=C-C=O), benzena, dan lainnya. Untuk mendapatkan spektrum UV-Vis yang baik, konsentrasi sampel juga perlu diperhatikan. Hubungan antara absorbansi dan konsentrasi akan linier ($A \approx C$) jika nilai absorbansi larutan berada antara 0,2-0,8 ($0,2 \leq A < 0,8$), yang sering disebut sebagai daerah berlakunya hukum Lambert-Beer (Dinç *et al.*, 2021).

Warna yang diserap pada spektrofotometer merupakan warna komplementer dari warna yang diamati, artinya warna yang terlihat oleh mata manusia adalah kebalikan dari warna yang diserap oleh sampel. Pada Panjang gelombang dan warna yang diserap oleh sampel dengan spektrofotometer UV-Vis ditunjukkan pada Tabel 4, yang menggambarkan hubungan antara panjang gelombang tertentu dengan intensitas serapan warna yang terukur pada instrumen tersebut (Dwandaru *et al.*, 2019).

Tabel 4. Panjang Gelombang dan warna serapan Spektrofotometer Uv-Vis (Dwandaru *et al.*, 2019)

Panjang Gelombang	Warna	Warna Komplementer
400-435	Violet	Kuning-Hijau
435-480	Biru	Kuning
480-490	Hijau-Biru	Oranye
490-500	Biru-Hijau	Merah
500-560	Hijau	Ungu
560-580	Kuning-Hijau	Violet
580-595	Kuning	Biru
595-610	Oranye	Hijau-Biru
610-750	Merah	Biru-Hijau

Antibiotik *ciprofloxacin* dapat diidentifikasi melalui penggunaan spektrofotometer UV-Vis karena strukturnya memiliki gugus kromofor. Penetapan konsentrasi pada *ciprofloxacin* dilakukan dengan terlebih dahulu membuat kurva kalibrasi dengan mengukur serapan larutan *ciprofloxacin* pada kisaran panjang gelombang 200-400 nm. *Ciprofloxacin* memiliki kemampuan untuk menyerap radiasi pada panjang gelombang ultraviolet berkisar ± 270 nm (Babita *et al.*, 2023). Kurva kalibrasi *ciprofloxacin* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva kalibrasi *ciprofloxacin* (Babita *et al.*, 2023)

2.6 Validasi Metode

Validasi metode adalah elemen penting dalam kontrol kualitas yang bertujuan untuk memastikan bahwa metode analitik memenuhi persyaratan tertentu untuk tujuan tertentu melalui verifikasi dan bukti objektif. Validasi juga merupakan langkah penting dalam menjamin mutu suatu sediaan (Ambarati *et al.*, 2023). Parameter yang digunakan untuk memvalidasi metode meliputi akurasi, presisi, spesifisitas, linearitas, rentang kerja, batas deteksi (*Limit of Detection/LOD*), dan batas kuantifikasi (*Limit of Quantification/LOQ*). Laboratorium pengujian wajib melakukan validasi untuk metode non-standar, metode modifikasi, metode standar yang digunakan di luar kondisi atau tujuan yang ditetapkan, serta metode yang telah dimodifikasi. Validasi ini harus disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi atau bidang penggunaannya (Indryati *et al.*, 2024).

2.6.1 Linearitas

Linearitas adalah kemampuan metode analitik untuk menghasilkan respons yang sebanding dengan konsentrasi analit dalam sampel. Uji linearitas dilakukan melalui regresi linier pada kurva kalibrasi yang menghubungkan konsentrasi dan absorbansi. Hubungan dianggap proporsional jika koefisien determinasi (R^2) \geq

0,997; AOAC $r \geq 0,990$ (AOAC, 2016), SNI $r \geq 0,995$ (Ambarati *et al.*, 2023). Rentang kerja mencakup batas terendah dan tertinggi analit yang dapat diukur dengan akurasi. Grafik kurva standar diperoleh dari hubungan antara konsentrasi dengan absorbansi dengan regresi linear dapat dinyatakan menggunakan Persamaan 3 (Indryati *et al.*, 2024).

$$y = a + bx \quad (3)$$

Keterangan :

y: absorbansi sampel
 a : intersep
 b : slope
 x: konsentrasi sampel

2.6.2 Akurasi (Ketepatan)

Akurasi pada metode analisis adalah kedekatan nilai hasil uji yang diperoleh dari nilai sebenarnya, dapat dinyatakan dalam persen perolehan kembali analit pada penentuan kadar sampel yang mengandung suatu analit dalam jumlah yang diketahui. Akurasi merupakan ukuran ketepatan prosedur analisis. Persen perolehan kembali (% *recovery*) dapat dinyatakan menggunakan Persamaan 4.

$$\% \text{ perolehan kembali} = \frac{C_f - C_u}{C_A} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan :

C_f: konsentrasi total sampel yang diperoleh dari pengukuran
 C_u: konsentrasi sampel sebenarnya
 C_A: konsentrasi standar yang ditambahkan

2.6.3 Presisi (Ketelitian)

Presisi dalam metode analisis menggambarkan tingkat konsistensi hasil pengukuran yang diperoleh dari pengujian berulang dalam kondisi tertentu. Presisi terbagi menjadi tiga kategori utama: keterulangan (*repeatability*), ketertiruan

(*reproducibility*), dan presisi antara (*intermediate precision*). Presisi juga mengacu pada tingkat kesesuaian antara hasil uji yang dilakukan berulang kali pada cuplikan dari sampel homogen. Hasilnya dinyatakan dalam bentuk simpangan baku (SD) dan (RSD) simpangan baku relatif (Ambarati *et al.*, 2023). Standar deviasi dapat dihitung dengan Persamaan 5 dan simpangan baku relatif dapat dihitung pada Persamaan 6.

$$SD = \frac{\sqrt{[\sum(x - \bar{x})^2]}}{n-1} \quad (5)$$

$$RSD = \frac{SD}{x} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan :

SD : standar deviasi

RSD: simpangan baku relatif

x : kadar sampel yang diperoleh

\bar{x} : kadar rata-rata

n : jumlah pengulangan analisis

2.6.4 Limit Deteksi dan Limit Kuantifikasi

Limit deteksi (LoD) menggambarkan konsentrasi analit terkecil dalam sampel yang masih dapat diukur. Limit kuantifikasi (LoQ) menggambarkan konsentrasi terendah analit dalam sampel yang dapat dianalisis dengan presisi dan akurasi di bawah kondisi percobaan tertentu. Metode yang digunakan untuk menentukan kadar sampel yang menghasilkan rasio *signal-to-noise* 3:1 untuk LoD dan 10:1 untuk LoQ. Limit deteksi dapat ditentukan dengan Persamaan 7 dan limit kuantifikasi ditentukan dengan Persamaan 8.

