

**PENGARUH KONSENTRASI ION LOGAM
TEMBAGA (II) TERHADAP PERSENTASE
REMOVAL PADA PROSES BIOSORPSI
MENGUNAKAN *Chlorella pyrenoidosa* DALAM
FOTOBIOREAKTOR KONTINU**

Laporan Penelitian

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar
sarjana di bidang ilmu Teknik Kimia

oleh :

Eric

(2017620105)

Pembimbing :

Ir. Y.I.P. Arry Miryanti, M.Si.

Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng.



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

2021

LEMBAR PENGESAHAN

**JUDUL : PENGARUH KONSENTRASI ION LOGAM TEMBAGA (II)
TERHADAP PERSENTASE *REMOVAL* PADA PROSES BIOSORPSI
MENGUNAKAN *Chlorella pyrenoidosa* DALAM FOTOBIOREAKTOR
KONTINU**

CATATAN:

Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 20 Agustus 2021

Pembimbing 1



Ir. Y.I.P. Arry Miryanti, M.Si.

Pembimbing 2



Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng.



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Eric

NRP : 6217105

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul:

Pengaruh Konsentrasi Ion Logam Tembaga (II) terhadap Persentase *Removal* pada Proses Biosorpsi Menggunakan *Chlorella pyrenoidosa* dalam Fotobioreaktor Kontinu

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 14 Agustus 2021



Eric

2017620105

LEMBAR REVISI

**JUDUL : PENGARUH KONSENTRASI ION LOGAM TEMBAGA (II)
TERHADAP PERSENTASE *REMOVAL* PADA PROSES BIOSORPSI
MENGUNAKAN *Chlorella pyrenoidosa* DALAM FOTOBIOREAKTOR
KONTINU**

CATATAN:

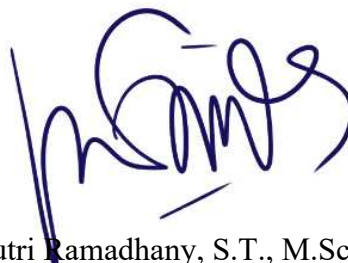
Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 31 Agustus 2021

Penguji 1



Anastasia Prima Kristijarti, S.Si., M.T.

Penguji 2



Putri Ramadhany, S.T., M.Sc., PDEng.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian dengan judul “Pengaruh Konsentrasi Ion Logam Tembaga (II) Terhadap Persentase *Removal* Pada Proses Biosorpsi Menggunakan *Chlorella pyrenoidosa* Dalam Fotobioreaktor Kontinu”. Laporan penelitian ini disusun untuk memenuhi syarat mata kuliah CHE-184650-04 dan sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana Teknik Kimia Universitas Katolik Parahyangan. Penulisan laporan penelitian ini tak luput dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Dengan kerendahan hati, penulis ingin mengucapkan terima kasih secara khusus kepada pihak – pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan laporan penelitian ini, yaitu:

1. Ibu Y.I.P. Arry Miryanti, Ir., Msi., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, dan saran dalam proses penyusunan laporan penelitian ini.
2. Bapak Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, dan saran dalam proses penyusunan laporan penelitian ini.
3. Orang tua serta keluarga penulis yang telah memberikan dukungan moral dan material kepada penulis.
4. Teman-teman penulis yang telah memberikan dukungan dan masukan kepada penulis.
5. Serta semua pihak lain yang telah ikut membantu dalam penyusunan laporan penelitian ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan maupun penyusunan laporan penelitian ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan masukan, saran, dan kritik yang membangun bagi penulis. Akhir kata , penulis mengucapkan terima kasih atas perhatian pembaca, semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat.

Bandung, 15 Agustus 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
LEMBAR REVISI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
INTISARI.....	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tema Sentral Masalah	3
1.3 Identifikasi Masalah	3
1.4 Premis	4
1.5 Hipotesis	4
1.6 Tujuan Penelitian.....	4
1.7 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Biosorpsi.....	9
2.1.1 Kelebihan dan Kekurangan Biosorpsi	9
2.1.2 Faktor yang Mempengaruhi Biosorpsi	10
2.1.3 Faktor yang Diperhatikan Dalam Pemilihan Biosorben	12
2.1.4 Perbandingan Mikroorganisme Sebagai Biosorben.....	12
2.2 Biosorpsi Mikroalga	13
2.2.1 Fase Pertumbuhan Mikroalga	14
2.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Mikroalga.....	16
2.2.3 Fotosintesis pada Mikroalga	17
2.2.4 Mekanisme Biosorpsi Mikroalga.....	18
2.2.5 Pertumbuhan Mikroalga pada Fotobioreaktor Sistem Operasi Kontinu.....	20
2.3 <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	21
2.3.1 Potensi Pemanfaatan <i>Chlorella sp.</i>	22

