

MODIFIKASI SELULOSA DARI SABUT KELAPA SAWIT (*Elaeis Guineensis Jacq*) DENGAN TEKNIK PELAPISAN MAGNETIT SERTA UJI ADSORPSI TERHADAP ZAT WARNA METILEN BIRU

(Skripsi)

Oleh

Nabila Azzahra Salsabila



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

ABSTRACT

MODIFICATION OF CELLULOSE FROM OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH (*Elaeis Guineensis* Jacq) BY MAGNETITE COATING TECHNIQUE AND ADSORPTION TEST ON METHYLENE BLUE DYE

By

Nabila Azzahra Salsabila

In this study involved the isolation of cellulose from oil palm empty fruit bunch (*Elaeis Guineensis* Jacq), which was subsequently modified by magnetite coating through the addition of $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ compounds to produce pure cellulose-magnetite and fiber cellulose-magnetite as methylene blue adsorbents. The adsorbents were characterized using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) to identify functional groups, X-Ray Diffraction (XRD) to determine crystallinity, and Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX) to analyze surface morphology and elemental composition. The optimum adsorption of methylene blue occurred at pH 8 (pure cellulose), 9 (fiber cellulose), 8 (pure cellulose-magnetite), and 5 (fiber cellulose-magnetite). The optimum contact time between the adsorbents and methylene blue was found to be 15 minutes (pure cellulose), 60 minutes (fiber cellulose), 90 minutes (pure cellulose-magnetite), and 30 minutes (fiber cellulose-magnetite), with an optimum concentration of 200 ppm. The adsorption kinetics of methylene blue tended to follow pseudo-second-order kinetics, and the adsorption isotherms tended to fit the Freundlich model.

Keywords: Adsorption, cellulose, oil palm empty fruit bunch, magnetite, methylene blue.

ABSTRAK

MODIFIKASI SELULOSA DARI SABUT KELAPA SAWIT (*Elaeis Guineensis Jacq*) DENGAN TEKNIK PELAPISAN MAGNETIT SERTA UJI ADSORPSI TERHADAP ZAT WARNA METILEN BIRU

Oleh

Nabila Azzahra Salsabila

Pada penelitian ini telah dilakukan pemisahan selulosa dari sabut kelapa sawit (*Elaeis Guineensis Jacq*) yang kemudian dimodifikasi dengan pelapisan magnetit melalui penambahan senyawa $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ untuk menghasilkan selulosa magnetit sebagai adsorben zat pewarna metilen biru. Adsorben tersebut dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengidentifikasi tingkat kristalinitas, dan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi permukaan dan mengidentifikasi komposisi unsur yang terkandung dalam adsorben. Adsorpsi zat pewarna metilen biru pada selulosa murni, selulosa sabut, SMM, dan SSM optimum pada masing-masing pH 8, 9, 8 dan 5. Waktu kontak optimum antara adsorben dengan metilen biru adalah 15 menit (selulosa murni), 60 menit (selulosa sabut), 90 menit (SMM), dan 30 menit (SSM) dengan konsentrasi optimum 200 ppm. Kinetika adsorpsi metilen biru cenderung mengikuti kinetika pseudo orde dua dan isoterm adsorpsi metilen biru cenderung mengikuti isoterm Freundlich.

Kata kunci: Adsorpsi, selulosa, sabut kelapa sawit, magnetit, dan metilen biru.

MODIFIKASI SELULOSA DARI SABUT KELAPA SAWIT (*Elaeis Guineensis Jacq*) DENGAN TEKNIK PELAPISAN MAGNETIT SERTA UJI ADSORPSI TERHADAP ZAT WARNA METILEN BIRU

Oleh

Nabila Azzahra Salsabila

Skripsi

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

Pada

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



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

Judul Skripsi : **MODIFIKASI SELULOSA DARI SABUT
KELAPA SAWIT (*Elaeis Guineensis Jacq*)
DENGAN TEKNIK PELAPISAN MAGNETIT
SERTA UJI ADSORPSI TERHADAP ZAT
WARNA METILEN BIRU**

Nama Mahasiswa : **Nabila Azzahra Salsabila**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2057011001

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

Prof. Dr. Buhani, M.Si.
NIP 19690416 199403 2 003

Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.
NIP 19720530 200003 2 001

2. Ketua Jurusan Kimia

Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.
NIP 19720530 200003 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

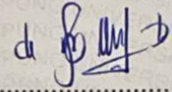
Ketua

: Prof. Dr. Buhani, M.Si.



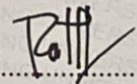
Sekretaris

: Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.



Penguji

Bukan Pembimbing : **Dr. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, S.Si., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, M.Si.

NIP 19711001 200501 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 8 Agustus 2024

**LEMBAR PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nabila Azzahra Salsabila

Nomor Pokok Mahasiswa : 2057011001

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul
**“Modifikasi Selulosa dari Sabut Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis Jacq*)
dengan Teknik Pelapisan Magnetit serta Uji Adsorpsi Terhadap Zat Warna
Metilen Biru”** adalah benar karya saya sendiri dan saya tidak keberatan jika
Sebagian atau seluruh data dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau
program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 8 Agustus 2024

Yang Menyatakan,



Nabila Azzahra Salsabila
NPM.2057011001

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada 20 April 2001, sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara yang merupakan putri dari bapak Mustafid Efendi dan Ibu Herda Dilliana, S.E. Pada tahun 2013 penulis lulus dari SD Negeri 2 Rawa Laut Bandar Lampung, lalu melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 12 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2016. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 13 Bandar Lampung dan menyelesaikan pendidikan pada tahun 2019. Pada tahun 2020 penulis diterima sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis merupakan anggota Bidang Sosial dan Masyarakat Himaki FMIPA Unila dan Staf Dinas PSDM BEM FMIPA Unila kepengurusan tahun 2021 dan merupakan bendahara umum Himaki FMIPA Unila kepengurusan tahun 2022. Penulis juga merupakan asisten praktikum Kimia Anorganik II pada tahun 2024. Pada periode Januari-Februari 2023 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode I di Desa Biha, Kabupaten Pesisir Barat. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan di BRIN Tanjung Bintang, Lampung Selatan pada bulan Juli-Agustus 2023 dengan laporan akhir berjudul “Geopolimer dari Limbah Bata Api sebagai Adsorben Limbah Air Asam Tambang dengan Menggunakan Aktivator Asam Sitrat Teknis”. Pada tahun 2024 penulis menyelesaikan tugas akhir yang dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Unila dengan judul “Modifikasi Selulosa dari Sabut Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis Jacq*) dengan Teknik Pelapisan Magnetit serta Uji Adsorpsi Terhadap Zat Warna Metilen Biru”.

MOTTO

Dan aku menyerahkan seluruh urusanku hanya kepada Allah.
Sungguh Allah maha melihat akan apa yang diperbuat oleh
hamba-Nya.

(QS. Ghafir : 44)

Tidak ada mimpi yang terlalu tinggi. Tak ada mimpi yang patut
diremehkan. Lambungkan setinggi yang kau inginkan dan
gapailah dengan selayaknya yang kau harapkan

(Maudy Ayunda)

Selalu ada harga dalam sebuah proses. Nikmati saja lelah-lelah
itu, lebarkan lagi rasa sabar itu. Tidak semua akan selalu
berjalan lancar, tapi gelombang-gelombang itu yang nanti bisa
kau ceritakan.

(Boy Chandra)

Make your dreams come true, don't lost hope

(Penulis)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Atas izin serta rahmat dari Allah SWT yang telah memberikan kekuatan, kesabaran, dan petunjuk, saya mempersembahkan karya sederhana ini sebagai ungkapan rasa syukur kepada-Nya dan kepada mereka yang berperan penting dalam perjalanan ini :

Kedua orang tuaku

Terima kasih atas segala doa, dukungan, pengorbanan, serta kasih sayang yang sangat besar dan tulus kepadaku.

Keluarga besarku

Terima kasih untuk setiap doa dan dukungan yang diberikan kepadaku.

Teman dan sahabatku

Terima kasih untuk setiap dukungan, doa, serta bantuan dan segala kisah dan kenangan yang telah diukir bersama-sama selama perjalanan perkuliahan ini.

Dosen pembimbing tugas akhirku

Kepada Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si. terima kasih atas segala bimbingan, doa, nasihat, serta dukungan selama proses penyelesaian tugas akhir ini.

SANWACANA

Alhamdulillah puji syukur atas rahmat serta karunia yang telah Allah SWT berikan sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Modifikasi Selulosa dari Sabut Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis Jacq*) dengan Teknik Pelapisan Magnetit serta Uji Adsorpsi Terhadap Zat Warna Metilen Biru”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Penulis berharap pembaca mampu memperoleh ilmu serta manfaat melalui tulisan ini. Tulisan ini tentunya tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tuaku tercinta atas segala curahan kasih sayang, pengorbanan, dukungan, serta doa-doa yang selalu dipanjatkan untuk penulis.
2. Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si. selaku dosen pembimbing I atas segala bimbingan, nasihat, ilmu, serta kesabaran kepada penulis selama penyelesaian skripsi ini.
3. Ibu Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing II atas segala bimbingan, nasihat, dan ilmu yang diberikan kepada penulis.
4. Ibu Dr. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, S.Si., M.Si., selaku dosen penguji atas segala masukan, bimbingan,serta ilmu yang telah diberikan.
5. Ibu Dr. Nurhasanah, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing akademik atas segala bimbingan, nasihat, serta motivasi selama menjalani pendidikan di Jurusan Kimia.
6. Ibu Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
7. Bapak Dr. Eng Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.

8. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang sangat berharga dan bermanfaat bagi penulis.
9. Mba Liza Apriliya, S.Si. selaku PLP Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik atas segala bantuan yang telah diberikan selama proses penelitian penulis.
10. Seluruh laboran, staff, dan karyawan FMIPA Universitas Lampung atas bantuan yang diberikan kepada penulis selama perkuliahan.
11. Keluarga besar atas segala doa, dukungan, dan motivasi yang diberikan.
12. Sahabatku Anastasya Viorelia, Siti Mutmainah, Widya Cahya Purnama, dan Venti Finaritan yang telah banyak mendukung, membantu, mendoakan, dan membersamai penulis selama menjalani perkuliahan.
13. Temanku Lisa, Anggita, Dwi, Mine, Lala, Cikal, Sabil, Alya, Icha, Hani, Alfara yang telah membantu dan mendukung penulis.
14. Kak Happy dan Kak Afif atas segala bantuan, arahan, saran, serta dukungan kepada penulis selama menjalani penelitian.
15. Teman-teman Kimia Unila angkatan 2020 atas segala bantuan dan dukungan kepada penulis selama menjalani perkuliahan.
16. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dan mendoakan penulis selama proses penyelesaian skripsi ini.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pembaca yang telah menyisihkan waktu luangnya untuk membaca tulisan ini. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak luput dari kesalahan dan kekurangan yang merupakan bagian kelemahan dari penulis. Penulis berharap melalui tulisan ini pembaca dapat memperoleh ilmu baru dan memberikan manfaat kepada pembaca.

Bandar Lampung, 8 Agustus 2024

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

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. Kelapa Sawit.....	4
2.2. Selulosa.....	5
2.3. Magnetit.....	7
2.4. Zat Warna.....	8
2.6. Metilen Biru.....	9
2.7. Adsorpsi.....	10
2.9. Kinetika Adsorpsi	12
2.10. Isoterm Adsorpsi.....	13
2.10.1. Isoterm Adsorpsi Freundlich	14
2.10.2. Isoterm Adsorpsi Langmuir.....	16
2.11. Penentuan Nilai Zeta Potensial.....	17
2.12. Karakterisasi	18
2.12.1. Spektrofotometer UV-Vis	18
2.12.2. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	20
2.12.3. <i>Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray</i> (SSEM-EDX).....	22

2.12.4. <i>Spektrofotometer Fourier Transform Infrared (FTIR)</i>	23
III. METODE PENELITIAN	25
3.1. Waktu dan Tempat	25
3.2. Alat dan Bahan	25
3.3. Prosedur Penelitian	26
3.3.1. Preparasi Sabut Kelapa Sawit.....	26
3.3.2. Pemisahan Selulosa dari Sabut Kelapa Sawit (Delignifikasi) ..	26
3.3.3. Modifikasi Selulosa dengan Magnetit	26
3.3.4. Karakterisasi	26
3.3.5. Penentuan Nilai Zeta Potensial.....	27
3.3.6. Preparasi Adsorbat	27
3.3.7. Eksperimen Adsorpsi	27
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1. Preparasi dan Pemisahan Selulosa dari Sabut Kelapa Sawit.....	29
4.2. Karakterisasi	30
4.2.1. Karakterisasi Adsorben dengan Spektrofotometer FTIR.....	30
4.2.2. Karakterisasi Adsorben dengan <i>X-Ray</i> XRD.....	32
4.2.3. Karakterisasi Adsorben dengan SEM-EDX.....	33
4.3. Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru.....	36
4.3.1. Dosis Optimum.....	36
4.3.2. Nilai Zeta Potensial.....	37
4.3.3. pH Optimum	38
4.3.4. Waktu Optimum.....	39
4.3.5. Konsentrasi Optimum.....	42
V. KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1. Kesimpulan.....	46
5.2. Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN	63