$$LoD = \frac{3 \times SD}{S} \quad (7)$$

$$LoQ = \frac{10 \times SD}{S} \quad (8)$$

Keterangan:

SD : standar deviasi dari y-intersep

S : slope

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik FMIPA Universitas Lampung pada bulan Mei 2024 – Oktober 2024. Karakterisasi karbon aktif menggunakan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan di Unit Pelayanan Teknis Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT-LTSIT) Universitas Lampung, dan uji adsorpsi antibiotik *ciprofloxacin* dengan Spektrofotometer Ultraviolet-Visible (Uv-Vis) dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah peralatan gelas laboratorium yang umum digunakan, neraca analitik (*AND HR-150A* 152g x 0,1mg), rak tabung reaksi, mortar dan alu, *hot-plate magnetic stirrer* (*Stuart BioCote R200000* 685), spinbar, wadah logam kedap udara, lemari asam (V Fume Hood), sentrifugasi (*Fisher Scientific* 1827001027164), tabung *centrifuge*, oven (*Memmert* 55), bulp, cawan krus, spatula, pH meter (*Water Taster EZ-9901*), thermometer, wadah kaca *waterbath*, botol semprot, desikator, ultrasonik (*1510 Branson*), *Fourier Transform Infrared* (FTIR) tipe (*Agilent Technologies FTIR 630 CARY*), *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) tipe (*JEOL-JSM-6510LA*), dan Spektrofotometer *Ultraviolet-Visible* (Uv-Vis) tipe (*Agilent Cary 100*).

Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah kayu bakau, standar *ciprofloxacin* (*Hexpharm Jaya*), H_3PO_4 (*MerckTM*), HCl (*MerckTM*), NaOH (*MerckTM*), metanol (PA), etanol (PA), asam asetat (*MerckTM*), akuades, kertas saring, tisu, aluminium foil, dan kertas indikator universal.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Preparasi dan Pembuatan Karbon Aktif Dari Kayu Bakau

Limbah kayu bakau yang diperoleh dari Ekowisata Mangrove Desa Gebang “Petengoran” Kecamatan Teluk Pandan, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung dibersihkan dan dikeringkan dibawah sinar matahari. Kayu bakau yang telah bersih dan kering, selanjutnya dikarbonisasi dengan cara dibakar dalam wadah logam kedap udara (secara pirolisis sederhana) selama ± 3 jam sehingga diperoleh karbon kayu bakau dan dihaluskan menggunakan alat penggiling lalu diayak menggunakan pengayak berukuran 106 mikron (Trina *et al.*, 2022). Karbon kayu bakau yang lolos dari ayakan selanjutnya diaktivasi dengan dua cara yaitu aktivasi kimia dan aktivasi fisika.

Pada proses aktivasi fisika dan kimia, metode ini dilakukan dengan modifikasi karbon sebanyak 500 gram yang telah diayak lalu diaktivasi secara fisika dalam tanur pada suhu 500°C selama 1 jam. Kemudian didinginkan dalam desikator hingga suhu stabil. Karbon aktif hasil aktivasi fisika direndam dalam H_3PO_4 10% sebanyak 1 L selama 24 jam. Kemudian karbon aktif disaring dan dibilas dengan akuades hingga pH netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 1 jam dan didinginkan dalam desikator hingga suhunya stabil dan diperoleh karbon aktif.

3.3.2 Uji Kualitas Karbon Aktif Kayu Bakau

Karbon Aktif yang dihasilkan dan yang tidak diaktivasi dilakukan uji kualitas berdasarkan pada standar mutu SNI 06-3730-1995 tentang karbon aktif, yaitu rendemen, kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, kadar karbon terikat, dan daya serap iod.

3.3.2.1 Rendemen

Analisis rendemen karbon aktif dilakukan dengan menimbang massa karbon aktif sebelum aktivasi dan massa karbon aktif setelah aktivasi dapat dihitung dengan Persamaan 9.

$$\text{Rendemen} = \frac{b}{a} \times 100\% \quad (9)$$

Keterangan:

a : massa awal karbon aktif (g)

b : massa akhir karbon aktif setelah aktivasi (g)

3.3.2.2 Kadar Air

Karbon aktif ditimbang sebanyak 1 g, lalu dimasukkan ke dalam cawan porselin yang telah dikeringkan dan ditimbang kemudian dimasukkan dalam oven pada suhu 115 ± 5 °C selama 3 jam. Setelah proses pemanasan selesai, cawan didinginkan dalam desikator dan kemudian ditimbang. Kadar air dihitung menggunakan Persamaan 10.

$$\text{Kadar Air} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (10)$$

Keterangan:

a : massa awal karbon aktif (g)

b : massa akhir karbon aktif (g)

3.3.2.3 Kadar Abu

Karbon aktif ditimbang sebanyak 1 g, lalu dimasukkan ke dalam cawan porselin yang telah dikeringkan dan ditimbang, kemudian dimasukkan dalam *furnace* pada suhu 700 °C hingga seluruh karbon aktif menjadi abu. Hasil yang diperoleh kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Kadar abu dapat dihitung dengan Persamaan 11.

$$Kadar\ Abu = \frac{b}{a} \times 100\% \quad (11)$$

Keterangan:

a : massa awal karbon aktif (g)

b : massa akhir karbon aktif (g)

3.3.2.4 Kadar Zat Menguap

Sebanyak 1 gram karbon aktif ditimbang sebagai massa awal. Kemudian dimasukkan dalam cawan yang telah diketahui bobot keringnya. Lalu karbon aktif dipanaskan dalam *furnace* sampai suhu 600 °C. Selanjutnya, didinginkan dalam desikator selama 1 jam dan ditimbang sebagai massa akhir hingga mencapai bobot tetap. Kadar zat menguap dapat dihitung dengan Persamaan 12.

$$Kadar\ Zat\ Menguap = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (12)$$

Keterangan:

a : massa awal karbon aktif (g)

b : massa akhir karbon aktif (g)

3.3.2.5 Kadar Karbon Terikat

Karbon dalam karbon aktif adalah zat selain abu dan zat atsiri. Kadar karbon terikat dapat dihitung pada Persamaan 13.

