

**STUDI KOMPARASI ADSORBEN DARI KARBON CANGKANG BUAH
KARET (*Hevea brasiliensis*) YANG DIMODIFIKASI DENGAN AGEN
MAGNETIT DAN (3-AMINOPROPYL)-TRIETHOXYSILANE (APTES)
TERHADAP ADSORPSI METILEN BIRU DAN COOMASSIE
*BRILLIANT BLUE***

(Skripsi)

Oleh

Jilda Sofiana Dewi



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

STUDI KOMPARASI ADSORBEN DARI KARBON CANGKANG BUAH KARET (*Hevea brasiliensis*) YANG DIMODIFIKASI DENGAN AGEN MAGNETIT DAN (3-AMINOPROPYL)-TRIETHOXYSILANE (APTES) TERHADAP ADSORPSI METILEN BIRU DAN COOMASSIE BRILLIANT BLUE

Oleh

Jilda Sofiana Dewi

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan dan karakterisasi karbon dari cangkang buah karet (*Hevea brasiliensis*) yang dimodifikasi dengan pelapisan magnetit untuk menghasilkan karbon-magnetit (KM) dan modifikasi dengan silan (3-Aminopropyl)-Triethoxysilane (APTES) untuk menghasilkan karbon-silan (KS) sebagai adsorben zat warna metilen biru dan *Coomassie Brilliant Blue* (CBB). Karakterisasi pada adsorben dilakukan dengan 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. Adsorpsi monokomponen metilen biru dan CBB oleh KM dan KS optimum seluruhnya pada pH 9 dan 5, waktu kontak 30 dan 60 menit dengan konsentrasi maksimum 300 ppm. Data kinetika zat warna metilen biru dan CBB terhadap adsorben KM dan KS cenderung mengikuti model kinetika pseudo orde dua dan isoterm adsorpsi cenderung mengikuti model isoterm Freundlich, kecuali zat warna CBB terhadap KS yang cenderung mengikuti model isoterm Langmuir. Kapasitas adsorpsi karbon dan KM pada sistem bikomponen lebih baik dalam mengadsorpsi metilen biru, sedangkan KS lebih baik dalam mengadsorpsi CBB. Persen desorpsi tertinggi KS terjadi pada eluen etanol 40% yang didominasi oleh ikatan hidrogen. Adsorben KS dapat digunakan berulang hingga 3 kali pengulangan untuk mengadsorpsi CBB yang ditunjukkan dengan hasil persen adsorpsi >70%.

Kata kunci: Adsorpsi, karbon, cangkang buah karet, metilen biru, CBB, magnetit, dan APTES.

ABSTRACT

STUDY COMPARATIVE ADSORBENT OF RUBBER FRUIT (*Hevea brasiliensis*) CARBON MODIFICATION WITH MAGNETITE AND (3-AMINOPROPYL)-TRIETHOXYSILANE (APTES) ADSORPTION ON METHYLENE BLUE AND COOMASSIE BRILLIANT BLU

By

Jilda Sofiana Dewi

In this study, the production and characterization of carbon from rubber fruit peels (*Hevea brasiliensis*) using type coating to produce carbon-magnet (KM) and modification with silane (3-Aminopropyl)-Triethoxysilane (APTES) to produce carbon-silane (KS) as adsorbents for methylene blue and Coomassie Brilliant Blue (CBB) dyes has been successful. Characterization of the adsorbents was carried out using a Fourier Transform Infra Red (FTIR) spectrophotometer to identify functional groups, X-Ray Diffraction (XRD) to identify crystallinity levels and Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX) to determine surface morphology and identify the elemental composition. Monocomponent adsorption of methylene blue and CBB by KM and KS were all optimum at pH 9 and 5, contact time of 30 and 60 minutes with a influence of initial 300 ppm. Kinetic data of methylene blue and CBB dyes on KM and KS adsorbents tended to follow the pseudo-second order kinetic model and adsorption isotherms tended to follow the Freundlich isotherm model, except for CBB dyes to KS which tended to follow the Langmuir isotherm model. The adsorption capacity of carbon and KM in the bicomponent system was better at adsorption of methylene blue, while KS was better at adsorption of CBB. The highest desorption percentage of KS occurred at 40% ethanol eluent which was dominated by hydrogen bonds. KS adsorbent can be used repeatedly up to 3 times to adsorb CBB which is indicated by the result of adsorption percentage >70%.

Keywords: Adsorption, carbon, rubber fruit shell, methylene blue, CBB, magnetite, and APTES.

**STUDI KOMPARASI ADSORBEN DARI KARBON CANGKANG BUAH
KARET (*Hevea brasiliensis*) YANG DIMODIFIKASI DENGAN AGEN
MAGNETIT DAN (3-AMINOPROPYL)-TRIETHOXYSILANE (APTES)
TERHADAP ADSORPSI METILEN BIRU DAN *COOMASSIE
BRILLIANT BLUE***

Oleh

Jilda Sofiana Dewi

Skripsi

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

Pada

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



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi

: Studi Komparasi Adsorben dari Karbon Cangkang Buah Karet (*Hevea brasiliensis*) yang Dimodifikasi dengan Agen Magnetit dan (3-Aminopropyl)-Triethoxysilane (APTES) Terhadap Adsorpsi Metilen Biru dan *Coomassie Brilliant Blue*

Nama

: Jilda Sofiana Dewi

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1817011017

Jurusan

: Kimia

Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Dr. Buhani, M.Si.
NIP. 196904161994032003

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

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

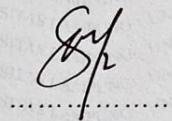
Mulyono, Ph.D.
NIP. 197406112000031002

MENGESAHKAN

1. Tim Pengudi

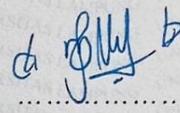
Ketua

: Prof. Dr. Buhani, M.Si.



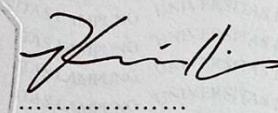
Sekretaris

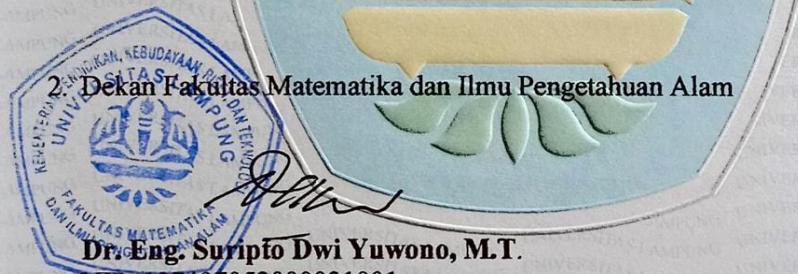
: Dr. Mita Rilyanti, M.Si.



Pengudi
Bukan Pembimbing

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





Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T.
NIP. 197407052000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 05 Juli 2022

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

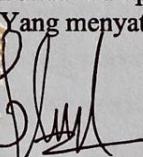
Nama : Jilda Sofiana Dewi
Nomor Pokok Mahasiswa : 1817011017
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul **“Studi Komparasi Adsorben dari Karbon Cangkang Buah Karet (*Hevea brasiliensis*) yang Dimodifikasi dengan Agen Magnetit dan (3-Aminopropyl)-Triethoxysilane (APTES) Terhadap Adsorpsi Metilen Biru dan Coomassie Brilliant Blue”** adalah benar karya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya tidak berkeberatan jika sebagian atau seluruh data dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagai mestinya.

Bandar Lampung, 05 Juli 2022

Yang menyatakan,



Jilda Sofiana Dewi
NPM. 1817011017

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Gedung Wani Timur, pada tanggal 05 Juli 2000, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara yang merupakan putri dari pasangan Bapak Tukino dan Ibu Sri Wahyutik.

Penulis mengawali jenjang pendidikan dari pendidikan sekolah dasar di MI Nurul Falah, Marga Tiga, Lampung Timur hingga tahun 2012. Pendidikan sekolah menengah pertama diselesaikan pada tahun 2015 di MTs Nurul Falah, Marga Tiga, Lampung Timur. Pendidikan sekolah menengah atas diselesaikan di MAN 1 Metro pada tahun 2018 dan pada tahun yang sama penulis diterima sebagai Mahasiswi Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri).

Penulis juga aktif di berbagai bidang organisasi kemahasiswaan sebagai Wakil Presiden UKM-U Sains dan Teknologi Unila kepengurusan tahun 2021. Sekretaris Departemen Dana dan Usaha (Danus) UKM-U Sains dan Teknologi Unila 2020. Anggota Bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK) Himaki (Himpunan Mahasiswa Kimia) FMIPA Unila kepengurusan tahun 2019 dan 2020. Anggota Departemen Pendidikan dan Kepemudaan IKAM-Lamtim (Ikatan Mahasiswa Lampung Timur) kepengurusan tahun 2020. Anggota Departemen Manajemen Sumber Daya IKAM-Lamtim (Ikatan Mahasiswa Lampung Timur) kepengurusan tahun 2019, dan anggota departemen Hubungan Masyarakat UKM-U Sains dan Teknologi Unila tahun 2019. Selain itu juga penulis aktif sebagai volunteer di Scholars for Sumatera yang menjabat sebagai Leader Scholars for Sumatera batch

6 tahun 2022, dan kepala divisi Social Media Analyst batch 5 tahun 2021. Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum kimia dasar tahun 2022 dan kimia anorganik I pada tahun 2021. Selain itu, penulis pernah menjadi pemateri pada beberapa acara, diantaranya pemateri pada acara Virtual – Pengenalan Kehidupan Unit Kegiatan Mahasiswa Saintek (V-PUKMS) tahun 2020, Webinar Road to School IKAM-Lamtim tahun 2021, dan pelatihan kepenulisan dalam Forum Pintar UKM-U Saintek tahun 2022.

Pada tahun 2021 bulan Februari-Maret penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di desa Gedung Wani Timur, Kecamatan Marga Tiga, Kabupaten Lampung Timur. Selain itu, pada bulan Agustus-September penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Balai Penelitian Teknologi Mineral Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (BPTM-LIPI). Kemudian Pada tahun 2022 penulis menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung yang diberi judul “Studi Komparasi Adsorben dari Karbon Cangkang Buah Karet (*Hevea brasiliensis*) yang Dimodifikasi dengan Agen Magnetit dan (3-Aminopropyl)-*Triethoxysilane* (APTES) Terhadap Adsorpsi Metilen Biru dan *Coomassie Brilliant Blue*”.

MOTTO

“Tidak ada kesuksesan yang bisa dicapai seperti membalikkan telapak tangan. Tidak ada keberhasilan tanpa Kerja Keras, Keuletan, Kegigihan, dan Kedisiplinan”
(Chairul Tanjung)

“Barangsiapa senantiasa beristighfar, niscaya Allah menjadikan untuk setiap kesedihannya kelapangan dan untuk setiap kesempitannya jalan keluar, dan akan diberi-Nya rezeki dari arah yang tiada disangka-sangka”
(HR. Abu Daud)

“Dan bahwasannya seorang manusia tiada memperoleh selain apa yang telah diusahakannya”
(Q.S An-Najm: 39)

“Banyak kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah”
(Thomas Alfa Edison)

“...Ingatlah kepadaku, akupun akan ingat kepadamu. Bersyukurlah kepadaku dan janganlah kamu ingkar kepadaku”
(QS. Al-Baqarah: 152)

“Sadari, Lalui, dan Perbaiki. Pada dasarnya manusia adalah pejuang kebaikan hingga akhir pertarungan di dunia, maka jadikan segala sesuatu di dunia untuk beribadah kepada Allah”
(Penulis)



Atas izin dan keridhoan ALLAH SWT yang telah memberikan Rahmat dan Hidayah-Nya serta rasa syukur yang luar biasa.

Ku persembahkan karya sederhanaku ini sebagai wujud cinta, bakti dan sayang ku kepada:

Ibu^{ku}, Ibu^{ku}, Ibu^{ku}
Ibu Sri Wahyutik, wanita tersabar sejagat raya.
Bapak^{kkku}

Bapak Tukino, karena engkau aku belajar hidup tanpa penyesalan.
Semua keberuntungan berasal dari doa-doa kalian bapak ibuku.
Terimakasih. Aku sayang.

Kakak-Kakakku Tersayang
Yesi Andrayani dan Sigit Sudarsono

Terimakasih atas segala dukungan kalian, semua orang pasti iri jika tau seperti apa kalian.
Aku beruntung bukan.

Adik dan Keponakan^{ku} yang Kusayangi
Azzahra Tifa Adelia, Ibnu Mukti Guna Saputra, dan Haidar Reinand Nakifla
Terimakasih atas segalanya, Bismillah semoga Allah permudah langkah kalian kedepannya.

Kepada orang-orang yang telah mendukungku selama ini
Terimakasih. Aku bersyukur.

SANWACANA

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul

Studi Komparasi Adsorben dari Karbon Cangkang Buah Karet (*Hevea brasiliensis*) yang Dimodifikasi dengan Agen Magnetit dan (3-Aminopropyl)-*Triethoxysilane* (APTES) Terhadap Adsorpsi Metilen Biru dan Coomassie Brilliant Blue

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Dalam penulisan skripsi ini tidak lepas dari kesulitan dan rintangan, namun itu semua dapat penulis lalui berkat rahmat dan ridho Allah SWT serta bantuan dan dukungan dari orang-orang terdekat penulis. Jazakumullahu kholir orang-orang baik yang telah bersama-sama dan memberi banyak dukungan bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangannya sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran. Selain itu, penulis berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembacanya. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT
2. Kedua orang tuaku tercinta, kakak dan adikku yang selalu memberikan dukungan baik materi maupun moral, cinta, kasih sayang, dan ketulusan, dalam membekalkanku selama ini, yang tak henti-hentinya memberikan do'a disetiap langkahku. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian yang tidak ternilai harganya, Aamiin.

3. Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si., selaku pembimbing I yang selalu memberikan bimbingan, ilmu, nasihat, semangat, saran, dan motivasi serta kesabaran kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga ibu selalu dalam lindungan ALLAH SWT dan semoga ALLAH membalas semua kebaikan ibu.
4. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si., selaku pembimbing II yang juga selalu memberikan ilmu dan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga ibu sehat selalu dan semoga ALLAH yang membalas semua kebaikan ibu.
5. Ibu Dr. Rinawati, M.Si., Ph.D. selaku Pengaji penelitian yang telah memberikan ilmu, saran, motivasi, nasihat, serta kritik yang membangun kepada penulis sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik. Semoga ibu sehat selalu dan semoga ALLAH yang membalas semua kebaikan ibu.
6. Bapak Drs. R. Supriyanto, M.S. selaku pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan nasihat kepada penulis selama kuliah di jurusan kimia.
7. Bapak Mulyono, Ph.D., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.
8. Bapak Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.
9. Bapak dan Ibu Dosen Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah mendidik, dan memberikan ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat kepada penulis selama menempuh perkuliahan. Semoga Allah SWT yang membalas semua kebaikan bapak dan ibu dosen dan menjadikan pahala jariyah dari ilmu yang semoga bermanfaat bagi lingkungan.
10. Mba Liza Apriliya, S.Si., selaku Laboran Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik yang telah banyak membantu penulis untuk menyediakan alat dan bahan selama penelitian.
11. Seluruh laboran, staff dan karyawan FMIPA Universitas Lampung atas semua bantuannya selama ini.
12. Kepada rekan saya Khairunisa selaku tim penelitian *adsorption* dan juga kepada sahabat-sahabat saya Khoiriyah Dea Setyana, Mega Muryani,

Wulandari, dan Khusnul Khotimah yang telah memberikan dukungan moril kepada saya. Tak lupa juga kepada patner saya terimakasih sudah memberikan dukungan, semangat, nasihat, saran, masukan, dan keceriaan selama penelitian. Semoga selalu diberikan perlindungan dimanapun kalian nantinya.

13. Seluruh teman-teman Kimia Unila Angkatan 2018 yang luar biasa, tanpa kalian kehidupanku sebagai mahasiswi kimia bukan apa-apa. Aku bangga pada kalian, dukungan kalian tak ternilai harganya.
14. Semua pihak yang terlibat dalam penyelesaian skripsi ini, yang tidak bisa disebutkan satu persatu, jazakumullahu kholir atas semua bantuan dan dukungan secara tulus dan ikhlas dalam menyusun skripsi ini.

Akhir kata, penulis memohon maaf apabila skripsi ini masih kurang dari kesempurnaan. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, Juli 2022
Penulis,

Jilda Sofiana Dewi

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Cangkang Buah Karet	5
2.2 Karbon	6
2.3 Adsorpsi.....	8
2.4 Kinetika Adsorpsi.....	11
2.5 Isoterm Adsorpsi	13
2.5.1 Isoterm Adsorpsi Freundlich	13
2.5.2 Isoterm Adsorpsi Langmuir	15
2.5.3 Model Langmuir Multikomponen (Isoterm Biner)	17
2.6 Zat Pewarna.....	18
2.6.1 Metilen Biru	20
2.6.2 Coomassie Brilliant Blue (CBB).....	20
2.7 Penentuan Nilai Zeta Potensial.....	22
2.8 Magnetit.....	23
2.9 Silanisasi.....	24
2.10 (3-Aminopropyl)triethoxysilane (APTES)	26
2.11 Karakterisasi	27
2.11.1 Spektrofotometer UV-Vis	27
2.11.2 X-Ray Diffraction (XRD)	29

2.11.3 <i>Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i>	30
2.11.4 Spektrofotometer <i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i>	31
III. METODE PENELITIAN	32
3.1 Waktu dan Tempat	32
3.2 Alat dan Bahan	32
3.3 Prosedur Penelitian.....	33
3.3.1 Preparasi dan Pembuatan Karbon.....	33
3.3.2 Sintesis Karbon Modifikasi Magnetit	33
3.3.3 Silanisasi Karbon dengan <i>(3-Aminopropyl)triethoxysilane (APTES)</i>	34
3.3.4 Karakterisasi.....	34
3.3.5 Penentuan Nilai Zeta Potensial	34
3.3.6 Uji Adsorpsi Monokomponen.....	34
3.3.7 Uji Adsorpsi Bikomponen.....	36
3.3.8 Mekanisme Adsorpsi.....	36
3.3.9 Uji Penggunaan Ulang Adsorben	37
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 Preparasi dan Pembuatan Karbon.....	38
4.2 Modifikasi Karbon dengan Magnetit dan <i>(3-Aminopropyl)triethoxysilane (APTES)</i>	39
4.3 Karakterisasi	40
4.3.1 Karakterisasi dengan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	40
4.3.2 Karakterisasi dengan Spektrofotometer <i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i>	41
4.3.3 Karakterisasi Adsorben dengan <i>Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i>	42
4.4 Penentuan Nilai Zeta Potensial.....	45
4.5 Uji Adsorpsi Monokomponen	46
4.5.1 Penentuan pH Optimum	46
4.5.2 Penentuan Waktu Kontak Optimum	48
4.5.3 Penentuan Konsentrasi Optimum	52
4.6 Uji Adsorpsi Bikomponen.....	55
4.7 Mekanisme Adsorpsi	58
4.8 Uji Penggunaan Ulang.....	59

V. KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Cangkang buah karet.....	5
2. Struktur metilen biru	20
3. Struktur senyawa <i>coomassie brilliant blue</i>	21
4. Skema silanisasi APTES pada permukaan molekul.....	25
5. Struktur (3-Aminopropyl)-triethoxysilane.....	26
6. Contoh reaksi APTES dengan suatu senyawa pada proses adsorpsi	27
7. Hasil tahap preparasi dan karbonasi (a) cangkang buah karet, (b) karbon cangkang buah karet, (c) karbon cangkang buah karet halus	38
8. Hasil modifikasi (a) adsorben KM dan (b) adsorben KS	39
9. Difraktogram XRD adsorben karbon, KM, dan KS.....	40
10. Spektrum FTIR dari adsorben karbon, KM, dan KS	41
11. Hasil SEM dengan perbesaran 3000x pada adsorben (a) karbon, (b) KM, dan (c) KS.....	43
12. Hasil EDX pada adsorben (a) karbon, (b) KM, dan (c) KS.....	44
13. Kurva nilai pH PZC adsorben karbon, KM, dan KS.....	45
14. Kurva pengaruh pH pada adsorpsi zat warna (a) metilen biru, dan (b) CBB .	47
15. Kurva pengaruh variasi waktu kontak pada adsorpsi zat warna (a) metilen biru (b) CBB	49
16. Kinetika pseudo orde satu pada adsorben karbon, KM, dan KS terhadap zat warna metilen biru dan CBB	50
17. Kinetika pseudo orde dua pada adsorben karbon, KM, dan KS terhadap zat warna metilen biru dan CBB	51
18. Kurva pengaruh konsentrasi pada adsorpsi zat warna (a) metilen biru dan (b) CBB	52
19. Pola isoterm Langmuir adsorben Karbon, KM, dan KS terhadap metilen biru dan CBB	53

20. Pola isoterm Freudlich adsorben karbon, KM, dan KS terhadap metilen biru dan CBB.....	54
21. Kurva pengaruh konsentrasi adsorpsi larutan bikomponen zat warna metilen biru dan CBB pada adsorben (a) karbon, (b) KM, dan (c) KS.....	56
22. Grafik persen desorpsi CBB terhadap adsorben KS.....	58
23. Grafik hasil penggunaan ulang adsorben KS terhadap zat warna CBB.....	59
24. Penentuan panjang gelombang maksimum (a) metilen biru & (b) CBB.....	78
25. Kurva Standar (a) metilen biru, dan (b) CBB untuk variasi pH.....	79
26. Kurva Standar (a) metilen biru, dan (b) CBB untuk variasi waktu.....	82
27. Pola kinetika pseudo orde satu pada adsorben karbon terhadap zat warna metilen biru dan CBB.....	85
28. Pola kinetika pseudo orde satu pada adsorben KM terhadap zat warna metilen biru dan CBB.....	86
29. Pola kinetika pseudo orde satu pada adsorben KS terhadap zat warna metilen biru dan CBB.....	88
30. Pola kinetika pseudo orde dua pada adsorben karbon terhadap zat warna metilen biru dan CBB.....	89
31. Pola kinetika pseudo orde dua pada adsorben KM terhadap zat warna metilen biru dan CBB.....	91
32. Pola kinetika pseudo orde dua pada adsorben KS terhadap zat warna metilen biru dan CBB.....	92
33. Kurva standar (a) metilen biru, dan (b) CBB pada variasi konsentrasi.	94
34. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada adsorben karbon terhadap zat warna metilen biru dan CBB.....	97
35. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada adsorben KM terhadap zat warna metilen biru dan CBB.....	98
36. Pola isoterm adsorpsi Langmuir pada adsorben KS terhadap zat warna metilen biru dan CBB.....	99
37. Pola isoterm adsorpsi Freundlich pada adsorben karbon terhadap zat warna metilen biru dan CBB.....	101
38. Pola isoterm adsorpsi Freundlich pada adsorben KM terhadap zat warna metilen biru dan CBB.....	102
39. Pola isoterm adsorpsi Freundlich pada adsorben KS terhadap zat warna metilen biru dan CBB.....	103
40. Kurva standar bikomponen zat warna (a) metilen biru dan (b) CBB.	105
41. Kurva larutan standar CBB untuk mekanisme adsorpsi.	110
42. Kurva larutan standar CBB untuk uji penggunaan ulang.....	112

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi zat kimia cangkang buah karet.....	6
2. Serapan infra merah gugus fungsi senyawa organik.....	31
3. Parameter kinetika adsorpsi zat warna metilen biru dan CBB terhadap adsorben karbon, KM, dan KS.....	51
4. Parameter isoterm adsorpsi zat warna metilen biru dan CBB terhadap adsorben.....	54
5. Parameter isoterm adsorpsi biner	57
6. Data pH PZC adsorben Karbon, KM, dan KS	77
7. Data absorbansi larutan metilen biru dan CBB untuk variasi pH	79
8. Adsorpsi metilen biru dan CBB pada adsorben karbon dengan variasi pH.....	80
9. Adsorpsi metilen biru dan CBB pada adsorben KM dengan variasi pH.....	80
10. Adsorpsi metilen biru dan CBB pada adsorben KS dengan variasi pH.....	81
11. Data absorbansi larutan metilen biru dan CBB untuk variasi waktu	82
12. Adsorpsi metilen biru dan CBB pada adsorben karbon dengan variasi waktu	83
13. Adsorpsi metilen biru dan CBB pada KM dengan variasi waktu	83
14. Adsorpsi metilen biru dan CBB pada adsorben KS dengan variasi waktu	83
15. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada adsorben karbon terhadap metilen biru.....	84
16. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada adsorben karbon terhadap CBB	84
17. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada adsorben KM terhadap metilen biru.....	86
18. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada adsorben KM terhadap CBB	86
19. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada adsorben KS terhadap metilen biru.....	87
20. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu pada adsorben KS terhadap CBB	87

21. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada adsorben karbon terhadap metilen biru	89
22. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada adsorben karbon terhadap CBB	89
23. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada adsorben KM terhadap metilen biru	90
24. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada adsorben KM terhadap CBB	90
25. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada adsorben KS terhadap metilen biru	92
26. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua pada adsorben KS terhadap CBB	92
27. Data absorbansi larutan metilen biru dan CBB untuk variasi konsentrasi.....	94
28. Adsorpsi zat warna metilen biru pada adsorben dengan variasi konsentrasi.....	95
29. Adsorpsi zat warna CBB pada adsorben dengan variasi konsentrasi	95
30. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi pasangan larutan zat warna metilen biru terhadap adsorben karbon.....	96
31. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi pasangan larutan zat warna CBB terhadap adsorben karbon	96
32. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi pasangan larutan zat warna metilen biru terhadap adsorben KM	97
33. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi pasangan larutan zat warna CBB terhadap adsorben KM	98
34. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi pasangan larutan zat warna metilen biru dan CBB terhadap adsorben KS	99
35. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi pasangan larutan zat warna CBB terhadap adsorben KS	99
36. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi zat warna metilen biru terhadap adsorben karbon	100
37. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi zat warna CBB terhadap adsorben karbon.....	100
38. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi zat warna metilen biru terhadap adsorben KM	101
39. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi zat warna CBB terhadap adsorben KM	102
40. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi zat warna metilen biru terhadap adsorben KS	103
41. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi zat warna CBB terhadap adsorben KS.....	103
42. Data absorbansi larutan metilen biru dan CBB untuk bikomponen.....	105

43. Adsorpsi bikomponen zat warna metilen biru pada adsorben karbon, KM, dan KS	106
44. Adsorpsi bikomponen zat warna CBB pada adsorben karbon, KM, dan KS	106
45. Perhitungan isoterm adsorpsi Langmuir biner adsorben karbon.....	107
46. Data perhitungan SPSS dengan persamaan Langmuir biner terhadap adsorben Karbon.....	107
47. Perhitungan isoterm adsorpsi Langmuir biner adsorben KM	108
48. Data perhitungan SPSS dengan persamaan Langmuir biner terhadap adsorben KM	108
49. Perhitungan isoterm adsorpsi Langmuir biner adsorben KS.....	109
50. Data perhitungan SPSS dengan persamaan Langmuir biner terhadap adsorben KS	109
51. Data absorbansi larutan standar mekanisme adsorpsi.....	110
52. Data perhitungan jumlah CBB yang terdesorpsi pada adsorben KS.....	110
53. Data absorbansi larutan standar uji penggunaan ulang	112
54. Data perhitungan jumlah CBB yang teradsorpsi oleh adsorben KS pada uji penggunaan ulang.....	112

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan lingkungan perairan, seperti air tidak layak konsumsi sudah menjadi hal yang biasa di Indonesia. Permasalahan tersebut dipicu karena pencemaran yang berasal dari akumulasi berbagai macam limbah. Salah satu sektor yang menyumbang limbah di lingkungan perairan adalah sektor industri tekstil. Meskipun industri tekstil termasuk salah satu sektor yang memiliki dampak positif dalam menunjang berkembangnya perekonomian di Indonesia (Hermawan, 2011), namun industri tekstil juga menyumbangkan dampak negatif yang sangat merugikan bagi lingkungan yang disebabkan karena hasil sisa berupa limbah zat warna. Hal tersebut didukung dengan data yang diperkirakan bahwa industri tekstil mengkonsumsi sekitar 60% dari total pewarna yang diproduksi, dan sekitar 10-15% pewarna sisa tersebut keluar sebagai limbah (Çelekli and Bozkurt, 2013).

