

**PEMANFAATAN FRUSTULA DIATOM *Cyclotella striata* SEBAGAI  
ADSORBEN ZAT WARNA METILEN BIRU**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**RIYADI**



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

## ABSTRAK

### PEMANFAATAN FRUSTULA DIATOM *Cyclotella striata* SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA METILEN BIRU

Oleh

RIYADI

Frustula *Cyclotella striata* memiliki struktur unik yang berpotensi sebagai adsorben. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi frustula *C. striata* sebagai adsorben zat warna metilen biru dengan melihat pengaruh pH, waktu kontak optimum, serta konsentrasi maksimum metilen biru. Dalam penelitian ini frustula diperoleh melalui tahapan kultivasi *C. striata*, pemanenan, ekstraksi menggunakan etanol dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (hidrogen peroksida) dan kalsinasi dengan suhu tinggi. Hasil kultivasi *C. striata* selama 14 hari diperoleh biomassa dengan berat 6,9 g/L, setelah melalui proses ekstraksi dan kalsinasi diperoleh frustula sebesar 0,064 g (1,02 %b/b). Selanjutnya, hasil pengukuran titik muatan nol menunjukkan bahwa frustula *C. striata* memiliki muatan permukaan negatif dengan larutan di atas pH 7. Analisis lebih lanjut menggunakan FTIR (*Fourier Transform-Infra Red*) menunjukkan karakteristik serapan pada bilangan gelombang 1085 cm<sup>-1</sup> (Si-O) dan 3429 cm<sup>-1</sup> (O-H). Uji adsorpsi menunjukkan frustula mampu menjerap larutan metilen biru dengan efisiensi adsorpsi 95,90% pada pH optimum 8, sedangkan untuk waktu kontak optimum terjadi pada 45 menit dengan nilai efisiensi adsorpsi sebesar 96,40%. Konsentrasi maksimum terjadi pada 20 ppm dengan efisiensi adsorpsi sebesar 95,67%. Model isoterm adsorpsi metilen biru memiliki kecenderungan mengikuti model Freundlich, dengan nilai R<sup>2</sup> = 0,9097, adsorpsi cenderung pada proses fisika. Berdasarkan hasil yang diperoleh frustula diatom *C. striata* dapat digunakan sebagai adsorben baru untuk zat warna metilen biru.

Kata kunci: Diatom, *C. striata*, frustula, adsorpsi, metilen biru

## ABSTRACT

### UTILIZATION OF DIATOM FRUSTULE *Cyclotella striata* AS AN ADSORBENT OF METHYLENE BLUE DYE

By

RIYADI

Frustule *Cyclotella striata* has a unique structure that has the potential to act as an adsorbent. This study aims to evaluate the potential of frustule *C. striata* as an adsorbent of methylene blue dye by looking at the influence of pH, optimal contact time, and maximum concentration of methylene blue. In this study, frustule was obtained through the stages of *C. striata* cultivation, harvesting, extraction using ethanol and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (hydrogen peroxide) and calcination at high temperatures. The results of cultivating *C. striata* for 14 days obtained biomass weighing 6.9 g/L, after going through the extraction and calcination process, a frustule of 0.064 g (1,02 %b/b) was obtained. Furthermore, the results of the zero charge point measurement showed that *C. striata* frustule had a negative surface charge with a solution above pH 7. Further analysis using FTIR (*Fourier Transform-Infra Red*) showed absorption characteristics at wave numbers of 1085 cm<sup>-1</sup> (Si-O) and 3429 cm<sup>-1</sup> (O-H). The adsorption test showed that frustule was able to adsorb the methylene blue solution with an adsorption efficiency of 95.90% at the optimum pH of 8, while the optimum contact time occurred at 45 minutes with an adsorption efficiency value of 96.40%. The maximum concentration occurred at 20 ppm with an adsorption efficiency of 95.67%. The blue methylene adsorption isothermal model tends to follow the Freundlich model, with a value of  $R^2 = 0.9097$ , adsorption tends to physical processes. Based on the results obtained, the diatom frustule *C. striata* can be used as a new adsorbent for methylene blue dyes.

Keywords: Diatom, *C. striata*, frustule, adsorption, methylene blue

**PEMANFAATAN FRUSTULA DIATOM *Cyclotella striata* SEBAGAI  
ADSORBEN ZAT WARNA METILEN BIRU**

Oleh

**RIYADI**

**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  
2024**

Judul Skripsi : **PEMANFAATAN FRUSTULA DIATOM  
*Cyclotella striata* SEBAGAI ADSORBEN ZAT  
WARNA METILEN BIRU**

Nama Mahasiswa : **Riyadi**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2017011035**

Jurusan : **Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

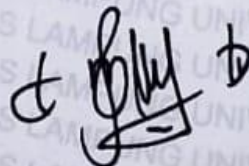


**Dr. Eng. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si.**  
NIP. 197707132009122002



**Prof. Andi Setiawan, Ph.D.**  
NIP. 195809221988111001

**2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA**

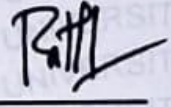


**Dr. Mita Rilyanti S.Si., M.Si.**  
NIP. 197205302000032001

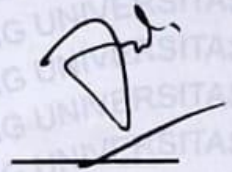
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

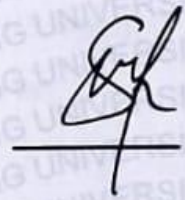
**Ketua : Dr. Eng. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si.**




**Sekretaris : Prof. Andi Setiawan, Ph.D.**



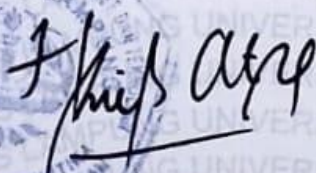
**Penguji  
Bukan Pembimbing : Prof. Dr. Buhani, M.Si.**



**2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



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



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 16 Juli 2024**

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Riyadi  
Nomor Pokok Mahasiswa : 2017011035  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan skripsi yang berjudul "**Pemanfaatan *Frustula Diatom Cyclotella striata* sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru**" adalah benar karya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

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

Bandar Lampung, 23 Juli 2024  
Yang Menyatakan,



Riyadi  
NPM. 2017011035

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada 20 Mei 2002, sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara pasangan bapak Sobir dan ibu Siti.

Penulis memulai pendidikan dasar di SDN 03 Sawah Brebes lulus pada tahun 2014, kemudian melanjutkan sekolah menengah pertama di SMPN 24 Bandar Lampung lulus pada tahun 2017, dan melanjutkan sekolah menengah atas di SMK SMTI Bandar Lampung dengan jurusan Analisis Pengujian Laboratorium dan lulus pada tahun 2020.

Pada tahun 2020, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung melalui jalur PMPAP. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah mengikuti organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa Universitas Lampung sebagai Korps Muda XVI tahun 2020-2021, mengikuti Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas MIPA sebagai Garuda BEM FMIPA tahun 2020, menjadi anggota Bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK) Himpunan Mahasiswa Kimia pada tahun 2021-2022. Aktif dalam berbagai kepanitiaan yang diselenggarakan oleh organisasi yang diikuti. Pada tahun 2023 penulis pernah mengikuti Volunteer Festival dan Konser Kebangsaan yang diadakan di Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten praktikum Kimia Dasar untuk Jurusan Kimia 2022/2023. Penulis telah mengikuti MBKM Magang Industri di PT. Indo Energy Solutions dan Kuliah Kerja Nyata di Kelurahan Sumbersari Bantul, Metro. Pada tahun 2023, penulis telah menyelesaikan seminar Praktik Kerja Lapangan dengan judul, “Aplikasi Pupuk Dekanter *Palm Oil Mill Effluent* pada Pohon Kelapa Sawit dan Tanaman Cabai, Terong, dan Tomat”.



## PERSEMBAHAN

Dengan izin dan keridhoan Allah SWT, atas rahmat dan hidayah-nya serta rasa syukur yang luar biasa, ku persembahkan karya ini kepada:

Kedua orang tuaku, **Bapak Sobir dan Ibu Siti**, yang telah membesarkan, memberi dukungan dan kasih sayang, sehingga aku bisa menyelesaikan studi ini.

Kedua kakak ku, **Dewi dan Nopryan**, yang telah mendukung dalam bentuk materi dan non materi.

Ketiga keponakan ku, **Fatih, Faviola dan Felicia**, atas keceriaan yang telah diberikan setiap harinya, sehingga dapat melepas penat dalam menyelesaikan karya ini.

Kepada teman-temanku yang selalu memberikan semangat yang tiada hentinya.

Bapak Ibu dosen yang selama ini memberikan ilmu dan membimbing dalam menyelesaikan studi ini.

Terima kasih atas segala dukungan, cinta kasih dan motivasi, serta doa yang telah dipanjatkan untuk penulis.

Almamater tercinta  
Universitas Lampung

# MOTTO

“still believes that everyting is fine, and that i’m living a normal life, but until somebody sits me down and tells me why i’m different now, i’ll always be the way i always am”

(Always – Rex Orange County)

Dan hanya milik Allah kerajaan langit dan bumi. Dia mengampuni siapa yang Dia kehendaki, dan akan mengazab siapa yang Dia kehendaki. Dan Allah Maha Pengampun, Maha Penyayang.