$$KKT\% = 100\% - (KZM + KA)\% \quad (13)$$

Keterangan:

KKT : kadar karbon terikat

KZM : kadar zat menguap

KA : kadar abu

3.3.2.6 Daya Serap Iod

Daya serap iod dapat mengindikasikan kemampuan suatu karbon aktif dalam mengadsorpsi komponen dengan berat molekul rendah. Karbon aktif sebanyak 0,5 g dicampurkan dengan 50 mL larutan iodium 0,1 N. Kemudian dikocok selama 15 menit lalu disaring. Filtrat yang diperoleh sebanyak 10 mL dititrasikan dengan larutan natrium tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0,1 N hingga warna kuning dari larutan telah samar kemudian ditambahkan beberapa tetes larutan amilum 1% dan dititrasikan kembali hingga warna biru tepat hilang. Daya serap iod dapat ditentukan dengan Persamaan 14.

$$\text{Daya Serap Iod} = 10 - \frac{(V \times N)}{\frac{0,1}{m}} \times W \times fp \quad (14)$$

Keterangan:

V : volume titrasi $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (mL)

N : konsentrasi $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (N)

M : massa karbon aktif (gram)

3.3.3 Karakterisasi Karbon Aktif Kayu Bakau

Karakteristik gugus fungsi pada karbon aktif yang dihasilkan dan yang tidak diaktivasi diidentifikasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Sedangkan pada morfologi, identifikasi unsur, dan komposisi kuantitatif karbon aktif diidentifikasi menggunakan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX).

3.3.4 Pembuatan Larutan Induk *Ciprofloxacin* 500 ppm

Larutan induk antibiotik *ciprofloxacin* 500 ppm dibuat dengan cara 50 mg antibiotik *ciprofloxacin* dilarutkan dengan akuades dalam labu takar 100 ml hingga tanda tera dan dihomogenkan. Kemudian dilakukan pengenceran pada larutan induk hingga didapati larutan standar 2; 4; 6; 8 dan 10 ppm untuk menentukan panjang gelombang maksimum dan pengukuran absorbansi filtrat.

3.3.5 Optimasi Parameter Ekstraksi *Ciprofloxacin* Menggunakan Metode DSPE

3.3.5.1 Penentuan pH Optimum

Ditimbang 20 mg karbon aktif dimasukkan kedalam gelas beaker, ditambahkan 20 mL larutan standar *ciprofloxacin* 2 ppm pada pH 2; 3; 4, 5 dan 6 menggunakan larutan HCl 0,1 M atau NaOH 0,1 M. Kemudian dicampur secara menyeluruh dan dan dibungkus dengan aluminium foil. Campuran yang dihasilkan distirer selama 30 menit, lalu karbon aktif dipisahkan dari larutan dengan sentrifugasi pada kecepatan 10.000 rpm selama 15 menit. Lalu disaring menggunakan kertas saring, filtrat yang dihasilkan dianalisis menggunakan spektrofotometer Uv-Vis pada panjang gelombang maksimumnya.

3.3.5.2 Penentuan Massa Optimum

Ditimbang 10; 15; 20; 25 dan 30 mg karbon aktif dimasukkan kedalam gelas beaker, ditambahkan 20 mL larutan standar *ciprofloxacin* 2 ppm dan pH optimum. Kemudian dicampur secara menyeluruh dan dibungkus dengan aluminium foil. Campuran yang dihasilkan distirer selama 30 menit, lalu karbon aktif dipisahkan dari larutan dengan sentrifugasi pada kecepatan 10.000 rpm selama 15 menit. Lalu disaring menggunakan kertas saring, filtrat yang dihasilkan dianalisis menggunakan spektrofotometer Uv-Vis pada panjang gelombang maksimumnya.

3.3.5.3 Penentuan Konsentrasi Optimum

Ditimbang massa karbon aktif optimum dimasukkan kedalam gelas beaker, ditambahkan 20 ml larutan standar *ciprofloxacin* pada pH optimum dengan konsentrasi yang berbeda yaitu 2; 4; 6; 8; dan 10 ppm. Kemudian dicampur secara menyeluruh dan dibungkus dengan aluminium foil. Campuran yang dihasilkan distirer selama 30 menit, lalu karbon aktif dipisahkan dari larutan dengan sentrifugasi pada kecepatan 10.000 rpm selama 15 menit. Lalu disaring menggunakan kertas saring, filtrat yang dihasilkan dianalisis menggunakan spektrofotometer Uv-Vis pada panjang gelombang maksimumnya.

3.3.5.4 Penentuan Waktu Kontak Optimum

Ditimbang massa karbon aktif optimum dimasukkan kedalam gelas beaker, ditambahkan 20 mL larutan standar *ciprofloxacin* pada konsentrasi dan pH optimum. Kemudian dicampur secara menyeluruh dan dibungkus dengan aluminium foil. Campuran yang dihasilkan distirer dengan waktu selama 20; 30; 40; 50 dan 60 menit. Karbon aktif dipisahkan dari larutan dengan sentrifugasi pada kecepatan 10.000 rpm selama 15 menit. Lalu disaring menggunakan kertas saring, filtrat yang dihasilkan dianalisis menggunakan spektrofotometer Uv-Vis pada panjang gelombang maksimumnya.

3.3.5.5 Penentuan Pelarut Desorpsi Optimum

Sebanyak 20 mL larutan standar antibiotik *ciprofloxacin* dengan pH dan konsentrasi pada kondisi optimum ditambahkan ke dalam karbon aktif dengan massa pada massa optimum. Campuran yang dihasilkan distirer dengan waktu optimum, lalu karbon aktif dipisahkan dari larutan dengan sentrifugasi pada kecepatan 10.000 rpm selama 15 menit. Larutan tersebut disaring menggunakan kertas saring, endapan yang dihasilkan dielusi menggunakan pelarut metanol, etanol, dan asam asetat-metanol (2:8). Kemudian dilakukan penyaringan dan

filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum.

3.3.6 Validasi Metode

3.3.6.1 Uji Linearitas

Dibuat variasi larutan *ciprofloxacin* dari larutan baku dengan konsentrasi 0,5; 1; 1,5; 2; dan 2,5 ppm. Kemudian larutan tersebut diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada 277 nm. Dibuat persamaan linier hubungan antara konsentrasi dan absorbansi dari nilai absorbansi yang diperoleh. Uji linieritas ditentukan dari nilai R yang diperoleh ($>0,995$).