Zat warna *Coomassie Brilliant Blue* (CBB) termasuk ke dalam salah satu zat warna sintetik anionik yang mengandung senyawa trifenil metana (Ibrahim *et al.*, 2019). Pewarna dari golongan trifenil metana dapat menyebabkan efek mutagenik dan teratogenik pada makhluk hidup (Priya *et al.*, 2018). Selain itu zat warna CBB apabila terlalu lama berada di lingkungan dapat menjadi polutan organik yang beracun dan tidak dapat dikelola (Abdel-Ghani *et al.*, 2017). Setelah senyawa-senyawa dalam zat pewarna tersebut masuk ke dalam lingkungan perairan, maka campuran menjadi lebih stabil dan lebih sulit terurai karena terbentuk struktur kimia yang kompleks. Sementara itu, zat warna metilen biru juga termasuk zat warna yang berbahaya apabila terakumulasi di lingkungan perairan. Hanya sekitar 5% dari metilen biru yang digunakan dalam pewarnaan sedangkan sisanya 95%

akan dibuang ke lingkungan perairan, sehingga dapat mencemari lingkungan. Senyawa ini juga sangat stabil sehingga sulit terdegradasi di alam dan berbahaya bagi lingkungan (Riyanto dan Julianto, 2009).

Para peneliti sudah mengembangkan berbagai metode untuk menangani permasalahan limbah zat pewarna tersebut, diantaranya pemisahan membran, flotasi, adsorpsi, koagulasi kimia atau elektrokimia, pengolahan anaerobik dan proses oksidasi lanjutan (Saleh *and* Gupta, 2012). Namun beberapa metode tersebut masih memiliki banyak kekurangan seperti adanya pembuangan lumpur sisa yang beracun, kebutuhan energi yang tinggi, keterbatasan teknis, dan penghilangan zat warna yang kurang efektif (Çelekli *and* Bozkurt, 2013). Diantara semua metode tersebut, maka adsorpsi merupakan metode yang baik untuk digunakan karena dapat menghasilkan limbah dengan kuantitas zat warna pencemar yang hampir tidak ada, reversibel, adsorbennya dapat digunakan kembali untuk menghemat biaya operasional, dan metode ini juga tidak menimbulkan produk samping yang berbahaya bagi lingkungan (Buhani *et al.*, 2019). Metode adsorpsi adalah suatu proses pengolahan air limbah fisikokimia di mana molekul terlarut melekat pada permukaan adsorben oleh kekuatan fisik atau kimia (Choy *et al.*, 2000).

Beberapa syarat suatu adsorben layak untuk digunakan diantaranya memiliki luas permukaan spesifik dan besar, kapasitas adsorpsi yang tinggi, dapat digunakan kembali untuk adsorpsi berkelanjutan, serta memiliki selektivitas yang baik terhadap senyawa yang akan dipisahkan (Buhani *et al.*, 2019). Karbon secara alami merupakan salah satu adsorben yang baik untuk menghilangkan polutan dari zat warna. Karbon dapat dibuat dari tumbuhan yang mengandung lignin, misalnya cangkang buah karet. Cangkang buah karet juga belum termanfaatkan secara optimal, bahkan terkadang menjadi suatu limbah sebesar 500 kg/Ha/tahun. Padahal cangkang buah karet tersebut memiliki potensi lebih untuk diolah menjadi suatu produk yang bermanfaat. Menurut Ikhwanuddin (2018), kandungan lignin yang terdapat pada cangkang buah karet yaitu sebesar 33,54 %. Oleh sebab itu cangkang buah karet sangat berpotensi untuk diolah menjadi karbon dengan

daya serap yang tinggi sehingga dapat mengurangi potensinya sebagai limbah di lingkungan (Meilanti, 2018).

Namun, kemampuan karbon yang baik dalam mengikat senyawa zat warna tersebut dibatasi oleh beberapa kekurangan seperti kurang efektifnya proses pemisahan adsorben dengan filtrat pada proses filtrasi dan lamanya waktu sentrifugasi dalam proses adsorpsi (Rocha *et al.*, 2020). Hal ini disebabkan oleh berat molekul yang ringan dan ukuran partikel kecil yang menyebabkan adsorben dengan filtrat sulit dipisahkan serta adsorben berkurang secara signifikan pada proses filtrasi sehingga diperlukan modifikasi karbon lebih lanjut. Modifikasi karbon dapat dilakukan dengan menggunakan pelapisan magnetit sebagai alternatif untuk mengatasi kelemahan tersebut (Buhani *et al.*, 2019). Pelapisan ini menghasilkan karbon magnetit yang memiliki sifat magnet dan berat molekul menjadi lebih besar dibandingkan dengan karbon biasa sehingga proses pemisahan adsorben dengan filtrat akan lebih mudah dilakukan (Buhani *et al.*, 2013).

Selain dimodifikasi menggunakan suatu magnetit, karbon dapat juga dimodifikasi melalui proses silanisasi menggunakan suatu organosilan (*3-Aminopropyl triethoxysilane* (APTES) (Wong *et al.*, 2015). Organosilan memiliki sifat sebagai agen penggandeng karena memiliki dua gugus aktif yang berbeda sehingga mampu membentuk ikatan kimia antara material organik dan anorganik (Huang and Hu, 2008). APTES tersebut mampu membentuk gugus silanol dan siloksan yang diharapkan dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon terhadap metilen biru dan CBB (Liu *et al.*, 2013).

Berdasarkan uraian di atas, pada penelitian ini telah dilakukan modifikasi karbon dari cangkang karet dengan metode magnetit dan silanisasi menggunakan APTES untuk mengetahui karakteristik dari adsorpsi zat warna CBB dan metilen biru. Kemudian adsorben karbon yang telah termodifikasi tersebut dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui kapasitas adsorpsi dari karbon cangkang buah karet termodifikasi, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk

mengetahui tingkat kristalinitas karbon, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi dalam karbon, dan *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi permukaan adsorben dan komposisi yang terkandung dalam adsorben tersebut.

1.2 Tujuan Penelitian

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

1. Mempelajari cara memodifikasi karbon dari cangkang buah karet dengan proses magnetit dan silanisasi APTES, serta karakterisasi karbon hasil modifikasi.
2. Menentukan pH, waktu kontak, dan konsentrasi optimum dari adsorben karbon cangkang buah karet termodifikasi untuk mengadsorpsi CBB dan metilen biru.
3. Menentukan model kinetika adsorpsi dan isoterm adsorpsi zat warna metilen biru dan CBB oleh adsorben karbon cangkang buah karet termodifikasi.
4. Mengetahui kemampuan adsorpsi karbon cangkang buah karet termodifikasi silan APTES terhadap larutan bikomponen zat warna metilen biru dan CBB.
5. Mengetahui mekanisme adsorpsi dan kemampuan penggunaan ulang adsorben karbon cangkang buah karet termodifikasi silan APTES terhadap zat warna CBB.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu untuk memberikan informasi mengenai proses dan hasil modifikasi dari cangkang buah karet dengan metode magnetit dan silanisasi APTES terhadap adsorbat zat warna CBB dan metilen biru untuk mengatasi pencemaran lingkungan dan mengetahui karakteristik dari adsorpsi CBB dan metilen biru dengan adsorben karbon termodifikasi.

II. TINJUAN PUSTAKA

2.1 Cangkang Buah Karet

Tanaman karet (*Hevea brasiliensis*), merupakan tanaman yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan utama untuk membuat lateks. Namun pemanfaatan tanaman ini hanya berfokus pada getahnya saja, sedangkan untuk buah dan cangkangnya belum dimanfaatkan secara optimal bahkan kadangkala menjadi suatu limbah yang tidak memiliki nilai jual. Apabila dibandingkan dengan kayu, cangkang buah karet memiliki struktur yang sangat keras juga memiliki kandungan senyawa aromatik dan mengandung senyawa asam yang lebih banyak. Cangkang buah karet memiliki beberapa kandungan berupa selulosa sebesar 61,04%, hemiselulosa sebesar 18,00% (Fadillah *and* Alfiarty, 2015), dan lignin sebesar 33,54% (Ikhwanuddin, 2018). Lignin dan selulosa adalah senyawa organik yang termasuk dalam golongan senyawa polisakarida yang memiliki gugus –OH sehingga dapat digunakan sebagai karbon (Murtono *and* Iriany, 2017). Kandungan lignin yang tinggi tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku karbon (Agustina *et al.*, 2017). Gambar cangkang buah karet ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Cangkang buah karet

Tanaman karet dapat diklasifikasikan dalam kelas dicotyledoneae yang dirincikan sebagai berikut:

Kingdom	:	Plantae
Divisio	:	Spermatophyta
Sub Divisi	:	Angiospermae
Kelas	:	Dicotyledonae
Ordo	:	Euphorbiales
Famili	:	Euphorbiaceae
Sub Famili	:	Mimosoideae
Genus	:	Hevea
Spesies	:	<i>Hevea brasiliensis</i>

Berbagai komposisi zat kimia yang terkandung dalam cangkang buah karet disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi zat kimia cangkang buah karet

Komposisi Penyusun	Persentase (%)
Selulosa	48,64
Lignin	33,54
Pentosan	16,81
Kadar Silika	0,52
Kadar Air	14,30
Kadar Abu	0,10
Serat dan berbagai senyawa karbon	85,60

(Ikhwanuddin, 2018).

2.2 Karbon

Karbon adalah suatu padatan berpori yang mengandung karbon sekitar 85%-95%. Karbon tersebut memiliki struktur internal pori yang baik. Karbon memiliki luas permukaan yang tinggi, dapat terdiri dari mikro, meso, dan makro-pori, serta terdapat gugus fungsi pada permukaannya (Danish and Ahmad, 2018). Karbon banyak digunakan sebagai adsorben karena memiliki kemampuan adsorpsi yang

baik (Buhani *et al.*, 2018), permukaan yang besar, mudah diaplikasikan, dan biaya yang relatif murah (Gong *et al.*, 2016). Penggunaan karbon sebagai adsorben dilakukan dengan mempertimbangkan kebijakan penerapan konsep *zero waste* yaitu pemanfaatan limbah agro industri untuk mengurangi limbah bahan kimia beracun (Ozbay *and* Yargic, 2015).

Karbon (Ayrancı *and* Duman, 2009), lempung (Duman *et al.*, 2015), dan karbon nanotube (Duman *et al.*, 2016) termasuk jenis adsorben yang berhasil digunakan untuk menghilangkan pewarna pada larutan berair. Adsorben karbon memiliki luas permukaan yang spesifik sehingga menjadi alternatif bahan yang paling banyak digunakan untuk proses adsorpsi dalam sistem pengolahan air limbah industri (Singh *and* Balomajumder, 2016). Akan tetapi, seiring dengan bertambahnya jumlah dan jenis limbah yang terdapat di lingkungan, maka perlu juga dilakukan peningkatan kualitas karbon yang memiliki karakter lebih spesifik agar efektif digunakan sebagai adsorben (Buhani *et al.*, 2019). Karbon memiliki keunggulan sebagai adsorben dalam banyak aspek, namun memiliki keterbatasan regenerasi untuk penggunaan berulang, keterbatasan dalam pemisahan produk samping yang tersisa (Calvete *et al.*, 2010), serta waktu sentrifugasi dalam proses adsorpsi yang memakan waktu karena mberat molekul karbon yang ringan (Buhani *et al.*, 2019).

Senyawa yang mudah terserap karbon umumnya memiliki nilai kelarutan yang lebih kecil daripada karbon. Senyawa tersebut dapat masuk ke dalam pori-pori karbon dan terakumulasi di dalamnya, apabila kontaminan terlarut di dalam air dan ukuran pori kontaminan lebih kecil dibandingkan dengan ukuran pori karbon. Karbon baik dalam bentuk bubuk atau butiran merupakan adsorben yang paling efisien digunakan untuk menghilangkan zat warna. Namun, karbon yang tersedia secara komersial saat ini masih termasuk jenis bahan yang mahal di berbagai negara karena penggunaan bahan awal yang tidak terbarukan dan relatif mahal seperti batu bara. Hal tersebut menjadikan berbagai inovasi terkait karbon dari sumber alam seperti produk sisa sampingan industri berupa bunga jantan pohon

kelapa, kulit aprikot, serbuk gergaji kayu karet, serat goni, tongkol jagung, serat kelapa sawit, bambu, dan cangkang buah karet (Khuluk *et al.*, 2019).

Karbon memiliki banyak kegunaan atau manfaat lain selain sebagai adsorben seperti katalis, *decolorizing*, dan pemurnian air (Firman *et al.*, 2018). Pembuatan karbon menggunakan bahan baku limbah cangkang buah karet dengan memvariasikan temperatur karbonisasi diperoleh kualitas karbon terbaik dicapai pada suhu *furnace* 600°C dimana kadar air 1,58%, kadar abu 4,59%, kadar zat volatil 20,31%, penyerapan iodin sebesar 500,62 mg/g dan penyerapan metilen biru sebesar 14,13 mg/g (Desi *et al.*, 2015). Pembuatan karbon terdiri dari beberapa langkah mulai dari pemilihan bahan dasar, dehidrasi, karbonisasi, hingga aktivasi (Pujiyanto, 2010).

2.3 Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu proses yang menunjukkan kemampuan adsorbat untuk menempel pada bahan penjerap (Murtono *and* Iriany, 2017). Adsorpsi terjadi karena adanya gaya tarik-menarik antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Partikel yang terperangkap ke dalam adsorben seolah-olah menjadi bagian dari keseluruhan adsorben tersebut. Adsorpsi pada umumnya diterapkan pada proses pemisahan polutan terlarut atau untuk memisahkan senyawa organik dari limbah dan untuk mengambil kembali bahan yang memiliki nilai lebih namun berjumlah sedikit pada suatu campuran (Igwe *and* Abia, 2006). Mekanisme proses adsorpsi dapat digambarkan sebagai proses dimana molekul meninggalkan larutan dan menempel pada permukaan zat adsorben secara kimia maupun fisika. Adsorpsi adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida baik cairan maupun gas terikat pada permukaan padatan dan akhirnya membentuk suatu lapisan pada permukaan padatan tersebut.

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 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).

Beberapa faktor yang mempengaruhi daya serap adsorpsi, diantaranya sebagai berikut (Arif, 2014):

a. Sifat Adsorben

Karbon merupakan adsorben yang berpori yang terdiri dari unsur karbon bebas dan berikatan secara kovalen serta bersifat non polar pada permukaannya. Sifat adsorben yang mempengaruhi daya serap adsorpsi diantaranya adalah jenis, luas permukaan, dan kemurnian adsorben. Jenis adsorben ini sesuai dengan sifat kepolaran dari adsorben dan adsorbatnya. Adsorben polar cenderung lebih kuat menyerap adsorbat yang polar dibanding adsorbat non polar. Begitu pula sebaliknya, adsorben non polar cenderung lebih kuat menyerap adsorbat non polar. Selain itu struktur pori berhubungan dengan luas permukaan, dimana semakin kecil pori-pori karbon maka luas permukaan semakin besar sehingga kecepatan adsorpsi akan bertambah. Selain itu juga untuk kemurnian adsorben buatan pada umumnya lebih tinggi dibanding dengan adsorben alam.