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi kimia sabut kelapa sawit.....	5
2. Perbedaan adsorpsi fisika dan kimia.....	11
3. Serapan infra merah selulosa.....	24
4. Parameter Kinetika Adsorpsi metilen biru terhadap adsorben selulosa murni, selulosa sabut, SMM, dan SSM.....	41
5. Parameter isoterm adsorpsi adsorben pada metilen biru.....	44
6. pH PZC adsorben selulosa murni, selulosa sabut, SMM, dan SSM.....	64
7. Data absorbansi larutan standar metilen biru untuk variasi dosis.....	65
8. Adsorpsi metilen biru pada adsorben selulosa murni dan selulosa sabut dengan variasi dosis.....	66
9. Adsorpsi metilen biru pada adsorben SMM dan SSM dengan variasi dosis....	66
10. Data absorbansi larutan standar metilen biru untuk variasi pH.....	67
11. Adsorpsi metilen biru pada adsorben selulosa murni dan selulosa sabut dengan variasi pH.....	68
12. Adsorpsi metilen biru pada adsorben SMM dan SSM dengan variasi pH.....	68
13. Data absorbansi metilen biru untuk variasi waktu.....	69
14. Adsorpsi metilen biru pada adsorben selulosa murni dan selulosa sabut dengan variasi waktu.....	70
15. Adsorpsi metilen biru pada adsorben SMM dan SSM dengan variasi waktu..	70
16. Data hasil perhitungan pseudo orde satu pada adsorben selulosa murni terhadap metilen biru.....	71
17. Data hasil perhitungan pseudo orde satu pada adsorben selulosa sabut terhadap metilen biru.....	73
18. Data hasil perhitungan pseudo orde satu pada adsorben SMM terhadap metilen biru.....	74

19. Data hasil perhitungan pseudo orde satu pada adsorben SSM terhadap metilen biru	75
20. Data hasil perhitungan pseudo orde dua pada adsorben selulosa murni terhadap metilen biru.....	76
21. Data hasil perhitungan pseudo orde dua pada adsorben selulosa sabut terhadap metilen biru	77
22. Data hasil perhitungan pseudo orde dua pada adsorben SMM terhadap metilen biru	78
23. Data hasil perhitungan pseudo orde dua pada adsorben SSM terhadap metilen biru	79
24. Data absorbansi larutan metilen biru untuk variasi konsentrasi.....	81
25. Adsorpsi zat warna metilen biru pada adsorben selulosa murni dan selulosa sabut dengan variasi konsentrasi	82
26. Adsorpsi zat warna metilen biru pada adsorben SMM dan SSM dengan variasi konsentrasi	82
27. Data perhitungan isoterm adsorpsi metilen biru pada adsorben selulosa murni dengan persamaan Langmuir	83
28. Data perhitungan isoterm adsorpsi metilen biru pada adsorben selulosa sabut dengan persamaan Langmuir	84
29. Data perhitungan isoterm adsorpsi metilen biru pada adsorben SMM dengan persamaan Langmuir	85
30. Data perhitungan isoterm adsorpsi metilen biru pada adsorben SSM dengan persamaan Langmuir	86
31. Data perhitungan isoterm adsorpsi metilen biru pada adsorben selulosa murni dengan persamaan Freundlich.....	87
32. Data perhitungan isoterm adsorpsi metilen biru pada adsorben selulosa sabut dengan persamaan Freundlich.....	88
33. Data perhitungan isoterm adsorpsi metilen biru pada adsorben SMM dengan persamaan Freundlich	89
34. Data perhitungan isoterm adsorpsi metilen biru pada adsorben SSM dengan persamaan Freundlich	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Sabut kelapa sawit.....	5
2. Struktur selulosa.....	6
3. Struktur dan serbuk magnetit Fe_3O_4	8
4. Struktur Metilen Biru.....	10
5. Perbedaan adsorpsi kimia dan adsorpsi fisika.....	11
6. Model isoterm adsorpsi Freundlich.....	15
7. Model isoterm adsorpsi Langmuir.....	17
8. Pola difraksi XRD Fe_3O_4	22
9. Scanning Electron Microscopy (SEM) selulosa.....	23
10. (a) Sabut kelapa sawit, (b) delignifikasi sabut kelapa sawit, (c) selulosa dari sabut kelapa sawit.....	29
11. Adsorben sebelum dimodifikasi (a) selulosa murni, (b) selulosa sabut dan adsorben sesudah dimodifikasi (c) adsorben SSM, (d) adsorben SMM.....	30
12. Hasil Karakterisasi FTIR pada adsorben (a) selulosa murni, (b) selulosa sabut, (c) SMM, dan (d) SSM.....	31
13. Hasil difaktogram pada adsorben (a) selulosa murni, (b) selulosa sabut, (c) SMM, dan (d) SSM.....	32
14. Hasil SEM dengan perbesaran 500 x pada adsorben (a) selulosa murni, (b) selulosa sabut, (c) SMM, (d) SSM.....	34
15. Hasil EDX adsorben (a) selulosa murni, (b) selulosa sabut, (c) SMM, dan (d) SSM.....	35
16. Kurva pengaruh variasi dosis pada adsorpsi metilen biru.....	36
17. Kurva nilai pH_{PZC} adsorben.....	37
18. Kurva Pengaruh pH pada adsorpsi metilen biru.....	38

19. Kurva pengaruh variasi waktu kontak pada adsorpsi metilen biru	39
20. Kurva kinetika pseudo orde satu pada adsorben	40
21. Kurva kinetika pseudo orde dua pada adsorben terhadap metilen biru	41
22. Kurva pengaruh konsentrasi pada adsorpsi metilen biru	42
23. Pola Isoterm Langmuir adsorben terhadap metilen biru	43
24. Pola isoterm Freundlich adsorben terhadap metilen biru.....	44
25. Penentuan panjang gelombang maksimum pada metilen biru.....	64
26. Kurva standar metilen biru untuk variasi dosis.....	65
27. Kurva standar metilen biru untuk variasi pH	67
28. Kurva standar metilen biru untuk variasi waktu	69
29. Pola kinetika pseudo orde satu pada adsorben selulosa murni terhadap metilen biru	72
30. Pola kinetika pseudo orde satu pada adsorben selulosa sabut terhadap metilen biru	73
31. Pola kinetika pseudo orde satu pada adsorben SMM terhadap metilen biru ..	74
32. Pola kinetika pseudo orde satu pada adsorben SSM terhadap metilen biru....	75
33. Pola kinetika pseudo orde dua pada adsorben selulosa murni terhadap metilen biru	76
34. Pola kinetika pseudo orde dua pada adsorben selulosa sabut terhadap metilen biru	77
35. Pola kinetika pseudo orde dua pada adsorben SMM terhadap metilen biru ...	78
36. Pola kinetika pseudo orde dua pada adsorben SSM terhadap metilen biru	80
37. Kurva standar metilen biru pada variasi konsentrasi	81
38. Pola isoterm Langmuir adsorpsi metilen biru pada adsorben selulosa murni.	83
39. Pola isoterm Langmuir adsorpsi metilen biru pada adsorben selulosa sabut..	84
40. Pola isoterm Langmuir adsorpsi metilen biru pada adsorben SMM.....	85
41. Pola isoterm Langmuir adsorpsi metilen biru pada adsorben SSM.....	86
42. Pola isoterm Freundlich adsorpsi metilen biru pada adsorben selulosa murni	87

43. Pola isoterm Freundlich adsorpsi metilen biru pada adsorben selulosa sabut	89
44. Pola isoterm Freundlich adsorpsi metilen biru pada adsorben SMM	90
45. Pola isoterm Freundlich adsorpsi metilen biru pada adsorben SSM	91
46. Adsorpsi metilen biru dengan variasi dosis pada adsorben (a) selulosa murni, (b) selulosa sabut, (c) SMM, dan (d) SSM	92
47. Adsorpsi metilen biru dengan variasi pH pada adsorben (a) selulosa murni, (b) selulosa sabut, (c) SMM, dan (d) SSM	92
48. Adsorpsi metilen biru dengan variasi waktu pada adsorben (a) selulosa murni, (b) selulosa sabut, (c) SMM, dan (d) SSM	93
49. Adsorpsi metilen biru dengan variasi konsentrasi pada adsorben (a) selulosa murni, (b) selulosa sabut, (c) SMM, dan (d) SSM	93

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan sektor industri memberikan dampak yang signifikan terhadap peningkatan penggunaan zat warna. Banyak industri seperti tekstil, plastik, kosmetik, dan sebagainya menggunakan zat warna dalam proses produksinya. Diperkirakan sekitar 10.000 jenis pewarna tersedia secara komersial dan lebih dari 7×10^5 ton zat warna dihasilkan setiap tahun (Selvam *et al.*, 2003). Penggunaan zat warna dalam industri dapat menimbulkan permasalahan lingkungan akibat limbah yang dihasilkan. Limbah zat warna yang langsung dibuang ke lingkungan dapat memberikan dampak buruk terhadap ekosistem perairan dan kehidupan manusia. Lingkungan perairan yang tercemar limbah tersebut menjadi keruh sehingga menghambat penetrasi sinar matahari ke dalam air. Berdasarkan data dari lingkungan hidup, banyak ditemukan kasus penyakit kulit disekitar lingkungan yang terdapat limbah tekstil (Irvan, 2004). Bila zat warna yang bersifat karsinogenik tersebut masuk ke dalam tubuh manusia maka dapat menyebabkan tumbuhnya kanker. Selain itu, struktur aromatik pada zat warna sulit mengalami biodegradasi sehingga limbah zat warna sukar diuraikan pada kondisi aerob (Franck, 1995).

Pada industri tekstil, dikenal 3 jenis zat warna, yaitu anionik (asam dan reaktif) seperti coomassie brilliant blue, kationik (dasar) seperti metilen biru, dan non-ionik (dispersi) seperti fenol (Sharma, 2011). Berbagai metode pengolahan limbah zat warna seperti metilen biru telah banyak dikembangkan antara lain adalah pemisahan menggunakan membran, oksidasi, koagulasi, degradasi, penukar ion, dan adsorpsi. Metode adsorpsi dianggap sebagai metode yang paling menguntungkan karena prosesnya sederhana, memiliki efektifitas dan kapasitas adsorpsi tinggi, selektif, biaya operasional rendah, dan tidak memberikan efek samping berupa zat beracun (Volesky and Naja, 2005). Metode adsorpsi

merupakan metode paling tepat dikarenakan bersifat sederhana, tidak menghasilkan limbah beracun, reversibel, tidak membutuhkan biaya yang tinggi dikarenakan adsorbennya dapat digunakan kembali, serta tidak menimbulkan produk samping yang berbahaya bagi lingkungan (Buhani *et al.*, 2015; Buhani *et al.*, 2019). Selain itu, anion yang telah teradsorpsi dapat didesorpsi kembali (Xie *et al.*, 2015). Adsorben yang efektif untuk adsorpsi adalah adsorben yang ramah lingkungan, dapat digunakan kembali, memiliki kapasitas adsorpsi yang besar, kecepatan, dan stabilitas kimiawi (Buhani *et al.*, 2020).

Saat ini telah dikembangkan adsorben yang berasal dari limbah pertanian dan perkebunan kelapa sawit (Buhani *et al.*, 2019). Salah satu limbah dari pohon kelapa sawit adalah sabut kelapa sawit. Limbah kelapa sawit adalah sisa-sisa hasil tanaman kelapa sawit yang tidak termasuk dalam produk utama atau merupakan hasil ikutan dari proses pengolahan kelapa sawit baik berupa limbah padat maupun limbah cair. Limbah padat kelapa sawit mengandung 57,9% selulosa, 18% lignin, dan 14,94% hemiselulosa. Sabut kelapa sawit juga mengandung *nutrient*, fosfor (P), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan karbon (C) (Alfius, 2011). Sabut kelapa sawit merupakan bahan yang selama ini dikenal kurang bermanfaat. Karena itulah sabut kelapa sawit dapat ditingkatkan nilai gunanya dengan dimanfaatkan untuk diolah menjadi adsorben zat warna. Salah satu bahan yang terkandung dalam sabut kelapa sawit adalah selulosa. Oleh karena itu pada penelitian yang akan dilakukan selulosa digunakan sebagai adsorben.

Untuk lebih meningkatkan kemampuan selulosa dalam penerapannya sebagai adsorben maka dilakukan modifikasi dengan pelapisan partikel magnetit (Fe_3O_4). Teknik ini merupakan metode yang cukup baik untuk mengatasi adanya gumpalan padatan tersuspensi (*flocculant*) dalam limbah industri yang diolah (Peng *et al.*, 2010; Jeon, 2011; Lin *et al.*, 2011; Buhani *et al.*, 2017). Partikel magnetit dapat menghalangi gaya tarik-menarik magnetit dipolar antar partikel, sehingga terbentuk partikel yang mudah terdispersi dalam media cair dan terlindungi dari kerusakan suasana asam (Pankhurst, 2003). Sifat magnetit juga bermanfaat karena ketika limbah dikembalikan ke dalam lingkungan, tidak menghasilkan zat yang menyebabkan kontaminasi (Chang and Chen, 2005; Buhani *et al.*, 2013). Teknik

pelapisan selulosa-magnetit digunakan agar adsorben memiliki kapasitas dan selektivitas yang besar terhadap adsorbat yang teradsorpsi serta dapat memisahkan adsorbat dengan cepat (Peng *et al.*, 2010).

Berdasarkan uraian di atas, maka pada penelitian ini telah dilakukan modifikasi selulosa dari sabut kelapa sawit menjadi selulosa-magnetit sebagai adsorben zat warna metilen biru. Setelah itu, selulosa hasil modifikasi tersebut dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi permukaan adsorben dan komposisi yang terkandung, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui tingkat kristalinitas selulosa termodifikasi, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi, dan Spektrofotometer UV – *Visible* (UV-Vis) untuk mengetahui kapasitas adsorpsi dari selulosa sabut kelapa sawit termodifikasi.

