

**MODIFIKASI BIOMASSA ALGA *Sargassum sp.* DENGAN SURFAKTAN
HEXADECYLTRIMETHYLAMMONIUM BROMIDE (HDTMA-Br)
SEBAGAI ADSORBEN METILEN BIRU DAN *COOMASSIE BRILLIANT
BLUE* DALAM LARUTAN**

(Skripsi)

Oleh

Khairunisa



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

ABSTRAK

MODIFIKASI BIOMASSA ALGA *Sargassum sp.* DENGAN SURFAKTAN *HEXADECYLTRIMETHYLAMMONIUM BROMIDE (HDTMA-Br)* SEBAGAI ADSORBEN METILEN BIRU DAN *COOMASSIE BRILLIANT BLUE* DALAM LARUTAN

Oleh

Khairunisa

Pada penelitian ini telah dilakukan modifikasi biomassa alga *Sargassum sp.* menggunakan surfaktan *Hexadecyltrimethylammonium Bromide (HDTMA-Br)* yang bertujuan mengubah permukaan alga yang bermuatan anionik menjadi lebih parsial positif. Adsorben yang dihasilkan adalah alga, alga-Na, dan alga-HDTMA untuk mengadsorpsi metilen biru dan CBB. Karakterisasi material adsorben dilakukan menggunakan FTIR dan SEM-EDX. Karakterisasi FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi O-Na ($1419,61\text{ cm}^{-1}$) pada alga-Na dan adanya C-H dari kelompok metil surfaktan HDTMA ($1465,90\text{ cm}^{-1}$) pada alga-HDTMA. Karakterisasi SEM menunjukkan bahwa permukaan adsorben alga-Na terdapat butiran halus yang mengindikasikan keberadaan Na, sedangkan pada alga-HDTMA terdapat butiran lengket yang menandakan keberadaan HDTMA. Spektrum EDX menunjukkan adanya Na dan Br pada alga-Na dan alga-HDTMA. Hasil uji adsorpsi menunjukkan bahwa adsorpsi metilen biru optimum pada pH 6 (alga, alga-Na) dan 5 (alga-HDTMA), sedangkan CBB optimum pada pH 9 (alga, alga-Na) dan 6 (alga-HDTMA). Waktu kontak optimum metilen biru dan CBB adalah 15 dan 120 menit dengan konsentrasi optimum 300 mg/L. Kinetika adsorpsi metilen biru dan CBB cenderung mengikuti kinetika pseudo orde dua dan isoterm adsorpsinya cenderung mengikuti pola isoterm Freundlich. Hasil uji terhadap pasangan bikomponen menunjukkan alga-Na cenderung lebih baik dalam mengadsorpsi metilen biru dan alga-HDTMA cenderung lebih baik mengadsorpsi CBB. Mekanisme adsorpsi dilakukan pada alga-HDTMA untuk adsorpsi CBB dan menunjukkan bahwa interaksinya didominasi oleh interaksi elektrostatis, dan alga-HDTMA efektif digunakan untuk adsorpsi CBB sebanyak tiga kali siklus penggunaan dengan persentase adsorpsi di atas 70%.

Kata kunci : adsorpsi, CBB, HDTMA-Br, metilen biru, *Sargassum sp.*

ABSTRACT

MODIFICATION OF *Sargassum sp.* ALGAE BIOMASS WITH HEXADECYLTRIMETHYLAMMONIUM BROMIDE (HDTMA-Br) SURFACTANT AS METHYLENE BLUE AND COOMASSIE BRILLIANT BLUE ADSORBENT IN SOLUTION

By

Khairunisa

In this study, modification of *Sargassum sp.* algae biomass has been carried out using the Hexadecyltrimethylammonium Bromide (HDTMA-Br) surfactant aimed at changing the surface of anionic-charged algae to a more partially positive. The resulting adsorbents are algae, algae-Na, and algae-HDTMA to be used as adsorbent of methylene blue and CBB. The adsorbents were characterized by FTIR and SEM-EDX. The characterization of FTIR indicates the presence of the O-Na functional group (1419.61 cm^{-1}) in algae-Na and the presence of C-H from the methyl group of HDTMA surfactant (1465.90 cm^{-1}) in algae-HDTMA. SEM characterization indicates that the surface of algae-Na adsorbent has fine grains indicating the presence of Na, while in algae-HDTMA there are sticky grains that indicate the presence of HDTMA. The EDX spectrum indicates the presence of Na and Br in algae-Na and algae-HDTMA. The results of the adsorption test showed that methylene blue adsorption was optimal at pH 6 (algae, algae-Na) and 5 (algae-HDTMA), while the optimum CBB at pH 9 (algae, algae-Na) and 6 (algae-HDTMA). The optimum contact time of methylene blue and CBB is 15 and 120 mins with an optimum concentration of 300 mg/L. Adsorption kinetics of methylene blue and CBB tend to follow pseudo-second-order kinetics and their adsorption isotherms tend to follow the Freundlich isotherm pattern. Test results on bicomponent pairs showed that algae-Na tends to be better at adsorbing methylene blue and algae-HDTMA tends to better adsorbing CBB. The adsorption mechanism was performed on algae-HDTMA for CBB adsorption and showed was dominated by electrostatic interactions, and algae-HDTMA was effectively used for CBB adsorption as many as three cycles of use with an adsorption percentage above 70%.

Keywords : adsorption, CBB, HDTMA-Br, methylene blue, *Sargassum sp.*

**MODIFIKASI BIOMASSA ALGA *Sargassum sp.* DENGAN SURFAKTAN
HEXADECYLTRIMETHYLAMMONIUM BROMIDE (HDTMA-Br)
SEBAGAI ADSORBEN METILEN BIRU DAN *COOMASSIE BRILLIANT
BLUE* DALAM LARUTAN**

Oleh

Khairunisa

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 : **Modifikasi Biomassa Alga *Sargassum sp.* dengan Surfaktan Hexadecyltrimethylammonium Bromide (HDTMA-Br) sebagai Adsorben Metilen Biru dan Coomassie Brilliant Blue dalam Larutan**

Nama Mahasiswa : **Khairunisa**

No. Pokok Mahasiswa : 1817011006

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Prof. Ir. Suharso, Ph.D.
NIP.196905301995121001

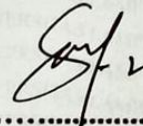
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unila

Mulyono, Ph.D.
NIP.197406112000031002

MENGESAHKAN

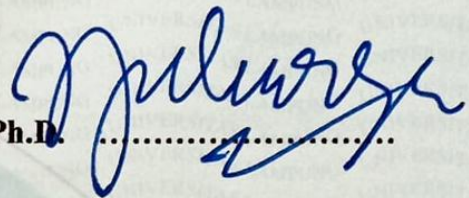
1. Tim Penguji
Ketua

: Prof. Dr. Buhani, M.Si.



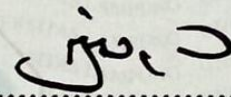
Sekretaris

: Prof. Ir. Suharso, Ph.D.




Penguji
Bukan Pembimbing

: Mulyono, Ph.D.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 6 Juli 2022

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Khairunisa
Nomor Pokok Mahasiswa : 1817011006
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya, bahwa skripsi saya yang berjudul **Modifikasi Biomassa Alga *Sargassum sp.* dengan Surfaktan *Hexadecyltrimethylammonium Bromide (HDTMA-Br)* sebagai Adsorben Metilen Biru dan *Coomassie Brilliant Blue* dalam Larutan** adalah benar karya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya mengizinkan apabila sebagian atau seluruh data dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan yang telah ada.

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

Bandar Lampung, 20 Juli 2022

Yang Menyatakan,



Khairunisa

NPM.1817011006

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Natar, pada tanggal 28 Juni 2000. Penulis merupakan seorang putri tunggal dari Bapak Adan Noviar dan Ibu Sarmiah. Pendidikan formal dimulai dari Taman Kanak-Kanak di TK Bina Asih, Natar Lampung Selatan pada tahun 2005-2006. Kemudian, penulis melanjutkan ke tingkat Sekolah Dasar di SD Negeri 4 Natar, Lampung Selatan yang diselesaikan pada tahun 2012. Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Natar, Lampung Selatan yang diselesaikan pada tahun 2015. Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Natar, Lampung Selatan yang diselesaikan pada tahun 2018. Pada tahun yang sama (2018) penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri).

Selama berkuliah, penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi, yaitu menjadi Anggota Departemen Riset dan Teknologi UKM-U Saintek Unila (2019), Anggota Bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK) Himaki FMIPA Unila (2019), Sekretaris Bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK) Himaki FMIPA Unila (2020), dan Dewan Pembina Himaki FMIPA Unila (2021). Selain itu, penulis juga menjadi Asisten Praktikum Kimia Anorganik II (2021).

Pada tahun 2021 bulan Februari penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Kalisari, Kec.Natar, Kab.Lampung Selatan, Lampung. Pada bulan Agustus-September 2021 penulis berhasil menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Balai Penelitian Teknologi Mineral Lembaga Ilmu Pengetahuan

Indonesia (BPTM-LIPI) Tanjung Bintang, Lampung Selatan dengan judul “Pengolahan Limbah Kabel Menjadi Tembaga(II) Sulfat Pentahidrat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) Menggunakan Proses Leaching dengan Pelarut Asam”. Sedangkan pada bulan November 2021 - Maret 2022 penulis berhasil menyelesaikan penelitian Tugas Akhir di Laboratorium Anorganik/Fisik FMIPA Unila dengan judul “Modifikasi Biomassa Alga *Sargassum sp.* dengan Surfaktan *Hexadecyltrimethylammonium Bromide* (HDTMA-Br) sebagai Adsorben Metilen Biru dan *Coomassie Brilliant Blue* dalam Larutan”.

MOTTO

*Utamakan Allah SWT. dalam setiap urusan, maka
senantiasa Allah SWT. akan membereskan urusan mu
dengan sangat mudahnya.*

(Penulis)

*Ilmu bukanlah dengan banyaknya riwayat, ilmu tidak lain
adalah sebuah cahaya yang Allah tempatkan di dalam hati.*

(Imam Malik)

Bismillahirrahmannirrahiim

Puji syukur ku haturkan atas segala nikmat yang telah Engkau berikan ya Allah, atas seizinkan-Mu ke persembahkan karya sederhana ini kepada :

Ayah dan Ibu tercinta
Bapak Adan Noviar dan Ibu Sarmiah

Yang telah membesarkan, mendidik, memberikan kasih sayang nya padaku. Sosok dibalik segala keberhasilan ku selama ini lewat doa-doa yang tidak henti-hentinya.

Diriku sendiri

Yang telah bertahan dan berjuang hingga titik aku berdiri saat ini.

Bapak/Ibu Dosen Jurusan Kimia yang telah memberikan banyak sekali ilmu untukku.

Teman-teman ku tercinta yang telah memberikan bantuan, dukungan moril, dan doa-doa.

Almamater tercinta Universitas Lampung.

SANWACANA

Bismillahirrahmannirrahiim. Segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT. yang telah memberikan kesehatan bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi dengan judul “Modifikasi Biomassa Alga *Sargassum sp.* dengan Surfaktan *Hexadecyltrimethylammonium Bromide* (HDTMA-Br) sebagai Adsorben Metilen Biru dan *Coomassie Brilliant Blue* dalam Larutan” yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Kimia FMIPA Universitas Lampung. Shalawat beriring salam selalu tercurah kepada baginda Nabi Muhammad SAW. beserta para pengikutnya yang semoga mendapatkan *syafaatnya* di *yaumul akhir* kelak, *Aamiin.*

Penulis menyadari bahwasanya pengerjaan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Maka dari itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayah dan Ibu tercinta yang selalu memberikan doa dan dukungannya. Selalu memberikan perhatian selama hidupku. Berkat doanya lah aku selalu diberikan jalan keluar atas segala kesulitan yang ada untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si. selaku Pembimbing I yang senantiasa meluangkan waktu agar dapat membimbing, memberikan arahan, dan mengoreksi atas kekeliruan yang penulis lakukan hingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Bapak Prof. Ir. Suharso, Ph.D. selaku Pembimbing II yang selalu mendukung dan memberikan kemudahan selama penulisan skripsi dari awal hingga akhir.

4. Bapak Mulyono, Ph.D. selaku Pembahas dan Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unila atas segala saran dan masukannya yang membangun dan dapat menjadikan skripsi ini menjadi lebih baik.
5. Bapak/Ibu Dosen Jurusan Kimia yang telah mendidik dan memberikan ilmu kepada penulis sejak awal penulis masuk di jurusan kimia hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
6. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Mba Liza Apriliya S., S.Si. selaku PLP Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik yang telah ikut membantu penelitian penulis, mulai dari membantu menyediakan alat-alat, loker, dan juga jasanya dalam membantu melakukan analisis Spektrofotometer UV-Vis.
8. Seluruh staff di Jurusan Kimia FMIPA yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan dan selama kegiatan seminar.
9. Teman-teman tim penelitian ku, Alhamdulillah Buhani's Research 2018 telah berhasil menyelesaikan penelitian dengan baik.
10. Jilda Sofiana Dewi rekan ku sejak mahasiswa baru, yang selalu memberikan dukungan dan selalu menjadi pengingat untuk membangkitkan kembali semangat ku yang terkadang hilang. Rekan penelitian ku yang sangat luar biasa dan yang sama ambisiusnya dengan ku.
11. Khoiriyah Dea Setyana, salah satu rekan terbaik ku sejak mahasiswa baru yang juga rutin menjadi rekan "berantem". Terima kasih telah menjadi teman yang sangat baik untukku, atas segala doa dan *support* nya. Semoga apa yang sekarang sedang kau jalani segalanya diberikan kemudahan oleh Allah SWT.
12. Teman-temanku yang lain Mega, Wulandari, Nia Mardanti terima kasih atas segala bantuan dan doa yang telah diberikan untukku. Semoga kebaikan yang telah kalian tabur akan kembali kalian petik pada saatnya.
13. Teman-teman Kimia 2018 yang banyak memberikan doa baik untukku. Semoga segala hal baik selalu menyertai kalian.
14. Kimia 2018 kelas B terima kasih karena telah memberikan banyak tawa selama menjalani masa perkuliahan, semoga kita semua akan tetap "bersinar".

15. Mba Desria dan kakak-kakak kimia 2017 Mba Iffah, Mba Putri, Mba Windi, Kak Rois. Terima kasih karena telah membimbing, mengarahkan, dan mengajarkan hal-hal yang penulis tidak mengerti. Semoga gelar yang telah kakak-kakak dapatkan bisa berguna dan membawa pada kebaikan.
16. Teman-teman ku Sinta, Ayu Z.M, Kurniati, Nia A, terima kasih atas doa dan dukungannya.
17. Rekan-rekan penelitian di Laboratorium Anorganik/Fisik terima kasih atas kerja sama dan saling pengertiannya selama menjalani penelitian di Laboratorium Anorganik/Fisik.
18. Pemimpin Himaki periode 2020 dan keluarga besar Himaki 2018, 2019, dan 2020. Terima kasih atas kebersamaannya yang luar biasa dan banyak sekali ilmu yang diberikan.
19. Almamater tercinta Universitas Lampung.
20. Dan seluruh pihak terkait yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu yang secara langsung atau tidak langsung telah memberikan dukungan dan bantuannya, baik secara moril dan materiil.

Penulis menyadari, bahwa masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak agar skripsi ini menjadi lebih baik. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih dan dan memohon maaf atas kekurangan yang ada, karena sejatinya kesempurnaan hanyalah milik Allah SWT.

