

**PENGARUH LAJU ALIR LARUTAN ION LOGAM  
TEMBAGA (II) TERHADAP PERSENTASE  
REMOVAL PADA PROSES BIOSORPSI *Chlorella  
pyrenoidosa* DALAM FOTOBIOREAKTOR KONTINU**

**Laporan Penelitian**

Disusun untuk Memenuhi Tugas Akhir Guna Mencapai Gelar Sarjana  
di Bidang Ilmu Teknik Kimia

Oleh:

**Stevano Augusto**

(2017620060)

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**

**2022**

# **EFFECT OF COPPER (II) METAL ION SOLUTION FLOW RATE ON REMOVAL PERCENTAGE ON *Chlorella pyrenoidosa* BIOSORPTION PROCESS IN A CONTINUOUS PHOTOBIOREACTOR**

## **Research Report**

Compiled to fulfill the final project in order to achieve a degree Bachelor in Chemical Engineering

By:

**Stevano Augusto**

(2017620060)

Lecturer:

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

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



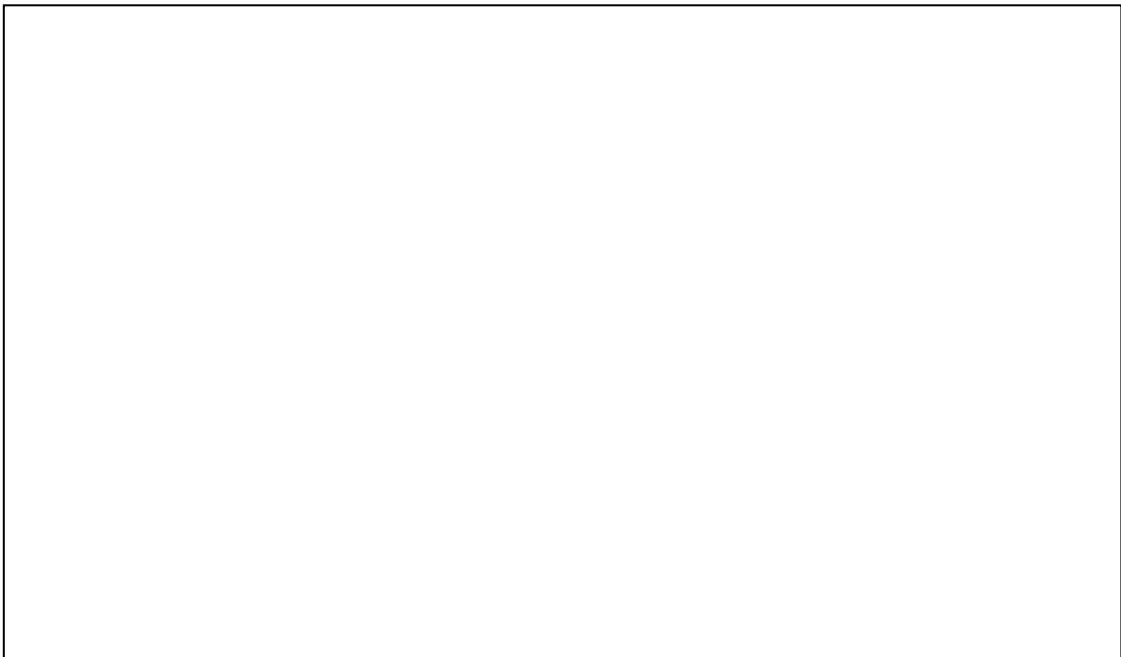
**CHEMICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY  
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY**

**2022**

## LEMBAR PENGESAHAN

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

**CATATAN :**



Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 31 Agustus 2022

Pembimbing 1



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

Pembimbing 2



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

## LEMBAR REVISI

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

**CATATAN :**

Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 26 Agustus 2022

Penguji 1



Dr. Ir. Asaf K. Sugih

Penguji 2



Dr. Angela Justina Kumalapatni, S.T., M.T.



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Stevano Augusto

NRP : 6217060

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul :

**PENGARUH LAJU ALIR LARUTAN ION LOGAM TEMBAGA (II) TERHADAP  
PERSENTASE *REMOVAL* PADA PROSES BIOSORPSI *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, 24 Agustus 2022



Stevano Augusto  
(2017620060)

## INTISARI

Seiring berkembangnya jaman, sektor industri di Indonesia terus bertumbuh. Namun dengan bertumbuhnya industri, dapat menyebabkan peningkatan jumlah limbah yang dihasilkan, terutama limbah-limbah yang berbahaya bagi kesehatan manusia serta lingkungan. Salah satu limbah berbahaya adalah limbah logam berat. Maka dari itu, perlu dilakukan pengolahan limbah agar dapat mengurangi pencemaran limbah. Biosorpsi merupakan salah satu metode dalam pengolahan limbah yang bersifat ramah lingkungan. Pada penelitian ini, limbah logam yang digunakan adalah ion logam tembaga (II) dan biosorben yang digunakan adalah *Chlorella pyrenoidosa*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju alir terhadap persentase *Removal* Ion logam tembaga (II) pada proses biosorpsi menggunakan *Chlorella pyrenoidosa* dalam fotobioreaktor kontinu.

