

**PENGARUH pH, KONSENTRASI LOGAM, DAN SALINITAS TERHADAP
PERSENTASE *REMOVAL* DALAM PROSES BIOSORPSI ION LOGAM
KROMIUM(VI) MENGGUNAKAN MIKROALGA *CHLORELLA sp.***

CHE 184650.04 Laporan Penelitian

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

oleh :

Dimas Saptoaji

(2015620036)

Pembimbing :

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

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



**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : Pengaruh pH, Konsentrasi Logam, dan Salinitas Terhadap Persentase *Removal* dalam Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium(VI) Menggunakan Mikroalga *Chlorella sp.*

Catatan :



Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 6 Januari 2020

Pembimbing Utama

Ko - Pembimbing

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

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



JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dimas Saptoaji

NRP : 2015620036

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul:

**PENGARUH pH, KONSENTRASI LOGAM, DAN SALINITAS TERHADAP
PERSENTASE REMOVAL DALAM PROSES BIOSORPSI ION LOGAM
KROMIUM(VI) MENGGUNAKAN MIKROALGA *CHLORELLA sp.***

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.

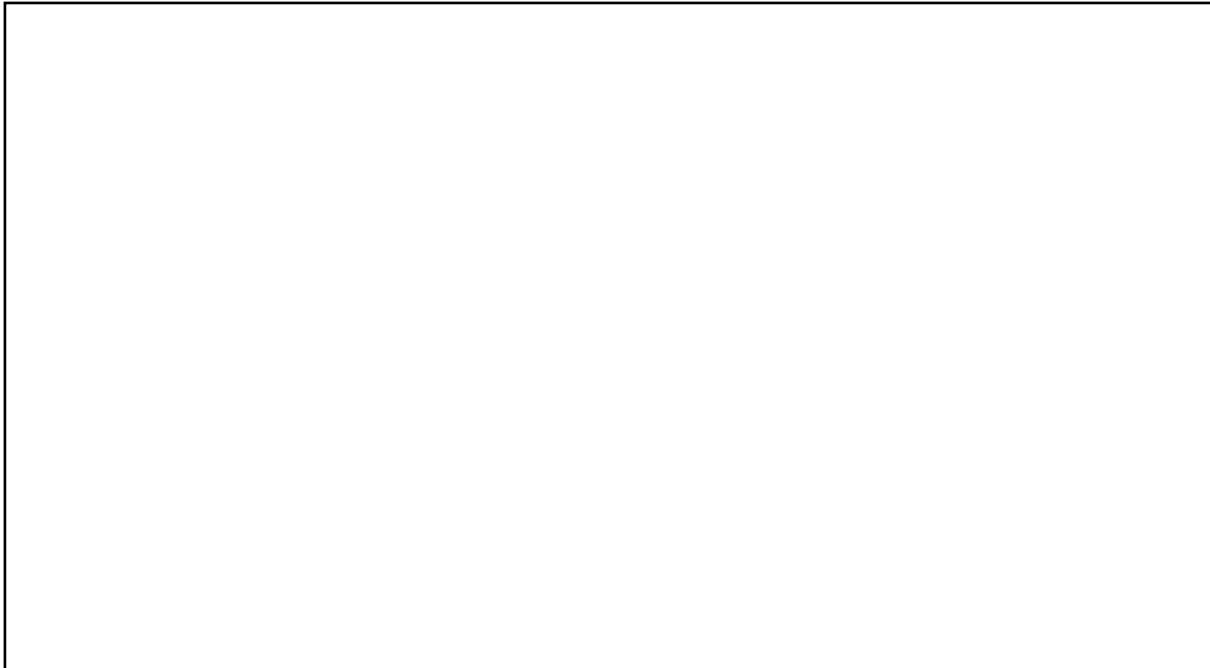
Bandung, 3 Januari 2020

Dimas Saptoaji
(2015620036)

LEMBAR REVISI

Judul : Pengaruh pH, Konsentrasi Logam, dan Salinitas Terhadap Persentase *Removal* dalam Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium(VI) Menggunakan Mikroalga *Chlorella sp.*

CATATAN :



Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 6 Januari 2020

Penguji 1

Penguji 2

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

Hans Kristianto, S.T., M.T.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan anugerah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian dengan judul “Pengaruh pH, Konsentrasi Logam, dan Salinitas Terhadap Persentase *Removal* dalam Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium(VI) Menggunakan Mikroalga *Chlorella sp.*” yang merupakan persyaratan kelulusan di Jurusan Teknik Kimia, Universitas Katolik Parahyangan. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu Ir.Y.I.P. Arry Miryanti, M.Si. dan Bapak Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng. , selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberi bimbingan, nasehat, dan saran selama penyusunan laporan ini.
2. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan berupa doa, semangat dan material selama ini.
3. Teman – teman kuliah jurusan teknik kimia angkatan 2014, dan 2015 atas dukungan doa dan semangat, serta orang - orang lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak memberikan saran dan dukungan selama proses penyusunan laporan berlangsung.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat menghargai dan mengharapkan saran dan kritik dari pembaca. Penulis berharap laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan perkembangan ilmu pengetahuan. Akhir kata, penulis mengucapkan banyak terima kasih atas perhatian yang telah diberikan.

Bandung, 3 Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
LEMBAR REVISI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
ABSTRAK	xx
<i>ABSTRACT</i>	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tema Sentral Masalah	3
1.3 Identifikasi Masalah.....	3
1.4 Premis	3
1.5 Hipotesis	3
1.6 Tujuan Penelitian	3
1.7 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Logam Berat	6
2.1.1 Jenis-Jenis Logam Berat.....	7
2.2 Biosorpsi	13
2.2.1 Mekanisme Biosorpsi	13

2.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Proses Biosorpsi.....	14
2.2.3 Biosorben.....	16
2.3 Mikroalga.....	17
2.3.1 Inokulasi Mikroalga	20
2.3.2 Kultivasi Mikroalga	21
2.3.3 Fase Pertumbuhan Mikroalga.....	24
2.4 <i>Chlorella sp.</i>	25
2.5 Penelitian Tentang Biosorpsi Logam Kromium Menggunakan <i>Chlorella sp.</i>	30
2.6 Analisis	35
2.6.1 Perhitungan Julah Sel dengan <i>Haemocytometer</i>	35
2.6.2 Analisis Konsentrasi Sel dengan Metode Turbidimetri	36
2.6.3 Analisis Kandungan Ion Cr ⁶⁺ dalam Larutan	38
BAB III METODE PENELITIAN	40
3.1 Bahan	41
3.2 Peralatan.....	42
3.3 Prosedur Percobaan.....	43
3.3.1 Inokulasi Mikroalga <i>Chlorella sp</i>	43
3.3.2 Kultivasi Mikroalga <i>Chlorella sp</i>	44
3.3.3 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum dan Pembuatan Kurva Standar Konsentrasi Logam Kromium	46
3.3.4 Pembuatan Kurva Standar Kepadatan Sel <i>Chlorella sp</i>	46
3.3.5 Percobaan Utama.....	49
3.4 Analisis Data.....	49
3.4.1 Analisis Kepadatan Sel dengan <i>Haemocytometer</i>	49
3.4.2 Analisis Kepadatan Sel dengan <i>Optical Density</i>	50

3.4.3 Analisis Persentase <i>Removal</i>	50
3.5 Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Ion Logam Cr ⁶⁺	52
4.2 Pembuatan Kurva Standar Ion Logam Cr ⁶⁺	53
4.3 Pembuatan Kurva Standar Kepadatan Sel Mikroalga <i>Chlorella sp.</i>	53
4.4 Pembuatan Kurva Pertumbuhan Mikroalga <i>Chlorella sp.</i>	54
4.5 Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> Variasi pH.....	56
4.6 Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> Variasi Konsentrasi Awal Ion Logam Kromium (VI)	61
4.7 Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> Variasi Salinitas	70
4.8 Hasil Ion Logam Kromium (VI) yang Hilang Secara Keseluruhan	74
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	76
5.1 Kesimpulan	76
5.2 Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN A LEMBAR DATA KESELAMATAN BAHAN.....	85
A.1 Zinc Chloride	85
A.2 Cobaltus Chloride, Hexahydrate	85
A.3 Ammonium Molybdate Tetrahydrate.....	86
A.4 Copper Sulfate Pentahydrate.....	87
A.5 Sodium Perborate Monohydrate	87
A.6 Ethylenediaminetetraacetic Acid Dissodium Salt.....	88
A.7 Boric Acid	89
A.8 Sodium Phosphate Monohydrate	89

A.9 Ferric Chloride Hexahydrate	90
A.10 Manganese Chloride Tetrahydrate	91
A.11 Sodium Chloride	91
A.12 Sodium Hydroxide	92
A.13 Hydrochloric Acid.....	93
A.14 1,5-Diphenylcarbazide	93
A.15 Zinc Sulfate Heptahydrate	94
A.16 Sodium Molybdate	94
A.17 Sodium Nitrate	95
A.18 Sodium Phosphate Monobasic Monohydrate	96
A.19 Sodium Silicate	96
A.20 Thiamine HCl.....	97
A.21 Biotin.....	98
A.22 Sulphuric Acid	98
A.23 Potassium Dichromate	99
A.24 Acetone	100
LAMPIRAN B DATA PENGAMATAN DAN HASIL ANTARA	101
B.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum	101
B.2 Pembuatan Kurva Standar	101
B.2.1 Pembuatan Kurva Standar Ion Logam Kromium (VI)	101
B.2.2 Pembuatan Kurva Standar Kepadatan Sel Mikroalga <i>Chlorella sp.</i>	102
B.3 Pertumbuhan Mikroalga <i>Chlorella sp.</i>	102
B.4 Hasil Data Percobaan Pendahuluan (<i>Trial</i>).....	103
B.5 Hasil Data Pengamatan Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 2 pada Konsentrasi 10 ppm	104

B.6 Hasil Data Pengamatan Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella</i> <i>sp.</i> dengan pH 2 pada Konsentrasi 20 ppm	106
B.7 Hasil Data Pengamatan Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella</i> <i>sp.</i> dengan pH 2 pada Konsentrasi 30 ppm	108
B.8 Hasil Data Pengamatan Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella</i> <i>sp.</i> dengan pH 4 pada Konsentrasi 10 ppm	110
B.9 Hasil Data Pengamatan Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella</i> <i>sp.</i> dengan pH 4 pada Konsentrasi 20 ppm	112
B.10 Hasil Data Pengamatan Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella</i> <i>sp.</i> dengan pH 4 pada Konsentrasi 30 ppm	114
B.11 Hasil Data Pengamatan Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella</i> <i>sp.</i> dengan pH 6 pada Konsentrasi 10 ppm	116
B.12 Hasil Data Pengamatan Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella</i> <i>sp.</i> dengan pH 6 pada Konsentrasi 20 ppm	118
B.13 Hasil Data Pengamatan Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella</i> <i>sp.</i> dengan pH 6 pada Konsentrasi 30 ppm	120
B.14 Hasil Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) yang Hilang Secara Keseluruhan.....	122
LAMPIRAN C GRAFIK	123
C.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Larutan Ion Logam Kromium (VI)	123
C.2 Kurva Standar Larutan Ion Logam Kromium (VI)	123
C.3 Kurva Standar Kepadatan Sel Mikroalga <i>Chlorella</i> <i>sp.</i>	124
C.4 Kurva Pertumbuhan Mikroalga <i>Chlorella</i> <i>sp.</i>	124
C.5 Hasil Persentase <i>Removal</i> Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi pH pada Salinitas 2000 ppm	125
C.6 Hasil Persentase <i>Removal</i> Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi pH pada Salinitas 9000 ppm	126

C.7 Hasil Persentase <i>Removal</i> Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi pH pada Salinitas 16000 ppm	127
C.8 Pertumbuhan <i>Chlorella sp.</i> Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi pH pada Salinitas 2000 ppm	128
C.9 Pertumbuhan <i>Chlorella sp.</i> Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi pH pada Salinitas 9000 ppm	129
C.10 Pertumbuhan <i>Chlorella sp.</i> Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi pH pada Salinitas 16000 ppm	130
C.11 Hasil Ion Logam Kromium yang Hilang Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi pH pada Salinitas 2000 ppm.....	131
C.12 Hasil Ion Logam Kromium yang Hilang Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi pH pada Salinitas 9000 ppm.....	132
C.13 Hasil Ion Logam Kromium yang Hilang Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi pH pada Salinitas 16000 ppm.....	133
C.14 Hasil Persentase <i>Removal</i> Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Konsentrasi Ion Logam pada Salinitas 2000 ppm	134
C.15 Hasil Persentase <i>Removal</i> Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Konsentrasi Ion Logam pada Salinitas 9000 ppm.....	135
C.16 Hasil Persentase <i>Removal</i> Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Konsentrasi Ion Logam pada Salinitas 16000 ppm	136
C.17 Pertumbuhan <i>Chlorella sp.</i> Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Konsentrasi Ion Logam pada Salinitas 2000 ppm)	137
C.18 Pertumbuhan <i>Chlorella sp.</i> Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Konsentrasi Ion Logam pada Salinitas 9000 ppm)	138
C.19 Pertumbuhan <i>Chlorella sp.</i> Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Konsentrasi Ion Logam pada Salinitas 16000 ppm)	139

C.20 Hasil Ion Logam Kromium yang Hilang Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Konsentrasi Ion Logam pada Salinitas 2000 ppm	140
C.21 Hasil Ion Logam Kromium yang Hilang Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Konsentrasi Ion Logam pada Salinitas 9000 ppm	141
C.22 Hasil Ion Logam Kromium yang Hilang Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Konsentrasi Ion Logam pada Salinitas 16000 ppm	142
C.23 Hasil Persentase <i>Removal</i> Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Salinitas pada pH 2	143
C.24 Hasil Persentase <i>Removal</i> Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Salinitas pada pH 4	144
C.25 Hasil Persentase <i>Removal</i> Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Salinitas pada pH 6	145
C.26 Pertumbuhan <i>Chlorella sp.</i> Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Salinitas pada pH 2	146
C.27 Pertumbuhan <i>Chlorella sp.</i> Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Salinitas pada pH 4	147
C.28 Pertumbuhan <i>Chlorella sp.</i> Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Salinitas pada pH 6	148
C.29 Hasil Ion Logam Kromium yang Hilang Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Salinitas pada pH 2	149
C.30 Hasil Ion Logam Kromium yang Hilang Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Salinitas pada pH 4	150
C.31 Hasil Ion Logam Kromium yang Hilang Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Salinitas pada pH 6	151
C.32 Hasil Ion Logam Kromium (VI) yang Hilang Secara Keseluruhan	152
LAMPIRAN D CONTOH PERHITUNGAN	153
D.1 Pembuatan Larutan Induk Logam Kromium (VI)	153

D.2 Pembuatan Kurva Standar Ion Logam Kromium (VI).....	153
D.3 Pembuatan Kurva Standar Kepadatan Sel Mikroalga <i>Chlorella sp.</i>	154
D.4 Pembuatan Kurva Pertumbuhan Mikroalga <i>Chlorella sp.</i>	155
D.5 Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan Mikroalga <i>Chlorella sp.</i>	155

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tembaga	7
Gambar 2.2 Timbal	8
Gambar 2.3 Kadmium.....	9
Gambar 2.4 Kobalt.....	9
Gambar 2.5 Merkuri.....	10
Gambar 2.6 Nikel	10
Gambar 2.7 Kromium	13
Gambar 2.8 Contoh Mikroalga Kelompok <i>Chlorophyceae</i>	18
Gambar 2.9 Contoh Mikroalga Kelompok Diatom	19
Gambar 2.10 Contoh Mikroalga Kelompok <i>Cyanophyceae</i>	19
Gambar 2.11 Contoh Mikroalga Kelompok <i>Chrysophyceae</i>	20
Gambar 2.12 Metode Goresan Inokulasi	21
Gambar 2.13 Kurva Pertumbuhan Mikroalga.....	24
Gambar 2.14 Kumpulan Sel <i>Chlorella sp.</i> Skala 10 μm	26
Gambar 2.15 <i>Haemocytometer</i>	36
Gambar 2.16 Proses Pengenceran Berantai	37
Gambar 2.17 Struktur Model <i>Diphenylcarbazide</i>	39
Gambar 2.18 Reaksi <i>diphenylcarbazide</i> dengan Kromium Heksavalen Terlarut.....	39
Gambar 3.1 Skema Rangkaian Alat Percobaan	42
Gambar 3.2 Diagram Alir Inokulasi Mikroalga <i>Chlorella sp.</i>	43
Gambar 3.3 Diagram Alir Kultivasi Mikroalga <i>Chlorella sp.</i>	44
Gambar 3.4 Diagram Alir Penentuan Panjang Gelombang Maksimum	45
Gambar 3.5 Diagram Alir Pembuatan Kurva Standar Logam Kromium	46
Gambar 3.6 Diagram Alir Pembuatan Kurva Standar Kepadatan Sel <i>Chlorella sp</i>	47
Gambar 3.7 Diagram Alir Biosorpsi Logam Kromium Menggunakan <i>Chlorella sp</i>	48
Gambar 4.1 Spektrum UV Ion Logam Cr ⁶⁺ dengan Konsentrasi 1 ppm	52
Gambar 4.2 Kurva Standar Ion Cr ⁶⁺ sebagai K ₂ Cr ₂ O ₇	53
Gambar 4.3 Kurva Standar Kepadatan Sel Mikroalga <i>Chlorella sp</i>	54

Gambar 4.4 Kurva Pertumbuhan Mikroalga <i>Chlorella sp.</i> (1) Fase adaptasi (2) Fase Logaritmik (3) Fase Pertumbuhan diperlambat (4) Fase Stasioner (5) Fase Kematian	55
Gambar 4.5 Hasil Pengaruh pH terhadap Persentase Removal dan pertumbuhan <i>Chlorella sp.</i> Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) 10 ppm dengan salinitas (a) 2000 ppm (b) 9000 ppm dan (c) 16000 ppm	57
Gambar 4.6 Pengaruh pH terhadap Persentase Removal dan pertumbuhan <i>Chlorella sp.</i> Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) 20 ppm dengan salinitas (a) 2000 ppm (b) 9000 ppm dan (c) 16000 ppm	58
Gambar 4.7 Pengaruh pH terhadap Persentase Removal dan pertumbuhan <i>Chlorella sp.</i> Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) 30 ppm dengan salinitas (a) 2000 ppm (b) 9000 ppm dan (c) 16000 ppm	59
Gambar 4.8 Hasil Persentase Removal dan Jumlah Ion Logam Kromium (VI) yang Hilang dalam Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan pH 2 dan dengan salinitas (a) 2000 ppm (b) 9000 ppm dan (c) 16000 ppm	64
Gambar 4.9 Hasil Persentase Removal dan Jumlah Ion Logam Kromium (VI) yang Hilang dalam Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan pH 4 dan dengan salinitas (a) 2000 ppm (b) 9000 ppm dan (c) 16000 ppm	65
Gambar 4.10 Hasil Persentase Removal dan Jumlah Ion Logam Kromium (VI) yang Hilang dalam Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan pH 6 dan dengan salinitas (a) 2000 ppm (b) 9000 ppm dan (c) 16000 ppm	66
Gambar 4.11 Pengaruh Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) terhadap Pertumbuhan <i>Chlorella sp.</i> selama Proses Biosorpsi dengan pH 2 dan Salinitas (a) 2000 ppm (b) 9000 ppm dan (c) 16000 ppm	67
Gambar 4.12 Pengaruh Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) terhadap Pertumbuhan <i>Chlorella sp.</i> selama Proses Biosorpsi dengan pH 4 dan Salinitas (a) 2000 ppm (b) 9000 ppm dan (c) 16000 ppm	68

Gambar 4.13 Pengaruh Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) terhadap Pertumbuhan <i>Chlorella sp.</i> selama Proses Biosorpsi dengan pH 6 dan Salinitas (a) 2000 ppm (b) 9000 ppm dan (c) 16000 ppm	69
Gambar 4.14 Pengaruh Salinitas terhadap Persentase Removal dan pertumbuhan <i>Chlorella sp.</i> Selama Proses Biosorpsi dengan Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) 10 ppm pada pH (a) pH 2 (b) pH 4 dan (c) pH 6	71
Gambar 4.15 Pengaruh Salinitas terhadap Persentase Removal dan pertumbuhan <i>Chlorella sp.</i> Selama Proses Biosorpsi dengan Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) 20 ppm pada pH (a) pH 2 (b) pH 4 dan (c) pH 6	72
Gambar 4.16 Pengaruh Salinitas terhadap Persentase Removal dan pertumbuhan <i>Chlorella sp.</i> Selama Proses Biosorpsi dengan Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) 30 ppm pada pH (a) pH 2 (b) pH 4 dan (c) pH 6	73
Gambar 4.17 Hasil Ion Cr ⁶⁺ yang Hilang Secara Keseluruhan.....	74

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Tabel Premis	5
Tabel 2.1 Keunggulan dan Kelemahan Berbagai Jenis Biosorben pada Biosorpsi	17
Tabel 2.2 Komposisi Medium BG-11.....	27
Tabel 2.3 Komposisi Medium Bold.....	28
Tabel 2.4 Komposisi Medium Bristol.....	28
Tabel 2.5 Komposisi Medium Fog	28
Tabel 2.6 Komposisi Medium Walne	29
Tabel 2.7 Komposisi Medium f2	29
Tabel 3.1 Komposisi Medium Walne	41
Tabel 3.2 Komposisi Medium f2	42
Tabel 3.3 Jadwal Kerja Penelitian	51
Tabel 4.1 Hasil Ion Cr ⁶⁺ yang Hilang Secara Keseluruhan (dalam ppm).....	74
Tabel B.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum	101
Tabel B.2 Kurva Standar Ion Logam Kromium (VI)	101
Tabel B.3 Kurva Standar Kepadatan Sel Mikroalga <i>Chlorella sp.</i>	102
Tabel B.4 Pertumbuhan Mikroalga <i>Chlorella sp.</i>	102
Tabel B.5 <i>Trial</i> Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 2 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 2000 ppm).....	103
Tabel B.6 <i>Trial</i> Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 6 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 16000 ppm)	103
Tabel B.7 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 2 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 2000 ppm).....	104
Tabel B.8 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 2 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 9000 ppm).....	104
Tabel B.9 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 2 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 16000 ppm)	105
Tabel B.10 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 2 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 2000 ppm).....	106

Tabel B.11 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 2 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 9000 ppm).....	106
Tabel B.12 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 2 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 16000 ppm).....	107
Tabel B.13 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 2 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 2000 ppm).....	108
Tabel B.14 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 2 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 9000 ppm).....	108
Tabel B.15 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 2 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 16000 ppm).....	109
Tabel B.16 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 4 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 2000 ppm).....	110
Tabel B.17 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 4 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 9000 ppm).....	110
Tabel B.18 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 4 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 16000 ppm).....	111
Tabel B.19 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 4 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 2000 ppm).....	112
Tabel B.20 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 4 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 9000 ppm).....	112
Tabel B.21 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 4 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 16000 ppm).....	113
Tabel B.22 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 4 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 2000 ppm).....	114
Tabel B.23 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 4 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 9000 ppm).....	114
Tabel B.24 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 4 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 16000 ppm).....	115
Tabel B.25 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 6 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 2000 ppm).....	116

Tabel B.26 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 6 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 9000 ppm).....	116
Tabel B.27 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 6 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 16000 ppm).....	117
Tabel B.28 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 6 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 2000 ppm).....	118
Tabel B.29 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 6 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 9000 ppm).....	118
Tabel B.30 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 6 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 16000 ppm).....	119
Tabel B.31 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 6 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 2000 ppm).....	120
Tabel B.32 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 6 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 9000 ppm).....	120
Tabel B.33 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan <i>Chlorella sp.</i> dengan pH 6 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 16000 ppm).....	121
Tabel B.34 Hasil Penurunan Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) Secara Keseluruhan	122

ABSTRAK

Pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh pembuangan limbah dapat mengakibatkan kerusakan pada lingkungan sekitar bahkan berdampak signifikan bagi generasi mendatang. Salah satu limbah yang berbahaya adalah limbah berupa logam berat. Logam berat merupakan salah satu pencemar yang berbahaya karena dapat mempengaruhi berbagai aspek dalam perairan. Salah satu logam berat yang bersifat toksik ialah logam kromium (Cr).

Pada penelitian ini dilakukan biosorpsi ion logam kromium (VI) menggunakan mikroalga *Chlorella sp.* Ion Cr⁶⁺ merupakan bentuk logam yang sering dipelajari sifat racunnya. Sifat racun yang dibawa logam ini dapat mengakibatkan terjadinya keracunan kronis, akut, dan dapat menyebabkan kanker. Biosorpsi merupakan satu dari alternatif teknologi yang sedang dikembangkan karena efektif dari segi biaya maupun besarnya penyisihan. Biosorpsi merupakan proses adsorpsi dengan menggunakan biomassa (adsorben dari makhluk hidup). Kromium merupakan salah satu logam berat yang berbahaya yang dapat disisihkan dengan teknologi biosorpsi. Kromium dalam bentuk heksavalen banyak ditemukan pada limbah dari berbagai jenis industri, salah satunya adalah industri pelapisan logam dan industri penyamakan kulit.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui dan mempelajari pengaruh pH, konsentrasi awal ion logam kromium dan salinitas terhadap persentase *removal* ion logam kromium (VI) dalam proses biosorpsi menggunakan mikroalga *Chlorella sp.* Pada penelitian ini dilakukan variasi pH sebesar 2, 4, dan 6. Selain itu dilakukan variasi konsentrasi awal ion Cr⁶⁺ sebesar 10 ppm, 20 ppm, dan 30 ppm serta dilakukan variasi salinitas sebesar 2000 ppm, 9000 ppm, dan 16000 ppm. Analisis yang dilakukan adalah analisis persentase *removal* ion logam kromium (VI) dengan menghitung konsentrasi logam pada awal dan akhir proses biosorpsi dan analisis perhitungan sel metode *haemocytometer* dan turbidimetri.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin rendah nilai pH yang digunakan, maka semakin tinggi persentase *removal* dalam biosorpsi ion logam kromium (VI) menggunakan *Chlorella sp.* Selain itu, sampai batas tertentu semakin tinggi konsentrasi ion logam kromium (VI) maka semakin banyak pula ion logam kromium (VI) yang hilang dan semakin tinggi salinitas maka semakin tinggi pula persentase *removal* dalam proses biosorpsi ion logam kromium (VI) menggunakan *Chlorella sp.* Secara keseluruhan, kondisi operasi yang paling optimum untuk proses biosorpsi ion logam kromium (VI) menggunakan mikroalga *Chlorella sp.* adalah dengan pH 2, konsentrasi ion Cr⁶⁺ 10 ppm, dan salinitas 16000 ppm yang menghasilkan persen removal sebesar 91,7859%

Kata Kunci : Biosorpsi, Kromium, Persentase *Removal*, *Chlorella sp.*

ABSTRACT

Environmental pollution caused by waste disposal can cause damage to the surrounding environment and even have a significant impact on future generations. One of the hazardous wastes is heavy metal waste. Heavy metal is one of the dangerous pollutants because it can affect various aspects of water. One of the heavy metals which are toxic is chromium (Cr).

In this research biosorption of chromium (VI) metal ions using Chlorella sp. microalgae. Cr⁶⁺ ions are a form of metal that is often studied for its toxic properties. The toxic properties carried by this metal can lead to chronic, acute poisoning, and can cause cancer. Biosorption is one of the alternative technologies being developed because it is effective in terms of cost and the amount of allowance. Biosorption is the process of adsorption using biomass (adsorbents from living things). Chromium is one of the dangerous heavy metals that can be set aside with biosorption technology. Hexavalent chromium is found in wastes from various types of industries, one of which is the metal coating industry and the leather tanning industry.

The purpose of this study was to determine and study the effect of pH, initial ionic chromium metal concentration and salinity on the percentage of metal chromium (VI) ion removal in the biosorption process using Chlorella sp. microalgae. In this study variations in pH of 2, 4, and 6. In addition, variations in the initial concentration of Cr⁶⁺ ions of 10 ppm, 20 ppm and 30 ppm were carried out as well as variations in salinity of 2000 ppm, 9000 ppm and 16000 ppm. The analysis carried out was the analysis of the percentage of metal chromium (VI) ion removal by calculating the metal concentration at the beginning and end of the biosorption process and the cell count analysis of the haemocytometer and turbidimetry method.

The results showed that the lower the pH value used, the higher the percentage of removal in the chromium (VI) metal ion biosorption using Chlorella sp. In addition, to a certain extent the higher the concentration of chromium (VI) metal ions, the more metal chromium (VI) ions are lost and the higher the salinity, the higher the percentage of removal in the chromium (VI) metal ion biosorption process using Chlorella sp. At overall, the most optimum operating conditions for the process of biosorption of metal chromium (VI) ions using microalgae Chlorella sp. is with pH 2, Cr⁶⁺ 10 ppm ion concentration, and salinity 16000 ppm which results in 91.7859% removal percentage.

Keywords : Biosorption, Chromium, Removal Percentage, Chlorella sp.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini, pertumbuhan perekonomian semakin meningkat dengan ditunjang kemajuan teknologi yang memadai. Dinamika pembangunan nasional saat ini di satu sisi memberikan kontribusi bagi peningkatan kualitas kesejahteraan hidup masyarakat, tetapi di sisi lain juga menimbulkan kekhawatiran terhadap menurunnya kualitas hidup. Kekhawatiran ini cukup beralasan, karena kenyataan menunjukkan bahwa lingkungan hidup di negeri ini belum terhindar dari ancaman dari pencemaran akibat buangan limbah industri yang dilakukan oleh perusahaan-perusahaan industri nasional. Kasus-kasus pencemaran lingkungan hidup ini banyak disebabkan oleh kecerobohan dan kelalaian industri dalam dengan membuang limbah yang belum diolah secara sembarangan pada tempat-tempat seperti sungai yang masih digunakan oleh masyarakat, seperti kebutuhan untuk mandi, mencuci, dan lainnya.

Salah satu limbah yang berbahaya adalah limbah berupa logam berat. Logam berat pada umumnya dapat ditemukan di alam dengan kadar yang sesuai dan tidak membahayakan makhluk hidup. Logam berat memiliki peranan penting bagi kehidupan manusia, namun juga memiliki dampak negatif terhadap lingkungan bila kadarnya melebihi standar yang telah diperuntukkan. Salah satu logam berat yang berbahaya adalah logam kromium (Cr). Logam ini pada umumnya ditemukan dalam bentuk persenyawaan. Logam ini dapat berada di lingkungan perairan dan tanah. Sumber masuknya logam ini umumnya berasal dari kegiatan perindustrian khususnya industri pelapisan logam dan industri penyamakan kulit, pembakaran serta mobilisasi bahan-bahan bakar (Asmadi, dkk., 2009). Kromium merupakan logam yang memiliki daya racun tinggi. Daya racun logam ini ditentukan oleh valensi-valensi ionnya. Ion Cr⁶⁺ merupakan bentuk logam berat yang sering dipelajari sifat racunnya. Sifat racun yang dibawa logam ini dapat mengakibatkan terjadinya keracunan kronis, akut, dan karsinogenik (Palar, 2012). Ion Cr⁶⁺ lebih berbahaya dan beracun dalam perairan dibanding ion Cr³⁺. Ion Cr⁶⁺ bersifat sangat aktif dan daya racun yang dimiliki akan bekerja sebagai penghalang kerja enzim dalam proses fisiologi atau metabolisme tubuh. Ion Cr⁶⁺ dalam metabolisme tubuh akan menghambat kerja dari enzim *benzopiren hidroksilase*, yang

mengakibatkan terjadinya perubahan dalam pertumbuhan sel, sehingga sel-sel tumbuh secara liar atau dikenal dengan istilah kanker. Hal itulah yang menjadi dasar penggolongan logam kromium ke dalam kelompok logam yang bersifat karsinogenik (Asmadi, dkk., 2009).

Pada industri pelapisan logam, limbah cair yang dihasilkan mengandung ion Cr⁶⁺ berkisar pada rentang konsentrasi 1-40 ppm (atau mg/L) sebelum pengolahan (Chiu, dkk., 1987). Sedangkan limbah yang dihasilkan dari industri penyamakan kulit dapat mengandung kromium sebanyak 100-400 mg/L (World Bank, 1998). Banyak metode konvensional yang telah digunakan dalam pengolahan limbah krom, antara lain, presipitasi kimiawi, *ion exchange*, *reverse osmosis*, dan ekstraksi pelarut (Rengaraj, dkk., 2001; Yurlova, dkk., 2002; Benito dan Ruiz, 2002). Teknik-teknik tersebut memiliki biaya yang cukup mahal serta memiliki beberapa kekurangan antara lain yaitu, tidak sempurnanya penghilangan ion kromium, membutuhkan banyak pereaksi dan energi yang cukup besar, dan menghasilkan lumpur toksik atau produk limbah lainnya yang memerlukan sistem pembuangan tersendiri. Oleh karena itu diperlukan metode yang efisien serta ramah lingkungan untuk mereduksi kadar senyawa kromium dalam limbah.

Salah satu alternatif dalam pengolahan limbah yang mengandung logam berat adalah penggunaan bahan-bahan biologis sebagai adsorben. Proses ini kemudian disebut sebagai biosorpsi. Biosorpsi merupakan salah satu cara alternatif dalam pengolahan limbah secara biologi yang masih jarang ditemukan di Indonesia sehingga diperlukan pemahaman dan pengkajian yang lebih dalam mengenai proses ini. Bahan-bahan biologis yang dapat dimanfaatkan dalam proses biosorpsi antara lain bakteri, jamur, dan alga dalam menghilangkan logam berat yang terkandung dalam limbah buangan industri. Biosorpsi menjadi salah satu pilihan yang patut diperhitungkan dikarenakan memiliki banyak keunggulan seperti biaya operasional yang tergolong rendah, meminimalisir penggunaan bahan kimia, tidak menghasilkan lumpur/sludge, dan memiliki efisiensi yang tinggi (Kotrba, 2011). Selain itu, dengan proses biosorpsi bahan biologis yang digunakan dapat digunakan kembali.

Pada penelitian ini dilakukan biosorpsi ion kromium(VI) menggunakan mikroalga. Pemanfaatan mikroalga sebagai biosorben logam berat memiliki beberapa kelebihan seperti efisiensi yang tinggi, dapat diregenerasi dan digunakan kembali, tidak menghasilkan lumpur/sludge, serta hanya dibutuhkan sedikit bahan kimia (Brinza, dkk., 2007). Alga juga memiliki laju pertumbuhan yang tinggi sehingga harga biosorben alga akan menjadi lebih murah (Borowitzka, 1999).

1.2 Tema Sentral Masalah

Tema sentral masalah penelitian ini adalah mempelajari ketidakjelasan dan kepastian mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi proses biosorpsi ion logam kromium(VI) menggunakan mikroalga *Chlorella sp.* terhadap peresentase *removal* yang meliputi pH, konsentrasi ion logam, dan salinitas.

1.3 Identifikasi Masalah

1. Bagaimana pengaruh derajat keasaman (pH) terhadap persentase *removal* dalam biosorpsi ion logam kromium(VI) menggunakan *Chlorella sp.*?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi awal ion logam terhadap persentase *removal* dalam biosorpsi ion logam kromium(VI) menggunakan *Chlorella sp.*?
3. Bagaimana pengaruh salinitas terhadap persentase *removal* dalam biosorpsi ion logam kromium(VI) menggunakan *Chlorella sp.*?

1.4 Premis

Rangkuman premis penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada **Tabel 1.1**

1.5 Hipotesis

Hipotesis yang dapat diperoleh berdasarkan studi data pustaka sebagai berikut:

1. Sampai batas tertentu, semakin tinggi nilai pH, maka semakin rendah persentase *removal* dalam biosorpsi ion logam kromium(VI) menggunakan *Chlorella sp.*
2. Sampai batas tertentu, semakin tinggi konsentrasi awal ion logam, maka semakin tinggi persentase *removal* dalam biosorpsi ion logam kromium(VI) menggunakan *Chlorella sp.*
3. Sampai batas tertentu, semakin tinggi tingkat salinitas, maka semakin tinggi persentase *removal* dalam biosorpsi ion logam kromium(VI) menggunakan *Chlorella sp.*

1.6 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mempelajari pengaruh derajat keasaman (pH) terhadap persentase *removal* dalam biosorpsi ion logam kromium(VI) menggunakan *Chlorella sp.*
2. Mempelajari pengaruh konsentrasi awal ion logam terhadap persentase *removal* dalam biosorpsi ion logam kromium(VI) menggunakan *Chlorella sp.*
3. Mempelajari pengaruh salinitas terhadap persentase *removal* dalam biosorpsi ion logam kromium(VI) menggunakan *Chlorella sp.*

1.7 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini :

1. Bagi mahasiswa :

Diharapkan mahasiswa mengetahui pengaruh derajat keasaman (pH), konsentrasi ion logam awal, dan salinitas pada biosorpsi ion kromium(VI) menggunakan *Chlorella sp.*

2. Bagi Industri :

Dapat mempertimbangkan proses biosorpsi sebagai solusi alternatif dalam pengolahan limbah yang efektif dan ekonomis.

Tabel 1.1 Tabel Premis

Peneliti	Kondisi Proses					Waktu kontak	Jenis Medium	Metode analisis	Hasil Penelitian
	pH	Konsentrasi Biomassa <i>Chlorella sp.</i>	Konsentrasi Logam Kromium	Cahaya	Salinitas				
(Sibi, 2016)	0,5-5	0,2-2 g/L (alga kering)	50 mg/L	2960 lux (cahaya putih)	2593-15184 ppm	1-6 jam	Bold	Spektrofotometri UV-Vis (540 nm)	pH: 2 (percentase removal = 81,6%) waktu kontak: 4 jam (percentase removal = 80,3%) salinitas: 15184 ppm (percentase removal: 81,3%)
(Rezaei, dkk., 2011)	5,0	0,1-3 g/L (alga kering)	10 mg/L, 20 mg/L, dan 50 mg/L	3000 lux		120 menit	Fog	AAS	Konsentrasi biomassa: 0,1 g/L dan konsentrasi logam: 10 mg/L (percentase removal = 92,51%) Konsentrasi biomassa: 3 g/L dan konsentrasi logam: 10 mg/L (percentase removal = 99,82%)
(Nacorda, dkk., 2010)		10.000 sel/mL (alga cair)	0,1 mg/L; 1,0 mg/L; 3,0 mg/L, 5,0 mg/L; 7,0 mg/L			12 hari	BG-11	Spektrofotometri UV-Vis (540 nm)	Konsentrasi logam: 7 mg/L (percentase removal = >80%)
(Gokhale, dkk., 2008)	1-5,5	0,2-2,4 g/L (alga kering)	25-250 mg/L	1400 lux (cahaya putih, merah, dan biru)		600 menit	BG-11	Spektrofotometri UV-Vis (540 nm)	Konsentrasi logam: 25 mg/L (percentase removal = 70,9%) Konsentrasi logam : 250 mg/L (percentase removal = 56%)
(Han, dkk., 2008)	2-4,5	5.000.000 sel/mL (alga cair)	20-100 mg/L	4200 lux (cahaya putih)		8-120 jam	Bristol	Spektrofotometri UV-Vis (540 nm)	pH: 2, konsentrasi logam: 100 g/L, waktu kontak: 120 jam (percentase removal = 100%)
(Han, dkk., 2006)	1-4	1-5 g/L (alga kering)	20 mg/L, 60 mg/L, dan 100 mg/L			12 hari	Bristol	FTIR Spektrofotometer	pH: 2, konsentrasi logam: 100 mg/L, konsentrasi biomassa: 5 g/L (percentase removal = 65% dalam 2 jam pertama, 100% dalam 150 jam)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Berat

Keberadaan logam berat dalam lingkungan berasal dari dua sumber, yaitu dari proses alamiah seperti pelapukan secara kimiawi dan kegiatan geokimiawi serta dari hasil pembusukan hewan dan tumbuhan, dan berikutnya berasal dari aktivitas manusia terutama hasil limbah industri. Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat dapat dibagi dalam dua jenis. Jenis pertama adalah logam berat esensial, dimana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun (Juniawan, dkk., 2013). Contoh logam berat esensial adalah seng (Zn), tembaga (Cu), besi (Fe), mangan (Mn), dan lain sebagainya sedangkan jenis logam berat yang kedua yaitu logam berat non-esensial yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun, seperti merkuri (Hg), timbal (Pb), cadmium (Cd), kromium (Cr), dan lain-lain (Juniawan, dkk., 2013).

