

**MODIFIKASI BIOMASSA ALGA *Sargassum* sp. DENGAN  
*Hexadecyltrimethylammonium Bromide* (HDTMA- Br) DAN UJI  
ADSORPSI TERHADAP BAKTERI *Escherichia Coli***

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Hani Khuzaimala**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2024**

## ABSTRAK

### **MODIFIKASI BIOMASSA ALGA *Sargassum* sp. DENGAN *Hexadecyltrimethylammonium Bromide* (HDTMA- Br) DAN UJI ADSORPSI TERHADAP BAKTERI *Escherichia Coli***

Oleh

**Hani Khuzaimala**

Pada penelitian ini telah dilakukan modifikasi biomassa Alga *Sargassum* sp. dengan pertukaran ion  $\text{Na}^+$  menghasilkan Alga-Na dan dilanjutkan dengan pertukaran dengan surfaktan HDTMA-Br menghasilkan Alga-HDTMA. Adsorben tersebut dikarakterisasi dengan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi, *Scanning Structural Equation Modelling with Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi permukaan dan komposisi unsur pada adsorben, dan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui tingkat kristalinitas dari adsorben.

Hasil karakterisasi dengan FTIR terdapat pita serapan pada bilangan gelombang  $1419,61 \text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya ikatan O-Na pada Alga-Na sedangkan pada Alga HDTMA terdapat pita serapan  $1465,90 \text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya kelompok metil dari HDTMA. Hasil analisis dengan SEM menunjukkan adanya butiran halus yang menempel pada area permukaan yang luas pada adsorben hasil modifikasi yang menandakan keberadaan unsur Na dan Br pada Alga Na dan Alga HDTMA yang didukung oleh data karakterisasi dengan EDX. Karakterisasi dengan XRD mengindikasikan adanya perubahan tingkat kristalinitas dari biomassa Alga *Sargassum* sp. menjadi lebih bersifat amorf setelah terjadi pertukaran ion oleh ion  $\text{Na}^+$  pada Alga-Na dan pertukaran surfaktan HDTMA-Br pada Alga-HDTMA.

Data adsorpsi bakteri *E. coli* optimum pada pH 3, waktu kontak 60 menit, dan konsentrasi 2,9 mg/L. Laju adsorpsi Bakteri *E. coli* terhadap adsorben Alga, Alga-Na, dan Alga-HDTMA cenderung mengikuti model kinetika pseudo orde dua dan isotherm adsorpsinya cenderung mengikuti model isotherm Freundlich. Bakteri *E. coli* mengalami penurunan setelah dilakukan adsorpsi oleh adsorben Alga-HDTMA yaitu sebesar 100 %.

**Kata kunci :** Adsorpsi, Alga *Sargassum* sp., Bakteri *E. coli* , HDTMA-Br

## ABSTRACT

### **Modification of Sargassum sp. Algae Biomass with Hexadecyltrimethylammonium Bromide (HDTMA-Br) and Adsorption Test on *Escherichia Coli* Bacteria**

By

**Hani Khuzaimala**

In this study, Sargassum sp. algae biomass was modified by ion exchange with Na<sup>+</sup> ions to produce Alga-Na, followed by surfactant exchange with HDTMA-Br to produce Alga-HDTMA. The adsorbents were characterized using Fourier Transform Infra Red Spectroscopy (FTIR) to identify functional groups, Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX) to examine surface morphology and elemental composition, and X-Ray Diffraction (XRD) to analyze the crystallinity of the adsorbents.

FTIR characterization revealed an absorption band at 1419.61 cm<sup>-1</sup> in Alga-Na, indicating the presence of the O-Na bond, while Alga-HDTMA exhibited an absorption band at 1465.90 cm<sup>-1</sup>, suggesting the presence of the methyl group from HDTMA. SEM analysis showed fine particles attached to the large surface area of the modified adsorbents, confirming the presence of Na and Br elements in Alga-Na and Alga-HDTMA, as supported by EDX data. XRD characterization indicated a change in crystallinity from crystalline to amorphous in the modified adsorbents due to ion exchange by Na<sup>+</sup> ions in Alga-Na and surfactant exchange by HDTMA-Br in Alga-HDTMA.

The optimum conditions for *E. Coli* adsorption were pH 3, contact time of 60 minutes, and concentration of 2.9 mg/L. The adsorption kinetics of *Escherichia coli* on Alga, Alga-Na, and Alga-HDTMA adsorbents followed the pseudo-second-order kinetic model, and the adsorption isotherms followed the Freundlich isotherm model. The percentage reduction of bacteria after adsorption by Alga-HDTMA adsorbent was 100%.

**Keywords:** Adsorption, Sargassum sp. Algae, *E. Coli* Bacteria, HDTMA-Br

**MODIFIKASI BIOMASSA ALGA *Sargassum sp.* DENGAN  
*Hexadecyltrimethylammonium Bromide* (HDTMA- Br) DAN UJI  
ADSORPSI TERHADAP BAKTERI *Escherichia Coli***

**Oleh**

**HANI KHUZAIMALA**

**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 : **MODIFIKASI BIOMASSA ALGA *Sargassum* sp. DENGAN *Hexadecyltrimethylammonium Bromide* (HDTMA- Br) DAN UJI ADSORPSI TERHADAP BAKTERI *Escherichia Coli***

Nama Mahasiswa : **Hani Khuzaimala**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2017011015

Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

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

**Dr. Nurhasanah, S.Si, M.Si**  
NIP. 197412111998022001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

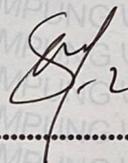
**Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.**  
NIP. 197205302000032001

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua

: **Prof. Dr. Buhani, M.Si.**



Sekretaris

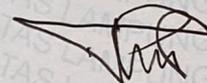
: **Dr. Nurhasanah, S.Si., M.Si.**



Penguji

Bukan Pembimbing

: **Prof. Dr. Sutopo Hadi, S.Si., M.Sc**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

NIP. 197110012005011002

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 14 Agustus 2024**

**LEMBAR PERNYATAAN  
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Hani Khuzaimala  
Nomor Pokok Mahasiswa : 2017011015  
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 *Hexadecyltrimethylammonium Bromide* (HDTMA-Br) dan Uji Adsorpsi Terhadap Bakteri *Escherichia Coli*”** adalah benar karya sendiri, baik gagasan, hasil, maupun analisisnya. Selanjutnya saya tidak berkeberatan apabila sebagian atau seluruh data dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan telah ada.

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

Bandar Lampung, 16 Agustus 2024



Yang Menyatakan,

Hani Khuzaimala

NPM. 2017011015

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Trimodadi, Kabupaten Lampung Utara, Provinsi Lampung pada tanggal 11 Oktober 2002. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara yang merupakan putri dari pasangan Bapak Bas Roni dan Ibu Siti Ani.

Penulis memulai pendidikan di TK Widya Pratama pada Tahun 2007, SD Negeri 1 Trimodadi pada tahun 2008 hingga 2014, SMP Negeri 1 Abung Selatan pada tahun 2014 hingga 2017, dan SMAN 3 Kotabumi pada tahun 2017 hingga 2020. Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Kimia, Universitas Lampung pada tahun 2020 melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten praktikum Kimia Anorganik 1 dan Kimia Anorganik II pada tahun 2023 dan 2024. Penulis juga aktif mengikuti beberapa organisasi, seperti menjadi anggota Bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK) Himpunan Mahasiswa Kimia tahun 2020-2021, asisten Dinas Hubungan Internal dan Eksternal (HIE) BEM FMIPA Unila tahun 2021-2022, sekretaris Dinas Hubungan Eksternal (HUBEKS) BEM FMIPA Unila tahun 2022-2023, dan pengurus Divisi Sumber Daya Manusia (SDM) UKM-U Radio Kampus Unila tahun 2022-2023.

Pada tahun 2023 bulan Januari-Februari penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di desa Sri Menanti, Kecamatan Air Hitam, Kabupaten Lampung Barat. Selain itu, pada bulan Juni-Juli penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Kemudian Pada tahun 2024 penulis menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung yang diberi judul

“Modifikasi Biomassa Alga *Sargassum* sp. Dengan  
*Hexadecyltrimethylammonium Bromide* (HDTMA-Br) dan Uji Adsorpsi  
Terhadap Bakteri *Escherichia Coli*”.

## MOTTO

“Maka, sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”

(Al-Insyirah ayat 5- 6)

“Sesungguhnya ketetapan-Nya, jika Dia menghendaki sesuatu, Dia hanya berkata kepadanya, “Jadilah!” Maka, jadilah (sesuatu) itu.

(Yasin Ayat 82)

“Hatiku tenang karena mengetahui bahwa apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirku, dan apa yang ditakdirkan untukku tidak akan pernah melewatkanmu.”

(Umar bin Khattab)

“It is literally impossible to be a woman. You are so beautiful and so smart, and it kills me that you think you’re not good enough.”

(Gloria)

*last but not least, i wanna thank me, i wanna thank me for believing in me, i wanna thank me for doing all this hard work, i wanna thank me having no days off, i wanna thank me for never quitting*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

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

**Kupersembahkan karya sederhana ku ini sebagai wujud cinta, bakti dan sayang ku kepada :**

Ibuku, Ibuku, Ibuku

Ibu **Siti Ani**, wanita tersabar sejagat raya.

Bapakku

Bapak **Bas Roni**, karena engkau aku belajar arti hidup tanpa penyesalan.

Bapak Sambungku

Bapak **Rusno**, karena engkau aku tidak jadi menyerah.

Semua keberuntungan berasal dari doa-doa kalian bapak ibuku.

Terima kasih Aku sayang.

Kakak-Kakakku Tersayang

**Yusman Prabowo, Wulan Sari, Syarif Hidayat, dan Sriwigati Ningrum**

Terima kasih telah memberikan dukungan yang tak pernah berhenti dalam mencurahkan cinta dan perhatianmu untuk kesuksesanku hingga saat ini.

Keponakanku yang Kusayangi

**Zuya Putri Prabowo**

Semoga Allah permudah langkahmu kedepannya.

Almamaterku

**Universitas Lampung**

Tempatku menimba ilmu dan mendapatkan pengalaman berharga yang menjadi sebagian jejak langkahku menuju kesuksesan.

Kepada orang-orang yang telah mendukungku selama ini

Terima kasih, Aku bersyukur.

## SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT, atas limpahan nikmat-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat dan salam senantiasa dicurahkan kepada Nabi Muhammad saw. suri teladan yang mampu membuka sesuatu yang terkunci, penutup dari semua yang terdahulu, penolong kebenaran dengan jalan yang benar, dan petunjuk kepada jalan-Mu yang lurus.

Skripsi dengan judul “**Modifikasi Biomassa Alga *Sargassum sp.* Dengan *Hexadecyltrimethylammonium Bromide (HDTMA-Br)* dan Uji Adsorpsi Terhadap Bakteri *Escherichia Coli*” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:**

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., ASEAN Eng Selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si. sebagai Ketua Jurusan Kimia Universitas Lampung
4. Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si. selaku pembimbing utama selalu meluangkan waktunya untuk membimbing, menasehati, dan memberikan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, dan tidak pernah berhenti memberikan motivasi yang membuat penulis tetap bisa selalu bersemangat.
5. Ibu Dr. Nurhasanah, S.Si., M.Si. selaku pembimbing pendamping yang selalu memberikan ilmu dan bimbingannya kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

6. Bapak Prof. Dr. Sutopo Hadi, S.Si., M.Sc. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan, kritik dan saran yang membangun kepada penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
7. Ibu Prof. Dr. Noviany, S.Si., M.Si. sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan nasihat, arahan, dan bimbingan bagi penulis dalam mempersiapkan diri menjadi seorang Sarjana Sains.
8. Segenap Dosen di Jurusan Kimia yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan, dan pengalaman bagi penulis
9. Mba Liza Apriliya S.Si. selaku PLP Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik yang telah banyak membantu penelitian penulis selama di laboratorium baik menyediakan alat-alat dan loker.
10. *Support System* Ahmad Ridwan yang telah memberikan dukungan semangat kepada penulis, terimakasih segalanya
11. Teman-teman seperjuangan penelitianku “Adsorption Research’20” Alfara Zikra Fadillah, Erlisa Aulia, dan Nabila Azzahra Salsabila untuk kebersamaan dalam suka dan duka selama penelitian dan kebaikannya membantu penulis selama menyelesaikan penelitian.
12. Sahabat kecilku Aisyah Khoirunnisa, Asma Selviana, dan Rani Aprida Sari. Terima kasih atas kebahagiaan yang telah diberikan, terimakasih sudah selalu menebarkan senyum dan tawa kepada penulis, serta terimakasih karena sudah meluangkan waktunya untuk menemani, memberi semangat, dan dukungan. Semoga kita dapat meraih cita-cita kita masing-masing dan selalu ada dalam suka dan duka selamanya.
13. Sahabat-sahabat Kosku Wine, Dea, Salsa, Icak, Pevi, Rohma, Rana, Rani, Jihan, El, Syafira, Bang Zufar, Angga, dan Yanuar. Terimakasih telah menjadi rumah ketiga ketika penulis mengerjakan skripsi serta dukungan, kepedulian dan hiburan yang selalu diberikan.

14. Sahabat KKN Pekon Sri Menanti Hafifah, Ferguson, dan Ario. Terima kasih atas hubungan baik dan kerjasamanya selama menjalani KKN (Kuliah Kerja Nyata).
15. Seluruh Mahasiswa/I Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam angkatan 2020, Teman - teman seperjuanganku terima kasih atas kebersamaan dan perjuangan kita dalam perkuliahan serta dalam menyelesaikan skripsi masing-masing.
16. Almamaterku tercinta Universitas Lampung, yang telah berperan sebagai tempatku berkembang menjadi versi yang lebih baik.
17. Semua pihak yang telah terlibat dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua.

Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan mengganti kebaikan semua pihak telah memberikan dukungan serta bantuan kepada penulis. Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum mencapai kesempurnaan, oleh karena itu, penulis memohon maaf jika terdapat kesalahan dalam penulisan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis serta semua pembacanya.

Bandar Lampung, 19 Agustus 2024

Hani Khuzaimala

## DAFTAR ISI

|   | <b>Halaman</b> |
|---|----------------|
| <b>DAFTAR ISI</b> .....   | <b>i</b>       |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....   | <b>iii</b>     |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....  | <b>v</b>       |
| <b>I. PENDAHULUAN</b> .....   | <b>1</b>       |
| 1.1. Latar Belakang .....   | 1              |
| 1.2. Tujuan Penelitian.....   | 3              |
| 1.3. Manfaat Penelitian.....  | 4              |
| <b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....   | <b>5</b>       |
| 2.1 Biomassa Alga <i>Sargassum sp.</i> .....  | 5              |
| 2.2 Surfaktan Kationik <i>Hexadecyltrimethylammonium</i> (HDTMA) .....                    | 7              |
| 2.3 Bakteri <i>E. coli</i> .....  | 8              |
| 2.4 Adsorpsi .....  | 10             |
| 2.5.1 Kinetika Adsorpsi .....   | 13             |
| 2.5.2 Isoterm Adsorpsi.....   | 15             |
| 2.5 Karakterisasi.....  | 18             |
| 2.6.1 <i>Spektrofotometer</i> Inframerah (IR).....  | 18             |
| 2.6.2 TB211 IR Turbidimeter Portabel ISO .....  | 21             |
| 2.6.3 <i>Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX)<br>..... | 22             |
| 2.6 Standar <i>McFarland</i> .....  | 23             |
| 2.7 Teknik <i>Pour Plate</i> .....  | 24             |
| <b>III. METODE PENELITIAN</b> .....   | <b>27</b>      |
| 3.1 Waktu dan Tempat .....  | 27             |
| 3.2 Alat dan Bahan .....  | 27             |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| 3.3        | Prosedur Penelitian.....   | 28        |
| 3.3.1      | Penyiapan Biomassa Alga <i>Sargassum sp.</i> .....   | 28        |
| 3.3.2      | Pembuatan Adsorben Alga-Na.....  | 29        |
| 3.3.3      | Pembuatan Adsorben Alga-HDTMA.....   | 29        |
| 3.3.4      | Karakterisasi .....  | 29        |
| 3.3.5      | Penentuan Nilai Zeta Potensial .....   | 30        |
| 3.3.6      | Sterilisasi Alat dan Media .....   | 30        |
| 3.3.7      | Pembuatan Media Bakteri.....   | 30        |
| 3.3.8      | Pembuatan Suspensi Bakteri.....  | 31        |
| 3.3.9      | Uji Adsorpsi.....  | 31        |
| <b>IV.</b> | <b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>  | <b>34</b> |
| 4.1        | Hasil Adsorben Alga <i>Sargassum sp.</i> Termodifikasi HDTMA-Br.....                                       | 34        |
| 4.1.1      | Karakteristik Spektrofotometer Inframerah (IR).....  | 35        |
| 4.1.2      | Karakteristik <i>Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray</i><br>(SEM-EDX).....           | 37        |
| 4.1.3      | Karakteristik Adsorben dengan X-Ray Diffraction (XRD).....   | 39        |
| 4.2        | Nilai Zero Point Charge ( $pH_{pzc}$ ) Adsorben .....  | 40        |
| 4.3        | Adsorpsi Bakteri <i>E. coli</i> Menggunakan Alga <i>Sargassum sp.</i> Termodifikasi .....                  | 41        |
| 4.3.1      | Pengaruh pH .....  | 42        |
| 4.3.2      | Pengaruh Waktu Kontak .....  | 43        |
| 4.3.3      | Pengaruh Konsentrasi .....   | 46        |
| 4.3.4      | Perhitungan TPC Bakteri <i>E. coli</i> pada Kondisi Optimum oleh Adsorben<br>Alga, Alga-Na, dan HDTMA..... | 49        |
| <b>V.</b>  | <b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>  | <b>53</b> |
| 5.1.       | Kesimpulan .....   | 53        |
| 5.2.       | Saran .....  | 54        |
|            | <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>  | <b>55</b> |

## DAFTAR TABEL

| Tabel  | Halaman |
|--|---------|
| 1. Perbedaan adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia.....   | 12      |
| 2. Serapan khas beberapa gugus fungsi.....   | 19      |
| 3. Hasil analisis gugus fungsi pada adsorben.....  | 37      |
| 4. Parameter isoterm adsorpsi bakteri <i>E. coli</i> terhadap adsorben Alga, Alga-Na, dan Alga-HDTMA .....                               | 45      |
| 5. Parameter isoterm adsorpsi bakteri <i>E. coli</i> terhadap adsorben Alga, Alga-Na, dan Alga-HDTMA .....                               | 48      |
| 6. Data PZC pada adsorben Alga, Alga-Na, dan Alga-HDTMA <i>Sargassum</i> sp...   | 64      |
| 7. Adsorpsi bakteri <i>E. coli</i> pada adsorben dengan pengaruh pH .....  | 65      |
| 8. Adsorpsi bakteri Escherichia coli pada adsorben dengan pengaruh waktu kontak .....  | 66      |
| 9. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada adsorben Alga <i>Sargassum</i> sp. terhadap bakteri <i>E. coli</i> .....        | 66      |
| 10. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada adsorben Alga-Na <i>Sargassum</i> sp. terhadap bakteri <i>E. coli</i> .....    | 68      |
| 11. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada adsorben Alga-HDTMA <i>Sargassum</i> sp. terhadap bakteri <i>E. coli</i> ..... | 69      |
| 12. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua pada adsorben Alga <i>Sargassum</i> sp. terhadap bakteri <i>E. coli</i> .....        | 70      |
| 13. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua pada adsorben Alga-Na <i>Sargassum</i> sp. terhadap bakteri <i>E. coli</i> .....     | 71      |
| 14. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua pada adsorben Alga-HDTMA <i>Sargassum</i> sp. terhadap bakteri <i>E. coli</i> .....  | 72      |

|   |    |
|---|----|
| 15. Adsorpsi bakteri <i>Escherichia coli</i> pada adsorben dengan pengaruh Konsentrasi .....  | 73 |
| 16. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi Bakteri <i>E. coli</i> terhadap Alga <i>Sargassum</i> sp. ....         | 73 |
| 17. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi Bakteri <i>E. coli</i> terhadap Alga-Na <i>Sargassum</i> sp. ....      | 74 |
| 18. Data perhitungan dengan persamaan Langmuir pada adsorpsi Bakteri <i>E. coli</i> terhadap Alga-HDTMA <i>Sargassum</i> sp. ....   | 75 |
| 19. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi Bakteri <i>E. coli</i> terhadap Alga <i>Sargassum</i> sp. ....       | 76 |
| 20. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi Bakteri <i>E. coli</i> terhadap Alga-Na <i>Sargassum</i> sp. ....    | 77 |
| 21. Data perhitungan dengan persamaan Freundlich pada adsorpsi Bakteri <i>E. coli</i> terhadap Alga-HDTMA <i>Sargassum</i> sp. .... | 78 |