2.3.2	Kultivasi <i>Chlorella</i> sp.	23
2.3.3	Faktor yang Mempengaruhi Kultivasi <i>Chlorella</i> sp.....	24
2.3.4	Perhitungan Kepadatan Sel.....	26
2.4	Logam pada Limbah.....	27
2.4.1	Jenis dan Dampak Logam Berat	27
2.4.2	Limbah Tembaga	28
2.4.3	Penelitian Polutan Logam pada Mikroalga.....	29
2.4.4	Spektrofotometri UV – Vis.....	30
2.5	Fotobioreaktor	30
2.5.1	Jenis – Jenis Fotobioreaktor.....	31
2.5.2	Fotobioreaktor Flat – Panel.....	33
2.5.3	Material Fotobioreaktor Flat – Panel.....	36
2.6	Percobaan Biosorpsi Logam Tembaga Menggunakan <i>Chlorella</i> sp.....	37
2.6.1	Percobaan Biosorpsi Logam Tembaga Oleh Muñoz, dkk. (2005).....	37
2.6.2	Percobaan Biosorpsi Logam Tembaga Oleh Yeh dan Chang (2012).....	38
2.6.3	Percobaan Biosorpsi Logam Tembaga Oleh Catherine (2019)	39
2.6.4	Percobaan Biosorpsi Logam Tembaga Oleh Gumilang (2020).....	39
BAB III METODE PENELITIAN		41
3.1	Bahan.....	41
3.2	Alat	42
3.3	Prosedur Percobaan	44
3.3.1	Kultivasi dan Pembuatan Kurva Tumbuh <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	44
3.3.2	Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Logam Tembaga.....	46
3.3.3	Pembuatan Kurva Standar Konsentrasi Ion Logam Tembaga.....	46
3.3.4	Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	47
3.4	Analisis Data	49
3.4.1	Analisis Kepadatan Sel	49
3.4.2	Analisis Persentase Removal	49
3.5	Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian.....	50
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		51
4.1	Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Ion Logam Tembaga (II).....	51
4.2	Pembuatan Kurva Standar Larutan Ion Logam Tembaga (II).....	52
4.3	Kultivasi Mikroalga <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	52

4.4	Kurva Pertumbuhan <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	56
4.5	Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	58
	dengan Fotobioreaktor Kontinu.....	58
4.5.1	Pengaruh Kehilangan Kepadatan Sel Mikroalga	62
4.5.2	Pengaruh Kehomogenan Pengadukan Sel Mikroalga <i>Chlorella pyrenoidosa</i> ..	65
4.5.3	Pengaruh Jumlah Mikroalga <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Terhadap Persentase Removal Ion Logam Tembaga (II)	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		68
5.1	Kesimpulan.....	68
5.2	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA		69
LAMPIRAN A MATERIAL SAFETY DATA SHEET		74
A.1	Copper Sulfate Pentahydrate	74
A.2	Sodium Hydroxide.....	75
A.3	Hydrochloric Acid	76
A.4	Ammonia	77
A.5	Zinc Chloride.....	78
A.6	Sodium Chloride.....	79
A.7	Cobaltous Chloride, Hexahydrate	80
A.8	Ammonium Molybdate Tetrahydrate	81
A.9	Thiamine HCl	82
A.10	Biotin	83
A.11	Sodium Nitrate.....	84
A.12	Sodium Phosphate Monobasic Monohydrate	85
A.13	Manganese Chloride Tetrahydrate.....	86
A.14	Ferric Chloride Hexahydrate	87
A.15	Boric Acid	88
A.16	Ethylenediaminetetraacetic Acid Tetrasodium Salt (EDTA).....	89
LAMPIRAN B HASIL PENGAMATAN DAN HASIL ANTARA		90
B.1	Pembuatan Kurva Standar	90
B.2	Hasil Data Kultivasi Awal <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Menggunakan Pupuk F/2 Guillard.....	90