1.2. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dipaparkan di atas, penelitian ini dilakukan dengan tujuan :

1. Memodifikasi dan mengkarakterisasi selulosa dari sabut kelapa sawit dengan teknik pelapisan magnetit.
2. Mengetahui kemampuan adsorpsi selulosa dari sabut kelapa sawit termodifikasi dalam menyerap zat warna metilen biru.
3. Menentukan model kinetika dan isoterm adsorpsi metilen biru oleh adsorben selulosa dari sabut kelapa sawit termodifikasi.

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu untuk memberikan informasi mengenai proses, hasil modifikasi, dan karakteristik dari adsorben selulosa yang berasal dari sabut kelapa sawit dengan magnetit terhadap adsorpsi zat warna untuk mengatasi permasalahan lingkungan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kelapa Sawit

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis Guineensis Jacq*) berasal dari Nigeria, Afrika Barat, namun ada yang menyatakan bahwa kelapa sawit berasal dari Amerika Selatan, yakni Brazil karena lebih banyak ditemukan spesies kelapa sawit di hutan Brazil dibandingkan dengan Afrika. Kelapa sawit pertama kali diperkenalkan di Indonesia oleh Pemerintah Kolonial Belanda pada tahun 1848. Ketika itu hanya ada empat batang bibit kelapa sawit yang dibawa dari Reunion atau Mauritius dan Hortus Botanicus Amsterdam yang ditanam di Kebun Raya Bogor (Siringoringo dkk., 2022). Tanaman kelapa sawit memiliki klasifikasi sebagai berikut (Pahan, 2008).

Divisi : Embryophita Siphonagama
Kelas : Angiospermae
Ordo : Monocotyledonae
Famili : Arecaceae
Subfamily : Cocoideae
Genus : Elaesis
Species : *E.guineensis Jacq*, *E. Oleife*, dan *E.odora*

Kelapa sawit menjadi populer setelah revolusi industri pada akhir abad ke-19 yang menyebabkan tingginya permintaan minyak nabati untuk bahan pangan dan industri sabun. Kelapa sawit adalah tumbuhan industri atau perkebunan yang berguna sebagai penghasil minyak masak, minyak industri, maupun bahan bakar (Suriani, 2019).

Kelapa sawit merupakan komoditi andalan Indonesia yang perkembangannya demikian pesat. Lahan yang optimal untuk kelapa sawit harus mengacu pada tiga faktor yaitu lingkungan, sifat fisik lahan dan sifat kimia tanah atau kesuburan

tanah. Tanaman kelapa sawit di perkebunan komersial dapat tumbuh dengan baik pada kisaran suhu 24-28°C. Untuk memperoleh hasil maksimal dalam budidaya kelapa sawit perlu memperhatikan sifat fisik dan kimia tanah dipengolahan kelapa sawit baik berupa limbah padat maupun limbah cair. Limbah padat kelapa sawit dapat berupa tandan kosong, cangkang, dan fiber (sabut). Satu ton limbah kelapa sawit akan mampu menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit sebanyak 23% atau 230 kg, limbah cangkang (*shell*) sebanyak 6,5% atau 65 kg, *wet decanter solid* (lumpur sawit) 4 % atau 40 kg, sabut (fiber) 13% atau 130 kg serta limbah cair sebanyak 50% (Mandiri, 2012). Sabut kelapa sawit mengandung *nutrient*, fosfor (P), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan karbon (C), sehingga limbah ini dapat menjadi sumber pertumbuhan bakteri, dimana bakteri dapat juga digunakan dalam proses pengolahan limbah (Haryanti dkk., 2014). Sabut kelapa sawit ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sabut kelapa sawit (Richana dkk., 2004).

Komposisi kimia yang terkandung dalam sabut kelapa sawit disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia sabut kelapa sawit (Sunarti dkk., 2022).

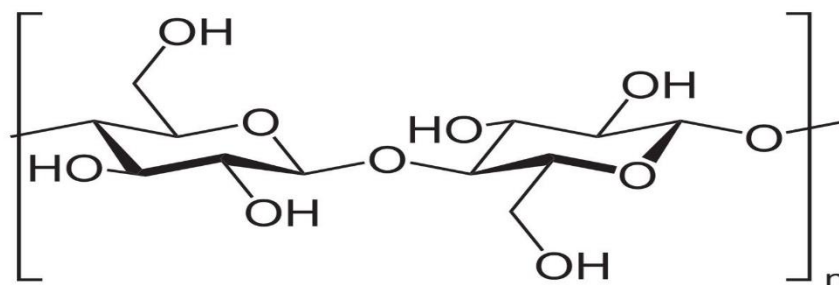
Komponen Penyusun	Presentase (%)
Selulosa	57,9%
Lignin	18%
Hemiselulosa	14,94%

2.2. Selulosa

Selulosa merupakan suatu polisakarida yang mempunyai formula umum seperti pati ($C_6H_{10}O_5$)_n. Sebagian besar selulosa terdapat pada dinding sel dan bagian-bagian berkayu dari tumbuhan-tumbuhan. Selulosa merupakan substansi yang tidak larut dalam air yang terdapat di dalam dinding sel tanaman terutama dari

bagian batang, tangkai dan semua bagian yang mengandung kayu. Selulosa merupakan homopolisakarid yang mempunyai molekul berbentuk linear. Struktur yang linier menyebabkan selulosa bersifat kristalin dan tidak mudah larut. Selulosa tidak mudah didegradasi secara kimia maupun mekanis. Di alam, biasanya selulosa berasosiasi dengan polisakarida lain seperti hemiselulosa atau lignin membentuk kerangka utama dinding sel tumbuhan. Selulosa memiliki peran dalam memberi kekuatan pada serat itu sendiri, dan juga tidak mudah terdegradasi secara kimia maupun mekanis.

Selulosa merupakan salah satu komponen yang paling banyak terdapat dalam kelapa sawit (Pradana *et al.*, 2017). Senyawa selulosa menjadi komponen utama dari dinding sel tanaman, di mana jenis senyawa ini banyak digunakan sebagai bahan utama dalam industri kimia seperti makanan, farmasi dan medis, surfaktan, pengemulsi, herbisida, serta berbagai produk hasil modifikasi kimia lainnya (Mohtar *et al.*, 2017). Selain itu, salah satu pemanfaatan selulosa dari sabut kelapa sawit adalah sebagai adsorben. Selulosa dapat menjadi adsorben alami, di mana adsorben yang berbasis alami lebih mudah didapatkan dan cepat terurai dibandingkan dengan adsorben sintesis (Dewanti *et al.*, 2019). Menurut Wang *et al.* (2017), selulosa memiliki permukaan yang luas dan mudah dimodifikasi secara kimia serta memiliki kemampuan absorpsi yang sangat baik sehingga cocok untuk dijadikan sebagai adsorben. Selulosa yang terkandung di dalam sabut kelapa sawit berasosiasi dengan senyawa lain seperti lignin dan hemiselulosa, di mana untuk memperoleh selulosa murni perlu melalui proses pemurnian dengan NaOH dan pemutihan dengan H₂O₂. Struktur selulosa dapat dilihat pada Gambar 2.

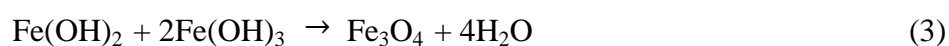


Gambar 2. Struktur selulosa (Zulnazri dkk., 2022).

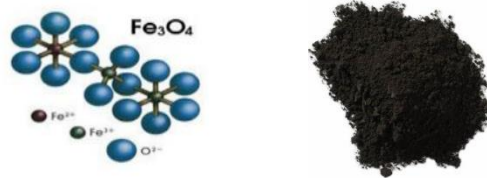
2.3. Magnetit

Magnetit (Fe_3O_4) memiliki struktur kristal yang unik diantara semua jenis oksida besi dengan adanya kation besi dengan dua keadaan valensi yaitu Fe^{2+} dan Fe^{3+} di situs tetrahedral dan oktahedral dan memiliki struktur spinel gugus terbalik (Rahmayanti dkk., 2016). Magnetit juga bersifat paramagnetik sehingga banyak digunakan dalam ekstraksi fasa padat. Magnetit dapat disintesis menggunakan beberapa metode, tetapi yang paling umum digunakan adalah metode kopresipitasi konvensional. Beberapa tahun terakhir, metode kopresipitasi banyak digunakan karena merupakan metode yang mudah dan efektif untuk mensintesis nanopartikel magnetit dengan rendemen yang tinggi. Metode kopresipitasi bergantung pada pengendapan dan reduksi besi (III) oksihidroksida, ($\text{FeO}\cdot\text{OH}$), dan besi (II) hidroksida, $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Proses pengendapan ini dipengaruhi oleh kondisi keasaman dan perbandingan mol $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ yang digunakan (Rahmayanti, 2020). Magnetit telah banyak dikembangkan sebagai adsorben logam (Petrova dkk., 2011; Jingjing dkk., 2011), namun beberapa tahun terakhir, magnetit banyak dimodifikasi dengan bahan anorganik maupun organik untuk menghasilkan material yang bersifat magnet.

Tujuan modifikasi menggunakan magnetit adalah untuk menghasilkan material yang memiliki sifat kemagnetan yang tinggi, sehingga dapat digunakan untuk metode ekstraksi fasa padat menggunakan medan magnet eksternal dalam proses aplikasinya (Putri and Rahmayanti, 2020). Selain itu modifikasi menggunakan senyawa magnetit juga bertujuan untuk menghasilkan material dengan ukuran partikel yang lebih kecil. Teknik pelapisan material dengan partikel magnetit merupakan teknik yang ramah lingkungan, karena tidak membentuk produk yang mengandung kontaminasi seperti padatan tersuspensi, selain itu mempercepat proses pemisahan senyawa dari larutan karena adsorben bersifat magnet (Buhani *et al.*, 2017). Reaksi pembentukan magnetit tersebut dapat ditunjukkan pada Persamaan 1, 2, dan 3 (Petchareon and Sirivat, 2012).



Modifikasi selulosa dengan magnetit menghasilkan selulosa dengan luas permukaan spesifik, porositas tinggi superparamagnetik sehingga dapat dipisahkan dengan magnet luar (Lestari dkk., 2021). Struktur dan serbuk magnetit Fe_3O_4 dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur dan serbuk magnetit Fe_3O_4 (Lestari dkk., 2021).

2.4. Zat Warna

Zat warna banyak digunakan pada industri tekstil sebagai salah satu aset dalam negara. Namun, banyak dari zat warna tersebut yang berujung menjadi limbah. Sebanyak 100.000 zat warna yang terdapat secara komersial dengan lebih dari 7×10^5 ton warna diproduksi setiap tahun (Robinson *et al.*, 2001). Secara umum, zat warna yang diproduksi mengandung gugus azo yang memiliki dua atom nitrogen dengan ikatan azo ($\text{N}=\text{N}-$) dan tersubstitusi dengan gugus penstabil azo. Limbah zat pewarna dapat menyebabkan masalah berupa efek akut atau kronis pada organisme yang terpapar dengan konsentrasi melebihi ambang batas, serta menghambat fotosintesis pada tumbuhan air dikarenakan zat warna menyerap dan memantulkan cahaya matahari yang masuk ke dalam air sehingga dapat mengganggu pertumbuhan (Allen *et al.*, 2004).

Zat warna yang lebih banyak menjadi polutan organik adalah zat warna sintetis bila dibandingkan dari zat warna alami. Zat warna sintetis banyak digunakan secara luas di berbagai dunia industri, seperti industri kertas, tekstil, dan percetakan. Zat pewarna biasanya memiliki asal sintetis dan struktur molekul aromatik kompleks yang membuatnya lebih stabil dan lebih sulit untuk terurai. Zat warna diklasifikasikan menjadi zat warna kationik, anionik, dan non-ionik. Zat warna kationik biasanya digunakan sebagai pewarna dasar, dan zat warna non-ionik digunakan sebagai pewarna dispersi (Fu and Viraraghavan, 2001). Pada zat

warna anionik biasanya digunakan dalam pewarna langsung, asam, dan reaktif. Senyawa yang terkandung di dalam zat warna anionik dan non-ionik sebagian besar merupakan senyawa azo atau jenis antrakuinon. Senyawa azo dapat membentuk amina beracun dalam limbah, sedangkan antrakuinon lebih sulit didegradasi karena memiliki struktur aromatik sehingga berwarna untuk waktu yang lebih lama dalam air limbah (Aksu, 2005).

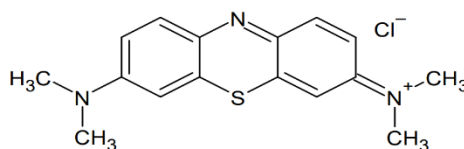
2.6. Metilen Biru

Salah satu zat warna yang memiliki kelarutan yang baik adalah Metilen Biru (MB) sehingga banyak digunakan secara komersial di dunia industri. Metilen biru adalah pewarna anilin dasar dengan rumus molekul $C_{16}H_{18}N_3SCl$. Zat warna metilen biru dapat menyebabkan efek buruk pada mikroorganisme, hewan, dan manusia serta meningkatkan pencemaran lingkungan. Efek buruk tersebut disebabkan karena zat warna metilen biru memiliki sifat aromatik dengan struktur yang kompleks dan sulit terdegradasi. Oleh karena itu, penting untuk mengontrol pembuangan zat warna MB ke dalam air limbah sebelum dilepaskan ke lingkungan secara efektif (Buhani *et al.*, 2019; Buhani *et al.*, 2023). Limbah metilen biru memiliki warna yang cerah dan baik, namun dapat menghambat penetrasi cahaya dan dapat mengganggu ekosistem perairan. Metilen biru memiliki berbagai aplikasi dalam bidang biologi, ilmu kedokteran, kimia, dan industri pencelupan (Khuluk *et al.*, 2019). Namun paparan jangka Panjang dari metilen biru dapat menyebabkan efek berupa mual, muntah, hipertensi, dan anemia (Foo and Hameed, 2012).