## DAFTAR GAMBAR

| Gambar   | Halaman |
|--|---------|
| 1. <i>Sargassum sp.</i> (Apriyani, 2022).....  | 6       |
| 2. Struktur Hexadecyltrimethylammonium (HDTMA) (Lia <i>et al.</i> , 2015).....               | 8       |
| 3. Bakteri <i>E. coli</i> .....  | 8       |
| 4. Grafik isoterm adsorpsi langmuir (Oscik, 1982).....                                       | 16      |
| 5. Grafik isoterm adsorpsi freundlich (Rousseau, 1987).....                                  | 17      |
| 6. Spektra IR adsorben (a) Alga <i>Sargassum sp.</i> , (b) Alga-Na, dan (c) Alga-HDTMA ..... | 20      |
| 7. Turbidimeter (Sumber Pribadi).....  | 21      |
| 8. Nephelometer (Sumber Pribadi) .....   | 24      |
| 9. Teknik Pour Plate (Dahal, 2022).....  | 25      |
| 10. <i>Colony Counter</i> (Sumber Pribadi) .....   | 26      |
| 11. Alur Penelitian .....  | 28      |
| 12. Hasil pembuatan (a) Alga <i>Sargassum sp.</i> , (b) Alga-Na, dan (c) Alga-HDTMA .....    | 35      |
| 13. Spektra IR adsorben (a) Alga <i>Sargassum sp.</i> , (b) Alga-Na, dan (c) Alga-HDTMA..... | 35      |
| 14. Mikrograf SEM (a) Alga <i>Sargassum sp.</i> , (b) Alga-Na, dan (c) Alga-HDTMA .....      | 37      |
| 15. Spektrum EDX (a) Alga <i>Sargassum sp.</i> , (b) Alga-Na, dan (c) Alga-HDTMA .....       | 39      |
| 16. Hasil difraktogram pada adsorben Alga, Alga-Na, dan Alga-HDTMA .....                     | 40      |

|   |    |
|---|----|
| 17. Kurva $pH_{pzc}$ pada adsorben Alga, Alga-Na, dan Alga-HDTMA <i>Sargassum</i> sp.<br>.....  | 41 |
| 18. Hasil Uji Adsorpsi Bakteri <i>E. coli</i> pada variasi pH .....   | 42 |
| 19. Hasil Uji Adsorpsi Bakteri <i>E. coli</i> pada variasi waktu kontak.....  | 43 |
| 20. Kinetika pseudo orde satu pada Alga <i>Sargassum</i> sp., Alga-Na, dan Alga-<br>HDTMA terhadap bakteri <i>E. coli</i> .....   | 44 |
| 21. Kinetika pseudo orde dua pada Alga <i>Sargassum</i> sp., Alga-Na, dan Alga-<br>HDTMA terhadap bakteri <i>E. coli</i> .....  | 45 |
| 22. Hasil Uji Adsorpsi Bakteri <i>E. coli</i> pada Pengaruh Konsentrasi.....  | 46 |
| 23. Model isoterm Langmuir adsorben Alga <i>Sargassum</i> sp., Alga-Na, dan Alga<br>HDTMA terhadap bakteri <i>E. coli</i> .....   | 47 |
| 24. Model isoterm Freundlich adsorben Alga <i>Sargassum</i> sp., Alga-Na, dan Alga-<br>HDTMA terhadap bakteri <i>E. coli</i> .....  | 48 |
| 25. Grafik Perhitungan TPC Bakteri <i>E. coli</i> oleh Adsorben Alga, Alga-Na, dan<br>Alga-HDTMA pada Kondisi Optimum .....   | 49 |
| 26. Bakteri <i>E. coli</i> Murni pada pengenceran $10^{-5}$ .....   | 50 |
| 27. (a) Bakteri <i>E. coli</i> sebelum dilakukan adsorpsi pada pengenceran $10^{-5}$ . (b)<br>Bakteri <i>E. coli</i> sesudah dilakukan adsorpsi terhadap Alga pada pengenceran<br>$10^{-5}$ .....                           | 50 |
| 28. (a) Bakteri <i>E. coli</i> sebelum dilakukan adsorpsi terhadap Alga-Na pada<br>pengenceran $10^{-5}$ . (b) Bakteri <i>E. coli</i> sesudah dilakukan adsorpsi terhadap<br>Alga Na pada pengenceran $10^{-5}$ .....       | 51 |
| 29. (a) Bakteri <i>E. coli</i> sebelum dilakukan adsorpsi terhadap Alga-HDTMA pada<br>pengenceran $10^{-5}$ , (b) Bakteri <i>E. coli</i> sesudah dilakukan adsorpsi terhadap<br>Alga-HDTMA pada pengenceran $10^{-5}$ ..... | 51 |
| 30. Adsorpsi bakteri <i>E. coli</i> pada adsorben dengan pengaruh pH terhadap<br>adsorben (a) Alga <i>Sargassum</i> sp., (b) Alga-Na, dan (c) Alga-HDTMA .....  | 65 |
| 31. Adsorpsi bakteri <i>Escherichia coli</i> pada adsorben dengan pengaruh waktu<br>kontak terhadap adsorben (a) Alga <i>Sargassum</i> sp., (b) Alga-Na, dan (c) Alga-<br>HDTMA.....  | 66 |
| 32. Model kinetika pseudo orde satu Alga <i>Sargassum</i> sp. terhadap bakteri <i>E. coli</i><br>.....  | 67 |

|  |    |
|--|----|
| 33. Model kinetika pseudo orde satu Alga-Na <i>Sargassum</i> sp. terhadap bakteri <i>E. coli</i> .....   | 68 |
| 34. Model kinetika pseudo orde satu Alga-HDTMA <i>Sargassum</i> sp. terhadap bakteri <i>E. coli</i> .....  | 69 |
| 35. Model kinetika pseudo orde dua pada adsorben Alga <i>Sargassum</i> sp. terhadap bakteri <i>E. coli</i> .....   | 70 |
| 36. Model kinetika pseudo orde dua pada adsorben Alga-Na <i>Sargassum</i> sp. terhadap bakteri <i>E. coli</i> .....  | 71 |
| 37. Model kinetika pseudo orde dua pada adsorben Alga-HDTMA <i>Sargassum</i> sp. terhadap bakteri <i>E. coli</i> .....   | 72 |
| 38. Adsorpsi bakteri <i>Escherichia coli</i> pada adsorben dengan pengaruh konsentrasi terhadap adsorben (a) Alga <i>Sargassum</i> sp., (b) Alga-Na, dan (c) Alga-HDTMA..... | 73 |
| 39. Model isoterm adsorpsi Langmuir pada Alga <i>Sargassum</i> sp. terhadap bakteri <i>E. coli</i> .....   | 74 |
| 40. Model isoterm adsorpsi Langmuir pada Alga-Na <i>Sargassum</i> sp. terhadap bakteri <i>E. coli</i> .....  | 75 |
| 41. Model isoterm adsorpsi Langmuir pada Alga-HDTMA <i>Sargassum</i> sp. terhadap bakteri <i>E. coli</i> .....   | 76 |
| 42. Model isoterm adsorpsi Freundlich pada Alga <i>Sargassum</i> sp. terhadap bakteri <i>E. coli</i> .....   | 77 |
| 43. Model isoterm adsorpsi Freundlich pada Alga-Na <i>Sargassum</i> sp. terhadap bakteri <i>E. coli</i> .....  | 78 |
| 44. Model isoterm adsorpsi Freundlich pada Alga-HDTMA <i>Sargassum</i> sp. terhadap bakteri <i>E. coli</i> .....   | 79 |

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Limbah medis bisa mencemari lingkungan jika konsentrasinya melebihi standar mutu air limbah. Standar ini mencakup aspek kesehatan lingkungan di berbagai media, seperti air, udara, tanah, pangan, sarana, dan bangunan. Untuk mencegah pencemaran dan dampak negatifnya, pengelolaan limbah medis di fasilitas kesehatan harus hati-hati dan sesuai dengan peraturan (PERMENKES NO. 2, 2023). Limbah medis berisi patogen seperti virus dan bakteri yang dapat menyebabkan infeksi pernapasan dan penyakit. Limbah cair rumah sakit yang masuk ke lingkungan bisa mengandung residu antibiotik dan bakteri patogen seperti *Escherichia*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus aureus*, dan *Salmonella* (Ouédraogo *et al.*, 2008).

*Escherichia coli*, atau *E. coli* memiliki peran kompleks di lingkungan dan kesehatan manusia. Ini biasanya digunakan sebagai penanda kontaminasi tinja di air, namun juga bisa tumbuh di berbagai lingkungan. Di pencernaan manusia, *E. coli* mendukung pertumbuhan mikroorganisme lain dan penyerapan zat besi. Namun, beberapa jenis *E. coli* dapat menyebabkan keracunan makanan dan infeksi. Selain itu, *E. coli* bisa mencemari tanaman, terutama melalui kontaminasi air. Oleh karena itu, manajemen *E. coli* harus dilakukan dengan hati-hati untuk menjaga kesehatan dan lingkungan (Jang *et al.*, 2017).

Penilaian kualitas air terkontaminasi bakteri tergantung pada faktor fisik (suhu dan *Total Suspended Solids* - TSS) dan kimia (pH, *Biological Oxygen Demand* - BOD, *Chemical Oxygen Demand* - COD, amonia bebas - NH<sub>3</sub>-N, dan fosfat - PO<sub>4</sub>-P) (Gebrewahd *et al.*, 2020). Faktor mikrobiologis seperti Kuman Golongan Coli atau Total Coliform juga relevan. Untuk mengatasi limbah cair yang

tercemar, berbagai metode telah digunakan, seperti adsorpsi, koagulasi-flokulasi, filtrasi, penggunaan mikroorganisme, dan proses oksidasi. Perlu diingat bahwa metode-metode ini memiliki kelemahan seperti biaya tinggi, kompleksitas operasional, dan risiko pembentukan produk samping yang berpotensi menimbulkan masalah baru (Gouthami *et al.*, 2022; Buhani *et al.*, 2010; Buhani *et al.*, 2012; Buhani *et al.*, 2015; Suharso *et al.*, 2010; Suharso and Buhani, 2011).