Penelitian ini terdiri dari 4 tahap, yaitu kultivasi *Chlorella pyrenoidosa*, penentuan panjang gelombang maksimum ion logam tembaga (II), penentuan kurva standar ion logam tembaga (II), dan proses biosorpsi ion logam tembaga (II) menggunakan *Chlorella pyrenoidosa* dalam fotobioreaktor kontinu. Pada percobaan biosorpsi, dilakukan variasi laju alir, yaitu 3, 7, 11, 20, dan 30 mL/menit. Sampel akan dianalisis setiap 30 menit selama 7 jam untuk setiap variasi. Analisis untuk mengukur kepadatan sel *Chlorella pyrenoidosa* menggunakan *Haemocytometer* dengan bantuan mikroskop. Sedangkan untuk analisis konsentrasi ion logam tembaga (II) digunakan spektrofotometer UV-Vis dengan pengukuran % transmitansi pada panjang gelombang maksimum.

Pada hasil penelitian, kultivasi *Chlorella pyrenoidosa* menunjukkan pertumbuhan sel yang baik, terutama pada hari diantara hari ke-3 dan hari ke-4 terjadi pertumbuhan yang tinggi. Hasil persentase *removal* yang diperoleh menghasilkan kecenderungan semakin kecil laju alir, semakin besar persentase *removal*. Hasil persentase *removal* yang tertinggi terdapat pada variasi laju alir 3 mL/menit dengan persen *removal* sebesar 27,84%. Hasil penelitian juga menunjukkan, semakin besar laju alir akan lebih cepat terjadi kesetimbangan biosorpsi.

Kata Kunci: Biosorpsi, Logam Tembaga (II), *Chlorella pyrenoidosa*, Fotobioreaktor

## **ABSTRACT**

*Along with the development of the era, the industrial sector in Indonesia continues to grow. However, with the growth of the industry, it can lead to an increase in the amount of waste produced, especially liquid waste that is harmful to human health and the environment. One of the hazardous wastes is heavy metal waste. Therefore, it is necessary to treat waste in order to reduce waste pollution. Biosorption is one of the methods in waste treatment that is environmentally friendly. In this study, the metal waste used was copper metal ions (II) and the biosorbent used was *Chlorella pyrenoidosa*.*

*This research consisted of 4 stages, namely the cultivation of *Chlorella pyrenoidosa*, allowing the maximum wavelength of copper metal ions, forming a standard copper metal ion, and the biosorption process of copper metal ions (II) using *Chlorella pyrenoidosa* in a continuous photobioreactor. In the biosorption experiment, various flow rates were carried out, namely 3, 7, 11, 20, and 30 mL/minute. Samples will be analyzed every 30 minutes for 7 hours for each variation. Analysis to measure the density of *Chlorella pyrenoidosa* cells using a haemocytometer with the aid of a microscope. Meanwhile, for the analysis of the concentration of copper (II) metal ions, a UV-Vis spectrophotometer was used with the measurement of % transmittance at the maximum wavelength.*

*In the results of the study, the cultivation of *Chlorella pyrenoidosa* showed good cell growth, especially on the day between day 3 and day 4 there was significant growth. The result of the percentage removal obtained shows a tendency for the smaller the flow rate, the greater the percentage removal. The best percentage of removal was found in the variation of the flow rate of 3 mL/minute with a percent removal of 27.84%. The results of the study also, the greater the flow rate, the faster it will occur.*

*Keyword: Biosorption, Copper (II), *Chlorella pyrenoidosa*, Photobioreactor*

## KATA PENGANTAR

Puji sukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian yang berjudul “Pengaruh Laju Alir Larutan Ion Logam Tembaga (II) Terhadap Persentase *Removal* pada Proses Biosorpsi *Chlorella pyrenoidosa* Dalam Fotobioreaktor Kontinu”. Laporan penelitian ini disusun untuk memenuhi syarat mata kuliah CHE-183640-02 dan salah satu syarat mencapai gelar sarjana Teknik Kimia Universitas Katolik Parahyangan. Dengan kerendahan hati penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan penelitian ini, yaitu:

1. Ibu Y.I.P. Arry Miryanti, Ir., Msi., selaku Dosen Pembimbing yang memberikan bimbingan, pengarahan, dan saran dalam penyusunan laporan penelitian ini.
2. Bapak Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, dan saran dalam penyusunan laporan penelitian ini.
3. Keluarga penulis yang telah memberikan dukungan secara 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 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.

Bandung, 24 Agustus 2022

Penulis



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
LEMBAR REVISI.....	iii
SURAT PERNYATAAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiv
INTISARI .....	xvii
<i>ABSTRACT</i> .....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tema Sentral Masalah.....	3
1.3 Identifikasi Masalah .....	4
1.4 Premis.....	4
1.5 Hipotesis.....	4
1.6 Tujuan Penelitian.....	4
1.7 Manfaat Penelitian .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Biosorpsi .....	7
2.1.1 Perbandingan Mikroorganisme sebagai Biosorben.....	8
2.1.2 Mekanisme Biosorpsi.....	9
2.1.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Biosorpsi.....	11
2.2.1 Fase Pertumbuhan Mikroalga.....	14