MB merupakan salah satu zat warna yang memiliki kelarutan yang baik dan umumnya digunakan secara luas dalam industri di seluruh dunia. Sebagai pewarna anilin dasar, MB memiliki rumus molekul $C_{16}H_{18}N_3SCl$. Penggunaan zat warna ini dapat menimbulkan dampak negatif bagi mikroorganisme, hewan, dan manusia, serta dapat meningkatkan tingkat pencemaran lingkungan. Dampak tersebut terkait dengan sifat aromatik dan struktur kompleks dari zat warna MB yang sulit terurai. Oleh karena itu, pengendalian pembuangan limbah MB ke dalam air

limbah sebelum mencapai lingkungan menjadi hal yang penting untuk dilakukan secara efektif (Buhani *et al.*, 2019; Buhani *et al.*, 2022).

Limbah yang mengandung metilen biru cenderung memiliki warna cerah yang baik, namun dapat menghambat penetrasi cahaya dan mengganggu keseimbangan ekosistem perairan. Metilen biru memiliki beragam aplikasi di berbagai bidang seperti biologi, kedokteran, kimia, dan industri pencelupan (Khuluk *et al.*, 2019). Meskipun memiliki manfaat dalam aplikasinya, paparan jangka panjang terhadap metilen biru dapat menyebabkan berbagai efek samping seperti mual, muntah, hipertensi, dan anemia (Foo and Hameed, 2012). Zat pewarna metilen biru termasuk salah satu zat pewarna kationik dengan struktur kimia yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur Metilen Biru (Hegyesi *et al.*, 2017).

2.7. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa menempelnya atom atau molekul suatu zat pada permukaan zat lain karena ketidakseimbangan gaya pada permukaan. Zat yang teradsorpsi disebut adsorbat dan zat pengadsorpsi disebut adsorben. Ada dua metode adsorpsi yaitu adsorpsi secara fisika (*physiosorption*) dan adsorpsi secara kimia (*chemisorption*) (Ramadhani, 2013).

a. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi fisika adalah proses interaksi antara adsorben dengan adsorbat yang melibatkan gaya-gaya antar molekul seperti gaya Van der Waals yang molekul teradsorpsinya tidak terikat kuat pada adsorben sehingga mengakibatkan terjadinya proses balik yang cepat (*reversible*) sehingga mudah untuk digantikan dengan molekul lain (Atkins, 1999). Proses adsorpsi fisika tidak memerlukan energi aktivasi. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisika dapat

terputus dengan mudah jika dipanaskan pada temperatur sekitar 150- 200°C selama 2-3 jam (Murti, 2008).

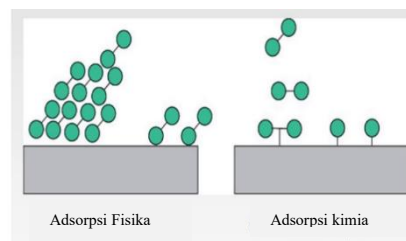
b. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia adalah proses penyerapan yang terjadi akibat terbentuknya ikatan kovalen dan ion antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben. Ikatan yang terbentuk merupakan ikatan kovalen yang kuat sehingga lapisan yang terbentuk merupakan lapisan monolayer yang sangat sulit untuk dilepaskan kembali (*irreversible*) (Prabowo, 2009). Perbedaan adsorpsi fisika dan kimia dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbedaan adsorpsi fisika dan kimia (Atkins, 1999).

No.	Adsorpsi fisika (Fisisorpsi)	Adsorpsi Kimia (Kemosorpsi)
1.	Molekul terikat pada adsorben oleh gaya Van der Waals	Molekul terikat pada adsorben oleh ikatan kimia
2.	Mempunyai entalpi reaksi -4 sampai -40 kJ/mol	Mempunyai entalpi reaksi -40 sampai 800 kJ/mol
3.	Dapat membentuk lapisan multilayer	Membentuk lapisan monolayer
4.	Adsorpsi hanya terjadi pada suhu di bawah titik didih adsorbat	Adsorpsi terjadi pada suhu tinggi
5.	Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan fungsi adsorbat	Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan karakteristik adsorben dan adsorbat
6.	Tidak melibatkan energi aktivasi tertentu	Melibatkan energi aktivasi tertentu

Perbedaan adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbedaan adsorpsi kimia dan adsorpsi fisika (Fei *et al.*, 2016).

Adsorpsi merupakan salah satu teknik yang efektif jika dibandingkan dengan teknik koagulasi, pengendapan kimia, dan ekstraksi (Issabayeva *et al.*, 2010). Adsorpsi memiliki keunggulan berupa biayanya yang relatif murah, prosesnya lebih sederhana, ramah lingkungan, dan tidak adanya efek samping zat beracun (Zulaicha *et al.*, 2021), sedangkan metode yang lainnya kurang efisien karena rumit dan mahal serta dapat menghasilkan produk lain yang beracun (Qiao *et al.*, 2012). Proses adsorpsi merupakan salah satu teknik pengolahan limbah yang diharapkan dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi senyawa organik yang berlebihan (Buhani *et al.*, 2018). Keberhasilan proses adsorpsi suatu zat tergantung pada jenis adsorben yang digunakan. Pemilihan adsorben akan menentukan parameter selektivitas dan kapasitas adsorpsi terhadap zat tersebut. Penggunaan bahan-bahan seperti lignoselulosa alami sebagai adsorben sangat baik untuk mengikat senyawa yang terkandung dalam larutan limbah melalui langkah-langkah metabolisme atau kimia-fisika (Murtono and Iriany, 2017). Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi suatu bahan yaitu (Yahya, 2018) :

- a. Karakteristik fisik dan kimia adsorben, antara lain luas permukaan, ukuran pori, adsorpsi kimia, dan sebagainya.
- b. Karakteristik kimia adsorbat, antara lain ukuran molekul, polaritas molekul, komposisi kimia, dan sebagainya.
- c. Konsentrasi adsorbat dalam larutan.
- d. Karakteristik larutan, antara lain pH dan temperatur.
- e. Lama waktu adsorpsi.

2.9. Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi menyatakan adanya proses penyerapan suatu zat oleh adsorben dalam fungsi waktu. Karakteristik kemampuan penyerapan adsorben terhadap adsorbat dapat dilihat dari laju adsorpsinya. Laju adsorpsi dapat diketahui dari konstanta laju adsorpsi (k) dan orde reaksi yang dihasilkan dari suatu model kinetika adsorpsi (Hafiyah, 2013).

Untuk meneliti mekanisme adsorpsi, konstanta kecepatan reaksi adsorpsi kimia untuk ion-ion logam, digunakan persamaan sistem pseudo orde pertama oleh Lagergren dan mekanisme pseudo order kedua (Buhani dkk., 2010).

Lagergren memperkenalkan persamaan untuk adsorpsi cair-padat berdasarkan kapasitas padatan untuk pertama kalinya pada tahun 1898. Model kinetika pseudo-orde-satu diturunkan berdasarkan persamaan laju reaksi Lagergren. Persamaan pseudo order pertama dapat dilihat pada Persamaan 4 (Ho, 2004).

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \quad (4)$$

Dimana :

q_t = Jumlah ion yang teradsorpsi pada waktu tertentu (mg/g)

q_e = Jumlah ion yang teradsorpsi pada keadaan setimbang (mg/g)

k_1 = Konstanta laju pseudo orde pertama Lagergren (min^{-1})

Model kinetika pseudo-orde-kedua mengasumsikan bahwa kapasitas adsorpsi proporsional terhadap jumlah situs aktif pada adsorben yang ditunjukkan pada Persamaan 5 Ho (1995).

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (5)$$

Dimana k_2 (g/mg min) adalah konstanta laju model pseudo-orde-kedua.

2.10. Isoterm Adsorpsi

Adsorpsi pada umumnya dikaitkan dengan isoterm adsorpsi. Secara umum isoterm adsorpsi diartikan sebagai fungsi konsentrasi zat terlarut yang terjerap pada padatan terhadap konsentrasi larutan. Tipe isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi. Isoterm adsorpsi juga merupakan suatu langkah yang penting untuk evaluasi teoritis dan interpretasi parameter termodinamika, seperti panas adsorpsi. Sebuah isoterm mungkin cocok dengan data eksperimen secara akurat di bawah satu set kondisi tetapi gagal sepenuhnya di bawah yang lain. Tidak ada model tunggal yang dapat diterapkan secara umum, sebuah fakta yang dapat dengan mudah dipahami berdasarkan asumsi yang terkait

dengan turunannya masing-masing. Deskripsi matematis yang akurat tentang kapasitas adsorpsi kesetimbangan, bahkan jika empiris, sangat diperlukan untuk pemodelan prediktif yang andal dari sistem adsorpsi dan perbandingan kuantitatif perilaku adsorpsi untuk sistem adsorben yang berbeda atau untuk kondisi bervariasi dalam sistem tertentu (Allen *et al.*, 2004). Tipe isoterm adsorpsi yang biasa digunakan yaitu Langmuir, Freundlich, dan isoterm Brunnaeur-Emmet-Teller (BET). Pada umumnya, adsorpsi fase cair-padat mengikuti jenis isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir (Buhani *et al.*, 2012; Buhani *et al.*, 2013; Buhani *et al.*, 2017; Buhani *et al.*, 2018).

2.10.1 Isoterm Adsorpsi Freundlich

Model isoterm Freundlich menjelaskan bahwa proses adsorpsi pada bagian permukaan adalah heterogen dimana tidak semua permukaan adsorben mempunyai daya adsorpsi. Model isoterm Freundlich menunjukkan lapisan adsorbat yang terbentuk pada permukaan adsorben adalah multilayer. Hal tersebut berkaitan dengan ciri-ciri dari adsorpsi secara fisika dimana adsorpsi dapat terjadi pada banyak lapisan (multilayer) (Husin dan Rosnelly, 2005).

Pendekatan isoterm adsorpsi yang umum digunakan dijelaskan oleh Freundlich, jika x adalah berat zat terlarut per gram adsorben dan c adalah konsentrasi zat terlarut dalam larutan, maka konsep tersebut dapat diturunkan pada Persamaan 6 dan 7.

$$\frac{x_m}{m} = k.C^{1/n} \quad (6)$$

$$\log \frac{x_m}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log C \quad (7)$$

Keterangan:

X_m = Berat zat yang diadsorpsi

m = Berat adsorben

C = Konsentrasi zat

k dan n adalah konstanta adsorpsi yang nilainya bergantung pada jenis adsorben dan suhu adsorpsi. Bila dibuat kurva $\log x/m$ terhadap $\log C$ akan diperoleh persamaan linear dengan intersep $\log k$ dan kemiringan $1/n$, sehingga nilai k dan n dapat dihitung (Handayani dan Sulistyono, 2009).

Isoterm Freundlich berlaku untuk proses adsorpsi pada permukaan yang heterogen. Isoterm ini memberikan ekspresi yang mendefinisikan heterogenitas permukaan dan distribusi eksponensial dari situs aktif dan energinya. Bentuk linier dari isoterm Freundlich ditunjukkan pada Persamaan 8.

$$\text{Log } q_e = \log q_e + \frac{1}{n} \log C_e \quad (8)$$

Dimana:

q_e = Jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben (mg/g)

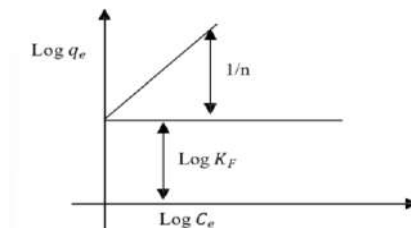
k_F = Faktor kapasitas Freundlich (mg/g)(L/mg)^{1/n}

C_e = Konsentrasi setimbang adsorbat dalam fase larutan (mg/L)

n = Faktor intensitas Freundlich (mol/g)

(Buhani *et al.*, 2012; Kausar *et al.*, 2020; Firmanto dkk., 2021).

Model isoterm adsorpsi Freundlich dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Model isoterm adsorpsi Freundlich (Husin dan Rosnelly, 2005).

Selain itu, untuk menentukan jumlah adsorbat yang teradsorpsi, rasio distribusi, dan koefisien selektivitas pada proses adsorpsi terhadap adsorben karbon maka dapat digunakan Persamaan 9 dan 10.

$$Q = (C_0 - C_e) V/W \quad (9)$$

$$D = Q/C_a \quad (10)$$

Dimana:

- Q = Jumlah adsorbat teradsorpsi (mg/g)
 Co = Konsentrasi awal adsorbat sebelum teradsorpsi (mg/L)
 Ce = Konsentrasi adsorbat setelah teradsorpsi (mg/L)
 W = Massa adsorben (g)
 V = Volume larutan adsorbat (L)
 D = Rasio Distribusi (L/g)

(Buhani, *et al.*, 2019; Buhani dan Suharso, 2010; Buhani, *et al.*, 2019).

2.10.2. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Teori Langmuir menjelaskan bahwa pada permukaan adsorben terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan. Setiap situs aktif hanya satu molekul yang dapat diadsorpsi. Ikatan antara zat yang teradsorpsi dengan adsorben dapat terjadi secara fisika atau secara kimia. Ikatan tersebut harus cukup kuat untuk mencegah perpindahan molekul yang telah teradsorpsi sepanjang permukaan adsorben (Oscik, 1982).