Logam berat yang masuk ke dalam lingkungan perairan akan mengalami pengendapan, pengenceran, dan disperse lalu kemudian diserap oleh mikroorganisme yang hidup di lingkungan perairan tersebut. Logam berat merupakan *trace element* dengan densitas $\geq 3 \text{ g/cm}^3$, yang dalam konsentrasi rendah diperlukan oleh organisme namun bersifat racun pada konsentrasi lebih tinggi dari konsentrasi fisiologis organisme (Banvalvi, 2011). Logam berat dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui makanan, air minum, udara, dan kontak dengan kulit (Karaca, 2008).

Limbah industri merupakan salah satu sumber pencemaran logam berat yang potensial bagi lingkungan perairan. Pembuangan limbah industri yang tidak mengikuti aturan secara terus-menerus tidak hanya mencemari lingkungan perairan tetapi dapat menyebabkan terakumulasinya logam berat dalam sedimen dan biota perairan. Semakin tinggi kandungan logam berat dalam perairan akan semakin tinggi pula kandungan logam berat yang terakumulasi dalam tubuh organisme (Rochyatun, dkk., 2007).

Secara biologis logam berat akan mengalami penimbunan dalam tubuh biota organisme seperti ikan. Logam berat yang masuk ke dalam tubuh ikan tidak dapat dikeluarkan lagi, karena

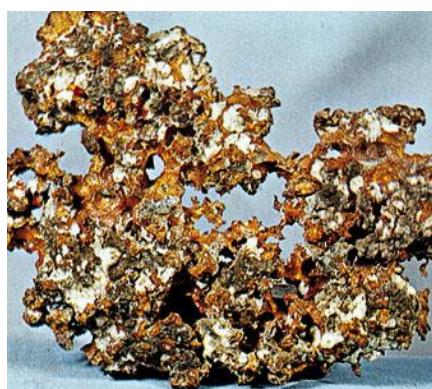
logam berat cenderung berakumulasi dalam tubuh ikan. Akibatnya logam berat akan terus ada di sepanjang rantai makanan (Yudo, 2006). Dalam rantai makanan di perairan yang tercemar logam berat akan terakumulasi ke dalam tubuh fitoplankton. Fitoplankton yang mengandung logam berat akan dimakan oleh ikan-ikan kecil, kemudian ikan-ikan kecil dimakan oleh ikan-ikan besar, dan ikan-ikan besar maupun ikan-ikan kecil dikonsumsi oleh manusia dimana kejadian ini disebut biomagnifikasi (transfer logam berat) melalui rantai makanan (Handayani, 2015).

2.1.1 Jenis-Jenis Logam Berat

Kontaminasi logam berat di lingkungan merupakan salah satu masalah besar di dunia saat ini. Proses industri dan urbanisasi memegang peranan penting terhadap peningkatan kontaminasi logam berat di lingkungan. Suatu organisme akan kritis apabila mengkonsumsi produk yang mengandung logam berat. Berikut adalah jenis-jenis senyawa logam berat yang sering ditemukan dalam industri:

a) Tembaga (Cu)

Tembaga di alam dapat ditemukan dalam bentuk persenyawaan atau senyawa padat dalam bentuk mineral. Sumber masuknya logam Cu ke dalam lingkungan dapat terjadi secara alamiah seperti erosi batuan, mineral, debu, atau partikel Cu yang ada di udara. Sumber tembaga di alam kini lebih banyak dipengaruhi oleh aktivitas manusia, khususnya limbah industri yang mengandung ion logam Cu dalam proses produksinya. Kehadiran tembaga pada limbah industri biasanya dalam bentuk ion bivalen Cu (II) sebagai *hydrolytic product* (Suhendrayatna, 2001). Beberapa industri yang menghasilkan limbah yang mengandung tembaga antara lain industri pewarna, kertas, minyak, pelapisan, dan galangan kapal.



Gambar 2.1 Tembaga (Sumber: Encyclopedia Britannica)

b) Timbal (Pb)

Timbal termasuk salah satu golongan logam berat non-esensial sehingga jika masuk ke dalam tubuh organisme hidup akan menjadi racun. Logam berat ini merupakan racun yang mudah terakumulasi dan dapat mengalami peningkatan konsentrasi dalam tubuh, hingga akhirnya mencapai suatu titik dimana telah terjadi kerusakan pada sistem tubuh organisme. Timbal banyak digunakan dalam industri cat sebagai pigmen yang merupakan penyebab utama meningkatnya kadar timbal di lingkungan (Lu dan Kacew, 2002). Timbal juga digunakan dalam bidang industri modern untuk pembuatan pipa air yang tahan terhadap korosi.

Proses masuknya timbal ke dalam tubuh dapat melalui beberapa jalur diantaranya melalui makanan dan minuman yang terkontaminasi, melalui udara bebas, dan juga melalui penetrasi atau perembesan pada selaput atau lapisan kulit. Mobilitas timbal di tanah dan tumbuhan cenderung lambat dengan kadar normalnya pada tumbuhan berkisar 0,5–3,0 ppm (Suhendrayatna, 2001). Sumber utama timbal adalah dari makanan dan minuman yang terkontaminasi timbal (Suhendrayatna, 2001).



Gambar 2.2 Timbal (Sumber: Novaelements)

c) Kadmium (Cd)

Logam berat ini merupakan salah satu anggota *The Big Three Heavy Metals* bersama dengan timbal (Pb) dan merkuri (Hg) karena memiliki tingkat bahaya yang sangat tinggi bagi manusia (Barchan, dkk., 1998). Cadmium berbahaya terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal. Sumber dari logam ini antara lain berasal dari industri baterai, pewarnaan, plastik, dan pengolahan logam. Konsentrasi normal cadmium pada tanah berada di bawah 1 ppm, tetapi konsentrasi cadmium tertinggi (1700 ppm) banyak dijumpai pada tanah di dekat pertambangan bijih seng (Zn) (Suhendrayatna, 2001).



Gambar 2.3 Kadmium (Sumber: Periodic Table)

d) Kobalt (Co)

Logam ini banyak digunakan dalam industri sebagai bahan campuran pada pembuatan mesin, magnet, alat pemotong, alat penggiling, pewarna kaca, keramik, dan cat. Sumber dari limbah cair yang mengandung kobalt diantaranya adalah pada pembangkit listrik tenaga nuklir, industri pertambangan, electroplating, industri cat, pigmen, (Al-Shahrani, 2014). Logam berat ini memiliki tingkat toksitas yang tinggi terhadap tumbuhan. Kebanyakan tumbuhan memerlukan elemen ini dalam konsentrasi tidak lebih dari 1 ppm (Suhendrayatna, 2001). Biasanya kobalt yang terkadung di tanah diperkirakan sebesar 10 ppm. Dosis mematikan (LD₅₀) kobalt bagi tikus adalah sebesar 1.3×10^{-3} mol/kg (Maeda dan Sakaguchi, 1990).



Gambar 2.4 Kobalt (Sumber: Chemicool)

e) Merkuri (Hg)

Logam berat ini telah dikenal manusia sejak mereka mengenal peradaban. Merkuri yang ditemukan di alam terdapat dalam gabungan dengan elemen lainnya. Senyawa merkuri digunakan dalam pembuatan amalgam, cat, komponen listrik, proses ekstraksi emas dan perak, pembuatan gigi palsu, senyawa anti karat, dan pada bidang pertanian senyawa merkuri digunakan sebagai fungisida (Palar, 2012). FDA (Food and Drug Administration)

menetapkan kandungan merkuri maksimum sebesar 0,005 ppm untuk air dan 0,5 ppm untuk makanan sedangkan WHO (World Health Organization) menetapkan batasan maksimum yang lebih rendah yaitu sebesar 0,0001 ppm untuk air (Fardiaz, 1992).



Gambar 2.5 Merkuri (Sumber: Global Sources)

f) Nikel (Ni)

Dalam sistem biologi, nikel dapat membentuk komponen yang kompleks dengan berbagai ligand dan berikatan dengan bahan organik (WHO, 1991). Sebagian besar nikel digunakan untuk produksi stainless steel dan bahan paduan nikel lainnya dengan ketahanan terhadap panas dan korosi yang tinggi. Kebanyakan nikel paduan digunakan di kendaraaan, mesin pengolahan, persenjataan, peralatan listrik, dan peralatan rumah tangga. Senyawa nikel juga digunakan sebagai katalis, pigmen, dan komponen pada baterai. Tingkat konsentrasi nikel yang tinggi pada tanah dapat merusak tanaman dan tingkat konsentrasi nikel yang tinggi di permukaan air dapat mengurangi tingkat pertumbuhan alga (Gerberding, 2005). Tingkat ketoksikan nikel pada kehidupan akuatik bergantung pada jenis organisme, pH, dan tingkat kesadahan (Blaylock dan Frank, 1979).



Gambar 2.6 Nikel (Sumber: Chemical Elements)

g) Kromium (Cr)

Kromium merupakan suatu logam keras berwarna abu-abu dan sulit dioksidasi dalam suhu tinggi. Kromium merupakan sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cr dan nomor atom 24. Kromium merupakan logam tahan korosi (tahan karat) dan dapat dipoles menjadi mengkilat. Di alam, kromium dapat ditemukan di tanah, bebatuan, hewan, tanaman, dan material letusan gunung berapi (Koplan, 2000). Kromium diproduksi dari hasil pertambangan. Kromium ditambang sebagai bijih kromit (FeCr_2O_4). Penambangan bijih kromit banyak terdapat di Afrika Selatan, Zimbabwe, Finlandia, India, Kazakhstan, dan Filipina (Amazine).

Kromium memiliki beberapa bilangan oksidasi, yaitu +2, +3, +4, +5, dan +6. Kromium stabil pada bilangan oksidasi +3. Bilangan oksidasi +4 dan +5 sangat jarang ditemukan pada logam ini. Senyawa kromium pada bilangan oksidasi +6 merupakan oksidan yang kuat. Kromium dengan bilangan oksidasi +3 ditemukan dalam bentuk oksida (Cr_2O_3). Kromium sering digunakan dalam pelapisan logam dikarenakan kromium dapat mencegah logam untuk tidak bereaksi dengan oksigen (Jacobs, 2005). Senyawa kromium yang paling umum ditemukan sebagai senyawa trivalen Cr(III) dan senyawa heksavalen Cr(VI). Cr(VI) merupakan senyawa kromium yang paling bersifat toksik dan berbahaya bagi makhluk hidup dikarenakan sifatnya yang karsinogenik, terutama bagi manusia (Aitio, 2005). Kromium juga dapat ditemukan di perairan dalam bentuk ion. Cr(VI) yang merupakan anion ditemukan dalam bentuk ion $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, HCr_2O_7^- , HCrO_4 , dan CrO_4^{2-} . Besarnya bilangan oksidasi pada kromium yang ditemukan di perairan ditentukan oleh nilai pH dari perairan tersebut. Cr(VI) yang terdapat di perairan dapat tereduksi menjadi Cr(III) dalam kondisi pH rendah (Jacobs, 2005).

Dalam dunia industri, kromium juga digunakan dalam industri tekstil, industri pelapisan logam, maupun industri penyamakan kulit. Pada industri pelapisan logam, kromium sering digunakan pada proses *anoxide* dan *rinsing* dimana kromium digunakan dalam bentuk $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Sedangkan pada industri penyamakan kulit kromium digunakan sebagai pigmen untuk membuat warna kulit semakin terlihat pucat dimana kromium yang digunakan dalam bentuk asam kromat atau H_2CrO_4 (Stanin, 2005). Kromium juga merupakan salah satu logam berat yang merupakan sumber polusi di perairan. Logam berat yang menjadi sumber polusi ini dihasilkan dari limbah cair industri, dimana kromium yang terdapat dalam limbah

ditemukan dalam bentuk ion heksavalen atau dalam kata lain kromium yang terdapat dalam limbah merupakan ion Cr⁶⁺ yang memiliki tingkat toksitas yang paling tinggi di antara ion-ion logam kromium. Industri yang paling banyak menghasilkan limbah yang mengandung kromium adalah industri pelapisan logam dan industri penyamakan kulit. Kromium yang terdapat dalam limbah industri pelapisan logam berasal dari bak pencucian dalam industri. Seringkali, permukaan logam yang akan diproses dalam industri pelapisan logam mengandung kontaminan yang dapat mengganggu proses pelapisan. Oleh karena itu dilakukan proses pemberisan terlebih dahulu dalam bak pencucian. Kontaminan yang terdapat dalam logam dapat berupa senyawa organik seperti minyak dan oli, atau berupa senyawa anorganik seperti kerak pada logam. Untuk proses pelapisan dengan kromium, kontaminan berupa oli atau senyawa organic dapat dihilangkan dengan mengoksidasi kontaminan tersebut dengan asam kromat (H₂CrO₄) (Othmer, 1996). Senyawa kromium yang terdapat dalam limbah cair industri penyamakan kulit berasal dari proses penyamakan kulit, dimana dalam penyamakan kulit digunakan senyawa kromium sulfat (Cr₂(SO₄)₃) atau yang biasa disebut sebagai zat penyamak (*tanning agent*). Kromium sulfat yang digunakan biasanya memiliki konsentrasi antara 60%-70% dalam bentuk larutan dimana tidak semua dapat terserap oleh kulit pada saat proses penyamakan sehingga sebagian dikeluarkan dalam bentuk cairan sebagai limbah (Asmadi dan Oktiawan, 2009).

Logam kromium merupakan logam yang memiliki tingkat toksitas yang tinggi. Tingkat toksitas kromium dipengaruhi oleh valensi ion-ionnya. Semakin besar valensi ionnya, maka tingkat toksitasnya semakin tinggi. Selain memiliki tingkat toksitas yang tinggi, logam ini juga sulit diuraikan sehingga dapat terakumulasi pada tubuh manusia melalui rantai makanan. Tingginya tingkat toksitas yang dimiliki oleh kromium membuat logam berat ini bersifat karsinogenik. Paparan kromium pada tubuh juga dapat menyebabkan infeksi saluran pernafasan, iritasi pada mata dan kulit, dan juga dapat menyebabkan kerusakan pada ginjal. Mengingat bahaya dan pencemaran lingkungan yang ditimbulkan oleh logam kromium khususnya pada industri pelapisan logam dan industri penyamakan kulit, maka pemerintah melalui kementerian lingkungan hidup mewajibkan industri untuk mengolah limbahnya terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Menurut PERMENLH No.5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah, nilai baku mutu krom total untuk industri penyamakan kulit

adalah sebesar 0,6 mg/L sedangkan nilai baku mutu kromium heksavalen dan krom total berturut-turut untuk industri pelapisan logam adalah sebesar 0,1 mg/L dan 0,5 mg/L.



Gambar 2.7 Kromium (Theodore Gray)

Pada penelitian ini, fokus logam berat yang akan dipelajari lebih dalam adalah kromium, dimana yang menjadi perhatian penting adalah kromium heksavalen

2.2 Biosorpsi

Biosorpsi merupakan proses penyerapan solut oleh biomassa. Proses ini memanfaatkan kemampuan material biologis untuk mengakumulasi logam berat dari larutan secara metabolism ataupun fisik-kimiawi. Biosorpsi juga merupakan istilah yang menggambarkan penghilangan logam berat yang berasal dari limbah berdasarkan kemampuan biomassa dalam mengikat logam berat. Kuyucak dkk., (1988) juga menyatakan bahwa biosorpsi tidak hanya berguna untuk menghilangkan logam berat yang berbahaya, tetapi juga dapat digunakan dalam pembaharuan logam-logam berharga seperti emas dan perak. Proses biosorpsi dapat terjadi karena adanya material biologis yang disebut biosorben dan adanya larutan yang mengandung logam berat dengan afinitas yang tinggi sehingga mudah terikat dengan biosorben (Ratnawati, dkk., 2010). Pengikatan logam berat yang berada di dalam suatu larutan dilakukan dengan cara pertukaran ion dimana ion-ion pada dinding sel mikroorganisme digantikan oleh ion-ion logam berat (Ratnawati dkk., 2010).

2.2.1 Mekanisme Biosorpsi

Menurut Ratnawati, dkk. (2010), proses biosorpsi logam berat umumnya terdiri dari 2 mekanisme, yaitu:

- a) *Passive Uptake*

Proses ini terjadi ketika ion logam berat terikat pada dinding sel dengan dua cara, yang pertama pertukaran ion-ion monovalen dan divalen seperti Na^+ , Ca^{2+} , dan Mg^{2+} pada dinding sel dengan ion-ion logam berat, dan kedua adalah pembentukan kompleks antara ion-ion logam berat dengan gugus-gugus fungsional seperti karbonil, amino, thiol, hidroksi, fosfat, dan hidroksi-karboksil yang terdapat pada dinding sel. Proses ini berlangsung bolak-balik dan cepat. *Passive uptake* dapat terjadi pada sel hidup maupun sel mati.

b) *Active Uptake*

Proses ini hanya dapat terjadi pada sel hidup. Mekanisme ini dapat terjadi secara simultan seiring dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan atau akumulasi intraseluler ion logam tersebut. Proses ini bergantung dari energi yang terkandung dalam mikroorganisme dan sensitif terhadap parameter-parameter yang berbeda, seperti pH, suhu, kekuatan ion, intensitas cahaya, dan lain-lain. Di sisi lain, proses biosorpsi dengan sel hidup terbatas dalam penggunaannya dikarenakan akumulasi ion logam yang dapat menjadi racun terhadap mikroorganisme sehingga dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Pemilihan mikroorganisme menjadi penting karena hanya mikroorganisme yang tahan terhadap logam berat yang dapat bertahan hidup.

2.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Proses Biosorpsi

Efisiensi penyerapan logam berat pada proses biosorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor ini juga disesuaikan dengan kondisi operasi. Beberapa faktor yang mempengaruhi biosorpsi, diantaranya:

a) Derajat keasaman (pH)

Nilai pH pada proses biosorpsi menggunakan merupakan parameter yang sangat mempengaruhi kemampuan penyerapan logam. Derajat keasaman mempengaruhi interaksi kimia yang terjadi dalam proses biosorpsi antara ion logam, gugus fungsional pada permukaan sel biomassa. Ikatan antara gugus fungsi protein biosorben dengan ion logam melibatkan penggantian proton sehingga nilai pH harus sesuai agar proses penyerapan dapat berlangsung secara optimal. Alga sebagai biosorben memiliki nilai $\text{pH} \pm 3$, diatas pH 3 alga memiliki muatan negatif sehingga dapat berikatan dengan logam yang bermuatan positif (Donmez, dkk., 1999). Apabila proses berlangsung pada pH di bawah 3, maka akan terjadi kompetisi antara ion logam dengan ion hidrogen, sehingga menghambat proses ikatan logam

oleh dinding sel dan membuat proses biosorpsi menjadi tidak optimal. Kompetisi terjadi karena banyaknya ion hidrogen yang menghambat proses penyerapan ion logam pada dinding sel biosorben. Sedangkan, bila nilai pH semakin tinggi maka semakin banyak jumlah ligan seperti gugus karboksilat dan gugus fungsional yang tersedia sehingga alga yang bermuatan negatif dapat berikatan dengan ion logam yang bermuatan positif (Al-Rub, dkk., 2006)

b) Waktu biosorpsi

Waktu biosorpsi akan mempengaruhi konsentrasi akhir logam. Semakin lama waktu biosorpsi maka konsentrasi akhir logam akan semakin kecil dikarenakan kontak antara ion logam dengan biosorben semakin lama sehingga proses biosorpsi juga akan berjalan dengan lebih sempurna (Hidayati, dkk., 2013). Hal ini juga dipengaruhi oleh kapasitas permukaan biosorben yang masih cukup besar untuk mengikat logam sebelum mencapai titik jenuh. Setelah mencapai titik kesetimbangan, kemampuan biomassa dalam mengikat logam berat akan mengalami penurunan karena kapasitas permukaan dinding sel yang mengalami kejemuhan. Dalam proses biosorpsi, peningkatan penyerapan maupun pengikatan logam secara cepat terjadi pada waktu kontak 0-180 menit. Setelah waktu kontak tersebut kapasitas penyisihan logam oleh beberapa mikroorganisme yang tanpa perlakuan menjadi konstan bahkan mengalami penurunan (Lapik, 2017).

c) Konsentrasi Logam

Konsentrasi logam berpengaruh terhadap transfer massa ion maupun proses pertukaran ion logam (Lapik, 2017). Semakin tinggi konsentrasi logam yang digunakan, maka efisiensi biosorpsi akan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena peningkatan jumlah ion logam akan meningkatkan persaingan antar ion logam untuk dapat berikatan dengan biosorben dan kurangnya sisi aktif biosorben untuk mengikat logam. Sebaliknya, pada konsentrasi logam yang rendah, jumlah sisi aktif biosorben akan meningkat sehingga proses biosorpsi berjalan dengan efektif (Akar dan Sibel, 2006).

d) Konsentrasi Biosorben

Konsentrasi biosorben dapat mempengaruhi efisiensi dari proses biosorpsi. Konsentrasi biosorben yang telah ditentukan akan mempengaruhi interaksi sel-sel dalam penyerapan logam (Lapik, 2017). Semakin sedikit biosorben yang digunakan maka semakin sedikit pula logam yang dapat diserap (Dhankhar dan Hooda, 2011). Hal ini disebabkan karena semakin sedikit biosorben yang digunakan membuat semakin sedikitnya sisi aktif biosorben. Namun,

pada jumlah biomassa yang tinggi, terbentuk agregat yang menghalangi permukaan alga sehingga kapasitas adsorpsi menurun (Donmez, dkk., 1999).

2.2.3 Biosorben

Biosorben memiliki peranan penting dalam proses biosorpsi. Proses biosorpsi akan berlangsung dengan optimum bila biosorben memiliki kemampuan menyerap logam yang tinggi, hal ini tentunya dipengaruhi oleh karakteristik biosorben. Pada biosorpsi, diperlukan biosorben dalam jumlah yang banyak dengan harga yang murah. Terdapat dua sumber utama biosorben yang umumnya digunakan, yaitu biosorben yang berasal dari produk samping industri fermentasi (bakteri dan jamur) dan biosorben alga yang berasal dari perairan (Naja dan Volesky, 2011). Biosorben yang digunakan dapat berupa sel hidup maupun sel mati. Biosorben yang berupa sel hidup adalah biosorben yang ditumbuhkan dalam suatu medium (kultivasi) dan langsung digunakan dalam proses biosorpsi sedangkan biosorben yang berupa sel mati berasal dari biosorben yang dikultivasi dan dikeringkan kemudian digunakan dalam proses biosorpsi (Suhendrayatna, 2001). Menurut Macek, dkk., (2011), pemilihan biosorben didasarkan pada beberapa pertimbangan berikut:

- a) Memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi logam yang tinggi
- b) Terdapat dalam jumlah besar
- c) Harga yang ekonomis
- d) Logam yang telah terikat dapat dilepas dengan mudah sehingga biosorben dapat digunakan kembali

Biosorben yang kuat biasanya berasal dari mikroorganisme. Mikroorganisme seperti *yeast*, jamur, bakteri, dan alga mampu melakukan penyerapan terhadap logam berat dan radionuklida. Penggunaan mikroorganisme untuk mengolah limbah cair industri yang mengandung logam toksik, selain lebih murah dibandingkan dengan sistem fisika-kimia, juga lebih aman bagi lingkungan, karena memungkinkan penggunduhan kembali logam yang diikat oleh sel-sel mikroorganisme, serta penggunaan kembali sel-sel tersebut sebagai biosorben (Lapik, 2017). Veglio dan Beolchini (1997), melaporkan bahwa biosorben seperti fungi, bakteri, dan ragi telah digunakan dalam pengolahan limbah logam-logam berat seperti Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ag, Au, Pb, Th, dan U. Beberapa keunggulan dan kelemahan dari berbagai jenis biosorben dapat dilihat pada **tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Keunggulan dan kelemahan berbagai jenis biosorben pada biosorpsi

Biosorben	Keunggulan	Kelemahan
Alga	<ul style="list-style-type: none"> - Dapat digunakan pada lingkungan yang memiliki konsentrasi ion logam berat yang tinggi - Dapat diregenerasi dan digunakan kembali - Tidak menghasilkan sludge - Efisiensi tinggi - Selektif dalam penyerapan ion-ion logam (Kotrba, 2011) - Jika menggunakan sel mati, tidak perlu mensuplai oksigen dan nutrien (Kotrba, 2011) - Kompatibel pada proses aerobik dan anaerobik 	<ul style="list-style-type: none"> - Perlu dilakukan imobilisasi (Kotrba, 2011)
Bakteri	<ul style="list-style-type: none"> - Dapat dimodifikasi secara kimia untuk meningkatkan kapasitas penyerapan (Kotrba, 2011) 	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak dapat diregenerasi - Sangat sensitif terhadap perubahan pH
Jamur	<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki kapasitas penyerapan yang tinggi - Dapat diregenerasi dan digunakan kembali (Viraraghavan, dkk., 2011) - Mudah dibudidayakan dalam skala besar (Dhankhar, dkk., 2011) 	<ul style="list-style-type: none"> - Menghasilkan sludge yang biasanya bersifat racun (Dhankhar, dkk., 2011) - Membutuhkan energi dan reagen yang besar agar proses dapat berjalan - Perlu dilakukan imobilisasi sebelum digunakan (Viraraghavan, dkk., 2011)

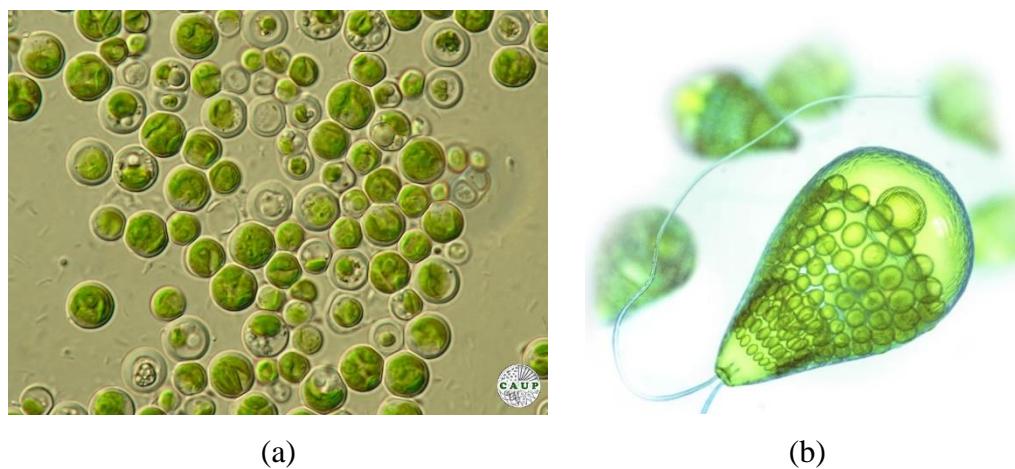
2.3 Mikroalga

Mikroalga merupakan tumbuhan air yang berukuran mikroskopik yang terdiri dari berbagai jenis dengan sifat-sifat yang berbeda. Dalam siklus makanan di perairan, mikroalga berperan sebagai produsen utama. Menurut Aung, dkk (2013), sekitar 40% proses fotosintesis secara global dilakukan oleh mikroalga. Mikroalga memiliki berbagai potensi yang dapat dikembangkan sebagai sumber pakan, pangan, maupun bahan kimia. Selama ini mikroalga telah dikenal sebagai bahan baku dalam industri farmasi, kosmetik, dan *biofuel* (Kurniawan dan Aunurohim, 2014). Selain itu, mikroalga juga mampu secara selektif menyerap logam dari media cair dan mengakumulasi logam tersebut dalam selnya (Aksu dan Donmez, 2006).

Menurut Kawaroe (2010), secara umum mikroalga dapat dibagi ke dalam empat kelompok utama:

a) *Chlorophyceae* (alga hijau)

Chlorophyceae berasal dari filum *Chlorophyta* mengandung klorofil A dan B dalam satu kroloplas. Mikroalga jenis ini telah banyak digunakan secara komersial. Beberapa mikroalga yang berada dalam kelas *Chlorophyceae* adalah *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina*, *Haematococcus pluvialis*, *Parietochloris incisa*, dan *Botryococcus braunii*.



Gambar 2.8 Contoh mikroalga kelompok *Chlorophyceae* (a) *Chlorella vulgaris* (Skaloud, 2007), (b) *Dunaliella salina* (Algotherm)

b) *Bacillariophyceae* (diatom)

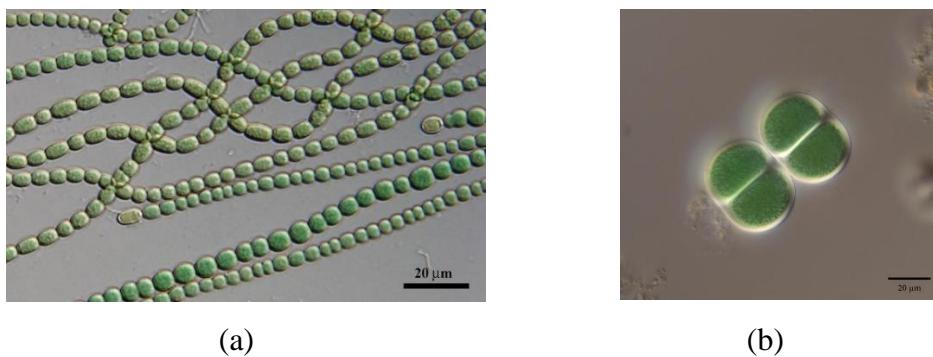
Bacillariophyceae berasal dari filum *Chrysophyta*. Alga ini mendominasi jumlah fitoplankton di laut dan dapat ditemukan dalam perairan tawar dan payau. *Bacillariophyceae* dapat hidup baik secara uniseluler maupun koloni. Jenis mikroalga ini memiliki sel yang dilindungi kapsul seperti gelas. *Bacillariophyceae* memiliki berbagai pigmen klorofil termasuk karotenoida serta pigmen khusus yang disebut diatomin. Beberapa mikroalga yang berada dalam kelas ini adalah *Chaetoceros sp.*, *Nitzschia sp.*, *Navicula sp.*, *Skeletonema sp.*, dan *Amphora sp.*



Gambar 2.9 Contoh mikroalga kelompok diatom (a) *Nitzschia closterium* (Smith), (b) *Pinnularia* sp (Protist Information Server)

c) *Cyanophyceae* (Alga Biru-Hijau)

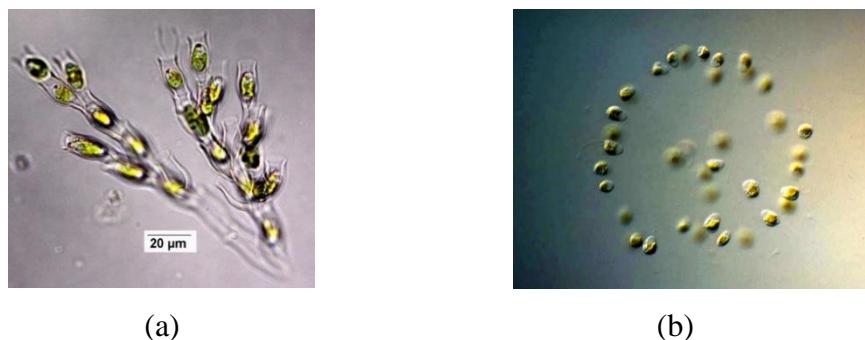
Cyanophyceae berasal dari filum *Cyanophyta* dan memiliki kombinasi klorofil berwarna hijau dan fikosianin berwarna biru. Pada *Cyanophyceae* terdapat kombinasi pigmen klorofil, karotenoida, fikosianin, dan fikoerithin dalam jumlah yang berbeda sehingga warna mikroalgapun menjadi berbeda-beda. Warna mikroalga yang ditemukan dapat berwarna merah, hijau terang, coklat, ungu dan hitam. *Cyanobacteria* merupakan organisme prokariotik karena tidak memiliki nukleus dan organel seperti kloroplas dan mitokondria.



Gambar 2.10 Contoh mikroalga kelompok *Cyanophyceae* (a) *Anabaena* sp. (Culture Collection of Autotrophic Organisms), (b) *Chroococcus turgidus* (Nordic Microalgae)

d) *Chrysophyceae* (Alga perang)

Chrysophyceae memiliki kombinasi antara dua pigmen, yaitu keemasan (pigmen karoten) dan klorofil (pigmen hijau). *Chrysophyceae* dapat hidup baik secara uniseluler maupun kolon dan hidup mengambang di danau dan laut.



Gambar 2.11 Contoh mikroalga kelompok *Chrysophyceae* (a) *Dinobryon sp.* (Center for Freshwater Biology), (b) *Uroglena sp.* (Center for Freshwater Biology)

2.3.1 Inokulasi Mikroalga

Inokulasi adalah kegiatan memindahkan mikroorganisme dari medium yang lama ke medium yang baru dengan tingkat ketelitian yang sangat tinggi. Untuk melakukan inokulasi terlebih dahulu diusahakan agar semua alat yang digunakan steril, hal ini agar menghindari terjadinya kontaminasi (Dwidjoseputro, 1998). Menurut Kawaroe, (2010), inokulasi dapat dilakukan menggunakan 4 metode, antara lain:

a) Metode Pipet Kapiler

Pada metode ini, pipet kapiler dibuat dengan cara memanaskan ujung pipet dengan pembakar bunsen kemudian pipet ditarik dengan pinset. Pipet kapiler kemudian disterilkan dengan meletakkan pada aquades yang mendidih. Teteskan air yang mengandung mikroalga kedalam gelas obyek menggunakan pipet kapiler dan cari tetesan yang mengandung 1 sel dan pindahkan tetesan tersebut ke medium. Mikroalga akan berkembangbiak dan menghasilkan kultur murni.

b) Metode Pengenceran Berseri

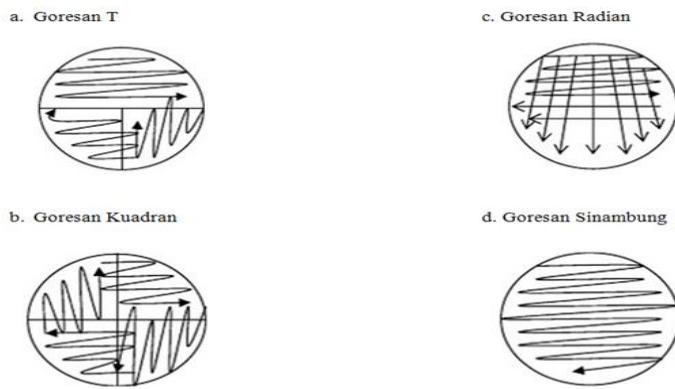
Metode ini dilakukan apabila mikroalga yang terkumpul sangat banyak dan terdapat satu jenis mikroalga yang dominan. Metode yang dilakukan adalah menyiapkan 10 tabung reaksi yang berisi 9 mL media steril kemudian 1 mL air sampel dimasukkan kedalam tabung reaksi pertama dan kocok hingga merata. Larutan dari tabung reaksi pertama diambil sebanyak 1 mL dan dimasukkan dalam tabung reaksi kedua dan kocok hingga tercampur. Lakukan langkah yang sama sampai tabung reaksi ke 10. Tabung reaksi kemudian diinkubasi dan dilakukan pengecekan menggunakan mikroskop setelah 2-4 minggu. Umumnya mikroalga tumbuh dengan lebih baik pada larutan yang encer.

c) Metode Subkultur

Metode ini mirip dengan metode pengenceran berseri namun metode ini dilakukan apabila jumlah dan jenis mikroalga yang terkumpul berjumlah sedikit. Perbedaan metode ini dengan metode pengenceran berseri adalah pada metode ini, masing-masing tabung reaksi dimasukkan 1 mL air sampel kemudian diinkubasi dan dilakukan pengecekan menggunakan mikroskop.

d) Metode Goresan

Metode ini dapat digunakan untuk mikroalga yang berukuran sangat kecil (<10 mm). Metode ini dilakukan dengan melarutkan medium dalam air kemudian larutan dipanaskan sambil diaduk sampai larutan menjadi jernih. Larutan kemudian dituangkan dalam cawan petri steril atau tabung reaksi dengan posisi miring. Masukkan bibit mikroalga dengan menggoreskan jarum ose steril secara zig-zag. Media kemudian ditutup dan diinkubasi. Setelah beberapa hari, mikroalga akan tumbuh dalam media. Umumnya, terdapat 4 metode goresan yaitu goresan T, goresan kuadran, goresan radian, dan goresan sinambung. Metode goresan pada inokulasi mikroalga disajikan pada **gambar 2.12**



Gambar 2.12 Metode Goresan Inokulasi

2.3.2 Kultivasi Mikroalga

Kultivasi mikroalga atau pembudidayaan mikroalga bertujuan untuk meningkatkan atau memperbanyak sel mikroalga sehingga dapat diperoleh jumlah mikroalga yang diinginkan. Hal yang harus diperhatikan dalam kultivasi mikroalga adalah seleksi terhadap spesies yang akan dijadikan kultivan harus dilakukan dengan baik. Karakteristik utama yang diperlukan dalam seleksi mikroalga adalah spesies yang memiliki kemampuan sebagai berikut:

- a) Toleransi terhadap perubahan suhu, salinitas, dan intensitas cahaya
- b) Ketahanan terhadap penyakit dan kontaminan
- c) Toleransi terhadap kandungan nutrient yang tinggi
- d) Siklus hidup yang memungkinkan untuk dilakukan kultivasi

Kultivasi mikroalga akan tumbuh dengan baik apabila kondisi medium memiliki kandungan nutrien dan komposisi logam yang sama dengan perairan alami. Pada kultivasi, media ditambahkan dengan nutrien makro, mikro, vitamin, dan logam tertentu yang dapat memperlancar proses fotosintesis. Metode kultivasi bergantung kepada besar kecilnya volume medium, lokasi kultivasi (di dalam ruangan atau di luar ruangan), jenis bahan kimia yang digunakan (pro analisis atau teknis), pengolahan air, dan tingkat kemurnian bibit/starter.

Terdapat 3 jenis kultivasi mikroalga, yaitu (Liu dan Chen, 2015):

- a) Fotoautotrof

Mikroalga memperoleh energi dari karbondioksida dan cahaya.

- b) Miksotropik

Tidak membutuhkan cahaya dan tetap membutuhkan karbon dari komponen organik selain gula.

- c) Heterotrof

Tidak membutuhkan cahaya tetapi tetap membutuhkan karbon dari komponen organic seperti gula.

Kultivasi mikroalga dipengaruhi oleh beberapa faktor umum. Biasanya yang berdampak besar terhadap kultivasi mikroalga adalah faktor lingkungan. Faktor lingkungan akan sangat berpengaruh terhadap laju pertumbuhan dan metabolisme dari makhluk hidup yang berukuran mikro ini. Faktor-faktor tersebut antara lain:

- a) Intensitas Cahaya

Cahaya merupakan sumber energi dalam proses fotosintesis yang berguna untuk pembentukan senyawa karbon organik. Intensitas cahaya sangat menentukan tingkat pertumbuhan mikroalga. Jeon, dkk (2005) menyatakan bahwa aktivitas fotosintetis meningkat seiring dengan kenaikan intensitas cahaya. Hal ini menjadi sangat penting apabila mikroalga dikultivasi pada kedalaman tertentu.