2.2.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Mikroalga .....	15
2.2.3 Fotosintesis oleh Mikroalga .....	17
2.2.4 Perhitungan Kepadatan Sel dan Laju Pertumbuhan Sel.....	18
2.3 <i>Chlorella sp.</i> .....	19
2.3.1 Kultivasi <i>Chlorella sp.</i> .....	20
2.3.2 Komponen dalam Medium yang dibutuhkan Untuk Kultivasi <i>Chlorella sp.</i> ....	22
2.4 Fotobioreaktor .....	23
2.4.1 Jenis-jenis Fotobioreaktor .....	24
2.4.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Fotobioreaktor.....	27
2.4.3 Fotobioreaktor <i>Flat-Panel/Plate</i> .....	28
2.5 Logam pada Limbah.....	29
2.5.1 Jenis-jenis Logam Berat dan Dampaknya.....	30
2.5.1 Limbah Tembaga (Cu) .....	31
2.5.2 Spektrofotometer UV-Vis .....	32
2.5.3 Persentase Removal.....	34
2.6 Penelitian Biosorpsi Logam .....	34
2.6.1 Penelitian Biosorpsi oleh Valdman (2001) .....	34
2.6.2 Penelitian Biosorpsi oleh Bulgariu (2013).....	35
2.6.3 Penelitian Biosorpsi oleh Migahed dkk (2016).....	35
2.6.4 Penelitian Biosorpsi oleh Guzman (2021) .....	36
2.6.5 Penelitian Biosorpsi oleh Gumilang (2020) .....	36
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>37</b>
3.1 Bahan.....	37
3.2 Alat .....	38
3.3 Prosedur Kerja.....	39
3.3.1 Kultivasi <i>Chlorella pyrenoidosa</i> .....	39
3.3.2 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Larutan Ion Logam Tembaga (II)	40

3.3.3 Penentuan Kurva Standar Larutan Ion Logam Tembaga (II).....	41
3.3.4 Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> .....	42
3.4 Analisis Data .....	43
3.4.1 Analisis Kepadatan Sel .....	44
3.4.2 Analisis Persentase Removal .....	44
3.5 Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian .....	44
<b>BAB IV PEMBAHASAN</b> .....	<b>46</b>
4.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Larutan Ion Logam Tembaga (II) .....	46
4.2 Penentuan Kurva Standar Konsentrasi Larutan Ion Logam Tembaga (II).....	46
4.3 Kultivasi <i>Chlorella pyrenoidosa</i> .....	47
4.4 Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> dengan Fotobioreaktor Kontinu .....	49
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>56</b>
5.1 Kesimpulan .....	56
5.2 Saran.....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>57</b>
<b>LAMPIRAN A MATERIAL SAFETY DATA SHEET</b> .....	<b>62</b>
<b>LAMPIRAN B PROSEDUR ANALISIS</b> .....	<b>78</b>
<b>LAMPIRAN C HASIL PENGAMATAN DAN HASIL ANTARA</b> .....	<b>81</b>
<b>LAMPIRAN D GRAFIK</b> .....	<b>96</b>
<b>LAMPIRAN E CONTOH PERHITUNGAN</b> .....	<b>125</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b>	Pertumbuhan Industri Non Migas dan Pertumbuhan Ekonomi Nasional....	1
<b>Gambar 2. 1</b>	Mekanisme Biosorpsi .....	9
<b>Gambar 2. 2</b>	Fase Pertumbuhan Mikroalga .....	14
<b>Gambar 2. 3</b>	<i>Light Reaction</i> dan <i>Dark Reaction</i> pada Fotosintesis Mikroalga .....	18
<b>Gambar 2.4</b>	<i>Haemocytometer</i> .....	19
<b>Gambar 2. 5</b>	<i>Chlorella pyrenoidosa</i> .....	20
<b>Gambar 2. 6</b>	Fotobioreaktor Sistem Terbuka dan Fotobioreaktor Sistem Tertutup .....	26
<b>Gambar 2. 7</b>	Fotobioreaktor <i>Flat-plate</i> .....	29
<b>Gambar 3. 1</b>	Skema Rangkaian Alat Percobaan.....	38
<b>Gambar 3. 2</b>	Skema Rangkaian Alat Kultivasi <i>Chlorella pyrenoidosa</i> .....	39
<b>Gambar 3. 3</b>	Diagram Alir Kultivasi <i>Chlorella pyrenoidosa</i> .....	41
<b>Gambar 3. 4</b>	Diagram Penentuan Panjang Gelombang Maksimum.....	42
<b>Gambar 3. 5</b>	Diagram Alir Penentuan Kurva Standar Konsentrasi Logam Tembaga....	43
<b>Gambar 3. 6</b>	Diagram Alir Biosorpsi Logam Tembaga Menggunakan <i>Chlorella</i> sp. ....	44
<b>Gambar 4.1</b>	Kurva Panjang Gelombang Maksimum .....	47
<b>Gambar 4.2</b>	Kurva Standar Larutan Ion Logam Tembaga (II).....	48
<b>Gambar 4.3</b>	Pertumbuhan Hasil Kultivasi <i>Chlorella pyrenoidosa</i> .....	49
<b>Gambar 4.4</b>	(a) Kultivasi <i>Chlorella pyrenoidosa</i> (b) Sel <i>Chlorella pyrenoidosa</i> pada <i>Haemocytometer</i> .....	49
<b>Gambar 4.5</b>	Rangkaian Alat Fotobioreaktor <i>Flat Panel</i> .....	50
<b>Gambar 4.6</b>	Persentase <i>Removal</i> Proses Biosorpsi pada Berbagai Variasi Laju Alir ...	51
<b>Gambar 4.7</b>	Kepadatan Sel <i>Chlorella pyrenoidosa</i> dalam Fotobioreaktor .....	54
<b>Gambar 4.8</b>	Kepadatan Sel <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Keluaran Fotobioreaktor .....	54
<b>Gambar 4.9</b>	Sel <i>Chlorella pyrenoidosa</i> pada Sampel dan Tangki Keluaran.....	55
<b>Gambar B. 1</b>	Diagram Alir Analisis Kepadatan Sel Menggunakan <i>Haecytometer</i> .....	79
<b>Gambar B. 2</b>	Diagram Alir Analisis Konsentrasi Ion Logam Tembaga (II).....	80
<b>Gambar D.1</b>	Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Larutan Ion Logam Tembaga (II).....	91
<b>Gambar D.2</b>	Pembuatan Kurva Standar Larutan Ion Logam Tembaga (II).....	97
<b>Gambar D.3</b>	Pertumbuhan Sel <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Hasil Kultivasi.....	98