Kemurnian adsorben buatan tersebut dapat ditingkatkan melalui proses aktivasi, semakin murni adsorben maka akan semakin baik pula sifat adsorpsinya.

b. Sifat adsorbat

Sifat adsorbat yang dimaksud adalah ukuran dan konsentrasi dari adsorbat. Semakin besar ukuran adsorbat, maka kecepatan adsorpsi akan menurun.

Selain itu juga, kenaikan konsentrasi adsorbat juga akan meningkatkan kemampuan adsorpsinya. Konsentrasi adsorbat yang tinggi akan menghasilkan daya dorong yang tinggi bagi molekul adsorbat untuk masuk ke dalam situs aktif adsorben. Adsorpsi akan tetap jika terjadi kesetimbangan antara konsentrasi adsorbat yang diserap dengan konsentrasi adsorben yang tersisa dalam larutan. Adsorpsi juga dipengaruhi oleh gugus fungsi, posisi gugus fungsi, ikatan rangkap, struktur rantai dari senyawa yang diserap.

c. pH (Derajat Keasaman)

Pada asam organik adsorpsi akan meningkat bila pH diturunkan yaitu dengan penambahan asam mineral, hal ini disebabkan karena kemampuan asam mineral untuk mengurangi ionisasi asam organik tersebut, sedangkan bila pH asam organik dinaikkan dengan penambahan alkali maka adsorpsi akan berkurang dan akibatnya akan terbentuk garam. Pada umumnya adsorpsi bertambah pada kisaran pH dimana suatu senyawa organik bermuatan netral.

d. Waktu Kontak

Apabila karbon ditambahkan dalam suatu cairan maka akan dibutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan, dimana waktu yang dibutuhkan berbanding terbalik dengan jumlah karbon yang digunakan. Di samping itu pengadukan juga dapat mempengaruhi waktu kontak karena pengadukan ini dimaksudkan untuk dapat memberi kesempatan pada partikel karbon untuk bersentuhan dengan senyawa yang diserap.

e. Suhu

Reaksi pada adsorpsi biasanya terjadi secara eksotermis. Kecepatan adsorpsi akan naik pada suhu yang lebih rendah dan akan turun pada suhu yang lebih tinggi. Pada senyawa volatil, adsorpsi dilakukan pada suhu kamar bahkan bila memungkinkan pada suhu yang lebih kecil.

Adsorben yang efektif untuk adsorpsi adalah adsorben yang memiliki kecepatan dan kapasitas adsorpsi yang besar, stabilitas kimia, ramah lingkungan, tidak larut dalam air dan pelarut organik (Buhani *et al.*, 2017), memiliki luas permukaan spesifik yang besar, selektivitas terhadap logam yang akan dipisahkan, dan dapat digunakan berulang kali (Buhani *et al.*, 2012).

Proses adsorpsi pada umumnya dapat dibagi menjadi 2 yaitu:

a. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi fisika merupakan proses penyerapan dimana daya tarik gaya Van Der Waals atau gaya tarik yang lemah dengan molekul menarik bahan terlarut dari larutan adsorbat ke dalam permukaan adsorben sehingga molekul yang teradsorpsi bebas bergerak di sekitar permukaan adsorben dan tidak hanya menetap dengan adsorben itu (Widayatno dkk., 2017).

b. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia merupakan penyerapan yang bersifat spesifik dan melibatkan gaya yang jauh lebih besar daripada penyerapan fisika, dimana ikatan adsorbat biasanya terjadi tidak lebih dari satu lapisan. Pada umumnya bahan yang teradsorpsi membentuk lapisan di atas permukaan berupa molekul-molekul yang tidak bebas bergerak dari satu permukaan ke permukaan lainnya sehingga menyebabkan terbentuknya suatu lapisan pada permukaan adsorben yang memiliki sifat kimia lain sebagai akibat adanya reaksi adsorbat dengan adsorben. Ikatan yang terbentuk antara adsorben dan adsorbat adalah ikatan kovalen sehingga sangat sulit untuk dilepaskan kembali (*irreversible*) karena ikatan yang terjadi sangat kuat (Prabowo A. L., 2009).

2.4 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi adalah suatu kajian yang digunakan untuk mengetahui kecepatan suatu reaksi. Laju reaksi didefinisikan sebagai perubahan konsentrasi reaktan atau produk setiap perubahan waktu pada persamaan reaksi yang setimbang (Chang, 2005). Laju reaksi bergantung pada konsentrasi reaktan, tekanan, dan pengaruh katalis (Oxtoby, 2003). Kinetika adsorpsi menyatakan tingkat kecepatan penyerapan yang terjadi pada adsorben terhadap adsorbat. Mekanisme adsorpsi dan konstanta kecepatan reaksi adsorpsi kimia pada zat warna metilen biru dan CBB dapat diketahui menggunakan persamaan sistem pseudo orde pertama oleh Lagergren dan sistem pseudo orde kedua (Buhani *et al.*, 2010).

Mekanisme adsorpsi dapat diketahui dengan menggunakan sistem persamaan pseudo orde pertama oleh Lagergren dan mekanisme pseudo orde kedua (Buhani *et al.*, 2013; Buhani *et al.*, 2015; Buhani *et al.*, 2017). Adapun persamaan pseudo orde satu yang digunakan untuk mengambarkan adsorpsi dapat ditentukan dengan Persamaan 1.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (1)$$

Dimana :

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

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

t = Waktu (Menit)

k_1 = Konstanta laju pseudo orde pertama (Menit⁻¹)

Dari persamaan (1) dapat diintegrasikan dengan memakai kondisi batas seperti $q_t = 0$ pada $t = 0$, kemudian $q_t = q_e$ pada $t = t$, sehingga persamaan diturunkan menjadi Persamaan 2.

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2)$$

Sehingga persamaan pseudo orde dua ditentukan dengan Persamaan 3.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (3)$$

Dimana k_2 adalah konstanta laju pseudo orde kedua (g/mg.Menit).

Setelah integrasi dengan memakai kondisi batas seperti $q_t = 0$ pada $t = 0$, kemudian $q_t = q_e$ pada $t = t$, maka diperoleh Persamaan 4.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (4)$$

Pada kondisi $t = 0$, untuk menghitung laju penyerapan awal, h (mg/g.menit) dapat ditentukan menggunakan Persamaan 5 (Ho *and* Mc Kay, 1998).

$$h = k_2 q_e^2 \quad (5)$$

Dimana h adalah laju adsorpsi awal (mg/g.menit).

2.5 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).

Pengujian kinerja karbon sebagai adsorben dalam adsorpsi limbah zat warna biner dengan karbon dilakukan untuk menentukan parameter kinetika dan isoterm adsorpsi. Adapun persamaan kinetika yang umum digunakan adalah kinetika orde satu, orde dua dan interpartikel. Persamaan isoterm multi komponen yang umum digunakan adalah *Extended Langmuir*, *Modified Extended Langmuir*, Faktor P dan Faktor Interaksi. Berdasarkan parameter tersebut dapat diperoleh kinerja adsorpsi karbon terhadap waktu maupun kinerja maksimum karbon (Hotasi dkk., 2018). Adsorpsi fase cair-padat pada umumnya mengikuti tipe isoterm Freundlich dan Langmuir.

2.5.1 Isoterm Adsorpsi Freundlich

Pendekatan isoterm adsorpsi yang umum digunakan dijelaskan oleh Freundlich, jika y 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.

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

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

Dimana:

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 didasarkan pada pendapat bahwa adsorben memiliki permukaan heterogen dan tiap molekul mempunyai potensi penyerapan yang berbeda-beda serta pendapat bahwa adsorpsi terjadi secara multilayer pada permukaan adsorben sehingga persamaan isoterm Freundlich sering digunakan dalam penetapan praktis karena umumnya memberikan korelasi yang memuaskan (Langenati *et al.*, 2012). Model isoterm Freundlich menjelaskan bahwa proses adsorpsi pada bagian permukaan yaitu heterogen, dimana tidak semua permukaan adsorben mempunyai daya adsorpsi. Model isoterm adsorpsi Freundlich dapat dihitung menggunakan Persamaan 8.

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

Dimana:

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

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

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

n = Faktor intensitas Freundlich (mol/g)

(Buhani *et al.*, 2017; Kausar *et al.*, 2020).

Konstanta Freundlich k_F dapat diperoleh dari kemiringan garis lurusnya dan $1/n$ merupakan harga slop. Apabila nilai n diketahui maka k_F dapat dicari, semakin

besar harga k_F maka daya adsorpsi akan semakin baik dan dari harga k_F yang diperoleh maka energi adsorpsi akan dapat dihitung (Rousseu, 1987).

Selain itu, untuk menentukan jumlah adsorbat yang teradsorpsi dan rasio distribusi pada proses adsorpsi terhadap adsorben karbon aktif 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)

C_0 = Konsentrasi awal adsorbat sebelum teradsorpsi (mg/L)

C_e = 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)

2.5.2 Isoterm Adsorpsi Langmuir

Pada tahun 1918, Langmuir menurunkan teori isoterm adsorpsi dengan menggunakan model sederhana berupa padatan yang mengadsorpsi gas pada permukaannya. Model ini mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (monolayer) adsorbat di permukaan adsorben. Isoterm Langmuir merupakan proses adsorpsi yang berlangsung secara kemisorpsi satu lapisan. Kemisorpsi adalah adsorpsi yang terjadi melalui ikatan kimia yang sangat kuat antara bagian aktif permukaan dengan molekul adsorbat dan dipengaruhi oleh densitas elektron. Adsorpsi satu lapisan terjadi karena empat ikatan kimia biasanya bersifat spesifik, sehingga permukaan adsorben dapat mengikat adsorbat dengan ikatan kimia (Handayani dan Sulistyono, 2009).

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). Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dapat diturunkan secara teoritis 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.

$$\frac{C}{n} = \frac{1}{nmK} + \frac{C}{nm} \quad (11)$$

Dimana

n = Jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben pada konsentrasi awal

(mg g⁻¹)

C = Konsentrasi adsorbat saat kesetimbangan (mg L⁻¹),

nm = Jumlah adsorbat yang teradsorpsi pada keadaan jenuh (kapasitas adsorpsi (mg g⁻¹))

K = konstanta kesetimbangan (afinitas adsorpsi) (L mol⁻¹)

Energi adsorpsi adalah energi yang dihasilkan apabila satu mol zat teradsorpsi dalam adsorben dan jumlahnya ekuivalen dengan nilai negatif dari perubahan energi Gibbs standar (ΔG°) yang dapat dihitung melalui Persamaan 12.

$$E_{ads} = -\Delta G^{\circ}_{ads} = R T \ln K \quad (12)$$

Dimana :

R = Tetapan gas umum (8,314 J mol⁻¹)

T = Temperatur (K)

K = Konstanta kesetimbangan adsorpsi yang diperoleh dari persamaan

Langmuir

2.5.3 Model Langmuir Multikomponen (Isoterm Biner)

Model Langmuir multi-komponen adalah yang paling sering digunakan untuk menyesuaikan data biosorpsi biner. Ekspresi tematik yang merepresentasikan model isoterm Langmuir untuk campuran biner dapat ditulis sesuai dengan Persamaan 13.

$$q_1^* = \frac{q_m C_1 b_1}{1 + b_1 C_1^* + b_2 C_2^*} \quad (13)$$

Dimana q_m adalah konstanta Langmuir yang berhubungan dengan kapasitas adsorpsi, b_1 dan b_2 adalah konstanta isoterm biner Langmuir.

Persamaan tersebut kemudian dikembangkan lebih lanjut untuk menggambarkan penghambatan non-kompetitif selama studi kinetik enzimatik. Model ini ditulis sesuai dengan Persamaan 14 (Chong and Volesky, 1995).

$$q_1^* = \frac{q_m C_1 [1 + (\frac{k}{b_1}) C_2^*]}{1 + b_1 C_2^* + 2K C_1^* C_2^*} \quad (14)$$

dimana q_m , b_1 , b_2 dan K adalah konstanta model.

Model modifikasi dari isoterm Langmuir dapat digunakan untuk merepresentasikan data kesetimbangan biosorpsi dalam campuran biner. Model ini telah dikembangkan melalui penggabungan parameter baru dengan model asli dari isoterm Langmuir. Persamaan 14 kemudian digabungkan dengan konstanta baru (k_1 , k_2) dalam bentuk eksponensial ke dalam bentuk penyebut konsentrasi isoterm Langmuir, sehingga dapat dicapai Persamaan 15.

$$q_1^* = \frac{q_m C_1^* b_1^*}{1 + b_1 (C_1^*)^{k_1} + b_2 (C_2^*)^{k_2}} \quad (15)$$

Menambahkan konstanta (k_1 , k_2) dalam bentuk eksponensial ke pembilang dan penyebut isoterm Langmuir konsentrasi, isoterm Langmuir-Freundlich diperoleh, yang dapat diwakili oleh Persamaan 16.

$$q_1^* = \frac{q_m(C_1^*)^{k_1} b_1^*}{1 + b_1(C_1^*)^{k_1} + b_2(C_2^*)^{k_2}} \quad (16)$$

Sag and Kutsal telah menggunakan model Freundlich empiris untuk menggambarkan kesetimbangan biosorpsi dalam sistem biner, yang persamaan matematisnya dapat ditulis sesuai dengan Persamaan 17 dan 18.

$$q_1^* = \frac{q_m(C_1^*)^{n_1 + a_{11}}}{(C_1^*)^{a_{11}} + a_{12}(C_2^*)^{a_{12}}} \quad (17)$$

$$q_2^* = \frac{a_2(C_2^*)^{n_2 + a_{22}}}{a_{21}(C_1^*)^{a_{21}} + (C_2^*)^{a_{22}}} \quad (18)$$

Dimana (a_1 , n_1) dan (a_2 , n_2) adalah konstanta isoterm Freundlich yang diperoleh dari data kesetimbangan komponen individu. Konstanta lain ditentukan menggunakan data kesetimbangan biner.

2.6 Zat Pewarna

Zat pewarna banyak digunakan dalam industri tekstil, namun banyak dari zat pewarna tersebut yang bermuara menjadi limbah. Ada lebih dari 100.000 pewarna yang terdapat secara komersial dengan lebih dari 7×10^5 ton pewarna diproduksi setiap tahun. Sekitar 2% zat pewarna yang telah diproduksi per tahunnya dibuang dalam limbah dari operasi manufaktur (Robinson *et al.*, 2001). Limbah zat pewarna dapat menyebabkan masalah berupa efek akut dan/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).