(QS. Al-Fath : 14)

“Mungkinkah, mungkinkah, mungkinkah, kau mampir hari ini, bila tidak mirip kau, jadilah bunga matahari”

(Gala Bunga Matahari – Sal Priadi)

“Salah satu cara melakukan pekerjaan yang hebat adalah dengan mencintai apa yang kamu lakukan”

(Steve Jobs)

"Usaha dan keberanian tidak cukup tanpa adanya tujuan dan arah perencanaan"

(John F. Kennedy)

“Soal kalah menang jangan anda bilang sekarang, kita berjuang dulu”

(Najwa Shihab)

“Always be yourself and never be anyone else”

(Penulis)

## SANWACANA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat, karunia dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul :

### **Pemanfaatan *Frustula Diatom Cyclotella striata* sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru**

Dalam pelaksanaan dan penulisan skripsi ini tidak lepas dari kesulitan, namun itu bantuan semangat dari orang-orang yang hadir dalam kehidupan penulis. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT
2. Kedua orang tua, Bapak Sobir dan Ibu Siti yang telah menjadi penyemangat dalam menulis skripsi ini, yang selalu memberikan semangat dan dukungan, serta atas doa yang selalu diberikan, sehingga penulis mampu bertahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Eng. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si. selaku pembimbing utama atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, nasihat, saran dan arahan dalam proses penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Prof. Andi Setiawan, Ph.D. selaku pembimbing kedua atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, arahan, motivasi dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
5. Ibu Prof. Buhani, Ph.D. selaku penguji atas masukan dan saran-saran yang telah diberikan dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Dr. Sonny Widiarto, M.Sc. selaku pembimbing Akademik, yang telah memberikan nasihat dan bimbingannya pada perkuliahan.
7. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung, yang telah diberikan ilmu yang sangat bermanfaat dalam perkuliahan.

8. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
9. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung, yang telah diberikan ilmu yang sangat bermanfaat dalam perkuliahan.
10. Kedua kakak Dewi dan Ryan, yang selalu memberikan support atau dukungan dalam berupa materi dan non materi.
11. Ketiga ponakan yang selalu ceria, Fatih, Faviola, dan Felicia, yang selalu memberikan semangat kepada penulis ketika sedang menyelesaikan skripsi ini dan selalu membuat keceriaan dirumah.
12. Teman-teman ku dari sekolah, Eki, Fijra dan Rindi, terima kasih telah menemani penulis ketika sedang mengerjakan skripsi ini, walaupun ujung-ujungnya tidak mengerjakan jika bersama kalian, tetapi kalian menjadi salah satu penyemangat penulis dalam mengerjakan skripsi ini.
13. Teman seperjuangan Mikroalga Reasearch 20, Risdi, Olivia dan Fyra, atas waktu nya yang selalu membuat ramai ketika di lab dan mengerjakan penelitian bersama, sehingga tidak terasa penelitian kita sudah dapat hasilnya, yang awalnya sama-sama tidak mengerti apa-apa. Selamat keluar dari Lab Kidas, semoga tercapai apapun cita-cita yang kalian inginkan.
14. Kakak-kakak Mikroalga Reasearch 19, Kak Opi, Kak Leha, Kak Angel dan Kak Ify, atas bimbingan dan ilmu yang telah diberikan tentang penelitian, sukses buat kakak-kakak semuanya.
15. Rex Orange County atas karya nya yang telah menemani penulis dan menjadi salah satu penyemangat penulis dalam mengerjakan skripsi ini, terutama lagu yang berjudul “Always”.
16. Putri (Uti), Ratih (Mbeb), dan Nurul (Mpeh), selaku rekan magang MBKM dan sekaligus rekan KKN, terima kasih atas waktunya saat itu, susah senang kita lalui bersama, hingga akhirnya memulai penelitian dan menjalani penelitian masing-masing, semoga sukses untuk kalian.
17. Teman-teman Tepuk Bulu Agung, Rino, Micco, Sigit dan lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terima kasih telah melebur rasa penat ketika sedang mengerjakan skripsi ini.

18. Rekan-rekan seperjuangan di UPT-LTSIT, Kak Fendi, Kak Ibnu, Mba Oci, Carlos, Irfan, Yasmin, Nadira dan rekan lainnya yang telah bersama-sama dalam menyelesaikan penelitian.
19. Kimia angkatan 2020 yang namanya tidak dapat disebutkan satu persatu, terutama kepada penghuni Kelas B, terima kasih telah berjuang di kehidupan kampus sejak menjadi mahasiswa baru.
20. Semua pihak yang telah membantu dan membagi ilmunya kepada penulis secara tidak langsung maupun secara langsung, sehingga dapat melaksanakan penelitian dan menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Dengan kerendahan hati penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran dari pada pembaca. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu kimia di masa yang akan datang.

Bandar Lampung, 23 Juli 2024  
Penulis,

Riyadi

## DAFTAR ISI

Halaman

<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ivv
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Manfaat Penelitian .....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1 Mikroalga .....	4
2.2 Diatom <i>Cyclotella striata</i> .....	5
2.3 Metilen Biru .....	6
2.4 Adsorpsi .....	7
2.5 Isoterm Adsorpsi .....	8
2.5.1 Persamaan Freundlich.....	9
2.5.2 Persamaan Langmuir .....	10
2.7 <i>Fourier Transform-Infra Red</i> (FTIR).....	10
2.8 Spektrofotometri UV-Vis.....	11
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	15
3.1 Waktu dan Tempat.....	15
3.2 Alat dan Bahan .....	15
3.3 Prosedur Penelitian .....	16
3.3.1 Kultivasi <i>C. striata</i> .....	16
3.3.2 Persiapan Biomassa <i>C. striata</i> .....	16
3.3.3 Ekstraksi dan Pemurnian Frustula <i>C. striata</i> .....	16

3.3.4 Penentuan PZC ( <i>Point Zero Charge</i> )/Titik Muatan Nol Adsorben.	16
3.3.5 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum dan Kurva Standar ....	17
3.3.6 Uji Adsorpsi .....	17
3.3.7 Analisis Data dan Perhitungan Uji Adsorpsi.....	18
3.3.9 Skema Penelitian.....	20
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>21</b>
4.1 Kultivasi <i>Cyclotella striata</i> .....	21
4.2 Preparasi dan Karakterisasi Frustula.....	22
4.3 Uji Adsorpsi .....	26
4.3.1 Penentuan pH Optimum.....	26
4.3.2 Penentuan Waktu Kontak Optimum .....	27
4.3.3 Penentuan Konsentrasi Maksimum Metilen Biru .....	28
4.4 Isoterm Adsorpsi .....	31
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>34</b>
5.1 Simpulan .....	34
5.2 Saran .....	34
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>35</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>42</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Serapan Bilangan Gelombang Karakterisasi FTIR .....	25
2. Nilai Parameter Isotermal Adsorpsi Langmuir dan Freundlich .....	32
3. Penentuan pH Optimum.....	45
4. Penentuan Waktu Kontak Optimum.....	45
5. Penentuan Konsentrasi Maksimum.....	45
6. Uji Normalitas .....	53
7. Uji Homogenitas .....	54
8. Uji Kruskal Wallis.....	54



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Biosilika <i>Cyclotella striata</i> .....	5
2. Struktur Kimia Metilen Biru .....	7
3. Skema alat spektroskopi Inframerah .....	11
4. Skema alat spektrofotometer UV-Vis . .....	12
5. Kultivasi <i>C. striata</i> Hari ke-1 (a) dan hari ke-14 (b).....	21
6. Frustula <i>Cyclotella striata</i> .....	23
7. Penentuan PZC Frustula <i>C. striata</i> .....	23
8. Spektrum FTIR Frustula <i>C. striata</i> Sebelum dan Setelah Adsorpsi.....	24
9. Penentuan pH Optimum.....	26
10. Penentuan Waktu Kontak Optimum.....	27
11. Penentuan Konsentrasi Maksimum Metilen Biru .....	29
12. Interaksi antara Metilen Biru dengan Frustula.....	30
13. Grafik Isoterm Adsorpsi Freundlich (a), Langmuir (b).....	32
14. Hasil Panjang Gelombang Metilen Biru .....	44
15. Kurva Standar Metilen Biru .....	44

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dampak negatif terhadap sumber daya air disebabkan oleh limbah cair yang dihasilkan dari berbagai sektor seperti industri, rumah tangga, dan kegiatan lainnya (Varghese *et al.*, 2019). Salah satu jenis limbah cair yang relatif banyak dijumpai berasal dari industri yang menggunakan zat warna sintetik. Pewarna sintetik yang dilepaskan ke perairan oleh industri tekstil, kulit, kertas, percetakan, kosmetik, plastik, dan farmasi, dapat memberikan pengaruh negatif pada organisme akuatik dan kesehatan manusia (Sarkar *et al.*, 2014).

Salah satu pewarna yang paling banyak digunakan dalam bidang industri adalah metilen biru. Metilen biru merupakan pewarna kationik yang sering digunakan sebagai zat warna pada industri tekstil, kertas, kosmetik, pewarna rambut sementara, kapas, makanan, dan industri farmasi (Oladoye *et al.*, 2022). Menurut Fathoni dan Rusmini (2016), senyawa metilen biru bersifat toksik dan berpengaruh pada kesehatan manusia. Dalam ekosistem air, pewarna dapat memperlambat aktivitas fotosintesis, dan menghambat pertumbuhan biota air, oleh karena itu, dampak yang tidak dapat dihindari dari zat warna ini memerlukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke aliran sungai dan lingkungan (Methneni *et al.*, 2021)

Saat ini berbagai upaya, teknik, dan metode telah dikembangkan untuk menurunkan kadar zat pewarna pada air limbah industri, diantaranya seperti proses oksidasi tingkat lanjut, pengendapan kimia, nanofiltrasi, pemisahan membran, elektrokoagulasi, pertukaran ion, fotokatalisis, dan elektrodialisis (Fito *et al.*, 2020). Metode tersebut efisien dan efektif untuk mengurangi kadar zat pewarna dari air limbah industri tekstil. Namun, metode tersebut memiliki keterbatasan tertentu seperti memerlukan energi yang tinggi, menggunakan

banyak bahan kimia, dan biaya operasional yang besar. Beberapa di antara metode pengolahan tersebut, adsorpsi merupakan metode yang paling banyak digunakan karena biayanya yang rendah, desain yang mudah, dan ramah lingkungan (Kang *et al.*, 2022) (Tebeje *et al.*, 2022).