B.3	Hasil Data Kultivasi <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Menggunakan Variasi Media Tumbuh.....	91
B.4	Hasil Percobaan Pertama Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Pada Fotobioreaktor Kontinu	92
B.5	Hasil Percobaan Duplo Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Pada Fotobioreaktor Kontinu	94
B.6	Hasil Percobaan Rata-Rata Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Pada Fotobioreaktor Kontinu	97
LAMPIRAN C GRAFIK.....		100
C.1	Kurva Standar Larutan Ion Logam Tembaga (II).....	100
C.2	Kurva Tumbuh <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Pada Media Tumbuh Pupuk Walne	100
C.3	Kurva Percobaan Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Pada Fotobioreaktor Kontinu (Pertama).....	101
C.4	Kurva Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Pada Fotobioreaktor Kontinu (Duplo)	105
C.5	Kurva Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Pada Fotobioreaktor Kontinu (Rata-Rata)	110
LAMPIRAN D CONTOH PERHITUNGAN		116
D.1	Pembuatan Larutan Ion Logam Tembaga (II)	116
D.2	Penentuan Panjang Gelombang Maksimum.....	116
D.3	Pembuatan Kurva Standar	116
D.4	Kepadatan Sel Mikroalga <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	117
D.5	Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	117
LAMPIRAN E GAMBAR PENELITIAN		118
E.1	Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Ion Logam Tembaga (II).....	118
	Gambar E.1.1 Penentuan panjang gelombang maksimum dengan spektrofotometer ...	118
	UV-Vis	118
E.2	Kultivasi Mikroalga <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	118
E.3	Kurva Pertumbuhan <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	119
E.4	Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> dengan Fotobioreaktor Kontinu	119
E.5	Pengaruh Penghilangan Kepadatan Sel Mikroalga <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Terhadap Persentase <i>Removal</i> Ion Logam Tembaga (II)	120

E.6	Pengaruh Kehomogenan Pengadukan Sel Mikroalga <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Terhadap Persentase <i>Removal</i> Ion Logam Tembaga (II)	120
-----	---	-----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pertumbuhan industri non migas, manufaktur, dan pertumbuhan.....	1
Gambar 2.1 Kurva fase pertumbuhan mikroalga.....	14
Gambar 2.2 Skema pertumbuhan autotrof mikroalga.....	17
Gambar 2.3 Mekanisme reaksi terang dan reaksi gelap	18
Gambar 2.4 Pola pertumbuhan mikroalga dalam fotobioreaktor sistem kontinu.....	21
Gambar 2.5 Bentuk sel <i>Chlorella sp.</i>	22
Gambar 2.6 <i>Hemocytometer</i>	26
Gambar 2.7 Fotobioreaktor jenis <i>flat – panel</i>	34
Gambar 2.8 Fotobioreaktor jenis <i>flat – panel</i>	34
Gambar 2.9 Fotobioreaktor jenis <i>flat – panel</i>	35
Gambar 2.10 Fotobioreaktor jenis <i>flat – panel</i>	36
Gambar 3.1 Skema rangkaian alat percobaan (Gumilang, 2020).....	43
Gambar 3.2 Skema rangkaian alat kultivasi mikroalga <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	43
Gambar 3.3 Diagram alir kultivasi mikroalga <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	45
Gambar 3.4 Diagram alir penentuan panjang gelombang maksimum logam tembaga.....	46
Gambar 3.5 Diagram alir pembuatan kurva standar ion logam tembaga (II).....	47
Gambar 3.6 Diagram alir percobaan utama biosorpsi ion logam tembaga (II)	48
Gambar 4.1 Penentuan panjang gelombang maksimum dengan spektrofotometer UV-Vis	51
Gambar 4.2 Kurva Standar Larutan Ion Logam Tembaga (II).....	52
Gambar 4.3 Kurva persen pertumbuhan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> variasi jenis pupuk.....	53
Gambar 4.4 (a) Kepadatan sel <i>Chlorella pyrenoidosa</i> awal kultivasi ($t=0$) dan (b) kepadatan sel <i>Chlorella pyrenoidosa</i> saat pemanenan ($t=4$) perbesaran mikroskop 400x .	55
Gambar 4.5 Kultivasi <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	56
Gambar 4.6 Kurva tumbuh <i>Chlorella pyrenoidosa</i> metode <i>hemocytometer</i> (a) fase lag (b) fase log (c) fase kematian (d) fase stasioner	57
Gambar 4.7 Kurva tumbuh <i>Chlorella pyrenoidosa</i> metode OD (<i>optical density</i>) (a) fase lag (b) fase log (c) fase stasioner (d) fase kematian.....	57
Gambar 4.8 Fotobioreaktor Jenis <i>Flat Panel</i>	59
Gambar 4.9 Kurva Persen <i>Removal</i> Variasi Konsentrasi Ion Logam Tembaga (II)	60
Gambar 4.10 Kurva <i>Removal</i> Cu (II) Variasi Konsentrasi Ion Logam Tembaga (II).....	60

Gambar 4.11 Kurva kepadatan sel <i>Chlorella pyrenoidosa</i> pada aliran keluaran fotobioreaktor variasi konsentrasi ion logam tembaga (II)	64
Gambar 4.12 Sel <i>Chlorella pyrenoidosa</i> pada aliran keluaran fotobioreaktor (a) pada bak limbah fotobioreaktor dan (b) pada kuvet sentrifugasi	64
Gambar 4.13 Pengendapan sel <i>Chlorella pyrenoidosa</i> pada fotobioreaktor	65