3.3.6.2 Uji *Limit of Detection (LoD)* dan *Limit of Quantity (LoQ)*

Batas deteksi dan batas kuantifikasi ditentukan dengan menghitung standar deviasi (SD) presisi dan slope (b) kurva kalibrasi. Batas deteksi (LoD) didapat dengan $3 \times SD/b$ dan batas kuantifikasi (LoQ) dengan $10 \times SD/b$. Penentuan LoD dan LoQ diperoleh dari pengukuran larutan *ciprofloxacin* dengan konsentrasi yang paling rendah dari penentuan linearitas yaitu 0,5 ppm.

Sebanyak 20 mL larutan *ciprofloxacin* 0,5 ppm diadsorpsikan ke 20 mg karbon aktif pada pH 4. Kemudian dicampur secara menyeluruh dan dibungkus dengan aluminium foil. Campuran yang dihasilkan distirer dengan waktu selama 50 menit. Karbon aktif dipisahkan dari larutan dengan sentrifugasi pada kecepatan 10.000 rpm selama 15 menit. Lalu disaring menggunakan kertas saring, lalu filtrat yang dihasilkan dianalisis menggunakan spektrofotometer Uv-Vis pada panjang gelombang 277 nm dan dilakukan sebanyak 7 kali. Dihitung nilai %RSD *ciprofloxacin* terukur berdasarkan persamaan kurva kalibrasi yang diperoleh.

3.3.6.3 Uji Presisi

Sebanyak 20 mL larutan *ciprofloxacin* 0,5 ppm diadsorpsikan ke 20 mg karbon aktif pada pH 4. Kemudian dicampur secara menyeluruh dan dibungkus dengan aluminium foil. Campuran yang dihasilkan distirer dengan waktu selama 50 menit. Karbon aktif dipisahkan dari larutan dengan sentrifugasi pada kecepatan 10.000 rpm selama 15 menit. Lalu disaring menggunakan kertas saring, lalu filtrat yang dihasilkan dianalisis menggunakan spektrofotometer Uv-Vis pada panjang gelombang 277 nm dan dilakukan sebanyak 7 kali. Kemudian dihitung standar deviasi (SD) dan standar deviasi *relative* (RSD) dari data yang diperoleh.

3.3.6.4 Uji Akurasi

Penentuan akurasi dilakukan dengan menambahkan sejumlah analit murni ke dalam campuran (CF). Kemudian campuran dianalisis dan hasilnya dibandingkan terhadap kadar analit yang ditambahkan (CA). Jumlah analit yang ditambahkan ke dalam sampel atau selisih antara rata-rata dan nilai sebenarnya yang didapat menunjukkan ketepatan.

Sebanyak 1 mL larutan sampel ditambahkan kedalam larutan standar *ciprofloxacin* 2,5 ppm 99 mL, lalu dihomogenkan dalam 100 mL (larutan CF). Selanjutnya, sebanyak 20 mL larutan sampel diadsorpsikan ke 20 mg karbon aktif pada pH 4 dengan waktu selama 50 menit (CA). Karbon aktif dipisahkan dari larutan dengan sentrifugasi pada kecepatan 10.000 rpm selama 15 menit. Lalu disaring menggunakan kertas saring, lalu filtrat yang dihasilkan dianalisis menggunakan spektrofotometer Uv-Vis pada panjang gelombang 277 nm dan dihitung persen *recovery*.

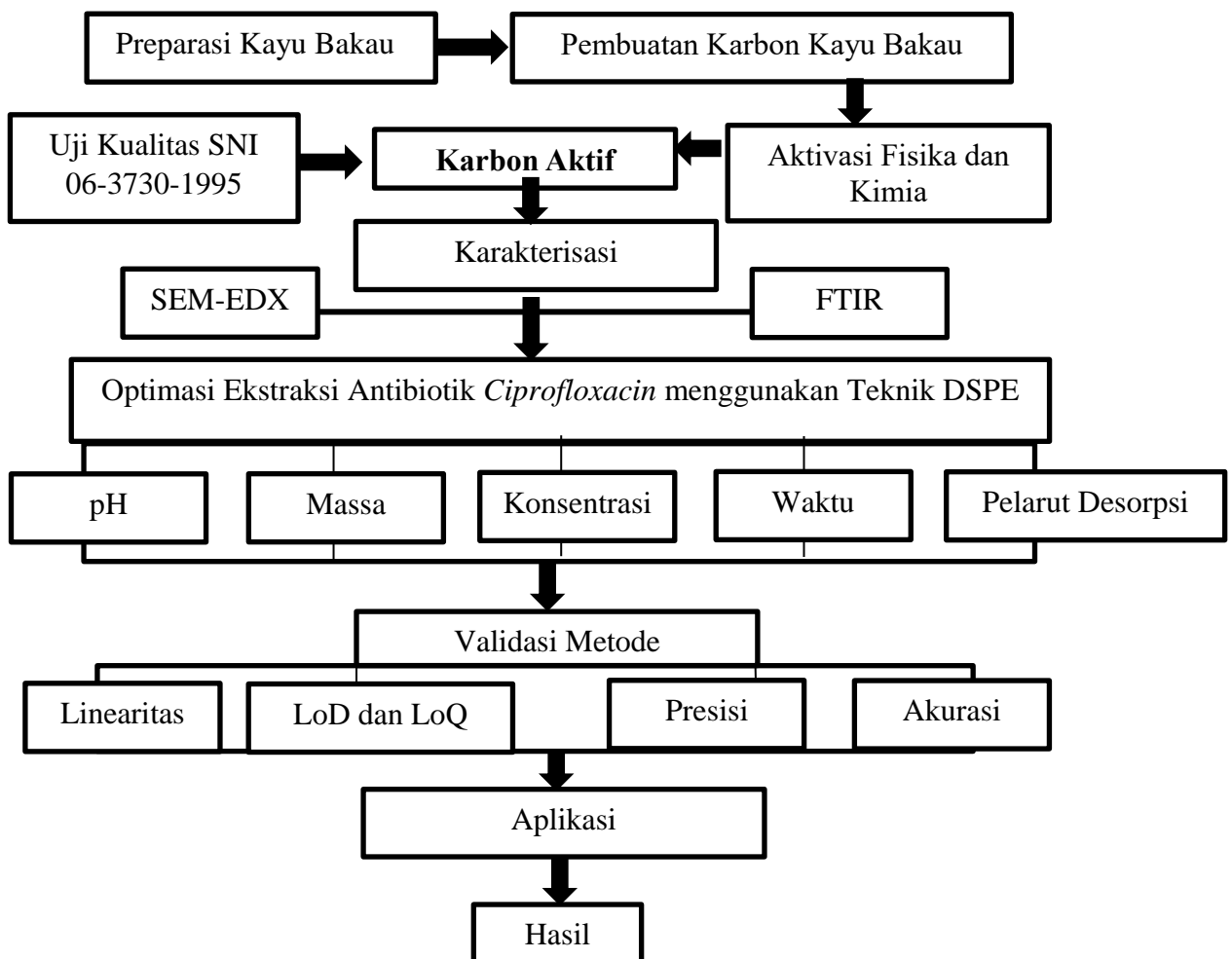
3.3.7 Aplikasi

Pengambilan sampel limbah cair dilakukan di dekat badan air di sekitar pemukiman yang ada di Kota Bandar Lampung. Sampel yang terkumpul disaring