Adsorpsi ditemukan sebagai metode yang efektif dan umum digunakan di antara semua teknik penghilangan zat warna. Teknik adsorpsi dalam pengolahan air limbah terdiri dari penghilangan kontaminan menggunakan karbon aktif komersial dan berbagai adsorben dengan biaya rendah. Adsorben yang baik digunakan dalam penghilangan zat warna harus memiliki beberapa sifat yang diinginkan antara lain luas permukaan yang besar, kapasitas adsorpsi yang tinggi, porositas yang besar, ketersediaan yang mudah, stabilitas, kelayakan, kompatibilitas, ramah lingkungan, kemudahan regenerasi, dan sangat selektif untuk menghilangkan warna yang berbeda (Nasar dan Mashkoo, 2019).

Seiring dengan perkembangan zaman, saat ini adsorben yang berasal dari biomassa telah dikembangkan sebagai salah satu adsorben alternatif yang berasal dari organisme karena dapat mudah diperoleh. Beberapa adsorben berbasis biomassa terkini termasuk biomassa jamur, bakteri, alga, ragi, serta biomassa pertanian dan hutan yang digunakan untuk berbagai penghilangan pewarna (Kumar *et al.*, 2021). Beberapa di antara biosorben tersebut, alga dianggap sebagai salah satu sumber jenis biosorben yang paling disukai karena memiliki kapasitas biosorpsi yang tinggi dan mudah tersedia dalam jumlah besar (Azam *et al.*, 2020). Biosorpsi tergantung pada komposisi dan struktur dinding sel alga. Komponen tersebut, bersama dengan protein yang ada, dapat menyediakan tempat pengikatan asam seperti gugus amino, amina, hidroksil, imidazol, fosfat, dan sulfat (Singh *et al.*, 2018).

*C. striata* termasuk kedalam jenis mikroalga diatom atau filum *Bacillariophyta*. Diatom ini memiliki frustula yang unik dan berpori yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben zat warna. Sel diatom mengandung banyak sel metabolit dan senyawa bioaktif, serta dilapisi oleh dinding sel berlubang tiga dimensi atau disebut frustula, yang memiliki sifat fungsional sehingga dapat digunakan untuk

aplikasi bioteknologi dan lingkungan (Hu, 2019). Kohler *et al.*, (2017), memanfaatkan biosilika diatom *Thalassiosira pseudonana* yang dikultivasi dengan konsentrasi aluminium yang tinggi sebagai katalis asam. Pada penelitian lainnya memanfaatkan frustula diatom *Halamphora cf. salinicola* sebagai adsorben zat warna anionik *congo red*, zat warna kationik *crystal violet* dan *malachite green*, hasil penelitian menunjukkan presentase penghilangan zat warna kationik lebih tinggi mencapai 90% dibandingkan zat warna anionik hanya 75% (Golubeva *et al.*, 2023). Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan pemanfaatan frustula dari *C. striata* yang akan digunakan sebagai adsorben zat warna kationik metilen biru.

Pada penelitian ini, diatom *C. striata* dikultur menggunakan berbagai macam nutrisi dan dibantu dengan pencahayaan untuk proses fotosintesis, serta diberikan aerasi agar nutrisi yang diberikan merata dalam media kultivasi. Biomassa yang dihasilkan setelah 14 hari diekstrak untuk mendapatkan frustula. Frustula mengandung gugus fungsi yang dapat berperan sebagai tempat pengikatan dengan zat warna metilen biru. Karakterisasi dilakukan menggunakan FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terkandung dalam frustula *C. striata* sebelum dan sesudah proses adsorpsi, serta untuk mengetahui kemampuan adsorpsi dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui potensi frustula *C. striata* sebagai adsorben zat warna, serta menentukan pH optimum, waktu kontak optimum dan konsentrasi maksimum metilen biru yang diadsorpsi oleh frustula *C. striata*.

## **1.3 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai potensi atau peluang frustula *C. striata* sebagai adsorben zat warna metilen biru.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Mikroalga

Mikroalga adalah organisme bersel tunggal yang hanya dapat dilihat di bawah mikroskop dan bervariasi dalam ukuran, bentuk, dan spesies. Mereka memiliki pigmen yang mendukung fotosintesis dan bersifat fotoautotrofik, dan biasanya dapat ditemukan di lingkungan perairan (Rahayu dan Susilo, 2021). Mikroalga dapat dibudidayakan dalam skala besar untuk menghasilkan biomassa, yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi seperti pakan ternak, suplemen makanan, dan bioplastik. Budidaya mikroalga untuk produksi biomassa dapat mengurangi tekanan pada pertanian tradisional berbasis lahan dan berkontribusi pada produksi pangan dan bahan yang berkelanjutan (Yu *et al.*, 2022).

Mikroalga dapat berfungsi sebagai indikator kualitas air dan pencemaran lingkungan (Buragohain dan Yasmin, 2014). Mikroalga memiliki kemampuan untuk menghilangkan polutan dan kontaminan dari lingkungan melalui proses yang disebut bioremediasi. Mereka dapat menyerap dan memetabolisme berbagai polutan, termasuk logam berat dan senyawa organik, membantu membersihkan badan air dan tanah yang terkontaminasi (Ansari *et al.*, 2019). Manfaat yang signifikan dari mikroalga terletak pada kemampuannya untuk digunakan dalam pengolahan air limbah. Hal ini disebabkan oleh kemampuannya untuk mendegradasi bahan organik dan nutrisi yang terkandung dalam air limbah (Anugroho dkk., 2018).

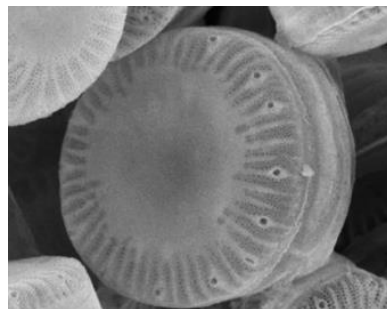
Secara keseluruhan, mikroalga memiliki berbagai aplikasi dan penggunaan potensial di berbagai sektor industri, termasuk energi, akuakultur, perbaikan lingkungan, dan bioteknologi. Tingkat pertumbuhannya yang cepat, kemampuan

untuk menghasilkan senyawa yang berharga dan kontribusinya terhadap keberlanjutan menjadikannya sumber daya yang menjanjikan untuk masa depan.

## 2.2 Diatom *Cyclotella striata*

Diatom adalah sejenis mikroalga yang termasuk dalam filum *Bacillariophyta*. Diatom juga merupakan organisme uniseluler dengan dinding sel unik yang terbuat dari silika, disebut frustula, yang terdiri dari dua katup yang saling tumpang tindih. Diatom ditemukan di berbagai lingkungan perairan, termasuk air tawar, laut, dan air payau (Tseplik *et al.*, 2022).

Biosilika diatom memiliki sifat unggul dalam stabilitas kimia dan termal, porositas, non-toksitas dan kompatibilitas dibandingkan dengan bahan lain. Hal ini memungkinkan biosilika diatom untuk diusulkan dalam berbagai bidang aplikasi seperti bioteknologi dan biomedis (Gordon *et al.*, 2009). Frustula diatom memiliki susunan pori unik yang sangat bervariasi dengan spesies diatom, dan ukuran porinya berkisar dari 50 nm hingga beberapa mikron. Diatom frustula terdiri dari silika terhidrasi amorf ( $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dengan makromolekul organik (Wu *et al.*, 2012). Dalam beberapa penelitian, frustula diatom telah dikarakterisasi untuk berbagai tujuan, seperti produksi biosilika. Frustula *Navicula sp.* TAD yang merupakan sejenis diatom, dicirikan memiliki struktur permukaan berpori nano (Telussa *et al.*, 2022).



**Gambar 1.** Biosilika *Cyclotella striata* (Putri *et al.*, 2022).

*C. striata* termasuk ke dalam kelas *Bacillariopyceae* (diatom), susunan tubuh *C. striata* bersifat uniseluler dengan bentuk dasar cetrik atau bulat, memiliki pigmen

berwarna hijau kekuningan sampai coklat keemasan. Sel berbentuk cakram, berdiameter 6-18  $\mu\text{m}$ . Granular menutupi seluruh permukaan katup luar dan kadang-kadang membentuk struktur silika dendritik. Duri hadir di ujung alur pada permukaan katup (Roy and Pal, 2015).