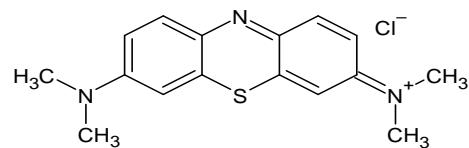
Zat warna yang lebih banyak menjadi polutan organik adalah zat warna sintetis bila dibandingkan dari zat warna alami. Zat warna sintetis banyak digunakan secara luas di berbagai dunia industri, seperti industri kertas, tekstil, dan percetakan. Zat pewarna biasanya memiliki asal sintetik dan struktur molekul aromatik kompleks yang membuatnya lebih stabil dan lebih sulit untuk terurai. Pewarna diklasifikasikan sebagai pewarna anionik, kationik, dan non ionik. Pada pewarna anionik biasanya digunakan dalam pewarna langsung, asam, dan reaktif. Pewarna kationik pada umumnya digunakan sebagai pewarna dasar dan pewarna non-ionik digunakan sebagai pewarna dispersi (Fu and Viraraghavan, 2001). Senyawa yang terdapat dalam zat pewarna anionik dan non-ionik sebagian besar mengandung senyawa azo atau jenis antrakuinon. Senyawa azo dapat membentuk amida beracun dalam limbah, sedangkan antrakuinon lebih sulit terdegradasi karena strukturnya aromatik sehingga berwarna untuk waktu yang lebih lama dalam air limbah (Aksu, 2005). Selain itu juga ada struktur kimia penyusun zat warna yang lainnya, diantaranya zat warna nitroso, stilben, nitro, trifenil metana, difenil metana, indigoida, akridin, kinolin, indofenol, aminokinon, dan anin (Kiswanto dkk., 2019).

Pewarna sintetik banyak digunakan pada industri tekstil karena memiliki ketahanan air yang baik, warna cerah, aplikasinya sederhana, dan konsumsi energi yang rendah. Pewarna dasar memiliki kecemerlangan dan intensitas warna yang tinggi serta sangat terlihat bahkan dalam konsentrasi yang sangat rendah (Chu and Chen, 2002). Sebagian besar pewarna komersial berasal dari sintetis memiliki struktur kompleks aromatik yang membuatnya stabil terhadap fotodegradasi dan oksidasi. Hal tersebut menjadikan zat warna sintetik tersebut sulit dihilangkan dari air limbah apabila menggunakan teknik konvensional (Das *et al.*, 2006). Sehingga air limbah pewarna biasanya diolah dengan proses pengolahan fisik atau kimia karena lebih efisien, contohnya koagulasi kimia/flokulasi, ozonasi, oksidasi, pertukaran ion, iradiasi, presipitasi, dan adsorpsi (Otero *et al.*, 2003).

2.6.1 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).

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). Zat pewarna metilen biru termasuk salah satu zat pewarna kationik dengan struktur kimia yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur metilen biru (Hegyesi *et al.*, 2017).

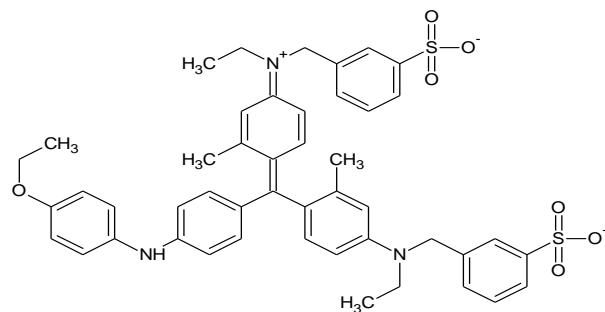
2.6.2 Coomassie Brilliant Blue (CBB)

Zat warna CBB termasuk kedalam salah satu zat warna sintetik anionik yang mengandung gugus trifenil metana dan digunakan secara luas untuk elektroforesis dan penentuan kadar protein (Lu *et al.*, 2007). CBB dibagi menjadi dua jenis, yaitu CBB R-250 dan CBB G-250 di mana R mengacu pada warna kemerahan produk sedangkan G mengacu pada warna kehijauan pewarna. Perbedaan lain antara kedua jenis CBB tersebut juga terletak pada gugus metil tambahan. CBB

G-250 memiliki rumus molekul $C_{47}H_{48}N_3O_7S_2^-$ (Ibrahim *et al.*, 2019), sedangkan CBB R-250 memiliki rumus molekul $C_{45}H_{44}N_3O_7S_2^-$ (Abdel-Ghani *et al.*, 2017). Penggunaan zat warna sintetis memiliki sifat yang lebih stabil dibandingkan pewarna alami, mudah memperolehnya, dan harga yang relatif murah (Beldean-Galea *et al.*, 2018). Kemampuan penyerapan kain terhadap pewarna ini berkisar antara 50-80% dan sisanya akan hilang dalam proses pencucian (Abdel-Ghani *et al.*, 2019). Zat warna ini banyak digunakan pada proses pewarnaan protein, industri tekstil, dan laboratorium biomedis (Bhavyasree and Xavier, 2021).

Zat pewarna CBB mengandung senyawa trifenil metana yang apabila terlalu lama berada di lingkungan dapat menjadi sumber penyakit karena sifatnya yang karsinogenik dan mutagenik (Priya *et al.*, 2018). CBB juga diklasifikasikan dalam jenis senyawa non-azo (Sales *et al.*, 2013). Trifenil metana dapat menjadi sumber penyakit karena sangat sulit terdegradasi di lingkungan akuatik, apabila zat tersebut terdegradasi maka membutuhkan waktu yang sangat lama. Setelah senyawa-senyawa dalam zat pewarna tersebut masuk ke dalam lingkungan perairan, maka campuran menjadi lebih stabil dan lebih sulit terurai karena terbentuk struktur kimia yang lebih kompleks. Keberadaan zat warna dalam perairan juga dapat mengurangi serapan cahaya matahari sehingga dapat mengganggu proses fotosintesis tanaman yang menyebabkan berkurangnya kadar oksigen dalam air. Oleh karena itu jumlah zat pewarna CBB di perairan perlu dikurangi (Wang *et al.*, 2012).

Struktur senyawa zat pewarna CBB ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur senyawa *coomassie brilliant blue* (Chetankumar *et al.*, 2021).

2.7 Penentuan Nilai Zeta Potensial

Nilai zeta potensial menunjukkan muatan permukaan (*surface charge*) suatu partikel yang berkaitan dengan prediksi morfologi permukaan partikel dan kestabilan suatu larutan (Aji *et al.*, 2007). Nilai zeta potensial menunjukkan tingkat tolak menolak dan agregasi antara partikel yang disebabkan karena muatan partikel yang sama dan saling berdekatan. 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 (Prasetyowati *et al.*, 2018).

Nilai zeta potensial merupakan parameter penting untuk mengetahui kestabilan dispersi partikel dalam suatu suspensi. Suspensi yang stabil ditunjukkan oleh nilai zeta potensial yang besar, menunjukkan adanya gaya tolak menolak yang besar antara partikel yang satu dengan yang lainnya dalam suatu sistem suspensi. Nilai zeta potensial yang tinggi juga menunjukkan kapasitas dispersi yang tinggi. Sebaliknya, ketika nilai zeta potensial rendah maka daya tarik menarik muatan antar partikel dispersi melebihi daya tolak menolaknya hingga terjadi flokulasi. Flokulasi terjadi dalam medium polar yang memiliki sifat hidrofilik, sehingga menyebabkan ikatan koloid dengan air menjadi lebih kuat yang menyebabkan koloid sulit dipisahkan dengan air. Koloid-koloid bermuatan tak sejenis saling tarik menarik melebihi daya tolak menolaknya

Nilai zeta potensial dapat ditentukan melalui Persamaan 19 (Ai *et al.*, 2011).

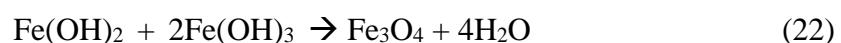
$$\Delta pH = pH_{awal} - pH_{akhir} \quad (19)$$

Nilai zeta potensial juga dapat digunakan untuk memperhitungkan besar energi untuk menyatukan partikel pulp tersebut. Terjadinya flokulasi menunjukkan

potensi perubahan nilai zeta potensial yang rendah, dan kemungkinan tak ada kelebihan muatan di permukaan. Dalam pengolahan limbah pabrik dari kimia, dengan melakukan pengukuran potensial zeta terhadap aliran buangan akan membuat kondisi pengolahan limbah menjadi lebih optimal (Ravikumar *et al.*, 2012).

2.8 Magnetit

Magnetit atau yang dikenal dengan rumus Fe_3O_4 termasuk salah satu mineral oksida besi yang banyak dikaji dalam berbagai riset. Berdasarkan keunggulan sifat kemagnetannya, bahan oksida besi ini telah dimanfaatkan secara luas untuk berbagai produk seperti katalis, sensor, tinta, film tipis, dan beberapa produk berteknologi nano partikel (Aji *et al.*, 2007). Magnetit adalah suatu partikel superparamagnetik yang dapat digunakan untuk memodifikasi karbon untuk meningkatkan kemampuannya sebagai suatu adsorben (Zulaicha *et al.*, 2021). Hal tersebut dikarenakan karbon memiliki berat molekul yang ringan sehingga sulit untuk memisahkan adsorben dari adsorbat dalam bentuk larutan. Kelemahan karbon tersebut dapat menghambat proses pemisahan suatu zat dari larutan, sehingga pelapisan dengan magnetit ini digunakan untuk mengatasi kelemahan tersebut. Pelapisan karbon menggunakan Fe_3O_4 dapat menghasilkan adsorben yang memiliki kapasitas besar, selektivitas terhadap senyawa target, dan proses pemisahan yang cepat karena sifat kemagnetan adsorben (Buhani *et al.*, 2019). Magnetit dapat diperoleh dari hasil sintesis pencampuran larutan basa (NaOH) dengan larutan yang mengandung dua kation logam yaitu $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dengan metode kopresipitasi (Istiana dan Prasetya, 2020). Reaksi pembentukan magnetit tersebut dapat ditunjukkan pada Persamaan 20, 21, dan 22 (Petcharoen and Sirivat, 2012).



Adanya sifat magnet pada karbon dapat memisahkan adsorbat dengan cepat dan proses adsorpsi terjadi pada temperatur ruang (Wong *et al.*, 2016). 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). Selain itu, pelapisan karbon dengan Fe_3O_4 akan menghasilkan karbon yang stabil dalam kondisi asam (Li *et al.*, 2015). Hasil penelitian Buhani *et al.* (2017) menunjukkan bahwa modifikasi magnetit meningkatkan laju dan kapasitas adsorpsi terhadap adsorbat.

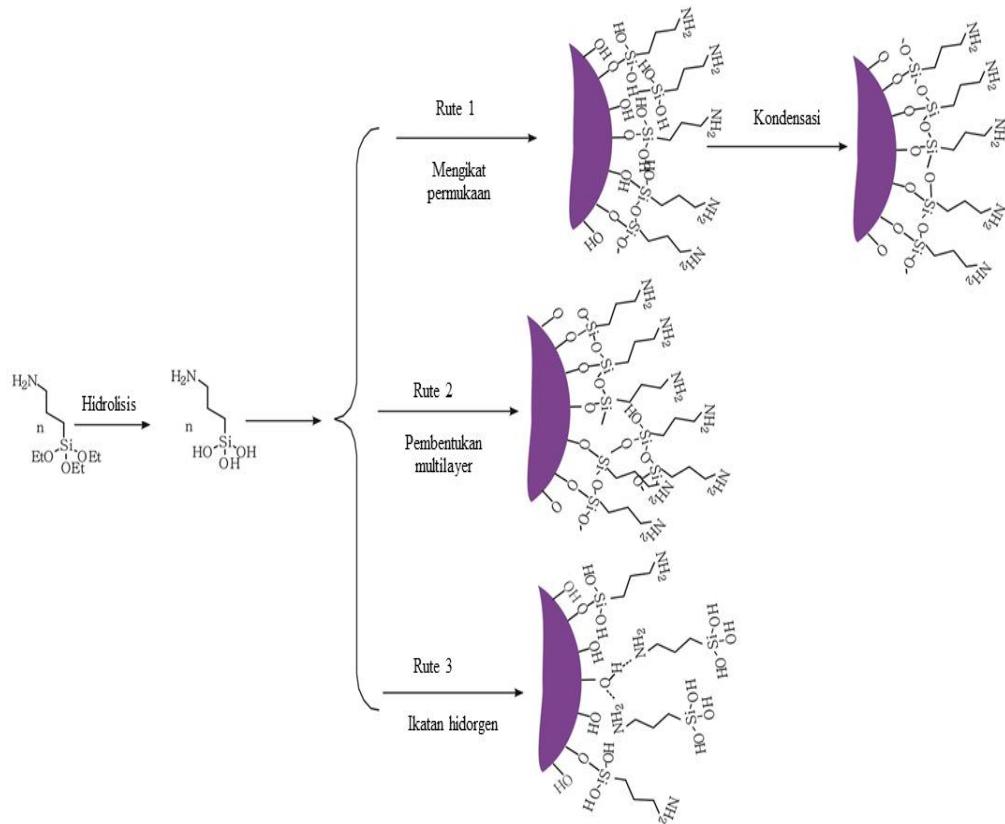
2.9 Silanisasi

Adsorben karbon termasuk salah satu adsorben non spesifik yang memiliki problem berupa kapasitas adsorpsi yang rendah, selektivitas rendah dan waktu kesetimbangan relatif lama serta kurang stabil secara termal dan mekanik (Pérez-Quintanilla *et al.*, 2007). Oleh karena itu perlu dilakukan penambahan gugus aktif tertentu pada permukaan adsorben tersebut. Modifikasi permukaan tersebut dapat dilakukan melalui proses silanisasi. Silanisasi adalah upaya untuk mendapatkan kekuatan perlekatan yang maksimal melalui pengembangan ikatan kimiawi menggunakan silan sebagai *coupling agent* (Britton, 1990). Silanisasi ini dapat dilakukan dengan penambahan gugus fungsional organik yang mampu sebagai peng kompleks logam-logam berat baik secara langsung maupun menggunakan perantara suatu senyawa organosilan. Jenis-jenis atom donor yang sering digunakan adalah nitrogen (gugus amina, azo, amida, dan nitril), dan sulfur (tiokarbamat, tioeter, dan merkapto). Dengan modifikasi menggunakan organosilan tersebut diperoleh peningkatan kemampuan adsorpsi dari adsorben setelah dilakukan modifikasi (Buhani *et al.*, 2010).