menggunakan 0,45 μm dan disimpan dalam botol polietilen pada 4 °C sebelum dianalisis. Sebanyak 20 mL larutan sampel diadsorpsikan ke 20 mg karbon aktif pada pH 4. Kemudian dicampur secara menyeluruh dan dibungkus dengan aluminium foil. Campuran yang dihasilkan distirer dengan waktu selama 50 menit. Karbon aktif dipisahkan dari larutan dengan sentrifugasi pada kecepatan 10.000 rpm selama 15 menit. Lalu disaring menggunakan kertas saring, lalu filtrat yang dihasilkan dianalisis menggunakan spektrofotometer Uv-Vis pada panjang gelombang 277 nm dan dilakukan sebanyak 3 kali.

3.3.8 Diagram Alir

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu pembuatan karbon aktif dari kayu bakau, optimasi DSPE, validasi metode DSPE dan Aplikasi DSPE. Adapun untuk skema penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram alir dari penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Karbon aktif kayu bakau yang diaktivasi telah memenuhi standar mutu SNI 06-3730-1995 tentang karbon aktif.
2. Hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDX menunjukkan bahwa permukaan karbon memiliki pori-pori yang lebih terbuka. Persentase berat unsur karbon sebelum diaktivasi adalah 86,72%, meningkat menjadi 87,71% setelah diaktivasi, sedangkan unsur oksigen menurun dari 13,28% menjadi 12,29%. Uji FTIR pada karbon teraktivasi menunjukkan adanya pola serapan yang mencakup ikatan OH, C=O, C=C, dan C-O, yang berperan dalam menyerap *ciprofloxacin* sebagai adsorbat dalam penelitian ini.
3. Optimasi DSPE oleh karbon aktif dari kayu bakau didapatkan pada konsentrasi *ciprofloxacin* 2 ppm pada pH 4 dengan massa adsorben 20 mg dan waktu kontak 50 menit dengan adsorpsi optimum sebesar 79,85% dan pelarut desorpsi optimum menggunakan pelarut Asam asetat: metanol (2:8) dengan desorpsi sebesar 80,51%.
4. Pada penelitian ini, proses adsorpsi *ciprofloxacin* dianalisis menggunakan model isoterm Langmuir dan Freundlich. Hasilnya menunjukkan bahwa proses adsorpsi cenderung mengikuti model isoterm Freundlich, yang mengindikasikan pembentukan lapisan multilayer dengan permukaan pori adsorben yang heterogen yang menggambarkan proses adsorpsi pada karbon aktif yang digunakan.

5. Berdasarkan hasil uji validasi metode untuk optimasi *dispersive solid phase extraction* berbasis karbon aktif dari kayu bakau dalam penentuan residu *ciprofloxacin* menggunakan spektrofotometer UV-Vis, diperoleh koefisien korelasi (R) sebesar 0,9975 menunjukkan linearitas yang baik dan memenuhi kriteria linearitas dengan $R \geq 0,995$. Batas deteksi (LoD) sebesar 0,0461 ppm dan batas kuantifikasi (LoQ) sebesar 0,1536 ppm menunjukkan sensitivitas metode yang memadai untuk mendeteksi *ciprofloxacin* pada konsentrasi rendah. Nilai simpangan baku relatif (RSD) sebesar 4,3518% menunjukkan tingkat presisi yang dapat diterima, terutama untuk pengujian pada konsentrasi rendah, di mana RSD hingga 5% masih memenuhi kriteria validasi. Simpangan baku pada uji presisi sebesar 0,0154 mendukung konsistensi hasil pengukuran. Persen perolehan kembali (*% recovery*) sebesar 80,89% juga berada dalam rentang yang dapat diterima (80–120%) berdasarkan pedoman validasi metode analisis. Secara keseluruhan, hasil validasi ini menunjukkan bahwa metode yang digunakan memiliki linearitas, sensitivitas, presisi, dan akurasi yang cukup baik untuk tujuan analisis *ciprofloxacin* menggunakan spektrofotometer UV-Vis, sesuai dengan kriteria validasi metode analitik.

5.2 Saran

Adapun pada penelitian selanjutnya disarankan:

1. Melakukan modifikasi dalam pembuatan karbon aktif dari kayu bakau dengan menggunakan aktivator lain serta variasi konsentrasi aktivator untuk menghasilkan karbon aktif dengan kapasitas adsorpsi yang lebih optimal. Penelitian selanjutnya juga dapat mencakup karakterisasi karbon aktif menggunakan alat seperti BET (*Brunauer Emmett Teller*) untuk mengukur luas permukaan spesifik dan distribusi ukuran pori.
2. Mengembangkan dan mengoptimalkan metode *Dispersive Solid Phase Extraction* (DSPE) dengan memperhatikan parameter lain yang belum diuji,

seperti volume adsorbat, rasio pelarut terhadap adsorben, waktu sentrifugasi, serta kecepatan sentrifugasi. Parameter ini penting untuk meningkatkan efisiensi dan reproduktifitas proses ekstraksi dan desorpsi senyawa target, terutama dalam aplikasi skala besar atau lingkungan kompleks.