Klasifikasi *C. striata* adalah sebagai berikut :

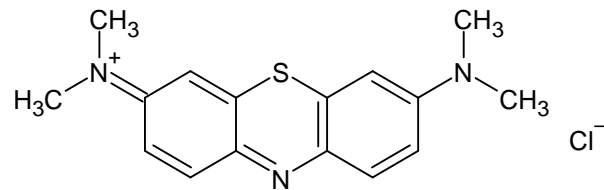
Kingdom : Protozoa  
Filum : Bacillariophyta  
Class : Bacillariopyceae  
Ordo : Centrales  
Famili : Stephanodiscaceae  
Genus : *Cyclotella*  
Spesies : *Cyclotella striata*

### 2.3 Metilen Biru

Sejumlah besar air limbah pewarna organik diproduksi dalam proses industri percetakan dan pencelupan. Air limbah pewarna memiliki karakteristik seperti konsentrasi bahan organik tinggi, biodegradabilitas yang buruk, dan sangat mempengaruhi kualitas air dan fotosintesis mikroorganisme di lingkungan air (Tan *et al.*, 2008) (Wong *et al.*, 2004). Metilen Biru (MB) adalah pewarna industri yang beracun, karsinogenik, dan tidak dapat terbiodegradasi yang dapat mencemari sumber air, sehingga menimbulkan ancaman bagi kesehatan manusia dan lingkungan (Khan *et al.*, 2022). Pewarna ini umumnya digunakan di berbagai bidang, termasuk kedokteran, biologi, dan ilmu lingkungan. Penghilangan metilen biru dari air limbah merupakan perhatian yang signifikan, dan berbagai metode seperti fotodegradasi dan adsorpsi ke dalam karbon aktif telah dilakukan (Kuang *et al.*, 2020).

Di antara pewarna kationik yang umum, metilen biru (MB) dianggap sebagai polutan yang paling representatif, mudah larut dalam air atau etanol, dan termasuk larutan berair yang bersifat basa dan beracun. Metilen biru stabil di alam dan sangat sulit untuk terdegradasi dalam larutan air, oleh karena itu perlu

mengembangkan metode yang sangat baik untuk menghilangkan atau mengurangi pewarna metilen biru di lingkungan (Lai *et al.*, 2019).



**Gambar 2.** Struktur Kimia Metilen Biru

## 2.4 Adsorpsi

Menurut Pratiwi dan Prinajati (2018), adsorpsi merupakan suatu proses dimana molekul suatu larutan berinteraksi dengan permukaan suatu zat padat. Metode adsorpsi adalah salah satu metode yang prosesnya sederhana, dapat didaur ulang, dan biayanya relatif murah. Dalam proses adsorpsi, terdapat 2 jenis yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika terjadi karena gaya Van der Waals dimana ketika gaya tarik molekul antara larutan dan permukaan media lebih besar daripada gaya tarik substansi terlarut dan larutan, maka substansi terlarut akan diadsorpsi oleh permukaan media. Adsorpsi kimia terjadi ketika terbentuknya ikatan kimia antara substansi terlarut dalam larutan dengan molekul dalam media. Ada berbagai macam adsorben, yang mencakup bahan konvensional seperti bahan anorganik misalnya zeolit, alumina, silika gel, dan karbon aktif, serta adsorben non-konvensional seperti polisakarida dan turunannya misalnya kitosan, selulosa, pati, alginat dan biosorben misalnya alga, jamur, atau ragi (Crini *et al.*, 2019).

Di antara adsorben tersebut, bioadsorben adalah yang paling populer untuk adsorpsi zat pewarna, kontaminan pada umumnya berasal dari air limbah. Jenis pewarna yang akan dihilangkan sangat bergantung pada pH larutan. Pewarna anionik dihilangkan dalam kondisi asam dan pewarna kationik dalam kondisi basa. Hal ini disebabkan adanya keterlibatan ion  $H^+$  dalam proses interaksi biomassa-polutan. Jika permukaan adsorben mempunyai muatan positif, ion hidrogen ( $H^+$ ) dapat bersaing secara produktif dengan kation yang ada dalam larutan pewarna, sehingga mengakibatkan penurunan jumlah pewarna yang



teradsorpsi. Gugus karboksil mempunyai muatan negatif pada pH yang lebih tinggi, yang menghasilkan pengikatan elektrostatis pada pewarna kationik. Selain itu, kinerja biosorpsi sangat dipengaruhi oleh parameter lain termasuk pengolahan biomassa menjadi adsorben, konsentrasi kontaminan awal, dosis biomassa, suhu, dan waktu kontak (Aragaw and Bogale, 2021).

Adsorben yang berasal dari biomassa umumnya merupakan struktur berbasis selulosa dan dapat menghasilkan karbon berpori yang baik yang dapat menyerap berbagai jenis kontaminan di lingkungan alam. Salah satu ciri penting penggunaan adsorben yang berasal dari biomassa untuk menghilangkan pewarna adalah dapat digunakan dalam skala besar karena ketersediaannya yang sangat besar. Selain itu, adsorben yang berasal dari biomassa memiliki afinitas atau kapasitas pengikatan yang tinggi terhadap berbagai jenis kontaminan, dan juga memiliki kapasitas regenerasi yang baik. Selain itu, sifat kimia permukaannya yang baik seperti distribusi pori, luas permukaan spesifik, dan gugus fungsi membantu menghilangkan pewarna dalam air limbah (Sherugar *et al.*, 2022). Biomassa kering mikroalga *Spirulina subsalsa* dan *Scenedesmus ecornis* pada penelitian yang dilakukan Abdulkareem and Anwer (2021) mampu mengadsorpsi zat warna *reactive yellow* dengan persentase penyisihan sebesar 89,3% dan 90,4% dan suhu optimum 30°C dan kapasitas adsorpsi zat warna pada konsentrasi 1,2 g/mL.

## 2.5 Isoterm Adsorpsi

Perubahan konsentrasi adsorbat dalam proses adsorpsi sesuai dengan mekanismenya dapat dipelajari melalui penentuan isoterm adsorpsi. Isoterm adsorpsi yang biasa digunakan adalah isoterm adsorpsi tipe Langmuir dan Freundlich. Penentuan isoterm adsorpsi dilakukan dengan mengalurkan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich menjadi kurva kesetimbangan garis lurus dimana model kesetimbangan tergantung pada hasil koefisien determinasi (R) yang paling tinggi. Adsorpsi fase padat cair biasanya mengikuti tipe isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich, dengan ikatan antara

molekul adsorbat dengan permukaan adsorben dapat terjadi secara fisisorpsi dan kemisorpsi (Sahara dkk., 2018).

### 2.5.1 Persamaan Freundlich

Persamaan isoterm adsorpsi Freundlich adalah persamaan empiris yang banyak digunakan untuk mewakili isoterm adsorpsi dari berbagai macam sistem adsorpsi pada fase cair. Model Freundlich mempertimbangkan ketidakidealan dan reversibilitas adsorpsi. Adsorpsi terjadi pada permukaan heterogen dengan situs adsorpsi yang tidak sama dan energi adsorpsi yang berbeda, model ini memiliki konsep multilayering dan interaksi molekul yang teradsorpsi satu sama lain (Bhatti *et al.*, 2016). Secara matematis persamaan isoterm Freundlich dapat dituliskan sebagai berikut:

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

Keterangan:

- $Q_e$  : banyaknya zat yang terserap per satuan berat adsorben (mg/g)  
 $C_e$  : konsentrasi adsorbat saat kesetimbangan (mg/L)  
 $n$  : faktor heterogenitas yang menunjukkan seberapa baik proses adsorpsi  
 $K_f$  : konstanta freundlich (mg/g) (mg/L)<sup>1/n</sup>

Persamaan di atas dapat diubah ke dalam bentuk linier yaitu dengan cara mengubah bentuk logaritmanya:

$$\text{Log } Q_e = \text{Log } K_f + \frac{1}{n} \text{Log } C_e \quad (2)$$

$K_f$  adalah parameter persamaan Freundlich yang mewakili kapasitas adsorpsi. Sedangkan parameter  $n$  adalah parameter yang mewakili keheterogenan suatu sistem adsorpsi. Semakin heterogen suatu sistem, semakin besar harga parameter  $n$ .

### 2.5.2 Persamaan Langmuir

Model Langmuir didasarkan pada asumsi adsorpsi monolayer pada permukaan adsorben, kapasitas adsorpsi terbatas untuk adsorbat, dan penempatan satu situs per setiap molekul adsorbat. Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir sebagai berikut (Fito *et al.*, 2020).

$$Q = \frac{b \cdot K \cdot C_e}{1 + K \cdot C_e} \quad (3)$$

Persamaan di atas dapat diturunkan secara linier menjadi:

$$\frac{C_e}{Q} = \frac{1}{Kb} + \frac{1}{b} C_e \quad (4)$$

Keterangan:

$C_e$  : konsentrasi kesetimbangan adsorbat dalam larutan setelah adsorpsi (mg/L)

$Q$  : jumlah adsorbat teradsorpsi per bobot adsorben (mg/g)

$K$  : konstanta kesetimbangan adsorpsi (L/mg)

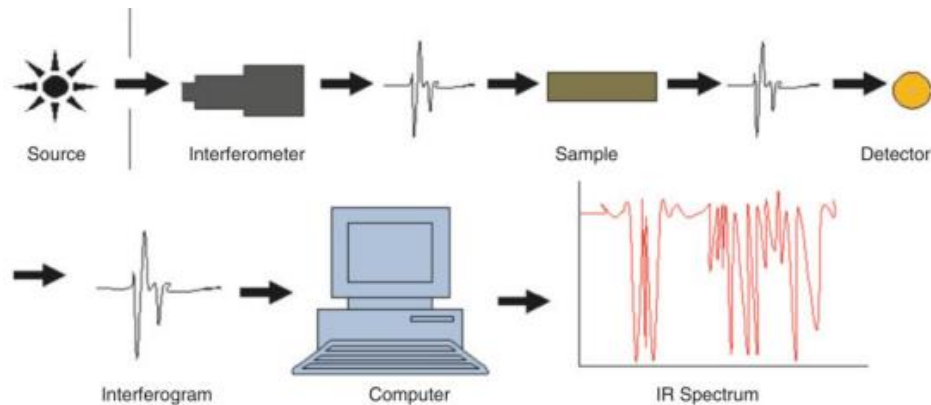
$b$  : kapasitas adsorpsi maksimum dari adsorben (mg/g)

### 2.7 *Fourier Transform-Infra Red (FTIR)*

*Fourier Transform-Infra Red (FTIR)* merupakan teknik analisis yang digunakan untuk mengetahui gugus fungsi pada suatu senyawa. Gugus fungsi diperoleh dengan cara menembakkan radiasi sinar inframerah. Spektrum inframerah yang diperoleh selanjutnya diplotkan sebagai intensitas fungsi energi, panjang gelombang ( $\mu\text{m}$ ) atau bilangan gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ ). Prinsip kerja FTIR didasarkan pada interaksi energi dan materi. Energi inframerah diemisikan dari sumber dan berjalan melalui optik dari spektrofotometer dan gelombang sinar kemudian berjalan melewati interferometer.