<b>Gambar D.4</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 3 mL/menit .....	98
<b>Gambar D.5</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 3 mL/menit (1 jam).....	98
<b>Gambar D.6</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 7 mL/menit (1 jam).....	99
<b>Gambar D.7</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 11 mL/menit .....	99
<b>Gambar D.8</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 11 mL/menit (1 jam).....	100
<b>Gambar D.9</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 20 mL/menit .....	100
<b>Gambar D.8</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 11 mL/menit (1 jam).....	100
<b>Gambar D.9</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 20 mL/menit .....	100
<b>Gambar D.10</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 20 mL/menit .....	100
<b>Gambar D.11</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 30 mL/menit .....	101
<b>Gambar D.12</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 30 mL/menit (1 jam).....	101
<b>Gambar D.13</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 3 mL/menit .....	102
<b>Gambar D.14</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 3 mL/menit (1 jam).....	102
<b>Gambar D.15</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 7 mL/menit .....	103
<b>Gambar D.16</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 7 mL/menit (1 jam).....	103
<b>Gambar D.17</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 11 mL/menit .....	104
<b>Gambar D.18</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 11 mL/menit (1 jam).....	104
<b>Gambar D.19</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 20 mL/menit .....	105
<b>Gambar D.20</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 20 mL/menit (1 jam).....	105
<b>Gambar D.21</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 30 mL/menit .....	105
<b>Gambar D.22</b>	Persentase <i>Removal</i> Tempuhan 30 mL/menit (1 jam).....	106
<b>Gambar D.23</b>	Kepadatan Sel dalam Fotobioreaktor Tempuhan 3 mL/menit.....	106
<b>Gambar D.24</b>	Kepadatan Sel dalam Fotobioreaktor Tempuhan 3 mL/menit (1 jam)....	107
<b>Gambar D.25</b>	Kepadatan Sel dalam Fotobioreaktor Tempuhan 7 mL/menit.....	107
<b>Gambar D.26</b>	Kepadatan Sel dalam Fotobioreaktor Tempuhan 7 mL/menit (1 jam)....	108

<b>Gambar D.27</b>	Kepadatan Sel dalam Fotobioreaktor Tempuhan 11 mL/menit.....	108
<b>Gambar D.28</b>	Kepadatan Sel dalam Fotobioreaktor Tempuhan 11 mL/menit (1 jam)..	109
<b>Gambar D.29</b>	Kepadatan Sel dalam Fotobioreaktor Tempuhan 20 mL/menit .....	109
<b>Gambar D.30</b>	Kepadatan Sel dalam Fotobioreaktor Tempuhan 20 mL/menit (1 jam)..	110
<b>Gambar D.31</b>	Kepadatan Sel dalam Fotobioreaktor Tempuhan 30 mL/menit.....	110
<b>Gambar D.32</b>	Kepadatan Sel dalam Fotobioreaktor Tempuhan 30 mL/menit (1 jam)..	111
<b>Gambar D.32</b>	Kepadatan Sel dalam Fotobioreaktor Tempuhan 3 mL/menit Duplo.....	111
<b>Gambar D.33</b>	Kepadatan Sel dalam Fotobioreaktor Tempuhan 3 mL/menit Duplo (1 jam) .....	111
<b>Gambar D.34</b>	Kepadatan Sel dalam Fotobioreaktor Tempuhan 7 mL/menit Duplo.....	112
<b>Gambar D.35</b>	Kepadatan Sel dalam Fotobioreaktor Tempuhan 7 mL/menit Duplo (1 jam) .....	112
<b>Gambar D.36</b>	Kepadatan Sel dalam Fotobioreaktor Tempuhan 11 mL/menit Duplo....	112
<b>Gambar D.37</b>	Kepadatan Sel dalam Fotobioreaktor Tempuhan 11 mL/menit Duplo (1 jam) .....	113
<b>Gambar D.38</b>	Kepadatan Sel dalam Fotobioreaktor Tempuhan 20 mL/ menit Duplo .....	113
<b>Gambar D.39</b>	Kepadatan Sel dalam Fotobioreaktor Tempuhan 20 mL/menit Duplo (1 jam).....	114
<b>Gambar D.40</b>	Kepadatan Sel dalam Fotobioreaktor Tempuhan 30 mL/menit Duplo....	114
<b>Gambar D.41</b>	Kepadatan Sel dalam Fotobioreaktor Tempuhan 30 mL/menit Duplo (1 jam) .....	115
<b>Gambar D.42</b>	Kepadatan Sel Keluar Fotobioreaktor Tempuhan 30 mL/menit .....	115
<b>Gambar D.43</b>	Kepadatan Sel Keluar Fotobioreaktor Tempuhan 30 mL/menit (1 jam).	116
<b>Gambar D.44</b>	Kepadatan Sel Keluar Fotobioreaktor Tempuhan 7 mL/menit .....	116
<b>Gambar D.45</b>	Kepadatan Sel Keluar Fotobioreaktor Tempuhan 7 mL/menit (1 jam)...	116