- b) Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi laju pertumbuhan mikroalga. Perubahan suhu dapat mempengaruhi proses metabolisme dari mikroalga. Secara umum, suhu optimal dalam kultur mikroalga berkisar antara 20-24°C (Fachrullah, 2011). Studi tentang pengaruh suhu dan laju pertumbuhan mikroalga telah dilakukan oleh Goldman dan Carpenter (1974), dan dilaporkan bahwa kenaikan suhu pada rentang tertentu dapat meningkatkan laju pertumbuhan mikroalga.

c) Kadar Nutrien

Mikroalga memperoleh nutrien dari air laut yang sudah mengandung nutrient yang cukup lengkap. Sebagian besar mikroalga membutuhkan makronutrien seperti karbon (C), nitrogen, hydrogen, sulfur, kalium, magnesium, dan fosfor. Mikronutrient diperlukan juga untuk meningkatkan pertumbuhan sel dan metabolisme. Beberapa unsur mikronutrien diantaranya zat besi (Fe), boron (B), mangan (Mn), vanadium (Va), silicon (Si), selenium (Se), tembaga (Cu), nikel (Ni), dan molybdenum (Mo) (Hadiyanto dan Azim, 2012).

d) Kadar CO₂

Karbondioksida diperlukan oleh mikroalga untuk membantu proses fotosintesis. CO₂ dengan kadar 1-2% biasanya sudah cukup untuk digunakan dalam kultur mikroalga dengan intensitas cahaya yang rendah (Fachrullah, 2011). Tingginya kadar CO₂ dalam medium pertumbuhan juga dapat mempengaruhi nilai pH. Semakin tinggi kadar CO₂ di atas 33% dari komposisi udara normal, laju pertumbuhan mikroalga menjadi terhambat (Kong, dkk., 2010).

e) pH

Sebagian besar mikroalga tumbuh pada kondisi pH normal antara 7-9, dengan kisaran optimal antara pH 8,2 dan 8,7 (Danusubrata, 2010). Pengaturan tingkat pH yang kurang sesuai dapat mengakibatkan terganggunya proses metabolisme mikroalga secara selular yang dapat berujung pada kegagalan kultivasi.

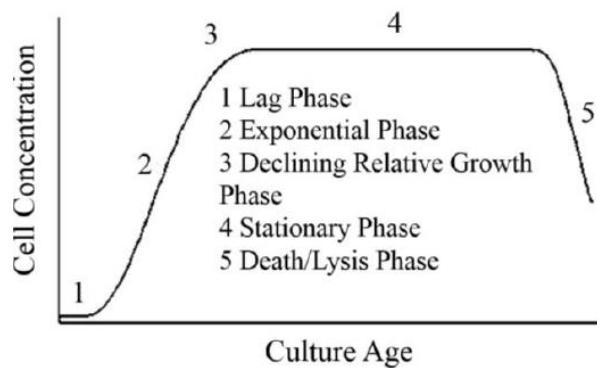
f) Salinitas

Tingkat salinitas yang berubah-ubah dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroalga. Beberapa mikroalga dapat tumbuh dalam lingkungan yang memiliki tingkat salinitas yang tinggi tetapi ada juga yang dapat tumbuh dalam lingkungan yang memiliki tingkat salinitas rendah. Kisaran salinitas yang paling optimum untuk pertumbuhan mikroalga adalah 25-35% (Sylvester dkk., 2002). *Dunaliella salina* dan *Spirulina platensis* adalah contoh mikroalga

yang dapat tumbuh pada lingkungan dengan salinitas yang tinggi (Graneli dan Salomon, 2010).

2.3.3 Fase Pertumbuhan Mikroalga

Pertumbuhan mikroalga dapat diamati dengan dua acara, yaitu dengan melihat pertambahan besar ukuran sel mikroalga atau dengan mengamati peningkatan jumlah sel dalam waktu tertentu (Prabowo, 2009). Cara kedua lebih sering digunakan untuk mengetahui pertumbuhan mikroalga yang dikembangkan dalam media kultur, yaitu dengan menghitung kelimpahan atau kepadatan sel mikroalga dari waktu ke waktu.



Gambar 2.13 Kurva Pertumbuhan Mikroalga (Price, dkk., 2013)

Berdasarkan kurva pertumbuhan mikroalga, terdapat 5 fase dalam pertumbuhan mikroalga, yaitu:

a) Fase adaptasi/*lag phase*

Pada fase ini, mikroalga berusaha menyesuaikan diri dengan lingkungan dan medium baru untuk tumbuh dan berkembang biak. Pada saat ini mikroalga berusaha merombak materi-materi dalam medium agar dapat digunakan sebagai nutrisi untuk pertumbuhannya.

b) Fase eksponensial/*exponential phase*

Fase ini merupakan fase dimana mikroalga sudah dapat menggunakan nutrisi dalam mediumnya. Pada fase ini mikroalga akan tumbuh dan membelah diri sehingga jumlahnya meningkat cepat. Fase ini kecepatan pertumbuhan mikroalga akan dipengaruhi oleh jenis mikroalga, intensitas cahaya dan suhu lingkungan (Coutteau, 1996).

c) Fase pertumbuhan diperlambat/*declining relative growth phase*

Fase ini dimulai pada akhir fasa eksponensial. Pertumbuhan mikroalga yang cepat tidak diimbangi dengan tersedianya nutrisi yang cukup. Penyebab lain yang memperlambat pertumbuhan mikroalga adalah terakumulasinya produk metabolit sekunder (senyawa yang dihasilkan oleh mikroalga sebagai hasil samping dari proses metabolisme).

d) Fase stasioner/*stationary phase*

Pada fase ini, dengan jumlah nutrisi yang terbatas akan menurunkan laju pertumbuhan sehingga laju pertumbuhan akan sama dengan laju kematian sehingga terjadi garis lurus pada kurva.

e) Fase kematian/*lysis phase*

Fase ini terjadi apabila sudah benar-benar tidak ada nutrisi yang dapat mencukupi kebutuhan hidup mikroalga. Keadaan ini diperparah oleh akumulasi produk metabolit primer dan sekunder sehingga terus menginhibisi ataupun merepresi pertumbuhan mikroalga. Selain itu, faktor usia sel juga menjadi salah satu alasan terjadinya fasa ini dikarenakan kekuatan pertahanan sel terhadap kondisi lingkungan semakin berkurang.

2.4 *Chlorella sp.*

Chlorella berasal dari kata *chloros* yang memiliki arti hijau dan *ella* yang memiliki arti mikroskopik (Safi, dkk., 2014). *Chlorella sp.* merupakan mikroorganisme dengan tingkat organisasi selnya termasuk ke dalam tumbuhan tingkat rendah tidak memiliki akar, batang, dan daun sejati (semu). *Chlorella sp.* merupakan salah satu jenis alga hijau yang termasuk ke dalam kelas *Chlorophyceae* dengan suku *Chlorellaceae* yang merupakan ganggang halus hijau yang umumnya disebut mikroalga hijau bersel tunggal. *Chlorella sp.* dapat bergerak tetapi sangat lambat sehingga pada pengamatan seakan-akan tidak bergerak.

Chlorella merupakan mikroorganisme fotosintetik yang muncul sejak masa pre-cambrian \pm 2,5 miliar tahun yang lalu (Sachlan, 1982). Keberhasilan bertahan hidup hingga saat ini disebabkan oleh kestabilan sifat genetik dan kemampuan pembawa sifatnya yang turun-temurun selama milyaran tahun (Vonshak, 1985).

Chlorella merupakan alga yang pertama kali dapat diisolasi secara murni. Kultur murni chlorella pertama kali dibuat pada 1890 oleh Beijerinck, seorang ilmuwan asal Belanda. Selanjutnya pada tahun 1919, Otto Warburg memperkenalkan penggunaan *Chlorella* sebagai objek untuk mempelajari fotosintesa (Borowitzka, 1988).



Gambar 2.14 Kumpulan sel *Chlorella sp.* skala 10 μm (Barsanti dan Gualtieri, 2014)

Chlorella sp. merupakan kelompok alga yang paling beragam, dengan lebih dari 7000 spesies tumbuh dalam habitat yang beragam, seperti tumbuhan. *Chlorella sp.* memiliki zat warna hijau daun (pigmen klorofil) yang mampu melakukan fotosintesis dengan bantuan air (H_2O), CO_2 , dan sinar matahari yang dapat mengubah energi kinetik menjadi energy kimiawi dalam bentuk biomassa penghasil gula atau yang lebih dikenal dengan karbohidrat (Kabinawa, 2001). Sel *Chlorella sp.* berbentuk bulat, hidup soliter, berukuran 2-8 μm . Sel *Chlorella sp.* mengandung 50% protein, lemak, serta vitamin A, B, D, E, dan K, di samping itu banyak terdapat pigmen hijau yang berfungsi sebagai katalisator dalam proses fotosintesis (Sachlan, 1982).

Mikroalga *Chlorella sp.* termasuk mikroorganisme yang cepat dalam berkembang biak, mengandung gizi yang cukup tinggi yaitu protein 42,2%, lemak kasar 15,3%, nitrogen dalam bentuk ekstrak, air 5,7% dan serat 0,4%. Untuk setiap berat kering yang sama, *Chlorella* mengandung vitamin A, B, D, E, dan K 30 kali lebih banyak daripada vitamin yang terkandung dalam hati anak sapi, serta empat kali lebih banyak dari vitamin yang terkandung dalam sayur bayam, kecuali vitamin C (Watanabe, dkk., 1983). *Chlorella* juga menghasilkan suatu antibiotik yang disebut *Chlorellin*, yaitu suatu zat yang dapat melawan penyakit yang disebabkan oleh bakteri (Vashista, 1979).

Chlorella sp. merupakan fitoplankton yang sering dijumpai di perairan umum, baik perairan tawar maupun perairan laut. Karena mikroorganisme ini tidak beracun dan memiliki

nilai gizi yang tinggi, *Chlorella sp.* merupakan salah satu mikroalga yang sering dibudidayakan untuk berbagai keperluan seperti obat-obatan, kosmetik, atau untuk biodiesel alternatif. Mikroalga ini dapat tumbuh pada salinitas 0-35 ppt. Mikroalga ini masih dapat bertahan hidup pada suhu 40°C, tetapi tidak tumbuh. Kisaran suhu 25-30°C merupakan kisaran suhu yang optimal untuk pertumbuhan alga ini (Aprilliyanti, dkk., 2016). *Chlorella sp.* juga merupakan salah satu agen bioremediasi yang baik. Selain dapat hidup pada lingkungan yang tercemar juga dapat memakai logam berat sebagai logam esensial untuk metabolisme.

Terdapat berbagai jenis medium yang dapat digunakan sebagai media hidup mikroalga *Chlorella sp.*, seperti BG-11, Walne, Fog, Bristol, Bold, f2, dan lain sebagainya. Semua jenis medium tersebut memiliki kandungan unsur hara yang dibutuhkan untuk pertumbuhan *Chlorella*, seperti N, P, K, S, Ca, dan mineral lainnya. Kebutuhan unsur hara bagi kehidupan mikroalga secara garis besar terbagi menjadi dua yaitu unsur hara makro dan unsur hara mikro. Unsur hara makro terdiri dari N, P, K, S, Na, Si dan Ca sedangkan unsur hara mikro terdiri dari Fe, Zn, Mn, Cu, Mg, Mo, Co dan B.

Komposisi medium BG-11 dapat dilihat pada **tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Komposisi medium BG-11 (Culture Collection of Algae and Protozoa)

No	Komponen	Nutrisi	Komposisi
1	Stok Trace Metal		Per 1 L aquades
		H ₃ BO ₃	2,86 g
		MnCl ₂ .4H ₂ O	1,81 g
		ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,22 g
		Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0,39 g
		CuSO ₄ .5H ₂ O	0,08 g
		Co(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	0,05 g
2			Per 500 mL aquades
3		NaNO ₃	75 g
4		K ₂ HPO ₄	2 g
5		MgSO ₄ .7H ₂ O	3,75 g
6		CaCl ₂ .2H ₂ O	1,8 g
7		Citric acid	0,3 g
		Ammonium	
		ferric citrate	0,3 g
		green	
8		Na ₂ EDTA	0,05 g
9		Na ₂ CO ₃	1 g
	Larutan Media		Per 1 L aquades
	Larutan No 1		1 mL
	Larutan No 2-9		10 mL

Komposisi Medium Bold dapat dilihat pada **tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Komposisi medium Bold (Culture Collection of Algae and Protozoa)

No	Komponen	Nutrisi	Komposisi
Per 400 mL aquades			
1		NaNO ₃	10 g
2		MgSO ₄ .7H ₂ O	3 g
3		NaCl	1 g
4		K ₂ HPO ₄	3 g
5		KH ₂ PO ₄	7 g
6		CaCl ₂ .2H ₂ O	1 g
Per 1 L aquades			
7	Stok Trace Metal	ZnSO ₄ .7H ₂ O	8,82 g
		MnCl ₂ .4H ₂ O	1,44 g
		MoO ₃	0,71 g
		CuSO ₄ .5H ₂ O	1,57 g
		Co(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	0,49 g
Per 1 L aquades			
8		H ₃ BO ₃	11,42 g
9		EDTA	50 g
10		KOH	31 g
11		FeSO ₄ .7H ₂ O	4,98 g
12		H ₂ SO ₄	1 mL
Larutan Media			Per 1 mL aquades
Larutan No. 1-6			10 mL
Larutan No. 7-12			1 mL

Komposisi Medium Bristol dapat dilihat pada **tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Komposisi medium Bristol (Cyanosite Bio)

Nutrisi	Komposisi (per liter aquades)
NaNO ₃	25 g
CaCl ₂ .2H ₂ O	2,5 g
MgSO ₄ .7H ₂ O	7,5 g
K ₂ HPO ₄	7,5 g
KH ₂ PO ₄	17,5 g
NaCl	2,5 g

Komposisi Medium Fog dapat dilihat pada **tabel 2.5**.

Tabel 2.5 Komposisi medium Fog (Sharma, 2015)

Komponen	Nutrisi	Komposisi
Larutan Fe-EDTA		Per 100 mL aquades
		Na ₂ EDTA 745 mg
		FeSO ₄ .7H ₂ O 557 mg
		Aquades 100 mL
Stok Trace Metal	H ₃ BO ₃	2,86 g

Tabel 2.5 Komposisi medium Fog (Sharma, 2015) (lanjutan)

Komponen	Nutrisi	Komposisi
	MnCl ₂ .4H ₂ O	1,81 g
	ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,222 g
	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0,39 g
	CuSO ₄ .5H ₂ O	0,08 g
	Aquades	1 L
Larutan Media	KNO ₃	2 g
	K ₂ HPO ₄	200 mg
	MgSO ₄ .7H ₂ O	200 mg
	CaCl ₂ .2H ₂ O	100 mg
Larutan Fe-EDTA		5 mL
Stok Trace Metal		1 mL
	Aquades	1 L

Komposisi Medium Walne dapat dilihat pada **tabel 2.6**.

Tabel 2.6 Komposisi medium Walne (Culture Collection of Algae and Protozoa)

Komponen	Nutrisi	Komposisi
Stok Trace Metal		Per 100 mL aquades
	ZnCl ₂	2,1 g
	CoCl ₂ .6H ₂ O	2 g
	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	0,9 g
	CuSO ₄ .5H ₂ O	2 g
Larutan Vitamin		Per 100 mL aquades
	Vitamin B ₁	10 mg
	Vitamin B ₁₂	10 mg
Larutan Media		Per 1 L aquades
	NaNO ₃	100 g
	Na ₂ EDTA	45 g
	H ₃ BO ₃	33,6 g
	Na ₂ H ₂ PO ₄ .2H ₂ O	20 g
	FeCl ₃ .6H ₂ O	1,3 g
	MnCl ₂ .4H ₂ O	0,36 g
Larutan Vitamin		0,1 mL
Stok Trace Metal		1 mL

Komposisi Medium f2 dapat dilihat pada **tabel 2.7**.

Tabel 2.7 Komposisi Medium f2 (Culture Collection of Algae and Protozoa)

Komponen	Nutrisi	Komposisi
Trace Elemen Stok	Na ₂ EDTA	4,16 g
	FeCl ₃ .6H ₂ O	3,15 g
	CuSO ₄ .5H ₂ O	0,01 g
	ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,022 g

Tabel 2.7 Komposisi Medium f2 (Culture Collection of Algae and Protozoa) (lanjutan)

Komponen	Nutrisi	Komposisi
Larutan Vitamin	CoCl ₂ .6H ₂ O	0,01 g
	MnCl ₂ .4H ₂ O	0,18 g
	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0,006 g
	Aquades	1 L
Larutan Media	Vitamin B ₁₂	0,0005 g
	Vitamin B ₁	0,1 g
	Biotin	0,0005 g
	Aquades	1 L
	Na ₂ NO ₃	0,075 g
	NaH ₂ PO ₄ .2H ₂ O	0,0056 g
	Trace Elemen Stok	1 mL
	Larutan Vitamin	1 mL
	Aquades	1 L

2.5 Penelitian Tentang Biosorpsi Logam Kromium Menggunakan *Chlorella sp.*

a) Penelitian Sibi, 2016

Pada penelitian ini digunakan mikroalga *Chlorella vulgaris*. Percobaan dimulai dengan menumbuhkan mikroalga dalam medium Bold pada suhu 24±2°C selama 14 hari dan disinari dengan cahaya putih dengan intensitas cahaya sebesar 2960 lux. Setelah 14 hari, mikroalga kemudian dipisahkan dengan mediumnya dengan cara sentrifugasi. Sentrifugasi dilakukan selama 10 menit dengan kecepatan 4000 rpm. Setelah disentrifugasi, mikroalga yang telah terpisah kemudian dicuci dengan air ditilasi untuk menghilangkan medium yang masih menempel pada sel mikroalga. Setelah pencucian, mikroalga dikeringkan dalam oven pada suhu 40°C sampai didapat berat yang konstan. Larutan kromium (VI) dibuat dengan menggunakan K₂Cr₂O₇ dalam akuades. Percobaan dilakukan dengan mencampurkan mikroalga yang telah dikeringkan dengan larutan K₂Cr₂O₇ dengan konsentrasi 50 mg/L dalam Erlenmeyer 250 mL pada suhu 25±1°C dan disimpan dalam shaker dengan kecepatan 120 rpm. Pada percobaan dilakukan variasi konsentrasi biomassa (0,2-2 g/L), waktu kontak (1-6 jam dengan interval waktu setiap 1 jam), pH (0,5-5), dan salinitas (2593-15184 ppm).

b) Penelitian Rezaei, dkk., 2011

Pada biosorpsi kromium menggunakan *Chlorella pyrenoidosa*, alga ditumbuhkan dalam medium Fog pada suhu 28°C dan disinari dengan intensitas cahaya sebesar 3000 lux. Alga kemudian dikultivasi selama 21 hari kemudian setelah 21 hari sel-sel alga dipanen dengan

sentrifugasi dan kemudian dicuci beberapa kali dengan air distilasi untuk menghilangkan media kultur yang masih menempel pada alga. Kemudian biomassa yang telah dicuci disimpan pada kertas saring untuk mengurangi kadar airnya. Biomassa kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C selama 24 jam. Setelah dikeringkan, biomassa kemudian digerus dan kemudian diayak untuk mendapatkan ukuran partikel di bawah 1 mm dan disimpan di dalam wadah tertutup dalam lemari yang gelap dan kering. Biomassa dengan variasi konsentrasi 0.4-12 g/L kemudian dicampurkan dengan larutan yang mengandung logam dalam Erlenmeyer 250 mL dan diatur pada pH dan suhu yang sesuai. Konsentrasi kromium divariasikan antara 10-100 mg/L. Erlenmeyer kemudian diaduk selama 300 menit dengan kecepatan 120 rpm dengan variasi suhu 10-40°C dan variasi pH 2-6, sampel kemudian diambil pada selang waktu tertentu. Sebelum dilakukan analisis, sampel disentrifugasi terlebih dahulu. Setelah disentrifugasi, biomassa yang telah terpisah dengan supernatant kemudian diambil lalu dicuci dengan air distilasi untuk menghilangkan logam yang tidak teradsorpsi ke dalam biomassa. Biomassa kemudian dicampurkan dengan KBr lalu biomassa dianalisis dengan spektrofotometer inframerah (FTIR). Jumlah logam yang teradsorpsi diukur menggunakan persamaan berikut:

$$qe = \frac{(Co - Ce)}{M} \times V$$

Keterangan:

qe = Jumlah logam kromium yang teradsorpsi (mg/g)

Co = Konsentrasi kromium awal (mg/L)

Ce = Konsentrasi kromium pada kesetimbangan (mg/L)

V = Volume larutan kromium awal (L)

M = Dosis alga (gram)

Dari hasil percobaan berdasarkan variasi pH didapat persentase *removal* tertinggi terdapat pada nilai pH 5 (konsentrasi logam 10 mg/L, waktu kontak 120 menit, suhu 25°C, konsentrasi biomassa 0,4 g/L, kecepatan pengadukan 120 rpm) dengan persentase *removal* sebesar 92,51%. Berdasarkan variasi waktu kontak dan konsntrasi awal logam, didapat waktu untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi yaitu selama 60 menit untuk semua varian konsentrasi awal logam, dengan persentase *removal* tertinggi sebesar 88,93% pada konsentrasi logam awal 10 mg/L dengan waktu kontak 60 menit (konsentrasi biomassa 0,4 g/L, pH = 5, suhu

25°C, kecepatan pengadukan 120 rpm). Berdasarkan variasi konsentrasi biomassa, didapat persentase removal tertinggi terdapat pada konsentrasi biomassa sebesar 12 g/L (konsentrasi logam 10 mg/L, waktu kontak 120 menit, pH = 5, suhu 25°C, kecepatan pengadukan 120 rpm) dengan persentase removal sebesar 99,82%. Berdasarkan variasi suhu, didapat persentase removal tertinggi terdapat pada suhu 30°C (konsentrasi logam 50 mg/L, waktu kontak 120 menit, konsentrasi biomassa 0,4 g/L, pH = 5, kecepatan pengadukan 120 rpm). Dari hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa semakin besar dosis biomassa, persentase *removal* akan semakin besar. Dari hasil perhitungan juga didapat pengaruh suhu terhadap persentase *removal* logam kromium yaitu semakin besar suhu yang digunakan, semakin besar pula persentase *removal* logam kromium dengan suhu paling optimum sebesar 30°C. Pada penelitian, pH optimum biosorpsi adalah 5 yang memberikan persentase *removal* logam kromium paling tinggi.

c) Penelitian Nacorda, dkk., 2010

Penelitian ini menggunakan mikroalga jenis *Chlorella vulgaris* sebagai biosorben dan larutan yang mengandung ion kromium(VI) dibuat dengan menggunakan K₂Cr₂O₇. Mikroalga ditumbuhkan dalam medium BG-11 sampai didapatkan konsentrasi biomassa sebesar 10.000 sel/mL. Mikroalga ditumbuhkan dalam kondisi terbuka pada suhu 25-27°C. Tingkat pertumbuhan mikroalga dianalisis menggunakan metode turbidimetri dengan mengukur *Optical Density* (OD) pada penjang gelombang 625 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Data absorbansi dikonversikan menjadi berat biomassa kering (*Biomass DW*) menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Biomass DW} = 0,15 \times (\text{OD}_{625 \text{ nm}})$$

Dengan:

Biomass DW = Berat Biomassa Kering (mg/L)

OD_{625 nm} = Absorbansi pada panjang gelombang 625 nm

Setelah konsentrasi biomassa mencapai 10.000 sel/mL, biomassa kemudian dicampurkan dengan larutan K₂Cr₂O₇ dalam erlenmeyer 100 mL dengan variasi konsentrasi larutan kromium 0,1 mg/L, 1,0 mg/L, 3 mg/L, dan 7 mg/L. Waktu kontak ditetapkan selama 12 hari dalam suhu ruang (25-27°C). Setelah 12 hari, sampel diambil kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 5000 rpm selama 10 menit. Setelah disentrifugasi, supernatant kemudian diambil

dan dianalisis dengan metode *diphenylcarbazide* menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Dari hasil percobaan didapatkan bahwa persentase removal tertinggi berada pada konsentrasi logam sebesar 0,1 mg/L dengan persentase removal sebesar 52%. Pada konsentrasi logam 1,0 mg/L didapat persentase removal sebesar 20%. Pada konsentrasi logam 3 mg/L didapat persentase removal sebesar 1,41%. Dari hasil percobaan disimpulkan bahwa dengan konsentrasi biomassa yang sama, bahwa semakin besar konsentrasi logam nilai persentase removal akan semakin rendah dikarenakan sel-sel mikroalga sudah tidak dapat lagi mengadsorpsi logam kromium.

d) Penelitian Gokhale, dkk., 2008

Pada penelitian ini, larutan kromium dibuat dengan menggunakan $K_2Cr_2O_7$. Sel *Chlorella vulgaris* mati (dalam bentuk bubuk). Percobaan dimulai dengan menyiapkan 1 g/L larutan kromium. Sebelum percobaan biosorpsi dimulai, alga sebagai biosorben ditumbuhkan terlebih dahulu. Alga ditumbuhkan dalam medium BG-11 dalam kondisi steril dan disinari dengan cahaya putih, merah dan biru dengan intensitas cahaya sebesar 1400 lux. Alga kemudian dikultivasi selama 20 hari kemudian setelah 20 hari sel-sel alga dipanen dengan sentrifugasi dengan kecepatan 7000 rpm selama 15 menit dan kemudian dicuci dengan air distilasi untuk menghilangkan media kultur yang masih menempel pada alga. Kemudian biomassa yang telah dicuci dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C selama 24 jam. Setelah dikeringkan, alga kemudian dicampurkan dengan larutan yang mengandung logam dalam Erlenmeyer 250 mL dan diatur pada pH dan suhu yang sesuai. Suhu ditetapkan sebesar 25°C. Konsentrasi kromium divariasikan antara 25-250 mg/L. Erlenmeyer kemudian diaduk selama 600 menit dengan kecepatan 180 rpm dengan variasi konsentrasi biomassa 0,2-2,4 g/L dan variasi pH 1-5,5. Sampel kemudian diambil pada selang waktu 5 menit. Sebelum dilakukan analisis, sampel disentrifugasi terlebih dahulu selama 8 menit dengan kecepatan 10.000 rpm. Sampel kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm menggunakan larutan difenilcarbazide sebagai agen kompleksasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses biosorpsi ion kromium lebih efektif pada nilai pH yang rendah, dengan nilai pH optimum sebesar 3. Kemudian dengan variasi konsentrasi awal logam, hasil percobaan menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi awal logam, *uptake* akan semakin besar dan persentase removal semakin menurun. Hal ini dapat dibuktikan dengan hasil perhitungan pada konsentrasi awal logam sebesar 25 mg/L didapatkan *uptake*

sebesar 17,73 mg/g (percentase removal 70,92%) sedangkan dengan konsentrasi awal logam sebesar 250 mg/L didapatkan uptake sebesar 140 mg/g (percentase removal 56%). Berdasarkan variasi konsntrasi biomassa dengan konsentrasi ion logam awal sebesar 100 mg/L, didapatkan bahwa semakin besar konsentrasi biomassa, uptake akan semakin menurun. Hal ini dibuktikan dengan hasil percobaan pada konsentrasi biomassa sebesar 0,2 g/L didapat uptake sebesar 102,27 mg/g sedangkan pada konsntrasi biomassa sebesar 2,4 g/L didapat uptake sebesar 41,57 mg/g.

e) Penelitian Han, dkk., 2008

Pada penelitian ini, digunakan mikroalga *Chlorella miniata* sebagai biosorben. Mikroalga ditumbuhkan dalam medium Bristol selama 4 hari dan disinari dengan cahaya putih sebesar 4200 lux. Larutan logam yang dibuat dengan $K_2Cr_2O_7$ dicampurkan dengan mikroalga dengan konsentrasi 5.000.000 sel/mL dalam erlenmeyer 250 mL. larutan logam yang telah dicampurkan dengan mikroalga kemudian dilakukan pengadukan dengan kecepatan 160 rpm dan waktu kontak 8-120 jam. Variasi yang dilakukan pada percobaan ini adalah variasi nilai pH, dengan pH 2 dan pH 4,5 serta variasi konsentrasi logam dengan nilai 20 mg/L, 40 mg/L, 60 mg/L, 80 mg/L, dan 100 mg/L. Sebelum dilakukan analisis pada sampel, sampel disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm untuk memisahkan alga dari larutan kromium. Setelah disentrifugasi, larutan kromium diambil dan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm dengan menambahkan larutan 1,5-diphenylcarbazide terlebih dahulu sebelum dianalisis. Dari hasil percobaan, pH optimum biosorpsi adalah 2 dengan waktu optimum selama 120 jam. Dari nilai pH dan waktu optimum, persentase removal yang didapat adalah sebesar 100% dengan konsentrasi logam 100 mg/L.

f) Penelitian Han, dkk., 2006

Penelitian ini menggunakan mikroalga jenis *Chlorella miniata* sebagai biosorben dan larutan kromium dibuat dengan melarutkan kristal $K_2Cr_2O_7$ dalam air RO. Mikroalga ditumbuhkan dalam medium Bristol selama 16 hari dengan lampu neon dengan intensitas 4200 lux dan suhu 25 ± 1^oC . Setelah 16 hari, mikroalga dipanen dengan sentrifugasi selama 15 menit dengan kecepatan 5000 rpm. Mikroalga yang telah disentrifugasi kemudian diambil lalu dicuci dua kali dengan air RO untuk menghilangkan residu yang menempel pada dinding sel. Mikroalga yang telah dicuci kemudian dikeringkan dengan *freeze drying* dan setelah dikeringkan, mikroalga digerus sampai didapat bubuk halus. Setelah menjadi bubuk halus,

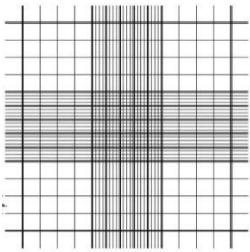
mikroalga dicampurkan dengan larutan kromium dalam erlenmeyer 250 mL dan diatur pada pH dan suhu yang sesuai. Suhu ditetapkan sebesar 25°C. Nilai pH divariasikan dengan nilai 1, 2, 3, dan 4. Variasi juga dilakukan pada konsentrasi biomassa dan konsentrasi logam. Konsentrasi biomassa divariasikan antara 1-5 g/L sedangkan konsentrasi logam divariasikan dengan nilai 20 mg/L, 60 mg/L, dan 100 mg/L. Erlenmeyer kemudian diaduk dengan kecepatan 160 rpm. Waktu kontak ditetapkan selama 12 hari. Setelah 12 hari, sampel diambil dan disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 3500 rpm untuk memisahkan alga dengan larutan logam. Larutan logam yang terpisah kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer FTIR. Dari hasil percobaan pada pH = 1 dan konsentrasi biomassa 2 g/L didapat persentase *removal* sebesar 100% dalam waktu 58 jam dengan konsentrasi logam 100 mg/L. Hasil percobaan pada pH = 4 dan konsentrasi biomassa 2 g/L didapat persentase *removal* di bawah 10% dengan konsentrasi logam 100 mg/L. Hasil percobaan pada pH = 2, konsentrasi biomassa 5 g/L, dan konsentrasi logam 100 mg/L didapat persentase *removal* sebesar 65% dalam 2 jam waktu kontak. Kecepatan penyerapan tertinggi terjadi pada 30 menit pertama dan setelah itu kecepatan peyerapan terus menurun. Nilai pH yang rendah dan konsentrasi biomassa yang tinggi akan meningkatkan persentase *removal*.

2.6 Analisis

2.6.1 Perhitungan Jumlah Sel Dengan *Haemocytometer*

Haemocytometer merupakan alat yang dapat digunakan untuk menghitung jumlah sel pada suatu suspensi. *Haemocytometer* terdiri dari 25 persegi yang besar yang masing-masing persegi terdiri dari 16 persegi yang lebih kecil. Cara menggunakan *Haemocytometer* adalah dengan meletakkan *glass slide* pada bagian atas *Haemocytometer* menggunakan air agar *glass slide* dapat menempel pada *Haemocytometer*. Kemudian larutan suspensi yang ingin dihitung jumlah selnya diteteskan menggunakan pipet tetes. Semua bagian *Haemocytometer* harus dipastikan penuh dengan larutan. Kemudian letakkan *Haemocytometer* dibawah mikroskop (Maria Fuentes). Hitung jumlah sel yang terdapat pada *Haemocytometer* (x) lalu hitung jumlah sel dengan menggunakan rumus berikut (Grigoryev, 2014)

$$\text{Jumlah sel} = \frac{x}{80} \times 10000 \frac{\text{sel}}{\text{mL}} \quad (2.1)$$



Gambar 2.15 Haemocytometer (Weber Scientific)

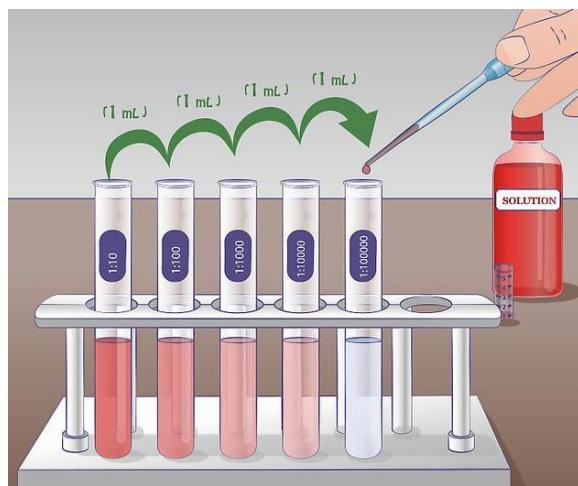
2.6.2 Analisis Konsentrasi Sel dengan Metode Turbidimetri

Metode turbidimetri adalah metode perkiraan keberadaan mikroorganisme, dimana metode ini menggunakan prinsip turbiditas atau kekeruhan. Semakin banyak suatu mikroorganisme terdapat pada suatu sampel atau media, maka sampel tersebut akan menjadi semakin keruh (Lee, 2008). Kekeruhan ini dideteksi dengan menggunakan alat yaitu spektrofotometer atau turbidimeter. Pada percobaan ini instrumen yang digunakan untuk pembacaan turbiditas adalah spektrofotometer.

Spektrofotometer adalah suatu alat yang dapat menunjukkan kepekatan suatu zat. Spektrofotometri bekerja dengan cara menembakkan cahaya pada sampel. Cara kerja spektrofotometer ialah cahaya dilewatkan pada sampel, dimana terdapat media dengan mikroorganisme yang akan menyerap cahaya, lalu cahaya yang dilewatkan pada sampel akan ditangkap oleh detektor. Cahaya yang mampu diteruskan oleh sampel akan terbaca pada detektor sebagai %T, dan cahaya yang tidak diteruskan (terhalang oleh sampel) akan dibaca sebagai absorbansi. Persen transmitan memiliki hubungan langsung dengan *optical density* dan juga absorbansi, dimana ketika T semakin tinggi, maka cahaya yang dilewatkan semakin banyak, maka absorbansi dan *Optical Density* (OD) semakin kecil, dalam artian jumlah kekeruhan dan bakteri dalam sampel semakin sedikit (Brown, 2001). Pada spektrofotometer sumber cahaya merupakan cahaya monokromatik. Pada percobaan ini digunakan sumber cahaya dengan panjang gelombang 686 nm, dimana panjang gelombang ini termasuk dalam rentang panjang gelombang yang bisa digunakan untuk menembus partikel suspensi koloid untuk mengetahui konsentrasi sel mikroalga yang ada dalam suspensi tersebut (Dziosa dan Makowska, 2016).

Langkah pertama pada percobaan ini dilakukan dengan menyalakan spektrofotometer, serta membiarkannya selama 20 menit dengan tujuan instrumen cahaya dapat bekerja dengan baik dan memberikan pembacaan yang baik pada saat akan digunakan. Spektrofotometer juga

diatur untuk panjang gelombang cahaya 686 nm. Selanjutnya ialah melakukan pengenceran berantai pada sampel mikroorganisme yang akan digunakan, mikroalga yang digunakan ialah Chlorella sp. Proses pengenceran dilakukan dengan cara menyiapkan tabung reaksi, kemudian memberi nama dengan label pada setiap tabung masing-masing 1:10, 1:100, 1:1000, 1:10.000, dan 1:100.000, kemudian mengisi 9 mL cairan pengencer ke dalam masing-masing tabung tersebut. Setelah itu mengambil sebanyak 1 mL larutan yang mengandung mikroalga dengan konsentrasi tertentu yang belum diencerkan dan dimasukkan ke tabung rekasi berlabel 1:10 yang berisi pengencer 9 mL lalu dicampurkan sampai homogen. Untuk pengenceran selanjutnya dilakukan dengan mengambil 1 mL larutan dari tabung 1:10, lalu masukkan ke dalam tabung 1:100 yang juga berisi 9 mL cairan pengencer. Larutan di dalam tabung 1:10 harus dipastikan telah tercampur sepenuhnya sebelum dimasukkan ke tabung berikutnya. Larutan dari tabung 1:10 telah diencerkan 10 kali lipat di tabung 1:100. Setelah itu, dilakukan dengan langkah yang sama untuk melakukan pengenceran 1:1000, 1:10.000, 1:100.000, dan seterusnya. Proses ini bisa diulang sebanyak yang diperlukan untuk mendapatkan konsentrasi larutan yang diinginkan.



Gambar 2.16 Proses Pengenceran Berantai (Sumber: Wikihow)

Tujuan dilakukannya pengenceran berantai adalah untuk mengurangi konsentrasi mikroalga *Chlorella sp.* pada sampel sehingga ketika diujikan menggunakan spektrofotometer hasil dari percobaan akan lebih baik karena sampel tidak terlalu pekat. Langkah berikutnya ialah mengkalibrasi spektrofotmeter dengan menggunakan cairan pengencer, dengan tujuan membuat transmitan yang dibaca pada saat menggunakan media cairan pengencer menunjukkan angka 100%, dalam artian menjadi titik dimana cahaya yang dipancarkan dan diterima tidak ada yang

terserap oleh media tersebut, sehingga pada saat pengujian dengan media ini, hanya mikroalga saja yang dihitung penyerapannya dan penyerapan karena cairan pengencer tidak dihitung oleh spektrofotometer. Pada percobaan penentuan jumlah sel mikroorganisme dengan metode turbidimetri ini, panjang gelombang yang digunakan ialah 686 nm. Panjang gelombang 686 nm digunakan karena *Chlorella sp.* mampu menyerap cahaya dengan panjang gelombang tersebut dan dapat menembus partikel suspensi koloid untuk mengetahui konsentrasi sel yang ada dalam suspensi tersebut. Selanjutnya dilakukan pembacaan sampel pada setiap pengenceran baik 1:10, 1:100, 1:1000, 1:10.000, hingga 1:100.000, dengan dilakukan kalibrasi dengan blanko cairan pengencer sebelum dilakukan pembacaan untuk setiap pengenceran. Pada saat dilakukan pembacaan oleh spektrofotometer, sampel ditaruh dalam suatu wadah yang bernama kuvet, kuvet merupakan suatu wadah terbuat dari kaca dan memiliki 2 sisi bening dan 2 sisi agak keruh, dengan tujuan cahaya akan hanya melewati daerah yang bening sehingga tidak terjadi pembiasan oleh kuvet.