*Fourier Transform Infra Red (FTIR)* digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada material adsorben. Pembacaan gelombang FTIR dilakukan pada daerah spektrum menengah (mid-infrared) pada rentang panjang

gelombang  $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ . Hasil dari uji FTIR berupa grafik antara panjang gelombang ( $\lambda$ ) pada sumbu x dan jumlah cahaya yang terpantulkan atau presentase (%) transmittan pada sumbu y. Hasil uji FTIR dianalisa dengan melihat puncak (peak) spesifik pada panjang gelombang tertentu. Setiap puncak spesifik menunjukkan jenis fungsional dalam senyawa adosrben.



**Gambar 3.** Skema alat spektroskopi Inframerah (Joshi, 2012)

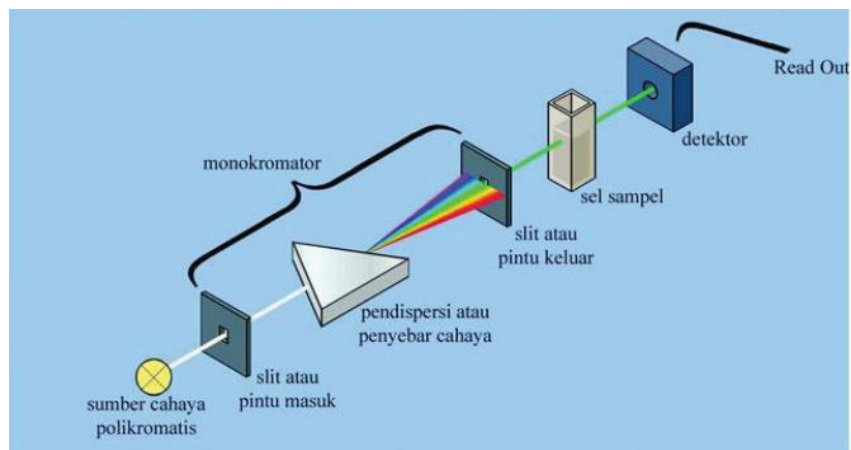
Skema instrumen spektroskopi inframerah ditunjukkan pada Gambar 3. Radiasi dari sumber sinar melewati celah dan diteruskan ke dalam interferometer. Selanjutnya, radiasi akan melewati sampel dan diteruskan ke detektor. Sinyal yang terbaca oleh detektor didigitalisasi dan dikirim ke komputer tempat proses transformasi fourier dilakukan sehingga dihasilkan spektrum inframerah. Spektrofotometri FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terkandung dalam suatu bahan yang akan dikarakterisasi (Joshi, 2012).

## 2.8 Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis adalah metode analisis kimia yang digunakan untuk menentukan konsentrasi suatu senyawa dalam larutan berdasarkan absorbansi cahaya pada rentang panjang gelombang tertentu, yaitu pada rentang ultraviolet dan tampak. Pada umumnya senyawa yang dapat diidentifikasi menggunakan Spektrofotometri UV-Vis adalah senyawa yang memiliki gugus kromofor

dan gugus auksokrom. Pengujian dengan Spektrofotometri UV-Vis tergolong dan cepat cepat jika dibandingkan dengan metode lain. Prinsip kerja Spektrofotometer UV-Vis yaitu apabila cahaya monokromatik melalui suatu media (larutan), maka sebagian cahaya tersebut diserap ( $I$ ), sebagian dipantulkan ( $I_r$ ), dan sebagian lagi dipancarkan ( $I_t$ ) (Yanlinastuti dan Fatimah, 2016).

Spektrofotometri UV-Vis dikenal sebagai metode analisis spektroskopis yang memakai sumber REM (reaksi elektromagnetik) ultraviolet dekat (190-380 nm) serta sinar tampak (380-780 nm). Spektrofotometri Uv-Vis melibatkan energi elektronik yang lumayan besar pada molekul yang akan dianalisis, sehingga spektrofotometri Uv-Vis lebih banyak dipakai pada analisis kuantitatif daripada analisa kualitatif. Spektrofotometri merupakan metode analisa yang didasarkan pada pengukuran serapan sinar monokromatis oleh suatu lajur larutan berwarna pada panjang gelombang khusus dengan memakai prisma ataupun kisi difraksi dengan detektor fototube. Fungsi dari spektrofotometer adalah sebagai alat pengukur mengukur transmittan atau absorban suatu sampel dari panjang gelombang (Miarti dan Legasari, 2022). Gambar 4 merupakan alat dari spektrofotometri Uv-Vis.



**Gambar 4.** Skema alat spektrofotometer UV-Vis (Suhartati, 2017).

Sumber sinar polikromatis, untuk sinar UV adalah lampu deuterium, sedangkan sinar Visibel atau sinar tampak adalah lampu wolfram. Monokromator pada spektrometer UV-Vis digunakan lensa prisma dan filter optik. Sel sampel berupa

kuvet yang terbuat dari kuarsa atau gelas dengan lebar yang bervariasi. Detektor berupa detektor foto atau detektor panas atau detektor dioda foto, berfungsi menangkap cahaya yang diteruskan dari sampel dan mengubahnya menjadi arus listrik (Suhartati, 2017).

Hukum Lambert-Beer menyatakan hubungan antara absorpsi radiasi dan panjang gelombang medium yang dilalui dinyatakan dengan Hukum Lambert. “Jika suatu sinar monokromatis dilewatkan pada larutan yang tebalnya sebesar dB, maka intensitas akan turun sebesar dI, berbanding langsung dengan intensitas sinar datang” (Miarti dan Legasari, 2022). Hukum Lambert-Beer dinyatakan dalam rumus:

$$I_t = I_0 10^{-KB} \quad (5)$$

Dimana:

K = Suatu tetapan, tergantung pada ketebalan larutan

B = Tebal Larutan, cm

$I_0$  = Intensitas sinar datang

$I_t$  = Intensitas sinar yang diteruskan

Rumus yang diturunkan dari Hukum Beer dapat ditulis sebagai:

$$A = a.b.c \text{ atau } A = \epsilon.b.c \quad (6)$$

Dimana:

A = Absorbansi

b = tebal larutan (tebal kuvet diperhitungkan juga umumnya 1 cm)

c = konsentrasi larutan yang diukur

$\epsilon$  = tetapan absorbtivitas molar (jika konsentrasi larutan yang diukur dalam molar)

a = tetapan absorbtivitas (jika konsentrasi larutan yang diukur dalam ppm).

Pengukuran absorbansi larutan pewarna tekstil diukur dengan menggunakan spektrofotometer visibel dalam rentang panjang gelombang ( $\lambda$ ) antara 400 nm sampai 750 nm. Analisis spektroskopi cahaya tampak Metilen Biru biasanya

dilakukan dengan menggunakan panjang gelombang pada serapan maksimum, yaitu sekitar 664 nm (Fernandez-Perez and Marban, 2022). Panjang gelombang maksimum merupakan panjang gelombang yang mempunyai nilai absorbansi maksimum. Panjang gelombang maksimum yang diperoleh selanjutnya digunakan dalam pengukuran absorbansi kurva standar dan hasil dari adsorpsi.

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Oktober 2023-Maret 2024 di Laboratorium Kimia Dasar Jurusan Kimia dan Unit Pelaksanaan Teknis Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi dan Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung, Kota Bandar Lampung. Karakterisasi FTIR dilakukan di Laboratorium Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *autoclave* Tomy SX-700 High-Pressure Steam Sterilizer, mikropipet Wigggen Hauser 100-1000  $\mu$ L, *sentrifuge* seri HITACHI CF16RXII, neraca analitik Wigggen Hauser JD 300-3, oven, magnetik stirer Wigggen Hauser HPS 630, *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) Prestige 21 Shimadzu dan Spektrofotometer UV-Vis, erlenmeyer, gelas ukur, gelas kimia, pipet tetes, batang pengaduk, spatula, labu ukur, botol 1 L, aerator, pipa L, corong kaca, botol vial, mortar dan alu.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah inokulum *C. striata* yang berasal dari Tanjung Bidadari, Kepulauan Seribu Indonesia yang merupakan koleksi mikroalga dari Laboratorium Biokimia Gedung Riset dan Inovasi Institut Teknologi Bandung, air laut steril, aquadest,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ , TSP,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (media pertumbuhan *C. striata*), etanol, HCl 0,1 M, NaOH 0,1 M, NaCl 0,1 M,  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% dan metilen biru komersial.