Bandar Lampung, 20 Juli 2022

Penulis,

Khairunisa

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Biomassa Alga.....	6
2.2 Metilen biru	9
2.3 <i>Coomassie Brilliant Blue</i> (CBB).....	10
2.4 Surfaktan	11
2.5 <i>Hexadecyltrimethylammonium</i> (HDTMA).....	12
2.6 Adsorpsi	13
2.6.1 Kinetika Adsorpsi	16
2.6.2 Isoterm Adsorpsi	17
2.7 Nilai Zeta Potensial	21
2.8 Desorpsi.....	22
2.9 Karakterisasi	22
2.9.1 Spektrofotometer UV-Vis	22
2.9.2 <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	24

2.9.3 <i>Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX)	27
III. METODE PENELITIAN	29
3.1 Waktu dan Tempat	29
3.2 Alat dan Bahan	29
3.3 Prosedur Penelitian.....	30
3.3.1 Preparasi Biomassa Alga <i>Sargassum sp.</i>	30
3.3.2 Pembuatan Adsorben Alga-Na	30
3.3.3 Pembuatan Adsorben Alga-HDTMA	30
3.3.4 Karakterisasi	30
3.3.5 Penentuan Nilai Zeta Potensial.....	31
3.3.6 Pembuatan Larutan Induk 1000 ppm.....	31
3.3.7 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Metilen biru dan CBB.....	31
3.3.8 Uji Adsorpsi	31
3.3.8.1 Sistem Monokomponen.....	31
3.3.8.1.1 Variasi pH	31
3.3.8.1.2 Variasi Waktu Kontak.....	32
3.3.8.1.3 Variasi Konsentrasi.....	32
3.3.8.2 Sistem Bikomponen	32
3.3.8.3 Mekanisme Adsorpsi	33
3.3.8.4 Uji Penggunaan Ulang Adsorben.....	33
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1 Preparasi dan Modifikasi Biomassa Alga <i>Sargassum sp.</i>	34
4.2 Karakterisasi Material Adsorben	35
4.2.1 Karakterisasi Spektrofotometer <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR).....	35
4.2.2 Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy with Energy</i> <i>Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX)	38
4.3 Uji Adsorpsi	40
4.3.1 Sistem monokomponen	40

4.3.1.1 Variasi pH	40
4.3.1.2 Variasi waktu kontak	43
4.3.1.3 Variasi konsentrasi.....	48
4.3.2 Sistem bikomponen	51
4.3.3 Mekanisme adsorpsi	54
4.3.4 Uji penggunaan ulang adsorben.....	55
V. KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN.....	72

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data beberapa serapan inframerah gugus fungsi	26
2. Hasil analisis gugus fungsi adsorben	37
3. Parameter kinetika adsorpsi metilen biru dan CBB	47
4. Parameter isoterm adsorpsi metilen biru dan CBB terhadap alga, alga-Na, dan alga-HDTMA.....	50
5. Adsorpsi isoterm Langmuir biner pada metilen biru dan CBB terhadap adsorben alga, alga-Na, dan alga-HDTMA.....	53
6. Hasil penentuan nilai zeta potensial alga, alga-Na, dan alga-HDTMA	74
7. Data absorbansi larutan standar metilen biru dan CBB variasi pH.....	74
8. Hasil uji adsorpsi metilen biru pada variasi pH	76
9. Hasil uji adsorpsi CBB pada variasi pH.....	76
10. Data absorbansi larutan standar metilen biru dan CBB variasi waktu kontak	77
11. Hasil uji adsorpsi MB pada variasi waktu kontak.....	78
12. Hasil uji adsorpsi CBB pada variasi waktu kontak	78
13. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu metilen biru pada adsorben alga	79
14. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu metilen biru pada adsorben alga-Na.....	79
15. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu metilen biru pada adsorben alga-HDTMA	80
16. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu CBB pada Adsorben Alga	82

17. Data Hasil Perhitungan Kinetika Pseudo Orde Satu CBB pada adsorben alga-Na.....	82
18. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde satu CBB pada adsorben alga-HDTMA.....	83
19. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua metilen biru pada adsorben alga	84
20. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua metilen biru pada adsorben alga-Na.....	85
21. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua metilen biru pada adsorben alga-HDTMA	85
22. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua CBB pada adsorben alga...	87
23. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua CBB pada adsorben alga-Na.....	87
24. Data hasil perhitungan kinetika pseudo orde dua CBB pada adsorben alga-HDTMA.....	88
25. Data absorbansi larutan standar metilen biru dan CBB untuk variasi konsentrasi	90
26. Uji adsorpsi metilen biru pada variasi konsentrasi	91
27. Uji adsorpsi CBB pada variasi konsentrasi.....	91
28. Hasil perhitungan isoterm adsorpsi Langmuir Metilen biru pada variasi konsentrasi terhadap adsorben alga.....	92
29. Hasil perhitungan isoterm adsorpsi Langmuir metilen biru pada variasi konsentrasi terhadap adsorben alga-Na.....	92
30. Hasil perhitungan isoterm adsorpsi Langmuir metilen biru pada variasi konsentrasi terhadap adsorben alga-HDTMA.....	93
31. Hasil perhitungan isoterm adsorpsi Langmuir CBB pada variasi konsentrasi terhadap adsorben alga.....	95
32. Hasil perhitungan isoterm adsorpsi Langmuir CBB pada variasi konsentrasi terhadap adsorben alga-Na.....	95
33. Hasil perhitungan isoterm adsorpsi Langmuir CBB pada variasi konsentrasi terhadap adsorben alga-HDTMA.....	96

34. Hasil perhitungan isoterm adsorpsi Freudlich metilen biru pada variasi konsentrasi terhadap adsorben alga.....	99
35. Hasil perhitungan isoterm adsorpsi Freudlich metilen biru pada variasi konsentrasi terhadap adsorben alga-Na.....	99
36. Hasil perhitungan isoterm adsorpsi Freudlich metilen biru pada variasi konsentrasi terhadap adsorben alga-HDTMA.....	99
37. Hasil perhitungan isoterm adsorpsi Freudlich CBB pada variasi konsentrasi terhadap adsorben alga.....	101
38. Hasil perhitungan isoterm adsorpsi Freudlich CBB pada variasi konsentrasi terhadap adsorben alga-Na.....	101
39. Hasil perhitungan isoterm adsorpsi Freudlich CBB pada variasi konsentrasi terhadap adsorben alga-HDTMA.....	102
40. Data absorbansi larutan standar metilen biru dan CBB pasangan larutan bikomponen.....	104
41. Uji adsorpsi metilen biru pada pasangan larutan bikomponen variasi konsentrasi	105
42. Uji adsorpsi CBB pada pasangan larutan bikomponen variasi konsentrasi..	105
43. Data perhitungan persamaan Langmuir biner pada adsorpsi larutan pasangan bikomponen terhadap adsorben alga.....	106
44. Data perhitungan dengan SPSS persamaan Langmuir biner pada adsorpsi larutan pasangan bikomponen terhadap adsorben alga	107
45. Data perhitungan persamaan Langmuir biner pada adsorpsi larutan pasangan bikomponen terhadap adsorben alga-Na.....	107
46. Data perhitungan dengan SPSS persamaan Langmuir biner pada adsorpsi larutan pasangan bikomponen terhadap adsorben alga-Na	108
47. Data perhitungan persamaan Langmuir biner pada adsorpsi larutan pasangan bikomponen terhadap adsorben alga-HDTMA.....	108
48. Data perhitungan dengan SPSS persamaan Langmuir biner pada adsorpsi larutan pasangan bikomponen terhadap adsorben alga-HDTMA.....	109
49. Data absorbansi larutan standar CBB untuk mekanisme adsorpsi.....	110
50. Hasil perhitungan jumlah CBB yang terdesorpsi pada adsorben alga-HDTMA.....	111

51. Data absorbansi larutan standar CBB untuk uji penggunaan ulang adsorben	113
52. Hasil perhitungan jumlah CBB yang teradsorpsi pada adsorben alga-HDTMA.....	114

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Alga <i>Sargassum sp.</i>	8
2. Struktur metilen biru	9
3. Struktur <i>Coomassie Brilliant Blue G-250</i>	10
4. Struktur surfaktan	11
5. Struktur surfaktan HDTMA	12
6. Grafik model isoterm adsorpsi Langmuir	19
7. Grafik model isoterm adsorpsi Freundlich	20
8. Spektrum cahaya berbagai panjang gelombang	23
9. Skema FTIR	25
10. Hasil preparasi sampel (a) alga <i>Sargassum sp.</i> (b) alga <i>Sargassum sp.</i> kering (c) biomassa alga <i>Sargassum sp.</i>	34
11. Hasil modifikasi (a) adsorben alga <i>Sargassum sp.</i> (b) adsorben Alga-Na (c) adsorben Alga-HDTMA	35
12. Spektra FTIR adsorben alga, alga-Na, dan alga-HDTMA	36
13. Mikrograf SEM adsorben (a) alga <i>Sargassum sp.</i> (b) alga-Na (c) alga- HDTMA	38
14. Spektrum EDX adsorben (a) alga <i>Sargassum sp.</i> (b) alga-Na (c) alga- HDTMA	39

15. Kurva variasi pH pada adsorpsi zat warna (a) metilen biru (b) CBB	40
16. Kurva pH_{pzc} adsorben alga, alga-Na, dan alga-HDTMA.....	42
17. Interaksi metilen biru dan CBB dengan alga-HDTMA	43
18. Kurva variasi waktu kontak pada adsorpsi zat warna (a) metilen biru (b) CBB.....	44
19. Kinetika pseudo orde satu zat warna metilen biru dan CBB terhadap adsorben alga, alga-Na, dan alga-HDTMA	45
20. Kinetika pseudo orde dua zat warna metilen biru dan CBB terhadap adsorben alga, alga-Na, dan alga-HDTMA	46
21. Kurva pengaruh konsentrasi adsorpsi zat warna (a) metilen biru dan (b) CBB.....	48
22. Pola isoterm adsorpsi Langmuir metilen biru dan CBB pada adsorben alga, alga-Na, dan alga-HDTMA.....	49
23. Pola isoterm adsorpsi Freundlich metilen biru dan CBB pada adsorben alga, alga-Na, dan alga-HDTMA.....	50
24. Kurva pengaruh konsentrasi adsorpsi pasangan larutan bikomponen pada adsorben (a) alga (b) alga-Na (c) alga-HDTMA	52
25. Hasil desorpsi CBB pada adsorben alga-HDTMA menggunakan eluen akuades, KNO_3 , HCl, dan Na_2EDTA	54
26. Hasil uji penggunaan ulang adsorben alga-HDTMA dalam mengadsorpsi CBB.....	56
27. Kurva panjang gelombang maksimum (a) metilen biru (b) CBB	73
28. Kurva larutan standar (a) metilen biru (b) CBB untuk variasi pH.....	75
29. Kurva larutan standar (a) metilen biru (b) CBB variasi waktu kontak	77
30. Pola kinetika pseudo orde satu metilen biru	80
31. Pola kinetika pseudo orde satu CBB	83
32. Pola kinetika pseudo orde dua metilen biru	86
33. Pola kinetika pseudo orde dua CBB.....	88

34. Kurva larutan standar (a) metilen biru (b) CBB untuk variasi konsentrasi.....	90
35. Pola isoterm adsorpsi Langmuir metilen biru variasi konsentrasi	93
36. Pola isoterm adsorpsi Langmuir CBB variasi konsentrasi.....	96
37. Pola isoterm adsorpsi Freundlich metilen biru variasi konsentrasi.....	99
38. Pola isoterm adsorpsi Freundlich CBB variasi konsentrasi	102
39. Kurva larutan standar (a) metilen biru (b) CBB untuk pasangan larutan bikomponen.....	104
40. Kurva larutan standar CBB untuk mekanisme adsorpsi	110
41. Kurva larutan standar CBB untuk uji penggunaan ulang adsorben	113
42. Hasil uji adsorpsi metilen biru pada variasi pH terhadap adsorben (a) alga (b) alga-Na (c) alga-HDTMA	115
43. Hasil uji adsorpsi CBB pada variasi pH terhadap adsorben (a) alga (b) alga-Na (c) alga-HDTMA	115
44. Hasil uji adsorpsi MB pada variasi waktu kontak terhadap adsorben (a) alga (b) alga-Na (c) alga-HDTMA	116
45. Hasil uji adsorpsi CBB pada variasi waktu kontak terhadap adsorben (a) alga (b) alga-Na (c) alga-HDTMA	116
46. Hasil uji adsorpsi MB pada variasi konsentrasi terhadap adsorben (a) alga (b) alga-Na (c) alga-HDTMA	117
47. Hasil uji adsorpsi CBB pada variasi konsentrasi terhadap adsorben (a) alga (b) alga-Na (c) alga-HDTMA	117
48. Hasil uji adsorpsi pasangan larutan bikomponen terhadap adsorben (a) alga (b) alga-Na (c) alga-HDTMA	118
49. Hasil mekanisme adsorpsi alga-HDTMA	118
50. Penggunaan ulang adsorben alga-HDTMA terhadap zat warna CBB	118

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri tekstil yang pesat di Indonesia dapat memberikan beberapa dampak positif. Salah satunya, industri tekstil mampu menyerap lapangan pekerjaan hingga 1,5 juta pekerja pada tahun 2014 dengan pendapatan sebesar Rp138,76 triliun atau sebesar 6,26% dari Rp2215,75 triliun PDB yang diperoleh industri non migas (Apriliyanto dan Rusdarti, 2018). Meski demikian, jumlah limbah yang berasal dari penggunaan zat warna sebagai bahan dasar pada industri tekstil juga banyak dihasilkan, yaitu sekitar 10-15% zat warna yang telah digunakan tidak dapat digunakan kembali dan harus dibuang (Hisbiyah dan Komala, 2019). Limbah zat warna dapat berasal dari proses pencucian, perendaman, ataupun pendinginan sehingga menyebabkan limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil umumnya merupakan limbah cair yang banyak ditemukan pada lingkungan perairan. Hal tersebut menyebabkan zat warna menjadi salah satu penyumbang limbah terbesar pada industri tekstil (Ahmed *et al.*, 2020).

Air yang mengandung limbah zat warna dalam lingkungan perairan akan menyebabkan peningkatan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) (Deb *et al.*, 2019). Adanya limbah zat warna yang masuk ke wilayah perairan akan membentuk struktur kimia yang lebih kompleks sehingga menyebabkan zat warna sulit terurai di dalam air (Buhani *et al.*, 2019a). Salah satu jenis zat warna sintetik yang banyak diproduksi dan digunakan dalam industri tekstil adalah zat warna *thiazine* (Yusni and Tanaka, 2015). Selain zat warna *thiazine*, golongan zat warna yang paling banyak

digunakan dalam industri tekstil adalah kelompok trifenilmetana (Pecková *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2020). Senyawa *thiazine* memiliki ciri gugus fungsional yaitu adanya gugus (C=N) dan apabila terjadi peningkatan jumlah zat warna *thiazine* di dalam air akan menurunkan tingkat oksigen terlarut dalam air dan merusak kehidupan perairan (Ma *et al.*, 2021; Nath *et al.*, 2018). Sementara itu, zat warna trifenilmetana mengandung cincin benzena aromatik dan amina kuartener ionik pada senyawanya (Li *et al.*, 2019). Salah satu jenis pewarna *thiazine* dan trifenilmetana yang banyak digunakan pada industri tekstil adalah zat warna metilen biru dan *Coomassie Brilliant Blue* (CBB) (Buhani *et al.*, 2018a; Rayaroth *et al.*, 2015).