Pada percobaan akan diperoleh nilai %T sehingga dapat dihitung nilai Optical Density (OD). Nilai OD dapat dihitung dengan persamaan berikut (Tortora, dkk., 2013)

$$OD = 2 - \log \%T \quad (2.2)$$

Konsentrasi sel dalam larutan setelah dilakukan pengenceran juga dapat dihitung dengan persamaan berikut (Ausetute)

$$C_{akhir} = \frac{C_{awal}}{Dt} \quad (2.3)$$

Dengan:

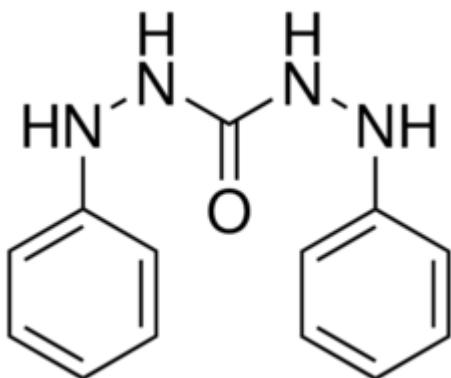
C_{akhir} = konsentrasi sel akhir setelah diencerkan (sel/mL)

C_{awal} = konsentrasi sel awal sebelum diencerkan (sel/mL)

Dt = rasio pengenceran total ($D_1 \times D_2 \times D_3 \dots \times D_n$)

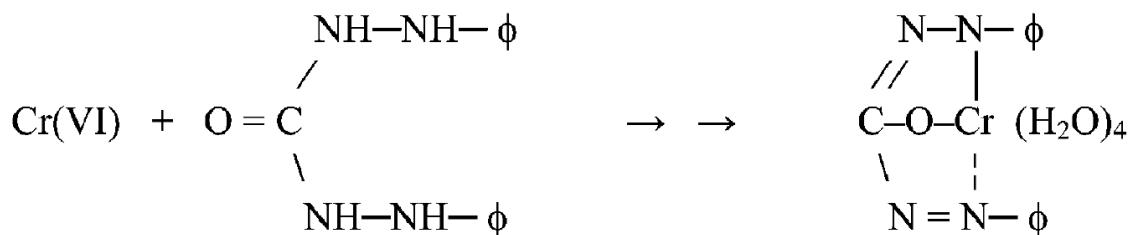
2.6.3 Analisis Kandungan Ion Cr⁶⁺ dalam Larutan

Kandungan ion Cr⁶⁺ dapat dianalisis dengan metode *diphenylcarbazide* dan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 540 nm (Hellerich, et al., 2005). Struktur molekul dari *diphenylcarbazide* dapat dilihat pada **Gambar 2.17**



Gambar 2.17 Struktur molekul *diphenylcarbazide* (Aldrich)

Kromium heksavalen terlarut akan mengalami reaksi dengan *diphenylcarbazide* dan membentuk suatu kompleks berwarna merah-ungu (red violet). Sewaktu reaksi, Cr(VI) akan tereduksi menjadi Cr(II) dan kemudian terbentuk difenilkarbazon. Hasil reaksi ini akan menghasilkan suatu kompleks dengan warna yang khas. Asam sulfat juga ditambahkan untuk memberikan suasana asam dikarenakan reaksi antara *diphenylcarbazide* dengan Cr(VI) hanya terjadi pada suasana asam. Kemudian larutan kompleks kromium-difenilkarbazon dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 540 nm. Reaksi yang berlangsung dapat dilihat pada **Gambar 2.18**



Gambar 2.18 Reaksi *diphenylcarbazide* dengan Kromium Heksavalen terlarut (Ashley, dkk., 2003)

Untuk menentukan konsentrasi Cr(VI) dalam sampel, perlu dibuat kurva standar terlebih dahulu. Kurva standar dibuat dengan cara melarutkan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ke dalam sejumlah tertentu *RO water*, hingga diperoleh larutan dengan variasi konsentrasi tertentu. Kemudian larutan kurva standar yang telah dibuat ditambahkan reagen *diphenylcarbazide* dengan kondisi asam sehingga larutan akan berubah warna menjadi ungu dan nilai absorbansinya dapat diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Nilai absorbansi yang terukur dapat dialurkan terhadap konsentrasi

Cr(VI) sehingga dapat diperoleh kurva standar Cr(VI). Larutan *diphenylcarbazide* dibuat dengan cara melarutkan kristal padatan *diphenylcarbazide* dengan aseton.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian adalah mikroalga *Chlorella sp*, padatan K₂Cr₂O₇ sebagai larutan limbah sintesis, medium walne dan medium f2 sebagai sumber nutrisi, air *Reverse Osmosis* (RO), larutan HCl, larutan NaOH, larutan H₂SO₄, padatan 1,5-diphenylcarbazide, dan aseton. Komposisi medium walne disajikan pada **tabel 3.1** dan komposisi medium f2 disajikan pada **tabel 3.2**.

Tabel 3.1 Komposisi Medium Walne

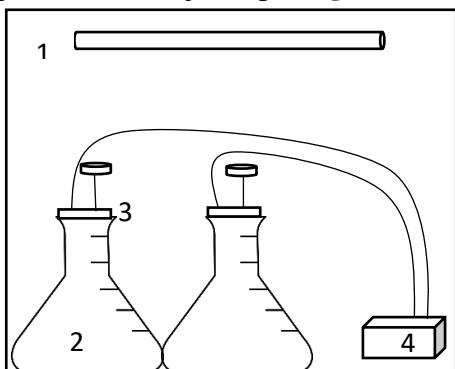
Komponen	Nutrisi	Komposisi
Stok Trace Metal		Per 100 mL aquades
	ZnCl ₂	2,1 g
	CoCl ₂ .6H ₂ O	2 g
	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	0,9 g
	CuSO ₄ .5H ₂ O	2 g
Larutan Vitamin		Per 100 mL aquades
	Vitamin B ₁	10 mg
	Vitamin B ₁₂	10 mg
Larutan Media		Per 1 L aquades
	NaNO ₃	100 g
	Na ₂ EDTA	45 g
	H ₃ BO ₃	33,6 g
	NaH ₂ PO ₄ .2H ₂ O	20 g
	FeCl ₃ .6H ₂ O	1,3 g
	MnCl ₂ .4H ₂ O	0,36 g
	Larutan Vitamin	0,1 mL
Stok Trace Metal		1 mL

Tabel 3.2 Komposisi Medium f2

Komponen	Nutrisi	Komposisi
Trace Elemen Stok	Na ₂ EDTA	4,16 g
	FeCl ₃ .6H ₂ O	3,15 g
	CuSO ₄ .5H ₂ O	0,01 g
	ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,022 g
	CoCl ₂ .6H ₂ O	0,01 g
	MnCl ₂ .4H ₂ O	0,18 g
	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0,006 g
Larutan Vitamin	Aquades	1 L
	Vitamin B ₁₂	0,0005 g
	Vitamin B ₁	0,1 g
	Biotin	0,0005 g
	Aquades	1 L
Larutan Media	Na ₂ NO ₃	0,075 g
	NaH ₂ PO ₄ .2H ₂ O	0,0056 g
	Trace Elemen Stok	1 mL
Larutan Vitamin	Aquades	1 mL
		1 L

3.2 Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian antara lain aerator, selang aerator, sumbat karet, erlenmeyer 100 mL, erlenmeyer 250 mL, erlenmeyer 2L, pipet tetes, pH meter, *haemocytometer*, gelas ukur 10 mL, mikroskop, labu ukur 100 mL, gelas kimia 100 mL, gelas kimia 500 mL, pipet ukur 10 mL, filler, kuvet spektrofotometer, sprektrofotometer UV/Vis, mesin sentrifugasi, tabung sentrifugasi, dan lampu LED 40 watt. Skema rangkaian alat percobaan disajikan pada **gambar 3.1**.



Keterangan

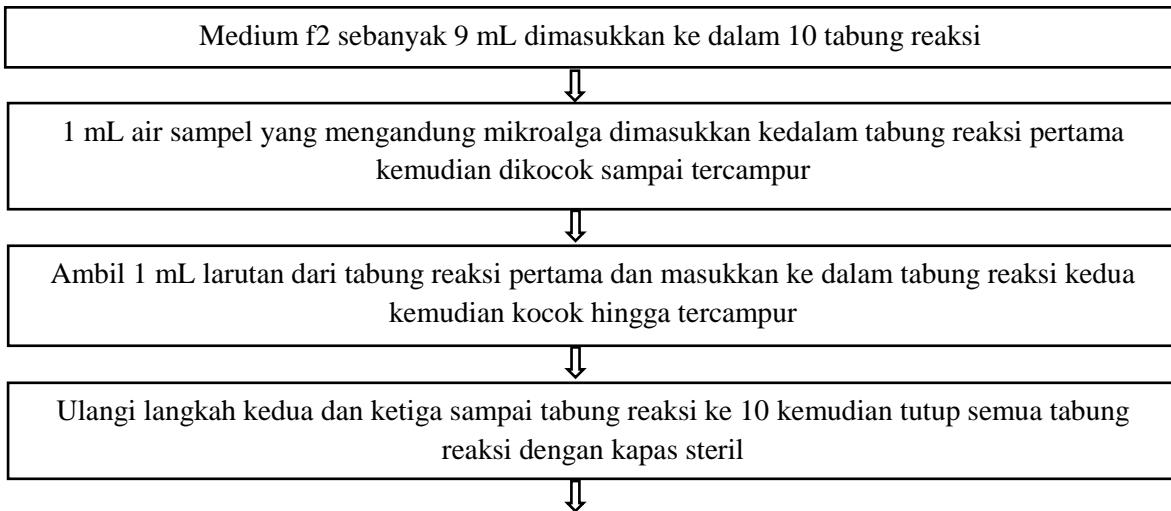
1. Lampu
2. Erlenmeyer
3. Sumbat karet
4. Aerator

Gambar 3.1 Skema Rangkaian Alat Percobaan

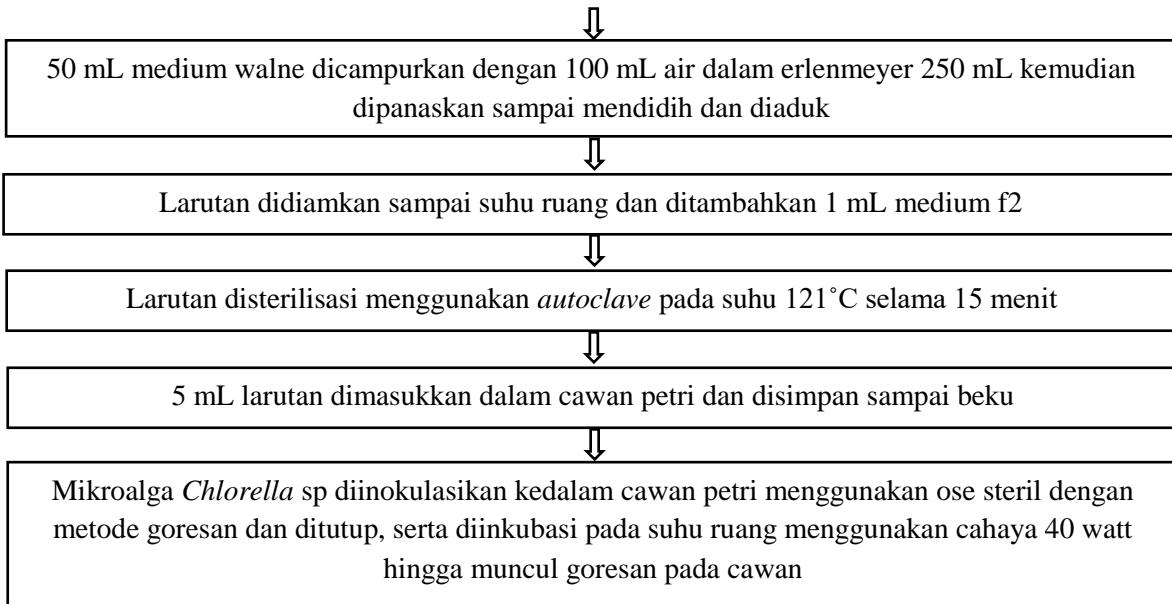
3.3 Prosedur Percobaan

3.3.1 Inokulasi Mikroalga *Chlorella sp.*

Pada tahap ini, biakan murni *Chlorella sp.* diinokulasikan kedalam tabung reaksi dengan menggunakan ose steril. Metode inokulasi yang digunakan adalah metode goresan sedangkan metode isolasi yang digunakan adalah metode isolasi agar. Medium f2 sebanyak 9 mL dimasukkan ke dalam 10 tabung reaksi kemudian masukkan 1 mL air sampel yang mengandung mikroalga kedalam tabung reaksi pertama. Kocok tabung reaksi sampai tercampur kemudian ambil 1 mL larutan dari tabung reaksi pertama dan masukkan ke dalam tabung reaksi kedua dan kocok hingga tercampur. Ulangi langkah tersebut sampai tabung reaksi ke 10 kemudian tutup semua tabung reaksi dengan menggunakan kapas steril. Langkah selanjutnya adalah melakukan inokulasi mikroalga pada medium. Medium Walne sebanyak 50 mL dicampurkan dengan 100 mL air dalam erlenmeyer 250 mL. Larutan dipanaskan sampai mendidih dan diaduk untuk menghindari terjadinya gumpalan, setelah dipanaskan, larutan didiamkan hingga mencapai suhu ruang. Setelah mencapai suhu ruang, larutan ditambahkan 1 mL medium f2 dan disterilisasi menggunakan autoclave dengan suhu 121°C selama 15 menit. Larutan sebanyak 5 mL dituangkan dalam cawan petri dan disimpan sampai beku sambil ditutup. Setelah larutan beku, inokulasikan mikroalga menggunakan ose yang steril dengan metode goresan. Cawan ditutup dan diinkubasi menggunakan cahaya 40 watt. Diagram alir inokulasi mikroalga *Chlorella sp.* disajikan pada **gambar 3.2**



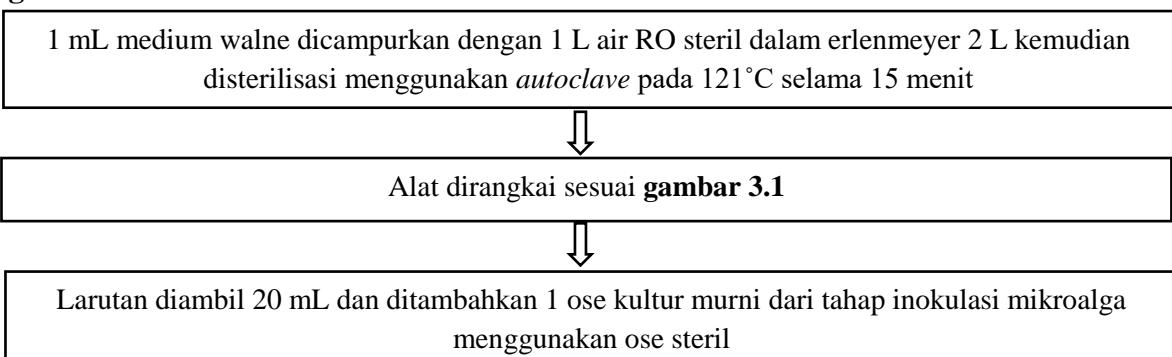
Gambar 3.2 Diagram Alir Inokulasi Mikroalga *Chlorella sp.*



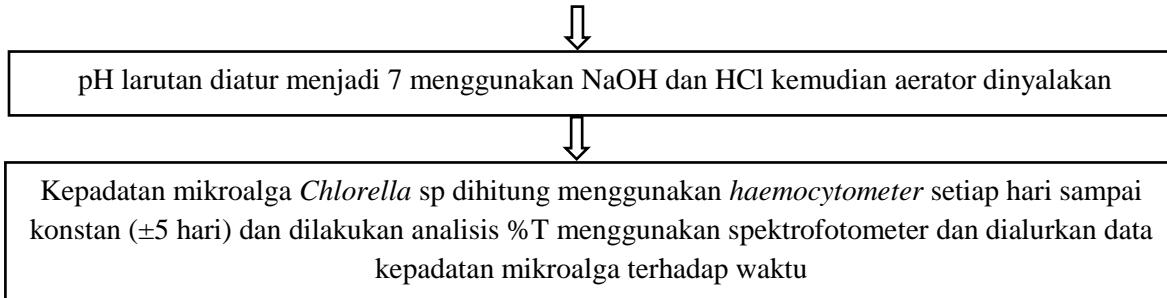
Gambar 3.2 Diagram Alir Inokulasi Mikroalga *Chlorella sp.* (lanjutan)

3.3.2 Kultivasi Mikroalga *Chlorella sp.*

Tahap pertama yang dilakukan dalam kultivasi mikroalga *Chlorella sp.* adalah menambahkan 1 mL medium walne kedalam 1 L air RO kemudian disterilisasi menggunakan autoclave. Kemudian alat dirangkai seperti **gambar 3.1**. Larutan diambil 20 mL dan ditambahkan 1 ose kultur murni dari tahap inokulasi mikroalga menggunakan ose steril. pH larutan diatur menjadi 7 menggunakan NaOH dan HCl kemudian aerator dinyalakan. Kepadatan mikroalga *Chlorella sp.* kemudian dihitung menggunakan haemocytometer setiap hari sampai konstan (\pm 5 hari) serta dilakukan analisis %T menggunakan spektrofotometer dan dialurkan data kepadatan mikroalga terhadap waktu. Diagram alir kultivasi mikroalga disajikan pada **gambar 3.3**.



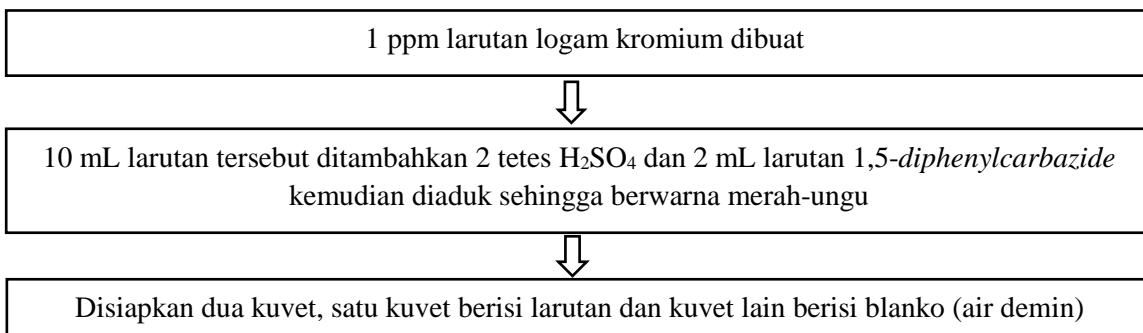
Gambar 3.3 Diagram Alir Kultivasi Mikroalga *Chlorella sp.*



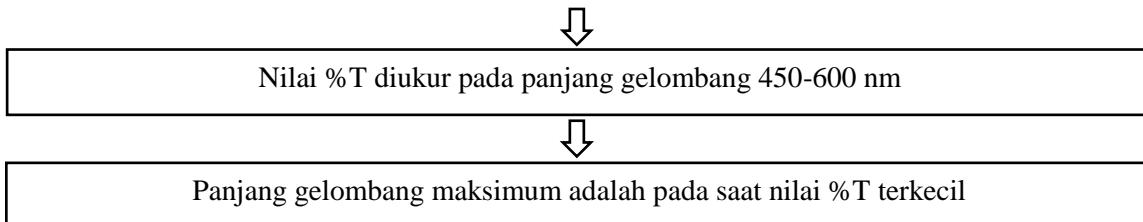
Gambar 3.3 Diagram Alir Kultivasi Mikroalga *Chlorella sp.* (lanjutan)

3.3.3 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum dan Pembuatan Kurva Standar Konsentrasi Logam Kromium

Alat analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah spektrofotometer UV/Vis. Sebelum spektrofotometer digunakan, perlu diketahui panjang gelombang maksimum yang menghasilkan sensitivitas tertinggi. Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan dengan menggunakan larutan logam $K_2Cr_2O_7$ yang dicampurkan dengan 2 tetes H_2SO_4 dan 2 mL larutan pengkompleks 1,5-diphenylcarbazide. Kemudian dilakukan pengukuran %T pada rentang panjang gelombang 450-600 nm. Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan dengan memilih nilai %T terkecil. Setelah ditentukan panjang gelombang maksimum, dibuat kurva standar dengan mengalurkan variasi konsentrasi logam kromium terhadap absorbansi. Untuk membuat kurva standar ini, diperlukan variasi konsentrasi logam kromium dari 0-5 ppm kemudian larutan ini ditambahkan 2 tetes H_2SO_4 dan 2 mL larutan pengkompleks 1,5-diphenylcarbazide. Larutan kemudian diukur %T menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang maksimum yang telah ditentukan. Nilai %T kemudian diubah menjadi absorbansi dan dibuat kurva standar konsentrasi logam kromium terhadap absorbansi. Diagram alir penentuan panjang gelombang maksimum disajikan pada **gambar 3.4**.

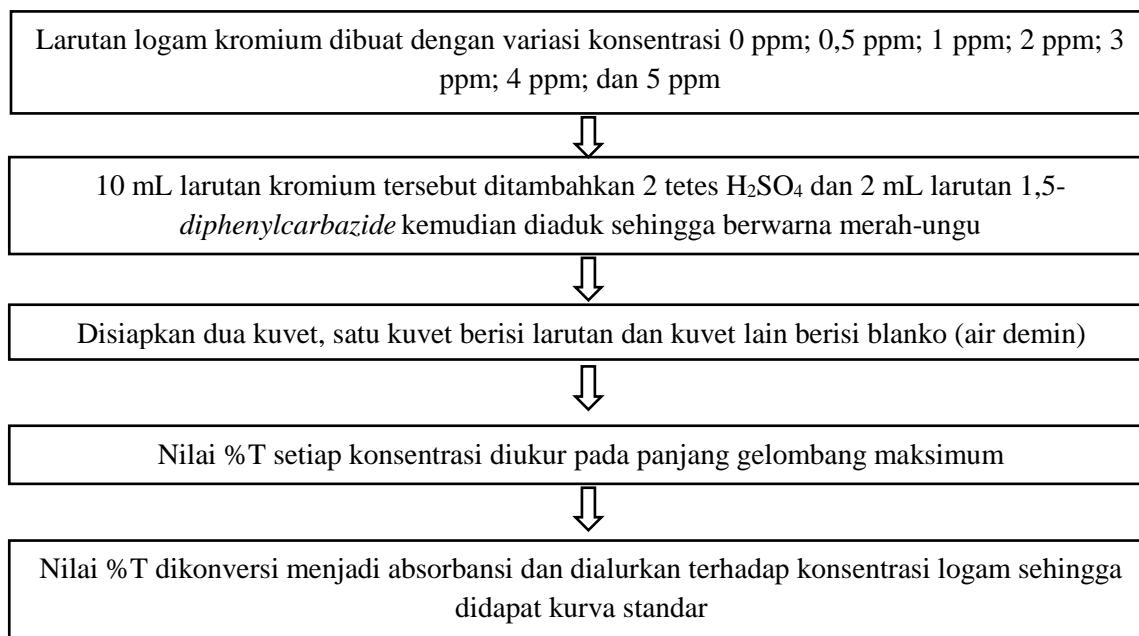


Gambar 3.4 Diagram Alir Penentuan Panjang Gelombang Maksimum



Gambar 3.4 Diagram Alir Penentuan Panjang Gelombang Maksimum (lanjutan)

Diagram alir pembuatan kurva standar konsentrasi logam kromium terhadap absorbansi disajikan pada **gambar 3.5**

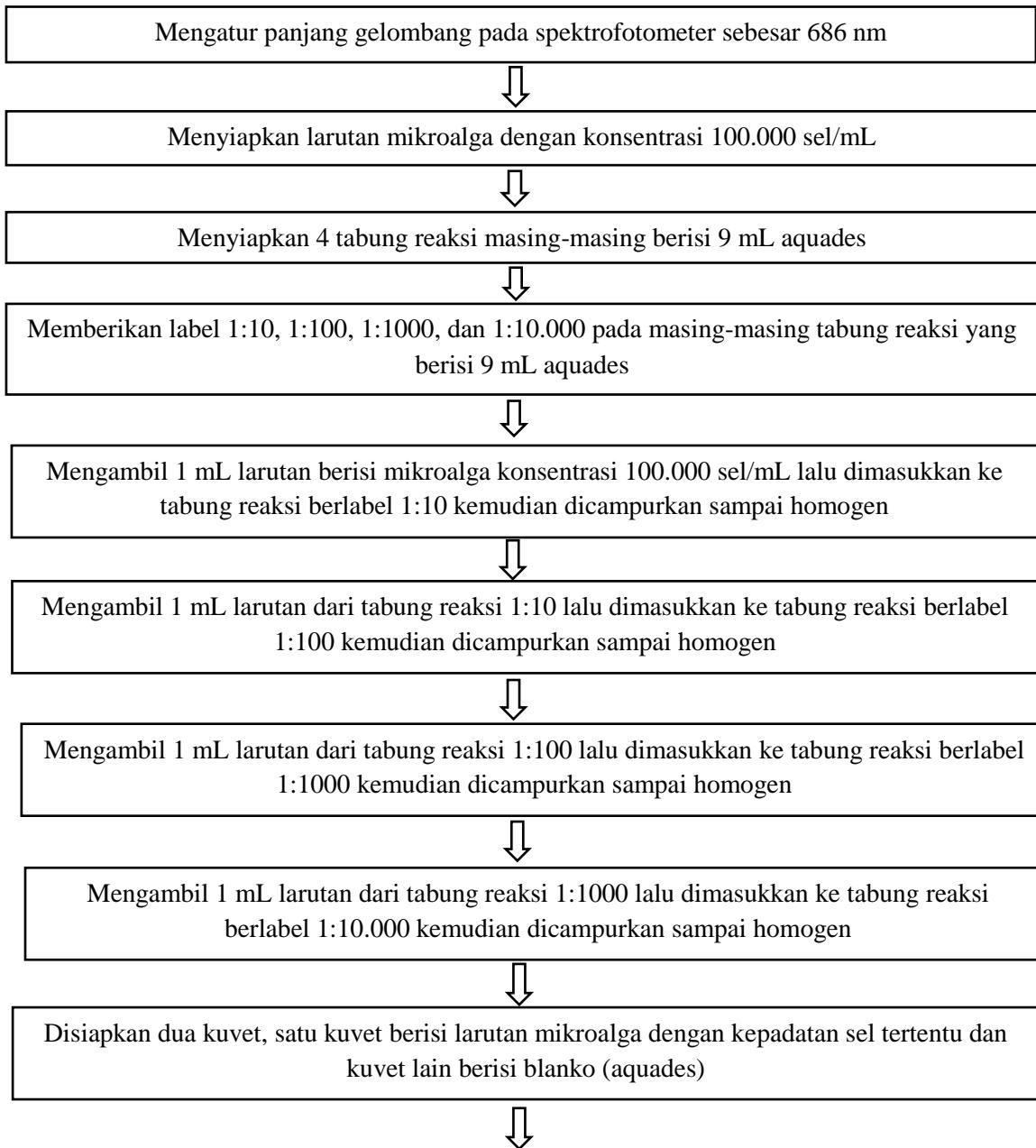


Gambar 3.5 Diagram Alir Pembuatan Kurva Standar Logam Kromium

3.3.4 Pembuatan Kurva Standar Kepadatan Sel *Chlorella sp.*

Alat analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah spektrofotometer UV/Vis. Sebelum spektrofotometer digunakan, perlu diketahui panjang gelombang maksimum yang menghasilkan sensitivitas tertinggi. Diketahui panjang gelombang maksimum yang menghasilkan sensitivitas tertinggi adalah sebesar 686 nm. Setelah ditentukan panjang gelombang maksimum, dibuat kurva standar dengan mengalurkan variasi kepadatan sel *Chlorella sp.* terhadap absorbansi. Untuk membuat kurva standar ini, diperlukan variasi konsentrasi sel dari 0 sel/mL – 100.000 sel/mL. Variasi kepadatan sel dibuat dengan sistem

pengenceran berantai. Setelah dilakukan pengenceran berantai, larutan kemudian diukur nilai %T menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang maksimum yang telah ditentukan. Nilai %T kemudian diubah menjadi *Optical Density* (OD) dan dibuat kurva standar kepadatan sel *Chlorella sp.* terhadap OD. Diagram alir pembuatan kurva standar disajikan pada **gambar 3.6**



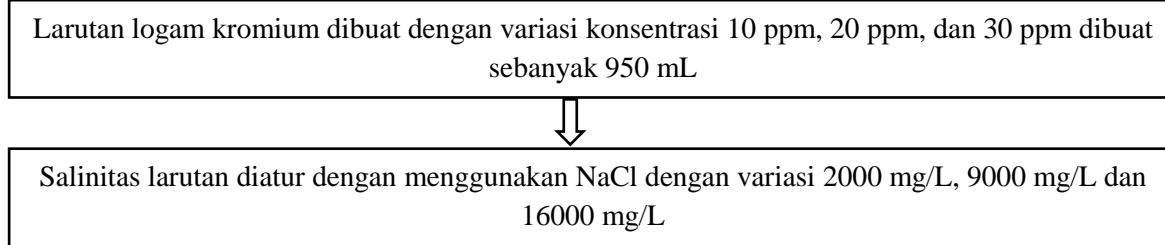
Gambar 3.6 Diagram Alir Pembuatan Kurva Standar Kepadatan Sel *Chlorella sp.*



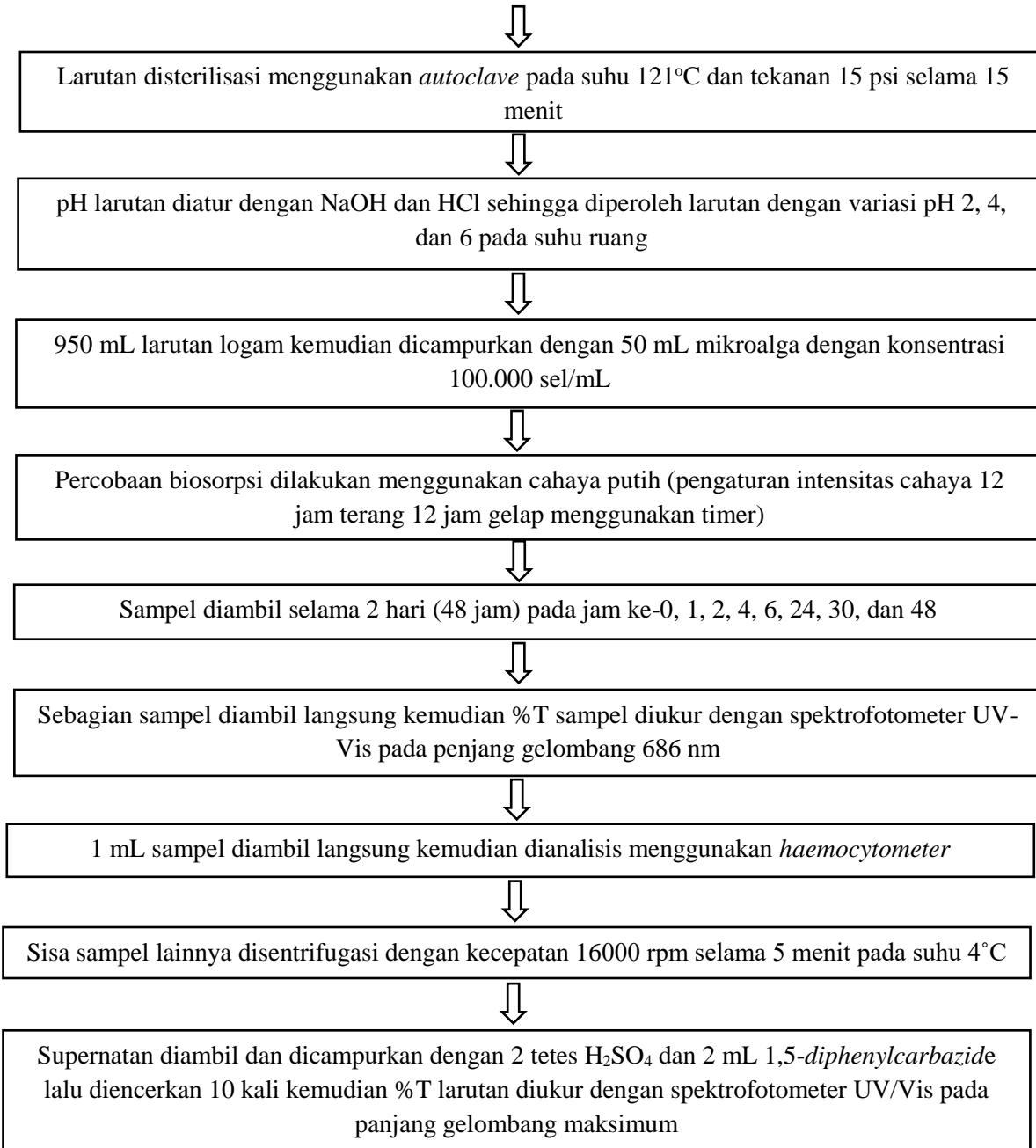
Gambar 3.6 Diagram Alir Pembuatan Kurva Standar Kepadatan Sel *Chlorella sp.* (lanjutan)

3.3.5 Percobaan Utama

Proses biosorpsi dimulai dengan membuat larutan logam kromium dengan variasi konsentrasi sebesar 10 mg/L, 20 mg/L, dan 30 mg/L. Salinitas diatur menggunakan NaCl dengan variasi sebesar 2000 mg/L, 9000 mg/L dan 16.000 mg/L. Kemudian larutan logam kromium yang telah diatur salinitasnya disterilisasi menggunakan *autoclave* selama 15 menit. Setelah disterilisasi, dilakukan penyesuaian pH dengan menggunakan NaOH dan HCl. pH larutan divariasikan dengan nilai 2, 4, dan 6 pada suhu ruang. Larutan ion logam kromium sebanyak 950 mL kemudian dicampurkan dengan mikroalga sebesar 100.000 sel/mL sebanyak 50 mL dalam erlenmeyer kemudian dilakukan pengambilan sampel selama 2 hari (48 jam) pada jam ke-0, 1, 2, 4, 6, 24, 30, dan 48. Sampel yang telah dimbil kemudian sebagian diambil langsung dan diukur nilai %T pada panjang gelombang 686 nm dengan spektrofotometer UV-Vis. 1 mL sampel diambil untuk dianalisis menggunakan *haemocytometer*. Sisa sampel lainnya dimasukkan dalam mesin sentrifugasi selama 5 menit dengan kecepatan 16.000 rpm. Setelah sentrifugasi selesai, supernatan diambil dan ditambahkan 2 tetes H₂SO₄ dan 2 mL larutan 1,5-*diphenylcarbazide* dan kemudian diencerkan 10 kali. Sampel kemudian dimasukkan dalam spektrofotometer UV/Vis dan diukur nilai %T sampel pada panjang gelombang maksimum. Diagram alir biosorpsi logam kromium menggunakan *Chlorella sp.* disajikan pada **gambar 3.7**.



Gambar 3.7 Diagram Alir Biosorpsi Logam Kromium Menggunakan *Chlorella sp.*



Gambar 3.7 Diagram Alir Biosorpsi Logam Kromium Menggunakan *Chlorella sp.* (lanjutan)

3.4. Analisis Data

3.4.1 Analisis Kepadatan Sel dengan *Haemocytometer*

Kepadatan mikroalga *Chlorella sp.* dihitung dengan menggunakan *haemocytometer*.

Berikut adalah rumus yang digunakan untuk mengitung kepadatan sel mikroalga.

$$\text{Jumlah sel} = \frac{x}{80} \times 10000 \frac{\text{sel}}{\text{mL}} \quad (3.1)$$

dimana:

x = Jumlah sel mikroalga yang terhitung di *haemocytometer*

Kepadatan mikroalga diukur setiap harinya dan diplotkan dalam grafik kepadatan sel mikroalga terhadap waktu.

3.4.2 Analisis Kepadatan Sel dengan *Optical Density*

Kepadatan sel mikroalga *Chlorella sp.* diukur berdasarkan tingkat kekeruhan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung kepadatan sel mikroalga.

$$\text{OD} = 2 - \log \%T \quad (3.2)$$

Dimana:

OD = *Optical Density*

%T = % transmittan

Nilai OD diukur setiap harinya dan diplotkan dalam grafik kepadatan sel mikroalga terhadap waktu

3.4.3 Analisis Persentase Removal

Alat analisis yang digunakan dalam penelitian adalah spektrofotometer UV/Vis. Untuk mengetahui nilai konsentrasi logam kromium yang tersisa pada akhir proses biosorpsi, sampel dimasukkan dalam spektrofotometer UV/Vis dan diukur nilai %T sampel. Nilai %T sampel dapat diubah menjadi absorbansi dengan rumus berikut.

$$A = -\log\left(\frac{\%T}{100}\right) \quad (3.3)$$

dimana:

A = Absorbansi

%T = % transmittan

Setelah didapat nilai absorbansi, konsentrasi logam dapat diukur dengan menggunakan kurva standar konsentrasi logam kromium terhadap absorbansi. Persentase removal dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$\% \text{ removal} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (3.4)$$

dimana:

Co = konsentrasi logam kromium awal (mg/L)

C_t = konsentrasi logam kromium setelah biosorpsi (mg/L)

Co-Ct = jumlah ion Cr⁶⁺ yang hilang (mg/L)

3.5. Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Pengolahan Air dan Limbah, Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung. Jadwal rencana kerja penelitian dapat dilihat pada **tabel 3.3**

Tabel 3.3 Jadwal Kerja Penelitian

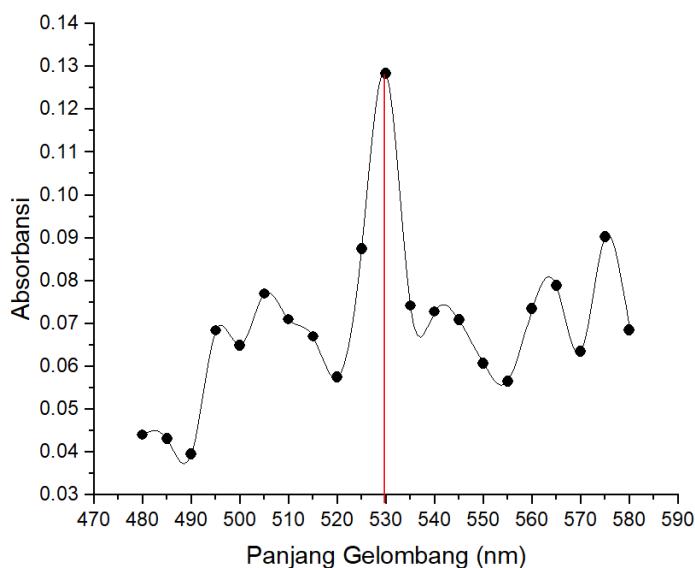
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang dilakukan meliputi penentuan panjang gelombang maksimum ion logam kromium (VI) (Cr^{6+}), pembuatan kurva kalibrasi kromium dan kurva kalibrasi mikroalga *Chlorella sp.*, percobaan biosorpsi ion logam kromium dengan mikroalga *Chlorella sp.*, analisis sel mikroalga *Chlorella sp.* menggunakan mikroskop, dan analisis logam kromium dengan menggunakan teknik spektrofotometri UV-VIS.

4.1. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Ion Logam Cr^{6+}

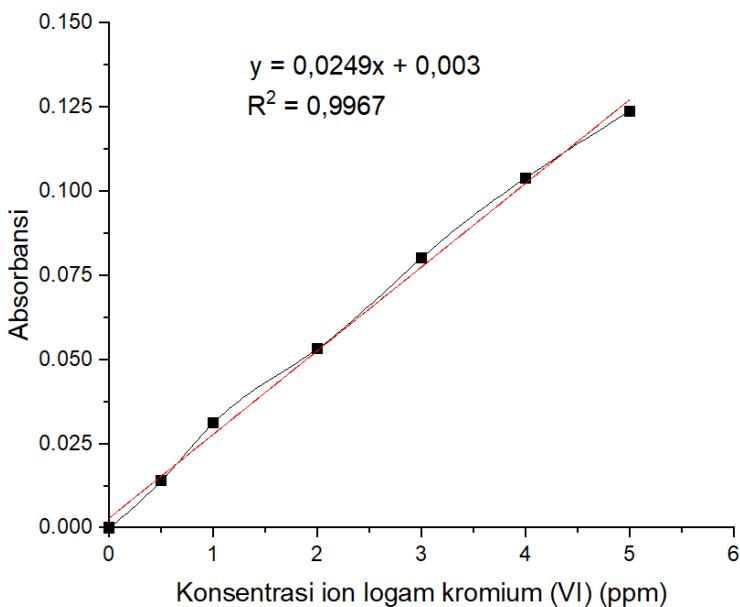
Penentuan panjang gelombang maksimum ini digunakan untuk mengetahui besaran serapan yang dapat dibaca oleh spektrofotometer UV-VIS secara optimum. Pada penelitian ini, digunakan larutan kromium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) dengan konsentrasi 1 ppm dan pada rentang gelombang 450-600 nm. Hasil scanning panjang gelombang maksimum logam kromium pada konsentrasi 1 ppm menunjukkan bahwa logam kromium yang telah ditambahkan reagen 1,5-diphenylcarbazide yang berfungsi sebagai peng kompleks dan H_2SO_4 memiliki serapan maksimum pada panjang gelombang 530 nm. Spektrum UV logam kromium dapat dilihat pada **gambar 4.1**.