Metode adsorpsi adalah yang paling umum digunakan untuk mengatasi pencemaran lingkungan (Buhani *et al.*, 2017). Ini adalah metode sederhana, ekonomis, dan ramah lingkungan. Adsorben dapat digunakan kembali dan tidak menghasilkan produk samping berbahaya. Keberhasilan adsorpsi tergantung pada jenis adsorben yang digunakan dan sifatnya, yang harus ramah lingkungan, dapat digunakan kembali, memiliki kapasitas adsorpsi besar, serta kecepatan dan stabilitas kimiawi (Buhani *et al.*, 2020).

Adsorben umum dalam adsorpsi termasuk karbon aktif, alumina, zeolit, silika gel, dan biomassa alga. Silika gel sering dimodifikasi dengan senyawa organik untuk meningkatkan efisiensinya (Buhani *et al.*, 2013). Namun, adsorben alga biomassa menjadi alternatif yang murah dan efektif dalam mengatasi pencemaran air (Buhani *et al.*, 2012). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa alga biomassa seperti *Chlorella vulgaris* dan *Scenedesmus obliquus* efektif dalam menghilangkan bakteri seperti *E. coli* dalam limbah cair. Penggunaan alga biomassa memiliki keuntungan biaya rendah, ketersediaan tinggi, dan dampak lingkungan yang baik. Namun, efektivitasnya dapat dipengaruhi oleh jenis alga, konsentrasi bakteri, dan kondisi proses adsorpsi (Bayu *et al.*, 2019).

Penelitian menunjukkan bahwa alga *Sargassum sp.* dapat digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan logam berat dan senyawa organik dalam limbah cair. Alga ini juga mengandung senyawa aktif seperti steroid, alkaloid, fenol, dan *triterpenoid* dengan sifat antibakteri dan antivirus (Pakidi and Suwoyo, 2017). Kemungkinan adanya adsorpsi oleh bakteri dalam limbah cair oleh biomassa alga *Sargassum sp.* perlu penelitian lebih lanjut untuk memahami jenis bakteri yang dapat diadsorpsi.

Modifikasi permukaan biomassa alga dengan surfaktan kationik meningkatkan daya adsorpsi. Surfaktan kationik yang digunakan termasuk *Dodecyl Benzyl Dimethyl Ammonium Chloride*, *Cethyltrimethylammonium Bromide* (CTAB), dan *Hexadecyltrimethylammonium Bromide* (HDTMA-Br) (Jing *et.al.*, 2011).

Adsorben biomassa alga bermuatan negatif dengan gugus aktif penukar kation alkali seperti  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , dan  $\text{Ca}^+$ . Gugus aktif ini berfungsi sebagai penyeimbang muatan yang dapat dipertukarkan dengan kation lain seperti surfaktan kationik (Zhan *et.al.*, 2011).

Pada penelitian ini dilakukan modifikasi alga *Sargassum sp.* dengan surfaktan HDTMA-Br untuk menyerap bakteri *E. coli* pada limbah cair rumah sakit. Adsorben hasil modifikasi HDTMA-Br tersebut di karakterisasi menggunakan spektrofotometer inframerah (IR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk menganalisis morfologi permukaan. Setelah itu dilakukan kajian tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kemampuan adsorpsi biomassa *Sargassum sp.* terhadap bakteri coliform menggunakan standar *Mcfarland*, perhitungan jumlah koloni menggunakan metode Teknik *Spread Plate* serta analisis parameter kualitas air.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, maka penelitian dilakukan dengan tujuan :

1. Menghasilkan adsorben dari biomassa alga *Sargassum sp.* yang dimodifikasi menggunakan ion  $\text{Na}^+$  dan surfaktan HDTMA-Br.
2. Mengetahui kemampuan adsorpsi dari adsorben biomassa alga *Sargassum sp.*, Alga Na, dan Alga HDTMA terhadap bakteri *E. coli*.
3. Menentukan model kinetika dan isoterm adsorpsi bakteri *E. coli* oleh adsorben biomassa alga *Sargassum sp.*, Alga Na, dan Alga HDTMA.

### **1.3. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai proses dan hasil modifikasi dari biomassa *Sargassum* sp. dengan surfaktan HDTMA-Br terhadap adsorbat bakteri *E. coli* dan potensinya sebagai adsorben untuk menyerap dan mereduksi bakteri di lingkungan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Biomassa Alga *Sargassum sp.*

Alga adalah jenis organisme yang memiliki klorofil dan memiliki beragam bentuk, termasuk bentuk uniselular dan multiselular, serta dapat ditemui di perairan, baik itu air tawar maupun air laut. Alga dapat memiliki berbagai bentuk seperti benang, lembaran mikroskopis, dan sel tunggal. Proses reproduksi alga melibatkan konjugasi gamet (sel seks) yang menghasilkan zigot. Alat reproduksi alga biasanya terdiri dari banyak sel tunggal. Alga mikroskopis dapat diklasifikasikan menjadi empat kelas utama berdasarkan pigmen atau zat warnanya, yaitu *Phaeophyceae* (alga coklat), *Cyanophyceae* (alga biru), *Phodophyceae* (alga merah), dan *Cholophyceae* (alga hijau) (Apriyani, 2022).

*Sargassum sp.* adalah tanaman laut berwarna coklat yang memiliki banyak cabang. Tiap cabang dilengkapi dengan gelembung udara (*bladder*) yang mendukung cabang-cabang *thallus* mengapung di permukaan air dan meningkatkan paparan cahaya matahari. *Thallus Sargassum sp.* berbentuk silindris atau gepeng dengan panjang sekitar 3 cm dan dapat tumbuh dalam ukuran yang relatif besar, menyerupai pedang yang rimbun. Daun-daunnya melebar, dan tanaman ini biasanya tumbuh di atas benda keras seperti batu karang yang sudah mati. *Sargassum sp.* sering ditemukan mengapung di perairan karena terbawa oleh arus (Pakidi, 2017). Klasifikasi *Sargassum sp.* menurut Pratiwi 2008 yaitu :

*Divisio* : *Thallophyta*

*Kelas* : *Phaeophyceae*

*Ordo* : *Fucales*

*Familia* : *Sargassaceae*

*Genus* : *Sargassum*

*Spesies* : *Sargassum sp.*



**Gambar 1.** *Sargassum sp.* (Apriyani, 2022)

Keuntungan pemanfaatan alga secara umum sebagai biosorben dan bioindikator adalah :

1. Alga memiliki kemampuan yang cukup tinggi dalam mengadsorpsi zat warna dan logam berat karena terdapat gugus fungsi yang dapat melakukan pengikatan dengan zat warna dan ion logam. Gugus fungsi yang ada terutama yaitu gugus hidroksil, karboksil, amina, sulfat, sulfhidril imidazol, dan sulfonat yang terdapat pada dinding sel di sitoplasma.
2. Banyak jenis dan sebagian besar dari jenis alga tersebut digunakan sebagai adsorben.
3. Bahan bakunya mudah didapat serta tersedia dalam jumlah yang banyak.
4. Tidak perlu nutrisi tambahan serta biaya operasional yang rendah.

Selain memiliki keuntungan, biomassa alga juga memiliki kelemahan seperti mudah rusak karena degradasi atau dekomposisi oleh mikroorganisme lain juga sulit secara teknik digunakan dalam kolom dalam aplikasi sebagai adsorben, ukurannya sangat kecil, dan berat jenis yang rendah. (Buhani *et al.*, 2006).

Kelemahan yang ada dapat diatasi dengan upaya mengimmobilisasi biomassa alga. Immobilisasi biomassa alga dilakukan dengan menggunakan :

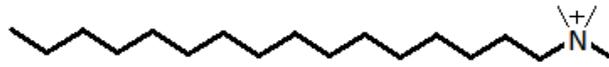
1. Oksida seperti alumina dan silikat
2. Campuran oksida seperti kristal, aluminasilikat, asam polihetero, dan karbon.
3. Matriks polimer seperti akrilat, polietilena, dan glikol.

Penelitian tentang penggunaan biomassa alga *Sargassum*, terutama yang dimodifikasi dengan asam, untuk menghilangkan logam berat dari air limbah menunjukkan hasil yang positif. Biomassa yang dimodifikasi dengan asam memiliki kemampuan adsorpsi lebih baik karena struktur seluler yang kompleks dan jumlah situs pengikatan yang lebih tinggi. *Sargassum sp.* adalah salah satu adsorben alami terbaik untuk menghilangkan logam berat dari air limbah, seperti ion seng ( $Zn^{2+}$ ). Penggunaan biomassa alga ini untuk remediasi air terkontaminasi logam berat dianggap sebagai solusi yang berpotensi untuk mengurangi dampak lingkungan. Studi juga menunjukkan bahwa biomassa alga *Sargassum* dapat digunakan untuk menghilangkan kromium (Cr(III)) dari air limbah. Protonasi dengan asam sulfat meningkatkan kapasitas adsorpsi. Pemanfaatan biomassa alga dan rumput laut untuk bioremediasi air limbah yang terkontaminasi logam berat adalah area penelitian menjanjikan dengan potensi dampak positif pada lingkungan.

## 2.2 Surfaktan Kationik *Hexadecyltrimethylammonium* (HDTMA)

Surfaktan adalah senyawa organik larut dalam air yang memiliki bagian hidrofilik dan hidrofobik, digunakan di berbagai industri. Jenis-jenis surfaktan mencakup kationik, anionik, nonionik, dan amfoterik. Surfaktan mengurangi tegangan permukaan dan memiliki struktur bipolar. Surfaktan kationik seperti *Hexadecyltrimethylammonium* (HDTMA) memiliki gugus kepala bermuatan positif dan terikat pada ekor hidrokarbon (Bowman, 2003). HDTMA sering digunakan untuk memodifikasi adsorben dan meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap senyawa fosfat ( $PO_4^{3-}$ ) (Agnestisia *et al.*, 2012). HDTMA juga mampu membentuk misel dalam larutan dengan rantai karbon panjang 16 dan muatan +1

pada gugus kepala, serta memiliki sifat hidrofobik dan hidrofilik pada ujungnya (Sullivan *et al.*, 2003). Gambar struktur HDTMA dapat ditemukan pada Gambar 4.