Secara teoritis persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dapat diturunkan dengan menganggap terjadinya kesetimbangan antara molekul-molekul zat yang diadsorpsi pada permukaan adsorben dengan molekul-molekul zat yang tidak teradsorpsi yang ditunjukkan pada Persamaan 11 dan 12.

$$Q = \frac{b \cdot K \cdot C_e}{1 + K \cdot C_e} \quad (11)$$

Sehingga menjadi

$$\frac{C_e}{Q} = \frac{1}{Kb} + \frac{1}{b} C_e \quad (12)$$

Keterangan

Ce = Konsentrasi kesetimbangan adsorbat dalam larutan setelah adsorpsi (mg/L)

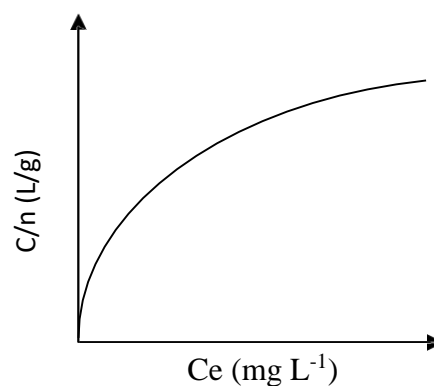
Q = Jumlah adsorbat teradsorpsi per bobot adsorben (mg/g)

K = Konstanta kesetimbangan adsorpsi (L/mg)

B = Kapasitas adsorpsi maksimum dari adsorben (mg/g)

(Wijayanti and Kurniawati, 2019).

Teori isoterm Langmuir juga menyatakan bahwa laju adsorpsi akan bergantung pada faktor ukuran dan struktur molekul adsorbat, sifat pelarut dan porositas adsorben, situs pada permukaan yang homogen, dan adsorpsi yang terjadi yaitu monolayer (Buhani *et al.*, 2017). Grafik isoterm adsorpsi Langmuir dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Model isoterm adsorpsi Langmuir (Husin dan Rosnelly, 2005).

2.11. Penentuan Nilai Zeta Potensial

Zeta potensial merupakan nilai potensial elektrostatik pada bidang geser imajiner yaitu permukaan tempat partikel berinteraksi satu sama lain atau dengan permukaan lain. Pengukuran zeta potensial dapat memberikan informasi berharga terkait perilaku dan toksisitas bahan nano dalam sistem lingkungan dan biologis. Besarnya nilai zeta potensial digunakan sebagai stabilitas suatu dispersi terhadap agregasi atau deposisi, apabila nilai zeta potensial di atas ± 30 mV maka dianggap cukup stabil karena tolakan elektrostatiknya cukup besar untuk mencegah agregasi (Lowry *et al.*, 2016). Tingkat tolak menolak dan agregasi antara partikel yang disebabkan muatan partikel yang sama dan saling berdekatan dapat ditunjukkan oleh nilai zeta potensial. Nilai zeta potensial yang tinggi akan memberikan stabilitas larutan untuk menolak agregasi. Nilai zeta potensial yang

baik menunjukkan kekuatan partikel untuk saling tolak menolak semakin kuat sehingga menghasilkan dispersi sediaan yang stabil (lebih dari +30 mV atau kurang dari -30 mV). Sedangkan nilai zeta potensial yang tidak baik menunjukkan kekuatan partikel untuk tolak menolak semakin lemah sehingga partikel mengalami kecenderungan agregasi dan menyebabkan dispersi sediaan yang kurang stabil (Prasetiowati *et al.*, 2018).

Menurut Ai *et al.* (2011), penentuan nilai zeta potensial dapat dilakukan melalui Persamaan 13.

$$\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{awal}} - \text{pH}_{\text{akhir}} \quad (13)$$

2.12. Karakterisasi

Karakterisasi digunakan untuk mengetahui komposisi, ikatan kimia, bidang kristal, kualitas sampel, atau jenis senyawa dari suatu sampel pada proses penelitian. Alat karakterisasi memiliki prinsip dasar yang sama, yaitu spesimen yang ditembak dengan *probe/source* sehingga menghasilkan signal atau gambaran yang kemudian dikumpulkan untuk dilakukan interpretasi agar diperoleh informasi penting. Beberapa contoh alat untuk karakterisasi yang sering digunakan sebagai berikut.

2.12.1. Spektrofotometer UV-Vis

Pengukuran absorbansi atau transmittan dalam spektrofotometer ultra violet dan sinar tampak digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif spesi kimia. Penyerapan ultra violet dan sinar tampak oleh suatu molekul dapat menyebabkan terjadinya eksitasi molekul tersebut dari tingkat dasar (*ground stated*) ke tingkat energi yang lebih tinggi (*excited stated*). Penyerapan ultra violet dan sinar tampak oleh suatu molekul umumnya menghasilkan eksitasi elektron ikatan, akibatnya panjang gelombang serapan maksimum dapat dikorelasikan dengan jenis ikatan yang ada dalam molekul yang sedang diamati. Berdasarkan hal tersebut, maka analisis kualitatif dari UV-Vis dapat digunakan untuk mengidentifikasi gugus

fungsi yang ada dalam suatu molekul, namun spektrofotometer UV-Vis lebih umum digunakan secara kuantitatif untuk menentukan konsentrasi suatu larutan.

Spektrum sinar UV terentang pada panjang gelombang 100 - 400 nm, sedangkan untuk spektrum tampak (visible) pada panjang gelombang 400 nm (ungu) hingga 800 nm (merah). Serapan cahaya oleh molekul dalam daerah spektrum UV dan Vis tergantung pada struktur elektronik dari molekul. Serapan UV dan Vis dari senyawa-senyawa organik berkaitan erat dengan transisi-transisi diantara energi elektronik. Transisi-transisi tersebut biasanya terjadi antara orbital ikatan atau orbital pasangan elektron bebas dan orbital non ikatan tak jenuh atau orbital anti ikatan. Panjang gelombang serapan merupakan ukuran dari pemisahan tingkat energi orbital yang bersangkutan. Spektrum UV dan Vis berupa gambar hubungan antara panjang gelombang atau frekuensi serapan dengan intensitas serapan (transmitansi atau absorbansi) (Sastrohamidjojo, 2001).

Spektrofotometer UV-Vis adalah instrumen yang bekerja berdasarkan prinsip kolorimetri yaitu metode yang menyatakan intensitas warna larutan yang bergantung pada konsentrasi komponennya. Konsentrasi ditetapkan dengan cara mengukur banyaknya cahaya yang diserap (absorpsi) oleh larutan yang diukur. Absorbansi sampel tergantung pada konsentrasi larutan (c dalam mg L^{-1}), panjang sel pada sampel (b dalam cm), dan karakteristik konstanta fisika dari sampel yang menyerap (absorptivitas, a dalam $\text{L mg}^{-1} \text{cm}^{-1}$).

Ketergantungan ini diekspresikan dalam hukum Lambert-Beer yang ditunjukkan pada Persamaan 14 dan 15 (Harvey, 2000).

$$\text{Log } \frac{P_0}{P} = e \cdot b \cdot C \quad (14)$$

$$A = e \cdot b \cdot C \quad (15)$$

Keterangan:

P_0 = Intensitas cahaya yang datang pada larutan

P = Intensitas cahaya yang diteruskan oleh larutan

A = Absorbansi = $-\log \%T$

e = Absorptivitas molar larutan ($\text{cm}^{-1}\text{M}^{-1}$)

b = Tebal kuvet (cm)

C = Konsentrasi larutan (mol.L^{-1})

2.12.2. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Karakterisasi dengan menggunakan difraksi sinar-X dilakukan untuk membandingkan pola difraksi antara lignin magnetit dan nanopartikel lignin sehingga dapat diketahui apakah modifikasi adsorben lignin dengan pelapisan magnetit dan nanopartikel berhasil atau tidak. XRD merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan suatu senyawa dengan mengamati pola pembiasan cahaya sebagai akibat dari berkas cahaya yang dibiaskan oleh material yang memiliki susunan atom pada kisi kristalnya. Prinsip kerja dari XRD dapat dijelaskan dengan setiap senyawa terdiri dari susunan atom-atom yang membentuk bidang tertentu. Jika sebuah bidang memiliki bentuk tertentu, maka partikel cahaya (foton) yang datang dengan sudut tertentu hanya akan menghasilkan pola pantulan maupun pembiasan yang khas. Kekhasan pola difraksi yang tercipta inilah yang digunakan dalam analisis kualitatif untuk membedakan suatu senyawa dengan senyawa yang lain.

Pola yang terbentuk untuk setiap difraksi cahaya pada suatu material akan menghasilkan difraktogram yang digunakan untuk mengidentifikasi suatu senyawa. Pada tahun 1912, Max von Laue menemukan difraksi sinar-X untuk pertama kalinya, dan pada tahun 1913 W. H. Bragg dan W. L. Bragg menemukan penerapan sinar-X dalam penentuan struktur. Penemuan ini membuka jalan bagi keberhasilan penggunaan teknik ini untuk menentukan struktur kristal logam dan paduan mineral, senyawa anorganik, polimer dan bahan organik, dan bahkan semua bahan kristal. Selain itu, penerapan teknik difraksi sinar-X digunakan untuk memperoleh informasi struktur material mengenai regangan kisi, ukuran kristal dan komposisi kimia (Suryanarayana, 1998).

Persamaan Scherrer dapat digunakan untuk menentukan ukuran suatu kristal. Bentuk persamaan Scherrer ditunjukkan pada Persamaan 16 (Suwanboon *et al.*, 2011).

$$D = \frac{0.9\lambda}{B \cos \theta} \quad (16)$$

Keterangan :

D = Diameter kristal,

λ = Panjang gelombang sinar X (nm),

B = Lebar puncak pada setengah intensitas maksimum.

θ = Sudut difraksi.

Hukum Bragg untuk difraksi kristal menyatakan bahwa apabila material kristal dikenai oleh sinar-X monokromatis, maka setiap bidang kristal akan memantulkan atau menghamburkan sinar-X ke seluruh arah. Interferensi dapat terjadi jika hanya antara sinar-sinar pantul sefase sehingga hanya terdapat sinar-X pantulan tertentu saja. Apabila sinar-X yang sefase memiliki selisih lintasan kelipatan bulat panjang gelombang maka akan menyebabkan interferensi yang tinggi. Secara matematis dituliskan pada Persamaan 17 (Sihite, 2019).

$$2 d \sin \theta = n\lambda \quad (17)$$

Dengan,

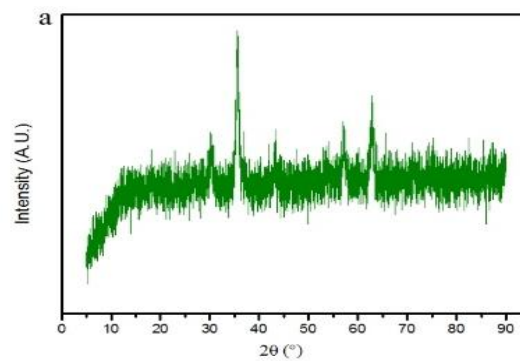
d = Jarak antar bidang atom yang berhubungan (Å)

θ = Sudut hamburan (°)

n = Orde difraksi

λ = Panjang gelombang (Å)

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Buhani *et al.*, 2020) bahwa pola difraktogram menunjukkan bentuk amorf dan memiliki puncak asimetris yang luas. Pola difraktogram adsorben yang telah dilapisi oleh magnetit menghasilkan puncak pada rentang 35° dan 62° yang berasal dari nanokristal Fe₃O₄. Pola difraksi XRD Fe₃O₄ dapat dilihat pada Gambar 8.



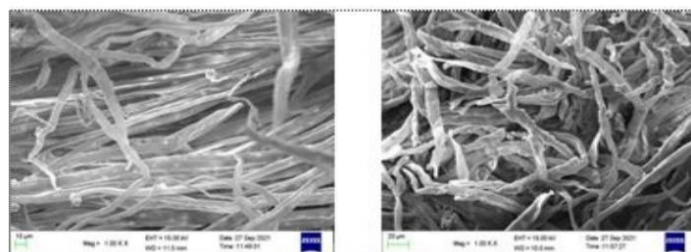
Gambar 8. Pola difraksi XRD Fe₃O₄ (Buhani *et al.*, 2020).

2.12.3. Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)

SEM adalah sebuah instrumen berkekuatan besar dan sangat handal yang dipadukan dengan EDX sehingga dapat digunakan untuk memeriksa, observasi, dan karakterisasi struktur terkecil benda-benda padat dari material organik maupun anorganik yang heterogen serta permukaan bahan dengan skala mikrometer bahkan sampai sub-mikrometer yang menggunakan sumber medan emisi dan mempunyai resolusi gambar 1,5 nm, sehingga kita dapat menentukan sifat dari bahan yang diuji baik sifat fisis, kimia maupun mekanis yang dapat mempengaruhi mutu dan kualitas dari suatu produk, dengan demikian kita dapat mengembangkan produk tersebut melalui informasi ukuran partikel dari mikrostruktur yang terbentuk dan komposisi unsurnya. Bagian terpenting dari SEM adalah apa yang disebut sebagai kolom elektron (*electron column*) (Liani, 2012).