### 3.3 Prosedur Penelitian

#### 3.3.1 Kultivasi *C. striata*

Air laut dengan salinitas 22 ppt yang telah steril dimasukkan ke dalam botol kultur sebanyak 700 mL, ditambahkan nutrisi sebagai media pertumbuhan yaitu  $\text{KNO}_3$  1,8 mL, TSP 2,3 mL,  $\text{FeCl}_3$  1,8 mL,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  1,38 mL, dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  1 mL. Inokulum *C. striata* ditambahkan pada media kultivasi sebanyak 200 mL, kemudian diberikan aerasi dan pencahayaan 12 jam gelap 12 jam terang (Kusumaningtyas *et al.*, 2017).

#### 3.3.2 Persiapan Biomassa *C. striata*

*C. striata* yang telah dikultur selama 14 hari dipanen menggunakan teknik sentrifugasi. Diatom disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 5 menit. Biomassa dikumpulkan dan ditimbang untuk mengetahui beratnya.

#### 3.3.3 Ekstraksi dan Pemurnian Frustula *C. striata*

Pemurnian frustula terlebih dahulu dilakukan dengan mengekstraksi biomassa dengan etanol, setelah itu ditambahkan dengan larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% dan diaduk selama 30 menit pada suhu ruangan, lalu didiamkan selama 3 hari (Golubeva *et al.*, 2023), setelah itu frustula dipisahkan dari filtratnya. Frustula yang sudah terpisah dari filtratnya dicuci dengan aquadest, kemudian kemudian dikalsinasi selama 3 jam pada suhu  $550^\circ\text{C}$  (Telussa *et al.*, 2022). Karakterisasi dilakukan menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung didalam frustula.

#### 3.3.4 Penentuan PZC (*Point Zero Charge*) atau Titik Muatan Nol Adsorben

Frustula ditimbang sebanyak 10 mg, kemudian ditambahkan 20 mL NaCl 0,1 M, dibuat rentang pH dari 2-11, dengan menambahkan HCl 0,1 M dan NaOH 0,1 M. Larutan di shaker pada kecepatan 100 rpm selama 24 jam, setelah 24 jam larutan disaring dan dicatat nilai pH akhir. Nilai PZC didapatkan dengan memplotkan grafik pH awal terhadap nilai perubahan pH (Golubeva *et al.*, 2023).

### **3.3.5 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum dan Kurva Standar**

#### **3.3.5.1 Pembuatan Larutan Metilen Biru**

Membuat larutan induk metilen biru 500 ppm dibuat dengan menimbang 0,5 g serbuk metilen biru, kemudian dilarutkan dengan aquadest dalam labu ukur 1000 mL. Menentukan panjang gelombang maksimum dengan rentang panjang gelombang 400-700 nm.

#### **3.3.5.2 Pembuatan Kurva Standar Larutan Metilen Biru**

Membuat larutan standar metilen biru dengan variasi konsentrasi 1, 5, 10, 15 dan 20 ppm dengan cara memipet dari larutan induk metilen biru, masing-masing sebanyak 0,1; 0,5; 1; 1,5; dan 2 mL dalam labu ukur 50 mL (Al-Ghouti and Al-Absi, 2020). Masing-masing larutan diukur dengan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum metilen biru yaitu 664 nm (Fernandez-Perez and Marban, 2022).

### **3.3.6 Uji Adsorpsi**

#### **3.3.6.1 Penentuan pH Optimum**

*Frustula C. striata* ditimbang sebanyak 20 mg, lalu dimasukkan ke dalam gelas beaker. Larutan metilen biru ditambahkan sebanyak 10 mL dengan konsentrasi 20 ppm. Larutan kemudian diatur dengan pH yang berbeda yaitu 2, 4, 6, 8, 10 dan 12 (Golubeva *et al.*, 2023). Pengaturan pH dilakukan dengan penambahan HCl 0,1 M untuk suasana asam dan NaOH 0,1 M untuk suasana basa, larutan diaduk selama 30 menit pada suhu ruangan. Setelah itu, larutan disentrifuse dan filtrat yang didapat dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 664 nm.

#### **3.3.6.2 Penentuan Waktu Kontak Optimum**

*Frustula C. striata* ditimbang sebanyak 20 mg, lalu dimasukkan ke dalam gelas beaker. Larutan metilen biru ditambahkan sebanyak 10 mL dengan konsentrasi 20

ppm. Larutan kemudian diatur pada pH optimum dan diaduk dengan suhu ruang pada variasi waktu 15; 30; 45; 60; 90; dan 120 menit (Golubeva *et al.*, 2023). Setelah itu, larutan disentrifuse dan filtrat yang didapat dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 664 nm.

### 3.3.6.3 Penentuan Konsentrasi Maksimum

*Frustula C. striata* ditimbang sebanyak 20 mg, lalu dimasukkan ke dalam gelas beaker. Larutan metilen biru ditambahkan sebanyak 10 mL dengan variasi konsentrasi 10, 20, 30, 50, 80 dan 100 ppm (Golubeva *et al.*, 2023). Larutan kemudian diatur pada pH optimum dan diaduk pada suhu ruang dengan waktu optimum. Setelah itu, larutan disentrifuse dan filtrat yang didapat dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 664 nm.

### 3.3.7 Analisis Data dan Perhitungan Uji Adsorpsi

#### 3.3.7.1 Presentase Penghilangan Zat Warna Metilen Biru

Presentase penghilangan dihitung berdasarkan penelitian (Darwin *et al.*, 2023) menggunakan rumus berikut:

$$\% \text{ efisiensi adsorpsi} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan:

% efisiensi adsorpsi : Presentase penghilangan zat warna

$C_o$  : Konsentrasi zat warna awal (mg/L)

$C_e$  : Konsentrasi zat warna setelah adsorpsi (mg/L)

#### 3.3.7.2 Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Persamaan ini digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi adsorben terhadap zat warna metilen biru. Kapasitas adsorpsi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Ramadhani dkk., 2019):

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)}{W} \times V$$

(8)

Keterangan:

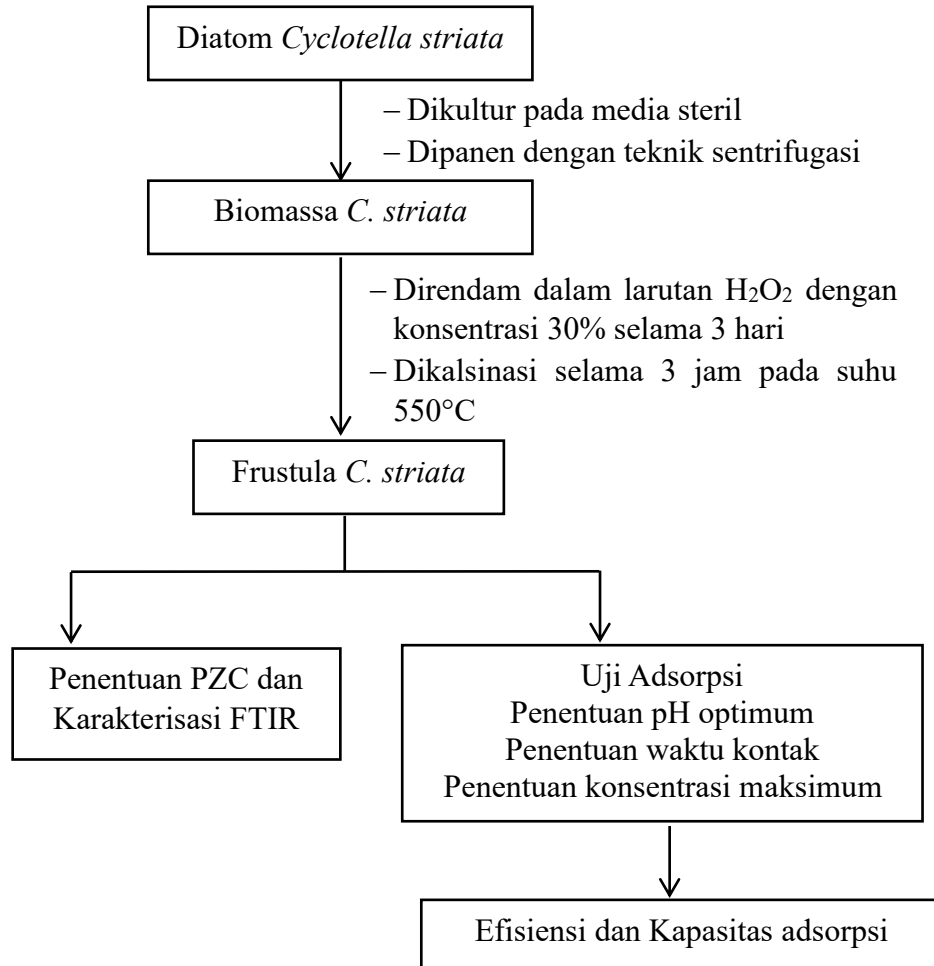
- Q<sub>e</sub> : Kapasitas adsorpsi (mg/g)  
C<sub>o</sub> : Konsentrasi larutan awal (ppm)  
C<sub>e</sub> : Konsentrasi larutan akhir (ppm)  
W : Massa adsorben (gram)  
V : Volume larutan (Liter)

### 3.3.7.3 Analisis Data menggunakan Software SPSS

Analisis data dilakukan untuk mengetahui adanya pengaruh yang signifikan terhadap uji adsorpsi, meliputi uji normalitas, uji homogenitas, dan uji non parametrik lanjutan, analisis data tersebut dilakukan menggunakan software SPSS.