**Gambar 2.** Struktur Hexadecyltrimethylammonium (HDTMA) (Lia *et al.*, 2015).

Surfaktan kationik HDTMA<sup>+</sup> memiliki gugus kepala trimetilammonium bermuatan positif dan dapat membentuk misel dalam larutan. Pada suhu 30°C, HDTMA<sup>+</sup> membentuk misel dengan bilangan agregasi 75-120 dan diameter misel sekitar 5 nm. Konsentrasi CMC HDTMA<sup>+</sup> adalah  $9 \times 10^{-4}$  dengan berat molekul 364,45 gram/mol. HDTMA<sup>+</sup> digunakan sebagai agen antiseptik dalam produk seperti kosmetik dan shampoo (Ladam *et al.*, 2005).

### 2.3 Bakteri *E. coli*

Kelompok bakteri *Coliform* sering digunakan sebagai indikator kualitas sanitasi pada makanan, susu, dan air (PERMENKES RI, 2023). Adanya kontaminasi feses atau pencemaran air dapat ditunjukkan oleh bakteri *Coliform*, meskipun bakteri ini tidak biasanya menyebabkan penyakit serius. Beberapa jenis bakteri seperti *E. coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, dan *Klebsiella* termasuk dalam kelompok bakteri *Coliform* (Safitri, 2023).

Pengukuran kualitas air bersih dapat dilakukan dengan melihat keberadaan organisme golongan coli (*coliform*) sebagai indikator bakteriologi (Riyanti *et al.*, 2021). Bakteri *Coliform*, termasuk *E. coli*, digunakan untuk mengindikasikan tingkat pencemaran air minum (Suriaman, 2008). Standar air bersih untuk air perpipaan adalah 10/100 mL air (PERMENKES RI, 2023). Parameter fisik dan kimia seperti suhu, *Total Suspended Solid* (TSS), pH, *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), kandungan NH<sub>3</sub>-N bebas, dan *Phosphat* (PO<sub>4</sub>-P) juga dapat menjadi indikator kualitas air tercemar (Nisfitasari and Yuliawati, 2021). Pengukuran kualitas air bersih harus mencakup parameter

fisik, kimia, dan mikrobiologis untuk menilai tingkat pencemaran dan dampaknya pada lingkungan dan kesehatan (Rompas *et al.*, 2017).

Bakteri *Coliform* dapat dibedakan menjadi 2 kelompok, yaitu:

1. Total *Coliform*: Kelompok bakteri ini mencakup semua bakteri yang termasuk dalam kelompok *Coliform*, termasuk *E. coli*, yang merupakan indikator adanya cemaran tinja dalam air (Abidin *et al.*, 2023).
2. Fecal *Coliform*: Kelompok bakteri ini mencakup bakteri *Coliform* yang berasal dari tinja manusia atau hewan berdarah panas. Fecal *Coliform*, termasuk *E. coli*, merupakan indikator yang lebih spesifik untuk adanya cemaran tinja dalam air (Abidin *et al.*, 2023).

Bakteri *E. coli* adalah bakteri flora normal yang sering dijumpai pada usus manusia, dan dapat menjadi patogen jika jumlahnya lebih dari normal yang ada dalam tubuh manusia, dan dapat menyebabkan infeksi primer seperti diare.

Bakteri *E. coli* juga digunakan sebagai indikator adanya kontaminasi feses dan kondisi sanitasi yang tidak baik terhadap air, makanan, dan minuman (Hutasoit, 2020).



**Gambar 3.** Bakteri *E. coli*

Bakteri *E. coli* dapat menyebar melalui makanan dan minuman yang terkontaminasi, serta menciptakan kondisi sanitasi yang buruk pada air, makanan, dan minuman (Susanna *et al.*, 2010). Penggunaan adsorben, seperti batu apung, karbon aktif, dan zeolit, telah diuji untuk menyerap bakteri *E. coli* dari lingkungan dengan hasil yang efektif (Elsas *et al.*, 2011). Ini menjadi salah satu cara yang efektif untuk mengurangi jumlah bakteri *E. coli* di lingkungan.

## 2.4 Adsorpsi

Pengelolaan limbah cair dapat dilakukan menggunakan beberapa metode yaitu adsorpsi, filtrasi membrane, proses oksidasi, koagulasi, flokulasi, pemanfaatan mikroorganisme secara biologi, thermal, stabilisasi, dan solidifikasi. Metode adsorpsi dalam pengolahan limbah cair adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengurangi kandungan zat pencemar dalam air limbah. Metode ini dilakukan dengan cara menempatkan adsorben pada air limbah sehingga zat pencemar dalam air limbah menempel pada permukaan adsorben. Berikut adalah beberapa hal yang perlu diketahui tentang metode adsorpsi dalam pengolahan limbah cair:

1. Metode adsorpsi dilakukan dengan menempatkan adsorben pada air limbah sehingga zat pencemar dalam air limbah menempel pada permukaan adsorben.
2. Adsorben yang digunakan dapat berupa bahan-bahan alami seperti ijuk, arang aktif, zeolit, atau mineral magnetit, atau bahan-bahan sintesis seperti karbon aktif.
3. Metode adsorpsi dapat digunakan untuk mengurangi kandungan berbagai zat pencemar dalam air limbah, seperti logam berat, senyawa organik, dan zat warna.
4. Metode adsorpsi dapat digunakan bersamaan dengan metode pengolahan limbah cair lainnya, seperti koagulasi, filtrasi, atau oksidasi.
5. Metode adsorpsi dapat dilakukan dengan menggunakan kolom adsorpsi atau tangki adsorpsi, tergantung pada volume air limbah yang akan diolah.
6. Metode adsorpsi merupakan metode yang efektif dalam mengurangi kandungan zat pencemar dalam air limbah, namun memerlukan biaya yang cukup tinggi untuk pengadaan dan penggantian adsorben yang digunakan.

Adsorpsi merupakan proses pemisahan secara selektif suatu komponen atau zat pengotor (*impurity*) yang terkandung di dalam fluida dengan cara mengontakkan fluida tersebut dengan adsorben padatan. Kemampuan suatu zat untuk melepaskan diri dari permukaan disebut desorpsi sedangkan proses suatu komponen dari fasa menuju permukaan lain sehingga terjadi perubahan konsentrasi pada permukaan

sering disebut kemampuan menempel atau menyerap suatu zat pada permukaan (Atkins, 1999).

Molekul-molekul pada permukaan zat cair atau zat padat memiliki gaya tarik ke arah dalam karena tidak ada gaya-gaya yang mengimbangi. Karena adanya gaya ini menyebabkan zat cair dan zat padat memiliki gaya adsorpsi. Adsorpsi dan absorpsi berbeda, dimana adsorpsi zat yang diserap hanya pada permukaan sedangkan absorpsi zat yang diserap masuk ke dalam adsorben (Sukardjo, 1990). Gaya tarik menarik suatu padatan dibedakan menjadi dua jenis gaya yaitu gaya fisika dan gaya kimia yang menghasilkan adsorpsi fisika (*Physisorption*) dan adsorpsi kimia (*chemisorption*) (Oscik, 1982).

Adsorpsi suatu zat dari larutan berbeda dengan adsorpsi zat secara individu, karena larutan mengandung minimal dua komponen yang dapat membentuk lapisan teratur pada permukaan adsorben. Adsorpsi fisika terjadi karena adanya gaya Van der Waals yaitu ketika gaya tarik molekul antara larutan dan permukaan media lebih besar dari gaya tarik substansi terlarut dan larutan, sehingga substansi terlarut teradsorpsi oleh permukaan media. Adsorpsi fisika memiliki gaya tarik Van der Waals dengan kekuatan relatif kecil. Molekul yang terikat sangat lemah dan energi yang dilepaskan relatif rendah sekitar  $20 \text{ KJ mol}^{-1}$ . Semakin luas permukaan maka semakin banyak substansi terlarut yang melekat pada permukaan media adsorpsi (Atkins, 1999). Selain itu peristiwa adsorpsi disertai dengan pengeluaran panas, umumnya panas adsorpsi fisika yang rendah sekitar  $5\text{-}10 \text{ kkl g}^{-1} \text{ mol}$  dan terjadi pada temperatur rendah yaitu di bawah titik didih adsorbat yang dapat menyebabkan kesetimbangan dari proses adsorpsi fisika bersifat *reversible* dan berlangsung sangat cepat (Sukardjo, 1985).

Adsorpsi kimia terjadi ketika terbentuknya suatu ikatan kimia antara substansi terlarut dalam larutan dengan molekul dalam media. Adsorpsi ini terjadi karena adanya adsorpsi fisika dimana partikel-partikel adsorbatnya mendekat ke permukaan adsorben melalui gaya Van der Waals atau melalui ikatan hidrogen. Adsorpsi jenis ini menyebabkan terbentuknya ikatan secara kimia yang diikuti dengan reaksi kimia, sehingga akan menghasilkan produksi reaksi berupa senyawa yang baru (Atkins, 1999). Adsorpsi kimia terjadi pembentukan dan

pemutusan ikatan, sehingga energi adsorpsinya berada pada kisaran sama dengan reaksi kimia. Perbedaan antara adsorpsi fisika dan kimia dapat ditunjukkan oleh Tabel 1.

**Tabel 1.** Perbedaan adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia

| No | Adsorpsi Fisika  | Adsorpsi Kimia  |
|----|--|---|
| 1  | Molekul terikat pada adsorben oleh gaya Van der Waals  | Molekul terikat pada adsorben oleh ikatan kimia   |
| 2  | Dapat membentuk lapisan multilayer   | Dapat membentuk lapisan monolayer   |
| 3  | Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan fungsi adsorbat                                       | Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan karakteristik adsorben dan adsorbat                                |
| 4  | Mempunyai entalpi reaksi -4 sampai -40 KJ/mol  | Mempunyai entalpi reaksi -40 sampai 800 KJ/mol  |
| 5  | Adsorpsi hanya terjadi pada suhu di bawah titik didih adsorbat                                 | Adsorpsi dapat terjadi pada suhu tinggi   |
| 6  | Bersifat tidak spesifik  | Bersifat sangat spesifik  |
| 7  | Jumlah zat teradsorpsi sebanding dengan kenaikan tekanan                                       | Jumlah zat teradsorpsi sebanding dengan banyaknya inti aktif adsorben yang dapat bereaksi dengan adsorbat   |
| 8  | Tidak ada transfer elektron meskipun terjadi polarisasi pada adsorbat ( <i>driving force</i> ) | Ada transfer elektron, terbentuk pada ikatan antara adsorbat dan permukaan padatan ( <i>driving force</i> ) |
| 9  | Energi aktivasi kurang dari 1 kkal $\text{g}^{-1}\text{mol}$                                   | Energi aktivasi antara 10-60 kkal $\text{g}^{-1}\text{mol}$   |

|    |  |  |
|----|--|--|
| 10 | Kalor adsorpsi antara 5-10 kkal g <sup>-1</sup> mol gas              | Kalor adsorpsi antara 10-100 kkal g <sup>-1</sup> mol                |
| 11 | Kemampuan adsorpsi lebih bergantung pada adsorbat dari pada adsorben | Kemampuan adsorpsi lebih bergantung pada adsorben dari pada adsorbat |

(Seader and Henley, 1998).