3. Melakukan pengujian lebih lanjut terhadap kemampuan adsorpsi senyawa antibiotik lain (selain *ciprofloxacin*) menggunakan karbon aktif dari kayu bakau. Hal ini penting untuk menilai potensi aplikasi karbon aktif kayu bakau dalam pengolahan sampel dari lingkungan, seperti pengolahan yang tercemar antibiotik untuk memahami selektivitas dan kapasitas adsorpsi karbon aktif terhadap berbagai jenis senyawa.
4. Menggunakan metode analisis lain selain spektrofotometri untuk validasi yang lebih akurat dan komprehensif dalam mengukur konsentrasi *ciprofloxacin* atau senyawa lainnya, karena keterbatasan spektrofotometer dalam mendeteksi konsentrasi yang sangat rendah atau dalam sampel kompleks.
5. Menggunakan pendekatan ramah lingkungan dalam pengolahan limbah karbon aktif dengan mengembangkan dan menggunakan pelarut desorpsi yang lebih berkelanjutan, seperti pelarut ramah lingkungan atau bahan *biodegradable*. Pemilihan pelarut ini bertujuan untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, mempertahankan efektivitas proses desorpsi, dan meningkatkan efisiensi biaya. Upaya ini diharapkan dapat mengurangi risiko pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh penggunaan karbon aktif.

DAFTAR PUSTAKA

- Abas, S. N. A., Ismail, M. H. S., Siajam, S. I., and Kamal, M. L. 2015. Development Of Novel Adsorbent Mangrove Alginate Composite Bead (MACB) For Removal Of Pb(II) From Aqueous Solution. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. **50**: 182-189.
- Agustanty, A., dan Budi, A. 2022. Pola Resistensi Bakteri *Vibrio Cholerae* Terhadap Antibiotik Ciprofloxacin Dan Tetracycline Pola. *Journal Health and Science : Gorontalo Journal Health and Science Community*. **5**(3): 73-78.
- Alappatt, J. P. 2018. Structure And Species Diversity Of Mangrove Ecosystem. In *Biodiversity and Climate Change Adaptation in Tropical Islands (Elsevier)*. 127-144.
- Ambarati, T., Wahyudi, N. Y., Hamidah Asmara Indratno, S., Nurfadhila, L., dan Utami, M. R. 2023. Review Artikel: Validasi Metode Analisis Penetapan Kadar Parasetamol Dalam Sampel Biologis Dengan Berbagai Metode. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*. **6**(2): 838-847.
- AOAC. 2016. Guidelines for Standard Method Performance Requirements. *AOAC International*.
- Babita, K., Kalra, K., Rajpoot, N., Joshi, P., and Pokhriyal, V. 2023. Simultaneous Estimation of Ciprofloxacin and Tinidazole by U.V Spectrophotometer using a Hydrotropic Solubilization Technique. *Biomedical and Pharmacology Journal*. **16**(1): 399-404.
- Bruni, P., Avino, P., Ferrone, V., Pilato, S., Barbacane, N., Canale, V., Carlucci, G., and Ferrari, S. 2023. Preparation of Fe₃O₄ Reduced Graphene Activated Carbon from Wastepaper in the Dispersive Solid-Phase Extraction and UHPLC-PDA Determination of Antibiotics in Human Plasma. *Separations*, **10**(2): 1-15

- Budianto, A., Kusdarini, E., Effendi, S. S. W., and Aziz, M. 2019. The Production of Activated Carbon from Indonesian Mangrove Charcoal. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. **462**(1): 1-7.
- Büyüktiryaki, S., Keçili, R., and Hussain, C. M. 2020. Functionalized Nanomaterials In Dispersive Solid Phase Extraction: Advances & Prospects. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*. **127**: 1-14.
- Chen, X., and Ye, N. 2017. A Graphene Oxide Surface-Molecularly Imprinted Polymer As A Dispersive Solid-Phase Extraction Adsorbent For The Determination Of Cefadroxil In Water Samples. *RSC Advances*. **7**(54): 34077-34085.
- Christian, G. D. 1994. *Analytical Chemistry* (5th Edition). John Wiley and Sons. New York.
- Chuiprasert, J., Srinives, S., Boontanon, N., Polprasert, C., Ramungul, N., Lertthanaphol, N., Karawek, A., and Boontanon, S. K. 2023. Electrochemical Sensor Based on a Composite of Reduced Graphene Oxide and Molecularly Imprinted Copolymer of Polyaniline Poly(o-phenylenediamine) for Ciprofloxacin Determination: Fabrication, Characterization, and Performance Evaluation. *ACS Omega*. **8**: 2564-2574
- Dan, S., Bagheri, H., Shahidizadeh, A., and Hashemipour, H. 2023. Performance of Graphene Oxide/SiO₂ Nanocomposite-based: Antibacterial Activity, Dye And Heavy Metal Removal. *Arabian Journal of Chemistry*. **16**(2): 1-14
- Darmawan, S., Syafii, W., J Wistara, N., Maddu, A., dan Pari, G. 2015. Kajian Struktur Arang-Pirolisis, Arang-Hidro Dan Karbon Aktif Dari Kayu Acacia Mangium Willd. Menggunakan Difraksi Sinar-X. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. **33**(2): 81-92.
- Desi, Suharman, A., dan Vinsiah, R. 2015. Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi Terhadap Daya Serap Karbon Aktif Cangkang Kulit Buah Karet (*Hevea brasiliensis*). *Prosiding SEMIRATA*. 294-03.
- Dinç, E., Ünal, N., and Ertekin, Z. C. 2021. Three-Way Analysis Based pH Uv-Vis Spectroscopy For Quantifying Allura Red In An Energy Drink And Determining Colorant's Pka. *Journal of Food and Drug Analysis*. **29**(1): 76-86.