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Premis.....	6
Tabel 1.2 Premis media kultivasi <i>Chlorella sp.</i>	8
Tabel 2.1 Perbandingan mikroorganisme sebagai biosorben dalam proses biosorpsi	13
Tabel 3.1 Komposisi pupuk walne	41
Tabel 3.2 Komposisi BG-11	42
Tabel 3.3 Jadwal kerja penelitian	50
Tabel 4.1 Perbandingan kandungan pada larutan media	63
Tabel 4.2 Kepadatan Sel Awal <i>Chlorella pyrenoidosa</i> dalam fotobioreaktor	63
Tabel 4.3 Perbandingan hasil persentase removal.....	66

INTISARI

Perkembangan industri sejak era revolusi industri terus meningkat baik dalam sisi kualitas maupun kuantitas. Hal ini mempengaruhi jumlah limbah industri yang terakumulasi sehingga tingkat pencemaran semakin meningkat. Dalam upaya meminimalisir dampak pencemaran limbah industri, metode pengolahan limbah cair dapat dilakukan secara kimia, fisika, dan biologi. Sebagai alternatif dari masalah yang dihadapi dengan metode kimia dan fisika maka dipilih pengolahan limbah secara biologi. Logam tembaga (II) dipilih sebagai zat percobaan biosorpsi karena logam tembaga merupakan salah satu limbah logam berat yang paling banyak ditemukan pada industri. Selain itu juga, tembaga berperan sebagai mikronutrien untuk pertumbuhan *Chlorella pyrenoidosa* pada konsentrasi rendah. Tujuan dari penelitian ini untuk mempelajari pengaruh konsentrasi ion logam tembaga (II) terhadap persentase *removal* pada proses biosorpsi menggunakan *Chlorella pyrenoidosa* dalam fotobioreaktor kontinu.

Pada penelitian terdapat 5 tahap, yaitu kultivasi *Chlorella pyrenoidosa*, penentuan media pertumbuhan *Chlorella pyrenoidosa*, penentuan panjang gelombang maksimum ion logam tembaga (II), pembuatan kurva standar ion logam tembaga (II), dan percobaan utama biosorpsi ion logam tembaga (II). Kultivasi *Chlorella pyrenoidosa* dilakukan untuk mengembangbiakkan mikroalga yang akan digunakan untuk percobaan utama dengan menggunakan media nutrisi terbaik yang dipilih dari hasil percobaan penentuan media pertumbuhan *Chlorella pyrenoidosa*. Dari tahap ini didapatkan kurva pertumbuhan *Chlorella pyrenoidosa* untuk mengetahui fase pertumbuhannya. Selanjutnya dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum dan penentuan kurva standar ion logam tembaga (II). Pada percobaan utama dilakukan proses biosorpsi ion logam tembaga (II) menggunakan *Chlorella pyrenoidosa* dengan kepadatan sel 10.000.000 sel / mL sebanyak 10% volume total fotobioreaktor dalam fotobioreaktor kontinu dengan variasi konsentrasi ion logam tembaga (II), yaitu 20 ppm, 40 ppm, 60 ppm, dan 80 ppm pada kondisi pH 5 dan ditambahkan 5 mL media nutrisi. Pada tahap ini analisis persentase *removal* menggunakan spektrofotometer *visible* serta analisis jumlah sel menggunakan *hemocytometer*.

Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa media pertumbuhan terbaik untuk *Chlorella pyrenoidosa* menggunakan pupuk walne. Pada proses biosorpsi, dapat diketahui bahwa peningkatan konsentrasi ion logam tembaga (II) menyebabkan penurunan persentase *removal*. Hasil persentase *removal* terbaik sebesar 44,32% pada konsentrasi ion logam tembaga (II) sebesar 20 ppm pada jam ke-3.

Kata kunci: biosorpsi, Cu (II), *Chlorella pyrenoidosa*, persentase *removal*

ABSTRACT

*The development of the industry since the industrial revolution era has continued to increase both in terms of quality and quantity. This affects the amount of industrial waste to be accumulated thus the level of pollution is increasing. In order to minimize the impact of industrial waste pollution, wastewater treatment methods can be handled chemically, physically, and biologically. As an alternative to the problems encountered with chemical and physical methods, biological waste treatment is chosen. Copper (II) metal was chosen as the adsorbate in this experiment due to the fact that copper (II) metal is one of the most abundant heavy metal wastes found in the industry. In addition, copper (II) acts as a micronutrient for the growth of *Chlorella pyrenoidosa* at low concentrations. The purpose of this experiment was to study the effect of copper (II) metal ion concentration on the percentage removal in the biosorption process using *Chlorella pyrenoidosa* in a continuous photobioreactor.*