### 2.5.1 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adalah deskripsi laju reaksi. Kinetika kimia adalah tentang kecepatan (laju) reaksi dan bagaimana proses reaksi berlangsung. Kinetika adsorpsi tergantung pada luas permukaan partikel. Kinetika adsorpsi juga dapat digunakan untuk menentukan kecepatan adsorpsi yang berlangsung dan menentukan kapasitas keseimbangan yang dapat dimanfaatkan dalam situasi yang dinamis dan praktis. Tingkat adsorpsi keseluruhan dipengaruhi oleh adanya perubahan sifat, komponen pelarut, dan ukuran partikel serta suhu. Laju reaksi bergantung pada pengaruh katalis, temperatur, tekanan, dan konsentrasi reaktan (Oxtoby, 1990).

Kinetika reaksi adsorpsi juga tergantung pada konsentrasi dan 17 gugus fungsional. Tingkat substitusi gugus fungsional yang tinggi pada polimer inert dapat meningkatkan laju reaksi keseluruhan (Allen *et al.*, 2004). Analisis kinetika didasarkan pada kinetika reaksi terutama pseudo orde pertama atau mekanisme pseudo pertama bertingkat. Untuk dapat meneliti mekanisme adsorpsi, konstanta kecepatan reaksi adsorpsi kimia untuk ion-ion logam digunakan persamaan sistem pseudo order pertama oleh *lagergren* dan mekanisme pseudo orde kedua (Buhani *et al.*, 2010). Persamaan ini digunakan untuk menguji data percobaan dari suhu, konsentrasi, dan berat ion-ion logam dalam larutan. Model kinetika (pseudo urutan pertama dan persamaan orde dua) dapat digunakan dengan asumsi bahwa konsentrasi diukur sama dengan konsentrasi permukaan adsorben (Liu *et al.*, 2010).

Konstanta laju kinetika pseudo orde satu dapat ditunjukkan pada persamaan 1

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

Dimana  $q_e$  adalah jumlah ion logam divalen yang teradsorpsi (mg/g) pada waktu keseimbangan,  $q_t$  adalah jumlah ion logam divalen yang teradsorpsi pada waktu tertentu (mg/g),  $t$  adalah waktu (menit), dan  $k_1$  adalah konstanta kecepatan adsorpsi ( $\text{g mmol}^{-1} \text{ menit}^{-1}$ ). Persamaan dapat diintegrasikan dengan memakai kondisi-kondisi batas  $q_t = 0$  pada  $t=0$ , dan  $q_t = q_t$  pada  $t=t$ , maka persamaannya ditunjukkan pada persamaan 2 :

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

Regresi linear dan menggunakan  $\ln(q_e - q_t)$  terhadap  $t$  diperoleh konstanta  $k_1$  sehingga dari persamaan tersebut konstanta kecepatan reaksi pseudo orde kedua proses kemisorpsi ditunjukkan pada persamaan 3 :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)^2 \quad (3)$$

Integrasi persamaan (3) dengan kondisi batas  $t=0$  sampai  $t=t$  dan  $q_t=0$  sampai  $q_t=q_t$ , ditunjukkan pada persamaan 4 :

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

Dimana  $k_2$  adalah konstanta kecepatan adsorpsi laju pseudo orde kedua ( $\text{gmmol}^{-1} \text{ menit}^{-1}$ ). Setelah integrasi dan penggunaan kondisi-kondisi batas  $q_t=0$  pada  $t=0$  dan  $q_t=q_t$  pada  $t=t$ . Model kinetika pseudo order kedua dapat disusun untuk mendapatkan bentuk linear yang ditunjukkan pada persamaan 5:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (5)$$

Cara untuk menghitung laju penyerapan awal  $h$  (mg/g) dengan kondisi  $t=0$  dapat ditunjukkan pada persamaan 6 :

$$h = k_2 q_e^2 \quad (6)$$

Dimana  $h$  adalah laju adsorpsi awal,  $q_e$  adalah adsorpsi kesetimbangan, dan  $k_2$  adalah konstanta laju pseudo orde dua. Secara eksperimen dari slop dan intersep plot dari  $t/q_t$  versus  $t$  (Buhani *et al.*, 2010).

## 2.5.2 Isoterm Adsorpsi

### 2.5.2.1 Adsorpsi Monokomponen

Kesetimbangan adsorpsi menyatakan hubungan antara konsentrasi solut fasa padatan ( $q_e$ ), konsentrasi solut pada fasa cair ( $C_e$ ). Hubungan yang menyatakan keseimbangan antara konsentrasi dalam fasa cair dan konsentrasi dalam partikel adsorben pada suhu tertentu disebut dengan isoterm adsorpsi. Jenis isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi. Adsorpsi fasa padat-cair umumnya mengikuti model isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich (Buhani *et al.*, 2013).

### 2.5.2.2 Isoterm Adsorpsi Langmuir

Teori Langmuir menjelaskan bahwa permukaan adsorben memiliki sejumlah situs aktif yang berhubungan dengan luas permukaan. Adsorpsi terjadi karena interaksi kimiawi antara adsorbat dan situs aktif adsorben. Model adsorpsi Langmuir mengasumsikan serapan monolayer pada permukaan dengan situs identik yang terbatas, yang menyebabkan jumlah situs yang tersedia berkurang saat permukaan terisi.

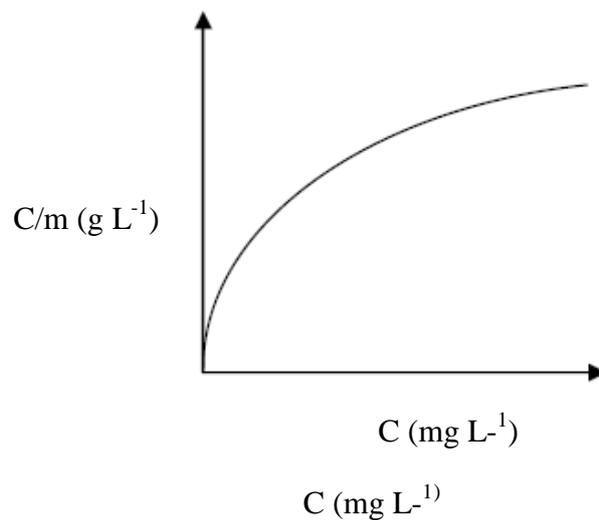
Model adsorpsi isoterm Langmuir dapat ditunjukkan pada persamaan 7 :

$$\frac{c}{m} = \frac{1}{n_m k} + \frac{1}{n_m C} \quad (7)$$

Dimana  $C$  adalah konsentrasi kesetimbangan (m/L),  $m$  adalah jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben (mg/g),  $b$  adalah kapasitas adsorpsi,  $nm$  adalah jumlah zat yang teradsorpsi pada keadaan jenuh (mg/g), dan  $K$  adalah konstanta kesetimbangan adsorpsi (L/mg). Kurva linier hubungan  $C/m$  versus  $C$ , maka dapat ditentukan nilai  $nm$  dari kemiringan (*slope*) dan  $K$  dari intersep kurva. Energi adsorpsi ( $E_{ads}$ ) yang didefinisikan sebagai energi yang dihasilkan apabila satu mol ion logam teradsorpsi dalam adsorben dan nilainya ekuivalen dengan nilai negatif dari perubahan energi bebas Gibbs  $\Delta G^\circ$  standar, seperti pada persamaan 8 :

$$E = \Delta G_{ads} = \Delta G^\circ = -RT \ln K \quad (8)$$

Dimana  $R$  adalah tetapan gas umum ( $8,314 \text{ J/mol K}$ ),  $T$  temperatur ( $\text{K}$ ), dan  $K$  adalah tetapan kesetimbangan adsorpsi yang diperoleh dari persamaan Langmuir dan energi total adsorpsi adalah sama dengan negatif energi bebas Gibbs.  $\Delta G$  sistem negatif menunjukkan adsorpsi yang berlangsung spontan (Oscik, 1982). Kurva isoterm adsorpsi Langmuir ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 4.** Grafik isoterm adsorpsi langmuir (Oscik, 1982).