Limbah yang mengandung zat warna metilen biru memiliki sifat tumorigenik dan karsinogenik (Akansha *et al.*, 2019). Metilen biru dilaporkan dapat menyebabkan beberapa penyakit, seperti hiperbilirubinemia, gagal ginjal akut, dan anemia hemolitik (Albert *et al.*, 2003). Sifat toksik dari metilen biru diakibatkan karena adanya cincin benzena dalam struktur senyawanya, sedangkan struktur ionnya memberikan kelarutan yang tinggi dalam air sehingga menyebabkan zat warna ini bersifat sangat stabil dan sulit didegradasi (Nath *et al.*, 2018; Permatasari *et al.*, 2021). Sementara itu, zat warna CBB memiliki sifat karsinogenik, mutagenik, dan teratogenik yang berbahaya bagi kesehatan makhluk hidup (Abdel-ghani *et al.*, 2018). Makhluk hidup yang terpapar oleh zat warna CBB dapat mengalami iritasi mata dan iritasi saluran pencernaan (Thamer *et al.*, 2019). Hal ini diakibatkan karena CBB di dalam lingkungan perairan tidak dapat terdegradasi oleh sinar matahari dan panas (Li *et al.*, 2019). Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk menghilangkan zat warna metilen biru dan CBB dalam larutan.

Beberapa metode telah dikembangkan untuk menghilangkan polutan dari lingkungan perairan seperti metode pertukaran ion, koagulasi, flokulasi, oksidasi kimia, pemisahan membran, fotokatalisis, dan adsorpsi (Buhani *et al.*, 2021c). Diantara beberapa metode tersebut, adsorpsi merupakan metode yang efektif digunakan untuk menghilangkan polutan, seperti zat warna di lingkungan perairan (Vatandoostarani *et al.*, 2017). Metode adsorpsi memiliki kelebihan karena

prosesnya mudah dilakukan, biaya relatif murah, ramah lingkungan, tidak menimbulkan efek beracun, serta dapat digunakan berulang kali (Buhani *et al.*, 2011a; Buhani *et al.*, 2017a). Adsorben yang baik memiliki karakteristik antar lain tidak larut dalam air dan pelarut organik, dapat digunakan berulang kali, memiliki laju serta kapasitas adsorpsi yang besar, stabil secara kimia, ramah lingkungan, dan selektif terhadap adsorbat (Buhani *et al.*, 2017a; Buhani dkk., 2020a). Selain itu, keberhasilan proses adsorpsi sangat ditentukan oleh kapasitas adsorpsi, luas permukaan adsorben, volume pori, dan ukuran pori distribusi (Kaykhai *et al.*, 2018).

Selain menggunakan silika gel, karbon aktif, zeolit, dan alumina sebagai adsorben juga telah dikembangkan adsorben dari material biologi seperti jamur, bakteri, ragi, dan alga (Suharso *and* Buhani, 2011). Pemilihan alga sebagai adsorben pada proses adsorpsi dikarenakan alga memiliki efektifitas yang tinggi, relatif stabil, dan ketersediaannya yang melimpah di alam sehingga mudah untuk didapatkan. Biomassa alga sebagai adsorben banyak digunakan karena biomassa alga mengandung senyawa polisakarida, protein atau lipid yang terdiri dari gugus fungsional seperti amina, karboksil, hidroksil, sulfat dan fosfat yang reaktif terhadap adsorbat (Buhani *and* Suharso, 2009).

Dalam penelitian ini digunakan biomassa alga *Sargassum sp.* sebagai adsorben metilen biru dan CBB di dalam lingkungan perairan. *Sargassum sp.* adalah jenis makroalga yang termasuk ke dalam kelompok alga coklat (*Phaeophyceae*) dan merupakan kelompok alga laut paling melimpah kedua di alam (Hifney *et al.*, 2015). Kandungan yang terdapat dalam *Sargassum sp.* diantaranya adalah polisakarida, polifenol, serta mengandung gugus fungsi O-H (alkohol), -COOH (asam karboksilat), R-O-R (eter), -NH₂ (amina), dan amida serta fucoidan (*sulfated poly saccharides*) yang mengandung gugus fungsi asam sulfonat [R-S(=O)₂-OH] (Ale *et al.*, 2012; Barquilha *et al.*, 2018; Jesumani *et al.*, 2019; Saldarriaga-hernandez *et al.*, 2020). Berdasarkan hal tersebut, maka biomassa alga *Sargassum sp.* memiliki potensi yang baik digunakan sebagai adsorben zat warna metilen biru dan CBB.

Kemudian, untuk meningkatkan kapasitas adsorpsinya terhadap zat warna metilen biru dan CBB maka biomassa alga *Sargassum sp.* dimodifikasi menggunakan surfaktan *Hexadecyltrimethylammonium Bromide* (HDTMA-Br) yang merupakan jenis surfaktan kationik (Jumaeri *et al.*, 2018). Surfaktan HDTMA-Br dipilih karena dapat mengubah karakter bagian permukaan alga yang merupakan anion menjadi bermuatan parsial positif dengan melakukan pertukaran kation anorganik dengan kation organik (surfaktan) (Otavo-Loaiza *et al.*, 2019; Sriatun *et al.*, 2008). Selain itu, surfaktan HDTMA-Br juga memiliki harga yang relatif murah dan banyak tersedia dipasaran (Karnjanakom *and* Maneechakr, 2019). Oleh karena itu, pada penelitian ini dihasilkan material alternatif dari biomassa alga *Sargassum sp.* untuk menyerap zat warna metilen biru dan CBB.

Material adsorben biomassa alga *Sargassum sp.* termodifikasi HDTMA-Br yang diperoleh kemudian dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui struktur morfologi dan analisis unsur pada permukaan adsorben, serta analisa *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi pada adsorben. Kemudian, untuk mengetahui kapasitas adsorpsi adsorben terhadap metilen biru dan CBB melalui penentuan variasi pH, waktu kontak, konsentrasi, uji penggunaan ulang adsorben, mekanisme adsorpsi, dan penggunaan adsorben terhadap pasangan larutan bikomponen metilen biru dan CBB maka dilakukan analisa menggunakan Spektrofotometri UV-Vis. Dengan demikian, dihasilkan material adsorben biomassa alga *Sargassum sp.* termodifikasi HDTMA-Br yang efektif digunakan dalam menyerap zat warna metilen biru dan CBB di dalam lingkungan perairan.

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mempelajari cara memodifikasi biomassa alga *Sargassum sp.* dengan HDTMA-Br dan karakterisasinya.

2. Menentukan pH, waktu kontak, dan konsentrasi optimum metilen biru dan CBB yang diadsorpsi oleh biomassa alga *Sargassum sp.* termodifikasi HDTMA-Br.
3. Mempelajari kinetika adsorpsi dan isotherm adsorpsi metilen biru dan CBB yang diadsorpsi oleh biomassa alga *Sargassum sp.* termodifikasi HDTMA-Br.
4. Mempelajari kemampuan adsorpsi biomassa alga *Sargassum sp.* termodifikasi HDTMA-Br terhadap pasangan larutan bikomponen zat warna metilen biru dan CBB.
5. Mempelajari mekanisme adsorpsi dan kemampuan penggunaan ulang dari adsorben alga *Sargassum sp.* termodifikasi HDTMA-Br terhadap zat warna metilen biru dan CBB.

1.3 Manfaat Penelitian

Selanjutnya, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam upaya pemanfaatan biomassa alga sebagai adsorben, penanganan limbah yang mengandung zat warna metilen biru dan CBB, serta dapat memberikan informasi mengenai studi adsorpsinya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biomassa Alga

Alga adalah kelompok organisme eukariotik yang mengandung klorofil dan dapat ditemukan di air laut ataupun air tawar. Ukuran alga dimulai dari ukuran mikro (organisme sel tunggal) hingga berukuran makro (panjang hingga seratus kaki) (EIFar *et al.*, 2021). Sampai saat ini diketahui terdapat lebih dari 50.000 jenis *strain* mikroalga yang dapat ditemukan di air laut maupun air tawar. Pertumbuhan berbagai jenis alga dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu faktor abiotik dan biotik, dimana faktor abiotik dapat meliputi cahaya, suhu, nutrisi, kandungan oksigen terlarut, pH, salinitas, konsentrasi CO₂, dan keberadaan bahan kimia toksik dalam media pertumbuhannya. Sedangkan faktor biotik misalnya bakteri, jamur, virus, dan adanya kompetisi dengan jenis alga lain (Shen *et al.*, 2009).

Menurut Guedes *et al* (2019) kandungan yang biasanya terdapat pada alga yaitu :

1. Polisakarida

Polisakarida merupakan salah satu kandungan terbesar pada alga yang berperan sebagai struktur dinding sel dan penyimpan cadangan makanan. Polisakarida pada alga diklasifikasikan sebagai serat makanan dan hidrokoloid. Kelompok alga tertentu akan menghasilkan jenis polisakarida tertentu, misalnya alga hijau menyimpan pati untuk menyimpan energi.

2. Protein

Kandungan protein bervariasi tergantung pada jenis alga serta habitat alga tumbuh. Secara umum, kandungan protein pada alga coklat relatif lebih rendah dibandingkan alga hijau dan alga merah. Pada makroalga kandungan proteinnya dapat mencapai 35-45% dari berat keringnya, sedangkan pada

mikroalga dapat mengandung 60-70% protein dari berat kering mikroalga. Umumnya, sebagian besar jenis alga mengandung semua jenis asam amino essensial seperti asam aspartat dan asam glutamat.

3. Lipid

Kandungan lipid dalam alga biasanya lebih rendah daripada kandungan karbohidrat dan proteinnya. Senyawa lipid yang terkandung pada alga adalah fosfolipid, glikolipid, dan sterol.

Alga dibagi menjadi tiga kelas utama yaitu *Chlorophyceae* (alga hijau), *Bacillariophyceae* (diatom), dan *Phaeophyceae* (alga coklat). Habitat *Phaeophyceae* (alga coklat) adalah pada perairan dangkal, biasanya berada pada kedalaman 0,5-10 m yang diikuti adanya ombak dan arus. Alga coklat menempel pada substrat batu karang di daerah perairan jernih dan dapat tumbuh dengan subur pada daerah tropis. Alga coklat biasanya menyerupai tumbuhan bercabang yang berbentuk benang kecil dan halus (*ectocarpus*), bertalus lebar (beberapa diantaranya dapat mencapai lebar 2 m, seperti *alaria* dan *laminaria*), tetapi memiliki tangkai yang pendek (Pakidi dan Suwoyo, 2017). Alga coklat memiliki kapasitas biosorpsi yang tinggi karena kandungan polisakarida seperti fukoidan dan alginat yang terkandung di dalam dinding selnya. Polisakarida ini memberikan gugus fungsi $-COOH$ (asam karboksilat) dan sulfit yang aktif pada proses pertukaran ion (Davis *et al.*, 2003). Gugus fungsional lain yang telah diketahui dari alga coklat adalah amida, O-H (alkohol), dan R-O-R (eter) yang reaktif berinteraksi dengan adsorbat (Barquilha *et al.*, 2018). Salah satu contoh alga yang termasuk dalam kelas alga coklat yaitu *Sargassum sp.* Klasifikasi *Sargassum sp.* menurut Satyarsa (2019) adalah sebagai berikut :

Kingdom	: <i>Protista</i>
Divisi	: <i>Phaeophyta</i>
Kelas	: <i>Phaeophyceae</i>
Ordo	: <i>Fucales</i>
Famili	: <i>Sargassaceae</i>
Genus	: <i>Sargassum</i>
Spesies	: <i>Sargassum sp.</i>

Morfologi *Sargassum sp.* menyerupai tumbuhan tingkat tinggi, dimana thallusnya dapat dibedakan antara akar, batang, dan daun. *Sargassum sp.* memiliki *holdfast* berbentuk cakram yang berfungsi untuk melekat pada substratnya.

Percabangannya memiliki gelembung udara berbentuk bulat yang berukuran kecil dengan diameter 1,5-2 mm dan berfungsi untuk membantu mengapung di permukaan air jika *holdfast* lepas dari substrat. Ekstrak *Sargassum sp.* mengandung air 12,59 %, abu 51,30 %, lemak 22,90 %, serat 0,89 % dan nitrogen 20,94%, protein, mineral, polisakarida, vitamin dan beberapa senyawa lainnya yakni laminaran, fukoidan, selulosa, manitol, fenolat, kompleks diterpenoid, terpenoid aromatik, saponin, dan flavonoid (Satyarsa, 2019).

Alga *Sargassum sp.* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alga *Sargassum sp.*

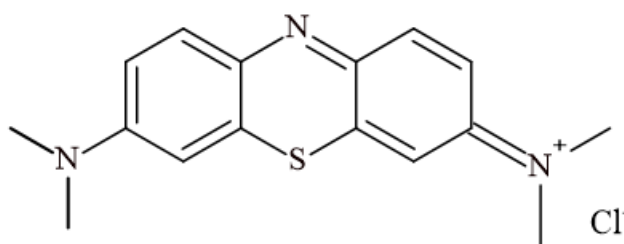
Sargassum sp. mengandung pigmen fotosintetik, dimana berdasarkan hasil penelitian pigmen yang terkandung pada *Sargassum sp.* yaitu klorofil a (52,82%); turunan klorofil a (14,88%); fukoxantin (20,95%); total xantofil (8,46%); β -karoten (1,49%); klorofil c (1,05%); dan turunan klorofil c (0,35%). Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa ekstrak kasar pigmen yang paling banyak terkandung pada *Sargassum sp.* adalah klorofil a dan fukoxantin yang merupakan golongan karetonoid yang terbanyak (Merdekawati dan Susanto, 2009). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Hegazi (2002) yang menyatakan bahwa pigmen yang paling banyak terdapat pada *Sargassum sp.* adalah klorofil a dan fukoxantin yang memberikan warna coklat.

Pemanfaatan alga, termasuk *Sargassum sp.* sebagai biosorben memiliki keuntungan menurut Harris and Ramelow (1990) antara lain :

1. Bahan baku tersedia dalam jumlah banyak sehingga mudah untuk didapatkan.
2. Biaya yang diperlukan relatif rendah.
3. Tidak memerlukan nutrisi tambahan.
4. Memiliki beberapa gugus fungsi utama seperti hidroksil, karboksil, amina, sulfat, sulfidril, sulfonat, dan imidazol sehingga akan reaktif dalam mengikat adsorbat.

2.2 Metilen biru

Metilen biru adalah senyawa yang memiliki rumus molekul $C_{16}H_{18}N_3SCl$. Metilen biru dalam bentuk kristalnya berwarna hijau tua dengan kilau seperti perunggu tetapi membentuk larutan berwarna biru tua di dalam air, stabil di udara, tidak berbau, serta larut dalam air, kloroform, dan alkohol. Zat warna ini banyak digunakan untuk mewarnai kapas dan wol, reagen dalam titrasi oksidasi-reduksi di dalam analisis volumetrik, dan digunakan sebagai indikator, tetapi memiliki sifat toksisitas yang tinggi (Lewis, 2007). Karena sifat toksisitas yang dimiliki metilen biru maka konsentrasi maksimum metilen biru yang diperbolehkan terkandung dalam suatu larutan berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Kep51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair adalah sebesar 5-10 mg/L (Nurlaili dkk., 2017). Metilen biru sering digunakan dalam industri tekstil karena warna yang dihasilkan terang, mudah diaplikasikan, dan proses pewarnaannya cepat (Nurhasni dkk., 2018). Agar mudah larut di dalam air maka metilen biru dibuat sebagai garam kloridanya dengan membentuk ion $C_{16}H_{18}N_3S^+$ dan ion Cl^- (Lestari dkk., 2021). Struktur metilen biru ditunjukkan pada Gambar 2.