### 3.3.9 Skema Penelitian

Skema penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.



## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa frustula *C. striata* berpotensi digunakan sebagai adsorben zat warna metilen biru dengan efisiensi adsorpsi diatas 90% dengan optimum pH 8, waktu kontak 45 menit pada konsentrasi metilen biru 20 ppm, dengan  $Q_{\max}$  sebesar 30,03 mg/g. Hal ini dibuktikan dengan adanya gugus fungsi Si-O dan OH pada frustula melalui karakterisasi FTIR. Isoterm adsorpsi lebih cenderung pada model Freundlich, yang menunjukkan metilen biru yang diadsorpsi oleh frustula termasuk adsorpsi multilayer pada permukaan heterogen. Analisis statistik non parametrik menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan pada uji adsorpsi terhadap beberapa faktor dengan nilai sig. kurang dari 0,05.

### 5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian ini yaitu dilakukannya modifikasi frustula *C. striata* untuk lebih meningkatkan efisiensi adsorpsi dan mampu menyerap konsentrasi larutan zat warna yang lebih besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkareem, P. M., and Anwer, S. S. 2021. Uptake of Different Dyes by Two New Strains of Microalgal Dry Biomass. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*. 52(1). 48–62.
- Al-Ghouti, M. A., and Al-Absi, R. S. 2020. Mechanistic Understanding of The Adsorption and Thermodynamic Aspects of Cationic Methylene Blue Dye Onto Cellulosic Olive Stones Biomass from Wastewater. *Scientific Reports*. 10(1). 1–18.
- Amit Kumar Sarkar, Pal, A., Ghorai, S., Mandre, N. R., and Pal, S. 2014. Efficient Removal of Malachite Green Dye using Biodegradable Graft Copolymer Derived from Amylopectin and Polyacrylic acid. *Carbohydrate Polymers*. 111: 108–115.
- Ansari, F. A., Ravindran, B., Gupta, S. K., Nasr, M., Rawat, I., and Bux, F. 2019. Techno-economic Estimation of Wastewater Phycoremediation and Environmental Benefits using *Scenedesmus obliquus* Microalgae. *Journal of Environmental Management*. 240: 293–302.
- Anugroho, F., Sirrajudin, A. D., dan Putri, D. K. 2018. Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah MCK (IPAL-MCK) Berbasis Biofilm Mikroalga Skala Rumah Tangga. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 5(3). 21–27.
- Aragaw, T. A., and Bogale, F. M. 2021. Biomass-Based Adsorbents for Removal of Dyes From Wastewater: A Review. *Frontiers in Environmental Science*. 9(12).
- Ashour, M., Alprol, A. E., Khedawy, M., and Abualnaja, K. M. 2022. Equilibrium and Kinetic Modeling of Crystal Violet Dye. *Materials*. 15(6375). 1-28.
- Azam, R., Kothari, R., Singh, H. M., Ahmad, S., Ashokkumar, V., and Tyagi, V. V. 2020. Production of Algal Biomass for its Biochemical Profile using Slaughterhouse Wastewater for Treatment Under Axenic Conditions. *Bioresource Technology*. 306.
- Bhatti, H. N., Zaman, Q., Kausar, A., Noreen, S., and Iqbal, M. 2016. Efficient Remediation of Zr(IV) using Citrus Peel Waste Biomass: Kinetic, Equilibrium and Thermodynamic Studies. *Ecological Engineering*. 95: 216–

228.

- Borhade, A. V., and Kale, A. S. 2017. Calcined Eggshell as a Cost Effective Material for Removal of Dyes from Aqueous Solution. *Applied Water Science*. 7(8). 4255–4268.
- Buragohain, B. B., and Yasmin, F. 2014. Biomonitoring of Pollution by Microalgae Community in Aquatic System with Special Reference to Water Quality of River Kolong, Nagaon, Assam, India. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*. 2(1). 45–49.
- Camargo, E., Jaime, P. C. J., Lin, C.F., Lin, M.S., Yu, T.Y., Wu, M.C., Lai, S.Y., and Wang, M.Y. 2016. Chemical and Optical Characterization of *Psammodictyon panduriforme* (Gregory) Mann comb nov (*Bacillariophyta*) Frustules. *Optical Materials Express*. 6(5). 1436.
- Crini, G., Lichtfouse, E., Wilson, L. D., and Morin-Crini, N. 2019. Conventional and Non-Conventional Adsorbents for Wastewater Treatment. *Environmental Chemistry Letters*. 17(3). 195–213.
- Darwin, Afifah, A. S., dan Prajati, G. 2023. Kultivasi Mikroalga Chlorella dengan Media Air Limbah (Studi Literatur untuk Produksi Biomassa dan Pengolahan Air Limbah). *Jurnal Serambi Engineering*. 8(1). 4474–4482.
- Desta, M. B. 2013. Batch Sorption Experiments: Langmuir and Freundlich Isotherm Studies for the Adsorption of Textile Metal Ions Onto Teff Straw (Eragrostis Tef) Agricultural Waste. *Journal of Thermodynamics*. 1(1).
- Fathoni, I., dan Rusmini. 2016. Pemanfaatan Bentonit Teknis sebagai Adsorben Zat Warna. *UNESA Journal of Chemistry*. 5(3). 18–22.
- Fernandez-Perez, A., and Marban, G. 2022. Visible Light Spectroscopic Analysis of Methylene Blue in Water; The Universal Calibration Curve. *Journal of Applied Spectroscopy*. 88: 1284–1290.
- Fito, J., Abrham, S., and Angassa, K. 2020. Adsorption of Methylene Blue from Textile Industrial Wastewater onto Activated Carbon of Parthenium hysterophorus. *International Journal of Environmental Research*. 14: 501–511.
- Gecgel, U., Ozcan, G., and Gurpinar, G. C. 2013. Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution by Activated Carbon Prepared from Pea Shells (*Pisum sativum*). *Journal of Chemistry*. 2: 1–9.
- Golubeva, A., Roychoudhury, P., Dąbek, P., Pałczyńska, J., Pryshchepa, O., Piszczek, P., Pomastowski, P., Gloc, M., Dobrucka, R., Guzik, A. F., Nowak, I., Kurzydłowski, K. J., Buszewski, B., and Witkowski, A. 2023. A Novel Effective Bio-Originated Methylene Blue Adsorbent : The Porous Biosilica



from Three Marine Diatom Strains of *Nanofrustulum* sp. (*Bacillariophyta*). *Scientific Reports*. 1–14.

- Golubeva, A., Roychoudhury, P., Dąbek, P., Pryshchepa, O., Pomastowski, P., Pałczyńska, J., Piszczek, P., Gloc, M., Dobrucka, R., Feliczak-Guzik, A., Nowak, I., Buszewski, B., and Witkowski, A. 2023. Removal of the Basic and Diazo Dyes from Aqueous Solution by the Frustules of *Halamphora cf. salinicola* (*Bacillariophyta*). *Marine Drugs*. 21(5). 1–21.
- Hu, I. C. 2019. *Production of potential coproducts from microalgae* (second). Elsevier.
- Henrique, D. C., Quitela, D. U., Ide, A. H., Lins, P. V. S., Perazzini, M. T. B., Perazzini, H., Oliveira, L. M. T. M., Duarte, J. L. S., and Meili, L. 2021. Mollusk Shells as Adsorbent for Removal of Endocrine Disruptor in Different Water Matrix. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 9(4).
- Jedynak, K., and Charmas, B. 2024. Application of Activated Carbons Obtained from Polymer Waste for the Adsorption of Dyes from Aqueous Solutions. *Journal of Materials*. 17(748). 1–24.
- Joshi, D. D. (2012). *FTIR Spectroscopy: Herbal Drugs and Fingerprints BT - Herbal Drugs and Fingerprints: Evidence Based Herbal Drugs*. Springer New Delhi.
- Kang, Z., Jia, X., Zhang, Y., Kang, X., Ge, M., Liu, D., Wang, C., and He, Z. 2022. A Review on Application of Biochar in the Removal of Pharmaceutical Pollutants through Adsorption and Persulfate-Based AOPs. *Green Chemistry for Environmental Sustainability*. 14(16).
- Karmakar, B., De, G., and Ganguli, D. 2000. Dense Silica Microspheres from Organic and Inorganic Acid Hydrolysis of TEOS. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 272(2–3). 119–126.
- Khan, I., Saeed, K., Zekker, I., Zhang, B., Hendi, A. H., Ahmad, A., Ahmad, S., Zada, N., Ahmad, H., Shah, L. A., Shah, T., and Khan, I. 2022. Review on Methylene Blue: its Properties, uses, Toxicity and Photodegradation. *Water*.
- Kohler, L., Machill, S., Werner, A., Selzer, C., Kaskel, S., and Brunner, E. 2017. Are Diatoms “Green” Aluminosilicate Synthesis Microreactors for Future Catalyst Production. *Molecules*. 22(12).
- Kuang, Y., Zhang, X., and Zhou, S. 2020. Adsorption of Methylene Blue in Water Onto Activated Carbon by Surfactant Modification. *Water*. 12(2). 1–19.
- Kumar, A., Singh, R., Upadhyay, S. K., Kumar, S., and Charaya, M. U. 2021. Biosorption: The Removal of Toxic Dyes from Industrial Effluent using