SEM mampu menghasilkan gambar beresolusi tinggi dari permukaan sampel. Gambar yang dihasilkan dari analisis SEM memiliki penampilan tiga dimensi, dan dapat digunakan untuk menentukan struktur permukaan sampel. Hasil gambar SEM hanya menunjukkan warna hitam putih. SEM memiliki prinsip difraksi elektron yang cara kerjanya sama seperti mikroskop optik. Prinsipnya adalah elektron yang dipancarkan akan dibelokkan melalui lensa elektromagnetik di SEM. SEM menggunakan sumber elektron dalam bentuk pemacu elektronik (*electron gun*) daripada sumber cahaya. Elektron-elektron ini akan diemisikan secara termionik dari sumber elektron (Sihite, 2019).

EDX adalah salah satu teknik analisis sifat unsur atau kimia sampel. Karakterisasi ini tergantung pada interaksi beberapa eksitasi sinar-X dengan sampel. Kemampuan karakterisasi memenuhi sebagian besar prinsip dasar bahwa setiap spesimen memiliki struktur atom suatu unsur, sehingga sinar-X dapat mengidentifikasinya (Parry, 2000). EDX digunakan untuk mengidentifikasi jenis atom atau atom oksida pada permukaan suatu material. Elektron berenergi tinggi yang dipancarkan ke mata atom dalam senyawa mampu menumbuk elektron pada kulit terdalam atom. Tabrakan tersebut menyebabkan elektron berenergi lebih rendah terpental dan menyebabkan kekosongan pada kulit. Selanjutnya, elektron pada lapisan yang lebih tinggi akan menempati kekosongan elektron sebelumnya. Proses pengisian elektron disertai dengan pelepasan energi berupa radiasi sinar-X spesifik dari unsur yang dianalisis. Hasil yang diperoleh berupa gambar dan persentase komposisi bahan sampel. Analisis menggunakan EDX bersifat semi-kuantitatif, dengan kata lain hanya menunjukkan komposisi unsur yang terkandung dalam sorben (Buhani *et al.*, 2018). Berdasarkan penelitian (Zulnazri dkk., 2022) analisa morfologi permukaan selulosa dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) selulosa

2.12.4. Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Nilai bilangan gelombang dari suatu sampel merupakan dasar untuk mengetahui gugus atau jenis ikatan dari suatu senyawa menggunakan FTIR (Noor *et al.*, 2016). Spektrofotometer FTIR mampu menganalisis suatu material baik secara keseluruhan, lapisan tipis, cairan, padatan, pasta, serbuk, serat, dan bentuk yang lainnya dari suatu material. Aplikasi spektrofotometer FTIR sangat luas baik untuk analisis kualitatif maupun kuantitatif (Fernandez dan Rio, 2011).

Spektrofotometer FTIR digunakan untuk mengetahui gugus-gugus fungsi penyusun suatu material, baik organik maupun anorganik. Jika suatu molekul menyerap sinar infra merah, maka molekul itu akan mengalami perubahan tingkat energi vibrasi dan perubahan energi rotasi. Secara umum vibrasi antar atom diklasifikasikan menjadi vibrasi ulur (*stretching*) dan vibrasi tekuk (*bending*). Vibrasi ulur merupakan pergerakan sepanjang ikatan sehingga jarak antara atom menjadi berkurang atau bertambah. Vibrasi tekuk merupakan pergerakan atom yang mengakibatkan perubahan sudut ikatan.

Gugus fungsi yang terdeteksi dari suatu molekul memiliki panjang gelombang yang identik untuk masing-masing gugus fungsi yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Serapan infra merah selulosa (Fathurrahman dkk., 2023).

Gugus fungsi	Standar kisaran pita serapan (cm⁻¹)
O-H <i>Stretch</i>	3200-3600
C-H <i>Stretch</i>	2850-3000
C=O <i>Stretch</i>	1690-1760
C-H <i>Bending</i>	1350-1480
C-O Acetyl	1210-1320
C-O <i>Stretch</i>	1000-1300

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Oktober 2023 sampai Juni 2024, bertempat di Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Analisis gugus fungsi pada adsorben dengan FTIR dilakukan di Laboratorium Kimia Organik Departemen Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada, analisis permukaan adsorben dengan SEM-EDX dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung, analisis permukaan adsorben dan komposisi yang terkandung dengan XRD dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Departemen Kimia FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta, dan analisis hasil adsorpsi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dilakukan di UPTD Balai Laboratorium Kesehatan Bandar Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang akan digunakan pada penelitian ini antara lain peralatan gelas, spatula, neraca analitik, oven, hotplate, kertas saring, pH meter, pengayak 2000 mesh, sentrifus, *shaker*, FTIR tipe IR Prestige 21, SEM-EDX tipe JEOL-JSM-6510 LA, XRD tipe X'pertama PRO, dan Spektrofotometer UV-Vis merek Agilent Technologies tipe Cary Series.

Bahan-bahan yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu sabut kelapa sawit, akuades, NaOH, H₂O₂ 30%, FeCl₃.6H₂O, FeSO₄.7H₂O, KNO₃, NaNO₃, HCl, larutan metilen biru, larutan *buffer*, dan selulosa murni.

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Preparasi Sabut Kelapa Sawit

Sabut kelapa sawit dicuci dan direndam dalam air selama 2 jam untuk menghilangkan debu dan zat pengotor lainnya. Sabut kelapa sawit dikeringkan dibawah sinar matahari. Selanjutnya, selulosa dari sabut kelapa sawit dimodifikasi lebih lanjut dengan menggunakan magnetit.

3.3.2. Pemisahan Selulosa dari Sabut Kelapa Sawit (Delignifikasi)

Sebanyak 50 g sabut kelapa sawit dicampurkan dengan 500 mL larutan 12% NaOH. Sistem dipanaskan selama 3 jam dengan suhu 90-95°C. Sampel disaring dan diambil selulosa yang sudah terpisah dari komponen lain. Setelah itu dilakukan proses *bleaching* dengan menggunakan larutan H₂O₂ 10% selama 1,5 jam. Selanjutnya selulosa dicuci bersih hingga pH netral (Dewanti, 2018).

3.3.3. Modifikasi Selulosa dengan Magnetit

Pembuatan selulosa-magnetit dilakukan dengan cara mencampurkan 6,5 g selulosa ke dalam 300 mL akuades. Campuran tersebut kemudian dipanaskan hingga mencapai suhu 70°C, lalu ditambahkan garam besi yang terdiri dari 7,6 g FeCl₃.6H₂O dan 3,9 g FeSO₄.7H₂O yang dilarutkan dalam 300 mL akuades. Campuran tersebut diaduk selama 30 menit sambil ditambahkan 100 mL NaOH 5 M tetes demi tetes sampai terbentuk endapan hitam. Selanjutnya, endapan hitam tersebut disaring dan dicuci menggunakan akuades sampai pH netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C selama 3 jam, sehingga diperoleh selulosa-magnetit (Oliveira *et al.* 2002).

3.3.4. Karakterisasi

Adsorben selulosa murni, selulosa sabut, selulosa murni magnetit, dan selulosa sabut magnetit masing-masing di karakterisasi dengan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi selulosa, XRD untuk mengetahui tingkat kristalin selulosa dan

pelapisan magnetit pada selulosa, SEM-EDX untuk mengetahui ukuran adsorben dan komposisi unsur yang terkandung.

3.3.5. Penentuan Nilai Zeta Potensial

Adsorben selulosa murni, selulosa sabut, selulosa murni magnetit, dan selulosa sabut magnetit masing-masing sebanyak 0,1 g dimasukkan ke dalam 20 mL NaNO_3 0,1 M. pH awal divariasikan dengan rentang 3-12 diatur menggunakan larutan standar HCl 0,1 M untuk suasana asam dan NaOH 0,1 M untuk suasana basa. Larutan diaduk menggunakan pengaduk (shaker) selama 24 jam. Setelah itu pH akhir diamati dan diukur menggunakan pH meter.

3.3.6. Preparasi Adsorbat

a. Pembuatan Larutan Induk adsorbat

Sebanyak 1 g metilen biru dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL yang berbeda, lalu ditambahkan akuades hingga tanda batas lalu dihomogenkan dan terbentuk larutan dengan konsentrasi 1000 ppm.

b. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

Nilai absorbansi larutan metilen biru diukur dengan konsentrasi 10 ppm pada panjang gelombang 400-800 nm.

3.3.7. Eksperimen Adsorpsi

a. Penentuan Dosis Adsorben

Sebanyak 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1 g adsorben dimasukkan masing-masing ke dalam 5 erlenmeyer berisi 25 mL larutan metilen biru. Campuran tersebut diaduk menggunakan alat pengaduk selama 1 jam. Setelah itu larutan dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 30 menit. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Buhani *et al.*, 2017).

b. Penentuan pH Optimum

Sebanyak 25 mL larutan adsorbat 10 ppm disiapkan dalam 10 erlenmeyer berbeda dengan variasi pH 3-12. Penambahan HCl 0,1 M dilakukan untuk menurunkan pH dan peningkatan pH dilakukan dengan penambahan NaOH 0,1 M. Lalu ditambahkan larutan *buffer* (*buffer* asetat untuk pH 3,4, dan 5, *buffer* fosfat untuk pH 6-12) kemudian ditambah adsorben pada dosis optimum. Setelah itu, larutan diaduk menggunakan alat pengaduk selama 1 jam dengan kecepatan 100 rpm. Lalu larutan dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 30 menit. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Buhani *et al.*, 2017).

c. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Sebanyak 25 mL larutan adsorbat 10 ppm pada kondisi pH optimum dimasukkan ke dalam 7 erlenmeyer lalu ditambahkan masing-masing adsorben pada dosis optimum kemudian diaduk menggunakan alat pengaduk dengan variasi waktu yaitu 0, 15, 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Setelah itu larutan dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 30 menit. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Buhani *et al.*, 2017).

d. Penentuan Konsentrasi Optimum

Sebanyak 25 mL larutan adsorbat pada kondisi pH optimum dengan variasi konsentrasi, yaitu 0, 10, 50, 100, 150, 200, 250, dan 300 ppm masing-masing dimasukkan ke dalam 8 erlenmeyer lalu ditambahkan adsorben pada dosis optimum, kemudian diaduk menggunakan alat pengaduk pada waktu kontak optimum. Setelah itu larutan dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 30 menit. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Buhani *et al.*, 2017).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan maka diperoleh Kesimpulan sebagai berikut :

1. Delignifikasi atau pemisahan selulosa dari sabut kelapa sawit berhasil dilakukan yang dibuktikan dengan hasil karakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan SEM-EDX.
2. Modifikasi adsorben selulosa murni dan selulosa sabut dengan magnetit berhasil dilakukan yang dibuktikan dengan hasil karakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan SEM-EDX.
3. Adsorpsi metilen biru dengan adsorben selulosa murni, selulosa sabut, SMM, dan SSM optimum pada dosis adsorben 0,4 gram. pH optimum untuk selulosa murni, selulosa sabut, SMM, dan SSM secara berturut-turut yaitu pH 8, 9, 8, dan 5. Waktu kontak optimum untuk metilen biru oleh selulosa murni, selulosa sabut, SMM, dan SSM yaitu 15 menit, 60 menit, 90 menit, dan 30 menit dengan konsentrasi maksimum 200 ppm.
4. Laju adsorpsi zat warna metilen biru cenderung mengikuti model kinetika pseudo orde dua dengan konstanta laju K_2 masing masing adsorben selulosa murni, selulosa sabut, SMM, dan SSM yaitu 15,528, 5,487, 3,421, dan 0,006 $\text{g.mg}^{-1}.\text{menit}$.
5. Isoterm adsorpsi zat warna metilen biru terhadap seluruh adsorben cenderung mengikuti model isotherm Freundlich dengan nilai K_F masing masing adsorben selulosa murni, selulosa sabut, SMM, dan SSM yaitu 1,591, 1,233, 1,294, dan 1,214 mg/g .

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya yaitu perlu dipelajari lebih lanjut mengenai peningkatkan kemurnian selulosa dari sabut kelapa sawit sehingga penyerapan adsorben selulosa sabut terhadap adsorbat meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Ghani, N. T., El-Chaghaby, G. A., Rawash, E. S. A., and Lima, E. C. 2017. Adsorption of Coomassie Brilliant Blue R-250 Dye Onto Novel Activated Carbon Prepared from *Nigella sativa* L. Waste: Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics Running Title: Adsorption of Brilliant Blue Dye Onto *Nigella sativa* L. Waste Activated Carbon. *Journal of the Chilean Chemical Society*. 62(2) : 3505–11.
- Abdel-Ghani, N. T., El-Chaghaby, G. A., Rawash, E. S. A., and Lima, E. C. 2019. Magnetic Activated Carbon Nanocomposite from *Nigella sativa* L. Waste (MNSA) for the Removal of Coomassie Brilliant Blue Dye from Aqueous Solution: Statistical Design of Experiments for Optimization of the Adsorption Conditions. *Journal of Advanced Research*. 17 : 55–63.
- Aksu, Zümriye. 2005. Application of Biosorption for the Removal of Organic Pollutants: A Review. *Process Biochemistry*. 40(3–4):997–1026.
- Alfius, H. 2011. Pengelolaan Limbah Padat Sabut Kelapa Sawit Sebagai Bahan Untuk Mengelola Limbah Cair. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 6 (12) : 1–10.
- Allen, S.J., Mckay, G., and Porter, J. F. 2004. Adsorption Isotherm Models for Basic Dye Adsorption by Peat in Single and Binary Component Systems. *Journal of Colloid and Interface Science*. 280 (2):322–33.
- Anggorodi, R. 1994. *Ilmu Makanan Ternak*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Asnawati, A., Kharismaningrum, R. R., dan Andarini, N. 2017. Penentuan Kapasitas Adsorpsi Selulosa Terhadap Rhodamin B dalam Sistem Dinamis. *Jurnal Kimia Riset*. 2(1) : 23–9.