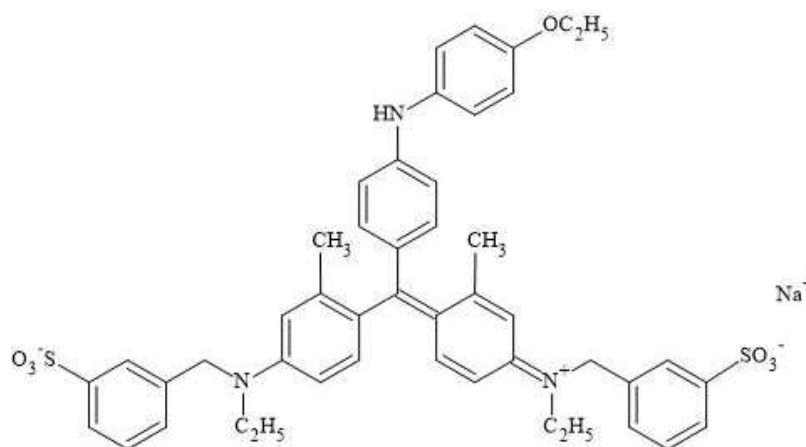


Gambar 2. Struktur metilen biru (Hegyesei *et al.*, 2017)

Konsentrasi metilen biru dalam suatu larutan dapat diamati menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada penyerapan maksimum puncak menggunakan panjang gelombang 663 nm (Lu *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2019).

2.3 Coomassie Brilliant Blue (CBB)

Coomassie Brilliant Blue (CBB) adalah salah satu jenis pewarna trifenilmetana yang terdiri dari dua jenis, yaitu *Coomassie Brilliant Blue* R-250 dan *Coomassie Brilliant Blue* G-250. Jenis pewarna CBB R-250 memiliki warna yang kemerahan, sedangkan CBB G-250 memiliki warna kehijauan (Mekaoui *et al.*, 2012). CBB disintesis pertama kali dari pewarna tar batubara yang tahan terhadap panas, cahaya, dan kondisi alam lainnya. Oleh karena itu, CBB memiliki sifat yang berbahaya bagi lingkungan dan makhluk hidup karena sifat toksisitasnya yang tinggi, non-biodegradabilitas, dan mudah terakumulasi di badan air (Thamer *et al.*, 2019).



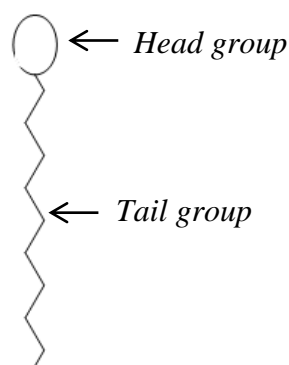
Gambar 3. Struktur *Coomassie Brilliant Blue* G-250 (Rauf *et al.*, 2005)

Coomassie Brilliant Blue G-250 (CBB) adalah jenis pewarna sintesis terpenting pada industri tekstil yang mewakili kelas penting dari organopolutan beracun dengan rumus molekul $C_{47}H_{49}N_3NaO_7S_2$ yang memiliki berat molekul $855,028 \pm 0,054$ g/mol. Senyawa ini memiliki densitas sebesar 0,96 g/mL dengan *refractive index* sebesar 1,334. CBB G-250 memiliki tambahan dua gugus metil pada strukturnya. *Coomassie* merupakan nama merek dagang yang masih digunakan

oleh *Imperial Chemical Industries* (ICI, yang kemudian diakuisi oleh Akzo Nobel Inc.) (Abbas *et al.*, 2015; Mekaoui *et al.*, 2012). Struktur CBB G-250 ditunjukkan pada Gambar 3. Konsentrasi CBB G-250 dalam suatu larutan dapat diamati menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada penyerapan maksimum puncak menggunakan panjang gelombang 585 nm (Rauf *et al.*, 2005).

2.4 Surfaktan

Surfaktan adalah suatu zat yang memiliki kemampuan untuk menurunkan tegangan permukaan suatu sistem apabila diberikan dalam konsentrasi rendah. Surfaktan memiliki struktur yang terdiri dari bagian kepala dan ekor. Bagian kepala adalah bagian yang bersifat hidrofilik yang artinya suka terhadap air sehingga tidak diperlukan energi yang besar apabila melakukan kontak dengan air. Bagian ekor adalah bagian yang bersifat hidrofobik atau tidak suka terhadap air. Bagian ekor terbentuk atas rantai karbon yang apabila makin panjang maka makin baik untuk menjerap zat yang bersifat non-polar. Struktur surfaktan ditunjukkan pada Gambar 4.



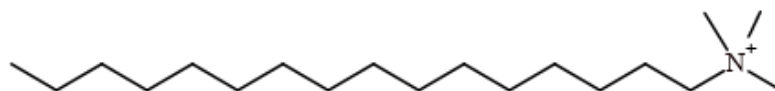
Gambar 4. Struktur surfaktan (Yolani, 2012)

Surfaktan terbagi menjadi tiga jenis, yaitu surfaktan anionik, surfaktan kationik, dan surfaktan non-ionik. Surfaktan anionik adalah surfaktan yang membawa muatan negatif, surfaktan kationik adalah surfaktan yang membawa muatan positif, dan surfaktan non-ionik adalah surfaktan yang tidak memiliki muatan (Kurniadie dkk., 2017). Jenis surfaktan kationik biasanya sering digunakan untuk pengarah molekul pada sintesis material berpori. Surfaktan kationik dapat

digunakan pada beberapa produk, seperti inhibitor korosi, pelembut kain, dan agen antimikroba (Juni dkk., 2012).

2.5 *Hexadecyltrimethylammonium* (HDTMA)

Hexadecyltrimethylammonium (HDTMA) adalah jenis surfaktan kationik yang memiliki muatan positif pada gugus kepala dan terikat pada ekor hidrokarbon (Rahmawati, 2018). Surfaktan HDTMA memiliki sifat yang mampu membentuk misel dalam larutan, memiliki 16 rantai karbon, dan memiliki muatan +1 pada bagian kepala (Sullivan *et al.*, 2003). Surfaktan ini umumnya dijumpai dalam bentuk garam, seperti *Hexadecyltrimethylammonium Bromide* (HDTMA-Br). Surfaktan HDTMA-Br merupakan surfaktan yang dapat mengubah muatan permukaan yang awalnya bermuatan negatif menjadi positif (Huang *et al.*, 2016). Penambahan surfaktan HDTMA-Br ke permukaan zat yang bermuatan negatif akan melibatkan pertukaran kation dan ikatan hidrofobik. Saat konsentrasi rendah, monomer surfaktan dapat tertahan oleh pertukaran ion sehingga membentuk monolayer. Tetapi apabila konsentrasi surfaktan ditingkatkan maka interaksi antara ekor hidrokarbon dapat menyebabkan pembentukan bilayer (Setiawati dkk., 2015). Struktur surfaktan HDTMA ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur surfaktan HDTMA

Asosiasi antara surfaktan dengan biomassa alga yang mengandung rantai polisakarida dapat membentuk kompleks larut atau tidak larut tergantung pada pengaruh elektrostatis, hidrofobik, dipolar, atau interaksi ikatan hidrogen. Pada umumnya, apabila surfaktan berinteraksi dengan rantai polisakarida yang memiliki muatan berlawanan maka akan terjadi interaksi elektrostatis sampai netralisasi biopolimer polianionik. Adanya rantai polisakarida pada biomassa alga akan menyebabkan surfaktan dengan muatan berlawanan ini membentuk agregat yang disebut dengan *Critical Association Concentration* (CAC) yang melibatkan

interaksi elektrostatik yang kuat dan agregasi rantai alkil dari ion surfaktan yang terikat (Covis *et al.*, 2015).

2.6 Adsorpsi

Adsorpsi adalah peristiwa tertariknya suatu molekul dari fluida (baik cair dan gas) ke permukaan suatu zat padat (adsorben) (Yuliusman dkk., 2013). Proses adsorpsi disebabkan oleh adanya gaya tarik menarik antar molekul atau interaksi kimia atau karena akibat medan gaya pada permukaan adsorben yang menarik molekul adsorbat. Gaya intermolekul yang terlibat dalam proses adsorpsi adalah gaya Van der Waals, ikatan hidrogen, gaya hidrofob, ikatan kovalen, dan gaya elektrostatik (Mahatmanti dan Sumarni, 2003).

Adsorpsi dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu sebagai berikut :

1. Adsorpsi fisika

Adsorpsi secara fisika dapat terjadi akibat adanya gaya Van der Waals antara permukaan dengan adsorbat. Adsorpsi fisika pada umumnya bersifat *reversible* sehingga mudah dilakukan pemisahan, membentuk lapisan multilayer, dan ikatan yang terbentuk relatif lemah (Yuliusman dkk., 2013). Interaksi yang terjadi pada adsorpsi fisika adalah interaksi nonkovalen yang sangat dipengaruhi oleh jarak antara adsorbat dengan adsorben (Liu *et al.*, 2017).

2. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi secara kimia terjadi akibat adanya ikatan kovalen atau ionik antara adsorben dengan adsorbat. Proses yang terjadi pada adsorpsi kimia adalah transfer elektron antara adsorben dengan adsorbat selama adsorpsi berlangsung. Proses tersebut menyebabkan ikatannya kuat, prosesnya *irreversible*, dan dapat membentuk lapisan monolayer (Liu *et al.*, 2017; Yuliusman dkk., 2013).

Adsorben yang baik memiliki karakteristik menurut Tien (2019) diantaranya adalah :

1. Ukuran adsorben. Ukuran adsorben berkaitan erat dengan laju penyerapan terhadap adsorbat.
2. Densitas adsorben, dimana tingkat adsorpsi sering dinyatakan dengan unit massa adsorben.
3. Porositas pori memberikan indikasi struktur internal suatu adsorben agar efektif untuk menyerap adsorbat yang sesuai.
4. Ukuran pori dan distribusi ukuran. Ukuran pori digolongkan menjadi mikropori ($d_{\text{pore}} < 20 \text{ \AA}$), mesopori ($20 \text{ \AA} < d_{\text{pore}} < 500 \text{ \AA}$), dan makropori ($d_{\text{pore}} > 500 \text{ \AA}$).
5. Luas permukaan spesifik sangat mempengaruhi kapasitas adsorpsi suatu adsorben dan tingkat penyerapan suatu adsorbat pada tingkat yang lebih rendah. Luas permukaan spesifik dapat ditentukan berdasarkan volume pori suatu adsorben.

Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi menurut Widayatno dkk (2017) adalah sebagai berikut :

1. Karakteristik adsorben. Energi permukaan dan gaya tarik permukaan sangat mempengaruhi proses adsorpsi, sehingga sifat fisik adsorben seperti ukuran partikel dan luas permukaan menjadi sifat penting suatu adsorben.
2. Konsentrasi zat. Apabila konsentrasi suatu zat makin besar, maka jumlah *solute* yang dapat diadsorpsi juga akan semakin besar.
3. Luas permukaan. Semakin luas permukaan adsorben maka memungkinkan zat yang menempel pada permukaan adsorben bertambah sehingga adsorpsi yang terjadi semakin besar.
4. Tekanan. Apabila tekanan diperbesar maka molekul adsorbat akan semakin mudah teradsorpsi, sehingga jumlah adsorbat yang terserap semakin banyak. Artinya, tekanan dapat memperbesar jumlah zat yang teradsorpsi.
5. Daya larut terhadap adsorben. Apabila daya larut adsorben tinggi maka dapat menghambat proses adsorpsi. Hal ini dikarenakan gaya melarutkan *solute* berlawanan dengan gaya tarik adsorben terhadap adsorbat.

6. Koadsorpsi. Adsorben yang telah mengadsorpsi zat tertentu akan memiliki daya adsorpsi yang lebih besar terhadap adsorbat dari pada daya adsorpsi awalnya.
7. Pengadukan. Kecepatan pengadukan yang cepat dapat menaikkan *film diffusion* sampai titik *pore diffusion* sehingga dapat mempermudah proses adsorpsi.
8. pH larutan. Senyawa yang terionisasi lebih sukar teradsorpsi daripada senyawa yang terdisosiasi. Pada asam organik, apabila terjadi penurunan pH dengan penambahan asam mineral maka proses adsorpsi akan meningkat. Hal ini disebabkan karena asam mineral mampu mengurangi ionisasi asam organik. Tetapi, apabila pH asam organik mengalami peningkatan dengan penambahan alkali maka akan terjadi pembentukan garam sehingga adsorpsi akan berkurang. Adsorpsi akan optimum apabila pH asam organik berada pada muatan netralnya.

Menurut Buhani *et al* (2019b) jumlah zat warna yang teradsorpsi per satuan massa adsorben dan persentase zat warna yang teradsorpsi dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut.

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{m} \times V \quad (1)$$

$$q_t = \frac{C_0 - C_t}{m} \times V \quad (2)$$

$$R(\%) = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad (3)$$

Dimana :

C_0 = konsentrasi pada keadaan awal (mg L^{-1})

C_e = konsentrasi pada kesetimbangan (mg L^{-1})

C_t = konsentrasi pada waktu tertentu dalam larutan (mg L^{-1})

m = massa adsorben (gram)

V = volume larutan (L)

q = jumlah adsorbat yang teradsorpsi per satuan massa (mg g^{-1})

R = presentase zat warna yang teradsorpsi

2.6.1 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adalah salah satu cabang ilmu kimia yang membahas mengenai laju reaksi, orde reaksi, dan tetapan laju reaksi. Kinetika kimia dapat memberikan informasi mengenai mekanisme reaksi (Musta dkk., 2020). Kinetika adsorpsi merupakan laju reaksi suatu proses adsorpsi berlangsung. Waktu kesetimbangan adsorpsi digunakan untuk mendapatkan adsorpsi maksimum adsorbat di permukaan adsorben. Laju reaksi akan semakin tinggi apabila waktu reaksi semakin pendek (Buhani *et al.*, 2012b). Kinetika adsorpsi dapat ditentukan menggunakan persamaan kinetika pseudo orde satu dan pseudo orde dua (Buhani *et al.*, 2010a).

Pseudo orde satu

Pseudo orde satu digunakan untuk menggambarkan proses kinetika adsorpsi pada fase cair-padat. Persamaan pseudo orde satu dapat dituliskan pada persamaan 4.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_{p1} (q_e - q_t) \quad (4)$$

Dimana q_e dan q_t (mg/g) adalah kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan dan t adalah waktu (min), k_{p1} (min^{-1}) adalah konstanta laju orde satu semu untuk model kinetika. Persamaan 4 kemudian dapat diintegrasikan pada batas kondisi $q_t=0$ pada $t=0$ dan $q_t=q_t$ pada $t=t$, sehingga menghasilkan persamaan 5.

$$\ln \left(\frac{q_e}{q_e - q_t} \right) = k_{p1} t \quad (5)$$

Persamaan 5 dapat diatur ulang menjadi,

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (6)$$

$$q_t = q_e (1 - e^{-k_1 t}) \quad (7)$$

(Buhani *et al.*, 2010c; Buhani *et al.*, 2012b; Qiu *et al.*, 2009; Zulaicha *et al.*, 2021).