Pada umumnya proses silanisasi (pembentukan lapisan silan pada substrat silikon) terdiri dari empat langkah, yaitu hidrolisis, kondensasi, pembentukan ikatan hidrogen, dan *curing*. Pada langkah pertama, hidrolisis substrat silikon mengarah

pada pembentukan gugus silanol reaktif. Pada langkah kedua, kondensasi gugus silanol ini terjadi yang mengarah pada pembentukan ikatan siloksan di atas permukaan. Pada langkah ketiga, ikatan hidrogen terbentuk dengan gugus -OH pada substrat. Pada langkah terakhir, ikatan kovalen (Si-O-Si) terbentuk antara silikon dalam organosilane dan silikon pada substrat dengan hilangnya molekul air berikutnya dengan *curing*. Lapisan silan berpolimerisasi dengan adanya air untuk membentuk silan berlapis-lapis. Lapisan-lapisan silan tidak stabil dan terhanyut selama langkah-langkah pembersihan yang umum digunakan pada immobilisasi biomolekul yang mengarah ke permukaan yang tidak seragam (kasar) dan tidak homogen. Oleh karena itu *curing* dilakukan untuk menghentikan polimerisasi lapisan siloksan. Ada berbagai faktor yang mempengaruhi proses silanisasi seperti konsentrasi silan, waktu silanisasi, kelembaban (*humidity*) dan suhu larutan (Gunda *et al.*, 2014).

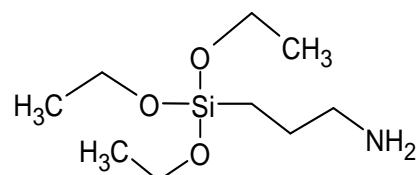
Berikut contoh skema silanisasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema silanisasi APTES pada permukaan molekul (Liu *et al.*, 2013).

2.10 (3-Aminopropyl)-triethoxysilane (APTES)

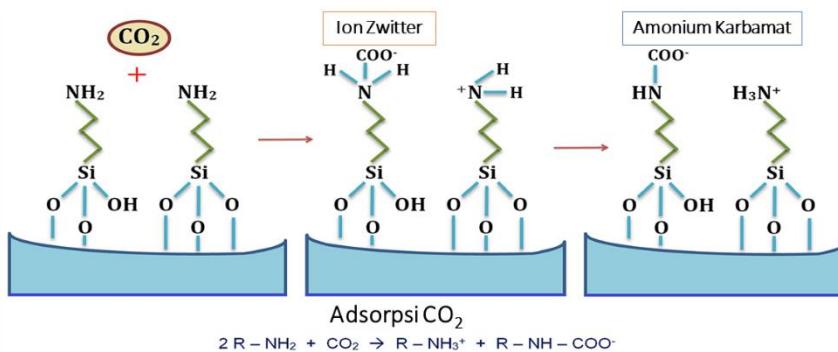
(3-Aminopropyl)-triethoxysilane atau yang sering disingkat dengan APTES adalah suatu senyawa kimia dengan rumus $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_3\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$ (Yamaura *et al.*, 2004) dengan berat molekul sebesar 221,37 g/mol. APTES termasuk senyawa yang mudah larut dalam larutan air untuk mengurangi agregasi partikel, ikatan non-spesifik, dan membuat partikel menjadi lebih stabil dalam suspensi (Ngouangna *et al.*, 2020). Struktur dari APTES disajikan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Struktur (3-Aminopropyl)-triethoxysilane (Metwalli *et al.*, 2006).

APTES termasuk kedalam jenis organosilan yang memiliki sifat sebagai agen penggandeng karena memiliki dua gugus aktif berbeda yang terikat pada atom silika dalam molekul. Dua tipe gugus aktif ini mampu membuat organosilan membentuk ikatan kimia antara material organik dan anorganik (Huang and Hu, 2008). Selain itu gugus fungsi $-\text{NH}_2$ memungkinkan untuk menghubungkan ke biomolekul penargetan lainnya (Can *et al.*, 2009). APTES termasuk silan yang dapat menghasilkan lapisan silan yang tipis dan stabil serta dapat dibentuk dengan menyiapkannya dalam pelarut organik. APTES juga digunakan secara ekstensif untuk imobilisasi biomolekul dalam pengembangan biosensor (Gunda *et al.*, 2014).

Selain hal tersebut, menurut Munguía-Cortés *et al.*, (2017) adanya dua tipe gugus aktif pada APTES ini menjadikan APTES dapat dengan mudah bereaksi dengan suatu senyawa yang lebih cenderung bersifat anion, kation, ataupun netral. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Munguía-Cortés *et al.*, (2017) dapat dilihat reaksi antara APTES yang telah dimodifikasi pada permukaan suatu material untuk mengadsorpsi senyawa yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Contoh reaksi APTES dengan suatu senyawa pada proses adsorpsi (Munguía-Cortés *et al.*, 2017).

2.11 Karakterisasi

Karakterisasi pada umumnya digunakan untuk mengetahui komposisi, bidang kristal, ikatan kimia, atau senyawa dari suatu sampel pada proses penelitian. Selain itu juga, karakterisasi dapat digunakan untuk mengetahui kualitas dari sampel tersebut yang dapat mempengaruhi berbagai aspek penelitian. Mayoritas alat karakterisasi memiliki prinsip dasar yang sama, yaitu dengan adanya *probe/source* yang akan dipancarkan spesimen sehingga menghasilkan signal atau gambaran yang kemudian dikumpulkan untuk dilakukan interpretasi agar diperoleh informasi penting yang diinginkan. Beberapa contoh alat untuk karakterisasi adalah *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscope with Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), Spektrofotometer Fourier Transform Infrared (FTIR), dan Spektrofotometer UV-Vis.

2.11.1 Spektrofotometer UV-Vis

Pengukuran absorbansi atau transmitan 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.

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. Hubungan antara cahaya yang diserap dengan konsentrasi komponen yang menyerap dinyatakan oleh hukum Lambert-Beer yang ditunjukkan pada Persamaan 23 dan 24 (Harvey, 2000).

$$\log \frac{P_0}{P} = e b C \quad (23)$$

$$A = e.b.C \quad (24)$$

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})

Spektrofotometer UV-Vis dapat digunakan untuk mengukur panjang gelombang dari suatu larutan CBB dan metilen biru. Pengukuran tersebut berkisar pada panjang gelombang 600 - 700 nm untuk metilen biru, dan 550 - 595 nm untuk CBB. Panjang gelombang maksimum metilen biru dan CBB berturut-turut diperoleh pada 664 nm dan 589 nm (Ngapa dan Ika, 2020).

2.11.2 X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) dapat digunakan untuk membandingkan pola XRD antara karbon dengan karbon magnetit dan karbon silan sehingga dapat diketahui apakah adsorben karbon berhasil dilapisi oleh magnet atau silan. 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.

Selain mengidentifikasi suatu senyawa dari kristal, XRD juga dapat digunakan untuk menentukan ukuran suatu kristal dengan menggunakan persamaan Scherrer. Bentuk persamaan Scherrer ditunjukkan pada Persamaan 25 (Suwanboon *et al.*, 2011).

$$D = \frac{0.9\lambda}{B \cos \theta} \quad (25)$$

Diketahui :

D = Diameter kristal,

λ = Panjang gelombang sinar X (nm),

B = Lebar puncak pada setengah intensitas maksimum.

θ = Sudut difraksi.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Buhani *et al.*, (2020) pola difraktogram adsorben karbon menunjukkan bentuk karbon amorf yang khas dan juga menunjukkan puncak asimetris yang luas. Sementara itu berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Buhani *et al.*, (2020) pola difraktogram suatu

adsorben yang telah terlapisi magnetit akan ditandai dengan adanya puncak difraksi di sekitar daerah 35° dan 62° yang berasal dari nanokristal Fe_3O_4 . Sedangkan menurut Ulfa *et al.*, (2018) pada material yang terlapisi oleh silan menunjukkan bentuk amorf yang khas.

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

SEM-EDX merupakan gabungan dari dua alat Scanning *Electron Microscopy* dan *Energy Dispersive X-Ray*. SEM digunakan untuk mendapatkan informasi gambaran permukaan suatu material, sedangkan EDX digunakan untuk mengetahui komponen dan komposisi pembentuk material SEM (*Scanning Electron Microscopy*) bekerja dengan prinsip adanya pemindai sinar elektron pada permukaan sampel (Setiabudi *et al.*, 2012). Sinar elektron yang dihasilkan oleh suatu sumber akan dipercepat melalui area bertegangan tinggi kemudian melewati sistem seperti kisi sehingga menghasilkan suatu sinar yang tipis. Sinar elektron memindai permukaan sampel, detektor elektron kemudian mengatur kecerahan titik pada monitor, saat elektron lebih sedikit maka area tersebut akan lebih gelap dari pada area yang lama. Hasil analisis SEM berupa gambar yang memberi informasi mengenai morfologi permukaan serta diameter material hasil sintesis.

EDX digunakan untuk mengenali jenis atom atau oksida atom di permukaan material. Elektron berenergi tinggi yang ditembakkan pada mata atom dalam senyawa mampu menumbuk elektron kulit terdalam pada suatu atom. Tumbukan yang menyebabkan elektron yang dengan energi lebih rendah akan terpental dan meninggalkan kekosongan pada kulit tersebut. Selanjutnya elektron pada kulit yang lebih tinggi akan menempati kekosongan elektron sebelumnya. Proses pengisian elektron akan disertai dengan pelepasan energi dalam bentuk radiasi sinar X yang spesifik dari unsur yang dianalisis. Hasil yang diperoleh berupa gambar dan persentase komponen material sampel. Analisis menggunakan EDX bersifat semi kuantitatif, dengan kata lain hanya menunjukkan konstituen-konstituen unsur yang terdapat dalam adsorben (Buhani *et al.*, 2018).

2.11.4 Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared (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 2.

Tabel 2. Serapan infra merah gugus fungsi senyawa organik

Daerah serapan (cm⁻¹)	Gugus fungsi	Nama gugus fungsi
3606	O-H	Alkohol
3437	N-H	Amina
3051	O-H	Asam karboksilat
2881	C-H	Alkana
2322	O=C=O	Karbon dioksida
1789	C=O	Asam karboksilat
1593	N-O	Komponen nitro
1249	C-O	Alkil, Aril, dan Eter
1048	Si-O-Si	Silosan
975	C=C	Alkena
584	Fe-O-Si	Silika magnetit
570	Fe-O	Oksida besi

(Ikhwanuddin, 2018).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan November 2021-Maret 2022 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Universitas Lampung. Analisis morfologi permukaan dan komposisi unsur pada karbon menggunakan *Scanning Electron Microscope* yang dirangkai dengan *Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung. Analisis hasil adsorpsi zat warna menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Universitas Lampung. Analisis untuk mengetahui fasa kristal pada adsorben menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Departemen Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada, dan analisis gugus fungsi menggunakan *Fourier Transformation Infra Red* (FTIR) dilakukan di Laboratorium Kimia Organik Departemen Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain peralatan gelas, spatula, neraca analitik, pengayak (*siever*) ukuran 100 μm , pengaduk magnet, cawan porselin, oven, desikator, sentrifus, Spektrofotometer UV-Vis tipe Cary Series, *X-Ray Diffraction* (XRD) tipe X’Pert PRO, *Scanning Electron Microscope-Energy SEM-EDX* tipe JEOL-JSM-6510 LA, Spektrofotometer FTIR tipe IR Prestige 21, dan pH meter.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu arang cangkang buah karet, metilen biru, CBB, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, HCl, NaOH, NaNO_3 , APTES, toluena, larutan *buffer*, kertas saring, pH indikator universal, alumunium foil, etanol, KNO_3 , dan akuades.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Preparasi dan Pembuatan Karbon

Cangkang buah karet diperoleh dari perkebunan karet yang terletak di Kecamatan Margatiga, Kabupaten Lampung Timur. Cangkang tersebut kemudian dibersihkan dengan cara dicuci dan dikeringkan di bawah sinar matahari. Selanjutnya dibakar di dalam drum yang terbuat dari plat besi selama kurang lebih 6 jam sehingga diperoleh karbon cangkang buah karet. Karbon yang diperoleh dari karbonasi selanjutnya dihaluskan dengan cara digiling lalu diayak dengan pengayakan berukuran $100\ \mu$. Karbon cangkang buah karet yang telah halus selanjutnya dimodifikasi lebih lanjut dengan magnetit dan silan.

3.3.2 Sintesis Karbon Modifikasi Magnetit

Proses pembuatan karbon magnetit dilakukan dengan cara mencampurkan 6,5 g karbon hasil karbonisasi ke dalam 300 mL akuades kemudian dipanaskan sampai suhu 70°C . Setelah itu ditambahkan garam besi yang terdiri dari 7,6 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan 3,9 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ yang dilarutkan dalam 300 mL akuades. Campuran kemudian diaduk selama 30 menit sambil ditambahkan 100 mL NaOH 5 M tetes demi tetes sampai terbentuk endapan hitam. Endapan yang dihasilkan disaring dan dicuci dengan akuades sampai pH netral lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 3 jam, sehingga diperoleh Karbon-Magnetit (KM) (Oliveira *et al.*, 2002). Perhitungan stoikiometri modifikasi magnetit tertera pada Lampiran 16.

3.3.3 Silanisasi Karbon dengan (3-Aminopropyl)-triethoxysilane (APTES)

Sebanyak 10 g karbon ditambahkan ke dalam 100 mL larutan APTES (30% (vol) dalam toluena) dan diaduk selama 3 jam pada suhu 50°C. Kemudian, campuran disaring dan residu padatannya dicuci 4-5 kali dengan aquades. Residu tersebut kemudian dikeringkan dalam oven selama 4 jam pada suhu 110°C, sehingga diperoleh Karbon-Silan (KS) (Shirendev *et al.*, 2021).

3.3.4 Karakterisasi

Adsorben karbon, Karbon Magnetit (KM) dan Karbon Silan (KS) masing-masing dikarakterisasi dengan XRD untuk mengidentifikasi fasa kristalin, spektrofotometer FTIR untuk mengetahui gugus fungsi, serta SEM-EDX untuk mengetahui morfologi permukaan dan mengidentifikasi komposisi unsur.