<b>Gambar D.46</b>	Kepadatan Sel Keluar Fotobioreaktor Tempuhan 11 mL/menit .....	117
<b>Gambar D.48</b>	Kepadatan Sel Keluar Fotobioreaktor Tempuhan 20 mL/menit .....	118
<b>Gambar D.49</b>	Kepadatan Sel Keluar Fotobioreaktor Tempuhan 20 mL/menit (1 jam).	118
<b>Gambar D.50</b>	Kepadatan Sel Keluar Fotobioreaktor Tempuhan 30 mL/menit .....	118
<b>Gambar D.51</b>	Kepadatan Sel Keluar Fotobioreaktor Tempuhan 30 mL/menit .....	119
<b>Gambar D.52</b>	Kepadatan Sel Keluar Fotobioreaktor Tempuhan 3 mL/menit Duplo ....	119
<b>Gambar D.53</b>	Kepadatan Sel Keluar Fotobioreaktor Tempuhan 3 mL/menit Duplo (1 jam) .....	120
<b>Gambar D.54</b>	Kepadatan Sel Keluar Fotobioreaktor Tempuhan 7 mL/menit Duplo ....	120
<b>Gambar D.55</b>	Kepadatan Sel Keluar Fotobioreaktor Tempuhan 7 mL/menit Duplo (1 jam).....	121
<b>Gambar D.56</b>	Kepadatan Sel Keluar Fotobioreaktor Tempuhan 11 mL/menit Duplo ..	121
<b>Gambar D.57</b>	Kepadatan Sel Keluar Fotobioreaktor Tempuhan 11 mL/menit Duplo (1 jam).....	122
<b>Gambar D.58</b>	Kepadatan Sel Keluar Fotobioreaktor Tempuhan 20 mL/menit Duplo ..	122
<b>Gambar D.59</b>	Kepadatan Sel Keluar Fotobioreaktor Tempuhan 20 mL/menit Duplo (1 jam).....	123
<b>Gambar D.60</b>	Kepadatan Sel Keluar Fotobioreaktor Tempuhan 30 mL/menit Duplo ..	123
<b>Gambar D.61</b>	Kepadatan Sel Keluar Fotobioreaktor Tempuhan 30 mL/menit Duplo (1 jam).....	123
<b>Gambar D.62</b>	Persentase <i>removal</i> Setiap Tempuhan Rata-rata .....	124
<b>Gambar D.63</b>	Persentase <i>removal</i> Setiap Tempuhan Rata-rata (1 jam).....	124
<b>Gambar D.64</b>	Kepadatan Sel Dalam Fotobioreaktor Setiap Tempuhan Rata-rata.....	124
<b>Gambar D.65</b>	Kepadatan Sel Dalam Fotobioreaktor Setiap Tempuhan Rata-rata (1 jam).....	125
<b>Gambar D.66</b>	Kepadatan Sel Keluaran Fotobioreaktor Setiap Tempuhan Rata-rata.....	125

**Gambar D.67** Kepadatan Sel Keluaran Fotobioreaktor Setiap Tempuhan Rata-rata (1 jam)  
..... 125



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1. 1</b>	Premis.....	6
<b>Tabel 2. 1</b>	Kelebihan dan Kekurangan Mikroorganisme sebagai Biosorben.....	8
<b>Tabel 2. 2</b>	Jenis-Jenis Media Kultivasi untuk <i>Chlorella pyrenoidosa</i> .....	21
<b>Tabel 2. 3</b>	Komposisi Trace Metal untuk Media BG-11 .....	22
<b>Tabel 2. 4</b>	Komposisi Media BG-11 .....	23
<b>Tabel 3. 1</b>	Komposisi pupuk walne non-vitamin .....	37
<b>Tabel 3. 3</b>	Jadwal Kerja Penelitian.....	46
<b>Tabel 4.1</b>	Perbandingan Persentase <i>Removal</i> .....	56
<b>Tabel C.1</b>	Penentuan Panjang Gelombang Maksimum .....	82
<b>Tabel C.2</b>	Pembuatan Kurva Standar Larutan Ion Logam Tembaga (II).....	82
<b>Tabel C.3</b>	Pembuatan Kurva Standar Larutan Ion Logam Tembaga (II).....	83
<b>Tabel C.4</b>	Hasil Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> pada Fotobioreaktor Kontinu 3 mL/menit.....	84
<b>Tabel C.5</b>	Hasil Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> pada Fotobioreaktor Kontinu 3 mL/menit.....	84
<b>Tabel C.6</b>	Hasil Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> pada Fotobioreaktor Kontinu 7 mL/menit.....	85
<b>Tabel C.7</b>	Hasil Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> pada Fotobioreaktor Kontinu 7 mL/menit.....	85
<b>Tabel C.8</b>	Hasil Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> pada Fotobioreaktor Kontinu 11 mL/menit.....	86
<b>Tabel C.9</b>	Hasil Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> pada Fotobioreaktor Kontinu 11 mL/menit (1 jam) .....	86
<b>Tabel C.10</b>	Hasil Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> pada Fotobioreaktor Kontinu 20 mL/menit .....	87