Gambar 4.1 Spektrum UV ion logam Cr^{6+} dengan konsentrasi 1 ppm

4.2. Pembuatan Kurva Standar Ion Logam Cr⁶⁺

Kurva standar untuk menentukan konsentrasi ion Cr⁶⁺ dengan metode kompleksasi DPC menggunakan spektrofotometer perlu dibuat sebelum dilakukan percobaan biosorpsi. Penentuan kurva standar dilakukan pada panjang gelombang 530 nm. **Gambar 4.2** merupakan kurva standar untuk senyawa kompleks ion Cr⁶⁺ dengan 1,5-diphenylcarbazide (DPC) pada konsentrasi 0; 0,5; 1; 2; 3; 4; dan 5 ppm.

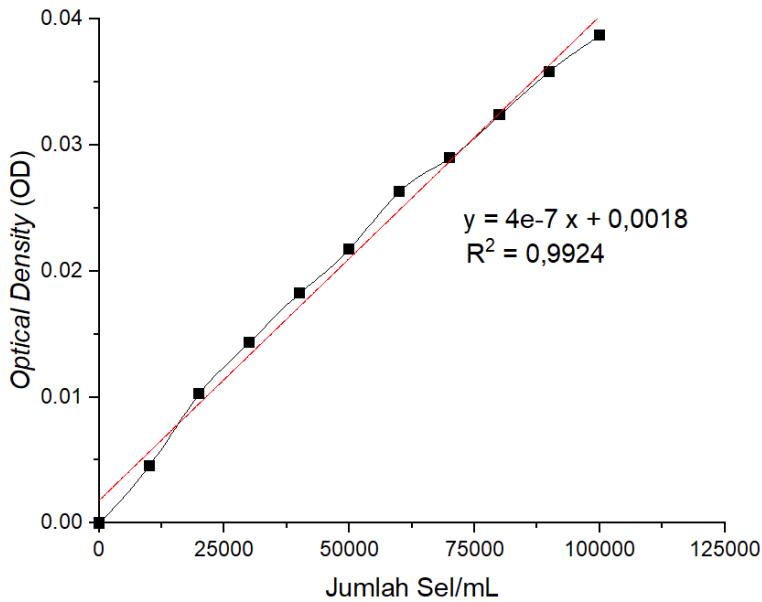


Gambar 4.2 Kurva Standar Ion Cr⁶⁺ sebagai K₂Cr₂O₇

Dari kurva standar tersebut diperoleh persamaan $y = 0,0249x + 0,003$ dengan $R^2 = 0,9967$ yang menunjukkan kurva standar tersebut sudah sangat baik dan dengan demikian dapat dikatakan bahwa absorbansi pada spektrofotometer berbanding lurus dengan konsentrasi larutan Cr⁶⁺ sebagai K₂Cr₂O₇.

4.3. Pembuatan Kurva Standar Kepadatan Sel Mikroalga *Chlorella sp.*

Pembuatan kurva standar untuk menentukan kepadatan sel mikroalga *Chlorella sp.* dilakukan dengan cara mengencerkan larutan induk mikroalga *Chlorella sp.* yang telah dibuat dan dianalisis menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 686 nm. **Gambar 4.3** merupakan kurva standar untuk larutan mikroalga *Chlorella sp.* pada kepadatan sel 0 – 100.000 sel/mL



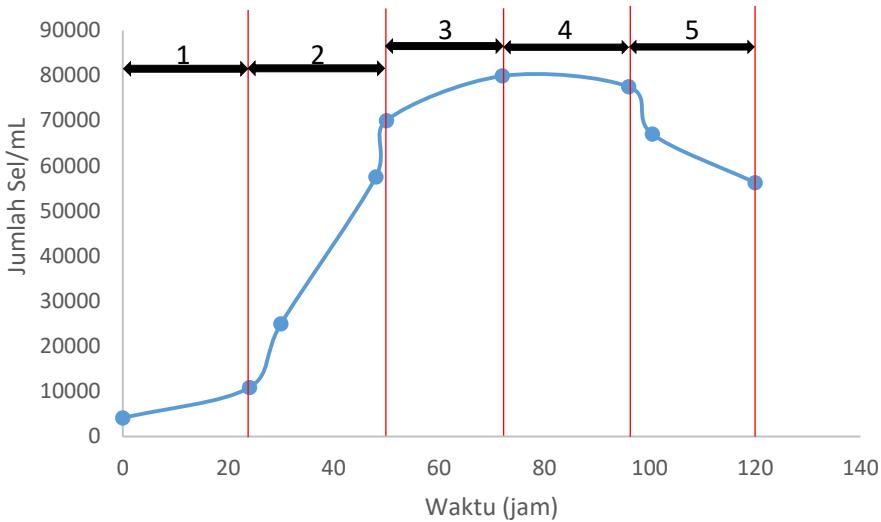
Gambar 4.3 Kurva Standar Kepadatan Sel Mikroalga *Chlorella sp.*

Dari **gambar 4.3** terlihat bahwa nilai R^2 yang dihasilkan sebesar 0,9924 sehingga kurva standar yang dihasilkan cukup akurat untuk digunakan pada analisis data penelitian.

4.4. Pembuatan Kurva Pertumbuhan Mikroalga *Chlorella sp.*

Pada penelitian ini, kurva pertumbuhan mikroalga *Chlorella sp.* dibuat dengan kondisi pH 7 dan tanpa salinitas. pertumbuhan mikroalga *Chlorella sp.* diamati selama 5 hari dengan selang 1 hari pada hari pertama. Kurva pertumbuhan mikroalga *Chlorella sp.* yang didapatkan pada penelitian ini ditampilkan pada **Gambar 4.4**.

Dari **gambar 4.4** terlihat bahwa pertumbuhan mikroalga terbagi menjadi beberapa fase. Fase yang pertama merupakan fase adaptasi (ditunjukkan dengan angka 1) yang terjadi pada hari ke-0 sampai hari ke-1 yang merupakan fase awal dimana penambahan kepadatan mikroalga *Chlorella sp.* terjadi dalam jumlah sedikit. Pada fase ini sel mikroalga mengalami metabolisme akan tetapi tidak terjadi pembelahan sel sehingga kepadatan sel belum terlalu meningkat secara signifikan (Becker, 1994). Fase adaptasi terjadi karena mikroalga beradaptasi dengan medium dan lingkungan yang baru (Pires, 2015). Fase adaptasi ditunjukkan oleh kurva yang berbentuk garis lurus dengan kepadatan sel sekitar 4125 sampai 10.875 sel/mL.



Gambar 4.4 Kurva Pertumbuhan Mikroalga *Chlorella sp.* (1) Fase adaptasi (2) Fase logaritmik (3) Fase pertumbuhan diperlambat (4) Fase Stasioner (5) Fase Kematian

Pada hari pertama (24 jam) sampai hari kedua (50 jam) (yang ditunjukkan dengan angka 2) terjadi fase logaritmik. Fase logaritmik ditandai dengan terjadinya pertumbuhan yang seimbang antara jumlah nutrien dan peningkatan jumlah sel *Chlorella sp.*. Pada fase ini, mikroalga sudah dapat menggunakan nutrisi yang terdapat dalam media sehingga mikroalga tumbuh dengan sangat cepat yang ditandai dengan peningkatan jumlah sel mikroalga yang sangat tajam (Bailey dkk., 2014). Pada penelitian ini kepadatan sel pada fase logaritmik meningkat sebesar 59.125 sel/mL. Sedangkan nilai maksimum kepadatan sel mikroalga pada penelitian ini dicapai pada hari ketiga (72 jam) dengan jumlah kepadatan sel sebesar 79.875 sel/mL.

Fase pertumbuhan diperlambat (ditunjukkan oleh nomor 3) terjadi karena pertumbuhan mikroalga yang cepat tidak diimbangi dengan keberadaan jumlah nutrisi yang ditandai dengan kurva yang meningkat akan tetapi tidak securam fasa logaritmik (Bailey dkk., 2014). Pada fase ini, pembelahan sel tetap terjadi tetapi tidak sebanyak pada fase logaritmik sehingga laju pertumbuhannya menurun jika dibandingkan dengan fase logaritmik (Becker, 1994).

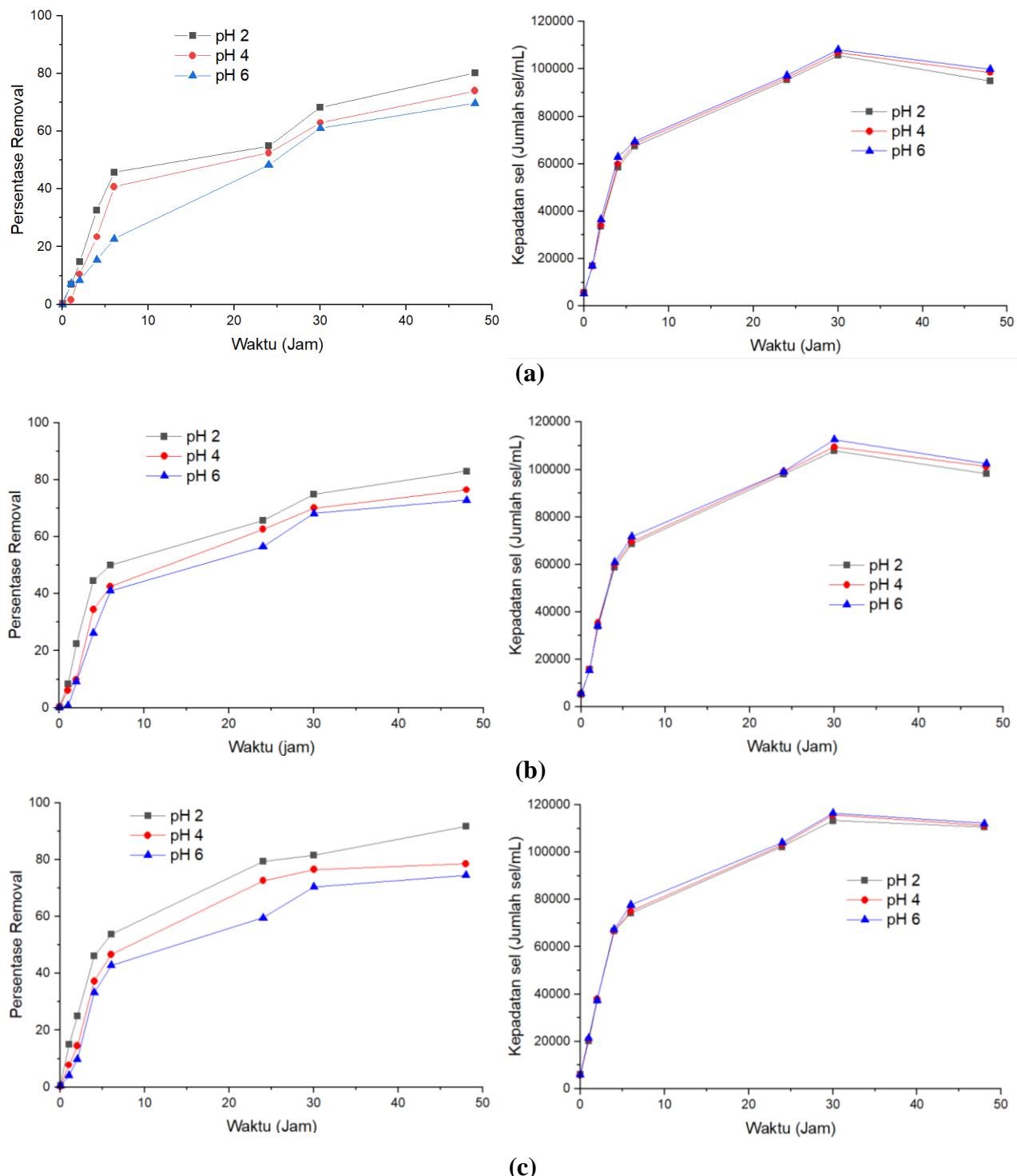
Fase stasioner (ditunjukkan oleh nomor 4) dimana dimulai adanya penghentian pertumbuhan sel atau terjadi keseimbangan antara tingkat pertumbuhan dan kematian. Fase ini terjadi dikarenakan kandungan nutrien dalam media semakin menurun karena tidak dilakukan penambahan nutrien dan terjadinya persaingan tempat hidup karena semakin banyak jumlah

kepadatan sel dalam volume tetap (Kawaroe, 2010). Penambahan dan pengurangan jumlah sel *Chlorella sp.* relatif seimbang sehingga kepadatan mikroalga *Chlorella sp.* relatif tetap (Kawaroe, 2010). Hal tersebut disebabkan karena mikroalga telah memanfaatkan nutrien yang berasal dari medium walne secara maksimal untuk pertumbuhan. Fase stasioner pada penelitian ini berada pada hari ketiga (72 jam) sampai hari keempat (96 jam). Dari **gambar 4.4** diatas, pada hari ketiga (72 jam) sampai hari keempat (96 jam) dapat dianggap sebagai fase stasioner dikarenakan kepadatan sel *Chlorella sp.* mengalami penurunan kepadatan yang tidak signifikan, yaitu sekitar 2,375% (data hasil percobaan dapat dilihat pada lampiran).

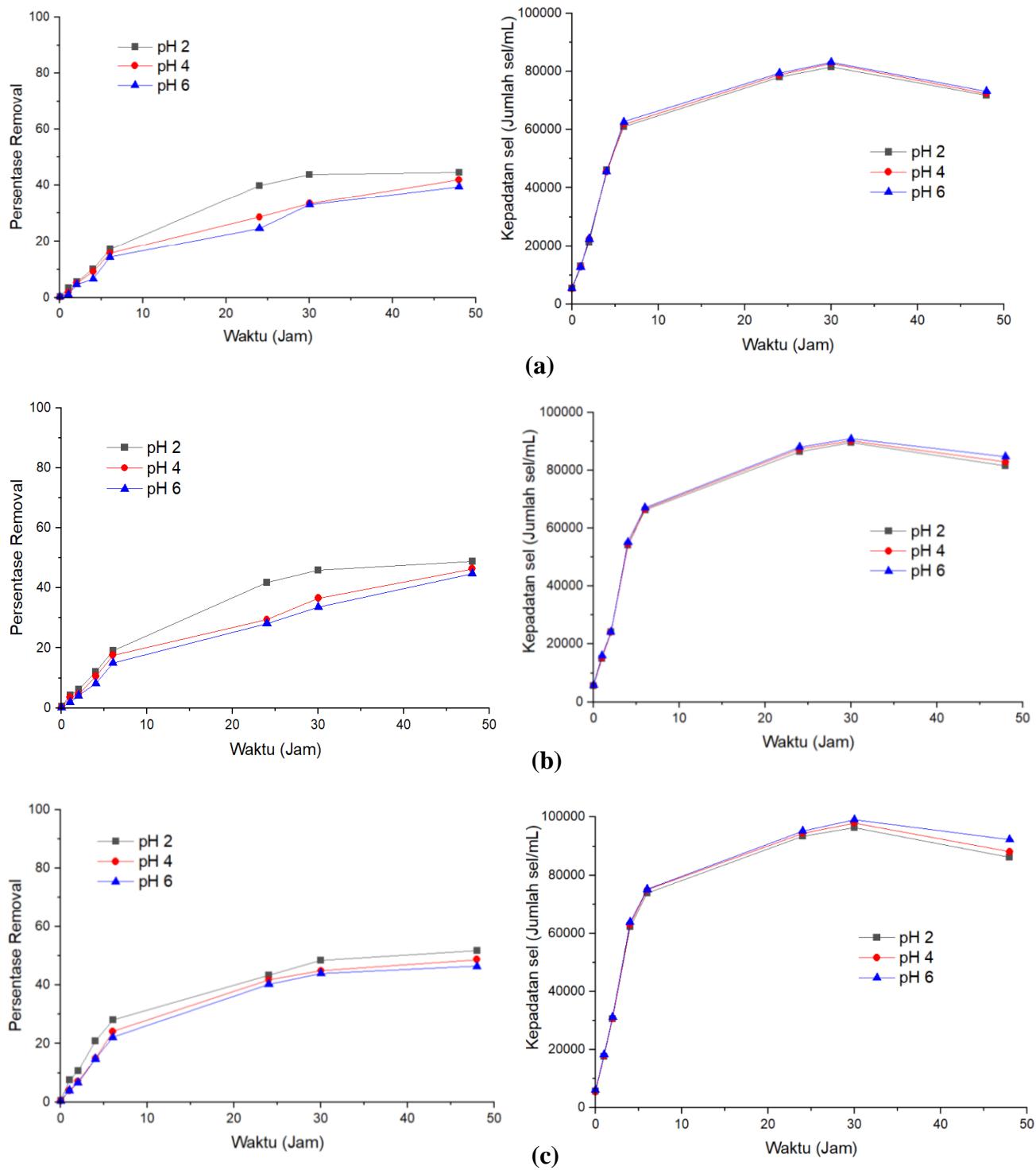
Fase terakhir yaitu fase kematian (ditunjukkan oleh nomor 5) terjadi pada pengamatan di hari keempat (96 jam) sampai pengamatan hari kelima (120 jam) yang ditandai dengan penurunan kepadatan sel *Chlorella sp.* yang cepat dan banyak mengalami kematian dibandingkan dengan pertumbuhan melalui pembelahan (Kawaroe, 2010). Pada percobaan biosorpsi ion logam kromium (VI) dengan menggunakan mikroalga diputuskan percobaan akan dilakukan selama 48 jam dikarenakan berdasarkan pada kurva pertumbuhan mikroalga *Chlorella sp.* pada jam ke-48 mikroalga masih mengalami pertumbuhan yang cukup besar sehingga apabila dilakukan proses biosorpsi diharapkan mikroalga dapat tumbuh dengan jumlah sel yang lebih banyak dengan memanfaatkan ion logam kromium (VI) sebagai nutrisinya. Keputusan ini juga didukung dengan data dari percobaan pendahuluan (*Trial*) yang menunjukkan hasil persentase *removal* yang konstan pada jam ke-48 dan seterusnya (data hasil percobaan pendahuluan dapat dilihat di lampiran).

4.5. Biosorpsi Ion Logam Kromium(VI) Menggunakan *Chlorella sp.* Variasi pH

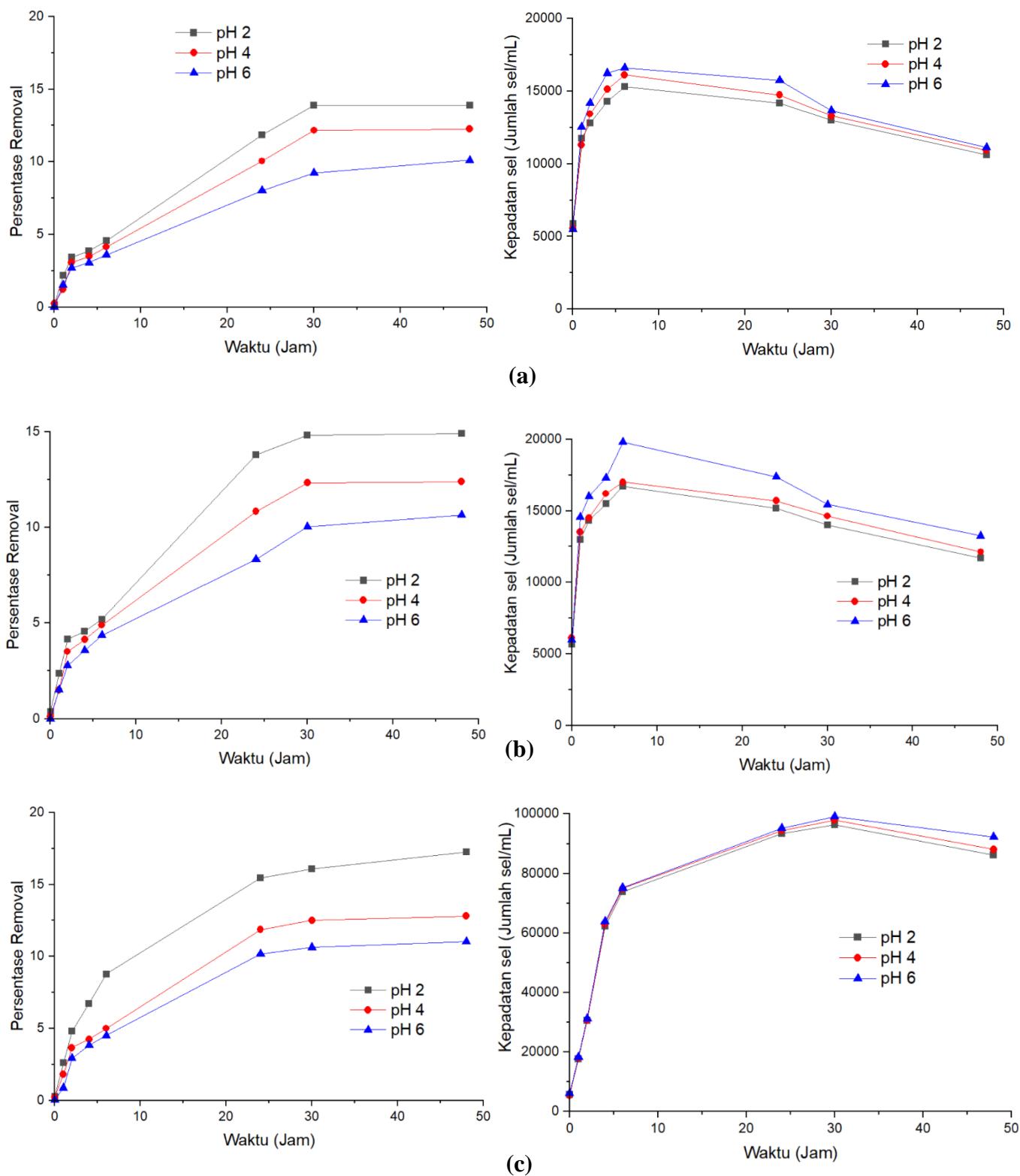
Proses biosorpsi dipengaruhi oleh berbagai faktor salah satunya adalah kondisi pH dari larutan yang dapat mempengaruhi proses biosorpsi dan dapat mempengaruhi metabolisme pertumbuhan mikroalga *Chlorella sp.* Variasi pH yang digunakan pada percobaan ini adalah dalam keadaan pH sebesar 2, 4, dan 6. Percobaan tidak dilakukan pada pH basa dikarenakan ion logam kromium (VI) lebih stabil pada kondisi pH rendah terutama pada pH di bawah 6 dimana pada pH rendah ion kromium (VI) berada dalam anion CrO_4^{2-} atau $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (Sukla dkk., 2019). Hasil percobaan proses biosorpsi dari pengaruh pH dengan konsentrasi ion logam kromium (VI) 10 ppm ditampilkan pada **Gambar 4.5**, pada konsentrasi 20 ppm ditampilkan pada **Gambar 4.6**, dan pada konsentrasi 30 ppm ditampilkan pada **Gambar 4.7**



Gambar 4.5 Hasil Pengaruh pH terhadap Persentase Removal dan pertumbuhan *Chlorella sp.* selama proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan konsentrasi ion logam kromium (VI) 10 ppm dengan Salinitas (a) 2000 ppm (b) 9000 ppm dan (c) 16.000 ppm

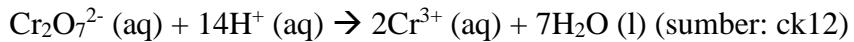


Gambar 4.6 Pengaruh pH Terhadap Persentase Removal dan Pertumbuhan *Chlorella sp.* selama Proses Biosorpsi dengan konsentrasi ion logam kromium (VI) 20 ppm dengan Salinitas (a) 2000 ppm (b) 9000 ppm dan (c) 16.000 ppm



Gambar 4.7 Pengaruh pH Terhadap Persentase Removal dan Pertumbuhan *Chlorella sp.* selama Proses Biosorpsi dengan konsentrasi ion logam kromium (VI) 30 ppm dengan Salinitas (a) 2000 ppm (b) 9000 ppm dan (c) 16.000 ppm

Berdasarkan grafik di atas menunjukkan pada pH 2 didapatkan hasil persentase *removal* yang lebih tinggi dibandingkan pada pH 4 dan pH 6. Hal ini sejalan dengan penelitian Sibi, (2016) dimana pH 2 merupakan pH yang optimal untuk proses biosorpsi ion logam kromium (VI) menggunakan mikroalga *Chlorella sp.* Pada kondisi pH yang rendah, permukaan biomassa secara keseluruhan menjadi bermuatan positif karena gugus-gugus fungsional yang terdapat pada permukaan sel seperti gugus amina, amida, dan karbonil akan terprotonasi yang kemudian akan berinteraksi secara elektrostatik dengan ion logam Cr⁶⁺ dalam bentuk anion Cr₂O₇²⁻ maupun CrO₄²⁻. Selain itu, pada kondisi asam, ion logam kromium (VI) dalam bentuk anion Cr₂O₇²⁻ maupun CrO₄²⁻ akan lebih mudah memasuki sel-sel mikroalga (Sukla dkk., 2019). Interaksi elektrostatik antara anion Cr₂O₇²⁻ maupun CrO₄²⁻ dengan ion H⁺ semakin lama akan menimbulkan titik isoelektrik (*isoelectric point*) atau *zero charge*, dimana kedua ion sudah tidak bermuatan positif maupun negatif. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Gokhale, dkk. (2008), didapat titik isoelektrik pada pH 3 sedangkan hasil penelitian yang dikemukakan oleh Pagnanelli, dkk. (2013) didapat titik *zero charge* berada pada pH 2,9. Selain itu, pada kondisi asam, ion Cr⁶⁺ dalam Cr₂O₇²⁻ akan tereduksi menjadi ion Cr³⁺ dengan reaksi:



Pertumbuhan *Chlorella sp.* ditandai dengan meningkatnya kepadatan sel yang dipengaruhi beberapa faktor salah satunya adalah pH. Kadar pH mempengaruhi tingkat fotosintetik *Chlorella sp.* dan kinerja enzim dalam proses metabolisme sel. Derajat keasaman (pH) pada media menentukan kelarutan dan ketersediaan ion mineral, sehingga mempengaruhi penyerapan nutrient oleh sel (Supramaniam, et al., 2012).

Dari **gambar 4.5**, **gambar 4.6**, dan **gambar 4.7** didapat bahwa nilai pH tidak terlalu mempengaruhi pertumbuhan dari mikroalga *Chlorella sp.* dalam proses biosorpsi ion logam kromium (VI). Walaupun nilai kepadatan sel tertinggi berada pada pH 6. Pada nilai pH yang lebih rendah (pH 2 dan pH 4) pertumbuhan *Chlorella sp.* memiliki tingkat pertumbuhan yang lebih rendah. Hal ini sejalan dengan penelitian Sutomo (1991), yang menyatakan bahwa *Chlorella* dapat tumbuh lebih cepat pada pH 6 sampai 8 daripada pH di luar kisaran tersebut. Pada pH yang rendah menyebabkan penghambatan enzim nitrat dan nitrit reduktase yang mengakibatkan terjadinya defisiensi nitrogen pada mikroalga (Soeder dkk., 1974). Perubahan pH juga dapat mempengaruhi proses fiksasi nitrogen, sintesis fosfat organic dan polifosfat serta dapat mengakibatkan perubahan pigmen, dimana hal ini tentunya akan mempengaruhi

pertumbuhan mikroalga *Chlorella sp.* (Sutomo, 1991). Dari grafik di atas juga dapat diartikan bahwa terjadi ketidakcocokan antara kecenderungan data persentase removal ion logam kromium (VI) dan pertumbuhan mikroalga. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi dua mekanisme bisosorpsi yaitu *active uptake* dan *passive uptake*. Mikroalga pada penelitian ini mengalami pertumbuhan sehingga terjadi mekanisme *active uptake* dan *passive uptake*. Akan tetapi ketidaksesuaian grafik pada persentase *removal* menyatakan bahwa pH lebih mempengaruhi pada mekanisme *passive uptake* dalam proses biosorpsi ion logam kromium (VI). *Passive uptake* dapat terjadi pada sel hidup maupun sel mati. Berpengaruhnya pH terhadap mekanisme *passive uptake* dapat terlihat dari grafik dimana pengaruh pH tidak terlalu mempengaruhi pertumbuhan mikroalga *Chlorella sp.* dan dari grafik juga dapat terlihat dengan persentase *removal* yang meningkat dari jam ke-30 sampai jam ke-48 (terutama pada pH 2). Hal ini membuktikan bahwa mekanisme *passive uptake* dalam proses biosorpsi ion Cr⁶⁺ menggunakan mikroalga *Chlorella sp.* sangat dipengaruhi oleh tingkat keasaman (pH) pada lingkungan sekitar.

4.6. Biosorpsi Ion Logam Kromium(VI) Menggunakan *Chlorella sp.* Variasi Konsentrasi Awal Ion Logam Kromium(VI)

Penetapan kadar ion logam kromium (VI) dilakukan dengan metode spektrofotometri. Persentase *removal* dan banyaknya ion logam kromium (VI) yang terjerap terhadap waktu pada berbagai konsentrasi awal ion logam kromium (VI) pada pH 2 ditampilkan pada **gambar 4.8**, pada pH 4 ditampilkan pada **gambar 4.9**, dan pada pH 6 ditampilkan pada **gambar 4.10**.

Hasil penelitian dengan persentase removal tinggi dengan konsentrasi logam yang rendah maka proses penyerapan ion logam Cr⁶⁺ yang dilakukan oleh mikroalga *Chlorella sp.* akan semakin mudah. Sedangkan hasil penelitian yang dilakukan dengan konsentrasi yang lebih tinggi pada 20 ppm mikroalga *Chlorella sp.* masih dapat mentoleransi keberadaan ion Cr⁶⁺ dan masih dapat melakukan detoksifikasi ion logam Cr⁶⁺ dan mereduksinya menjadi ion Cr³⁺ untuk dimanfaatkan sebagai metabolisme. Pada konsentrasi yang tinggi pada 30 ppm, mikroalga akan mengalami keracunan logam karena tidak dapat mentoleransi konsentrasi tersebut. menurut konsep HSBA (*Hard Soft Acid Base*) yang dikemukakan oleh Pearson (1963), ion Cr³⁺ merupakan asam keras yang dapat breaksi dengan gugus fungsi yang terdapat di dinding sel

Chlorella sp. seperti gugus fungsi hidroksil yang bersifat basa. Gugus fungsi pada dinding sel *Chlorella sp.* berinteraksi kuat dengan asam yang bersifat keras seperti ion Cr³⁺.

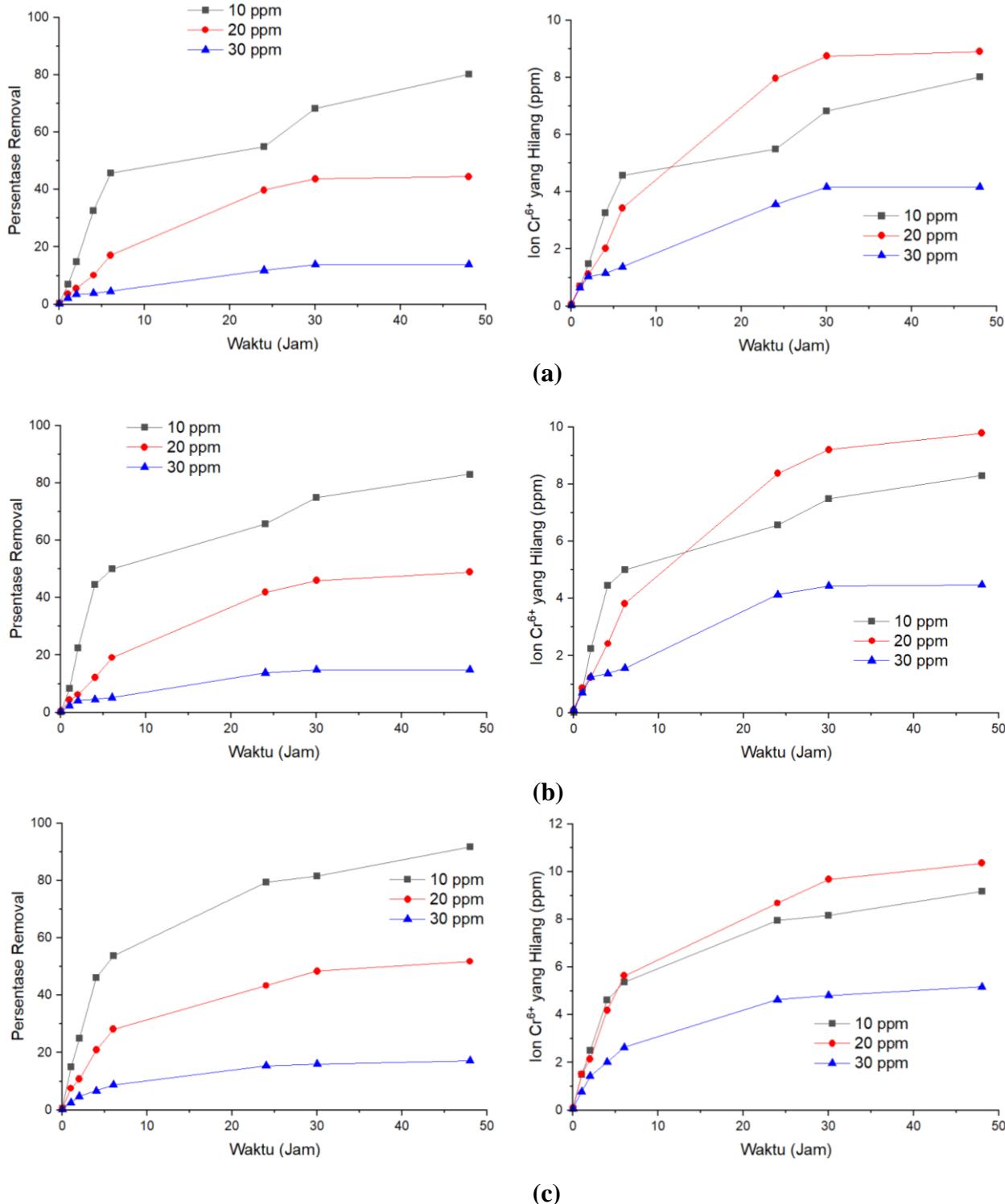
Dari hasil percobaan juga dapat diartikan bahwa mikroalga *Chlorella sp.* masih dapat melakukan proses biosorpsi pada konsentrasi ion logam kromium (VI) sebesar 20 ppm. Hal ini membuktikan bahwa mikroalga *Chlorella sp.* memiliki kapasitas biosorpsi dalam jumlah tertentu.

Konsentrasi awal ion logam sangat mempengaruhi kesetimbangan penangkapan ion logam dan hasil biosorpsi oleh biomassa. Konsentrasi ion logam awal akan mempengaruhi seberapa banyak ion Cr⁶⁺ yang sangat berbahaya yang dapat direduksi menjadi ion Cr³⁺ yang tidak berbahaya dan dimanfaatkan untuk metabolisme mikroalga. Besarnya konsentrasi ion Cr⁶⁺ juga akan mempengaruhi konsentrasi pigmen fotosintesis dan konsentrasi klorofil yang terdapat dalam mikroalga dimana pigmen fotosintesis dan klorofil akan digunakan untuk melindungi sel mikroalga dari fenomena *oxidative stress* (Hörcsik dkk., 2006). Pada penelitian ini, variasi konsentrasi awal ion logam kromium (VI) yang digunakan adalah sebesar 10 ppm, 20 ppm, dan 30 ppm. Hasil dari pengaruh konsentrasi awal ion logam kromium (VI) terhadap pertumbuhan mikroalga *Chlorella sp.* dapat dilihat pada **gambar 4.11**, **gambar 4.12**, dan **gambar 4.13**.

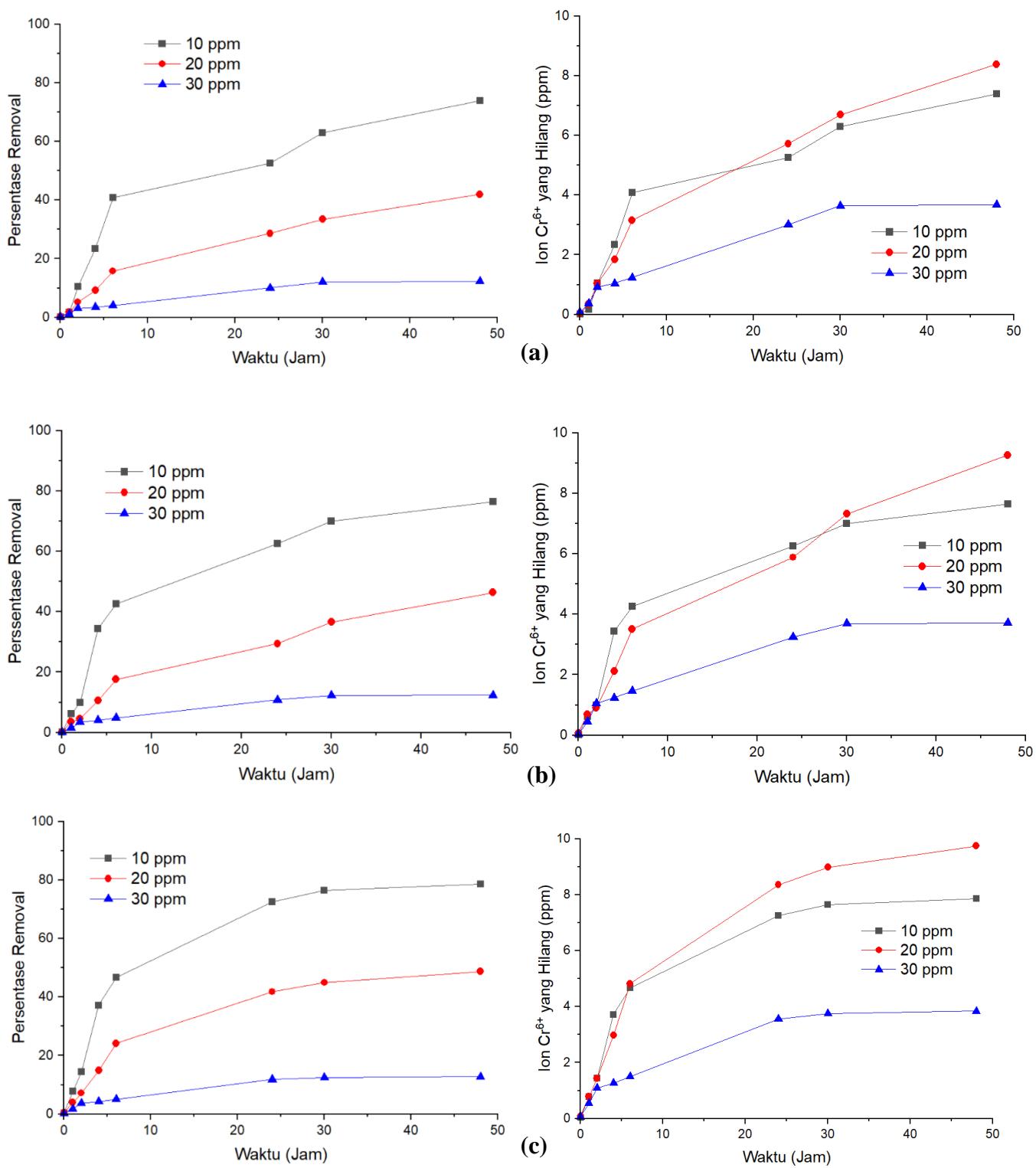
Berdasarkan hasil penelitian didapatkan dari pertumbuhan mikroalga *Chlorella sp.* terhadap waktu dalam proses biosorpsi ion logam Cr⁶⁺ pada berbagai konsentrasi awal untuk konsentrasi 10 ppm dan 20 ppm memiliki kepadatan sel yang tinggi sedangkan pada konsentrasi 30 ppm memiliki kepadatan sel yang rendah. Hal ini mengartikan bahwa mikroalga *Chlorella sp.* masih dapat bertahan hidup pada konsentrasi ion logam Cr⁶⁺ yang rendah dan masih dapat melakukan proses detoksifikasi ion logam Cr⁶⁺. Mikroalga *Chlorella sp.* memiliki kemampuan untuk detoksifikasi ekstraseluler yang terjadi akibat interaksi ion logam Cr dengan gugus hidroksil pada selulosa yang melapisi dinding sel (Dewi, 2015). Penyerapan ion logam Cr oleh dinding sel dapat mencegah ion Cr untuk masuk ke dalam sel sehingga akan mengurangi tingkat keracunan pada konsentrasi yang tinggi seperti pada konsentrasi 30 ppm dimana mikroalga *Chlorella sp.* hanya dapat bertahan hidup dan melakukan detoksifikasi kurang dari 24 jam.