*This study consisted of 5 stages, namely the cultivation of *Chlorella pyrenoidosa*, determination of the growth medium of *Chlorella pyrenoidosa*, determination of the maximum wavelength of copper (II) ion, making standard curve of copper (II) ion, and the core experiment is the biosorption of copper (II) ions. Cultivation of *Chlorella pyrenoidosa* is performed by culturing microalgae with the best nutrient media selected from the preliminary experiments in which to determine the best growth media of *Chlorella pyrenoidosa*. This stage resulted in the growth curve of *Chlorella pyrenoidosa* which is used to determine the growth phase of *Chlorella pyrenoidosa*. Furthermore, the maximum wavelength and the standard curve of copper (II) ion metal were carried out. Then in the main experiment, the copper (II) metal ion biosorption process was done by using *Chlorella pyrenoidosa* with a cell density of 10.000.000 cells / mL as much as 10% of total volume in the photobioreactor in a continuous photobioreactor with various concentrations of copper (II) metal ions, namely 20 ppm, 40 ppm, 60 ppm, and 80 ppm at pH 5 with the addition of 5 mL of nutrient media. The analysis of the percentage of removal uses a visible spectrophotometer and analysis of the cells number uses a hemocytometer.*

*The experiment obtained that the best-growing media for *Chlorella pyrenoidosa* uses walne. In the biosorption process, it was observed that an increase in the concentration of copper (II) ion led to a decrease in the percentage removal. The best removal percentage was performed at the concentration of copper (II) metal ion of 20 ppm at the 3rd hour of biosorption process with the highest percent removal was 44,32%.*

*Keyword: biosorption, Cu (II), *Chlorella pyrenoidosa*, percentage removal*

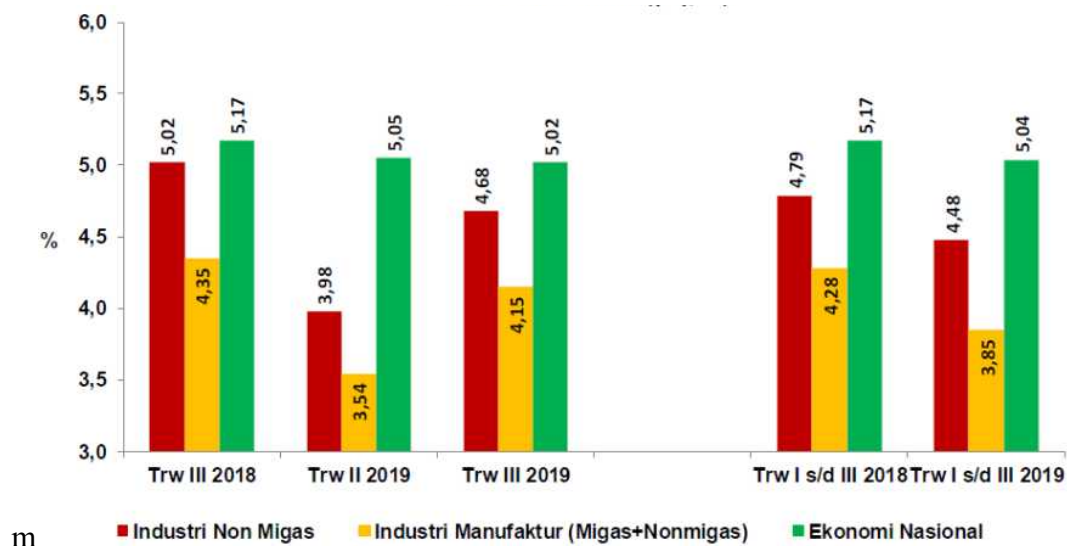
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era revolusi industri, perkembangan industri sangat pesat. Hingga saat ini industri juga terus berkembang baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Perkembangan industri ini mengakibatkan tingkat pencemaran yang kian meningkat seiring dengan pertambahan jumlah industri. Tanpa mengesampingkan keberlangsungan hidup manusia, manusia harus berhadapan langsung dengan tingkat pencemaran baik oleh para pemilik pabrik maupun masyarakat disekitar karena dampak dari pencemaran tidak hanya terjadi pada satu pihak, namun seluruh subjek kehidupan di bumi turut merasakan dampak dari pencemaran ini.

Di Indonesia sendiri berdasarkan data dari Pusat Data dan Informasi (Pusdatin) Kementerian Industri Republik Indonesia tahun 2019 dapat dilihat perkembangan pertumbuhan industri non migas, industri manufaktur, dan pertumbuhan ekonomi nasional pada **Gambar 1.1**.