- Atkins, P. W. 1999. *Kimia Fisika Edisi Ke-2*. Jakarta: Erlangga.
- Beldean-Galea, M. S., Copaciu, F. M., and Coman, M. V. 2018. Chromatographic Analysis of Textile Dyes. *Journal of AOAC Internasional*. 101(5): 1353–70.
- Benjelloun, Y., Lahrichi, A., Boumchita, S., Idrissi, M., Miyah, Y., Anis, Kh., Nenov, and Zerrouq, F. 2017. *Mater. Environmental Science*. 8(7):2259.
- Bhavyasree, P. G., and Xavier, T. S. 2021. Adsorption Studies of Methylene Blue, Coomassie Brilliant Blue, and Congo Red Dyes Onto CuO/C Nanocomposites Synthesized via Vitex Negundo Linn Leaf Extract. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. 4 : 100161.
- Buhani, and Suharso. 2010. Modifikasi Silika Dengan (3-Aminopropyl)Trimetoksisilane Melalui Proses Sol Gel Untuk Adsorpsi Ion Cd(II) Dari Larutan. *Journal Sains MIPA*. 16(3) : 177–83.
- Buhani, Dewi, J.S., Fajriyah, N.S. *et al.* 2023. Modification of Non-Activated Carbon from Rubber Fruit Shells with 3-(Aminopropyl)-Triethoxysilane and Its Adsorption Study on Coomassie Brilliant Blue and Methylene Blue in Solution. *Water Air Soil Pollut*. 234 : 578.
- Buhani, F. Hariyanti, Suharso, Rinawati, and Sumadi. 2019. Magnetized Algae-Silica Hybrid from Porphyridium Sp. Biomass with Fe₃O₄ Particle and Its Application as Adsorbent for the Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution. *Desalination and Water Treatment*. 142 : 331–40.
- Buhani, Halimah, S.N., Suharso, and Sumadi. 2022. Utilization of activated carbon from candlenut shells (aleurites moluccana) as methylene blue adsorbent. *Rasayan Journal of Chemistry*. 15 : 124–131.
- Buhani, Herasari, D., Suharso, and Yuwono, S.D. 2017. Correlation of Ionic Imprinting Cavity Sites on The Amino-Silica Hybrid Adsorbent with

- Adsorption Rate and Capacity of Cd^{2+} Ion in Solution. *Oriental Journal of Chemistry*. 33(1) : 418–29.
- Buhani, Istikomah, Suharso, Sumadi, Sutarto, Huda, M., Alghamdi, and Khalid, Z. Elwakeel. 2023. Cationic Surfactant-Modified *Tetraselmis* sp. for the Removal of Organic Dyes from Aqueous Solution. *Molecules*. 28(23): 7839.
- Buhani, Luziana, F., Suharso, Rilyanti, M., dan Permatasari, D. 2020. Kajian Pola Isoterm Adsorpsi Zat Pewarna Kristal Violet Pada Adsorben Dari Karbon Cangkang Kelapa Sawit Dengan Pelapisan Partikel Fe_3O_4 . *Prosiding SINTA*. 3 : 119.
- Buhani, Musrifatun, Pratama, D. S., Suharso, And, and Rinawati. 2017. Modification of *Chaetoceros* Sp. Biomass with Silica-Magnetite Coating and Adsorption Studies towards $\text{Cu}(\text{II})$ Ions in Single and Binary System. *Asian Journal of Chemistry*. 29(12) : 2734–38.
- Buhani, Narsito, Nuryono, and Kunarti, E. S. 2010. Amino and Mercapto-Silica Hybrid for $\text{Cd}(\text{II})$ Adsorption in Aqueous Solution. *Indonesian Journal of Chemistry*. 9 (2) : 70–176.
- Buhani, Narsito, Nuryono, Kunarti, E.S., and Suharso. 2015. Adsorption Competition of $\text{Cu}(\text{II})$ Ion in Ionic Pair and Multi-Metal Solution by Ionic Imprinted Amino-Silica Hybrid Adsorbent. *Desalination and Water Treatment*. 55(5) : 1240–52.
- Buhani, Puspitarini, M., Rahmawaty, Suharso, Rilyanti, M., and Sumadi. 2018. Adsorption of Phenol and Methylene Blue in Solution by Oil Palm Shell Activated Carbon Prepared by Chemical Activation. *Oriental Journal of Chemistry*. 34(4) : 2043–50.
- Buhani, Rinawati, Suharso, D.P. Yuliasari, and S. D. Yuwon. 2017. Removal of $\text{Ni}(\text{II})$, $\text{Cu}(\text{II})$, and $\text{Zn}(\text{II})$ Ions from Aqueous Solution Using *Tetraselmis*

- Sp. Biomass Modified with Silica Coated Magnetite Nanoparticles. *Desalination and Water Treatment*. 80 : 203–13.
- Buhani, Suharso, Aditiya, I., Al Kausar, R., Sumadi, and Rinawati. 2019. Production of a Spirulina Sp. Algae Hybrid with a Silica Matrix as an Effective Adsorbent to Absorb Crystal Violet and Methylene Blue in a Solution. *Sustainable Environment Research*. 1(1) : 1–11.
- Buhani, Suharso, and Partogi, A.F. 2013. Isoterm Adsorpsi Ion Ni (II) Dalam Larutan Oleh Biomassa Alga Nannochloropsis Sp Yang Dimodifikasi Dengan Silika-Magnet. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*. 1(1) : 61–6.
- Buhani, Suharso, and Sembiring, Z. 2012. Immobilization of Chetoceros Sp Microalgae with Silica Gel Through Encapsulation Technique as Adsorbent of Pb Metal from Solution. *Oriental Journal of Chemistry* 28(1) : 271–78.
- Buhani, Suharso, Rilyanti, M. et al. 2023. Functionalization of carbon from rubber fruit shells (*Hevea brasiliensis*) with silane agents and its application to the adsorption of bi-component mixtures of methylene blue and crystal violet. *Environ Sci Pollut Res*. 31 : 39994–40007.
- Ccamercco, M.H., Falcon, N.L.T., Felix, L.L., Pacheco-Salazar, D.G., Aragon, F.F.H., Coaquira, J.A.H., Garnier, J., Vera-Gonzales, C. 2022. High Efficiency of Magnetite nanoparticles for the Arsenic Removal from an Aqueous Solution and Natural Water Taken from Tambo River in Peru. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 20 : 849–60.
- Chang, Y.C. and Chen, D.H. 2005. Preparation and Adsorption Properties of Monodisperse Chitosan-Bound Fe₃O₄ Magnetic Nanoparticles for Removal of Cu(II) Ions. *Journal of Colloid Interface Science*. 283 : 446–51.

- Chen, J., Xiong, G., Chen, and Tan, T. 2020. Preparation and characterization of highly transparent hydrophobic nanocellulose film using corn husks as main material. *International Journal of Biological Macromolecules*. 158 : 781–789.
- Chetankumar, K., Swamy, K. B. E., Sharma, S. C., and Adarsha, H. 2021. Coomassie Brilliant Blue G 250 Modified Carbon Paste Electrode Sensor for The Voltammetric Detection of Dihydroxybenzene Isomers. *Scientific Reports*. 11(1) : 1–14.
- Chong, K. H., and Volesky, B. 1995. Description of Two-Metal Biosorption Equilibria by Langmuir-Type Models. *Biotechnology and Bioengineering*. 47(4) : 451–60.
- Dewanti, Dian, P., Ma'rufatin, A., Nugroho, R. 2019. Uji kapasitas absorpsi air oleh selulosa dari tandan sawit sebagai bahan super adsorbent polymer (SAP) pada popok sekali pakai. *Jurnal Pusat Teknologi Lingkungan*. 12(2). 99–106.
- Dewanti. 2018. Potensi Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Bahan Baku Bioplastik Ramah Lingkungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 19(1) :81–88.
- Fathurrahman, I., Azmi, F.A., Fauzi, dan Hizbullah. 2023. Ekstraksi Selulosa dari Ampas Tebu Menggunakan Proses Soda. *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan*. 4(1) : 16–20.
- Fernandez dan Rio B. 2011. *Kimia Material Spektroskopi Infra Merah (IR) dan Sinar Tampak (UV-Vis)*. Padang: Universitas Andalas.
- Firmanto, R. P., Setyowati, R.D.N., and Suprayogi, D. 2021. Kemampuan Adsorben Dari Limbah Serbuk Gergaji Kayu Jati Terhadap Penurunan Kandungan Timbal (Pb) Pada Limbah Cair Dengan Menggunakan Sistem Batch. *Journal of Research and Technology*. 7(2) : 197–206.

- Foo, K. Y., and Hameed, B. H. 2012. Preparation, Characterization and Evaluation of Adsorptive Properties of Orange Peel Based Activated Carbon Via Microwave Induced K_2CO_3 Activation. *Bioresource Technology*. 104 : 679–86.
- Franck, C. L. 1995. *Toksikologi Dasar Edisi Kedua*. Universita. Jakarta.
- Fu, Y., and Viraraghavan, T. 2001. Fungal Decolorization of Dye Wastewaters : A Review. *Bioresource Technology*. 79(3) : 251–62.
- Hafiyah, S. 2013. Kinetika Adsorpsi Zat Warna Rhodamin B Menggunakan Karbon Aktif Sekam Padi (*Oryza Sativa L.*). *Journal of Chemical Information and Modeling*. 53 (9) : 1689–99.
- Handayani, M., and Sulistyono, E. 2009. Uji Persamaan Langmuir Dan Freundlich Pada Penyerapan Limbah Chrom (vi) Oleh Zeolit. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir 6* :130–36.
- Harvey, D. 2000. *Modern Analytical Chemistry*. United States of America.
- Haryanti, Andi, Norsamsi, Sholiha, P.S., and Putri, N.P. 2014. Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit. *Konversi*. 3(2) : 20.
- Hegyesi, N., Vad, R. T., and Pukánszky, B. 2017. Determination of the Specific Surface Area of Layered Silicates by Methylene Blue Adsorption: The Role of Structure, pH and Layer Charge. *Applied Clay Science*. 146 : 50–55.
- Ho, Y. S. 2004. Citation Review of Lagergren Kinetic Rate Equation on Adsorption Reactions. *Scientometrics*. 59 : 171–77.
- Holtzapple, M.T. 2003. Hemicelluloses. *In Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. 3060-71.
- Husin, G., dan Rosnelly, C. M. 2005. Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Logam

Timbal Menggunakan Karbon Aktif Dari Batang Pisang. *Tesis*. Banda Aceh: Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Darrusalam.

Ibrahim, H. K., Al-Da' Amy, M. A., and Kreem, E. T. 2019. Decolorization of Coomassie Brilliant Blue G-250 Dye Using Snail Shell Powder by Action of Adsorption Processes. *Research Journal of Pharmacy and Technology*. 12 (10) : 4921–25.

Irvan, R. 2004. *Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob-Aerob*. Medan: Universitas Sumatera Utara.

Issabayeva, G., Aroua, M. K., and Sulaiman, N. M. 2010. Study on Palm Shell Activated Carbon Adsorption Capacity to Remove Copper Ions from Aqueous Solutions. *Desalination*. 262(1-3) : 94–8.

Jalil, A. A., Triwahyono, S., Adam, S. H., Rahim, N. D., Aziz, M. A. A., Hairom, N. H. H., Razali, N. A. M., Abidin, M. A. Z., and Mohamadiah, M. K. A. 2010. Adsorption of Methyl Orange from Aqueous Solution onto Calcined Lapindo Volcanic Mud. *Journal of Hazardous Materials*. 181(1–3) : 755–62.

Jeon, C. 2011. Adsorption Characteristic of Cooperation Using Magnetically Modified Medicinal Stones. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 17 :1487–93.

Jingjing, W., Dengxi, L., Yuan, Y. dan Yingchen, Z. 2011. “Preparation of Fe₃O₄ Nanoparticles by Use of Catalytically Oxidized Liquids of Cyanide Tailings by NO_x and Research of Its Adsorption Properties.” *Energ. Proc* 11:3389–96.

Karpinska, J. 2004. *Basic Principles and Analytical Application of Derivative Spectrophotometry*. Joanna Karpinska Institute of Chemistry, University of Bialystok : Bialystok Poland.

Kausar, R. A., Buhani, and Suharso. 2020. Methylene Blue Adsorption Isotherm

on *Spirulina* Sp. Microalgae Biomass Coated by Silica-Magnetite. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 857(1) : 1–7.

- Khuluk, R. H., Rahmat, A., Buhani, and Suharso. 2019. Removal of Methylene blue by Adsorption Onto Activated Carbon from Coconut Shell (*Cocos Nucifera* L.). *Indonesian Journal of Science and Technology*. 4(2) : 229–240.
- Lestari, I., Prasetyo, E., dan Gusti, D. R. 2021. Penggunaan Karbon Magnetit Fe₃O₄ Sebagai Penyerap Zat Warna Remazol Yellow. *Journal BiGME*. 1 (1) : 29–37.
- Li, L., Lee, S., Lee, L. H., dan Youn, J. H. 2011. Hydrogen Peroxide Bleaching of Hardwood Kraft Pulp with Adsorbed Birch Xylan and Its Effect on Paper Properties. *Bioreasources*. 6(1) : 721–36.
- Liani. 2012. Pengaruh Temperatur Terhadap Struktur Kristal Dan Morfologi Lapisan TiCl₄ Pada Pelapisan Logam Dengan Menggunakan Metode Sol–Gel. *Skripsi*. Medan: FMIPA Fisika Universitas Negeri Medan.
- Lin, Y., Chen, H., Lin, K., Chen, B., and Chiou, C. 2011. Application of Magnetic Particles Modified with Amino Groups to Adsorb Copper Ions in Aqueous Solution. *Journal Environmental Science*. 23 : 44–50.
- Lu, W., Shen, Y., Xie, A., and Zhang, W. 2010. Green Synthesis and Characterization of Superparamagnetic Fe₃O₄ Nanoparticles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 322(13) : 1828–33.
- Lu, X., Li, D., Huang, Y., and Zhang, Y. 2007. Application of a Modified Coomassie Brilliant Blue Protein Assay in the Study of Protein Adsorption on Carbon Thin Films. *Surface and Coatings Technology*. 201(15) : 6843–46.