- Diniz, V., Rath, G., Rath, S., Rodrigues-Silva, C., Guimarães, J. R., and Cunha, D. G. F. 2021. Long Term Ecotoxicological Effects Of Ciprofloxacin In Combination With Caffeine On The Microalga *Raphidocelis Subcapitata*. *Toxicology Reports*. **8**: 429-435.
- Dwandardu, W. S. B., Wijaya, R. I. W., dan Parwati, L. D. 2019. *Nanomaterial Graphene Oxide Sintesis dan Karakterisasinya*. UNY Press. Yogyakarta.
- Ellingham, S. T. D., Thompson, T. J. U., and Islam, M. 2018. Scanning Electron Microscopy–Energy-Dispersive X-Ray (SEM-EDX): A Rapid Diagnostic Tool to Aid the Identification of Burnt Bone and Contested Cremains. *Journal of Forensic Sciences*. **63**(2): 504-510.
- Esterlita, M. O., dan Herlina, N. 2015. Pengaruh Penambahan Aktivator $ZnCl_2$, Koh, dan H_3PO_4 Dalam Pembuatan Karbon Aktif Dari Pelepah Aren (*Arenga Pinnata*). *Jurnal Teknik Kimia USU*. **4**(1): 47-52.
- Faleye, A. C., Adegoke, A. A., Ramluckan, K., Bux, F., and Stenström, T. A. 2018. Antibiotic Residue in the Aquatic Environment: Status in Africa. *Open Chemistry Journal*. **16**(1): 890-903.
- Farooq, S., Aziz, H., Ali, S., Murtaza, G., Rizwan, M., Saleem, M. H., Mahboob, S., Al-Ghanim, K. A., Riaz, M. N., and Murtaza, B. 2022. Synthesis of Functionalized Carboxylated Graphene Oxide for the Remediation of Pb and Cr Contaminated Water. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. **19**(17): 1-18.
- Halling-Sorensen, B., Holten Lutzhoft, H. C., Andersen, H. R., and Ingerslev, F. 2000. Environmental Risk Assessment of Antibiotics: Comparison Of Mecillinam, Trimethoprim And Ciprofloxacin. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. **46**(1): 53-58.
- Haryati, S., Yulhan, A. T., dan Asparia, L. 2017. Pembuatan Karbon Aktif Dari Kulit Kayu Gelam (*Melaleuca leucadendron*) yang Berasal Dari Tanjung Api-Api Sumatera Selatan. *Jurnal Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya*. **23**(2): 77-86.
- Hunge, Y. M., Yadav, A. A., Kang, S. W., Jun Lim, S., and Kim, H. 2023. Visible Light Activated MoS_2/ZnO Composites For Photocatalytic Degradation Of Ciprofloxacin Antibiotic And Hydrogen Production. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. **434**: 114250.

- Indryati, S., Hidayat, A. E., Pratama, A. A., Laksmana, R. I., Widana, K. S., Ramlan, M. A., Purwanti, T., Prassanti, R., Anggraini, M., and Rommy, R. 2024. Analytical Method Validation of Thorium in Ore Sample Using UV-Vis Spectrophotometer. *Eksplorium*. **44**(2): 75.
- Ineke, F., dan Rizki, P. S. 2023. Pengaruh Karbon Aktif Dari Kulit Pisang Tanduk Terhadap Limbah Cair Tahu Menggunakan Parameter pH, Cod (Chemical Oxygen Demand), Do (Disolved Oxygen) and Chlorida. *Journal of Innovation Research and Knowledge*. **2**(10): 4249-4262.
- International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). 2002. *Compendium of Chemical Terminology (Gold Book)*.
- 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. *Hindawi International Journal of Analytical Chemistry*. 1-16.
- Jahan, N., Roy, H., Reaz, A. H., Arshi, S., Rahman, E., Firoz, S. H., and Islam, M. S. 2022. A Comparative Study On Sorption Behavior Of Graphene Oxide And Reduced Graphene Oxide Towards Methylene Blue. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. **6**(6): 1-10.
- Khan, M. S. I., Oh, S. W., and Kim, Y. J. 2020. Power of Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-Ray Analysis in Rapid Microbial Detection and Identification at the Single Cell Level. *Scientific Reports*. **10**(1): 1-10.
- Khataei, M. M., Epi, S. B. H., Lood, R., Spéjel, P., Yamini, Y., and Turner, C. 2022. A Review Of Green Solvent Extraction Techniques And Their Use In Antibiotic Residue Analysis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. **209**: 1-18.
- Kunusa, W. R., Iyabu, H., and Abdullah, R. 2021. FTIR, SEM and XRD Analysis Of Activated Carbon From Sago Wastes Using Acid Modification. *Journal of Physics: Conference Series*. **1968**(1): 1-18.
- Lubis, R. A. F., Nasution, H. I., dan Zubir, M. 2020. Production of Activated Carbon from Natural Sources for Water Purification. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCST)*. **3**(2): 67.

- Manousi, N., Deliyanni, E. A., Rosenberg, E., and Zachariadis, G. A. 2021. Ultrasound-Assisted Magnetic Solid-Phase Extraction Of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons And Nitrated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons From Water Samples With A Magnetic Polyaniline Modified Graphene Oxide Nanocomposite. *Journal of Chromatography A*. **1645**: 1-8.
- Maryudi, M., Salamah, S., dan Rahayu, A. 2021. The Capability of Mangrove Charcoal in Adsorption Process of Indigosol Substance in Wastewater of Batik Industry. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. **10**(2): 69-74.
- Masthura, M., dan Putra, Z. 2018. Karakterisasi Mikrostruktur Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Kayu Bakau. *Elkawnie*. **4**(1): 45-54.
- Maulana, G. G. R., Agustina, L., dan Susi. 2017. Proses Aktivasi Arang Aktif Dari Cangkang Kemiri (*Aleurites moluccana*) Dengan Variasi Jenis Dan Konsentrasi Aktivator Kimia. *Jurusan Teknologi Industri Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat*. **42**(3): 247-256.
- Maulina, S., and Mentari, V. A. 2019. Comparison of Functional Group and Morphological Surface of Activated Carbon from Oil Palm Fronds Using Phosphoric Acid (H_3PO_4) and Nitric Acid (HNO_3) as an Activator. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. **505**(1).
- Muhajir, A., Machdar, I., dan Mariana, M. 2021. Produksi Karbon Aktif Arang Tempurung Kelapa Menggunakan Kombinasi Metode Aktivasi Secara Kimia Dan Steam Tekanan Rendah. *Jurnal Litbang Industri*. **11**(2): 110.
- Muslim, Z., Novrianti, A., dan Irnamera, D. 2020. Resistance Test of Bacterial Causes of Urinary Tract Infection Against Ciprofloxacin and Ceftriaxone Antibiotics. *Jurnal Teknologi Dan Seni Kesehatan*. **11**(2): 203–212.
- National Center for Biotechnology Information. 2024. *PubChem Compound Summary for CID 2764 (Ciprofloxacin)*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ciprofloxacin> (diakses pada tanggal 18 April 2024 pada pukul 14.00 Wib).
- Neme, I., Gonfa, G., and Masi, C. 2022. Preparation And Characterization Of Activated Carbon From Castor Seed Hull By Chemical Activation With H_3PO_4 . *Results In Materials*. **15**(6): 1-8.