### 2.5.2.3 Isoterm Adsorpsi Freundlich

Isoterm adsorpsi Freundlich menjelaskan bahwa proses adsorpsi pada bagian permukaan adalah heterogen dimana tidak semua permukaan adsorben memiliki daya adsorpsi. Model isoterm Freundlich menunjukkan bahwa lapisan adsorbat yang terbentuk pada permukaan adsorben adalah *multilayer*. Hal ini berkaitan dengan ciri-ciri dari adsorpsi secara fisika dimana adsorpsi dapat terjadi pada banyak lapisan (*multilayer*) (Husin and Rosnelly, 2005). Asumsi yang digunakan diantaranya yaitu :

1. Hanya berlangsung mekanisme adsorpsi secara fisik tanpa adanya adsorpsi kimia.
2. Permukaan padat bersifat heterogen.

3. Tidak ada disosiasi dan asosiasi molekul – molekul adsorbat setelah teradsorpsi pada permukaan padatan.

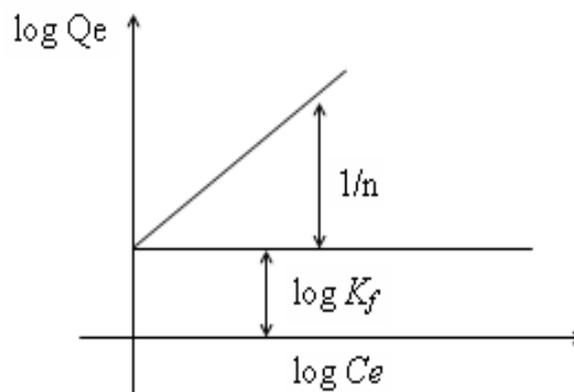
Persamaan Freundlich menurut (Buhani *et al.*, 2012) pada persamaan 9 :

$$Q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad (9)$$

Dimana  $Q_e$  adalah banyaknya zat yang terserap per satuan berat adsorben ( $\text{mol g}^{-1}$ ),  $C_e$  adalah konsentrasi adsorbat pada saat kesetimbangan ( $\text{mol L}^{-1}$ ),  $N$  adalah kapasitas adsorpsi maksimum ( $\text{mol g}^{-1}$ ), dan  $K_f$  adalah konstanta Freundlich ( $\text{L mol}^{-1}$ ). Persamaan (9) dapat diubah ke dalam bentuk linier dengan mengambil bentuk logaritma yang ditunjukkan pada persamaan 10 :

$$\log Q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (10)$$

Dalam bentuk linier dapat digunakan untuk menentukan kelinearan data percobaan dengan cara mengplotkan  $C/Q$  terhadap  $C_e$ . Konstanta Freundlich  $K_f$  diperoleh dari kemiringan garis lurusnya dan  $1/n$  adalah harga slop. Bila  $n$  diketahui maka  $K_f$  dapat dicari, semakin besar harga  $K_f$  maka harga  $K_f$  dapat diketahui dan energi adsorpsi dapat dihitung. Grafik isoterm adsorpsi Freundlich dapat ditunjukkan pada Gambar 7.



**Gambar 5.** Grafik isoterm adsorpsi freundlich (Rousseau, 1987)

Dalam menentukan jumlah larutan multikomponen yang teradsorpsi rasio distribusi dan koefisien selektivitas pada proses adsorpsi larutan multikomponen

terhadap adsorben alga, alga-Na, dan alga-HDTMA dapat digunakan persamaan pada persamaan 11 dan 12:

$$Q = \frac{(c_0 - c_e)}{w} V \quad (11)$$

$$\%A = \frac{c_0 - c_e}{c_0} \times 100 \quad (12)$$

Dimana  $Q$  adalah jumlah adsorbat teradsorpsi ( $\text{mg g}^{-1}$ ),  $C_0$  dan  $C_e$  adalah konstanta awal dan kesetimbangan dari adsorbat ( $\text{mmol L}^{-1}$ ),  $W$  adalah massa adsorben (g), dan  $V$  adalah volume adsorbat (L) (Buhani *et al.*, 2009).

## 2.5 Karakterisasi

### 2.6.1 Spektrofotometer Inframerah (IR)

Suatu sampel dapat dilakukan analisis menggunakan *spektrofotometer* inframerah untuk penentuan gugus fungsi. Dengan menggunakan *spektrofotometer* inframerah dapat diketahui gugus-gugus fungsi dari material alga, alga-Na dan alga-HDTMA *Sargassum sp.* *Spektrofotometer* IR adalah suatu metode analisis yang didasarkan pada penyerapan sinar inframerah atau memanfaatkan sinar IR dekat, yakni sinar yang berada pada jangkauan panjang gelombang  $2,5\text{-}25 \mu\text{m}$  atau jangkauan frekuensi  $400\text{-}4000 \text{ cm}^{-1}$ . Sinar ini muncul karena akibat vibrasi atom-atom pada posisi kesetimbangan dalam molekul dan kombinasi vibrasi dengan rotasi yang menghasilkan spektrum vibrasi-rotasi (Khopkar, 2001).

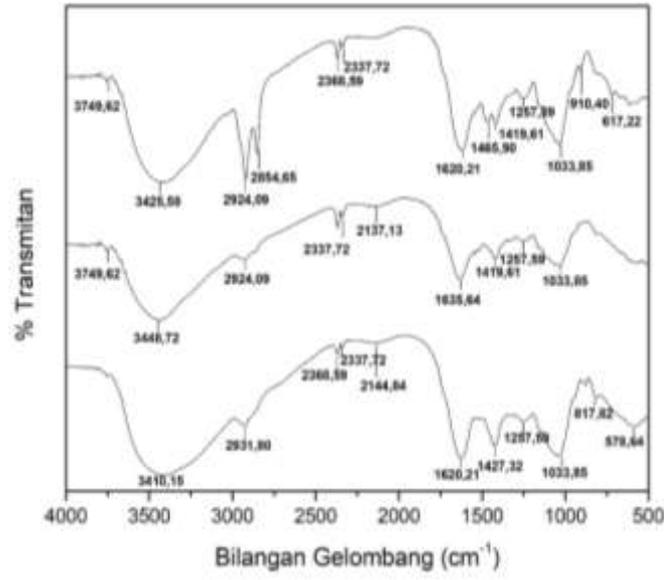
Bila molekul menyerap radiasi inframerah, energi yang diserap akan menyebabkan kenaikan dalam amplitude getaran atom-atom yang terikat yang berada pada keadaan vibrasi tereksitasi (*excited vibrational state*) pada molekul-molekul tersebut, maka energi yang diserap ini akan dibuang dalam bentuk panas bila molekul itu kembali ke keadaan dasar. Panjang gelombang eksak dari adsorpsi oleh suatu tipe ikatan bergantung pada macam getaran (vibrasi) dari ikatan tersebut. Serapan khas beberapa gugus fungsi dapat ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Serapan khas beberapa gugus fungsi

| Gugus            | Jenis Senyawa                            | Daerah Serapan (cm <sup>-1</sup> ) |
|------------------|--|------------------------------------|
| C-H              | Alkana                                   | 2850-2960, 1350-1470               |
| C-H              | Alkena                                   | 3020-3080, 675-870                 |
| C-H              | Aromatik                                 | 3000-3100, 675-870                 |
| C-H              | Alkuna                                   | 3300                               |
| C=C              | Alkena                                   | 1640-1680                          |
| C=C              | Aromatik (cincin)                        | 1500-1600                          |
| C-O              | Alkohol, eter, asam karboksilat, ester   | 1080-1300                          |
| C=O              | Aldehida, keton, asam karboksilat, ester | 1690-1760                          |
| O-H              | Alkohol, fenol (monomer)                 | 3610-3640                          |
| O-H              | Alkohol, fenol (ikatan H)                | 2000-3600 (lebar)                  |
| O-H              | Asam karboksilat                         | 3000-3600 (lebar)                  |
| N-H              | Amina                                    | 3310-3500                          |
| C-N              | Amina                                    | 1180-1360                          |
| -NO <sub>2</sub> | Nitro                                    | 1515-1560, 1345-1385               |
| C-H              | Alkana                                   | 2850-2960, 1350-1470               |
| Si-O-Si          | Silika                                   | 1087, 85                           |
| Fe-O-Fe          | Magnetit                                 | 586, 36                            |

(Sastrohadmidjojo, 2001).

Adsorben biomassa Alga *Sargassum* sp., Alga-Na, dan Alga-HDTMA dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer IR untuk mengetahui adanya gugus – gugus fungsi yang terdapat pada adsorben biomassa tersebut. Hasil karakterisasi menggunakan IR dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Spektra IR adsorben (a) Alga *Sargassum sp.*, (b) Alga-Na, dan (c) Alga-HDTMA

Berdasarkan Gambar 6 (a) dapat diamati bahwa spektra IR dari adsorben biomassa Alga *Sargassum sp.* menunjukkan adanya pita serapan pada Panjang bilangan gelombang  $1620,21 \text{ cm}^{-1}$  yang merupakan serapan khas  $\text{C}=\text{O}$  dari suatu asam karboksilat. Pita serapan pada bilangan gelombang  $3410,15 \text{ cm}^{-1}$  terdapat gugus  $\text{N}-\text{H}$  primer. Serapan pada bilangan gelombang  $2931,80 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus  $\text{C}-\text{H}$  dari suatu rantai karbon (alifatik)  $\text{CH}_2$  (Buhani *et al.*, 2010 and D. Permatasari *et al.*, 2020).

Berdasarkan Gambar 6 (b) dapat diamati bahwa spektra IR dari Alga-Na *Sargassum sp.* memberikan informasi puncak – puncak serapan pada panjang bilangan gelombang  $1635,64$  dan  $3448,72 \text{ cm}^{-1}$  merupakan serapan khas dari gugus  $\text{C}=\text{O}$  dan  $\text{N}-\text{H}$ . Pita serapan pada panjang gelombang  $2924,09 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus  $\text{C}-\text{H}$  (alifatik). Serapan yang menunjukkan bahwa Alga-Na sudah terbentuk yaitu pada panjang gelombang  $1419,61 \text{ cm}^{-1}$  adanya gugus  $\text{O}-\text{Na}$  (ikatan kation Na dengan O pada gugus karboksilat) (Pramesti, 2012).

Berdasarkan Gambar 6 (c) dapat diamati bahwa spektra IR dari Alga-HDTMA *Sargassum* sp. menunjukkan serapan yang muncul pada panjang bilangan gelombang 1620,21; 3425,58; dan 2924,09  $\text{cm}^{-1}$  masing – masing menunjukkan gugus yang khas untuk C=O, N–H, dan C–H (alifatik). Serapan yang menandakan bahwa Alga *Sargassum* sp. berhasil dimodifikasi dengan HDTMA yaitu adanya serapan pada panjang gelombang 1465,90  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus C–H yang merupakan kelompok metil dari HDTMA (Guler *et al.*, 2016) yang intensitasnya lebih besar apabila dibandingkan dengan Alga dan Alga-Na.

### 2.6.2 TB211 IR Turbidimeter Portabel ISO

Pengukur turbiditas inframerah Lovibond yang ringkas TB 210 inframerah Lovibond yang ringkas TB 210 IR dirancang untuk memungkinkan pengujian ditempat yang cepat dan tepat. Unit ini mengukur cahaya yang tersebar pada sudut  $90^\circ$ , sebagaimana ditetapkan dalam EN ISO 7027. Rentang pengukuran yang luas dari 0,01-1100 TE/F = NTU = FNU membuat instrument cocok untuk berbagai aplikasi, mulai air minum hingga air limbah. Karena cahaya inframerah digunakan untuk tujuan pengukuran, alat ini dapat digunakan untuk menguji cairan berwarna dan tidak berwarna.