Pseudo orde dua

Pseudo orde dua pertama kali diterapkan untuk memodelkan adsorpsi timbal ke gambut yang kemudian secara luas diaplikasikan untuk menggambarkan proses adsorpsi serta untuk menghitung konstanta laju reaksi. Persamaan pseudo orde dua ditunjukkan pada persamaan 8.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_{p2} (q_e - q_t)^2 \quad (8)$$

Kemudian, model persamaan pseudo orde dua dapat diintegrasikan menjadi persamaan 9.

$$q_t = \frac{q_e^2 k_2 t}{1 + q_e k_2 t} \quad (9)$$

Untuk menghitung parameter model linier dari non-linier menggunakan pseudo orde dua maka persamaan dapat diubah menjadi,

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (10)$$

Sama seperti konstanta laju pada pseudo orde satu, konstanta laju (k_2) pada pseudo orde dua juga digunakan untuk menggambarkan laju kesetimbangan adsorpsi. Laju adsorpsi dq_t-dt berhubungan dengan k_2 dan $(q_e - q_t)$. Jadi untuk menentukan laju pada pseudo orde dua dapat ditulis dengan persamaan 11.

$$\text{laju} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (11)$$

(Wang and Guo, 2020).

2.6.2 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi adalah kurva yang menggambarkan fenomena yang mengatur retensi atau pelepasan atau mobilitas zat dari media berpori pada lingkungan berair ke fase padat pada pH dan suhu konstan. Perbandingan antara jumlah zat teradsorpsi dengan sisa zat dalam larutan dapat ditetapkan ketika fase yang

mengandung adsorbat telah mengalami kontak dengan adsorben pada waktu tertentu, dengan konsentrasi larutan yang mengandung adsorbat berada pada kesetimbangan dinamis (Foo *and* Hameed, 2010). Isoterm adsorpsi digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi, pada fase cair-padat isoterm adsorpsi yang umum digunakan adalah model adsorpsi Langmuir dan Freundlich (Buhani *et al.*, 2013a).

a. Isoterm Adsorpsi Sistem Monokomponen

1. Adsorpsi Langmuir

Model isoterm adsorpsi Langmuir mengasumsikan bahwa permukaan adsorben memiliki permukaan yang seragam, memiliki sejumlah situs aktif yang berbanding lurus dengan luas permukaan, dan proses adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi monolayer (Buhani *et al.*, 2019b). Secara grafik, ciri model isoterm adsorpsi Langmuir adalah adanya puncak, oleh karena itu saat kesetimbangan terdapat titik jenuh yaitu titik dimana tidak terjadi proses adsorpsi lebih lanjut. Proses adsorpsinya hanya terjadi pada situs homogen tertentu pada adsorben (Allen *et al.*, 2004). Model isoterm adsorpsi Langmuir ditunjukkan melalui persamaan 12.

$$\frac{C}{n} = \frac{1}{n_m k} + \frac{C}{n_m} \quad (12)$$

Dimana :

C = konsentrasi adsorbat saat kesetimbangan (mg L^{-1})

n = jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben saat konsentrasi awal (mg g^{-1})

n_m = jumlah zat yang teradsorpsi saat keadaan jenuh (kapasitas adsorpsi) (mg g^{-1})

K_L = konstanta kesetimbangan (L mol^{-1})

Energi adsorpsi adalah energi yang dihasilkan ketika terdapat sejumlah mol zat yang teradsorpsi dalam adsorben serta jumlahnya sebanding dengan nilai negatif dari perubahan energi bebas Gibbs standar. Selanjutnya, untuk menghitung energi adsorpsi dapat digunakan energi bebas Gibbs yang mengikuti persamaan 13 (Buhani *et al.*, 2019b).

$$\text{Energi adsorpsi} = \Delta G_{\text{ads}}^0 = - R T \ln K \quad (13)$$

Dimana :

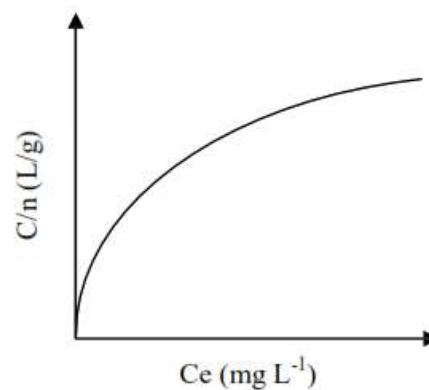
E = Energi adsorpsi (kJ mol^{-1})

R = Konstanta gas universal ($8,314 \text{ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)

T = Suhu (Kelvin)

K = Konstanta kesetimbangan

Nilai energi adsorpsi dapat menentukan jenis adsorpsi yang terjadi. Apabila nilai energi adsorpsi kurang dari 20 kJ mol^{-1} maka termasuk jenis adsorpsi fisika, sedangkan apabila nilai energi adsorpsi lebih besar dari $20,92 \text{ kJ mol}^{-1}$ merupakan jenis adsorpsi kimia. Grafik model isoterm adsorpsi Langmuir ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik model isoterm adsorpsi Langmuir

2. Adsorpsi Freundlich

Model isoterm adsorpsi Freundlich adalah persamaan yang digunakan untuk adsorpsi multilayer pada sistem yang heterogen (Buhani *et al.*, 2019b). Model adsorpsi Freundlich ditunjukkan pada persamaan 14.

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (14)$$

Dimana :

n = eksponen Freundlich yang diperoleh dari plot $\log q_e$ versus $\log C_e$

nilai eksponen Freundlich (n) adalah antara 1-10

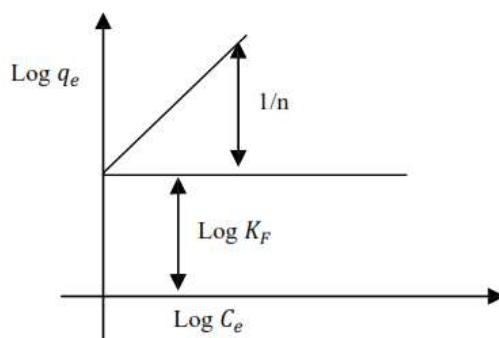
K_F = konstanta Freundlich.

C_e = konsentrasi kesetimbangan adsorbat (mg L^{-1})

q_e = jumlah zat yang teradsorpsi per gram dalam kesetimbangan (mg g^{-1})

(Buhani *et al.*, 2019c; Buhani *et al.*, 2013b).

Grafik model isotherm Freundlich ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik model isotherm adsorpsi Freundlich

b. Isotherm Adsorpsi Sistem Bikomponen

Pada sistem bikomponen kemampuan adsorben-adsorbat mengalami perubahan karena terdapat persaingan agar dapat berinteraksi dengan situs aktif pada adsorben. Untuk menganalisis isotherm adsorpsi biner dapat digunakan persamaan Langmuir yang memperhitungkan kedua zat yang teradsorpsi secara bersamaan pada permukaan adsorben (Noroozi *et al.*, 2008). Persamaan isotherm Langmuir biner ditunjukkan pada persamaan 15.

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

Dimana q_m , b_1 , dan b_2 adalah konstanta isotherm Langmuir biner. Penambahan konstanta baru (k_1 , k_2) dalam bentuk eksponensial ke penyebut konsentrasi isotherm Langmuir dapat diperoleh persamaan 16.

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

Menambahkan k_1, k_2 pada pembilang dan penyebut konsentrasi akan diperoleh isoterm adsorpsi Langmuir-Freundlich yang dituliskan pada persamaan 17.

$$q_1^* = \frac{q_m(C_1^*)^{k_1} b_1}{1 + b_1(C_1^*)^{k_1} + b_2(C_2^*)^{k_2}} \quad (17)$$

(Fagundes-Klen *et al.*, 2007).

2.7 Nilai Zeta Potensial

Zeta potensial adalah model kuantitas yang ditentukan dari pengukuran nilai elektroforesis dalam suatu suspensi. Nilai zeta potensial dapat dipengaruhi oleh kondisi larutan dan model teoritis yang digunakan. Besarnya nilai zeta potensial digunakan sebagai stabilitas suatu dispersi terhadap agregasi atau deposisi, apabila nilai zeta potensial di atas ± 30 mV maka dianggap cukup stabil karena tolakan elektrostatisnya cukup besar untuk mencegah agregasi (Lowry *et al.*, 2016).

Nilai zeta potensial biasanya digunakan sebagai parameter mendasar sebagai karakteristik muatan permukaan antarmuka (Engwayu *and* Pawlik, 2020). Menurut Ai *et al* (2011) pengukuran nilai zeta potensial dapat digunakan persamaan 18.

$$pH = pH_i - pH_f \quad (18)$$

Dimana :

pH_i : pH awal larutan

pH_f : pH akhir larutan

Perbedaan nilai antara pH awal dan pH akhir kemudian diplotkan terhadap pH_i . Kemudian, titik perpotongan kurva yang diperoleh dengan absis dimana nilai pH adalah 0 memberikan nilai pH_{pzc} (pH zeta potensial). Zeta potensial merupakan parameter untuk mengontrol interaksi elektrostatis dispersi suatu partikel sehingga juga dapat digunakan untuk mengoptimalkan formula suatu emulsi atau suspensi untuk membantu memprediksi stabilitas jangka panjangnya (Road *and* Park, 2014).

2.8 Desorpsi

Desorpsi adalah proses melepasnya adsorbat dari permukaan adsorben menuju suatu larutan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa elusi dan regenerasi biomassa dapat menggunakan beberapa pelarut organik, seperti metanol dan etanol, atau dengan beberapa pelarut anorganik. Salah satu agen pendesorpsi yang baik adalah HCl. Hal ini karena gugus karboksil, hidroksil, atau karbonil di dalam medium asam dapat terprotonasi sehingga dapat menarik ion-ion logam ke dalam agen pendesorpsi. Keberhasilan proses desorpsi dipengaruhi oleh konsentrasi agen pendesorpsi, dimana makin tinggi konsentrasinya maka semakin meningkatkan kapasitas desorpsinya (Sinaga dkk., 2015).

Proses desorpsi biomassa menggunakan bahan kimia memiliki efisiensi regenerasi yang cepat dan efektif tanpa adanya perubahan sifat struktural dari permukaan biomassa. Eluen yang biasa digunakan untuk desorpsi zat warna dari biomassa adalah asam, basa, alkohol, dan garam. Eluen garam, khususnya NaCl memiliki keunggulan dibandingkan eluen yang lain, seperti memiliki efisiensi desorpsi yang tinggi, biayanya rendah, tidak menimbulkan perubahan sifat fisika dan kimia dari biomassa, dan meningkatkan tingkat degradasi zat warna pada eluen melalui proses oksidasi lanjutan (Azzaz *et al.*, 2018).

2.9 Karakterisasi

2.9.1 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis bekerja di daerah spektral sinar tampak dan sinar ultraviolet yang digunakan untuk analisis objek biologis, anorganik, dan organik secara kuantitatif. Prinsip dasar spektrofotometer UV-Vis adalah hukum Bouguer-Lambert-Beer akibat adanya pengukuran dari penyerapan cahaya pada larutan dan gas. Hukum Bouguer-Lambert-Beer ditunjukkan seperti persamaan berikut.

$$\log\left(\frac{I_0}{I}\right) = \log\left(\frac{100}{T(\%)}\right) = A = \epsilon \cdot c \cdot d \quad (19)$$

$$A = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) \text{ adalah absorbansi} \quad (20)$$

$$T = I_{og} \frac{I}{I_0} \cdot 100\% \text{ adalah transmittan} \quad (21)$$

Dimana :

I_0 : Intensitas cahaya monokromatik

I : intensitas cahaya yang muncul dari sampel

c : konsentrasi zat penyerap cahaya

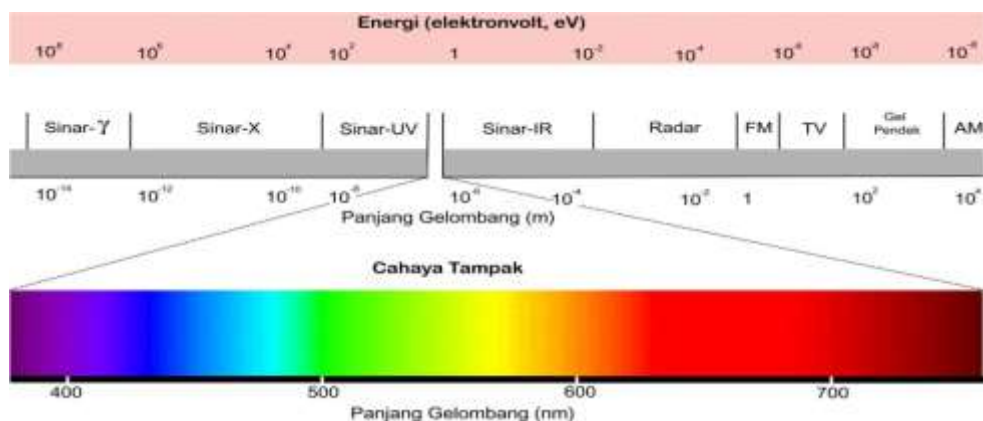
d : panjang kuvet (cm)

ϵ : ekstensi molar

Persamaan (21) kemudian memberikan:

$$\epsilon = \frac{A}{c \cdot d} \quad (22)$$

ϵ adalah karakteristik secara kuantitatif zat yang bergantung pada bilangan gelombang (cm^{-1}) (Hollas, 2004). Klasifikasi spektrum cahaya dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Spektrum cahaya berbagai panjang gelombang (Naomi dkk., 2018)

Sampel yang dapat dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis yaitu sampel yang berupa larutan, uap atau gas. Sebelum dianalisis, sampel harus diubah menjadi larutan jernih. Larutan yang digunakan untuk melarutkan sampel yang harus memperhatikan beberapa persyaratan, yaitu :

1. Dapat dengan sempurna melarutkan sampel.
2. Pelarut tidak boleh berwarna dan tidak terdapat ikatan rangkap terkonjugasi pada strukturnya.

3. Tidak menyebabkan interaksi antara pelarut dengan molekul senyawa yang dianalisis.
4. Memiliki kemurnian yang tinggi.

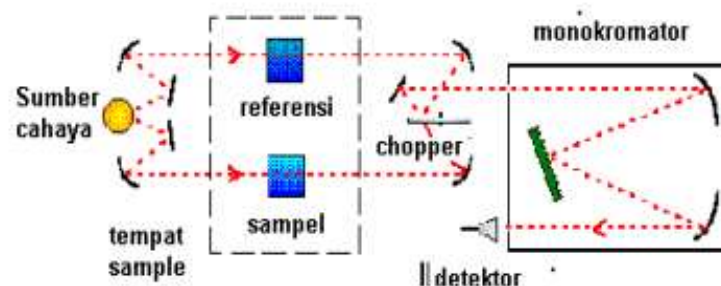
Tipe instrumen spektrofotometer UV-Vis yang umum digunakan terdiri dari *single-beam* dan *double-beam*. Instrumen spektrofotometer UV-Vis *single-beam* digunakan untuk analisis secara kuantitatif dengan cara mengukur nilai absorbansi di panjang gelombang tunggal. Keuntungan dari *single-beam* instrumen adalah harganya relatif murah dan pengoperasiannya yang sederhana. Spektrum panjang gelombang terendah yang digunakan pada *single-beam* instrumen yaitu 190-210 nm, sedangkan spektrum panjang gelombang tertinggi yang dapat digunakan adalah 800-1000 nm.

Instrumen *double-beam* memiliki dua sinar yang terbentuk oleh potongan cermin dengan bentuk V. Larutan blanko akan dilewati oleh sinar pertama, kemudian sinar kedua akan melewati sampel secara serentak. Sinar ultraviolet menggunakan lampu deuterium sebagai sumber sinar polikromatis dan sinar tampak menggunakan lampu wolfram sebagai sumber sinar. *Double-beam* instrumen efektif digunakan untuk analisa pada panjang gelombang 190-750 nm (Suhartati, 2017).