Gambar 1.1 Pertumbuhan industri non migas, manufaktur, dan pertumbuhan ekonomi nasional (Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2019)

Dari **Gambar 1.1**, terlihat bahwa industri non migas terjadi penurunan dari triwulan III 2018 yang sebesar 5,02% menjadi 3,98% pada triwulan II 2019 dan meningkat lagi pada triwulan III 2019. Secara kumulatif pertumbuhan industri non migas tahun 2019 periode triwulan I s/d triwulan III 2019 sebesar 4,48% yang mana lebih rendah dari tahun 2018 dalam periode yang sama yaitu sebesar 4,79%.

Berdasarkan data Kementerian Perindustrian Republik Indonesia dapat disimpulkan bahwa pertumbuhan industri non migas pada tahun 2019 lebih rendah daripada tahun 2018. Namun dengan begitu jumlah industri tetap meningkat dari tahun ke tahun yang juga meningkatkan tingkat pencemaran. Meskipun pengolahan limbah oleh industri telah dilakukan dengan baik dan juga sudah sesuai dengan kriteria pembuangan limbah, tidak dipungkiri bahwa dengan penambahan jumlah pabrik ini meningkatkan akumulasi limbah cair dalam perairan. Salah satu zat pencemaran yang banyak dihasilkan dari kegiatan industri merupakan logam berat. Menurut Al-Saydeh, dkk. (2017), Logam berat yang paling banyak ditemui pada limbah industri yaitu logam tembaga (Cu). Limbah tembaga sering ditemukan dalam konsentrasi tinggi dalam limbah cair. Sifat tembaga yang multifungsi seperti *ductile* dan merupakan konduktor yang baik serta tidak mudah korosi menjadikan tembaga logam yang baik untuk diaplikasikan dalam industri seperti perpipaan, pelapisan logam, alat-alat elektronik, dll.

Metode pengolahan limbah cair dapat dilakukan secara kimia, fisika, dan biologi. Pada industri umumnya menggunakan metode pengolahan secara kimia dan fisika, namun permasalahan yang dihadapi dengan metode ini yaitu dihasilkan lumpur kimiawi dan biaya yang cenderung mahal untuk mengolah limbah cair hingga berkonsentrasi rendah. Sebagai solusi dari permasalahan ini ditawarkan metode pengolahan limbah secara biologis yaitu biosorpsi. Biosorpsi memanfaatkan makhluk hidup seperti jamur, bakteri, dan alga untuk mengolah limbah dengan mekanisme *active* dan *passive uptake* (Hansda, dkk. 2015). Metode biosorpsi hingga saat ini masih jarang ditemui pada industri – industri di Indonesia, padahal biosorpsi menawarkan pengolahan limbah cair yang lebih ramah lingkungan, biaya yang lebih murah, serta efisien untuk pengolahan limbah dengan volume besar (Ahalya, dkk. 2014; Shamim, 2017). Lebih lanjut, metode biosorpsi menjadi alternatif bagi industri saat ini karena kemampuannya dalam melakukan pengolahan logam berat hingga konsentrasi yang sangat rendah yaitu ppb (*part per billion*) (Kanamarlapudi, dkk., 2018).

Logam berat beberapa diantaranya digunakan oleh alga dalam pertumbuhan. Konsentrasi logam berat ini tidak boleh melebihi batas sehingga pada konsentrasi rendah dapat menjadi nutrisi pertumbuhan bagi alga namun bersifat toksik pada konsentrasi tinggi. Mikroalga dipilih sebagai agen biosorpsi logam berat karena memiliki kelebihan seperti bahan baku biosorben yang mudah didapat, sludge yang dihasilkan sangat sedikit, serta *operational cost* yang rendah (Kanamarlapudi, dkk., 2018).

Dalam penelitian ini, mikroalga jenis *Chlorella pyrenoidosa* digunakan sebagai agen biosorpsi logam tembaga dengan sistem operasi kontinu. Sebelum dilakukan proses biosorpsi, terlebih dahulu dilakukan penentuan media tumbuh terbaik untuk pertumbuhan *Chlorella pyrenoidosa*. Penggunaan *Chlorella pyrenoidosa* sebagai biosorben memiliki kelebihan seperti hasil biosorpsi memiliki efisiensi yang tinggi, biosorben yang dapat diregenerasi, dan tidak menghasilkan lumpur kimiawi. Selain karena kelebihan dari *Chlorella pyrenoidosa*, penelitian mengenai biosorpsi *Chlorella pyrenoidosa* sudah banyak dilakukan dan hasil yang didapatkan sudah sangat baik, namun penelitian biosorpsi *Chlorella pyrenoidosa* tersebut masih terbatas pada sistem operasi batch sedangkan untuk sistem kontinu belum banyak dilakukan uji coba dan penelitian. Pemilihan sistem kontinu mempertimbangkan bahwa saat ini sistem operasi kontinu banyak diaplikasikan pada industri namun biosorpsi logam tembaga dengan sistem operasi kontinu masih sangat sedikit diaplikasikan. Sistem kontinu pada fotobioreaktor memiliki tujuan untuk memproduksi mikroalga melalui proses fotosintesis sehingga kondisi operasi seperti pencahayaan, pengadukan, dan transfer massa harus dalam keadaan optimum agar produksi mikroalga juga diharapkan pada kondisi optimum (Velarde, dkk., 2009).