- 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.
- Nugraha, F., Kurniawan, H., dan Yastiara, I. 2023. Penetapan Kadar Paracetamol dalam Jamu di Kota Pontianak Menggunakan Instrumen Spektrofotometri UV-Vis. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Education*. **3**(1): 77-87.
- Pal, A., Uddin, K., Thu, K., Saha, B. B., Kil, H. S., Yoon, S. H., and Miyawaki, J. 2020. Synthesis of High Grade Activated Carbons From Waste Biomass. In *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*. **1-5**(12): 1-12.
- Paryanto, P., Saputro, M. E., dan Nugroho, R. A. 2019. Produksi Karbon Aktif Dari Buah Mangrove Menggunakan Aktivator Kalium Hidroksida. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*. **4**(1): 33-35.
- Paryanto, Wibowo, W. A., Puspitaningrum, A. L., dan Hapsari, R. H. 2018. Karbon Aktif Dari Ampas Buah Mangrove Sisa Pembuatan Zat Warna Alami Menggunakan Aktivator H₃PO₄. *Inovasi Teknik Kimia*. **3**(2): 17-22.
- Putri, W., dan Musfirah. 2019. *Efektivitas Arang Aktif Kayu Bakau Terhadap Penurunan Kadar Logam Besi (Fe) Air Sumur Gali*. Universitas Ahmad Dahlan. Yogyakarta.
- Rahman, M. M., Awang, M., Mohosina, B. S., Kamaruzzaman, B. Y., Nik, W. B. W., and Adnan, C. M. C. 2012. Waste Palm Shell Converted to High Efficient Activated Carbon by Chemical Activation Method and Its Adsorption Capacity Tested by Water Filtration. *APCBEE Procedia*. **1**(1): 293-298.
- Ramadani, D. A., Hermalena, L., dan Salihat, R. A. 2024. Pengaruh Konsentrasi Asam Asetat Terhadap Karakteristik Kolagen Dari Sisik Ikan Julung-Julung (Hemiramphus SP.). *Jurnal Research Ilmu Pertanian*. **4**(2): 173-182.
- Rinawati, R., Kiswandono, A. A., Juliasih, N. L. G. R., dan Permana, F. D. 2019. Pemanfaatan Karbon Aktif Sekam Padi sebagai Adsorben Phenantrena dalam Solid Phase Extraction. *Al-Kimiya*. **6**(2): 75-80.

- 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.
- Rodrigues-Silva, C., Porto, R. S., dos Santos, S. G., Schneider, J., and Rath, S. (2019). Fluoroquinolones In Hospital Wastewater: Analytical Method, Occurrence, Treatment With Ozone And Residual Antimicrobial Activity Evaluation. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. **30**(7): 1447-1457.
- Ścigalski, P., and Kosobucki, P. 2020. Recent Materials Developed for Dispersive Solid Phase Extraction. *Molecules*. **25**(21): 1-26.
- Septiano, A. F., Susilo, S., dan Setyaningsih, N. E. 2021. Analisis Citra Hasil Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray (SEM EDX) Komposit Resin Timbal dengan Metode Contrast to Noise Ratio (CNR). *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*. **44**(2): 81-85.
- Shi, Z., Chow, C. W. K., Fabris, R., Liu, J., and Jin, B. 2022. Applications of Online UV-Vis Spectrophotometer for Drinking Water Quality Monitoring and Process Control: A Review. *Sensors*. **22**(8): 1-21.
- Sidiq, M.. 2014. *Perancangan Pabrik Karbon Aktif dari Bagasse Fly Ash (BFA) dengan Aktivasi Kimia menggunakan KOH Kapasitas 2.500 Ton/ Tahun (Skripsi)*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- SNI. 1995. *SNI 06-3730-1995: Arang Aktif Teknis*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Sodhi, K. K., and Singh, C. K. 2022. Recent Development In The Sustainable Remediation Of Antibiotics: A Review. *Total Environment Research Themes*. **3-4**(5): 1-10.

- Sulistiyawati, E., Nandari, W. W., Nurchasanah, A. R., dan Dewi, K. K. 2020. Kinetika Adsorpsi Mikrokapsul Kitosan Taut Silang Kalium Persulfat terhadap Zat Warna Methyl Orange. *Jurnal Rekayasa Proses*. **14**(1): 47-59.
- Tjaboali, H., Fatimawali, dan Wewengkang, D. S. 2015. Validasi Metode Untuk Penetapan Kadar Ciprofloxacin Dalam Sediaan Tablet Dengan Nama Dagang Dan Generik Secara Spektrofotometri Ultraviolet. *Pharmacon*. **4**(4): 276-281.
- Tran, Q. T., Do, T. H., Ha, X. L., Nguyen, H. P., Nguyen, A. T., Ngo, T. C. Q., dan Chau, H. D. 2022. Study of the Ciprofloxacin Adsorption of Activated Carbon Prepared from Mangosteen Peel. *Applied Sciences (Switzerland)*: **12**(17).
- Trina, I., Supriyanto, R., Rinawati, R., dan Buhani, B. 2022. Potensi Karbon Aktif Kayu Bakau Sebagai Solid Phase Extraction (SPE) Pada Pengaruh Pemekatan Konsentrasi Fenol. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. **7**(2): 102.
- Udyani, K., Purwaningsih, D. Y., Setiawan, R., dan Yahya, K. 2019. Pembuatan Karbon Aktif Dari Arang Bakau Menggunakan Gabungan Aktivasi Kimia dan Fisika Dengan Microwave. *Jurnal IPTEK*. **23**: 39-46.
- Verayana, Paputungan, M., dan Iyabu, H. 2018. Pengaruh Aktivator HCl dan H₃PO₄ terhadap Karakteristik (Morfologi Pori) Arang Aktif Tempurung Kelapa serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb). *Jurnal Entropi*. **13**(1): 67-75.
- Violet, C., Using, D., Cassava, T., Waste, P., Irawati, H., Aprilita, N. H., Sugiharto, E., Kimia, D., Matematika, F., Alam, P., dan Mada, U. G. 2018. Adsorpsi Zat Warna Kristal Violet Menggunakan Limbah Kulit Singkong (Manihot esculenta). *Bimipa*. **28**(1): 17-31.
- Wang, M., Li, G., Huang, L., Xue, J., Liu, Q., Bao, N., and Huang, J. 2017. Study of ciprofloxacin adsorption and regeneration of activated carbon prepared from *Enteromorpha prolifera* impregnated with H₃PO₄ and sodium benzenesulfonate. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. **139**(1), 36-42.
- Wardani, G. A., Octavia, A. N., Fathurohman, M., Hidayat, T., dan Nofiyanti, E. 2022. Arang Aktif Ampas Tebu Termodifikasi Kitosan sebagai Adsorben Tetrasiklin: Pemanfaatan Metode Kolom. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, **8**(3): 280-291.