2.9.2 Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Fourier Transform Infra Red (FTIR) merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengetahui gugus atau jenis ikatan dari suatu senyawa berdasarkan nilai panjang gelombang dan bilangan gelombangnya dari suatu sampel (Noor *et al.*, 2016). Spektrum pengukuran inframerah dilakukan pada daerah cahaya inframerah tengah pada panjang gelombang 2,5-50 μm atau ada daerah bilangan gelombang 400-200 cm^{-1} . Radiasi yang menghasilkan energi akan menyebabkan vibrasi atau getaran molekul. Pita absorpsi yang dihasilkan sangat spesifik dan khas untuk ikatan atau gugus fungsi tertentu. Sumber cahaya yang digunakan adalah lampu tungsten, glowbras, dan Narnst glowers. Sedangkan dispersi inframerah

menggunakan monokromator sebagai penyeleksi panjang gelombang. Skema spektrofotometer inframerah ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Skema FTIR

Apabila frekuensi tertentu dari radiasi inframerah dilewatkan pada sampel senyawa organik maka senyawa tersebut akan menyerap radiasi dari frekuensi tersebut, sementara itu frekuensi yang dilewatkan pada sampel yang tidak diserap oleh senyawa akan dideteksi oleh detektor pada sisi lain. Dimana jumlah frekuensi ini akan diukur sebagai persen transmittan, yang artinya apabila persen transmittan bernilai 100 maka tidak ada frekuensi inframerah yang diserap oleh senyawa. Sebaliknya, apabila nilai persen transmittan adalah 5% maka hampir seluruh frekuensi yang dilewatkan diserap oleh senyawa. Serapan yang sangat tinggi ini dapat memberikan informasi penting mengenai ikatan dalam senyawa (Dachriyanus, 2004). Beberapa daerah serapan inframerah beberapa gugus fungsi ditunjukkan pada Tabel 1.

Beberapa syarat yang harus dipenuhi dalam menginterpretasikan spektrum adalah sebagai berikut :

1. Spektrum tajam dan jelas serta memiliki intensitas yang tepat.
2. Spektrum berasal dari senyawa murni.
3. Spektrofotometer harus dikalibrasi sehingga dapat menghasilkan pita atau serapan pada bilangan gelombang yang tepat.
4. Metode penyiapan sampel harus jelas, artinya apabila digunakan pelarut maka jenis pelarut, konsentrasi pelarut serta tebal sel harus diketahui.

Tabel 1. Data beberapa serapan inframerah gugus fungsi

Gugus	Senyawa	Frekuensi (cm ⁻¹)
OH	Alkohol	3580-3650
	Asam	2500-2700
NH	Amina primer	3500
	Amina sekunder	3310-3500
	Amida	3140-3320
CH	Alkuna	3300
	Alkena	3010-3095
	Aromatik	3030
	Alkana	2853-2962
	Aldehida	2700-2900
CO	Aldehid	1720-1740
	Keton	1675-1725
	Asam karboksilat	1700-1725
	Ester	2000-2300
	Asil halide	1755-1850
	Amida	1670-1700
C=O	Ester	1650
N-H	Amina	1575-1650
C-O-C	Eter	1230-1270

(Kristianingrum, 2016).

Karakteristik frekuensi vibrasi inframerah sangat dipengaruhi oleh perubahan, bahkan perubahan yang sangat kecil pada molekul. Identifikasi senyawa menggunakan spektrum IR sangat berguna untuk mengidentifikasi senyawa dengan membandingkan spektrum senyawa standar pada daerah sidik jari. Kromofor pada spektrum inframerah dapat sangat membantu dalam menentukan struktur apabila :

1. Kromofor tidak memberikan serapan pada daerah yang sangat rumit, yaitu pada bilangan gelombang 500-1500 cm⁻¹ karena akan terjadi tumpang tindih absorban regangan oleh ikatan C-X (X= halogen, N, O, P, S) yang memberikan kesulitan dalam analisa.

2. Kromofor menyerap dengan kuat untuk menghindari *noise*, tetapi pada daerah kosong ($1800\text{-}2500\text{ cm}^{-1}$) serapan yang lemah pun dapat memberikan informasi yang penting.
3. Dapat menginterpretasikan daerah serapan frekuensi, seperti daerah C=O yang berada pada daerah bilangan gelombang 1630 dan 1850 cm^{-1} .

(Kristianingrum, 2016).

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

Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX) adalah analisis yang digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan sampel dan untuk menganalisis komponen elemen pada sampel, termasuk elemen cahaya tampak seperti karbon, oksigen, dan nitrogen. Pada EDX detektornya dilengkapi dengan jendela cahaya elemen ultra tipis yang berfungsi untuk mendeteksi unsur menggunakan nomor atom (Bakti dkk., 2018).

Prinsip kerja SEM yaitu penggunaan berkas elektron terfokus yang bereaksi dengan sampel menghasilkan gambar yang berupa topologi dan komposisi relatif. Setelah elektron yang terfokus mengalami kontak dengan sampel maka akan dihasilkan elektron sekunder (SE), hamburan balik elektron, dan sinar-X yang kemudian dideteksi oleh dektektor dan kemudian ditampilkan pada monitor. Sementara itu, pada EDX mampu mendeteksi unsur yang memiliki nomor atom lebih besar dari boron pada konsentrasi minimal 0,1% menggunakan mikroskop pemindaian elektron. Setelah terjadi tumbukan dengan berkas elektron pada SEM, maka sampel akan berinteraksi dengan berkas dan akan menghasilkan sinar-X yang khas. Sinar-X setiap unsur dapat terbentuk karena tidak ada unsur yang memiliki spektrum emisi sinar-X yang sama sehingga konsentrasinya dalam sampel dapat dibedakan dan diukur. Sinar-X adalah hasil pancaran utama dari interaksi elektron dengan inti atom pada sampel, sinar-X terdiri dari kontinum sinar-X yang dihasilkan dari perambatan elektron dan karakteristik sinar-X yang dihasilkan dari deselerasi elektron (Abd Mutalib *et al.*, 2017).

Perbesaran yang dimiliki oleh SEM yaitu berkisar antara 10-3000000x, resolusi sebesar 1-10 nm, dan *depth of field* berkisar 4-0,4 mm. Menurut Walewangko *et al* (2021) fungsi utama dari SEM antara lain dapat digunakan untuk mengetahui informasi-informasi berikut ini :

a. Topografi

Topografi meliputi ciri-ciri permukaan dan tekstur suatu sampel, biasanya dapat berupa kekerasan, sifat memantulkan cahaya, dan lainnya.

b. Morfologi

Morfologi meliputi bentuk serta ukuran partikel yang menyusun objek, seperti kekuatan dan cacat pada *Integrated Circuit (IC)* dan *chip*.

c. Komposisi

Komposisi yang dapat diketahui melalui SEM yaitu berupa data semi kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam objek, seperti kereaktifan, titik lebur, dan kekerasan.

d. Informasi kristalografi

Informasi kristalografi meliputi bagaimana susunan dari butir-butir di dalam objek yang diamati, seperti sifat elektrik, kekuatan, dan konduktifitas.

Instrumentasi SEM-EDX terdiri dari dua monitor menggunakan sistem kerja vakum. Sebelum dilakukan proses analisis maka terlebih dahulu dilakukan penghilangan molekul udara pada alat dengan cara menutup gas. Hal ini sangat penting dilakukan karena adanya molekul udara dapat menyebabkan elektron yang berjalan menuju sasaran dapat terpancar oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran. SEM-EDX memiliki pistol elektron yang berfungsi untuk memproduksi sinar elektron yang dipercepat dengan anoda, lalu elektron akan difokuskan oleh lensa magnetik menuju sampel dan sinar elektron yang telah terfokus akan memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Ketika sampel dikenai oleh sinar elektron, maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan kemudian terbaca oleh monitor. Data hasil analisis pada SEM akan diperoleh dalam bentuk gambar, sedangkan data hasil analisis EDX akan diperoleh dalam bentuk grafik atau diagram yang menunjukkan presentase unsur-unsur pada sampel yang dianalisa (Julinawati *et al.*, 2015).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilakukan dari bulan November 2021–Maret 2022 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung. Biomassa alga *Sargassum sp.* diperoleh dari perairan Laut Sebalang Tarahan yang terletak di Kecamatan Katibung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung. Karakterisasi FTIR dilakukan di Laboratorium Kimia Organik Departemen Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada. Karakterisasi SEM-EDX dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung. Karakterisasi Spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat-alat gelas, spatula, neraca analitik, pengaduk magnet, magnetik stirrer, shaker, sentrifugasi, oven, desikator, pH meter, mortar dan alu, pengayak (*siever*) 100 μm , Spektrofotometer FTIR tipe IR Prestige 21, *Scanning Electron Microscopy with Energi Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) tipe JOEL-JSM-6510 LA, dan Spektrofotometer UV-Vis tipe *Cary Series*.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah biomassa alga *Sargassum sp.*, surfaktan kationik HDTMA-Br, akuades, kertas saring, indikator pH, zat warna metilen biru dan CBB G-250, NaCl 1 M, larutan buffer, NaCl 0,1 M, KNO₃ 0,1 M, Na₂EDTA 0,1 M, NaNO₃ 0,1 M, HCl, dan NaOH.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Preparasi Biomassa Alga *Sargassum sp.*

Biomassa alga *Sargassum sp.* yang diperoleh dicuci terlebih dahulu menggunakan akuades untuk menghilangkan kotoran yang ada. Kemudian dijemur selama 3 hari, lalu dikeringkan kembali dengan oven pada suhu 60°C selama 12 jam. Alga yang sudah kering dihaluskan menggunakan blender. Selanjutnya, biomassa alga diayak dengan saringan 100 mesh (Suharso *et al.*, 2010).

3.3.2 Pembuatan Adsorben Alga-Na

Sebanyak 5 gram biomassa alga *Sargassum sp.* dimasukkan ke dalam 100 mL NaCl 1 M, dishaker selama 1 jam, dan didiamkan selama 24 jam untuk meningkatkan kapasitas pertukaran kation pada biomassa alga. Setelah itu, biomassa alga disaring menggunakan kertas saring, endapan yang diperoleh dicuci dengan akuades hingga pH netral, dan dikeringkan pada suhu ruang (Guler *et al.*, 2016).

3.3.3 Pembuatan Adsorben Alga-HDTMA

Bentuk natrium *Sargassum sp.* yang diperoleh digunakan sebanyak 2 gram dan dimasukkan ke dalam 200 mL HDTMA-Br 14 mmol/L menggunakan magnetik stirrer dengan kecepatan 100 rpm pada suhu 50°C selama 4 jam. Residu yang diperoleh dibilas dengan akuades hingga pH netral dan dikeringkan pada suhu ruang (Guler *et al.*, 2016).

3.3.4 Karakterisasi

Biomassa alga *Sargassum sp.*, alga-Na, dan alga-HDTMA dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer FTIR untuk mengetahui gugus fungsi pada adsorben, dan analisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi permukaan adsorben.

3.3.5 Penentuan Nilai Zeta Potensial

Sebanyak 20 mL NaNO_3 0,1 M ditambahkan dengan 0,1 g adsorben alga, alga-Na, dan alga-HDTMA. Larutan NaNO_3 diatur pH awalnya dengan variasi rentang 3-12 dengan penambahan larutan HCl 0,1 M dan NaOH 0,1 M. Lalu, larutan diaduk selama 24 jam dan pH akhir diukur menggunakan pH meter.

3.3.6 Pembuatan Larutan Induk 1000 ppm

Untuk membuat larutan induk metilen biru dan CBB 1000 ppm, dimasukkan masing-masing 1 gram serbuk metilen biru dan CBB ke dalam labu takar 1000 mL yang berbeda, ditambahkan akuades hingga tanda tera, dan dihomogenkan.

3.3.7 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Metilen biru dan CBB

Panjang gelombang maksimum ditentukan dengan pengukuran nilai absorbansi menggunakan larutan metilen biru dan CBB konsentrasi 10 ppm di panjang gelombang 500-700 nm untuk metilen biru dan panjang gelombang 400-700 nm untuk CBB.

3.3.8 Uji Adsorpsi

3.3.8.1 Sistem Monokomponen

3.3.8.1.1 Variasi pH

Sebanyak 0,1 g adsorben alga, alga-Na, dan alga-HDTMA dimasukkan ke dalam 10 ppm larutan metilen biru dan CBB masing-masing sebanyak 25 mL dengan variasi pH 3-12. Untuk menurunkan pH ditambahkan larutan HCl 0,1 M dan untuk menaikkan pH ditambah larutan NaOH 0,1 M. Kemudian ditambahkan larutan buffer untuk mempertahankan pH. Lalu, campuran diaduk dengan kecepatan 100 rpm selama 60 menit dan disentrifus untuk memisahkan adsorben dengan filtrat (Buhani *et al.*, 2009). Filtrat hasil adsorpsi diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum metilen biru dan CBB.

3.3.8.1.2 Variasi Waktu Kontak

Sebanyak 0,1 g adsorben alga, alga-Na, dan alga-HDTMA dimasukkan ke dalam 10 ppm larutan metilen biru dan CBB masing-masing 25 mL pada pH optimumnya. Lalu, campuran diaduk menggunakan dengan kecepatan 100 rpm selama 0, 15, 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Setelah itu, campuran disentrifus untuk memisahkan adsorben dengan filtrat. Filtrat yang diperoleh diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum metilen biru dan CBB.

3.3.8.1.3 Variasi Konsentrasi

Sebanyak 0,1 g adsorben alga, alga-Na, dan alga-HDTMA dimasukkan ke dalam larutan metilen biru dan CBB masing-masing 25 mL pada pH optimumnya. Larutan metilen biru dan CBB dibuat variasi konsentrasi 0, 10, 25, 50, 100, 150, 200, 250, dan 300 ppm. Lalu, campuran diaduk dengan kecepatan 100 rpm dengan waktu kontak optimumnya dan disentrifus. Filtrat yang diperoleh diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum metilen biru dan CBB.

3.3.8.2 Sistem Bikomponen

Pembuatan Pasangan Larutan Induk Bikomponen

Sebanyak 1 gram metilen biru dan 1 gram CBB dimasukkan ke dalam gelas beaker yang berbeda, ditambahkan akuades dan diaduk hingga larut. Lalu, dipindahkan ke dalam labu takar 1000 mL, ditambahkan akuades hingga tanda tera dan dihomogenkan. Larutan yang terbentuk adalah $3,12 \text{ mmol L}^{-1}$ metilen biru dan $1,16 \text{ mmol L}^{-1}$ CBB. Pasangan larutan induk bikomponen dibuat dengan mencampurkan 12,5 mL metilen biru $0,01 \text{ mmol L}^{-1}$ ditambahkan dengan 12,5 mL CBB $0,01 \text{ mmol L}^{-1}$ sehingga volumenya menjadi 25 mL dan diatur pH nya pada pH optimumnya.

Pengaruh Konsentrasi Adsorbat

Sebanyak 25 mL larutan bikomponen ditambahkan dengan 0,1 g adsorben alga, alga-Na dan alga-HDTMA. Konsentrasi larutan bikomponen divariasikan yaitu 0,01; 0,03; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3; 0,35 mmol L⁻¹. Larutan diaduk dengan kecepatan 100 rpm pada waktu kontak optimumnya dan disentrifus. Filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum metilen biru dan CBB.