<b>Tabel C.11</b>	Hasil Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> pada Fotobioreaktor Kontinu 20 mL/menit.....	87
<b>Tabel C.12</b>	Hasil Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> pada Fotobioreaktor Kontinu 30 mL/menit.....	88
<b>Tabel C.13</b>	Hasil Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> pada Fotobioreaktor Kontinu 30 mL/menit.....	88
<b>Tabel C.14</b>	Hasil Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> pada Fotobioreaktor Kontinu 3 mL/menit Duplo.....	89
<b>Tabel C.15</b>	Hasil Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> pada Fotobioreaktor Kontinu 3 mL/menit Duplo (1 jam) .....	89
<b>Tabel C.16</b>	Hasil Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Pada Fotobioreaktor Kontinu 7 mL/menit Duplo.....	90
<b>Tabel C.17</b>	Hasil Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Pada Fotobioreaktor Kontinu 7 mL/menit Duplo (1 jam) .....	90
<b>Tabel C.18</b>	Hasil Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Pada Fotobioreaktor Kontinu 11 mL/menit Duplo.....	91
<b>Tabel C.19</b>	Hasil Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Pada Fotobioreaktor Kontinu 11 mL/menit Duplo (1 jam) .....	91
<b>Tabel C.20</b>	Hasil Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Pada Fotobioreaktor Kontinu 20 mL/menit Duplo .....	92
<b>Tabel C.21</b>	Hasil Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunaka <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Pada Fotobioreaktor Kontinu 20 mL/menit Duplo (1 jam) .....	92
<b>Tabel C.22</b>	Hasil Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Pada Fotobioreaktor Kontinu 30 mL/menit Duplo .....	93
<b>Tabel C.23</b>	Hasil Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Pada Fotobioreaktor Kontinu 30 mL/menit Duplo (1 jam) .....	93
<b>Tabel C.24</b>	Persentase <i>removal</i> rata-rata Hasil Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> .....	94

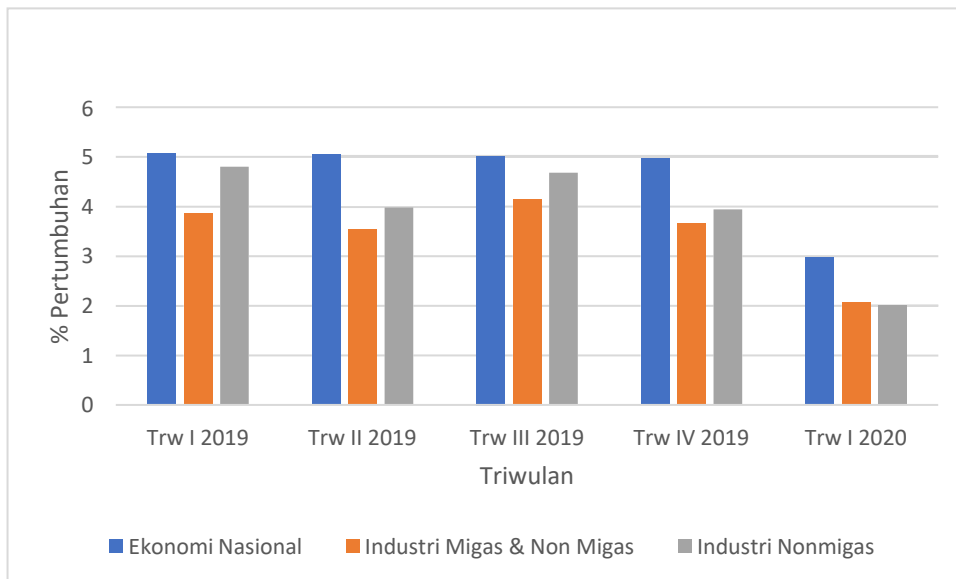
<b>Tabel C.25</b>	Persentase <i>removal</i> rata-rata Hasil Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) Menggunakan <i>Chlorella pyrenoidosa</i> (1 jam) .....	94
<b>Tabel C.26</b>	Kepadatan Sel <i>Chlorella pyrenoidosa</i> dalam Fotobioreaktor Pada Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II).....	95
<b>Tabel C.27</b>	Kepadatan Sel <i>Chlorella pyrenoidosa</i> dalam Fotobioreaktor Pada Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) (1 jam) .....	95
<b>Tabel C.28</b>	Kepadatan Sel <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Keluaran Fotobioreaktor Pada Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II).....	96
<b>Tabel C.28</b>	Kepadatan Sel <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Keluaran Fotobioreaktor Pada Proses Biosorpsi Ion Logam Tembaga (II) (1 jam) .....	96

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring berkembangnya zaman, berbagai macam industri terus meningkat yang memproduksi berbagai produk ditambah dengan teknologi yang juga semakin berkembang dan mendukung perkembangan industri. Hal ini juga berlaku di Indonesia, banyak industri di Indonesia yang terus berkembang dan juga banyak industri baru. Namun, dibalik perkembangan tersebut, industri-industri tersebut mampu menghasilkan zat-zat yang berbahaya melalui limbah industri. Limbah industri tersebut dapat membahayakan manusia dan juga lingkungan. Salah satu jenis limbah yang berbahaya adalah limbah yang mengandung logam. Logam-logam tersebut berbahaya jika tercemar ke lingkungan.



**Gambar 1.1** Pertumbuhan Industri Non Migas dan Pertumbuhan Ekonomi Nasional (Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2020)

Jika dilihat pada **Gambar 1.1**, menurut Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, pertumbuhan industri non migas di Indonesia tetap meningkat, namun persentase pertumbuhan tidak selalu meningkat setiap triwulan. Pada triwulan I, pertumbuhan sebesar 4,80% dan triwulan II 2019 sebesar 3,98% yang menunjukkan terjadinya penurunan. Pada triwulan III 2019 terjadi peningkatan menjadi 4,68%. Kemudian penurunan terus berlangsung dari triwulan IV 2019 dan triwulan I 2020, yaitu sebesar 3,94% dan 2,01%.