3.3.5 Penentuan Nilai Zeta Potensial

Adsorben karbon, KM, dan KS masing-masing sebanyak 0,1 g dimasukkan ke dalam 20 mL NaNO₃ 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 Uji Adsorpsi Monokomponen

a. Pembuatan Larutan Induk Adsorbat

Serbuk metilen biru dan CBB masing-masing sebanyak 1 g dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL yang berbeda, masing-masing labu ukur ditambahkan aquades hingga tanda batas lalu dihomogenkan sehingga diperoleh larutan dengan konsentrasi 1000 ppm.

b. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Adsorbat

Diukur nilai absorbansi larutan CBB dan metilen biru masing-masing dengan konsentrasi 10 ppm pada rentang panjang gelombang 400-700 nm.

c. Penentuan pH Optimum

Sebanyak 25 mL larutan metilen biru 10 ppm disiapkan dalam 10 erlenmeyer berbeda dengan variasi pH 3-12. Dilakukan penambahan HCl 0,1 M untuk menurunkan pH dan peningkatan pH dilakukan dengan penambahan NaOH 0,1 M. Lalu ditambahkan larutan *buffer* kemudian ditambah 0,1 g adsorben karbon (dilakukan perlakuan yang sama untuk adsorben KM dan KS). 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 pada panjang gelombang maksimum. Dilakukan perlakuan yang sama terhadap CBB 10 ppm dan filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

d. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Sebanyak 25 mL larutan metilen biru 10 ppm pada kondisi pH optimum dimasukkan ke dalam 7 erlenmeyer lalu ditambahkan masing-masing 0,1 g adsorben 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 pada panjang gelombang maksimum. Dilakukan perlakuan yang sama terhadap CBB 10 ppm dan filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

e. Penentuan Konsentrasi Optimum

Sebanyak 25 mL larutan metilen biru 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 0,1 g. 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 pada panjang gelombang maksimum. Dilakukan perlakuan yang sama terhadap CBB

dengan variasi konsentrasi 0, 10, 50, 100, 150, 200, 250, dan 300 kemudian filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3.3.7 Uji Adsorpsi Bikomponen

a. Pembuatan Larutan Induk Adsorbat Bikomponen

Serbuk metilen biru dan CBB masing-masing sebanyak 1 g dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL, lalu ditambahkan akuades hingga tanda tera dan dihomogenkan. Sehingga dihasilkan konsentrasi masing-masing larutan induk sebesar $3,12 \text{ mmol L}^{-1}$ untuk metilen biru dan $1,16 \text{ mmol L}^{-1}$ untuk CBB.

b. Pengaruh Konsentrasi

Masing-masing larutan induk zat warna dilakukan pengenceran dengan variasi konsentrasi 0,01; 0,03; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,30; dan $0,35 \text{ mmol L}^{-1}$. Setelah itu dicampurkan 12,5 mL metilen biru dan 12,5 mL CBB dengan konsentrasi yang sama sehingga diperoleh larutan bikomponen dengan volume sebanyak 25 mL. Larutan bikomponen tersebut kemudian diatur pHnya pada pH optimum dan ditambahkan adsorben sebanyak 0,1 g. Kemudian *shaker* pada waktu kontak optimum. Setelah itu larutan dipisahkan dengan teknik sentrifugasi selama 30 menit. Filtrat yang diperoleh diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum masing-masing zat warna.

3.3.8 Mekanisme Adsorpsi

Sebanyak 0,1 g adsorben KS dimasukkan kedalam erlenmeyer. Kemudian ditambahkan larutan CBB sebanyak 25 mL pada konsentrasi dan pH optimum. Lalu larutan tersebut dishaker pada waktu optimum dengan kecepatan 100 rpm. Selanjutnya larutan dan adsorben disentrifugasi dan dipisahkan dengan cara dekantasi. Filtrat yang diperoleh dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Endapan yang diperoleh digunakan kembali untuk melepaskan zat warna yang teradsorpsi pada adsorben dengan menggunakan eluen berupa 25 mL etanol 40% untuk ikatan hidrogen, 25 mL

larutan KNO_3 0,1 M untuk pertukaran ion, 25 mL larutan HCl 0,1 M untuk interaksi elektrostatik, dan larutan Na_2EDTA 0,1 M untuk pembentukan ikatan kompleks (Buhani *et al.*, 2010).

3.3.9 Uji Penggunaan Ulang Adsorben

Sebanyak 0,1 g adsorben KS dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berbeda. Kemudian ditambahkan 25 mL larutan CBB pada konsentrasi optimum dan pH optimum. Lalu larutan tersebut diaduk menggunakan pengaduk pada waktu optimum dengan kecepatan 100 rpm. Filtrat yang diperoleh disentrifugasi selama 30 menit, lalu dipisahkan dengan cara dekantasi, kemudian dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Endapan yang diperoleh digunakan kembali untuk melepaskan zat warna yang teradsorpsi pada adsorben dengan menggunakan eluen etanol lalu diaduk selama 60 menit dan didekantasi. Endapannya kemudian dicuci dengan akuades sampai netral, kemudian dioven pada suhu 40°C selama 3 jam. Adsorben digunakan lagi untuk mengadsorpsi zat warna CBB hingga 3 kali penggunaan ulang (Buhani *et al.*, 2011).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Modifikasi adsorben karbon dengan magnetit dan silan telah berhasil dilakukan yang dibuktikan dengan hasil karakterisasi menggunakan XRD, FTIR dan SEM-EDX.
2. Adsorpsi monokomponen metilen biru dan CBB oleh KM dan KS optimum seluruhnya pada pH 9 dan 5, waktu kontak optimum untuk metilen biru dan CBB yaitu 30 menit dan 60 menit dengan konsentrasi maksimum 300 ppm.
3. Laju adsorpsi zat warna metilen biru dan CBB terhadap adsorben KM dan KS cenderung mengikuti model kinetika pseudo orde dua.
4. Isoterm adsorpsi monokomponen metilen biru dan CBB terhadap seluruh adsorben cenderung mengikuti model isoterm Freundlich. Kecuali adsorpsi CBB dengan KS yang cenderung mengikuti model isoterm Langmuir.
5. Kapasitas adsorpsi adsorben karbon dan KM pada sistem bikomponen menggunakan persamaan Langmuir biner cenderung lebih baik dalam mengadsorpsi metilen biru, sedangkan adsorben KS cenderung lebih baik dalam mengadsorpsi CBB.
6. Mekanisme adsorpsi KS terhadap CBB lebih didominasi oleh ikatan hidrogen.
7. Penggunaan ulang adsorben KS terhadap CBB cukup efektif digunakan kembali sebanyak 3 kali pengulangan yang ditunjukkan dengan hasil persen adsorpsi lebih dari 70%.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya disarankan:

1. Melakukan karakterisasi FTIR pada adsorben yang telah digunakan untuk penggunaan ulang, sehingga dapat dibedakan bagaimana perubahan gugus fungsi dari adsorben sebelum dan setelah penggunaan ulang.
2. Melakukan modifikasi terhadap karbon magnetit dengan silan APTES untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi.

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), 3505–3511.
- 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.
- Agustina, W., Sumpono, dan Elvia, R. (2017). Aktivitas Asap Cair Cangkang Buah *Hevea Braziliensis* sebagai Anti Bakteri *Staphylacoccus Aureus*. (*Alotrop*) *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*, 1(1), 6–9.
- Ahmad, A., Razali, M. H., Mamat, M., Mehamod, F. S. B., and Amin, K. A. M. (2017). Adsorption of Methyl Orange by Synthesized and Functionalized-CNTs with (3-Aminopropyl)-triethoxysilane Loaded TiO₂ Nanocomposites. *Chemosphere*, 168, 474–482.
- Ai, L., Zhang, C., Liao, F., Wang, Y., Li, M., Meng, L., and Jiang, J. (2011). Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution with Magnetite Loaded Multi-Wall Carbon Nanotube: Kinetic, Isotherm and Mechanism Analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 198, 282–290.
- Aji, M. P., Yulianto, A., dan Bijaksana, S. (2007). Sintesis Nanopartikel Magnetit, Maghemit dan Hematit dari Bahan Lokal. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 106–108.

- Aksu, Z. (2005). Application of Biosorption for the Removal of Organic Pollutants: A Review. *Process Biochemistry*, 40(3–4), 997–1026.
- 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), 322–333.
- Altintig, E., Altundag, H., Tuzen, M., and Sari, A. (2017). Effective Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions Using Magnetic Loaded Activated Carbon as Novel Adsorbent. *Chemical Engineering Research and Design*, 122, 151–163.
- Arif, A. R. (2014). Adsorpsi Karbon Aktif dari Tempurung Kluwak (*Pangium edule*) Terhadap Penurunan Fenol. *Skripsi UIN Alauddin*.
- Ayrancı, E., and Duman, O. (2009). In-Situ UV-Visible Spectroscopic Study on the Adsorption of Some Dyes Onto Activated Carbon Cloth. *Separation Science and Technology*, 44(15), 3735–3752.
- Beldean-Galea, M. S., Copaciu, F. M., and Coman, M. V. (2018). Chromatographic Analysis of Textile Dyes. *Journal of AOAC International*, 101(5), 1353–1370.
- 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.
- Britton, L. G. (1990). Combustion Hazards of Silane and its Chlorides. *Plant/Operations Progress*, 9(1), 16–38.
- Buhani, Hariyanti, E., 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, 331–340.
- 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 Cd²⁺ Ion in Solution. *Oriental Journal of*

- Buhani, Luziana, F., Suharso, Rilyanti, M., Sumadi, dan Permatasari, D. (2020). Kajian Pola Isoterm Adsorpsi Zat Pewarna Kristal Violet pada Adsorben dari Karbon Cangkang Kelapa Sawit dengan Pelapisan Partikel Fe₃O₄. *Prosiding SINTA 3*, 3, 2655–2914.
- Buhani, Musrifatun, Pratama, D. S., Suharso, and Rinawati. (2017). Modification of *Chaetoceros sp.* Biomass with Silica-Magnetite Coating and Adsorption Studies towards Cu(II) Ions in Single and Binary System. *Asian Journal of Chemistry*, 29(12), 2734–2738.
- Buhani, Narsito, Nuryono, and Kunarti, E. S. (2010). Amino and Mercapto-Silica Hybrid for Cd(II) Adsorption in Aqueous Solution. *Indonesian Journal of Chemistry*, 9(2), 170–176.
- Buhani, Narsito, Nuryono, Sri Kunarti, E., and Suharso. (2015). Adsorption Competition of Cu(II) Ion in Ionic Pair and Multi-Metal Solution by Ionic Imprinted Amino-Silica Hybrid Adsorbent. *Desalination and Water Treatment*, 55(5), 1240–1252.
- 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), 2043–2050.
- Buhani, Rinawati, Suharso, Yuliasari, D. P., and Yuwono, S. D. (2017). Removal of Ni(II), Cu(II), and Zn(II) Ions From Aqueous Solution Using *Tetraselmis sp.* Biomass Modified with Silica-Coated Magnetite Nanoparticles. *Desalination and Water Treatment*, 80, 203–213.
- Buhani, dan Suharso. (2010). Modifikasi Silika dengan (3-Aminopropyl)-trimetoksisilane Melalui Proses Sol Gel untuk Adsorpsi Ion Cd(II) dari Larutan. *Journal Sains MIPA*, 16(3), 177–183.
- 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, Luziana, F., Rilyanti, M., and Sumadi. (2019). Production of Adsorbent from Activated Carbon of Palm Oil Shells Coated by Fe_3O_4 Particle to Remove Crystal Violet in Water. *Desalination and Water Treatment*, 171, 281–293.
- Buhani, Suharso, and Partogi, F. A. (2013). Isoterm Adsorpsi Ion Ni (II) dalam Larutan oleh Biomassa Alga *Nannochloropsis sp* yang Dimodifikasi dengan Silika-magnet. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, 61–66.
- Buhani, Suharso, and Satria, H. (2011). Hybridization of *Nannochloropsis sp* Biomass-Silica Through Sol-Gel Process to Adsorb Cd(II) Ion in Aqueous Solutions. *European Journal of Scientific Research*, 51(4), 467–476.
- 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), 271–278.
- Buhani, Suharso, and Sumadi. 2010. Adsorption Kinetics and Isotherm of Cd(II) Ion on *Nannochloropsis sp*. Biomass Imprinted Ionic Polymer. *Desalination*. 259:140-146.
- Buhani, Wijayanti, T. A., Suharso, Sumadi, and Ansori, M. (2021). Application of Modified Green Algae *Nannochloropsis sp*. as Adsorbent in the Simultaneous Adsorption of Methylene Blue and Cu(II) Cations in Solution. *Sustainable Environment Research*, 31(1).
- Calvete, T., Lima, E. C., Cardoso, N. F., Dias, S. L. P., and Ribeiro, E. S. (2010). Removal of Brilliant Green Dye from Aqueous Solutions Using Home Made Activated Carbons. *Clean - Soil, Air, Water*, 38(5–6), 521–532.
- Can, K., Ozmen, M., and Ersoz, M. (2009). Immobilization of Albumin on Aminosilane Modified Superparamagnetic Magnetite Nanoparticles and its Characterization. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 71(1), 154–159.
- Çelekli, A., and Bozkurt, H. (2013). Predictive Modeling of an Azo Metal Complex Dye Sorption by Pumpkin Husk. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(10), 7355–7366.
- Chang, R. 2005. *Kimia Dasar Edisi ketiga*. Erlangga. Jakarta.

- Chetankumar, K., Kumara Swamy, 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), 451–460.
- Choy, K. K. H., Porter, J. F., and McKay, G. (2000). Langmuir Isotherm Models Applied to the Multicomponent Sorption of Acid Dyes From Effluent Onto Activated Carbon. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 45(4), 575–584.
- Chu, H. C., and Chen, K. M. (2002). Reuse of Activated Sludge Biomass: I. Removal of Basic Dyes Wastewater by Biomass. *Elsevier*, 37, 595–600.
- Danish, M., and Ahmad, T. (2018). A Review on Utilization of Wood Biomass as a Sustainable Precursor for Activated Carbon Production and Application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 87, 1–21.
- Das, S. K., Bhowal, J., Das, A. R., and Guha, A. K. (2006). Adsorption Behavior of Rhodamine B on Rhizopus oryzae Biomass. *Langmuir*, 22(17), 7265–7272.
- Desi, Suharman, A., dan Vinsiah, R. (2015). Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi Terhadap Daya Serap Karbon Aktif Cangkang Kulit Buah Karet (*Hevea brasiliensis*). *Prosiding SEMIRATA 2015 Bidang MIPA BKS-PTN Barat*, 294–303.
- Duman, O., Tunç, S., Bozoğlan, B. K., and Polat, T. G. (2016). Removal of Triphenylmethane and Reactive Azo Dyes from Aqueous Solution by Magnetic Carbon Nanotube-K-Carrageenan- Fe_3O_4 Nanocomposite. *Journal of Alloys and Compounds*, 687, 370–383.
- Duman, O., Tunç, S., and Gürkan Polat, T. (2015). Adsorptive Removal of Triarylmethane Dye (Basic Red 9) from Aqueous Solution by Sepiolite as Effective and Low-Cost Adsorbent. *Microporous and Mesoporous Materials*, 210, 176–184.