- Phytobiomass- A Review. *Plant Archives*. 21(1). 1320–1325.
- Kusumaningtyas, P., Nurbaiti, S., Suantika, G., Amran, M. B., and Nurachman, Z. 2017. Enhanced Oil Production by the Tropical Marine Diatom *Thalassiosira sp.* Cultivated in Outdoor Photobioreactors. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 182(4). 1605–1618.
- Lai, K. C., Lee, L. Y., Hiew, B. Y. Z., Thangalazhy-Gopakumar, S., and Gan, S. 2019. Environmental Application of three-dimensional Graphene Materials as Adsorbents for Dyes and Heavy Metals: Review on ice-templating Method and Adsorption Mechanisms. *Journal of Environmental Sciences*. 79: 174–199.
- Li, K. M., Jiang, J. G., Tian, S. C., Chen, X. J., and Yan, F. 2014. Influence of Silica Types on Synthesis and Performance of Amine-Silica Hybrid Materials used for CO<sub>2</sub> Capture. *Journal of Physical Chemistry*. 118(5). 2454–2462.
- Male, Y. T., Tehubijuluw, H., and Pelata, P. M. 2013. Synthesis of Binuclear Complex Compound of  $\{[Fe(L)(NCS)_2]_2Oks\}$  (L=Sintesis Senyawa Kompleks Berinti Ganda. *Journal Chemistry*. 1: 15–22.
- Methneni, N., Morales-González, J. A., Jaziri, A., Mansour, H. Ben, and Fernandez-Serrano, M. 2021. Persistent Organic and Inorganic Pollutants in the Effluents from the Textile Dyeing Industries: Ecotoxicology Appraisal Via a Battery of Biotests. *Environmental research*. 196.
- Miarti, A., dan Legasari, L. 2022. Ketidakpastian Pengukuran Analisa Kadar Biuret, Kadar Nitrogen, dan Kadar Oil pada Pupuk Urea di Laboratorium Kontrol Produksi PT Pupuk Sriwidjaja Palembang. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*. 2(3). 861–874.
- Milenkovic, D. D., Milosavljevic, M. M., Marinkovic, A. D., Dokic, V. R., Mitrovic, J. Z., and Bojic, A. L. 2013. Removal of Copper (II) Ion from Aqueous Solution by High-Porosity Activated Carbon. *African Journal Online*. 39(4): 515–522.
- Nasar, A., and Mashkoo, F. 2019. Application of Polyaniline-Based Adsorbents for Dye Removal from Water and Wastewater—A Review. *Environmental Science and Pollution Research*. 26: 5333–5356.
- Oladoye, P. O., Ajiboye, T. O., Omotola, E. O., and Oyewola, O. 2022. Methylene Blue Dye: Toxicity and Potential Technologies for Elimination from Waste Water. *Results in Engineering*. 16(6).
- Patel, H. 2021. Review on Solvent Desorption Study from Exhausted Adsorbent. *Journal of Saudi Chemical Society*. 25(8).

- Pratiwi, R., and Prinajati, P. D. 2018. Adsorption for Lead Removal by Chitosan from Shrimp Shells. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*. 2(1). 35–46.
- Putri, R. M., Almunadya, N. S., Amri, A. F., Afnan, N. T., Nurachman, Z., Devianto, H., and Saputera, W. H. 2022. Structural Characterization of Polycrystalline Titania Nanoparticles on *C. striata* Biosilica for Photocatalytic POME Degradation. *ACS Omega*. 7(48). 44047–44056.
- Rahayu, R. I., dan Susilo, H. 2021. Keanekaragaman Mikroalga Sebagai Bioindikator Pencemaran di Situ Cibanten Kecamatan Ciomas Kabupaten Serang Banten. *Jurnal Lingkungan dan Sumberdaya Alam*. 4(2). 104–116.
- Ramadhani, P., Zein, R., Chaidir, Z., Zilfa, dan Hevira, L. 2019. Pemanfaatan Limbah Padat Pertanian dan Perikanan sebagai Biosorben untuk Penyerap Berbagai Zat Warna: Suatu Tinjauan. *Jurnal Zarah*. 7(2). 46–56.
- Rizzi, V., D’Agostino, F., Fini, P., and Semeraro, P. 2017. An Interesting Environmental Friendly Cleanup: The Excellent Potential of Olive Pomace for Disperse Blue Adsorption/Desorption from Wastewater. *Dyes and Pigments*. 140: 480–490.
- Roy, A. S., and Pal, R. 2015. Planktonic Cyanoprokaryota and Bacillariophyta of East Kolkata Wetlands Ecosystem, a Ramsar Site of India with reference to diversity and taxonomic study. *Journal of Algal Biomass Utilization*. 6(3). 47–59.
- Sahara, E., Gayatri, P. S., dan Putu, S. 2018. Adsorpsi Zat Warna Rhodamin-B dalam Larutan oleh Arang Aktif Batang Tanaman Gumitir Teraktivasi Asam Fosfat. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*. 6(1). 37–44.
- Salama, R. S., El-Bahy, S. M., and Mannaa, M. A. 2021. Sulfamic Acid Supported on Mesoporous MCM-41 as a Novel, Efficient and Reusable Heterogenous Solid Acid Catalyst for Synthesis of Xanthene, Dihydropyrimidinone and Coumarin Derivatives. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 628.
- Sherugar, P., Padaki, M., Naik, N. S., George, S. D., and Murthy, D. H. K. 2022. Biomass-derived Versatile Activated Carbon Removes both Heavy Metals and Dye Molecules from Wastewater with Near-Unity Efficiency: Mechanism and Kinetics. *Chemosphere*. 287(2).
- Sinaga, R. S., Purwonugroho, D., dan Darjito, D. 2015. Adsorpsi Seng(II) oleh Biomassa *Azolla microphylla* diesterifikasi dengan Asam Sitrat: Kajian Desorpsi Menggunakan Larutan HCl. *Jurnal Ilmu Kimia Universitas Brawijaya*. 1(1). 629–635.

- Singh, N. B., Nagpal, G., Agrawal, S., and Rachna. 2018. Water Purification by using Adsorbents: A Review. *Environmental Technology and Innovation*. 11: 187–240.
- Srivatsav, P., Bhargav, B. S., and Shanmugasundaram, V. 2020. *Biochar as an Eco-Friendly and Economical Adsorbent for the Removal of Colorants ( Dyes ) from Aqueous Environment : A Review*. 1–27.
- Sudhakar, S., Ahalya, N., Saravanan, R., and M, S. B. 2024. Biosorption of Crystal Violet and Methylene Blue Dyes using Coconut Shell Powder. *Global NEST Journal*. 26(1). 1–13.
- Suhartati, T. 2017. *Dasar-Dasar Spektrofotometri Uv-Vis dan Spektrometri Massa untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. CV. Anugrah Utama Raharja.
- Tan, I. A. W., Ahmad, A. L., and Hameed, B. H. 2008. Adsorption of Basic Dye on High-Surface-Area Activated Carbon Prepared from Coconut Husk: Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies. *Journal of Hazardous Materials*. 154(1–3). 337–346.
- Tebeje, A., Worku, Z., Nkambule, T. T. I., and Fito, J. 2022. Adsorption of Chemical Oxygen Demand from Textile Industrial Wastewater Through Locally Prepared Bentonite Adsorbent. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 19: 1893–1906.
- Telussa, I., Rahayu, and Lilipaly, E. R. M. A. P. 2022. Isolation and Characterization of Biosilica as Bionanomaterial from the Waste of Frustules Diatom *Navicula sp.* TAD. *Rasayan Journal of Chemistry*. 198–203.
- Tseplik, N., Glushchenko, A., Maltsev, Y., Kuznetsova, I., Genkal, S., Patrick, J. K., and Kulikovskiy, M. 2022. A New Monoraphid Diatom Species from the Genus *Karayevia* Sensu Lato (*Bacillariophyceae: Stauroneidaceae*) with Remarks on Taxonomy and Phylogeny of the Genus. *Diatom Research*. 37: 39–50.
- Wong, Y. C., Szeto, Y. S., Cheung, W. H., and McKay, G. 2004. Adsorption of Acid Dyes on Chitosan—Equilibrium Isotherm Analyses. *Process Biochemistry*. 39(6). 695–704.
- Yanlinastuti, dan Fatimah, S. 2016. Pengaruh Konsentrasi Pelarut untuk Menentukan Paduan U-Zr dengan Menggunakan Metode Spektorfotometri Uv-Vis. *Pusat Teknologi Bahan Nuklir*. 9(17). 22–33.
- Yanti, D. R., dan Oktavia, B. 2022. Desorpsi Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dari Silika Gel Termodifikasi Dimetilamina (DMA) Menggunakan Eluen Asam. *Journal of Chemistry, Education, and Science*. 6(2). 82–83.

- Yu, Z., Hong, Y., Xie, K., and Fan, Q. 2022. Research Progresses on the Physiological and Pharmacological Benefits of Microalgae-Derived Biomolecules. *Foods*. 11(18).
- Zhang, J., Cai, D., Zhang, G., Cai, C., Zhang, C., Qiu, G., Zheng, K., and Wu, Z. 2013. Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solution onto Multiporous Palygorskite Modified by Ion Beam Bombardment: Effect of Contact Time, Temperature, pH and Ionic Strength. *Applied Clay Science*. 83: 137–143.
- Zuo, G., Li, B., Guo, Z., Wang, L., Yang, F., Hou, W., Zhang, S., Zong, P., Liu, S., Meng, X., Du, Y., Wang, T., and Roy, V. A. L. 2019. Efficient Photocatalytic Hydrogen Peroxide Production Over TiO<sub>2</sub> Passivated by SnO<sub>2</sub>. *Catalysts*. 9(7).