Namun, seiring peningkatan pertumbuhan industri, jumlah limbah yang dibuang ke lingkungan juga semakin meningkat. Salah satu jenis limbah yang berbahaya adalah logam berat dan jenis logam berat yang sering mencemari lingkungan adalah tembaga (Cu) (Sekarwati, 2015). Terdapat beberapa industri yang menghasilkan limbah tembaga (Cu), yaitu seperti industri pestisida, industri peleburan dan pemurnian tembaga, industri tekstil, industri manufaktur dan perakitan kendaraan dan mesin, industri elektroplating dan galvanis, industri elektronik, dan lain-lain. Logam tembaga (II) dapat menyebabkan berbagai penyakit pada manusia jika terpapar secara berlebihan. Logam tembaga (II) dapat menyebabkan iritasi dan korosi mukosa, kerusakan pada kapiler, hati dan ginjal, iritasi pada sistem saraf, iritasi gastrointestinal kritis, dan perubahan neurotik pada ginjal dan hati (J. Singh dan Kalamdhad, 2011). Menurut *World Health Organization* (WHO), kadar tembaga (II) dalam air minum tidak boleh melebihi 2 mg/L (Al-Saydeh et al., 2017). Maka dari itu, perlu dilakukan pengolahan limbah untuk mengurangi kadar logam berat dalam suatu limbah sehingga tidak mencemari lingkungan.

Terdapat berbagai jenis pengolahan limbah, pada garis besar pengolahan limbah dibagi menjadi 3 metode, yaitu fisika, kimia, dan biologi. Pengolahan secara fisika pada umumnya merupakan penyaringan, pengapungan, dan sedimentasi. Sedangkan jenis-jenis pengolahan limbah secara kimia pada umumnya adalah koagulasi & flokulasi, netralisasi, dan presipitasi. Pengolahan secara fisika dan kimia cenderung memiliki biaya yang mahal untuk mengolah limbah dan dapat menghasilkan lumpur yang beracun. Pengolahan limbah secara biologi merupakan proses yang menggunakan mikroorganisme untuk penghilangan kontaminan dalam suatu limbah. Sudah banyak penelitian yang mengatakan bahwa mikroorganisme dapat menyerap logam berat yang bersifat toksik (Aksu, 1998). Salah satu metode pengolahan limbah secara biologi adalah biosorpsi. Metode tersebut memiliki sifat yang ramah lingkungan dan tidak menghasilkan zat yang beracun. Pada proses biosorpsi digunakan mikroalga, bakteri, dan jamur sebagai adsorben untuk menyerap kontaminan dalam limbah.

Mikroalga merupakan salah satu mikroorganisme yang sering digunakan dalam proses biosorpsi. Terdapat beberapa jenis logam yang digunakan dalam pertumbuhan alga, namun jika jumlah logam berlebihan dapat menimbulkan racun (Sekarwati, 2015). *Chlorella sp.* adalah salah satu spesies mikroalga yang dapat digunakan dalam proses biosorpsi. *Chlorella sp.* merupakan mikroalga yang lebih umum dikenal, namun diantaranya terdapat *Chlorella pyrenoidosa*. Selain biosorpsi, *Chlorella sp.* juga digunakan dalam berbagai hal,

seperti obat-obatan, pakan ternak aditif, kosmetik, dan alternatif biodiesel (Aprilliyanti et al., 2016; Marques et al., 2012). *Chlorella pyrenoidosa* juga dapat hidup di lingkungan yang tercemar dan memanfaatkan logam berat sebagai logam esensial untuk metabolisme (Aprilliyanti, 2016). Pada penelitian ini juga dipilihnya *Chlorella pyrenoidosa* sebagai biosorben karena masih belum banyak penelitian biosorpsi yang menggunakan *Chlorella pyrenoidosa* sebagai biosorben, terutama pada proses biosorpsi secara kontinu dengan kondisi biosorben yang hidup. Biosorpsi memiliki beberapa keuntungan, diantaranya adalah dapat dilakukan di tempat terkontaminasi atau diluar tempat terkontaminasi, ramah lingkungan, dan memiliki biaya yang rendah serta efektif (Vijayaraghavan & Yun, 2008).

Pada penelitian ini, dilakukan proses biosorpsi logam tembaga (Cu) dengan menggunakan *Chlorella pyrenoidosa* dengan sistem kontinu. Proses biosorpsi logam tersebut menggunakan alat fotobioreaktor jenis *flate-panel*. Fotobioreaktor didesain untuk kultivasi mikroorganisme dengan menggunakan cahaya (Chang et al., 2014). Fotobioreaktor *flat-panel* memiliki desain yang paling kuat untuk kultivasi mikroalga (Carvalho et al., 2014). Fotobioreaktor jenis *flate-panel* cocok untuk skala laboratorium atau skala kecil (Chang et al., 2014). Selain itu, fotobioreaktor *flate-panel* juga memiliki beberapa kelebihan menurut Carvalho, dkk (2014), yaitu memiliki harga yang cenderung murah dan mudah dibersihkan. Penelitian proses biosorpsi logam dengan mikroalga sudah banyak dilakukan, namun penelitian biosorpsi dengan sistem kontinu masih tergolong sedikit. Sedangkan, pada pengolahan limbah dan proses produksi pada skala industri lebih banyak menggunakan sistem kontinu. Pada sistem kontinu, laju alir merupakan salah satu faktor terpenting dan di setiap industri yang telah berdiri memiliki laju alir yang berbeda-beda. Sehingga, diharapkan melalui penelitian ini dapat membantu mengurangi pencemaran limbah logam dan dampak negatif logam berat terutama logam tembaga (II) pada lingkungan. Selain itu diharapkan juga, penelitian ini dapat berkontribusi bagi industri dalam pemilihan laju alir yang tepat untuk pengolahan limbah logam tembaga (II) yang dihasilkan oleh suatu industri dengan proses biosorpsi.