1.2 Tema Sentral Masalah

Ketidajelasan dan ketidakpastian faktor-faktor yang mempengaruhi proses biosorpsi ion logam tembaga (II) menggunakan *Chlorella pyrenoidosa* dalam fotobioreaktor kontinu. Direfleksikan dengan tiada landasan teori tentang pengaruh konsentrasi ion logam tembaga (II) terhadap persentase *removal* dan bagaimana mekanisme biosorpsi mikroalga secara aktif ion logam tembaga (II) bisa menjadi mikroelemen juga secara pasif dapat teradsorpsi pada mikroalga.

1.3 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah yang dapat dirangkum dari latar belakang dan sentral masalah penelitian ini, yaitu:

1. Media tumbuh apa yang lebih baik untuk pertumbuhan *Chlorella pyrenoidosa* dengan berdasarkan persen pertumbuhan?

2. Seberapa jauh pengaruh konsentrasi ion logam tembaga (II) terhadap persentase *removal* pada proses biosorpsi menggunakan *Chlorella pyrenoidosa* dalam fotobioreaktor kontinu?

1.4 Premis

Penelitian lain mengenai biosorpsi ion logam tembaga (II) dengan *Chlorella pyrenoidosa* untuk sistem kontinu dengan berbagai kondisi operasi dapat dilihat dapat dilihat pada **Tabel 1.1.** dan penelitian mengenai media kultivasi terbaik untuk mikroalga *Chlorella pyrenoidosa* dapat dilihat pada **Tabel 1.2.**

1.5 Hipotesis

Adapun hipotesis dari penelitian yang dilakukan, yaitu sebagai berikut:

1. Sumber nitrogen dalam media tumbuh mempengaruhi pertumbuhan *Chlorella pyrenoidosa*, sampai batas tertentu semakin tinggi konsentrasi N pada media maka persen pertumbuhan *Chlorella pyrenoidosa* semakin tinggi;
2. Konsentrasi ion logam tembaga (II) mempengaruhi persentase *removal* pada proses biosorpsi menggunakan *Chlorella pyrenoidosa* dalam fotobioreaktor kontinu, sampai batas tertentu semakin tinggi konsentrasi ion logam tembaga (II) maka semakin tinggi persen *removal*.

1.6 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang dapat dirangkum dalam percobaan ini, yaitu:

1. Menentukan media tumbuh terbaik untuk pertumbuhan *Chlorella pyrenoidosa* berdasarkan persen pertumbuhan;
2. Mempelajari pengaruh konsentrasi ion logam tembaga (II) terhadap persentase *removal* menggunakan *Chlorella pyrenoidosa* dalam fotobioreaktor kontinu.

1.7 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini, yaitu:

1. Bagi Peneliti

Dengan penelitian ini, diharapkan peneliti dapat mengetahui pengaruh konsentrasi ion logam tembaga (II) terhadap persentase *removal* oleh *Chlorella pyrenoidosa* dalam fotobioreaktor kontinu.

2. Bagi Industri

Dengan penelitian ini, diharapkan industri dapat mempertimbangkan penggunaan metode biosorpsi secara kontinu sebagai tahap pengolahan sekunder limbah cair untuk mencapai konsentrasi PPB (*part per billion*) sebagai alternatif pengolahan limbah cair yang lebih ramah lingkungan serta efisien untuk pengolahan limbah cair dengan volume besar.

3. Bagi Masyarakat

Dengan penelitian ini, diharapkan dapat mengurangi jumlah logam berat dalam efluen sehingga dampak pencemaran limbah industri pada masyarakat dapat diminimalkan.

4. Bagi Pemerintah

Dengan penelitian ini, diharapkan dapat membantu pemerintah dalam permasalahan limbah industri terutama dalam mengurangi jumlah kandungan logam berat dalam efluen limbah industri.