Dari hasil penelitian yang melibatkan pengaruh konsentrasi awal ion logam kromium (VI), dapat disimpulkan bahwa pada konsentrasi tertentu logam Cr diperlukan oleh mikroalga, tetapi pada konsentrasi tinggi justru akan menghambat pertumbuhannya. Menurut Hala (2012), mikroalga umumnya memiliki mekanisme perlindungan terhadap logam beracun untuk

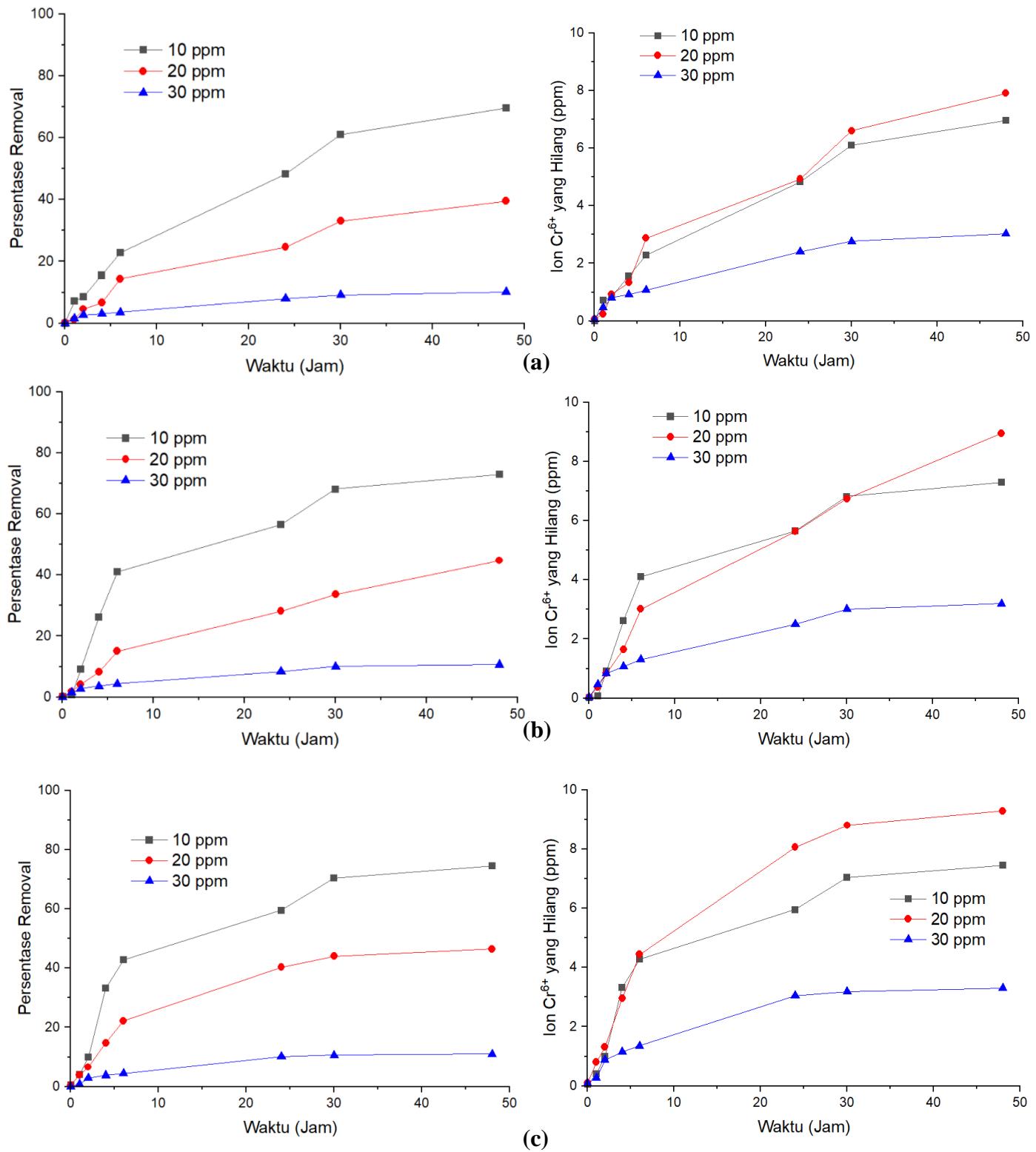
mempertahankan hidupnya. Jika konsentrasi logam terlalu tinggi, akumulasi logam beracun dapat menghambat pertumbuhan sel karena sistem perlindungan mikroalga tidak mampu lagi mengimbangi efek toksik logam. Penurunan konsentrasi ion logam Cr juga dipengaruhi karena faktor nutrisi dan jumlah sel pada media.



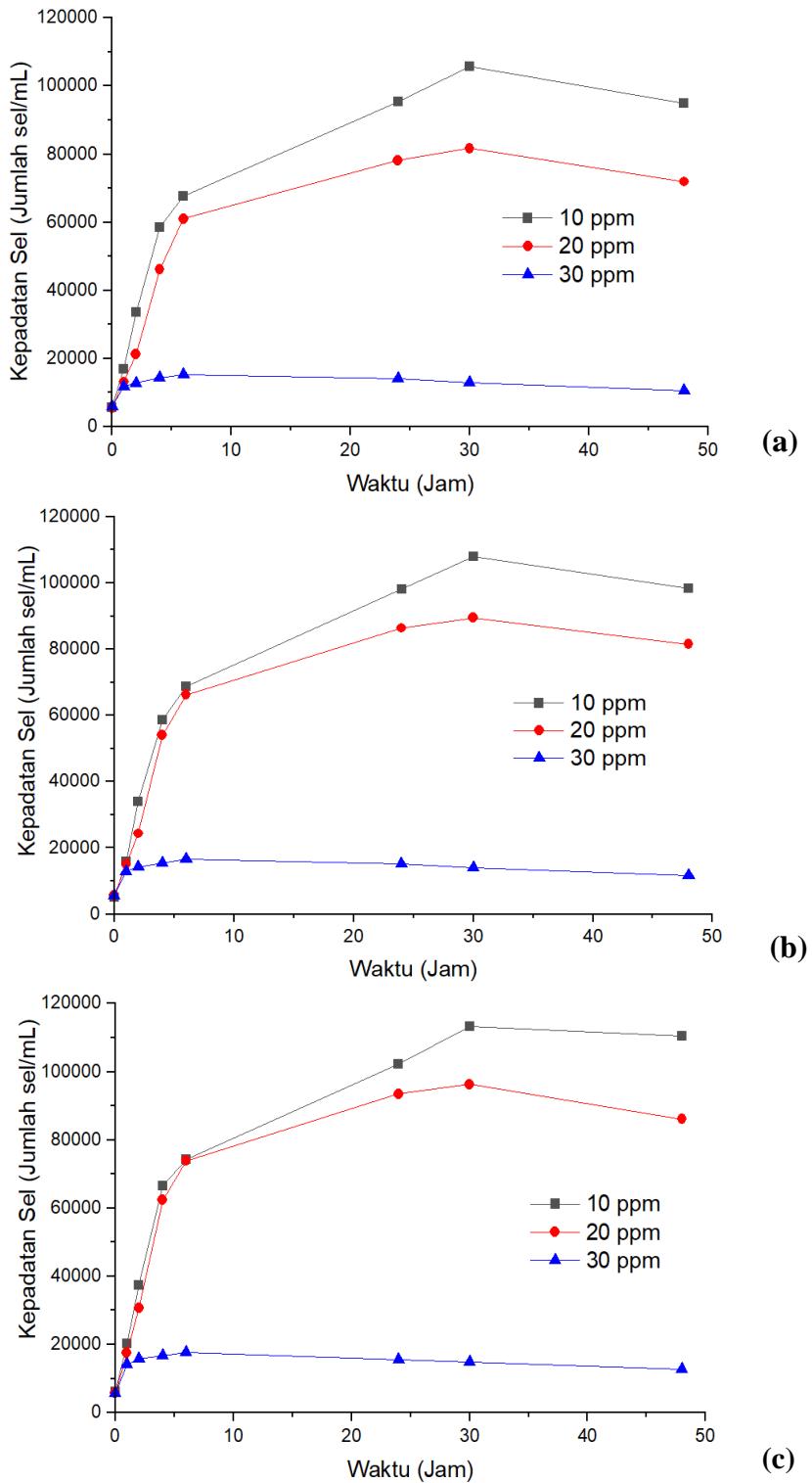
Gambar 4.8 Hasil Persentase Removal dan Jumlah Ion Logam Kromium (VI) yang Hilang dalam Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan pH 2 dan dengan Salinitas (a) 2000 ppm (b) 9000 ppm dan (c) 16.000 ppm



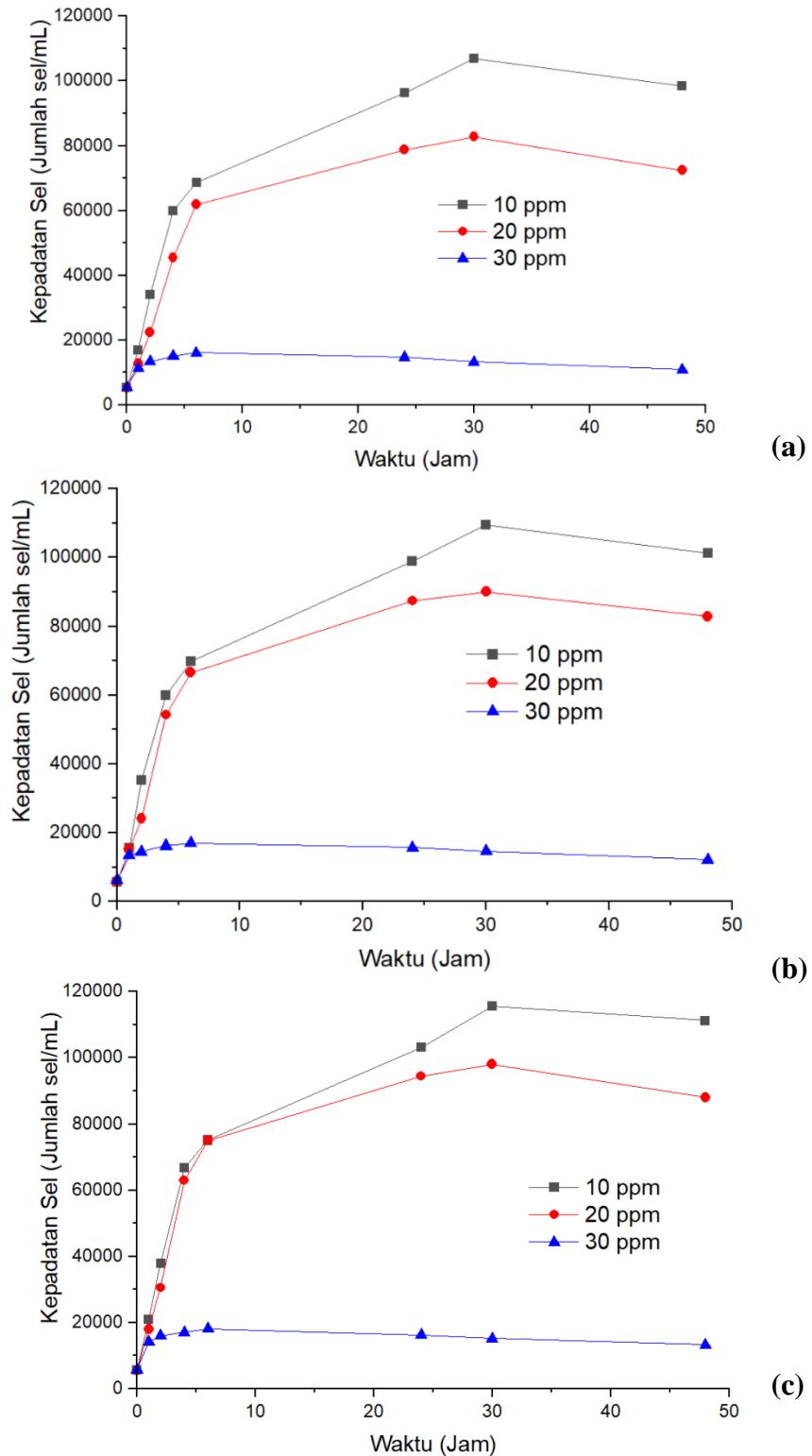
Gambar 4.9 Hasil Persentase *Removal* dan Jumlah Ion Logam Kromium (VI) yang Hilang dalam Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan pH 4 dan dengan Salinitas (a) 2000 ppm (b) 9000 ppm dan (c) 16.000 ppm



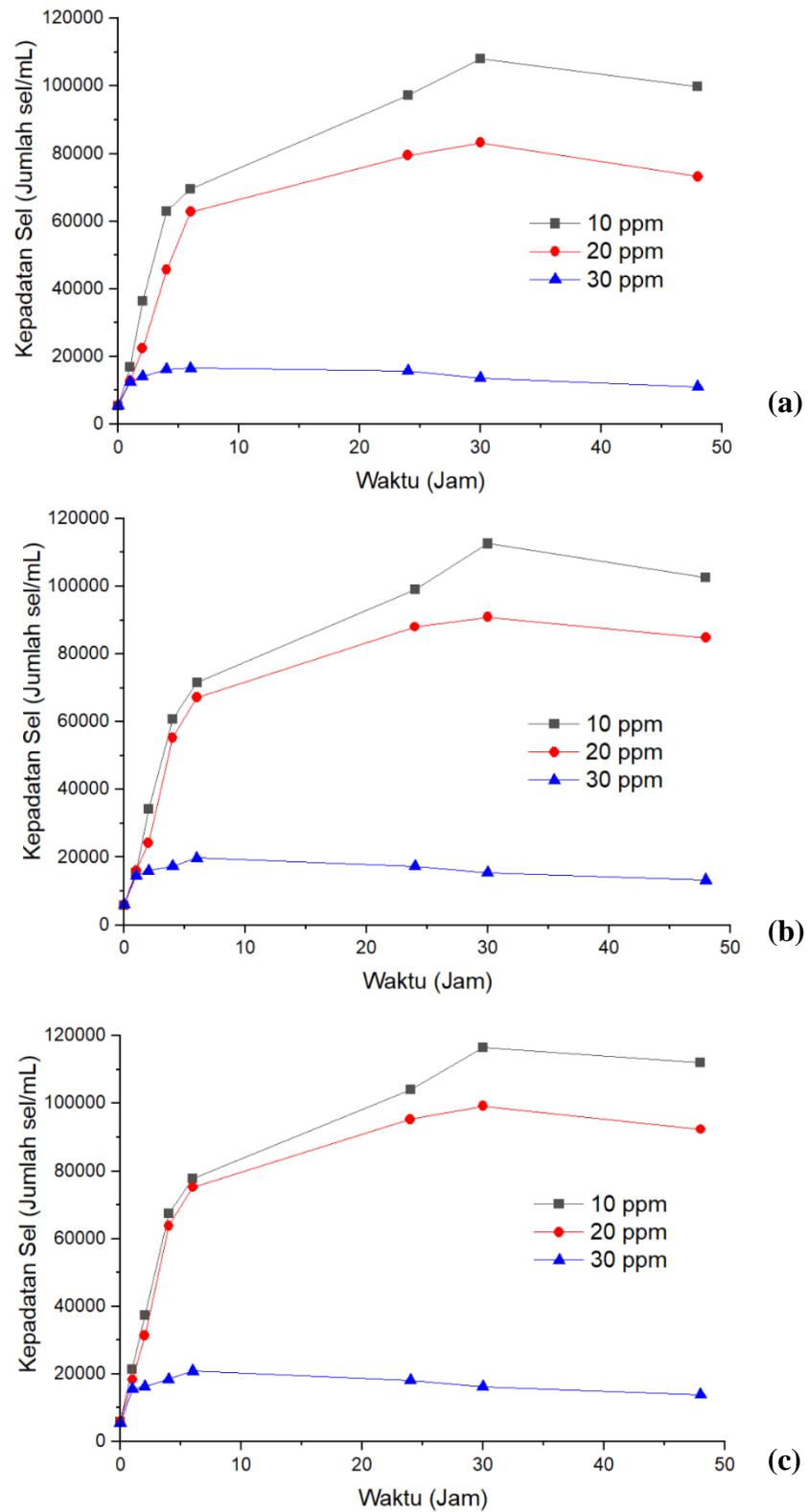
Gambar 4.10 Hasil Persentase Removal dan Jumlah Ion Logam Kromium (VI) yang Hilang dalam Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan pH 6 dan dengan Salinitas (a) 2000 ppm (b) 9000 ppm dan (c) 16.000 ppm



Gambar 4.11 Pengaruh konsentrasi ion logam kromium (VI) terhadap pertumbuhan *Chlorella sp.* selama Proses Biosorpsi dengan pH 2 dan Salinitas (a) 2000 ppm (b) 9000 ppm dan (c) 16.000 ppm



Gambar 4.12 Pengaruh konsentrasi ion logam kromium (VI) terhadap pertumbuhan *Chlorella sp.* selama Proses Biosorpsi dengan pH 4 dan Salinitas (a) 2000 ppm (b) 9000 ppm dan (c) 16.000 ppm



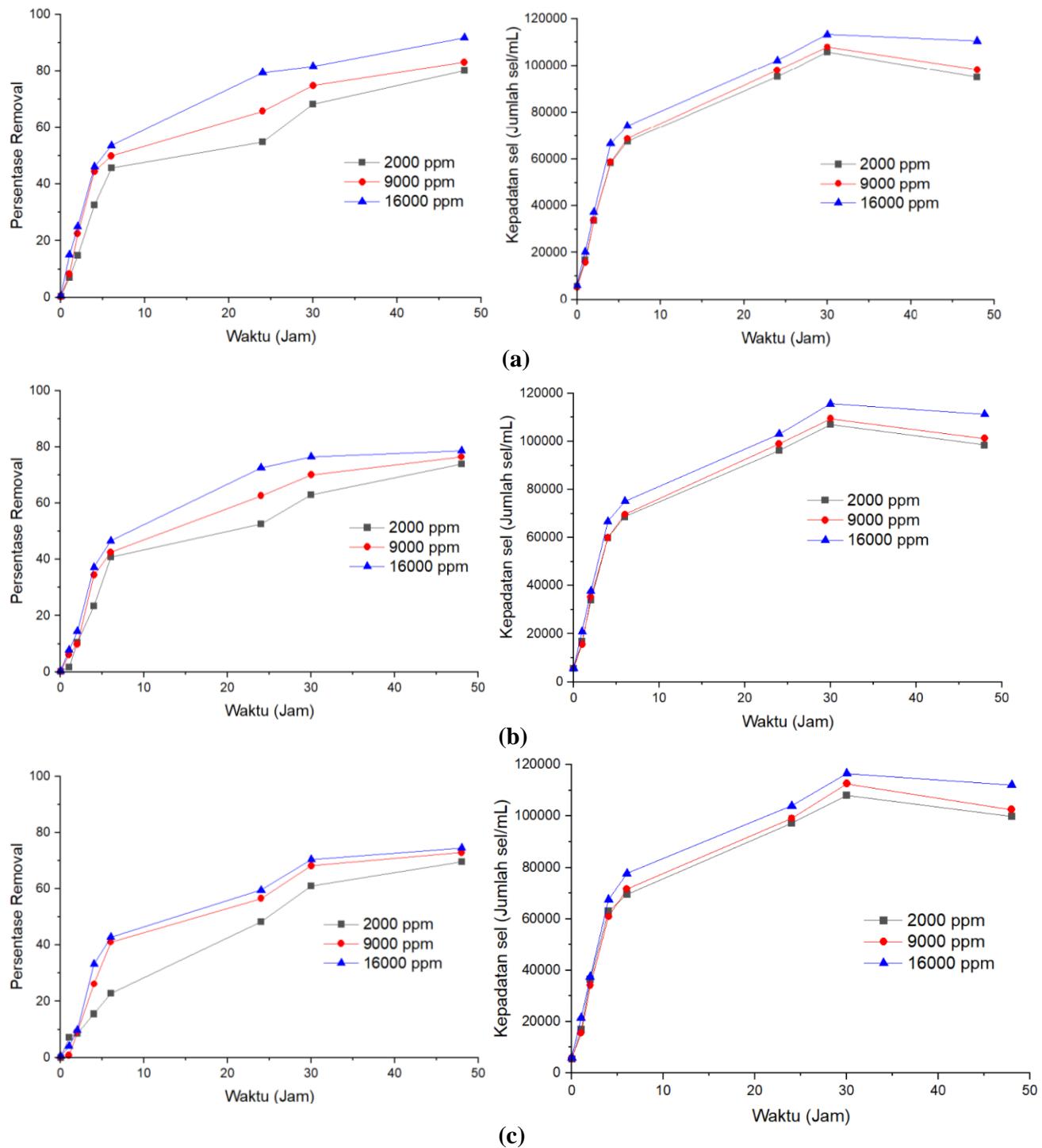
Gambar 4.13 Pengaruh konsentrasi ion logam kromium (VI) terhadap pertumbuhan *Chlorella sp.* selama Proses Biosorpsi dengan pH 6 dan Salinitas (a) 2000 ppm (b) 9000 ppm dan (c) 16.000 ppm

4.7. Biosorpsi Ion Logam Kromium(VI) Menggunakan *Chlorella sp.* Variasi Salinitas

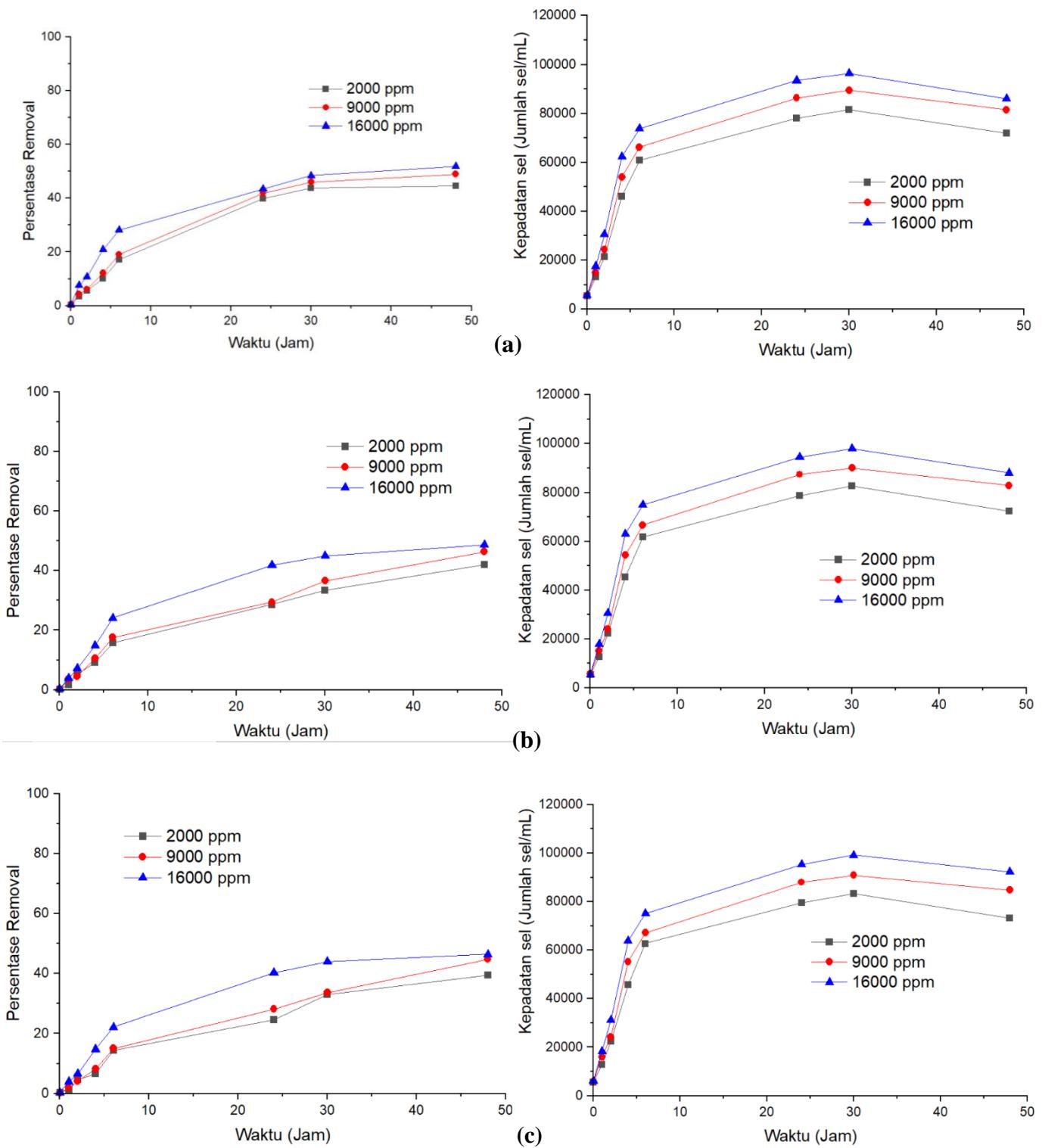
Pada penelitian ini, variasi salinitas yang digunakan adalah sebesar 2000 ppm, 9000 ppm, dan 16000 ppm. Hasil penelitian yang didapatkan persentase *removal* dan pertumbuhan mikroalga *Chlorella sp.* dengan variasi salinitas pada konsentrasi ion logam kromium (VI) sebesar 10 ppm dengan pH 2 ditampilkan pada **gambar 4.14**, pada pH 4 ditampilkan pada **gambar 4.15**, dan pada pH 6 ditampilkan pada **gambar 4.16**.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada setiap nilai pH yang digunakan terdapat kecenderungan yang sama yaitu pada salinitas 16.000 ppm memiliki persentase removal logam kromium yang lebih baik dibandingkan dengan salinitas 9000 ppm dan salinitas 9000 ppm menghasilkan persentase *removal* ion kromium (VI) yang lebih baik dibandingkan dengan salinitas 2000 ppm. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Sibi (2016), dimana semakin meningkat salinitas, kemampuan biosorpsi pada mikroalga semakin meningkat. Peningkatan salinitas di suatu lingkungan akan meningkatkan konduktivitas elektrik di lingkungan tersebut. Sibi (2016), mengatakan bahwa proses biosorpsi ion kromium (VI) menggunakan mikroalga *Chlorella sp.* dalam kondisi kondustivitas elektrik yang tinggi dapat meningkatkan efisiensi mikroalga *Chlorella sp.* dalam mereduksi logam kromium.

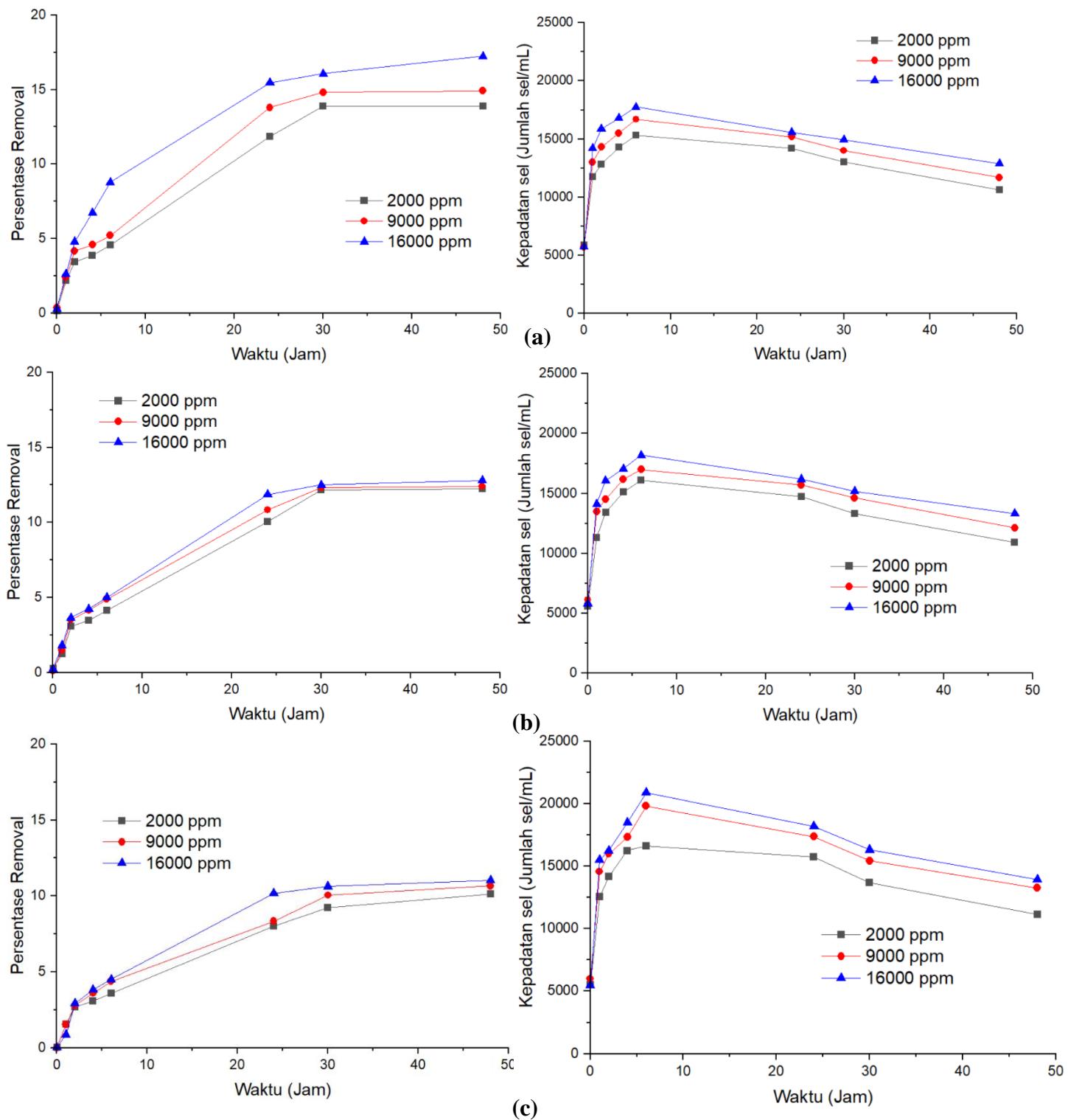
Dari **gambar 4.14**, **gambar 4.15**, dan **gambar 4.16** di atas dapat dijelaskan bahwa pertumbuhan mikroalga pada lingkungan dengan salinitas tinggi (9000 ppm dan 16.000 ppm) akan lebih baik jika dibandingkan dengan salinitas yang rendah (2000 ppm). Menurut Sutomo (1991), naik atau turunnya tingkat salinitas sangat berpengaruh terhadap tekanan osmose dan mekanisme osmoregulasi yang secara langsung akan mempengaruhi proses metabolisme yang berakibat terhadap pertumbuhan populasi mikroalga. Pada grafik, didapat kecenderungan data pada hari pertama dari jam ke-0 sampai jam ke-6 memiliki perbedaan jumlah sel yang tidak terlalu signifikan. Hal ini disebabkan mikroalga masih dalam kondisi menyesuaikan diri dengan lingkungannya dan masih belum memanfaatkan nutrisi secara optimal. Pada hari kedua (dimulai dari jam ke-24) sudah mulai terlihat perbedaan jumlah sel pada salinitas 2000 ppm, 9000 ppm, dan 16.000 ppm. Hal ini disebabkan pada hari kedua dan seterusnya, mikroalga sudah dapat memanfaatkan nutrisi dari lingkungannya secara optimal, akan tetapi pada jam ke-48, terjadi



Gambar 4.14 Pengaruh salinitas terhadap persentase *removal* dan Pertumbuhan *Chlorella sp.* selama proses biosorpsi dengan konsentrasi ion logam kromium (VI) 10 ppm dan pada pH (a) pH 2 (b) pH 4 dan (c) pH 6



Gambar 4.15 Pengaruh Salinitas Terhadap persentase *removal* dan Pertumbuhan *Chlorella sp.* selama proses biosorpsi dengan konsentrasi ion logam kromium (VI) 20 ppm dan pada pH (a) pH 2 (b) pH 4 dan (c) pH 6



Gambar 4.16 Pengaruh salinitas terhadap persentase *removal* dan Pertumbuhan *Chlorella sp.* selama proses biosorpsi dengan konsentrasi ion logam kromium (VI) 30 ppm dan pada pH (a) pH 2 (b) pH 4 dan (c) pH 6

kematian pada sel mikroalga yang ditandai dengan penurunan jumlah sel. Hal ini disebabkan karena semakin banyak mikroalga yang tumbuh maka semakin banyak nutrisi yang dibutuhkan. Pada penelitian tidak ditambahkan nutrisi kembali sehingga terjadi perebutan nutrisi oleh mikroalga. Hal inilah yang menyebabkan mikroalga menjadi kekurangan nutrisi dan akhirnya mati sebelum waktunya. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Sutomo (1991), dimana mikroalga *Chlorella* mampu hidup dan tumbuh pada salinitas setinggi 60% maupun terendah 5%.

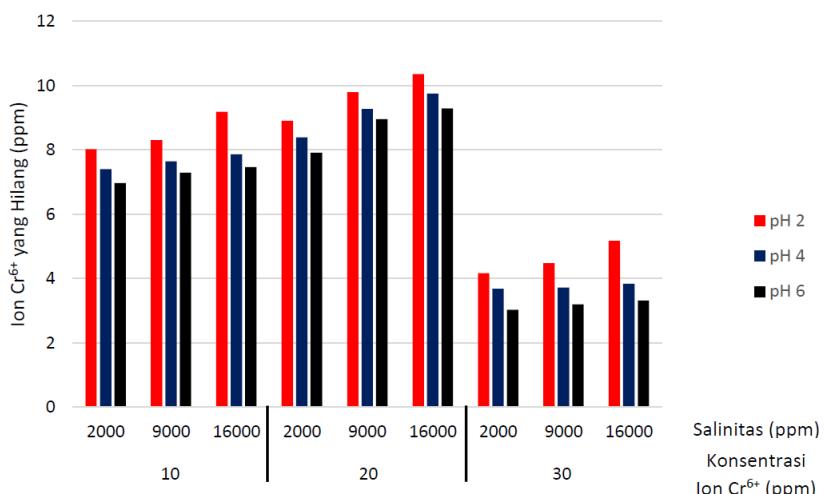
4.8. Hasil Ion Logam Kromium(VI) yang Hilang Secara Keseluruhan

Hasil penelitian menggunakan 3 variasi yaitu pH, konsentrasi awal ion logam kromium (VI), dan salinitas dimana pH yang digunakan adalah 2, 4, dan 6; konsentrasi awal ion Cr^{6+} yang digunakan adalah 10 ppm, 20 ppm, dan 30 ppm; serta salinitas yang digunakan adalah 2000 ppm, 9000 ppm, dan 16.000 ppm. Hasil ion Cr^{6+} yang hilang secara keseluruhan ditampilkan pada **tabel 4.1**

Tabel 4.1 Hasil Ion Cr^{6+} yang Hilang Secara Keseluruhan (dalam ppm)

pH	Konsentrasi Awal Ion Logam Kromium (VI)								
	10 ppm			20 ppm			30 ppm		
	Salinitas			2000 ppm	9000 ppm	16000 ppm	2000 ppm	9000 ppm	16000 ppm
2	8,0190	8,3030	9,1786	8,9033	9,7901	10,3571	4,1673	4,4726	8,0190
4	7,3962	7,6456	7,8590	8,3879	9,2679	9,7435	3,6779	3,7187	7,3962
6	6,9678	7,2892	7,4585	7,9086	8,9501	9,2866	3,0333	3,1972	6,9678

Hasil ion Cr^{6+} yang hilang secara keseluruhan dalam bentuk grafik ditampilkan pada **gambar 4.17**



Gambar 4.17 Hasil Ion Cr^{6+} yang Hilang Secara Keseluruhan

Dari **tabel 4.1** dan **gambar 4.17** dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan pH 2 menghasilkan kehilangan ion Cr⁶⁺ yang lebih besar dibandingkan pada pH 4 dan pH 6. Hal ini telah sesuai dengan teori yang dijelaskan pada subbab 4.5 bahwa pada pH 2 mengakibatkan permukaan biomassa secara keseluruhan menjadi lebih bermuatan positif sedangkan pada pH 2 ion Cr⁶⁺ akan membentuk anion Cr₂O₇²⁻ dan CrO₄²⁻. Pada kondisi asam, ion Cr⁶⁺ akan lebih mudah memasuki sel-sel mikroalga.

Konsentrasi ion Cr⁶⁺ yang paling pada proses biosorpsi ion logam kromium (VI) adalah 20 ppm. Hal ini mengartikan bahwa semakin besar konsentrasi ion logam kromium (VI), maka konsentrasi ion Cr⁶⁺ yang hilang akan semakin besar. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Mawardi, dkk (2014) yang menggunakan *Spyrogyra Subsalsa* sebagai biosorben yang menghasilkan bahwa semakin besar konsentrasi ion Cr⁶⁺, maka ion Cr⁶⁺ yang hilang akan semakin besar. Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Arifuddin. (2017) yang dilakukan dengan menggunakan biosorben berupa karbon aktif yang berasal dari tongkol jagung yang menyimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ion Cr⁶⁺ maka daya adsorpsi akan semakin besar.

Salinitas yang paling baik untuk proses biosorpsi ion logam kromium (VI) adalah 16.000 ppm. Hal ini dikarenakan mikroalga *Chlorella sp.* membutuhkan salinitas dalam pertumbuhannya untuk membantu dalam proses fotosintesis dalam pertumbuhannya dan juga akan meningkatkan konduktivitas elektrik di lingkungan tersebut.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan:

1. Semakin rendah tingkat keasaman (nilai pH), maka semakin tinggi persentase *removal* dalam proses biosorpsi ion logam kromium (VI) menggunakan mikroalga *Chlorella sp.*
2. Sampai batas tertentu, semakin tinggi konsentrasi ion logam kromium (VI) maka semakin tinggi pula ion logam kromium (VI) yang hilang dalam proses biosorpsi ion logam kromium (VI) menggunakan mikroalga *Chlorella sp.*
3. Semakin tinggi salinitas maka semakin tinggi pula persentase *removal* dalam proses biosorpsi ion logam kromium (VI) menggunakan mikroalga *Chlorella sp.*
4. Ion logam kromium (VI) yang hilang terbanyak (10,3571 ppm) terjadi pada kondisi pH 2 dengan konsentrasi ion logam Cr⁶⁺ 20 ppm dan salinitas 16.000 ppm.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk lebih mengetahui mekanisme biosorpsi pada mikroalga.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan limbah industri yang sesungguhnya untuk mengamati performa mikroalga *Chlorella sp.* dalam proses biosorpsi ion logam Cr⁶⁺ dengan memanfaatkan data yang telah diperoleh dari penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aitio Antero, 2005, Health Effects of Occupational Exposures in Chrome Plating in Guertin, J (Ed.) *Chromium(VI) Handbook*. CRC Press, pp: 611-616.
- Akar, T dan Tunali, S., 2006 Biosorption characteristics of *Aspergillus flavus* biomass for removal of Pb(II) and Cu(II) ions form an aqueous solution, *Bioresource Technology*, 97, pp. 1780-1787.
- Aksu, Z. dan Donmez, G., 2006, Binary biosorption of cadmium(II) and nickel(II) onto dried Chlorella vulgaris: Co-ion effect on mono-component isotherm parameters, *Process Biochemistry*, 41, pp. 860-868.
- Al-Rub, Abu F.A., El-Naas, M.H dan Al-Marzouqi, M., 2006, Biosorption of copper on Chlorella vulgaris from single, binary and ternary metal aqueous solutions, *Process Biochemistry*, 41, pp. 457-464.
- Al-Shahrani, S.S., 2014, Treatment of wastewater contaminated with cobalt using Saudi activated bentonite, *Alexandria Engineering Journal*. Alexandria University, 53.
- Amazine, Kromium (Cr): Fakta, Sifat, & Efek Kesehatannya, www.amazine.co, diakses November 2018.
- Aprilliyanti, S., Soeprobawati, Tri R., dan Yulianto B., 2016, Hubungan Kemelimpahan Chlorella sp Dengan Kualitas Lingkungan Perairan Pada Skala Semi Masal di BBBPBAP Jepara, *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 14, pp. 77-81.
- Arifuddin, 2017, Pengaruh Konsentasi Ion Cr(VI) terhadap Daya Adsorpsi Karbon Aktif Tongkol Jagung (*Zea mays*), *CHEMICA*, 16, pp. 14-20.
- Ashley, K., Howe, A M., Demange, M., dan Olle, N., 2003, Sampling and analysis considerations for the determination of hexavalent chromium in workplace air, *Journal of Environmental Monitoring*, 5, pp. 707-716.
- Asmadi, Endro, S., dan Oktiawan., W, 2009, Pengurangan Krom (Cr) dalam Limbah Cair Industri Kulit pada Proses Tannery Menggunakan Senyawa Alkali Ca(OH)₂, NaOH, dan NaHCO₃ (Studi Kasus PT.Trimulyo Kencana Mas Semarang), *JAI*, 5, pp. 41-54.
- Aung, Wai L., Hlaing, Nway N., dan Aye, Kyaw N., 2013, Biosorption of Lead (Pb²⁺) by using *Chlorella vulgaris*, *International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences*, 1, pp. 408-412.
- Ausetute, Dilution Factor Calculations, www.ausetute.com.au, diakses Desember 2018.