## 1.2 Tema Sentral Masalah

Waktu kontak ion logam tembaga (II) dengan biosorben merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi hasil biosorpsi. Pada penelitian ini, digunakan fotobioreaktor dengan sistem kontinu, maka dalam penelitian ini waktu kontak dipengaruhi oleh laju alir dari larutan ion logam tembaga (II). Selain itu, industri-industri pada umumnya memiliki sistem yang kontinu dan salah satu faktor

terpenting dalam sistem kontinu adalah laju alir. Industri-industri juga memiliki limbah dan terdapat beberapa limbah yang menghasilkan limbah tembaga (II), seperti industri peptisida, industri tekstil, industri elektronik, dan sebagainya. Limbah yang dihasilkan juga pada umumnya dialirkan secara kontinu. Sehingga penelitian ini difokuskan untuk mengetahui pengaruh laju alir larutan ion logam tembaga (II) terhadap persentase *removal* pada proses biosorpsi menggunakan *Chlorella pyrenoidosa* dalam fotobioreaktor kontinu.

### 1.3 Identifikasi Masalah

Bagaimana pengaruh laju alir larutan ion logam tembaga (II) terhadap persentase *removal* pada proses biosorpsi menggunakan *Chlorella pyrenoidosa* dalam fotobioreaktor kontinu?

### 1.4 Premis

Penelitian lain yang melakukan biosorpsi logam berat pada sistem kontinu dengan berbagai variasi kondisi operasi dapat dilihat pada **Tabel 1.1**

### 1.5 Hipotesis

Laju alir ion logam tembaga (II) mempengaruhi persentase *removal* pada proses biosorpsi menggunakan *Chlorella pyrenoidosa* dalam fotobioreaktor dengan sistem kontinu, dimana semakin lambat laju alir larutan ion logam tembaga (II) maka semakin tinggi persentase *removal* hingga biosorben mencapai titik jenuh.

### 1.6 Tujuan Penelitian

Mengetahui pengaruh laju alir ion logam tembaga (II) terhadap persentase *removal* pada proses biosorpsi menggunakan *Chlorella pyrenoidosa* dalam fotobioreaktor dengan sistem kontinu.

### 1.7 Manfaat Penelitian

#### a. Bagi Peneliti

Melalui penelitian ini, diharapkan peneliti dapat mengetahui pengaruh laju alir dari ion logam tembaga (II) terhadap persentase *removal* oleh pada proses biosorpsi menggunakan *Chlorella pyrenoidosa* dalam fotobioreaktor dengan sistem kontinu.

#### b. Bagi Industri

Melalui penelitian ini, diharapkan industri dapat mempertimbangkan untuk menggunakan proses biosorpsi dengan sistem kontinu menggunakan fotobioreaktor

sebagai alternatif pengolahan limbah.

c. Bagi Masyarakat

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat mengurangi pencemaran limbah terutama limbah logam tembaga (II) pada lingkungan yang dapat mengganggu kesehatan masyarakat.

d. Bagi Pemerintah

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat membantu pemerintah dalam mengatasi permasalahan limbah industri terutama limbah logam tembaga (II).



Tabel 1.1 Premis

No	Jenis Biosorben	Kondisi Biosorpsi					Jenis reaktor	Metode Analisis	Hasil <i>removal logam</i> Penelitian (Optimum)
		pH	Konsentrasi Mikroalga	Konsentrasi Logam	Cahaya	Laju Alir Larutan Logam			
1	<i>Chlorella sp.</i>	4,5-5,0	10.000.000 sel/mL	Cu(II): 40 ppm	2 buah lampu LED 5 watt	7 mL/menit	<i>photobioreactor flat-panel</i>	Spektrofotometer UV/Vis	18,47%
2	<i>Sargassum sp.</i> (mati)	4,5	0,1 g (volume unggun = 0,314 cm <sup>3</sup> )	Cu(II) & Zn (II): 10 mg/L	-	Cu 1 mL/menit Zn 1 mL/menit Zn 3,6 mL/menit	Fixed-bed mini-column reactor	Smith et al and Sandell Modified Spectrophotometric	92,97% 80,77% 73,05%
3	Campuran <i>Ulva lactusa sp.</i> (mati) dan resin Purolite A-100	5	2,0 g	Pb(II): 0,34 mmol/L	-	3,5 mL/menit 4 mL/menit	packed-bed column	Breakthrough Analysis	60,87% 57,55%
4	<i>Microbial Biomass Consortia</i> (Cr3BA, Cr5FA, Pb26BSP, Cr15BW, Pb11BW and Pb55BSU)	8,5	-	Cr (IV): 100 ppm	-	8 mL/menit	<i>fixed bed reactor</i>	Atomic Absorption Spectrophotometer	73%
		7				8 mL/menit			85%
		7				1 mL/menit			90,70%
		6				5 mL/menit			98,90%
		6				11 mL/menit			82
5	<i>Spirulina</i>	5,23	10 g	4 ppm 20 ppm	-	1,6 mL/menit	fixed bed reactor	AAS (Varian SpectrAA-110)	47,98 mg/g 202,85 mg/g

- 1) Gumilang, 2020
- 2) Valdman et al., 2003
- 3) Bulgariu, 2013
- 4) Migahed etl al., 2001
- 5) Guzman, 2021