- Mandiri. 2012. *Manual Pelatihan Teknologi Energi Terbarukan*. Jakarta. material. *International Journal of Biological Macromolecules*. 158 : 781–789.
- Mohtar, S.S., Busu, S., Noor, T.N.Z.T.M., Noor, A.M., Shaari, N., and Mat, H. 2017. An ionic liquid treatment and fractionation of cellulose, hemicellulose, and lignin from oil palm empty fruit bunch. *Carbohydrate Polymers*. 166 : 291–99.
- Murti, W. 2008. *Pembuatan Karbon Dari Tongkol Jagung Untuk Adsorpsi Molekul Amonia Dan Ion Krom*. Depok: Universitas Indonesia Depok.
- Murtono, J., and Iriany. 2017. Activated Carbon Pruduction From Rubber Shell Using H₃PO₄ Activator and Its Aplication as Pb (II) Adsorber. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 6 (1) : 23–28.
- Nikmatin, S., Purwanto, Y.A., Mandang, T., Maddu, A., dan Purwanto, S. 2020. Karakterisasi Selulosa Kulit Rotan Sebagai Material Pengganti Fiber Glass Pada Komposit. *Jurnal Agrotek*. 5 (1) : 40–7.
- Noor, M. I., Yufita., dan Zulfalina. 2016. Identifikasi Kandungan Ekstrak Kulit Buah Naga Merah Menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR) Dan Fitokimia Identification Content of the Red Dragon Fruit Extract Skin Using Fourier Transform Infrared (FTIR) and Phytochemistry. *Journal of Aceh Physics Society (JAcPS)*. 5(1) : 14–6.
- Oliveira, L.C. A., Rios, R.V.R.A., Fabris, J.D., Garg, V., Sapag, K., and Lago, R.M. 2002. Activated Carbon/Iron Oxide Magnetic Composites for The Adsorption of Contaminants in Water. *Carbon*. 40(12) : 2177–83.
- Oscik, J. 1982. *Adsorpstion*. Ellis Horw. England.
- Padmaningrum, R.T., dan Siti, M. 2015. Validasi Analisis Siklamat Secara Spektrofotometri dan Turbidimetri. *Jurnal Sains Dasar*. 4 (1) : 23–9.

- Pahan, I. 2008. *Panduan Lengkap Kelapa Sawit*. Jakarta: Manajemen Agribisnis dari Hulu hingga Hilir.
- Pankhurst, Q.A., Connolly, J., Jones, S.K., and Dobson, J. 2003. Applications of Magnetic Nanoparticles in Biomedicine. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 36:167–81.
- Parry, Vernon, K. D. 2000. *Scanning Electron Microscopy : An Introduction, Centre for Electronic Materials*. Manchester: UMIST.
- Peng, Q., Liu Y., Zeng, G., Xu, W., Yang C., and Zha, J. 2010. Biosorption of Copper(II) by Immobilizing *Saccharomyces Cerevisiae* on the Surface of Chitosan Coated Magnetic Nanoparticles from Aqueous Solution. *Journal of Hazardous Materials*. 177 : 676–82.
- Perera, U.P., Mei, L.F., dan Irene, M. L. C. 2023. Synthesis and Characterization of Lignin Nanoparticles Isolated from Oil Palm Empty Fruit Bunch and Application in Biocomposites. *Sustainable Chemistry for Climate Action*. 2 : 100011.
- Petchareon, K., and Sirivat, A. 2012. Synthesis and Characterization of Magnetite Nanoparticles Via the Chemical Co-Precipitation Method. *Elsevier*. 177 (5) : 421–27.
- Petrova, T.M., Fachikov, L. dan Hristov, J. 2011. The Magnetite as Adsorbent for Some Hazardous Species from Aqueous Solutions: A Review. *International Review of Chemical Engineering*. 3(2) : 134–52.
- Poornachandhra, C., Jayabalakhrisnan, R.M., Balasubramanian, G., Lakshmanan, A., Selvakumar., S., Maheswari, M., John, J.E. 2022. Coconut Husk Fiber : A Low-Cost Bioresource for the Synthesis of High-Value Nanocellulose. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 13(6) : 1–25.

- Prabowo, Aditya liberty. 2009. Pembuatan Karbon Aktif Dari Tongkol Serta Aplikasinya Untuk Adsorpsi Cu, Pb Dan Amonia. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Pradana, M.A., Ardhyanta, H., Farid, M. 2017. Pemisahan selulosa dari lignin serat tandan kosong kelapa sawit dengan proses alkalisasi untuk penguat bahan komposit penyerap suara. *Jurnal Teknik ITS*. 6(2) : 413–16.
- Prakoso, N.I., Suryo, P., dan Rocmadi. 2015. Study on Lignin Isolation From Oil Palm Empty Fruit Bunches. *Eksakta : Jurnal Ilmu-Ilmu MIPA*. 47–54.
- Priya, Kaith, B. S., Shanker, U., Gupta, B., dan Bhatia, J. K. 2018. RSM-CCD Optimized In-Air Synthesis of Photocatalytic Nanocomposite: Application in Removal-Degradation of Toxic Brilliant Blue. *Reactive and Functional Polymers*. 131 : 107–22.
- Putri, N.F.Y. and Rahmayanti, M. 2020. Desorption of Naphtol Blue-Black from Humic Acid Modified Magnetite Using NaOH as Desorption Agent. *Proc. Internat. Conf. Sci. Engin*. 3 : 157–58.
- Qiao, Zhihua, Wang, Z., Zhang, C., Yuan, S., Zhu, Y., and Wang, J. 2012. PVAm–PIP/PS Composite Membrane with High Performance for CO₂/N₂ Separation. *AIChE Journal*. 59(4) : 215–28.
- Rahmayanti, M. 2020. Sintesis Dan Karakterisasi Magnetit (Fe₃O₄): Studi Komparasi Metode Konvensional dan Metode Sonokimia. *Al Ulum: Jurnal Sains Dan Teknologi*. 6 (1) : 26.
- Rahmayanti, M., Santosa, S.J., dan Sutarno. 2016. Comparative Study on the Adsorption of [AuCl₄] onto Salicylic Acid and Gallic Acid Modified Magnetite Particles. *Indonesian Journal of Chemistry*. 16 (3) : 329–37.
- Ramadhani, F. D. 2013. Pemanfaatan Limbah Cangkang Kulit Buah Karet (Hevea Brasilliensis) Sebagai Adsorben Logam Besi Pada Air Gambut Sebagai

Bahan Ajar Kimia Sekolah Menengah Atas Kelas XII. *Journal of Chemical Information and Modeling*. 53 (9) : 1689–99.

Richana, N., Lestina, P., dan Irwadi, T. 2004. Karakterisasi Lignoselulosa : Xylan Dari Limbah Tanaman Pangan Dan Pemanfaatannya Untuk Pertumbuhan Bakteri RXA III-5 Penghasil Xilanase. *Jurnal Penelitian Pertanian*. 23 : 171–76.

Robinson, T., Geoff M.M., Marchant, R., and Nigam, P. 2001. Remediation of Dyes in Textile Effluent: A Critical Review on Current Treatment Technologies with a Proposed Alternativ. *Elsevier*. 77 : 247–55.

Sales, P. F., Magriotis, Z. M., Rossi, M. A. L. S., Resende, R. F., and Nunes, C. A. 2013. Optimization by Response Surface Methodology of the Adsorption of Coomassie Blue Dye on Natural and Acid-Treated Clays. *Journal of Environmental Management*. 130 : 417–28.

Sastrohamidjojo, H. 2001. *Spektroskopi*. Yogyakarta: Liberty.

Selvam, K., Swaminathan, K., and Chae, K. S. 2003. Decolourization of Azo Dyes and a Dye Industry Effluent by White Rot Fungus *Thelephora* Sp. *Bioresource Technology*. 88 : 115–19.

Sharma, P. H., Kaur, H. Sharma, M., and Sahore, V. 2011. A Review on Applicability of Naturally Available Adsorbents Environmental, for the Removal of Hazardous Dyes from Aqueous Waste. *Monitoring Assessment*. 183 (1-4) :151–59.

Shirendev, N., Bat-Amgalan, M., Aleksandr, A., Gunchin, B., and Yunden, G. 2021. Cu(II), Pb(II) and Cr(VI) Adsorption on the Modified Activated Carbon. *Proceedings of the 5th International Conference on Chemical Investigation and Utilization of Natural Resource*. 2 : 149–157.

- Sihite, Edward. 2019. Analisis Pengaruh Penuaan Dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan Dan Strukturmikro Paduan Cuhfco. *Jurnal Kajian Ilmiah Universitas Bhayangkara Jakarta Raya*. 19(3) : 231–38.
- Siringoringo, M., Sri, W., Ika, P., dan Melisa, A. 2022. Peramalan Jumlah Produksi Kelapa Sawit Provinsi Kalimantan Timur Menggunakan Metode Singular Spectrum Analysis. *VARIANSI: Journal of Statistics and Its Application on Teaching and Research*. 4 (3) : 162–72.
- Sunarti, V., Kayadoe., dan Siti, S. M. Y. 2022. Pemanfaatan Arang Aktif Dari Limbah Sabut Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq) Sebagai Adsorben Logam Pb. *Jurnal MJoCe*. 12(1) : 1–7.
- Supanchaiyamat, N., Kaewta, J., Jesper, T.N.K., and Daniel, J., dan Andrew. 2019. Lignin Materials for Adsorption: Current Trend, Perspectives and Opportunities. *Bioresource Technology*. 272 : 570–81.
- Suriani, N. 2019. *Budidaya Tanaman Kelapa Sawit*. Jakarta: Bhuana Ilmu Komputer.
- Suryanarayana, C. 1998. *X-Rays and Diffraction 1.1*. Boston: Springer.
- Susanto dan Prasdiantika, R. 2018. Pengaruh Rute Sintesis Terhadap Keefektifan Peningkatan Gugus PDETA pada Sintesis Fe₃O₄, SiO₂, PDETA. *Jurnal Teknosains*. 8(1) : 39–47.
- Suwanboon, Sumetha, Pongsaton Amornpitoksuk, and Apinya Sukolrat. 2011. Dependence of Optical Properties on Doping Metal, Crystallite Size and Defect Concentration of M-Doped ZnO Nanopowders (M = Al, Mg, Ti). *Ceramics International*. 37(4) : 1359–65.
- Volesky, B. and Naja, G. 2005. *Biosorption Application Strategies*. Capetown South Africa: IBS Compress Co.

- Wang, F., Pan, Y., Cai, P., Guo, T., and Xiao, H. 2017. Single and binary adsorption of heavy metal ions from aqueous solutions using sugarcane cellulosebased adsorbent. *Bioresource Technology*. 241 : 482–90.
- Wang, S., Ng, C. W., Wang, W., Li, Q., and Hao, Z. 2012. Synergistic and Competitive Adsorption of Organic Dyes on Multiwalled Carbon Nanotubes. *Chemical Engineering Journal*. 197 : 34–40.
- Wijayanti, Eva, I., dan Kurniawati, E. 2019. Studi Kinetika Adsorpsi Isoterm Persamaan Langmuir Dan Freundlich Pada Abu Gosok Sebagai Adsorben. *EduChemia (Jurnal Kimia Dan Pendidikan)*. 4(2) : 175.
- Wirajaya, A. 2007. Karakteristik Komposit Sandwich Serat Alami Sebagai Absorber Suara. *Skripsi*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Wong, K. T., Yoon, Y. and Jang, M. 2015. Enhanced Recyclable Magnetized Palm Shell Waste-Based Powdered Activated Carbon for The Removal of Ibuprofen: Insights for Kinetics and Mechanisms. *Plos One Journal*. 10(10) : 1–18.
- Xie, J., Lin, Y., Li, C., Wu, D., and Kong, H. 2015. Removal and Recovery of Phosphate from Water by Activated Aluminum Oxide and Lanthanum Oxide. *Powder Technology*. 269 : 351–57.
- Yahya, R. 2018. Pengolahan Limbah Kromium Industri Elektroplating Menggunakan Teknologi Filtrasi, Absorpsi, Adsorpsi, Sedimentasi (Faas). *Mathematics Education Journal*. 1 (1) : 75.
- Zulaicha, A. S., Buhani, and Suharso. 2021. Modification of Activated Carbon from *Elaeis Guineensis* Jacq Shell with Magnetite (Fe₃O₄) Particles and Study Adsorption-Desorption on Ni(II) Ions in Solution. *Journal of Physics: Conference Series*. 1751 (1) : 1–11.

Zulnazzri, L., Hakim, L., Dewi, R., dan Sulhatun. 2022. Kajian Ekstraksi Selulosa dari Kulit Pinang dengan menggunakan Larutan NaOH. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 11 (2) : 193–206.