3.3.8.3 Mekanisme Adsorpsi

Sebanyak 0,1 g adsorben dimasukkan ke dalam larutan CBB sebanyak 25 mL. Larutan yang digunakan memiliki pH dan konsentrasi optimum. Kemudian, campuran diaduk dengan kecepatan 100 rpm dengan waktu kontak yang optimum dan disentrifus. Filtrat diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang CBB. Kemudian dilakukan proses desorpsi menggunakan eluen 25 mL akuades, 25 mL larutan KNO₃ 0,1 M, 25 mL HCl 0,1 M, dan 25 mL Na₂EDTA 0,1 M (Buhani *et al.*, 2010c). Proses desorpsi menggunakan beberapa eluen tersebut dilakukan secara sekuensial (Buhani *et al.*, 2018b).

3.3.8.4 Uji Penggunaan Ulang Adsorben

Sebanyak 0,1 g adsorben dimasukkan ke dalam larutan CBB sebanyak 25 mL pada pH optimum dan konsentrasi optimum. Kemudian, campuran diaduk dengan kecepatan 100 rpm dengan waktu kontak yang optimum dan disentrifus. Filtrat diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum CBB. Endapan dielusi menggunakan eluen yang sesuai untuk melepaskan zat warna yang terikat pada adsorben dengan cara dishaker selama waktu kontak optimum dan disaring. Lalu, adsorben dicuci dengan akuades hingga netral (Buhani *et al.*, 2014) dan dioven pada suhu 40°C selama 3 jam. Kemudian, adsorben digunakan kembali untuk penggunaan ke-2.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Biomassa alga *Sargassum sp.* berhasil dimodifikasi dengan HDTMA-Br yang dibuktikan dengan hasil karakterisasi menggunakan FTIR dan SEM-EDX.
2. Pada sistem monokomponen adsorpsi metilen biru oleh alga dan alga-Na optimum pada pH 6 serta CBB optimum pada pH 9, sedangkan pada alga-HDTMA adsorpsi metilen biru dan CBB optimum pada pH 5 dan 6. Sementara itu, adsorpsi metilen biru dan CBB optimum pada waktu kontak 15 dan 120 menit dengan konsentrasi optimum 300 mg/L.
3. Pada sistem monokomponen adsorben alga dan alga-Na cenderung lebih baik dalam mengadsorpsi metilen biru, sedangkan alga-HDTMA cenderung lebih baik dalam mengadsorpsi CBB.
4. Kinetika adsorpsi metilen biru dan CBB pada sistem monokomponen oleh adsorben alga, alga-Na, dan alga-HDTMA cenderung mengikuti model kinetika pseudo orde dua.
5. Isoterm adsorpsi metilen biru dan CBB oleh adsorben alga, alga-Na, dan alga-HDTMA pada sistem monokomponen cenderung mengikuti model isoterm Freundlich.
6. Kapasitas adsorpsi adsorben alga dan alga-Na pada sistem bikomponen menggunakan persamaan Langmuir biner cenderung lebih baik dalam mengadsorpsi metilen biru, sedangkan adsorben alga-HDTMA cenderung lebih baik dalam mengadsorpsi CBB.

7. Mekanisme adsorpsi alga-HDTMA terhadap CBB didominasi oleh interaksi elektrostatik.
8. Penggunaan adsorben alga-HDTMA terhadap CBB efektif pada 3 siklus penggunaan dengan persentase di atas 70%.

5.2 Saran

Saran yang dapat dilakukan pada penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut :

1. Menggunakan adsorbat lain dalam proses adsorpsi oleh biomassa alga *Sargassum sp.*
2. Melakukan adsorpsi pada sistem multikomponen untuk mengetahui selektifitas dari material adsorben yang dihasilkan.
3. Menggunakan persamaan regresi nonlinier dengan uji *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Chi-square test* (χ^2) dalam menentukan kecenderungan kinetika adsorpsi dan isoterm adsorpsi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, M., Cherfi, A., Kaddour, S., and Aksil, T. (2015). Adsorption in Simple Batch Experiments of Coomassie Blue G-250 by Apricot Stone Activated Carbon-Kinetics and Isotherms Modelling. *Desalination and Water Treatment*, 3994(2015), 1–12.
- Abd Mutalib, M., Rahman, M. A., Othman, M. H. D., Ismail, A. F., and Jaafar, J. (2017). Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy-Dispersive X-Ray (EDX) Spectroscopy. In *Membrane Characterization*. Elsevier B.V.
- Abdel-ghani, N. T., El-chaghaby, G. A., Rawash, E. A., and Lima, E. C. (2018). 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*, 1–27.
- Ahmed, I., Haque, F., Rahman, M. A. T. M. T., Parvez, M. A. K., and Mou, T. J. (2020). Screening of Methyl Red Degrading Bacteria Isolated from Textile Effluents of Savar Area, Dhaka, Bangladesh. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 11(07), 301–318.
- 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(2011), 282–290.
- Akansha, K., Chakraborty, D., and Sachan, S. G. (2019). Decolorization and degradation of methyl orange by *Bacillus stratosphericus* SCA1007. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 18(2018), 101044.

- Albert, M., Lessin, M. S., and Gilchrist, B. F. (2003). Methylene Blue: Dangerous Dye for Neonates. *Journal of Pediatric Surgery*, 38(8), 1244–1245.
- Ale, M. T., Mikkelsen, J. D., and Meyer, A. S. (2012). Designed Optimization of a Single-Step Extraction of Fucose-Containing Sulfated Polysaccharides From *Sargassum* sp. *Journal Appl Phycol*, 24, 715–723.
- 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.
- Apriliyanto, M. R., and Rusdarti, R. (2018). Analisis Penyerapan Tenaga Kerja Industri Tekstil dan Produk Tekstil di Provinsi Jawa Tengah. *Economics Development Analysis Journal*, 7(4), 374–383.
- Azzaz, A. A., Bengharez, S. J. Z., and Akrou, L. B. H. (2018). Investigations on a Dye Desorption From Modified Biomass by Using a Low-Cost Eluent : Hysteresis and Mechanisms Exploration. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1–16.
- Bakti, A. I., Gareso, P. L., and Rauf, N. (2018). Characterization of Active Carbon from Coconut Shell using X-Ray Diffraction (X-RD) and SEM-EDX Techniques. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya (JPFA)*, 8(2), 115.
- Barquilha, C. E. R., Cossich, E. S., Tavares, C. R. G., and Silva, E. A. (2018). Biosorption of Nickel(II) and Copper(II) Ions by *Sargassum* sp. in Nature and Alginate Extraction Products. *Bioresource Technology Reports*, 2018, 1–22.
- Buhani, B., Suharso, S., and Satria, H. (2011a). 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, Hariyanti, F., Suharso, Rinawati, and Sumadi. (2019a). 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(2019), 331–340.

- Buhani, Herasari, D., Suharso, and Yuwono, S. D. (2017a). 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 Chemistry*, 33(1), 418–429.
- Buhani, Musrifatun, Pratama, D. S., Suharso, and Rinawati. (2017b). 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(8), 1757–1760.
- Buhani, Nardito, Nuryono, and Kunarti, E. S. (2009). Amino and Mercapto-Silica Hybrid for Cd(II) Adsorption in Aqueous Solution. *Indo. J. Chem*, 9(2), 170–176.
- Buhani, Narsito, Nuryono, and Kunarti, E. S. (2010a). Production of Metal Ion Imprinted Polymer From Mercapto-Silica Through Sol-Gel Process as Selective Adsorbent of Cadmium. *Desalination*, 251(1–3), 83–89.
- Buhani, Narsito, Nuryono, dan Kunarti, E. S. (2011b). Karakteristik Pengikatan Ion Cd(II) dan Cu(II) dalam Pembuatan Hibrida Amino-Silika Imprinted Ionik. *Sains Dan Terapan Kimia*, 5(2), 122–130.
- Buhani, Narsito, Nuryono, Kunarti, E. S., and Suharso. (2014). Adsorption Competition of Cu(II) Ion in Ionic Pair and Multi-Metal Solution by Ionic Imprinted Amino-Silica Hybrid Adsorbent. *Desalination and Water Treatment*, 1–12.
- Buhani, Permatasari, D., Suharso, dan Aditya, I. (2020a). Investigasi Kinetika Adsorpsi Kristal Violet dan Metilen Biru pada Hibrida Alga *Spirulina* sp.-Silika. *Seminar Nasional Ilmu Teknik Dan Aplikasi Industri (SINTA)*, 3(120), 1–5.
- Buhani, Puspitarini, M., Rahmawaty, Suharso, Rilyanti, M., and Sumadi. (2018a). 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. (2017c). 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(2017), 203–213.

Buhani and Suharso. (2009). Immobilization of *Nannochloropsis* sp Biomass by Sol-Gel Technique as Adsorbent of Metal Ion Cu(ii) from Aqueous Solutions. *Asian Journal of Chemistry*, 21(5), 3799–3808.

Buhani dan Suharso. (2010). Modifikasi Silika dengan 3-Aminopropiltrimetoksisilan melalui Proses Sol Gel untuk Adsorpsi Ion Cd(II) dari Larutan. *J. Sains MIPA*, 16(3), 177–183.

Buhani, Suharso, Aditiya, I., Al Kausar, R., Sumadi, and Rinawati. (2019b). Production of a *Spirulina* sp. Algae Hybrid with a Silica Matrix as an Effective Adsorbent to Absorb Crystal Violet and Methylene Blue in a Solution. *Sustainable Environment Research*, 1(1), 1–11.

Buhani, Suharso, and Aprilia, L. (2012a). Chemical Stability and Adsorption Selectivity on Cd²⁺ Ionic Imprinted *Nannochloropsis* sp Material with Silica Matrix from Tetraethyl Orthosilicate. *Indo. J. Chem*, 12(1), 94–99.

Buhani, Suharso, and Fitriyani, A. Y. (2013a). Comparative Study of Adsorption Ability of Ni(II) and Zn(II) Ionic Imprinted Amino-Silica Hybrid Toward Target Metal in Solution. *Asian Journal of Chemistry*, 25(5), 2875–2880.

Buhani, Suharso, Luziana, F., Rilyanti, M., and Sumadi. (2019c). Production of Adsorbent from Activated Carbon of Palm Oil Shells Coated by Fe₃O₄ Particle to Remove Crystal Violet in Water. *Desalination and Water Treatment*, 171(2019), 281–293.

Buhani, Suharso, Miftahza, N., Permatasari, D., and Sumadi. (2021a). Improved Adsorption Capacity of *Nannochloropsis* sp . through Modification with Cetyltrimethylammonium Bromide on the Removal of Methyl Orange in Solution. *Adsorption Science & Technology*, 2021, 1–14.

Buhani, Suharso, dan Partogi, A. F. (2013b). 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, Rilyanti, M., Sari, M., and Sumadi. (2021b). Removal of Cd(II) Ions in Solution by Activated Carbon From Palm Oil Shells Modified with

Magnetite. *Desalination and Water Treatment*, 218(2021), 352–362.

Buhani, Suharso, Rilyanti, M., and Sumadi. (2018b). Implementation of Sequential Desorption in Determining Cd(II) Ion Interaction with Adsorbent of Ionic Imprinting Amino-Silica Hybrid. *Rasayan J. Chem.*, 11(2), 865–870.

Buhani, Suharso, and Sembiring, Z. (2012b). 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. (2010b). Adsorption Kinetics and Isotherm of Cd(II) Ion on Nannochloropsis sp Biomass Imprinted Ionic Polymer. *Desalination*, 259(2010), 140–146.

Buhani, Suharso, and Sumadi. (2012c). Production of Ionic Imprinted Polymer from Nannochloropsis sp Biomass and its Adsorption Characteristics Toward Cu(II) Ion in Solutions. *Asian Journal of Chemistry*, 24(1), 133–140.

Buhani, Wijayanti, T. A., Suharso, Sumadi, and Ansori, M. (2021c). 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(17), 1–12.

Chen, L., Batjikh, I., Hurh, J., Han, Y., Huo, Y., Ali, H., Li, J. F., Rupa, E. J., Ahn, J. C., Mathiyalagan, R., and Yang, D. C. (2019). Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles From Root Extract of *Scutellaria baicalensis* and Its Photocatalytic Degradation Activity Using Methylene Blue. *Optik*, 184(2019), 324–329.

Covis, R., Vives, T., Gaillard, C., Benoit, M., and Benvegna, T. (2015). Interactions and Hybrid Complex Formation of Anionic Algal Polysaccharides with a Cationic Glycine Betaine-Derived Surfactant. *Carbohydrate Polymers*, 121(2015), 436–448.

Dachriyanus. (2004). *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*.

Davis, T. A., Volesky, B., and Mucci, A. (2003). A Review of the Biochemistry of Heavy Metal Biosorption by Brown Algae. *Water Research*, 37(2003), 4311–4330.

- Deb, A., Kanmani, M., Debnath, A., Bhowmik, K. L., and Saha, B. (2019). Ultrasonic assisted enhanced adsorption of methyl orange dye onto polyaniline impregnated zinc oxide nanoparticles: Kinetic, isotherm and optimization of process parameters. *Ultrasonics Sonochemistry*, 54(2019), 290–301.
- ElFar, O. A., Chang, C. K., Leong, H. Y., Peter, A. P., Chew, K. W., and Show, P. L. (2021). Prospects of Industry 5.0 in Algae: Customization of Production and New Advance Technology for Clean Bioenergy Generation. *Energy Conversion and Management: X*, 10(2021), 1–10.
- Engwayu, J., and Pawlik, M. (2020). Adsorption of Anionic Polymers on Hematite-a Study of Zeta Potential Distributions. *Minerals Engineering*, 148(2020), 106225.
- Fagundes-Klen, M. R., Ferri, P., Martins, T. D., Tavares, C. R. G., and Silva, E. A. (2007). Equilibrium Study of the Binary Mixture of Cadmium – Zinc Ions Biosorption by the *Sargassum filipendula* Species Using Adsorption Isotherms Models and Neural Network. *Biochemical Engineering Journal*, 34(2007), 136–146.
- Foo, K. Y., and Hameed, B. H. (2010). Insights into the Modeling of Adsorption Isotherm Systems. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 2–10.
- Guedes, A. C., Amaro, H. M., Sousa-Pinto, I., and Malcata, F. X. (2019). Algal Spent Biomass—A Pool of Applications. In *Biofuels from Algae* (Second Edi). Elsevier B.V.
- Guler, ulker A., Ersan, M., Tuncel, E., and Dügenci, F. (2016). Mono and Simultaneous Removal of Crystal Violet and Safranin Dyes From Aqueous Solutions by HDTMA-Modified *Spirulina* sp. *Process Safety and Environmental Protection*, 99(2016), 194–206.
- Gupta, S. Sen, and Bhattacharyya, K. G. (2011). Kinetics of Adsorption of Metal Ions on Inorganic Materials : A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 162(2011), 39–58.
- Harris, P. O., and Ramelow, G. J. (1990). Binding of Metal Ions by Particulate Biomass Derived from *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus quadricauda*. *Environmental Science and Technology*, 24(2), 220–228.