- Bailey, J E., dan Ollis, D F., 1986, *Biochemical Engineering Fundamentals*, edisi 2, McGraw-Hill, Tokyo.
- Banvalvi, G., 2011, Heavy Metals, Trace Elements and Their Cellular Effects in Banvalvi, G (Ed.) *Cellular Effects of Heavy Metals*, Springer, London, pp. 3-28.
- Barchan, V S H., Kovnatsky, E F., dan Smetannikova, M S., 1998, Water, Air, and Soil Pollution, 103, pp. 173-195.
- Barsanti, L., dan Gualtieri, P., 2014, *Algae: Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology*, edisi 2, CRC Press, Pisa, pp. 32.
- Benito, Y., dan Ruiz, M.L., 2002, Reverse osmosis applied to metal finishing wastewater, *Desalination*, 142, pp. 229-234.
- Blaylock, B G., dan Frank, M L., 1979, A Comparison of the Toxicity of Nickel to the Developing Eggs and Larvae of Carp (*Cyprinus carpio*), *Bull Environm. Contain. Toxicol.*, 21, pp. 604-611.
- Borowitzka, M A., 1999, Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters, *Journal of Biotechnology*, 70, pp. 313-321.
- Brinza, L., Dring, M J., dan Gavrilescu, M., 2007, Marine Micro and Macro Algal Species as Biosorbents for Heavy Metals, *Environmental Engineering and Management Journal*, Vol. 6, pp. 237-251.
- Brown Alfred E, 2001, *Benson's Microbiological Applications Laboratory Manual in General Microbiology*, edisi 8, McGraw-Hill Education.
- Center for Freshwater Biology, Dinobryon (Chrysophyceae), <http://cfb.unh.edu>, diakses November 2018.
- Chemical Elements, Nickel, <http://images-of-elements.com>, diakses November 2018.
- Chemical Kinetics, 2016, <http://chemistry.bd.psu.edu>, diakses Oktober 2018.
- Chemicoool, Cobalt, www.chemicoool.com, diakses September 2018.
- Chi, H., Tsang, K., dan Lee, R., 1987, Treatment of Electroplating Wastes, *Water Pollution Control*.
- ck12, Balancing Redox Reactions: Half-Reaction Method, ck12.org, diakses Januari 2020.
- Coutteau, Peter, 1996, Microalgae, in Lavens Patrick and Patrick Sorgeloos (Ed.). *Manual on the Production and Use of Live Food for Aquaculture*, FAO, Rome, pp. 7-47.

Culture Collection of Algae and Protozoa, BG11 (Blue-Green Medium), www.ccap.ac.uk, diakses Desember 2018.

Culture Collection of Algae and Protozoa, Bold's Basal Medium (BB) Freshwater Algae, www.ccap.ac.uk, diakses Desember 2018.

Culture Collection of Algae and Protozoa, Walne's Medium for Algal Cultures, www.ccap.ac.uk, diakses Desember 2018.

Culture Collection of Autotrophic Organisms, *Anabaena sp.*, <http://ccala.butbn.cas.cz>, diakses November 2018.

Cyanosite Bio, Bristol Medium, www.cyanosite.bio.purdue.edu, diakses Desember 2018.

Danusubrata, R., 2010, Kultivasi Konsorium Alamiah Mikroalga dengan Memanfaatkan Nutrien pada Berbagai Limbah Cair Argoindustri, *Undergraduate Thesis*, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia.

Dhankhar, R. dan Hooda, A., 2011, Fungal biosorption-an alternative to meet the challenges of heavy metal pollution in aqueous solutions, *Environmental Technology*, 32, pp. 467-491.

Donmez, C G., Aksu, Z., Ozturk, A., dan Kutsal, T., 1999, A comparative study on heavy metal biosorption characteristics of some algae, *Process Biochemistry*, 34, pp. 885-892.

Dwidjoseputro, 1998, *Dasar-Dasar Mikrobiologi*, Djambatan, Jakarta.

Dziosa, K., dan Makowska, M., 2016 Monitoring of *Chlorella sp.* Growth Based on the Optical Density Measurement, *Problemy Eksploatacji*, 2, pp. 197-206.

Encyclopedia Britannica, Copper, www.britannica.com, diakses November 2018.

Fachrullah, M R., 2011, Laju Pertumbuhan Mikroalga Penghasil Biofuel Jenis *Chlorella sp.* dan *Nannochloropsis sp.* yang Dikultivasi Menggunakan Air Limbah Hasil PEnambangan Timah di Pulau Bangka, *Skripsi*, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia.

Fardiaz, S., 1992, *Polusi Air dan Udara*, Kanisius Press, Yogyakarta.

Gerberding, J L., 2005 Toxicological Profile for Nickel, Atlanta : Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Division of Toxicology, 2005.

Gokhale, S V., Jyoti, K K., dan Lele, S S., 2008, Kinetic and Equilibrium Modelling of Chromium(VI) Biosorption on Fresh and spent *Spirulina platensis/ Chlorella vulgaris* biomass, *Bioresource Technology*, 99, pp. 3600-3608.

Global Sources, Mercury, www.globalsources.com, diakses Oktober 2018.

- Goldman, J C., dan Carpenter, E J., 1974, A Kinetic Approach to the Effect of Temperature on Algal Growth, *Limnology and Oceanography*, 19, pp. 756-766.
- Graneli, E., dan Salomon, P S., 2010, Factors Influencing Allelopathy and Toxicity in *Prymnesium Parvum*, *Journal of The American Water Resources Association*, 46, pp. 108-120.
- Grigoryev, Y., 2014, Cell Counting with a Hemocytometer: Easy as 1, 2, 3, <https://bitesizebio.com>, diakses Desember 2018.
- Hadiyanto dan Azim, M., 2012, *Mikroalga Sumber Pangan & Energi Masa Depan*, UNDIP Press Semarang.
- Han, X., Wong, Y X., Wong, M H., dan Tam, N F Y., 2006, Biosorption and Bioreduction of Cr(VI) by a Microalgal isolate, *Chlorella miniata*, *Journal of Hazardous Materials*, 146, pp. 65-72.
- Han, X., Wong, Y X., Wong, M H., dan Tam, N F Y., 2008, Feasibility of Using Microalgal Biomass Cultured in Domestic Wastewater for the Removal of Chromium Pollutants, *Water Environment Research*, 80.
- Handayani, R I., 2015, Akumulasi Logam Berat Kromium (Cr) Pada Daging Ikan Nila Merah (*Oreochromis* sp.) dalam Karamba Jaring Apung (KJA) di Sungai Winongo Yogyakarta, Skripsi, Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia.
- Hellerich, L A., Panciera, M A., Dobbs, G M., Nikolaidis, N P., dan Smets, B F., 2005, Attenuation of a Mixed Chromium and Chlorinated Ethene Groundwater Plume in Estuarine-Influenced Glaciated Sediments in Guertin, J (Ed.) *Chromium(VI) Handbook*. CRC Press, pp. 440-461.
- Hidayati dan Suyono, Y., 2013, Kinetika Adsorpsi Logam Zn Menggunakan Biomassa Pseudomonas, *Biopropal Industri*, 5, pp. 37-43.
- Jacobs, J A., dan Testa, S M., 2005, Overview of Chromium(VI) in the Environment: Background and History in Guertin, J (Ed.) *Chromium(VI) Handbook*. CRC Press, pp. 1-20.
- Jeon, MW., Ali, M B., Hahn, EJ., dan Paek, KY., 2005, Effects of Photon Flux Density on the Morphology, Photosynthesis and Growth of a CAM Orchid, Doritaenopsis during Post-Micropagation Acclimatization, *Plant Growth Regulation*, 45, pp. 139-147.
- Juniawan, A., Rumhayati, B., dan Ismuyanto, B., 2013, Karakteristik Lumpur Lapindo dan Fluktuasi Logam Berat Pb dan Cu pada Sungai Porong dan Aloo, *Sains dan Terapan Kimia*, 7, pp. 50-59.

Kabinawa I.N.K, 2001, Mikroalga sebagai Sumber Daya Hayati (SDH) Perairan dalam Prespektif Bioteknologi, *Puslitbang Bioteknologi LIPI*, pp. 5-13.

Karaca, M., 2008, Biosorption of Aqueous Pb^{2+} , Cd^{2+} , and Ni^{2+} Ions by *Dunaliella salina*, *Oocystis* sp., *Porphyridium cruentum*, and *Scenedesmus protuberans* Prior to Atomic Spectrometric Determination, *Master Thesis*, Izmir Institute of Technology, Izmir, Turkey.

Kawaroe, M., 2010, Mikroalga Potensi dan Pemanfaatannya untuk Produksi Bio Bahan Bakar, IPB Press, Bogor.

KEMENTERIAN LINGKUNGAN HIDUP REPUBLIK INDONESIA PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP REPUBLIK INDONESIA NOMOR 5 TAHUN 2014 TENTANG BAKU MUTU AIR LIMBAH [Article]. - 2014.

Kong, QX., Li, L., Martinez, B., Chen, P., dan Ruan, R, 2010, Culture of Microalgae *Chlamydomonas reinhardtii* in Wastewater for Biomass Feedstock Production, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 160, pp. 9-18.

Koplan Jeffrey P, 2000, Toxicological Profile for Chromium, Syracuse Research Corporation, Atlanta.

Kotrba, P., 2011, Microbial Biosorption of Metals-General Introduction in Kotrba, P (Ed.). *Microbial Biosorption of Metals*, Springer, New York, pp. 1-6.

Kurniawan, J I., dan Aunurohim, 2014, Biosorpsi Logam Zn^{2+} dan Pb^{2+} Oleh Mikroalga *Chlorella* sp, *Jurnal Sains dan Seni POMITS*, 3, pp. 1-6.

Kuyucak, N., dan Volesky, B., 1988, Biosorbents for Recovery of Metals from Industrial Solutions, *Biotechnology Letters*, 10, pp. 137-142.

Lapik, C., 2017, Biosorpsi Logam Berat Cr(VI) dengan Menggunakan Biomassa *Saccharomyces cerevisiae*, *Skripsi*, Universitas Hassanudin, Gowa, Indonesia.

Lee, P S., 2008, Quantitation of Microorganisms in Goldman, E (Ed.). *Practical Handbook for Microbiology*, CRC Press, pp. 11-22.

Liu, J., dan Chen, F., 2015, Biology and Industrial Applications of Chlorella: Advances and Prospects in Posten, C (Ed.). *Microalgae Biotechnology*, Springer International Publishing, pp. 1-25.

Lu, F C., dan Kacew, S., 2002, Lu's Basic Toxicology, edisi 4, Taylor & Francis, London.

Macek, T., dan Mackova, M., 2011, Potential of Biosorption Technology in Kotrba, P (Ed.). *Microbial Biosorption of Metals*, Springer, New York, pp. 7-17.

- Maeda, S., dan Sakaguchi, T., 1990, Accumulation and Detoxification of Toxic Metal Elements by Algae in Akasaka, I (Ed.). *Introduction to Applied Phycology*, SPB Academic Publishing BV, pp. 109-136.
- Fuentes, M., hemocytometer cell counting with a hemocytometer, www.hemocytometer.org, diakses September 2018.
- Nacorda, June O., Martinez-Goss, M R., dan Torreta, N R., 2010, Bioremoval and Bioreduction of Chromium (VI) by the Green Microalga *Chlorella vulgaris Beij.*, Isolated from Laguna de Bay, Phillipines, *Phillipine Journal of Science*, 139, pp. 181-188.
- Naja, G., dan Volesky B., 2011, The Mechanism of Metal Cation and Anion Biosorption in Kotrba, P (Ed.). *Microbial Biosorption of Metals*, Springer, New York, pp. 19-58.
- Novaelements, Lead, www.novaelements.com, diakses Oktober 2018.
- Culture Collection of Autothrophic Organisms, *Anabaena sp.*, <http://ccala.butbn.cas.cz>, diakses Oktber 2018.
- Othmer, K., 1996, *Encyclopedia of Chemical Technology*, edisi 4, John Wiley and Sons, New York.
- Pagnanelli, F., Jbari, N., Trabucco, F., Martinez, M E., Sanchez, S., dan Toro, L., 2013, Biosorption-mediated Reduction of Cr(VI) using Heterotrophically-Grown *Chlorella vulgaris*: Active Sites and Ionic Strength Effect, *Chemical Engineering Journal*, 231, pp. 94-102.
- Palar, H., 2012, Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat, Rineka Cipta, Jakarta.
- Periodic Table, Cadmium, <http://periodictable.com>, dikases Oktober 2018.
- Prabowo, Danang A., 2009, Optimasi Pengembangan Media untuk Pertumbuhan *Chlorella sp.* Pada Skala Laboratorium, *Skripsi*, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia.
- Price, K., dan Farag, I H., 2013, Resources Conservation in Microalgae Biodiesel Production, *International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR)*, 1, pp. 49-56.
- Ratnawati, E., Ermawati, R., dan Naimah, S., 2010, Teknologi Biosorpsi oleh Mikroorganisme, Solusi Alternatif untuk Mengurangi Pencemaran Logam Berat, *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 32, pp. 34-40.
- Rengaraj, S., Yeon, K H., dan Moon, S H., 2001, Removal of chromium from water and wastewater by ion exchange resins, *Journal of Hazardous Materials*, 87, pp. 273-287.

Rezaei, Hassan., Kulkarni, Satish D., dan Saptarshi, Preveen G., 2011, Study of Physical Chemistry on Biosorption of Hexavalent Chromium by using *Chlorella pyrenoidosa*, *Der Chemica Sinica*, 2, pp. 174-189.

Rochyatun, E., dan Rozak, A., 2007, Pemantauan Kadar Logam Berat dalam Sedimen di Perairan Teluk Jakarta, *Makara Sains*, 11, pp. 28-36.

Sachlan, M., 1982, Planktonologi, Fakultas Peternakan dan Perikanan Universitas Diponegoro, Semarang.

Safi, C., Zebib, B., Merah, O., Pontalier, P Y., dan Vaca, G C., 2014, Morphology, composition, production, processing, and applications, of *Chlorella vulgaris*: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, pp. 265-278.

ScienceLab, 2005, Material Safety Data Sheet Hydrochloric Acid, www.sciencelab.com, diakses Desember 2018.

ScienceLab.com, 2005, Material Safety Data Sheet Sulphuric Acid, www.sciencelab.com, diakses Desember 2018.

ScienceLab.com, 2005, Material Safety Data Sheet Potassium Dichromate, www.sciencelab.com, diakses Desember 2018.

ScienceLab.com, 2005, Material Safety Data Sheet Sodium Hydroxide, www.sciencelab.com, diakses Desember 2018.

Sharma, A K., 2015, Biofuels from Microalgae: Cultivation, Biodiesel Production, and Storage Feasibility, *Thesis*, University of Petroleum and Energy Studies, Dehradun, India.

Sibi, G., 2016, Biosorption of Chromium from Electroplating and Galvanizing Industrial Effluents under Extreme Conditions using *Chlorella vulgaris*, *Green Energy & Environment*, 1, pp. 172-177.

Skaloud, P., 2007, *Chlorella vulgaris*, <https://botany.natur.cuni.cz>, diakses November 2018.

Smith W, Algae Base, www.algaebase.org, diakses November 2018.

Stanin Frederick T, 2005, The Transport and Fate of Chromium(VI) in the Environtment in Guertin, J (Ed.) *Chromium(VI) Handbook*. CRC Press, pp. 165-214.

Suhendrayatna, 2001, Bioremoval Logam Berat Dengan Menggunakan Mikroorganisme: Suatu Kajian Kepustakaan, *Bioteknologi untuk Indonesia Abad 21*, pp. 1-9.

Sylvester, B N., dan Sudjiharno, 2002, Biologi Fitoplankton, Budidaya Fitoplankton dan Zooplankton, *Makara Teknologi*, 9, pp. 3-23.

Theodore Gray, Chromium, <http://theodoregray.com>, diakses November 2018.

Tortora, G J., Funke, B R., dan Case, C L., 2013, *Microbiology: An Introduction*, edisi 11, Pearson, pp. 153-177.

Vashishta, B R., 1979, *Botany for Degree Student*, S. Chand and Company Ltd. New Delhi, pp. 56-67.

Veglio, F., dan Beolchini, F., 1997, Removal of metals by biosorption: a review, *Hydrometallurgy*, 44, pp. 301-316.

Viraraghavan, T., dan Srinivasan, A., 2011, Fungal Biosorption and Biosorbents in Kotrba, P (Ed.). *Microbial Biosorption of Metals*, Springer, New York, pp. 143-158.

Watanabe, T., Kitajima, C., dan Fujita, S., 1983, Nutritional Values of Live Organisms Used in Japan for Mass Propagation of Fish: A review, *Aquaculture*, 34, pp. 115-143.

WHO, 1991, Environmental Health Criteria 108: Nickel, www.inchem.org, diakses Desember 2018.

World Bank, 1998, Tanning and Leather Finishing, www.ifc.org, diakses Desember 2018.

Wikihow, Cara Melakukan Pengenceran Berantai, id.wikihow.com, diakses November 2018.

Yudo, S., 2006, Kondisi Pencemaran Logam Berat di Perairan Sungai DKI Jakarta, *Jurnal Makara*, 2, pp. 1-15.

Yurlova, L., Kryvoruchko, A., dan Komilovich, B., 2002, Removal of Ni(II) ions from wastewater by micellar-enhanced ultrafiltration, *Desalination*, 144, pp. 255-260.

LAMPIRAN A
LEMBAR DATA KESELAMATAN BAHAN

A.1 Zinc Chloride

1. Data Fisik dan Kimia
 - a) Bentuk : Serbuk
 - b) Bau : Tidak berbau
 - c) Warna : Putih
 - d) Titik didih : 732°C
 - e) Titik leleh : 290°C
 - f) Kelarutan : Larut dalam air
 - g) Stabilitas : Stabil
 - h) Flammable : Tidak
 - i) Ledakan : Tidak
 - j) Korosif : Ya
2. Identifikasi Bahaya
 - a) Bila tertelan : Luka bakar pada mulut
 - b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi atau luka bakar
 - c) Bila kontak dengan mata : Iritasi atau luka bakar
 - d) Bila terhirup : Menyebabkan sakit kepala, batuk, sesak napas, sakit dada, iritasi paru-paru, edema paru-paru
3. Tindakan Darurat
 - a) Bila tertelan : Paksakan muntah setelah meminum 2 gelas air, jangan memberikan apapun melalui mulut kepada orang yang tidak sadar.
 - b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar selama 15 menit, lepaskan pakaian dan sepatu yang terpapar, bersihkan pakaian sebelum digunakan kembali.
 - c) Bila kontak dengan mata : Cuci mata dengan air selama 15 menit dengan membuka dan menutup mata
 - d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.2 Cobaltous Chloride, Hexahydrate

1. Data Fisik dan Kimia
 - a) Bentuk : Padat
 - b) Bau : Berbau (*Mild*)
 - c) Warna : Merah
 - d) Titik didih : -
 - e) Titik leleh : 86°C
 - f) Kelarutan : Larut dalam air, etanol, aseton, metanol, asam asetat, gliserol

- g) Stabilitas : Stabil
 - h) Flammable : Tidak
 - i) Ledakan : Tidak
 - j) Korosif : Ya
2. Identifikasi Bahaya
- a) Bila tertelan : Mual, perubahan warna pada kulit, pingsan
 - b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit
 - c) Bila kontak dengan mata : Iritasi mata
 - d) Bila terhirup : Batuk dan kesulitan bernapas
3. Tindakan Darurat
- a) Bila tertelan : Bilas mulut dengan air dan cari pertolongan medis
 - b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan sabun, jangan memberi bahan kimia untuk menetralisir
 - c) Bila kontak dengan mata : Cuci mata dengan air dan cari pertolongan medis.
 - d) Bila terhirup : Cari udara segar

A.3 Ammonium Molybdate Tetrahydrate

1. Data Fisik dan Kimia
- a) Bentuk : Padat
 - b) Bau : Berbau (*Slight*)
 - c) Warna : Putih atau hijau muda
 - d) Titik didih : -
 - e) Titik leleh : -
 - f) Kelarutan : Larut dalam air
 - g) Stabilitas : Stabil
 - h) Flammable : Tidak
 - i) Ledakan : Tidak
 - j) Korosif : Tidak
2. Identifikasi Bahaya
- a) Bila tertelan : -
 - b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit
 - c) Bila kontak dengan mata : Iritasi mata, mata merah, mata gatal dan berair
 - d) Bila terhirup : -
3. Tindakan Darurat
- a) Bila tertelan : Jangan memaksakan muntah, jangan memberikan apapun melalui mulut kepada orang yang tidak sadar.
 - b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan air dalam jumlah yang besar, bersihkan pakaian sebelum digunakan kembali.
 - c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, cuci mata dengan air selama 15 menit

- d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.4 Copper Sulfate Pentahydrate

1. Data Fisik dan Kimia
 - a) Bentuk : Padat
 - b) Bau : Tidak berbau
 - c) Warna : Biru
 - d) Titik didih : 150 °C
 - e) Titik leleh : 110 °C
 - f) Kelarutan : Larut dalam air dan metanol
 - g) Stabilitas : Stabil
 - h) Flammable : Tidak
 - i) Ledakan : Tidak
 - j) Korosif : Ya
2. Identifikasi Bahaya
 - a) Bila tertelan : Kerusakan ginjal dan hati
 - b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit
 - c) Bila kontak dengan mata : Iritasi mata
 - d) Bila terhirup : -
3. Tindakan Darurat
 - a) Bila tertelan : Jangan memaksakan muntah, jangan memberikan apapun melalui mulut kepada orang yang tidak sadar.
 - b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan air dalam jumlah yang besar, lepaskan pakaian yang terkontaminasi, bersihkan pakaian sebelum digunakan kembali.
 - c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, cuci mata dengan air selama 15 menit
 - d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.5 Sodium Perborate Monohydrate

1. Data Fisik dan Kimia
 - a) Bentuk : Padat
 - b) Bau : -
 - c) Warna : -
 - d) Titik didih : -
 - e) Titik leleh : 60 °C
 - f) Kelarutan : -
 - g) Stabilitas : Stabil

- h) Flammable : Tidak
 - i) Ledakan : Tidak
 - j) Korosif : Tidak
2. Identifikasi Bahaya
- a) Bila tertelan : -
 - b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit, kulit terbakar
 - c) Bila kontak dengan mata : Iritasi mata
 - d) Bila terhirup : Kerusakan saluran pernapasan
3. Tindakan Darurat
- a) Bila tertelan : Jangan memaksakan muntah, longgarkan pakaian yang ketat seperti tali pinggang
 - b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan air dalam jumlah yang besar, lepaskan pakaian yang terkontaminasi, bersihkan pakaian sebelum digunakan kembali.
 - c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, jangan menggunakan obat mata
 - d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.6 Ethylenediaminetetraacetic Acid Disodium Salt

1. Data Fisik dan Kimia
- a) Bentuk : Padat
 - b) Bau : -
 - c) Warna : Putih
 - d) Titik didih : -
 - e) Titik leleh : 248°C
 - f) Kelarutan : Larut dalam air
 - g) Stabilitas : Stabil
 - h) Flammable : Flammable pada suhu tinggi
 - i) Ledakan : Tidak
 - j) Korosif : Tidak
2. Identifikasi Bahaya
- a) Bila tertelan : Kerusakan organ bagian dalam
 - b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit
 - c) Bila kontak dengan mata : Iritasi mata
 - d) Bila terhirup : Kerusakan saluran pernapasan
3. Tindakan Darurat
- a) Bila tertelan : Jangan memaksakan muntah, longgarkan pakaian yang ketat seperti tali pinggang
 - b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan air
 - c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, bilas mata dengan air

- selama 15 menit
- d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.7 Boric Acid

1. Data Fisik dan Kimia
 - a) Bentuk : Padat
 - b) Bau : Berbau
 - c) Warna : Putih
 - d) Titik didih : 300°C
 - e) Titik leleh : 169°C
 - f) Kelarutan : Larut dalam air, metanol, dan aseton
 - g) Stabilitas : Stabil
 - h) Flammable : Tidak
 - i) Ledakan : Tidak
 - j) Korosif : -
2. Identifikasi Bahaya
 - a) Bila tertelan : Kerusakan ginjal dan saluran reproduksi
 - b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit
 - c) Bila kontak dengan mata : Iritasi mata
 - d) Bila terhirup : Kerusakan saluran pernapasan
3. Tindakan Darurat
 - a) Bila tertelan : Jangan memaksakan muntah, longgarkan pakaian yang ketat seperti tali pinggang
 - b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan air, lepaskan pakaian yang terkontaminasi, bersihkan pakaian sebelum digunakan kembali.
 - c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, bilas mata dengan air selama 15 menit
 - d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.8 Sodium Phosphate Monobasic Monohydrate

1. Data Fisik dan Kimia
 - a) Bentuk : Padat
 - b) Bau : Berbau
 - c) Warna : Putih
 - d) Titik didih : -
 - e) Titik leleh : -
 - f) Kelarutan : Larut dalam air dingin
 - g) Stabilitas : Stabil
 - h) Flammable : Tidak

- i) Ledakan : Tidak
 - j) Korosif : Tidak
2. Identifikasi Bahaya
- a) Bila tertelan : Kerusakan organ bagian dalam
 - b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit
 - c) Bila kontak dengan mata : Iritasi mata
 - d) Bila terhirup : Kerusakan saluran pernapasan
3. Tindakan Darurat
- a) Bila tertelan : Jangan memaksakan muntah, longgarkan pakaian yang ketat seperti tali pinggang
 - b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan air, lepaskan pakaian yang terkontaminasi, bersihkan pakaian sebelum digunakan kembali.
 - c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, bilas mata dengan air selama 15 menit
 - d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.9 Ferric Chloride Hexahydrate

1. Data Fisik dan Kimia
- a) Bentuk : Padat
 - b) Bau : -
 - c) Warna : Kuning atau coklat
 - d) Titik didih : -
 - e) Titik leleh : 37°C
 - f) Kelarutan : Larut dalam air
 - g) Stabilitas : Stabil
 - h) Flammable : Tidak
 - i) Ledakan : Tidak
 - j) Korosif : Tidak
2. Identifikasi Bahaya
- a) Bila tertelan : Kerusakan organ bagian dalam bahkan kematian
 - b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit, kulit gatal, kulit merah
 - c) Bila kontak dengan mata : Kerusakan kornea, kebutaan, mata merah
 - d) Bila terhirup : Kerusakan saluran pernapasan, batuk, bersin
3. Tindakan Darurat
- a) Bila tertelan : Jangan memaksakan muntah, longgarkan pakaian yang ketat seperti tali pinggang
 - b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan air, lepaskan pakaian yang terkontaminasi, bersihkan pakaian sebelum digunakan kembali.

- c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, bilas mata dengan air selama 15 menit
- d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.10 Manganese Chloride Tetrahydrate

1. Data Fisik dan Kimia
 - a) Bentuk : Padat
 - b) Bau : -
 - c) Warna : -
 - d) Titik didih : 1190°C
 - e) Titik leleh : 58°C
 - f) Kelarutan : Larut dalam air dingin
 - g) Stabilitas : Stabil
 - h) Flammable : Tidak
 - i) Ledakan : Tidak
 - j) Korosif : Tidak
2. Identifikasi Bahaya
 - a) Bila tertelan : Kerusakan membran mukosa
 - b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit
 - c) Bila kontak dengan mata : Iritasi mata
 - d) Bila terhirup : Kerusakan saluran pernapasan
3. Tindakan Darurat
 - a) Bila tertelan : Jangan memaksakan muntah, longgarkan pakaian yang ketat seperti tali pinggang
 - b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan air, lepaskan pakaian yang terkontaminasi, bersihkan pakaian sebelum digunakan kembali.
 - c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, bilas mata dengan air selama 15 menit
 - d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.11 Sodium Chloride

1. Data Fisik dan Kimia
 - a) Bentuk : Padat
 - b) Bau : Berbau (*Slight*)
 - c) Warna : Putih
 - d) Titik didih : 1413°C
 - e) Titik leleh : 801°C
 - f) Kelarutan : Larut dalam air, gliserol, amonia, dan alkohol
 - g) Stabilitas : Stabil

- h) Flammable : Tidak
 - i) Ledakan : Tidak
 - j) Korosif : Tidak
2. Identifikasi Bahaya
- a) Bila tertelan : -
 - b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit
 - c) Bila kontak dengan mata : Iritasi mata
 - d) Bila terhirup : -
3. Tindakan Darurat
- a) Bila tertelan : Jangan memaksakan muntah, longgarkan pakaian yang ketat seperti tali pinggang
 - b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan air, lepaskan pakaian yang terkontaminasi, bersihkan pakaian sebelum digunakan kembali.
 - c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, bilas mata dengan air selama 15 minit
 - d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.12 Sodium Hydroxide

1. Data Fisik dan Kimia
- a) Bentuk : Padat
 - b) Bau : Tidak berbau
 - c) Warna : Putih
 - d) Titik didih : 1388°C
 - e) Titik leleh : 323°C
 - f) Kelarutan : Larut dalam air dingin
 - g) Stabilitas : Stabil
 - h) Flammable : Tidak
 - i) Ledakan : Tidak
 - j) Korosif : -
2. Identifikasi Bahaya
- a) Bila tertelan : Kerusakan organ bagian dalam dan kematian
 - b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit, kulit gatal, kulit merah
 - c) Bila kontak dengan mata : Kerusakan kornea, kebutaan, mata merah gatal dan berair
 - d) Bila terhirup : Kerusakan saluran pernapasan
3. Tindakan Darurat
- a) Bila tertelan : Jangan memaksakan muntah, longgarkan pakaian yang ketat seperti tali pinggang
 - b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan air, lepaskan

- pakaian yang terkontaminasi, bersihkan pakaian sebelum digunakan kembali.
- c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, bilas mata dengan air selama 15 menit
 - d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.13 Hydrochloric Acid

1. Data Fisik dan Kimia
 - a) Bentuk : Cair
 - b) Bau : Berbau (kuat)
 - c) Warna : Bening
 - d) Titik didih : 108,58°C
 - e) Titik leleh : -62,25°C
 - f) Kelarutan : Larut dalam air dan dietil eter
 - g) Stabilitas : Stabil
 - h) Flammable : Tidak
 - i) Ledakan : Tidak
 - j) Korosif : Ya
2. Identifikasi Bahaya
 - a) Bila tertelan : Kerusakan organ bagian dalam dan kematian
 - b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit, kulit gatal, kulit merah, luka bakar
 - c) Bila kontak dengan mata : Kerusakan kornea, kebutaan, mata merah gatal dan berair
 - d) Bila terhirup : Kerusakan saluran pernapasan, sulit bernapas
3. Tindakan Darurat
 - a) Bila tertelan : Jangan memaksakan muntah, longgarkan pakaian yang ketat seperti tali pinggang
 - b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan air, lepaskan pakaian yang terkontaminasi, bersihkan pakaian sebelum digunakan kembali.
 - c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, bilas mata dengan air selama 15 menit
 - d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.14 1,5-Diphenylcarbazide

1. Data Fisik dan Kimia
 - a) Bentuk : Padat
 - b) Bau : Tidak berbau
 - c) Warna : Putih
 - d) Titik didih : -

- e) Titik leleh : 177°C
 f) Kelarutan : Larut dalam aseton dan alkohol
 g) Stabilitas : Sensitif terhadap cahaya
 h) Flammable : Tidak
 i) Ledakan : Tidak
 j) Korosif : Tidak
2. Identifikasi Bahaya
- a) Bila tertelan : -
 b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit
 c) Bila kontak dengan mata : Iritasi mata
 d) Bila terhirup : Iritasi saluran pernapasan
3. Tindakan Darurat
- a) Bila tertelan : Bilas mulut dengan air, jangan dipaksakan untuk muntah
 b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan air dan sabun
 c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, bilas mata dengan air selama beberapa menit.
 d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.15 Zinc Sulfate Heptahydrate

1. Data Fisik dan Kimia
- a) Bentuk : Padat
 b) Bau : Tidak berbau
 c) Warna : Bening dan putih
 d) Titik didih : -
 e) Titik leleh : 100°C
 f) Kelarutan : Larut dalam air, metanol, dan gliserol
 g) Stabilitas : Stabil
 h) Flammable : Tidak
 i) Ledakan : Tidak
 j) Korosif : Ya
2. Identifikasi Bahaya
- a) Bila tertelan : Mual, muntah, sakit pada bagian abdomen
 b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit
 c) Bila kontak dengan mata : Korosi mata, pembengkakan mata, kesulitan melihat
 d) Bila terhirup : Batuk
3. Tindakan Darurat
- a) Bila tertelan : Minum air dengan jumlah yang banyak
 b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan air sabun
 c) Bila kontak dengan mata : Bilas mata dengan air selama 15 menit
 d) Bila terhirup : Cari udara segar dan pertolongan medis

A.16 Sodium Molybdate

1. Data Fisik dan Kimia

- a) Bentuk : Padat
 - b) Bau : -
 - c) Warna : -
 - d) Titik didih : -
 - e) Titik leleh : 687°C
 - f) Kelarutan : Larut dalam air
 - g) Stabilitas : Stabil
 - h) Flammable : -
 - i) Ledakan : -
 - j) Korosif : -
2. Identifikasi Bahaya
- a) Bila tertelan : -
 - b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit
 - c) Bila kontak dengan mata : Iritasi mata
 - d) Bila terhirup : Kerusakan saluran pernapasan
3. Tindakan Darurat
- a) Bila tertelan : Jangan memaksakan muntah, longgarkan pakaian yang ketat seperti tali pinggang
 - b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan air, lepaskan pakaian yang terkontaminasi, bersihkan pakaian sebelum digunakan kembali.
 - c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, bilas mata dengan air selama 15 menit
 - d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.17 Sodium Nitrate

1. Data Fisik dan Kimia
- a) Bentuk : Padat
 - b) Bau : -
 - c) Warna : Putih
 - d) Titik didih : 380°C
 - e) Titik leleh : 308°C
 - f) Kelarutan : Larut dalam air, amonia, gliserol, dan metanol
 - g) Stabilitas : Stabil
 - h) Flammable : Tidak
 - i) Ledakan : Tidak
 - j) Korosif : Tidak
2. Identifikasi Bahaya
- a) Bila tertelan : Kerusakan organ bagian dalam
 - b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit dan luka bakar
 - c) Bila kontak dengan mata : Iritasi mata

- d) Bila terhirup : Kerusakan saluran pernapasan
3. Tindakan Darurat
- a) Bila tertelan : Jangan memaksakan muntah, longgarkan pakaian yang ketat seperti tali pinggang
 - b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan air, lepaskan pakaian yang terkontaminasi, bersihkan pakaian sebelum digunakan kembali.
 - c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, bilas mata dengan air selama 15 minit
 - d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.18 Sodium Phosphate Monobasic Monohydrate

1. Data Fisik dan Kimia
 - a) Bentuk : Padat
 - b) Bau : Tidak berbau
 - c) Warna : Putih
 - d) Titik didih : -
 - e) Titik leleh : -
 - f) Kelarutan : Larut dalam air dingin
 - g) Stabilitas : Stabil
 - h) Flammable : Tidak
 - i) Ledakan : Tidak
 - j) Korosif : Tidak
2. Identifikasi Bahaya
 - a) Bila tertelan : Kerusakan organ bagian dalam
 - b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit
 - c) Bila kontak dengan mata : Iritasi mata
 - d) Bila terhirup : -
3. Tindakan Darurat
 - a) Bila tertelan : Jangan memaksakan muntah, longgarkan pakaian yang ketat seperti tali pinggang
 - b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan air, lepaskan pakaian yang terkontaminasi, bersihkan pakaian sebelum digunakan kembali.
 - c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, bilas mata dengan air selama 15 minit
 - d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.19 Sodium Silicate

1. Data Fisik dan Kimia

- a) Bentuk : Padat
 - b) Bau : Tidak berbau
 - c) Warna : Tidak berwarna
 - d) Titik didih : -
 - e) Titik leleh : 1089°C
 - f) Kelarutan : Larut dalam air dingin, asam, dan alkohol
 - g) Stabilitas : Stabil
 - h) Flammable : Tidak
 - i) Ledakan : Tidak
 - j) Korosif : Ya
2. Identifikasi Bahaya
- a) Bila tertelan : -
 - b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit
 - c) Bila kontak dengan mata : Iritasi mata
 - d) Bila terhirup : Kerusakan saluran pernapasan
3. Tindakan Darurat
- a) Bila tertelan : Jangan memaksakan muntah, longgarkan pakaian yang ketat seperti tali pinggang
 - b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan air, lepaskan pakaian yang terkontaminasi, bersihkan pakaian sebelum digunakan kembali.
 - c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, bilas mata dengan air selama 15 menit
 - d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.20 Thiamine HCl

1. Data Fisik dan Kimia
- a) Bentuk : Padat
 - b) Bau : -
 - c) Warna : -
 - d) Titik didih : -
 - e) Titik leleh : 248°C
 - f) Kelarutan : Larut dalam air dingin
 - g) Stabilitas : Stabil
 - h) Flammable : Tidak
 - i) Ledakan : Tidak
 - j) Korosif : Tidak
2. Identifikasi Bahaya
- a) Bila tertelan : -
 - b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit
 - c) Bila kontak dengan mata : Iritasi mata, mata merah dan gatal

- d) Bila terhirup : -
3. Tindakan Darurat
- a) Bila tertelan : Jangan memaksakan muntah, longgarkan pakaian yang ketat seperti tali pinggang
 - b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan air, lepaskan pakaian yang terkontaminasi, bersihkan pakaian sebelum digunakan kembali.
 - c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, bilas mata dengan air selama 15 minit
 - d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.21 Biotin

1. Data Fisik dan Kimia
 - a) Bentuk : Padat
 - b) Bau : -
 - c) Warna : -
 - d) Titik didih : -
 - e) Titik leleh : 232,5°C
 - f) Kelarutan : -
 - g) Stabilitas : Stabil
 - h) Flammable : Tidak
 - i) Ledakan : Tidak
 - j) Korosif : Tidak
2. Identifikasi Bahaya
 - a) Bila tertelan : -
 - b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit
 - c) Bila kontak dengan mata : Iritasi mata
 - d) Bila terhirup : -
3. Tindakan Darurat
 - a) Bila tertelan : Jangan memaksakan muntah, longgarkan pakaian yang ketat seperti tali pinggang
 - b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan air, lepaskan pakaian yang terkontaminasi, bersihkan pakaian sebelum digunakan kembali.
 - c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, bilas mata dengan air selama 15 minit
 - d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.22 Sulphuric Acid

1. Data Fisik dan Kimia

- a) Bentuk : Cairan
 b) Bau : Tidak berbau
 c) Warna : Tidak Berwarna
 d) Titik didih : 337°C
 e) Titik leleh : 10°C
 f) Kelarutan : Larut dalam air
 g) Stabilitas : Stabil
 h) Flammable : Tidak
 i) Ledakan : Tidak
 j) Korosif : Ya
2. Identifikasi Bahaya
- a) Bila tertelan : -
 b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit
 c) Bila kontak dengan mata : Iritasi mata
 d) Bila terhirup : Iritasi saluran pernafasan
3. Tindakan Darurat
- a) Bila tertelan : Usahakan untuk muntah, jangan memsusukkan apapun kedalam mulut orang yang tidak sadar.
 b) Bila kontak dengan kulit : Basuh kulit yang terpapar dengan air paling sedikit 15 menit, lepaskan pakaian yang terkontaminasi, bersihkan pakaian sebelum digunakan kembali.
 c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, bilas mata dengan air selama 15 menit, cari pertolongan medis
 d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.23 Potassium Dichromate

1. Data Fisik dan Kimia
- a) Bentuk : Padatan
 b) Bau : Tidak berbau
 c) Warna : merah-jingga
 d) Titik didih : 500°C
 e) Titik leleh : 398°C
 f) Kelarutan : Larut dalam air
 g) Stabilitas : Stabil
 h) Flammable : Tidak
 i) Ledakan : Tidak
 j) Korosif : Tidak
2. Identifikasi Bahaya
- a) Bila tertelan : -
 b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit
 c) Bila kontak dengan mata : Iritasi mata
 d) Bila terhirup : Alergi, gejala asma, dan kesulitan bernafas, iritasi

saluran pernafasan

3. Tindakan Darurat
 - a) Bila tertelan : Jangan memaksakan muntah, basuh mulut dengan air
 - b) Bila kontak dengan kulit : Cuci dengan sabun dan air
 - c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, bilas mata dengan air selama beberapa menit
 - d) Bila terhirup : Cari udara segar, jika tidak bernapas berikan napas buatan, jika sulit bernapas berikan oksigen

A.24 Acetone

1. Data Fisik dan Kimia
 - a) Bentuk : Cairan
 - b) Bau : Tidak berbau
 - c) Warna : Tidak Berwarna
 - d) Titik didih : 56,5°C
 - e) Titik leleh : -94,9°C
 - f) Kelarutan : Larut dalam air
 - g) Stabilitas : Stabil
 - h) Flammable : Ya
 - i) Ledakan : Tidak
 - j) Korosif : Tidak
2. Identifikasi Bahaya
 - a) Bila tertelan : -
 - b) Bila kontak dengan kulit : Iritasi kulit
 - c) Bila kontak dengan mata : Iritasi mata
 - d) Bila terhirup : Alergi, gejala asma, dan kesulitan bernafas, iritasi saluran pernafasan
3. Tindakan Darurat
 - a) Bila tertelan : Jangan memaksakan muntah
 - b) Bila kontak dengan kulit : Bilas dengan air, lepaskan pakaian dan sepatu yang terkontaminasi
 - c) Bila kontak dengan mata : Lepaskan lensa kontak, bilas mata dengan air selama beberapa menit
 - d) Bila terhirup : Hirup udara segar.