Tabel 1.1 Premis

No	Jenis Biosorben	Kondisi Operasi					Fotobioreaktor	Metode Analisis	Hasil Penelitian (optimum)	Peneliti
		pH	Konsentrasi Mikroalga	Konsentrasi Logam Tembaga	Cahaya	Salinitas				
1	<i>Chlorella sp.</i>	4,0 – 5,0	10.000.000 sel/mL	40 ppm	2 buah lampu LED 5 Watt		Fotobioreaktor <i>flat-panel</i>	Spektrofotometer <i>visible</i> (610 nm)	<ul style="list-style-type: none"> • konsentrasi mikroalga 10.000.000 sel/mL • volume mikroalga 10% volume total • pH 5 • Laju alir = 7 mL/menit • persen <i>removal</i> = 18,47 % 	(Gumilang, 2020)
2	<i>Chlorella vulgaris</i>	5,0	1.500.000 sel/mL 3.000.000 sel/mL 4.500.000 sel/mL	40 ppm	Merah, putih, biru (40 Watt)	0 mg/L 3.000 mg/L 6.000 mg/L		Spektrofotometer UV/Vis (610 nm)	<ul style="list-style-type: none"> • Konsentrasi mikroalga 1.500.000 sel/mL • Salinitas 3.000 mg/L • Cahaya merah • Persen <i>removal</i> = 96,8% 	(Catherine, 2019)
3	<i>Chlorella vulgaris</i>	2,0 – 5,0	3.800 sel/mL	20 ppm 40 ppm 60 ppm 80 ppm	9.000 lux			Spektrofotometer UV/Vis (615 nm)	<ul style="list-style-type: none"> • kepadatan sel 37,5 x 10³ sel/mL • pH 5 • konsentrasi Cu²⁺ = 40 ppm • persen <i>removal</i> = 96,1% 	(Hidayat, 2018)

Tabel 1.1 Premis (Lanjutan)

No	Jenis Biosorben	Kondisi Operasi				Fotobioreaktor	Metode Analisis	Hasil Penelitian (optimum)	Peneliti
		pH	Konsentrasi Mikroalga	Konsentrasi Logam Tembaga	Cahaya				
4	<i>Chlorella sorokiniana</i>	5	1,2 ± 0,1 g alga / L	Cu (II) 5 mg/L 10 mg/L 15 mg/L 20 mg/L	100 $\mu E m^{-2} s^{-1}$	<i>continuous stirred tank photobioreactor</i> (300 rpm)	Spektrofotometer UV/Vis (620 nm)	<ul style="list-style-type: none"> • kapasitas adsorpsi Cu (II) = 8,5 ± 0,4 mg/g • konsentrasi mikroalga 20 mg/L • pH 5 	(Munoz, dkk., 2005)
5	<i>Chlorella vulgaris</i>	6,2	20 mg/L		<i>Fluorescent lamps</i> (14 Watt)	Fotobioreaktor <ul style="list-style-type: none"> • 150 ppm • Aerasi CO₂ 2% • 0,2 vvm 	Spektrofotometer UV/Vis (688 nm)	<ul style="list-style-type: none"> • konsentrasi mikroalga 2-5 g/L • Basa medium Modified Bristol's medium 	(Yeh, dkk., 2012)

Tabel 1.2 Premis media kultivasi *Chlorella sp.*

No	Jenis Biosorben	Medium	Kondisi Operasi				Hasil Penelitian		Peneliti	
			Suhu	Cahaya	Kecepatan Pengadukan	Lama Kultivasi	Jumlah Sel Awal	OD683reading (Hari ke-12)		Overall Specific Growth Rate m (d-1)
1	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Bold Basal M-8</i>	25±3 °C	Lampu LED putih (T5 15 W 6400K, 80 µmol/m2.s)	150 rpm	12 hari	1.18x10 ⁸ sel/mL	3,389 ± 0,023 ^a	0,278 ± 0,001 ^a	(Wong, dkk., 2017)
		<i>Modified BG-11</i>						2,699 ± 0,43 ^b	0,259 ± 0,001 ^b	
		<i>Modified Spirulina N-8</i>						2,387 ± 0,017 ^c	0,249 ± 0,001 ^c	
		<i>BG-11</i>						1,948 ± 0,025 ^d	0,232 ± 0,001 ^d	
		<i>RM</i>						1,756 ± 0,005 ^e	0,223 ± 0,000 ^e	
		<i>F-Si</i>						1,602 ± 0,038 ^f	0,215 ± 0,002 ^f	
		<i>Modified Chu's No.10 Johnson</i>						1,458 ± 0,013 ^g	0,207 ± 0,001 ^g	
		<i>F/2</i>						0,548 ± 0,016 ^h	0,126 ± 0,001 ^h	
		<i>Fog</i>						0,424 ± 0,027 ⁱ	0,104 ± 0,005 ⁱ	
		<i>Fogg's Nitrogen free</i>						0,344 ± 0,014 ^j	0,087 ± 0,003 ^j	
								0,223 ± 0,006 ^k	0,051 ± 0,004 ^k	
	0,200 ± 0,008 ^k	0,042 ± 0,003 ^k								
	0,101 ± 0,005 ^l	-0,015 ± 0,004 ^l								