- Fadillah, H., and Alfiarty, A. (2015). The Influence of Pyrolysis Temperature and Time to the Yield and Quality of Rubber Fruit (*Hevea brasiliensis*) Shell Liquid Smoke. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan,"* ISSN 1693-4393, 1–7.
- Fatma, Hariani, P. L., Riyanti, F., and Sepriani, W. (2018). Desorption and Re-adsorption of Procion Red MX-5B Dye on Alumina-Activated Carbon Composite. *Indonesian Journal of Chemistry*, 18(2), 222–228.
- Firman, Taufik, Kusyanto, dan Nisa, C. (2018). Pemanfaatan Cangkang Buah Karet Sebagai Bahan Baku Pembuatan Arang Aktif. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian*, 2018(II), 110–115.
- 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, 679–686.
- Fu, Y., and Viraraghavan, T. (2001). Fungal Decolorization of Dye Wastewaters: A Review. *Bioresource Technology*, 79(3), 251–262.
- Ghosh, S., Badruddoza, A. Z. M., Hidajat, K., and Uddin, M. S. (2013). Adsorptive Removal of Emerging Contaminants from Water using Superparamagnetic Fe_3O_4 Nanoparticles Bearing Aminated β -Cyclodextrin. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(3), 122–130.
- Gong, Z., Li, S., Ma, J., and Zhang, X. (2016). Synthesis of Recyclable Powdered Activated Carbon with Temperature Responsive Polymer for Bisphenol a Removal. *Separation and Purification Technology*, 157, 131–140.
- Gunda, N. S. K., Singh, M., Norman, L., Kaur, K., and Mitra, S. K. (2014). Optimization and Characterization of Biomolecule Immobilization on Silicon Substrates Using (3-Aminopropyl)-triethoxysilane (APTES) and Glutaraldehyde Linker. *Applied Surface Science*, 305, 522–530.
- Handayani, M., dan Sulistyono, E. (2009). Uji Persamaan Langmuir dan Freundlich Pada Penyerapan Limbah Chrom(VI) oleh Zeolit. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Nuklir*, Vi, 130–136.

- Harvey, D. (2000). Modern Analytical Chemistry. In *McGraw-Hill Higher Education*.
- 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.
- Hermawan, I. (2011). Analisis Dampak Kebijakan Makroekonomi Terhadap Perkembangan Industri Tekstil dan Produk Tekstil Indonesia. *Buletin Ekonomi Moneter Dan Perbankan*, 373–408.
- Ho, Y. S. and Mc Kay. 1998. *Process Biochemistry 34: Pseudo Second Order Model for Sorption Process*. Harpel College Publisher. New York.
- Hotasi, B. T., Christian, Y., Kristianto, H., dan Arie, A. (2018). Studi Adsorpsi Biner Zat Warna dengan Karbon Aktif. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan,”* 1–7.
- Huang, C., and Hu, B. (2008). Silica-Coated Magnetic Nanoparticles Modified with γ -Mercaptopropyltrimethoxysilane for Fast and Selective Solid Phase Extraction of Trace Amounts of Cd, Cu, Hg, and Pb in Environmental and Biological Samples Prior to Their Determination by Inductively Co. *Spectrochimica Acta - Part B Atomic Spectroscopy*, 63(3), 437–444.
- 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), 4921–4925.
- Igwe, J. C., and Abia, A. A. (2006). A Bioseparation Process for Removing Heavy Metals from Waste Water Using Biosorbents. *African Journal of Biotechnology*, 5(12), 1167–1179.
- Ikhwanuddin. (2018). Pembuatan Biosorben dari Cangkang Buah Karet (*Hevea Brasiliensis*) Menggunakan Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) untuk Menurunkan Asam Lemak Bebas dan Bilangan Peroksida pada CPO (Crude Palm Oil). *Skripsi Universitas Sumatera Utara*, 44–48.
- 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), 94–98.
- Istiana, S., dan Prasetya, T. (2020). Preparasi Arang Aktif Trembesi Magnetit untuk Adsorpsi Senyawa Tannin dalam Limbah Cair. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(1), 17–23.
- 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), 755–762.
- 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.
- Kiswanto, Rahayu, L. N., dan Wintah. (2019). Pengolahan Limbah Cair Batik Menggunakan Teknologi Membran Nanofiltrasi di Kota Pekalongan. *Jurnal LITBANG Kota Pekalongan*, 17, 72–82.
- Kosa, S. A., Al-Zhrani, G., and Abdel Salam, M. (2012). Removal of Heavy Metals from Aqueous Solutions by Multi-Walled Carbon Nanotubes Modified with 8-Hydroxyquinoline. *Chemical Engineering Journal*, 181–182, 159–168.
- Langenati, R., Mordiono, R., Mustika, D., Wasito, B., dan Ridwan. (2012). Pengaruh Jenis Adsorben dan Konsentrasi Uranium Terhadap Pemungutan Uranium dari Larutan Uranyl Nitrat. *Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, BATAN, Serpong*, 8(2), 67–122.
- Li, Q., Qi, Y., and Gao, C. (2015). Chemical Regeneration of Spent Powdered Activated Carbon Used in Decolorization of Sodium Salicylate for the Pharmaceutical Industry. *Journal of Cleaner Production*, 86, 424–431.

- Liang, X., Lu, Y., Li, Z., Yang, C., Niu, C., and Su, X. (2017). Bentonite/Carbon Composite as Highly Recyclable Adsorbents for Alkaline Wastewater Treatment and Organic Dye Removal. *Microporous and Mesoporous Materials*, 241, 107–114.
- Liu, Y., Li, Y., Li, X. M., and He, T. (2013). Kinetics of (3-Aminopropyl)-triethoxysilane (APTES) Silanization of Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles. *Langmuir*, 29(49), 15275–15282.
- 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), 1828–1833.
- 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), 6843–6846.
- Martínez, M., Miralles, N., Hidalgo, S., Fiol, N., Villaescusa, I., and Poch, J. (2006). Removal of Lead(II) and Cadmium(II) from Aqueous Solutions Using Grape Stalk Waste. *Journal of Hazardous Materials*, 133(1–3), 203–211.
- Meilanti, M. (2018). Karakteristik Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet Menggunakan Aktivator H₃PO₄. *Jurnal Distilasi*, 2(2), 1–9.
- Metwalli, E., Haines, D., Becker, O., Conzone, S., and Pantano, C. G. (2006). Surface Characterizations of Mono-, Di-, and Tri-Aminosilane Treated Glass Substrates. *Journal of Colloid and Interface Science*, 298(2), 825–831.
- Munguía-Cortés, L., Pérez-Hermosillo, I., Ojeda-López, R., Esparza-Schulz, J. M., Felipe-Mendoza, C., Cervantes-Uribe, A., and Domínguez-Ortiz, A. (2017). APTES-Functionalization of SBA-15 Using Ethanol or Toluene: Textural Characterization and Sorption Performance of Carbon Dioxide. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 61(4), 273–281.
- 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.

- Ngapa, Y. D., dan Ika, Y. E. (2020). Potensi Zeolit Alam Ende Sebagai Media Adsorben Kompetitif Pewarna Biru Metilena dan Metil Oranye. *Cakra Kimia*, 8(2), 105–113.
- Ngouangna, E. N., Manan, M. A., Oseh, J. O., Norddin, M. N. A. M., Agi, A., and Gbadamosi, A. O. (2020). Influence of (3-Aminopropyl)-triethoxysilane on Silica Nanoparticle for Enhanced Oil Recovery. *Journal of Molecular Liquids*, 315, 1–47.
- 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), 2177–2183.
- Otero, M., Rozada, F., Calvo, L. F., García, A. I., and Morán, A. (2003). Kinetic and Equilibrium Modelling of the Methylene Blue Removal from Solution by Adsorbent Materials Produced from Sewage Sludges. *Biochemical Engineering Journal*, 15(1), 59–68.
- Oxtoby, W. D. 2003. *Kimia Modern Edisi Keempat Jilid 11*. Erlangga. Jakarta.
- Ozbay, N., and Yargic, A. S. (2015). Factorial Experimental Design for Remazol Yellow Dye Sorption Using Apple Pulp/Apple Pulp Carbon-Titanium Dioxide Co-Sorbent. *Journal of Cleaner Production*, 100, 333–343.
- Pérez-Quintanilla, D., Sánchez, A., del Hierro, I., Fajardo, M., and Sierra, I. (2007). Preparation, Characterization, And Zn^{2+} Adsorption Behavior of Chemically Modified MCM-41 with 5-Mercapto-1-Methyltetrazole. *Journal of Colloid and Interface Science*, 313(2), 551–562.
- Petcharoen, K., and Sirivat, A. (2012). Synthesis and Characterization of Magnetite Nanoparticles Via the Chemical Co-Precipitation Method. *Elsevier*, 177(5), 421–427.
- Prabowo, A. L. (2009). Pembuatan Karbon Aktif dari Tongkol Serta Aplikasinya untuk Adsorpsi Cu, Pb dan Amonia. *Skripsi Universitas Indonesia*.
- Prasetiowati, A. L., Prasetya, A. T., dan Wardani, S. (2018). Sintesis Nanopartikel Perak dengan Bioreduktor Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*) Uji Aktivitasnya sebagai Antibakteri. *Indonesian Journal of*

- Chemical Science*, 7(2), 160–166.
- 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, 107–122.
- Pujiyanto. (2010). Pembuatan Karbon Aktif Super dari Batubara dan Tempurung Kelapa. *Tesis. Universitas Indonesia*.
- Qiao, Z., 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), 215–228.
- Radoičić, M., Šaponjić, Z., Nedeljković, J., Ćirić-Marjanović, G., and Stejskal, J. (2010). Self-Assembled Polyaniline Nanotubes and Nanoribbons/Titanium Dioxide Nanocomposites. *Synthetic Metals*, 160(11–12), 1325–1334.
- Ravikumar, C., Kumar, S., and Bandyopadhyaya, R. (2012). Aggregation of Dextran Coated Magnetic Nanoparticles in Aqueous Medium: Experiments and Monte Carlo Simulation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 403, 1–6.
- Riyanto, dan Julianto, T. S. (2009). Degradasi Senyawa Metilen Biru dengan Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Platinum. *Penelitian Hibah Bersaing*, 1–10.
- Robinson, T., McMullan, G., 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, 247–255.
- Rocha, L. S., Pereira, D., Sousa, É., Otero, M., Esteves, V. I., and Calisto, V. (2020). Recent Advances on The Development and Application of Magnetic Activated Carbon and Char for the Removal of Pharmaceutical Compounds from Waters: A Review. *Science of the Total Environment*, 718, 1–24.
- Rousseau, R. W. (1987). *Handbook of Separation Process Technology*. A Willey-Interscience Publication.

- Saleh, T. A., and Gupta, V. K. (2012). Photo-Catalyzed Degradation of Hazardous Dye Methyl Orange by Use of a Composite Catalyst Consisting of Multi-Walled Carbon Nanotubes and Titanium Dioxide. *Journal of Colloid and Interface Science*, 371(1), 101–106.
- Sales, P. F., Magriotsis, 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, 417–428.
- Setiabudi, A., Hardian, R., dan Muzakir, A. (2012). Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia. In *UPI Press* (Vol. 1).
- Sharma, G., Naushad, M., Kumar, A., Rana, S., Sharma, S., Bhatnagar, A., J. Stadler, F., Ghfar, A. A., and Khan, M. R. (2017). Efficient Removal of Coomassie Brilliant Blue R-250 Dye Using Starch/Poly(Alginic Acid-Cl-Acrylamide) Nanohydrogel. *Process Safety and Environmental Protection*, 109, 301–310.
- 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. *Atlantis Highlights in Chemistry and Pharmaceutical Sciences*, 2(II), 149–157.
- Singh, N., and Balomajumder, C. (2016). Simultaneous Removal of Phenol and Cyanide from Aqueous Solution by Adsorption Onto Surface Modified Activated Carbon Prepared from Coconut Shell. *Journal of Water Process Engineering*, 9, 233–245.
- Suwanboon, S., Amornpitoksuk, P., and Sukolrat, A. (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), 1359–1365.
- Ulfa, S. M., Ohorella, R. F., and Astutik, C. W. (2018). Sequential Condensation and Hydrodeoxygenation Reaction of Furfural-Acetone Adduct Over Mix Catalysts Ni/SiO₂ and Cu/SiO₂ in Water. *Indonesian Journal of Chemistry*, 18(2), 250–256.
- 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.

Widayatno, T., Yuliawati, T., Susilo, A. A., Studi, P., Kimia, T., Teknik, F., dan Muhammadiyah, U. (2017). Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, 1(1), 17–23.

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*, 10(10), 1–18.

Wong, K. T., Yoon, Y., Snyder, S. A., and Jang, M. (2016). Phenyl-Functionalized Magnetic Palm-Based Powdered Activated Carbon for The Effective Removal of Selected Pharmaceutical and Endocrine-Disruptive Compounds. *Chemosphere*, 152, 71–80.

Yamaura, M., Camilo, R. L., Sampaio, L. C., Macêdo, M. A., Nakamura, M., and Toma, H. E. (2004). Preparation and Characterization of (3-Aminopropyl)-Triethoxysilane-Coated Magnetite Nanoparticles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 279(2–3), 210–217.

Zhang, B., Wang, Y., Zhang, J., Qiao, S., Fan, Z., Wan, J., and Chen, K. (2020). Well-Defined 3-Aminopropyltriethoxysilane Functionalized Magnetite Nanoparticles and Their Adsorption Performance for Partially Hydrolyzed Polyacrylamide from Aqueous Solution. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 586, 1–14.

Zulaicha, A. S., Buhani, and Suharso. (2021). Modification of Activated Carbon from Elaeis Guineensis Jacq Shell with Magnetite (Fe_3O_4) Particles and Study Adsorption-Desorption on Ni(II) Ions in Solution. *Journal of Physics: Conference Series*, 1751(1), 1–11.