- Hegazi, M. (2002). Separation, Identification and Quantification of Photosynthetic Pigments From Three Red Sea Seaweeds Using Reversed-Phase High-Performance Liquid Chromatography. *Egyptian Journal of Biology*, 4(2002), 1–6.
- 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(2017), 50–55.
- Hifney, A. F., Fawzy, M. A., Abdel-gawad, K. M., and Gomaa, M. (2015). Industrial Optimization of Fucoïdan Extraction from *Sargassum* sp. and Its Potential Antioxidant and Emulsifying Activities Awatief. *Food Hydrocolloids*, 2015, 1–42.
- Hisbiyah, A., dan Komala, I. (2019). Komposit Karbon Aktif dari Eceng Gondok dengan TiO₂ untuk Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Tekstil Congo Red. *Briliant: Jurnal Riset Dan Konseptual*, 4(1), 5.
- Hollas, J. M. (2004). *Modern Spectroscopy, Fourth Edition*. John Wiley & Sons. USA.
- Huang, F. C., Han, Y. L., Lee, C. K., and Chao, H. P. (2016). Removal of Cationic and Oxyanionic Heavy Metals From Water Using Hexadecyltrimethylammonium-Bromide-Modified Zeolite. *Desalination and Water Treatment*, 57(38), 17870–17879.
- Jesumani, V., Du, H., Pei, P., Zheng, C., Cheong, K., and Huang, N. (2019). Unravelling Property of Polysaccharides From *Sargassum* sp. as an Anti-Wrinkle and Skin Whitening Property. *International Journal of Biological Macromolecules*, 140(2019), 1–9.
- Julinawati, J., Marlina, M., Nasution, R., and Sheilatina, S. (2015). Applying SEM-EDX Techniques to Identifying the Types of Mineral of Jades (Giok) Takengon, Aceh. *Jurnal Natural Unsyiah*, 15(2), 44–48.
- Jumaeri, Sri Santosa, J., and Sutarno. (2018). Adsorption of Congo Red Dye on HDTMA Surfactant-Modified Zeolite a Synthesized From Fly Ash. *Defect and Diffusion Forum*, 382(2018), 307–311.

- Juni, E. W., Arnelli, A., dan Sriatun, S. (2012). Pemanfaatan Surfaktan Kationik Hasil Sublasi sebagai Molekul Pengarah pada Pembuatan Material Berpori dari Sekam Padi. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 15(1), 24–28.
- Karnjanakom, S., and Maneechakr, P. (2019). Adsorption Behaviors and Capacities of Cr(VI) onto Environmentally Activated Carbon Modified by Cationic (HDTMA and DDAB) Surfactants. *Journal of Molecular Structure*, 1186(2019), 80–90.
- Kaykhaii, M., Sasani, M., and Marghzari, S. (2018). Removal of Dyes from the Environment by Adsorption Process. *Chemical and Materials Engineering*, 6(2), 31–35.
- Khuluk, R. H., Rahmat, A., Buhani, and Suharso. (2019). Removal of Methylene Blue by Adsorption onto Activated Carbon From Coconut Shell (*Cocous nucifera* L.). *Indonesian Journal of Science & Technology*, 4(2), 229–240.
- Kristianingrum, S. (2016). Spektroskopi Infra Merah. *Handout*, 1(1), 1–15.
- Kurniadie, D., Sumekar, Y., dan Buana, I. (2017). Pengaruh Berbagai Jenis Surfaktan pada Herbisida Glufosinat Terhadap Pengendalian Gulma dan Hasil Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) di Jatinangor. *Kultivasi*, 16(2), 2015–2018.
- Lestari, N. C., Budiawan, I., dan Fuadi, A. M. (2021). Pemanfaatan Cangkang Telur dan Sekam Padi sebagai Bioadsorben Metilen Biru pada Limbah Tekstil. *Jurnal Riset Kimia*, 12(1), 36–43.
- Lewis, R. J. (2007). *Condensed Chemical Dictionary, Fifteenth Edition*. John Wiley & Sons.
- Li, Y., Yang, C., Qian, H., Zhao, X., and Yan, X. (2019). Carboxyl-Functionalized Covalent Organic Frameworks for the Adsorption and Removal of Triphenylmethane Dyes. *Applied Nano Materials*, 2(2019), 7290–7298.
- Liu, J., Wei, Y., Li, P., Zhao, Y., and Zou, R. (2017). Selective H₂S/CO₂ Separation by Metal–Organic Frameworks Based on Chemical-Physical Adsorption. *The Journal of Physical Chemistry*, 121(2017), 13249–13255.

- Lowry, G. V, Hill, R. J., Harper, S., Rawle, A. F., Hendren, C. O., Klaessig, F., and Nobbmann, U. (2016). Environmental Science Nano Guidance to improve the Scientific Value of Zeta-Potential Measurements in NanoEHS. *Environmental Science: Nano*, 3, 953–965.
- Lu, J., Batjikh, I., Hurh, J., Han, Y., Ali, H., Mathiyalagan, R., Ling, C., Ahn, J. C., and Yang, D. C. (2019). Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Using Biosynthesized Zinc Oxide Nanoparticles From Bark Extract of *Kalopanax Septemlobus*. *Optik*, 182(2019), 980–985.
- Ma, S., Lee, S., Kim, K., Im, J., and Jeon, H. (2021). Purification of Organic Pollutants in Cationic Thiazine and Azo Dye Solutions using Plasma-Based Advanced Oxidation Process via Submerged Multi-Hole Dielectric Barrier Discharge. *Separation and Purification Technology*, 255(2021), 117715.
- Mahatmanti, F. W., dan Sumarni, W. (2003). Kajian Termodinamika Penyerapan Zat Warna Indikator Metil Oranye (MO) dalam Larutan Air oleh Adsorben Kitosan. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 6(2), 13–18.
- Mekaoui, N., Chamieh, J., Dugas, V., Demesmay, C., and Berthod, A. (2012). Purification of Coomassie Brilliant Blue G-250 by Multiple Dual Mode Countercurrent Chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1232(2012), 134–141.
- Merdekawati, W., dan Susanto, A. B. (2009). Kandungan dan Komposisi Pigmen Rumput Laut serta Potensinya untuk Kesehatan. *Squalen*, 4(2), 41–47.
- Musta, R., Nurliana, L., dan Andraysno, A. (2020). Kinetika Kimia Antibakteri Fraksi Alkana Alifatik Hasil Pirolisis Cangkang Biji Jambu Mete (CNS). *Indo. J. Chem. Res.*, 7(2), 170–176.
- Najim, A. A., and Mohammed, A. A. (2018). Biosorption of Methylene Blue from Aqueous Solution Using Mixed Algae. *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, 19(4), 1–11.
- Naomi, A., Pertiwi, J., Permatasari, P. A., Dini, S. N., dan Saefullah, A. (2018). Keefektifan Spektrum Cahaya terhadap Pertumbuhan Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata*). *Gravity : Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Pembelajaran Fisika*, 4(2), 93–102.

- Nath, I., Chakraborty, J., Heynderickx, P. M., and Verpoort, F. (2018). Engineered Synthesis of Hierarchical Porous Organic Polymers for Visible Light and Natural Sunlight Induced Rapid Degradation of Azo, Thiazine and Fluorescein Based Dyes in a Unique Mechanistic Pathway. *Applied Catalysis B: Environmental*, 227(2018), 102–113.
- Noor, M. I., Yufita, E., dan Zulfalina. (2016). Identifikasi Kandungan Ekstrak Kulit Buah Naga Merah Menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR) dan Fitokimia. *Journal of Aceh Physics Society (JAcPS)*, 5(1), 14–16.
- Noroozi, B., Sorial, G. A., Bahrami, H., and Arami, M. (2008). Adsorption of Binary Mixtures of Cationic Dyes. *Dyes and Pigments*, 76(2008), 784–791.
- Nurhasni, M.Si, N., Mar'af, R., dan Hendrawati, H. (2018). Pemanfaatan Kulit Kacang Tanah (*Arachis hipogaea* L.) sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru. *Jurnal Kimia VALENSI*, 4(2), 156–167.
- Nurlaili, T., Kurniasari, L., dan Ratnani, R. D. (2017). Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Ayam sebagai Adsorben Zat Warna Methyl Orange dalam Larutan. *Inovasi Teknik Kimia*, 2(2), 11–14.
- Otavo-Loaiza, R. A., Sanabria-González, N. R., and Giraldo-Gómez, G. I. (2019). Tartrazine Removal from Aqueous Solution by HDTMA-Br-Modified Colombian Bentonite. *Scientific World Journal*, 2019, 1–11.
- Pakidi, C. S., dan Suwoyo, H. S. (2017). Potensi dan Pemanfaatan Bahan Aktif Alga Cokelat. *Octopus Jurnal Ilmu Perikanan*, 6(1), 551–562.
- Pecková, V., Legerská, B., Chmelová, D., Horník, M., and Ondrejovič, M. (2020). Comparison of efficiency for monoazo dye removal by different species of white-rot fungi. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1–12.
- Permatasari, D., Buhani, Rilyanti, M., and Suharso. (2021). Adsorption Kinetic and Isotherm of Solution Pair of Methylene Blue and Crystal Violet by Algae-Silica-Magnetite Hybrid Adsorbent on *Porphyridium* sp. Algae. *Journal of Physics: Conference Series*, 1751(1), 1–7.

- Pratiwi, D., Poeloengasih, C. D., Suryani, R., and Rizqi, N. C. (2020). Adsorption of Basic Dye Methylene Blue by Brown Algae *Sargassum duplicatum*. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 462(2020), 1–7.
- Qiu, H., Lv, L., Pan, B. C., Zhang, Q. J., Zhang, W. M., and Zhang, Q. X. (2009). Critical Review in Adsorption Kinetic Models. *Journal of Zhejiang University: Science A*, 10(5), 716–724.
- Rahmawati, A. W. (2018). Zeolit Alam Termodifikasi Surfaktan Heksadesiltrimetilammonium (HDTMA) dan Pemanfaatannya sebagai Adsorben Zat Warna Congo Red. *Skripsi*. Universitas Semarang. Semarang.
- Rauf, M. A., Ashraf, S., and Alhadrami, S. N. (2005). Photolytic Oxidation of Coomassie Brilliant Blue with H₂O₂. *Dyes and Pigments*, 66(2005), 197–200.
- Rayaroth, M. P., Aravind, U. K., and Aravindakumar, C. T. (2015). Chemosphere Sonochemical Degradation of Coomassie Brilliant Blue : Effect of Frequency, Power Density, pH and Various Additives. *Chemosphere*, 119(2015), 848–855.
- Road, G., and Park, E. B. (2014). High-Concentration Zeta Potential Measurements Using Light-Scattering Techniques. *Philosophical Transactions of The Royal Society A*, 368, 4439–4451.
- Saldarriaga-hernandez, S., Hernandez-vargas, G., Iqbal, M. N., Barceló, D., and Parra-saldívar, R. (2020). Bioremediation Potential of *Sargassum* sp. Biomass to Tackle Pollution in Coastal Ecosystems : Circular Economy Approach. *Science of the Total Environment*, 715(2020), 1–13.
- Satyarsa, A. B. S. (2019). Studi Pustaka : Potensi Fucoidan dari Rumpun Laut Coklat (*Sargassum* sp.) sebagai Inovasi Terapi pada Kanker Payudara. *Journal of Medicine and Health*, 2(3), 909–919.
- Setiawati, D., Destiarti, L., dan Wahyuni, N. (2015). Pemanfaatan Zeolit A Termodifikasi Hexadecyltrimethylammonium (HDTMA) sebagai Adsorben Fosfat. *Jkk*, 4(2), 14–20.

- Shen, Y., Yuan, W., Pei, Z. J., Wu, Q., and Mao, E. (2009). Microalgae Mass Production Methods. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 52(4), 1275–1287.
- Sinaga, R. S., Purwonugroho, D., dan Darjito. (2015). Adsorpsi Seng (II) oleh Biomassa *Azolla microphylla* Diesterifikasi dengan Asam Sitrat: Kajian Desorpsi Menggunakan Larutan HCl. *Kimia Student Journal*, 1(1), 629–635.
- Sriatun, Buntarto, D., dan Darmawan, A. (2008). Surfaktan Hexadecyltrimethylammonium (HDTMA) pada Zeolit Alam Terdealuminasi Terhadap Kemampuan Mengadsorpsi Fenol. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 11(1), 11–14.
- Suharso and Buhani. (2011). Biosorption of Pb(II), Cu(II) and Cd(II) from Aqueous Solution Using Cassava Peel Waste Biomass. *Asian Journal of Chemistry*, 23(3), 1112–1116.
- Suharso, Buhani, and Sumadi. (2010). Immobilization of *S.duplicatum* Supported Silica Gel Matrix and Its Application on Adsorption–Desorption of Cu(II), Cd(II) and Pb (II) Ions. *Desalination*, 263(2010), 64–69.
- Suhartati, T. (2017). *Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-Vis dan Spektrometri Massa Untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. CV. Anugrah Utama Raharja.
- Sullivan, E. J., Bowman, R. S., and Legiec, I. A. (2003). Sorption of Arsenic from Soil-Washing Leachate by Surfactant-Modified Zeolite. *Journal of Environmental Quality*, 32(6), 2387–2391.
- Thamer, B. M., Aldalbahi, A., A, M. M., El-hamshary, H., Al-enizi, A. M., and El-newehy, M. H. (2019). Effective Adsorption of Coomassie Brilliant Blue Dye Using Poly (Phenylene Diamine) Grafted Electrospun Carbon Nanofibers as a Novel Adsorbent. *Materials Chemistry and Physics*, 234(2019), 133–145.
- Tien, C. (2019). *Introduction to Adsorption Basics, Analysis, and Applications*. Susan Dennis.

- Vatandoostarani, S., Bagheri Lotfabad, T., Heidarinasab, A., and Yaghmaei, S. (2017). Degradation of azo dye methyl red by *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 125, 62–72.
- Walewangko, Y., Bujung, C. A. N., dan Renda, J. C. (2021). Analisis Komposisi Unsur dan Jenis Mineral Batuan Gunungapi Soputan Menggunakan SEM-EDX dan FTIR. *Jurnal FisTa: Fisika Dan Terapannya*, 2(1), 55–60.
- Wang, J., and Guo, X. (2020). Adsorption Kinetic Models: Physical Meanings, Applications, and Solving Methods. *Journal of Hazardous Materials*, 390(2020), 122156.
- Widayatno, T., Yuliatwati, T., dan Susilo, A. A. (2017). Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, 1(1), 17–23.
- Yolani, D. (2012). Modifikasi Bentonit Terpillar Al Menggunakan Polydiallyl Dimethyl Ammonium sebagai Adsorben Sodium Dodecyl Benzene-Sulfonate. *Skripsi*. Departemen Kimia, Universitas Indonesia. Depok.
- Yuliusman, Purwanto, W. W., dan Nughoro, Y. S. (2013). Pemilihan Adsorben untuk Penjerapan Karbon Monoksida Menggunakan Model Adsorpsi Isotermis Langmuir. *Reaktor*, 14(3), 225–233.
- Yusni, E. M., and Tanaka, S. (2015). Removal Behaviour of a Thiazine, an Azo and a Triarylmethane Dyes from Polluted Kaolinitic Soil Using Electrokinetic Remediation Technology. *Electrochimica Acta*, 181, 130–138.
- Zhao, J., Wu, Q., Cheng, X., Su, T., Wang, X., Zhang, W., and Lu, Y. (2020). Biodegradation and Detoxification of the Triphenylmethane Dye Coomassie Brilliant Blue by the Extracellular Enzymes from Mycelia of *Lactarius deliciosus*. *Front. Chem. Sci. Eng*, 1–12.
- Zulaicha, A. S., Buhani, and Suharso. (2021). Modification of Activated Carbon from *Elaeis Guineensis* Jacq Shell with Magnetite (Fe₃O₄) Particles and Study Adsorption-Desorption on Ni(II) Ions in Solution. *Journal of Physics: Conference Series*, 1751(1), 1–11.