Gambar 7 - Turbidimeter (Sumber Pribadi)

Turbidimeter dalam kimia analitik adalah metode untuk menentukan jumlah kekeruhan dalam larutan berdasarkan pengukuran efek kekeruhan ini pada transmisi dan hamburan cahaya. Kekeruhan dalam cairan disebabkan oleh adanya

partikel tersuspensi yang berbagi halus. Jika seberkas cahaya dilewatkan melalui sampel keruh, intensitasnya berkurang dengan hamburan, dan jumlah cahaya yang tersebar tergantung pada konsentrasi dan distribusi ukuran partikel. Dalam turbidimetri, intensitas cahaya yang ditransmisikan melalui sampel diukur (Britannica, T. Editor Ensiklopedi, 2017).

### **2.6.3 *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)***

*Scanning Electron Microscopy* (SEM) adalah alat mikroskop elektron yang digunakan untuk mengamati permukaan benda dengan tingkat resolusi tinggi. Dengan tambahan *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDX), SEM dapat digunakan untuk karakterisasi struktur benda padat organik atau anorganik dengan skala mikrometer hingga submikrometer. Ini membantu dalam menentukan sifat kimia, fisik, dan mekanis bahan yang diuji, yang penting untuk pengembangan produk dan analisis ukuran partikel serta komposisi unsur di dalamnya (Abdullah and Khairurrijal, 2009).

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) adalah teknik mikroskop elektron yang menghasilkan gambar dengan resolusi tinggi dari permukaan benda. Dalam SEM, berkas elektron berenergi tinggi ditembakkan ke permukaan sampel, dan elektron yang dihamburkan oleh sampel digunakan untuk membuat gambar. Ini memungkinkan observasi detail permukaan benda padat organik atau anorganik dalam skala mikrometer hingga submikrometer. Teknik ini berguna untuk karakterisasi sifat kimia, fisik, dan mekanis bahan yang diuji (Wagiyo and Handayani, 1997).

EDX (*Energy Dispersive X-Ray*) digunakan untuk analisis kualitatif dengan menentukan energi dari puncak dalam spektrum sinar-X dan membandingkannya dengan tabel energi emisi sinar-X dari unsur yang diketahui (Larry, 2001). Ini bergantung pada eksitasi sinar-X dengan spesimen untuk mengidentifikasi unsur-unsur dalam sampel.

Bagian terpenting dari *Scanning Electron Microscopy* (SEM) adalah apa yang disebut sebagai kolom elektron yang memiliki piranti-piranti sebagai berikut:

1. Sebuah lensa elektromagnetik yang dapat dimuati untuk memfokuskan atau mereduksi berkas elektron yang dihasilkan filamen ke diameter yang sangat kecil.
2. Pembangkit elektron (*electron gun*) dengan filamen sebagai pengemisi elektron atau disebut sumber iluminasi.
3. Satu atau lebih sistem deteksi untuk mengumpulkan hasil interaksi antar berkas elektron dengan spesimen dan merubahnya ke signal listrik.
4. Sebuah sistem perambah (*scan*) untuk menggerakkan berkas elektron terfokus pada permukaan spesimen.
5. Sebuah konektor ke pompa vakum.

## **2.6 Standar *McFarland***

Standar *McFarland* adalah sebuah larutan standar yang memiliki peranan krusial dalam dunia mikrobiologi. Larutan ini digunakan untuk mengukur kepadatan sel bakteri dalam suspensi cair, sehingga memudahkan peneliti dan ahli mikrobiologi dalam menentukan konsentrasi bakteri per mL. Standar *McFarland* hadir dalam berbagai tingkatan, mulai dari 1 hingga 10, yang masing-masing mengindikasikan tingkat konsentrasi bakteri yang berbeda. Sebagai contoh, Standar *McFarland* 0,5 setara dengan  $1,5 \times 10^8$  sel bakteri dalam setiap mililiter larutan. Penggunaan Standar *McFarland* memiliki manfaat besar karena menggantikan proses perhitungan individu sel bakteri secara manual, yang tidak hanya memakan waktu, tetapi juga rentan terhadap kesalahan. Dengan mengadopsi Standar *McFarland*, peneliti dapat dengan cepat dan efisien memperkirakan kepadatan sel bakteri, yang penting dalam pengujian aktivitas antimikroba (Zeniusa *et al.*, 2019)



Gambar 8 - Nephelometer (Sumber Pribadi)

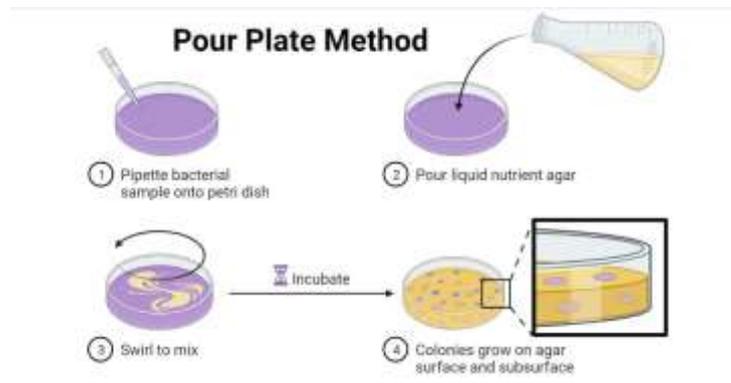
Selain digunakan untuk perkiraan kepadatan sel bakteri, Standar *McFarland* juga berperan penting dalam uji aktivitas antimikroba. Pengujian ini membantu menentukan sejauh mana suatu zat atau agen antimikroba dapat menghambat pertumbuhan atau membunuh bakteri. Untuk mengukur kekeruhan dari suspensi bakteri sebaiknya menggunakan alat bantu yaitu nephelometer agar kekeruhan bakteri lebih akurat dibandingkan dengan kekeruhan standar *McFarland*.

Dengan menggunakan Standar *McFarland* sebagai dasar perbandingan, peneliti dapat dengan lebih akurat menilai efektivitas suatu zat antimikroba dalam mengatasi infeksi bakteri. Selain itu, Standar *McFarland* juga digunakan dalam penghitungan bakteri menggunakan mikroskop, yang memungkinkan pengukuran yang lebih efisien dan akurat. Hal ini membantu menjaga kualitas hasil penelitian mikrobiologi dan memastikan bahwa data yang diperoleh dapat diandalkan dalam pengembangan obat-obatan dan pengendalian infeksi bakteri (Jatmiko, 2020). Dengan demikian, Standar *McFarland* memiliki peran yang signifikan dalam menggerakkan kemajuan dalam bidang mikrobiologi dan penelitian terkait.

## 2.7 Teknik *Pour Plate*

Teknik *pour plate* umumnya digunakan untuk menghitung mikroorganisme yang layak dalam sampel yang diberikan dengan menghitung jumlah total unit pembentuk koloni (CFUs) di dalam dan / atau di permukaan media padat. Ini

sebagian besar digunakan untuk menghitung bakteri; Namun, Actinobacteria, jamur, dan ragi juga dapat diisolasi dan dihitung.



**Gambar 9.** Teknik Pour Plate (Dahal, 2022)

Metode piring tuang (*pour plate method*) merupakan teknik mikrobiologi klasik untuk menghitung jumlah total bakteri dalam sampel. Prinsipnya adalah mencampurkan sampel dengan media agar cair, kemudian menuangkannya ke dalam cawan petri dan diinkubasi. Masing-masing mikroorganisme yang viabel (mampu hidup dan berkembang biak) dalam sampel akan tumbuh menjadi koloni terpisah pada permukaan dan di dalam media agar. Sampel cair diencerkan secara serial (bertingkat) untuk mendapatkan konsentrasi yang sesuai untuk penghitungan koloni. Volume tertentu sampel encer (biasanya 1 mL) dicampurkan dengan 15 mL media agar cair steril yang suhunya sekitar 40-45°C (tidak boleh lebih dari 50°C). Pencampuran dilakukan dengan hati-hati agar tercampur homogen. Campuran sampel dan media agar dituangkan ke dalam cawan petri steril. Cawan petri dibiarkan diam agar media agar memadat dan mendingin. Cawan petri diinkubasi pada suhu optimal untuk pertumbuhan mikroorganisme, biasanya pada 37°C selama 24-48 jam. Setelah inkubasi, koloni yang terlihat di permukaan dan di dalam media agar dihitung menggunakan alat bantu koloni counter.



Gambar 10 - *Colony Counter* (Sumber Pribadi)

Koloni yang terlihat dapat dihitung dan CFU / mL dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$CFU/mL = \frac{\text{Total number of colonies obtained} \times \text{dilution factor}}{\text{volume of specimen used (aliquot)}}$$

(Faith *et al.*, 2024)

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

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

1. Pembuatan adsorben Alga-HDTMA *Sargassum* sp. telah berhasil dilakukan yang ditunjukkan dengan karakterisasi menggunakan spektrofotometer IR yaitu muncul serapan pada bilangan gelombang  $1465,90\text{ cm}^{-1}$  yang menandakan adanya kelompok metil pada HDTMA dan spektrofotometer SEM-EDX yaitu adanya unsur Br.
2. Bakteri mengalami penurunan setelah dilakukan adsorpsi oleh adsorben Alga, Alga-Na, dan Alga-HDTMA yaitu sebesar masing-masing sebesar 57,7 %, 62,5 %, dan 100 %.
3. Adsorpsi bakteri *E. coli* oleh adsorben Alga, Alga-Na, dan Alga-HDTMA *Sargassum* sp., masing – masing optimum pada pH 4, pH 4 dan pH 3, waktu kontak 60 menit, dan konsentrasi adsorbat  $2,9\text{ mg L}^{-1}$ .
4. Laju adsorpsi bakteri *E. coli* terhadap adsorben Alga, Alga-Na, dan Alga-HDTMA *Sargassum* sp. cenderung mengikuti model kinetika pseudo orde dua dengan  $R^2$  mendekati 1. Isoterm adsorpsi bakteri *E. coli* terhadap adsorben Alga, Alga-Na, dan Alga-HDTMA *Sargassum* sp. cenderung mengikuti model isoterm Freundlich dengan  $R_2$  yang lebih besar.

## **5.2. Saran**

Adapun saran pada penelitian ini perlu dipelajari lebih lanjut faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi bakteri pada biomassa alga termodifikasi surfaktan kationik agar persentase bakteri yang teradsorpsi lebih optimum serta perlu dipelajari kemampuan penggunaan ulang adsorben.