LAMPIRAN B
DATA PENGAMATAN DAN HASIL ANTARA

B.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

Tabel B.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi
480	0,0441
490	0,0396
500	0,0649
510	0,0710
520	0,0575
530	0,1284
540	0,0728
550	0,0608
560	0,0735
570	0,0634
580	0,0684

B.2 Pembuatan Kurva Standar

B.2.1 Pembuatan Kurva Standar Ion Logam Kromium (VI)

Tabel B.2 Kurva Standar Ion Logam Kromium (VI)

Konsentrasi Logam (ppm)	Absorbansi
0	0
0,5	0,0139
1	0,0311
2	0,0532
3	0,0802
4	0,1039
5	0,1237

B.2.2 Pembuatan Kurva Standar Kepadatan Sel Mikroalga *Chlorella sp.*

Tabel B.3 Kurva Standar Kepadatan Sel Mikroalga *Chlorella sp.*

Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)	Absorbansi
0	0
10000	0,0045
20000	0,0102
30000	0,0143
40000	0,0182
50000	0,0217
60000	0,0263
70000	0,0290
80000	0,0324
90000	0,0358
100000	0,0387

B.3 Pertumbuhan Mikroalga *Chlorella sp.*

Tabel B.4 Pertumbuhan Mikroalga *Chlorella sp.*

Waktu (jam)	Jumlah Sel	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)	Optical Density
0	33	4125	0,01968
24	87	10875	0,02237
30	200	25000	0,02803
48	460	57500	0,04101
50	560	70000	0,04605
72	639	79875	0,04998
96	620	77500	0,04900
100,5	536	67000	0,04484
120	420	56250	0,04053

B.4 Hasil Data Percobaan Pendahuluan (*Trial*)

Tabel B.5 *Trial* Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 2 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 2000 ppm)

Waktu (jam)	Absorbansi	Persentase <i>Removal</i>
0	0,0279	0,0411
1	0,0234	18,1729
2	0,0208	28,6329
3	0,0186	37,3929
5	0,0164	46,1092
24	0,0120	63,7707
48	0,0060	87,8112
120	0,0060	87,9881
144	0,0060	87,9881

Tabel B.6 *Trial* Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 6 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 16000 ppm)

Waktu (jam)	Absorbansi	Persentase <i>Removal</i>
0	0,0777	0,0136
1	0,0769	1,1250
2	0,0750	3,6178
3	0,0735	5,6182
5	0,0728	6,5127
24	0,0728	6,5814
48	0,0728	6,5814
120	0,0728	6,5814
144	0,0728	6,5814

B.5 Hasil Data Pengamatan Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 2 pada Konsentrasi 10 ppm

Tabel B.7 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 2 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 2000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	46	0,0041	5864	5688	9,9680	0,0320	0,0278	0,3200
1	136	0,0086	17103	16938	9,3091	0,6909	0,0262	6,9088
2	270	0,0155	34294	33688	8,5143	1,4857	0,0242	14,8566
4	468	0,0252	58530	58500	6,7353	3,2647	0,0198	32,6474
6	541	0,0288	67600	67563	5,4163	4,5837	0,0165	45,8374
24	763	0,0402	95990	95375	4,5128	5,4872	0,0142	54,8722
30	847	0,0442	105920	105813	3,1663	6,8337	0,0109	68,3372
48	760	0,0398	95024	95000	1,9810	8,0190	0,0079	80,1898

Tabel B.8 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 2 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 9000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	5042	0,0038	41	5125	9,9773	0,0227	0,0278	0,2271
1	15830	0,0081	127	15813	9,1702	0,8298	0,0258	8,2978
2	34069	0,0154	271	33875	7,7507	2,2493	0,0223	22,4928
4	58818	0,0253	470	58688	5,5526	4,4474	0,0168	44,4744
6	68994	0,0294	550	68750	5,0001	4,9999	0,0155	49,9992
24	98016	0,0410	784	98000	3,4258	6,5742	0,0115	65,7420
30	107725	0,0449	864	108000	2,5147	7,4853	0,0093	74,8527

Tabel B.8 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 2 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 9000 ppm) (lanjutan)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density (OD)</i>	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan Berdasarkan OD	<i>Haemocytometer</i>				
48	98374	0,0411	787	98313	1,6970	8,3030	0,0072	83,0295

Tabel B.9 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 2 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 16000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density (OD)</i>	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan Berdasarkan OD	<i>Haemocytometer</i>				
0	49	0,0042	6083	6125	9,9401	0,0599	0,0278	0,5989
1	162	0,0091	18322	20188	8,4959	1,5041	0,0242	15,0411
2	299	0,0162	36098	37375	7,4938	2,5062	0,0217	25,0615
4	533	0,0284	66615	66625	5,3891	4,6109	0,0164	46,1092
6	594	0,0386	92033	74188	4,6300	5,3700	0,0145	53,7002
24	818	0,0428	102380	102250	2,0521	7,9479	0,0081	79,4791
30	907	0,0471	113277	113313	1,8390	8,1610	0,0076	81,6103
48	884	0,0460	110497	110500	0,8214	9,1786	0,0050	91,7859

B.6 Hasil Data Pengamatan Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 2 pada Konsentrasi 20 ppm

Tabel B.10 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 2 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 2000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	45	0,0040	5480	5563	19,9357	0,0643	0,0526	0,3216
1	106	0,0072	13454	13188	19,3068	0,6932	0,0511	3,4662
2	171	0,0103	21320	21375	18,8855	1,1145	0,0500	5,5726
4	369	0,0202	46003	46125	17,9778	2,0222	0,0478	10,1110
6	488	0,0262	61007	61000	16,5720	3,4280	0,0443	17,1402
24	625	0,0331	78152	78125	12,0350	7,9650	0,0330	39,8250
30	653	0,0344	81555	81625	11,2558	8,7442	0,0310	43,7209
48	575	0,0306	71960	71875	11,0967	8,9033	0,0306	44,5167

Tabel B.11 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 2 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 9000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	46	0,0042	5919	5688	19,9061	0,0939	0,0526	0,4693
1	120	0,0077	14834	15000	19,1303	0,8697	0,0506	4,3486
2	195	0,0115	24326	24313	18,7583	1,2417	0,0497	6,2084
4	433	0,0234	54052	54063	17,5791	2,4209	0,0468	12,1043
6	530	0,0283	66267	66250	16,1765	3,8235	0,0433	19,1175
24	691	0,0364	86562	86375	11,6215	8,3785	0,0319	41,8925
30	716	0,0376	89517	89500	10,7975	9,2025	0,0299	46,0127

Tabel B.11 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 2 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 9000 ppm) (lanjutan)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
48	652	0,0344	81496	81500	10,2099	9,7901	0,0284	48,9505

Tabel B.12 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 2 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 16000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	46	0,0041	5864	5750	19,9061	0,0939	0,0526	0,4693
1	141	0,0089	17656	17625	18,4847	1,5153	0,0490	7,5764
2	246	0,0140	30587	30688	17,8513	2,1487	0,0474	10,7435
4	499	0,0268	62623	62375	15,8108	4,1892	0,0424	20,9462
6	591	0,0315	74176	73875	14,3650	5,6350	0,0388	28,1751
24	748	0,0393	93729	93500	11,3214	8,6786	0,0312	43,3928
30	771	0,0403	96287	96313	10,3217	9,6783	0,0287	48,3916
48	689	0,0363	86148	86125	9,6429	10,3571	0,0270	51,7856

B.7 Hasil Data Pengamatan Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 2 pada Konsentrasi 30 ppm

Tabel B.13 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 2 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 2000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	47	0,0041	5809	5875	29,9542	0,0458	0,0776	0,1526
1	94	0,0065	11854	11750	29,3505	0,6495	0,0761	2,1650
2	103	0,0069	12736	12813	28,9665	1,0335	0,0751	3,4450
4	115	0,0075	14337	14313	28,8421	1,1579	0,0748	3,8596
6	123	0,0081	15719	15313	28,6247	1,3753	0,0743	4,5844
24	114	0,0076	14503	14188	26,4447	3,5553	0,0688	11,8509
30	104	0,0071	13343	13000	25,8327	4,1673	0,0673	13,8911
48	85	0,0061	10753	10625	25,8327	4,1673	0,0673	13,8911

Tabel B.14 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 2 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 9000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	46	0,0041	5699	5688	29,8917	0,1083	0,0774	0,3611
1	104	0,0070	13012	13000	29,2882	0,7118	0,0759	2,3727
2	115	0,0075	14227	14313	28,7489	1,2511	0,0746	4,1703
4	124	0,0080	15553	15500	28,6247	1,3753	0,0743	4,5844
6	134	0,0085	16770	16688	28,4385	1,5615	0,0738	5,2049
24	122	0,0079	15277	15188	25,8632	4,1368	0,0674	13,7893
30	112	0,0074	14006	14000	25,5579	4,4421	0,0666	14,8069

Tabel B.14 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 2 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 9000 ppm) (lanjutan)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
48	94	0,0065	11744	11688	25,5274	4,4726	0,0666	14,9085

Tabel B.15 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 2 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 16000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	46	0,0041	5754	5750	29,9229	0,0771	0,0775	0,2569
1	114	0,0075	14171	14188	29,2155	0,7845	0,0757	2,6150
2	127	0,0081	15830	15875	28,5626	1,4374	0,0741	4,7913
4	135	0,0085	16826	16813	27,9843	2,0157	0,0727	6,7189
6	142	0,0089	17767	17750	27,3669	2,6331	0,0711	8,7771
24	125	0,0081	15719	15563	25,3649	4,6351	0,0662	15,4504
30	120	0,0078	15000	14938	25,1822	4,8178	0,0657	16,0594
48	103	0,0070	12902	12875	24,8274	5,1726	0,0648	17,2418

B.8 Hasil Data Pengamatan Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 4 pada konsentrasi 10 ppm

Tabel B.16 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 4 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 2000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	44	0,0040	5535	5500	9,9773	0,0227	0,0278	0,2270
1	135	0,0086	16881	16875	9,8379	0,1621	0,0275	1,6212
2	273	0,0154	33957	34063	8,9482	1,0518	0,0253	10,5176
4	480	0,0258	59969	59938	7,6589	2,3411	0,0221	23,4107
6	549	0,0293	68645	68625	5,9243	4,0757	0,0178	40,7575
24	770	0,0403	96227	96250	4,7473	5,2527	0,0148	52,5275
30	856	0,0446	107002	107000	3,7036	6,2964	0,0122	62,9636
48	788	0,0412	98493	98438	2,6038	7,3962	0,0095	73,9616

Tabel B.17 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 4 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 9000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	45	0,0040	5590	5563	9,9773	0,0227	0,0278	0,2271
1	125	0,0081	15664	15625	9,3832	0,6168	0,0264	6,1677
2	283	0,0159	35307	35313	9,0130	0,9870	0,0254	9,8705
4	480	0,0258	59969	59938	6,5522	3,4478	0,0193	34,4778
6	558	0,0297	69691	69688	5,7427	4,2573	0,0173	42,5735
24	792	0,0414	98971	99000	3,7395	6,2605	0,0123	62,6048
30	876	0,0456	109472	109438	2,9965	7,0035	0,0105	70,0354

Tabel B.17 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 4 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 9000 ppm) (lanjutan)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
48	810	0,0423	101242	101188	2,3544	7,6456	0,0089	76,4556

Tabel B.18 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 4 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 16000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	45	0,0040	5590	5625	9,968	0,032	0,0278	0,32
1	168	0,0102	20986	21000	9,2258	0,7742	0,0260	7,7424
2	303	0,0170	37901	37875	8,5512	1,4488	0,0243	14,4878
4	534	0,0285	66731	66750	6,2789	3,7211	0,0186	37,2108
6	601	0,0318	75052	75063	5,3348	4,6652	0,0163	46,6525
24	825	0,0430	103099	103063	2,7376	7,2624	0,0098	72,6241
30	926	0,0481	115639	115688	2,3455	7,6545	0,0088	76,5445
48	890	0,0463	111282	111250	2,141	7,8590	0,0083	78,5904

B.9 Hasil Data Pengamatan Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 4 pada konsentrasi 20 ppm

Tabel B.19 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 4 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 2000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	43	0,0039	5371	5375	19,9652	0,0348	0,0527	0,174
1	102	0,0069	12736	12750	19,6504	0,3496	0,0519	1,7479
2	179	0,0108	22376	22375	18,954	1,046	0,0502	5,2301
4	364	0,0200	45435	45438	18,1531	1,8469	0,0482	9,2345
6	495	0,0265	61872	61875	16,8425	3,1575	0,0449	15,7873
24	631	0,0333	78797	78813	14,2792	5,7208	0,0386	28,6041
30	662	0,0349	82731	82750	13,3098	6,6902	0,0361	33,4511
48	580	0,0308	72485	72438	11,6121	8,3879	0,0319	41,9394

Tabel B.20 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 4 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 9000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	46	0,0041	5754	5750	19,9357	0,0643	0,0526	0,3217
1	122	0,0079	15221	15250	19,3068	0,6932	0,0511	3,4662
2	193	0,0114	24047	24063	19,0911	0,9089	0,0505	4,5446
4	435	0,0235	54338	54313	17,8805	2,1195	0,0475	10,5976
6	533	0,0284	66615	66625	16,4851	3,5149	0,0440	17,5747
24	699	0,0368	87388	87375	14,1172	5,8828	0,0382	29,4138
30	721	0,0378	90110	90063	12,6854	7,3146	0,0346	36,5731

Tabel B.20 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 4 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 9000 ppm) (lanjutan)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi		Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>	Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)		
48	663	0,0350	82908	82875	10,7321	9,2679	0,0297	46,3396

Tabel B.21 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 4 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 16000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi		Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>	Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)		
0	44	0,0040	5535	5500	19,916	0,084	0,0526	0,4201
1	144	0,0090	17989	18000	19,2185	0,7815	0,0509	3,9074
2	245	0,0140	30531	30563	18,5629	1,4371	0,0492	7,1857
4	504	0,0270	63027	63000	17,0264	2,9736	0,0454	14,868
6	600	0,0318	74993	75000	15,1774	4,8226	0,0408	24,1132
24	756	0,0396	94442	94438	11,6403	8,3597	0,0320	41,7986
30	784	0,0410	98016	98000	11,0125	8,9875	0,0304	44,9377
48	705	0,0370	88098	88063	10,2565	9,7435	0,0285	48,7177

B.10 Hasil Data Pengamatan Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 4 pada konsentrasi 30 ppm

Tabel B.22 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 4 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 2000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	45	0,0040	5590	5563	29,9229	0,0771	0,0775	0,2569
1	91	0,0063	11303	11313	29,6313	0,3687	0,0768	1,2291
2	108	0,0072	13454	13438	29,0806	0,9194	0,0754	3,0648
4	121	0,0078	15111	15125	28,9561	1,0439	0,0751	3,4796
6	129	0,0082	16106	16125	28,7593	1,2407	0,0746	4,1358
24	118	0,0077	14779	14750	26,9872	3,0128	0,0702	10,0428
30	107	0,0072	13399	13313	26,3528	3,6472	0,0686	12,1574
48	88	0,0062	10973	10938	26,3221	3,6779	0,0685	12,2595

Tabel B.23 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 4 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 9000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	49	0,0043	6138	6125	29,9646	0,0354	0,0776	0,1179
1	108	0,0072	13509	13500	29,548	0,452	0,0766	1,5065
2	116	0,0076	14503	14500	28,9458	1,0542	0,0751	3,5142
4	130	0,0083	16161	16188	28,7593	1,2407	0,0746	4,1358
6	136	0,0086	16992	17000	28,5316	1,4684	0,0740	4,8947
24	126	0,0081	15719	15688	26,7516	3,2484	0,0696	10,8281
30	117	0,0077	14669	14625	26,3017	3,6983	0,0685	12,3276

Tabel B.23 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 4 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 9000 ppm) (lanjutan)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi			Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>	Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	
48	97	0,0067	12130	12125	26,2813	3,7187	0,0684	12,3957

Tabel B.24 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 4 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 16000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi			Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>	Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	
0	47	0,0041	5809	5813	29,9334	0,0666	0,0775	0,2221
1	113	0,0074	14116	14125	29,4544	0,5456	0,0763	1,8185
2	129	0,0082	16051	16063	28,9043	1,0957	0,0750	3,6524
4	137	0,0086	17047	17063	28,7282	1,2718	0,0745	4,2394
6	146	0,0091	18155	18188	28,5006	1,4994	0,0740	4,9981
24	130	0,0083	16161	16188	26,4447	3,5553	0,0688	11,8509
30	122	0,0078	15111	15188	26,2507	3,7493	0,0684	12,4978
48	107	0,0071	13288	13313	26,1588	3,8412	0,0681	12,8039

B.11 Hasil Data Pengamatan Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 6 pada konsentrasi 10 ppm

Tabel B.25 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 6 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 2000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	43	0,0040	5425	5375	9,9959	0,0041	0,0279	0,0411
1	136	0,0086	16992	17000	9,2813	0,7187	0,0261	7,1868
2	292	0,0164	36434	36438	9,1517	0,8483	0,0258	8,4828
4	504	0,0270	62969	62938	8,4498	1,5502	0,0240	15,502
6	556	0,0296	69517	69500	7,7232	2,2768	0,0222	22,7683
24	778	0,0407	97300	97250	5,1719	4,8281	0,0159	48,2814
30	865	0,0450	108025	108063	3,8921	6,1079	0,0127	61,079
48	800	0,0418	99986	99938	3,0322	6,9678	0,0106	69,678

Tabel B.26 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 6 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 9000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	46	0,0041	5754	5750	9,9866	0,0134	0,0279	0,1341
1	124	0,0080	15498	15500	9,9215	0,0785	0,0277	0,7848
2	274	0,0155	34182	34188	9,0777	0,9223	0,0256	9,2231
4	487	0,0261	60834	60875	7,3839	2,6161	0,0214	26,1612
6	574	0,0305	71669	71688	5,897	4,103	0,0177	41,03
24	793	0,0414	99090	99125	4,3417	5,6583	0,0138	56,5835
30	901	0,0468	112611	112563	3,1842	6,8158	0,0109	68,1583

Tabel B.26 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 6 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 9000 ppm) (lanjutan)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi			Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>	Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	
48	820	0,0428	102560	102500	2,7108	7,2892	0,0097	72,8917

Tabel B.27 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 6 pada Konsentrasi 10 ppm (Salinitas 16000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi			Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>	Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	
0	48	0,0042	5973	6000	9,9494	0,0506	0,0278	0,506
1	172	0,0104	21542	21500	9,5965	0,4035	0,0269	4,0351
2	300	0,0168	37393	37438	9,013	0,9870	0,0254	9,8705
4	540	0,0288	67484	67438	6,6708	3,3292	0,0196	33,2921
6	622	0,0329	77742	77688	5,7154	4,2846	0,0172	42,8457
24	832	0,0434	103999	104000	4,0448	5,9552	0,0131	59,5518
30	933	0,0484	116610	116563	2,9607	7,0393	0,0104	70,3926
48	897	0,0467	112188	112125	2,5415	7,4585	0,0093	74,5854

B.12 Hasil Data Pengamatan Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 6 pada konsentrasi 20 ppm

Tabel B.28 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 6 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 2000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	45	0,0040	5590	5563	19,9357	0,0643	0,0526	0,3217
1	103	0,0069	12792	12813	19,7586	0,2414	0,0522	1,2072
2	180	0,0108	22432	22438	19,0715	0,9285	0,0505	4,6425
4	366	0,0201	45662	45688	18,6703	1,3297	0,0495	6,6484
6	502	0,0269	62738	62750	17,1232	2,8768	0,0456	14,3838
24	636	0,0336	79500	79500	15,072	4,928	0,0405	24,6399
30	666	0,0351	83202	83250	13,3951	6,6049	0,0364	33,0245
48	586	0,0311	73301	73250	12,0914	7,9086	0,0331	39,5428

Tabel B.29 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 6 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 9000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	47	0,0041	5864	5875	19,9652	0,0348	0,0527	0,174
1	129	0,0082	16051	16063	19,6209	0,3791	0,0519	1,8954
2	194	0,0115	24270	24250	19,1597	0,8403	0,0507	4,2016
4	442	0,0239	55198	55250	18,3481	1,6519	0,0487	8,2595
6	537	0,0287	67136	67125	16,9877	3,0123	0,0453	15,0616
24	704	0,0370	88039	88000	14,365	5,635	0,0388	28,1751
30	727	0,0382	90880	90875	13,2624	6,7376	0,0360	33,688

Tabel B.29 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 6 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 9000 ppm) (lanjutan)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density (OD)</i>	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
48	678	0,0357	84851	84750	11,0499	8,9501	0,0305	44,7506

Tabel B.30 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 6 pada Konsentrasi 20 ppm (Salinitas 16000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density (OD)</i>	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	49	0,0042	6083	6125	19,9061	0,0939	0,0526	0,4693
1	147	0,0091	18322	18313	19,1989	0,8011	0,0508	4,0056
2	251	0,0143	31316	31313	18,6801	1,3199	0,0495	6,5995
4	511	0,0273	63836	63875	17,0458	2,9542	0,0454	14,7712
6	602	0,0319	75169	75188	15,561	4,439	0,0417	22,1952
24	762	0,0399	95275	95250	11,9315	8,0685	0,0327	40,3424
30	794	0,0415	99150	99188	11,1996	8,8004	0,0309	44,0018
48	739	0,0387	92303	92313	10,7134	9,2866	0,0297	46,433

B.13 Hasil Data Pengamatan Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 6 pada konsentrasi 30 ppm

Tabel B.31 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 6 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 2000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	44	0,0040	5535	5500	29,9438	0,0562	0,0776	0,0178
1	101	0,0068	12516	12563	29,5376	0,4624	0,0765	1,5412
2	114	0,0075	14171	14188	29,1947	0,8053	0,0757	2,6843
4	130	0,0083	16217	16250	29,0806	0,9194	0,0754	3,0648
6	133	0,0085	16660	16625	28,925	1,075	0,0750	3,5832
24	126	0,0081	15774	15750	27,593	2,407	0,0717	8,0233
30	110	0,0073	13730	13688	27,2334	2,7666	0,0708	9,2221
48	89	0,0063	11138	11125	26,9667	3,0333	0,0701	10,1111

Tabel B.32 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 6 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 9000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>				
0	48	0,0042	5973	6000	29,9646	0,0354	0,0776	0,0112
1	117	0,0076	14558	14563	29,5377	0,4623	0,0765	1,5412
2	128	0,0082	15996	16000	29,1636	0,8364	0,0756	2,7881
4	139	0,0087	17324	17313	28,925	1,075	0,0750	3,5833
6	159	0,0097	19819	19813	28,6868	1,3132	0,0744	4,3774
24	139	0,0088	17435	17375	27,5005	2,4995	0,0715	8,3318
30	124	0,0080	15442	15438	26,9872	3,0128	0,0702	10,0428

Tabel B.32 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 6 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 9000 ppm) (lanjutan)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi			Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>	Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	
48	106	0,0071	13288	13250	26,8028	3,1972	0,0697	10,6575

Tabel B.33 Biosorpsi Ion Kromium (VI) Menggunakan *Chlorella sp.* dengan pH 6 pada Konsentrasi 30 ppm (Salinitas 16000 ppm)

Waktu (jam)	Jumlah Sel di <i>Haemocytometer</i>	<i>Optical Density</i> (OD)	Kepadatan Sel (jumlah sel/mL)		Konsentrasi			Percentase <i>Removal</i>
			Berdasarkan OD	Berdasarkan <i>Haemocytometer</i>	Ion Logam Kromium (VI) (ppm)	Co-Ct (ppm)	Absorbansi	
0	44	0,0040	5535	5500	29,9125	0,0875	0,0775	0,0278
1	124	0,0080	15498	15500	29,7354	0,2646	0,0770	0,882
2	130	0,0083	16217	16250	29,1221	0,8779	0,0755	2,9264
4	148	0,0092	18488	18500	28,8525	1,1475	0,0748	3,8251
6	167	0,0101	20875	20875	28,6454	1,3546	0,0743	4,5154
24	146	0,0091	18211	18188	26,9462	3,0538	0,0701	10,1794
30	131	0,0083	16328	16313	26,813	3,187	0,0698	10,6234
48	112	0,0074	13951	13938	26,6901	3,3099	0,0695	11,0328

B.14 Hasil Ion Logam Kromium (VI) yang Hilang (Co-Ct) Secara Keseluruhan

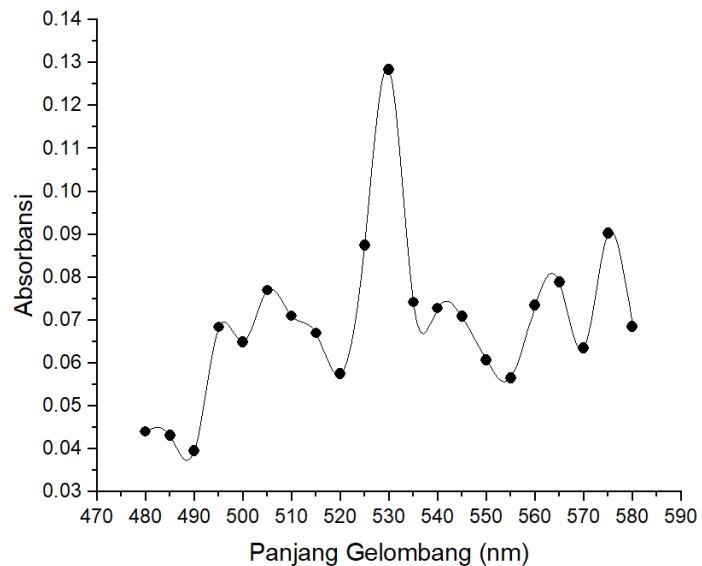
Tabel B.34 Hasil Penurunan Konsentrasi Ion Logam Kromium (VI) Secara Keseluruhan (dalam ppm)

pH	Konsentrasi Awal Ion Logam Kromium (VI)									
	10 ppm			20 ppm			30 ppm			Salinitas
	2000 ppm	9000 ppm	16000 ppm	2000 ppm	9000 ppm	16000 ppm	2000 ppm	9000 ppm	16000 ppm	
2	8,0190	8,3030	9,1786	8,9033	9,7901	10,3571	4,1673	4,4726	8,0190	
4	7,3962	7,6456	7,8590	8,3879	9,2679	9,7435	3,6779	3,7187	7,3962	
6	6,9678	7,2892	7,4585	7,9086	8,9501	9,2866	3,0333	3,1972	6,9678	

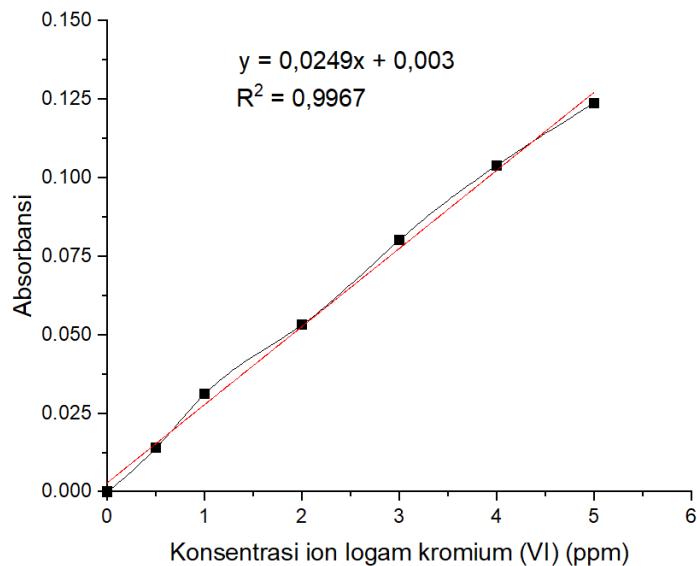
LAMPIRAN C

GRAFIK

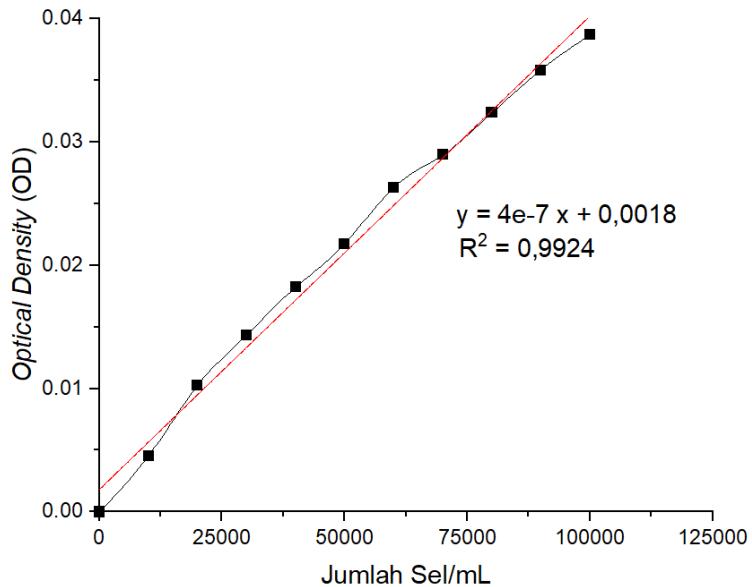
C.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Larutan Ion Logam Kromium (VI)



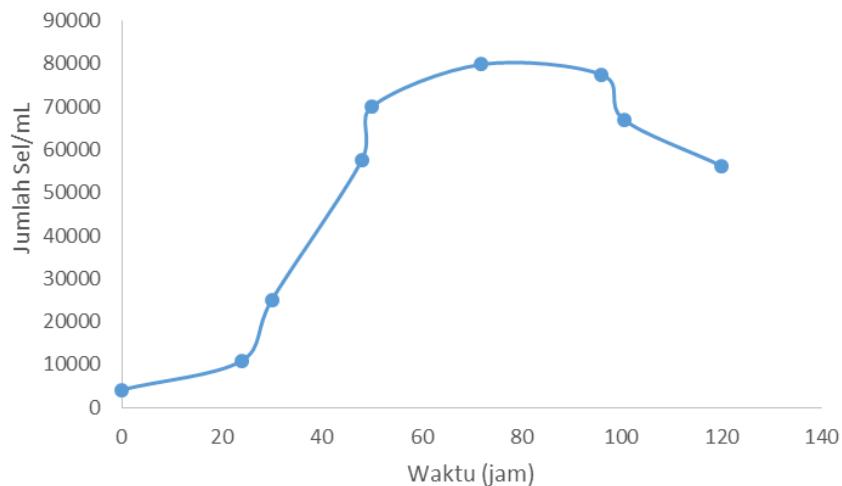
C.2 Kurva Standar Larutan Ion Logam Kromium (VI)



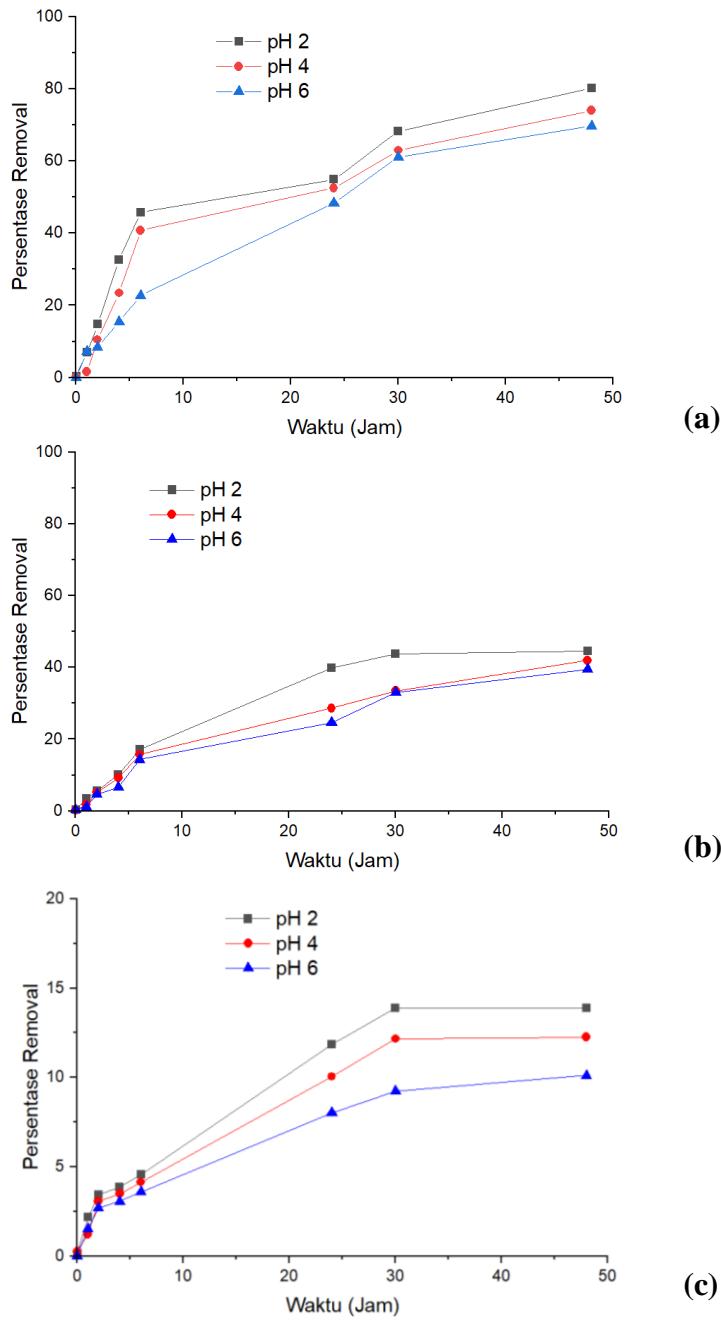
C.3 Kurva Standar Kepadatan Sel Mikroalga *Chlorella sp.*



C.4 Kurva Pertumbuhan Mikroalga *Chlorella sp.*



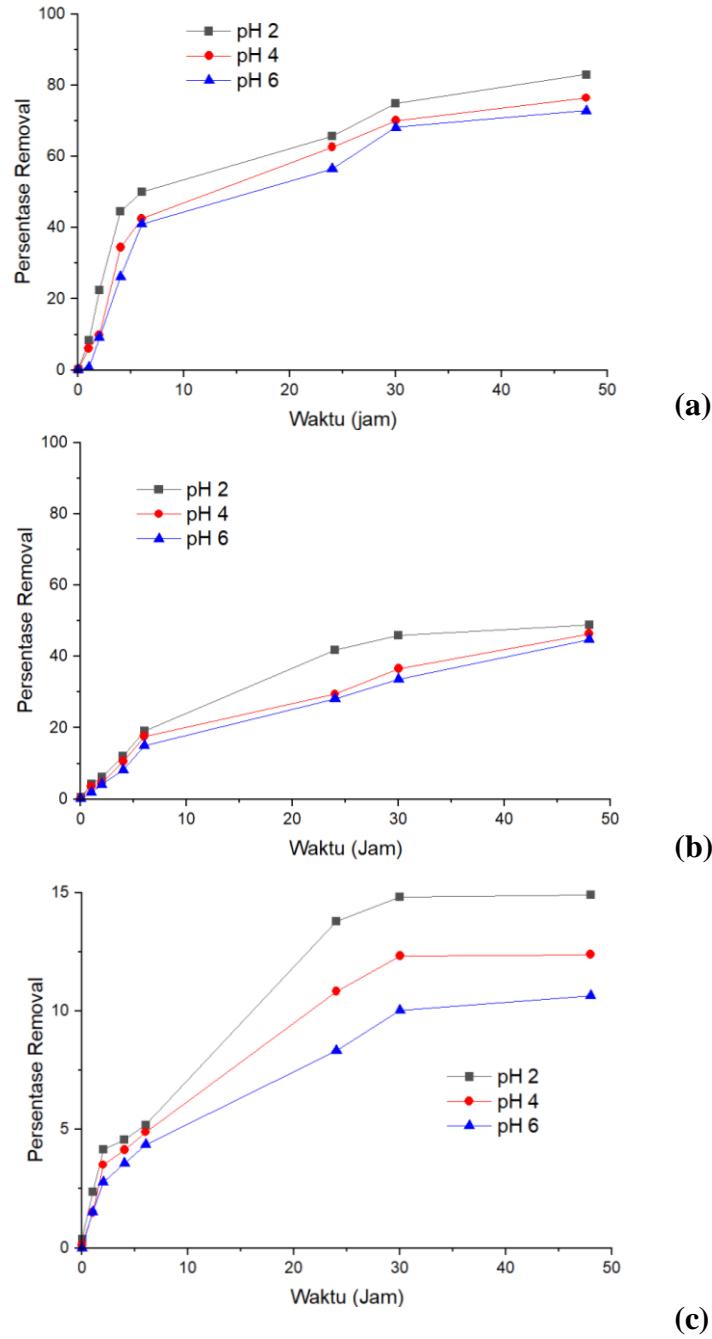
C.5 Hasil Persentase Removal Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi pH pada Salinitas 2000 ppm



Keterangan:

- (a) Konsentrasi Ion Logam 10 ppm
- (b) Konsentrasi Ion Logam 20 ppm
- (c) Konsentrasi Ion Logam 30 ppm

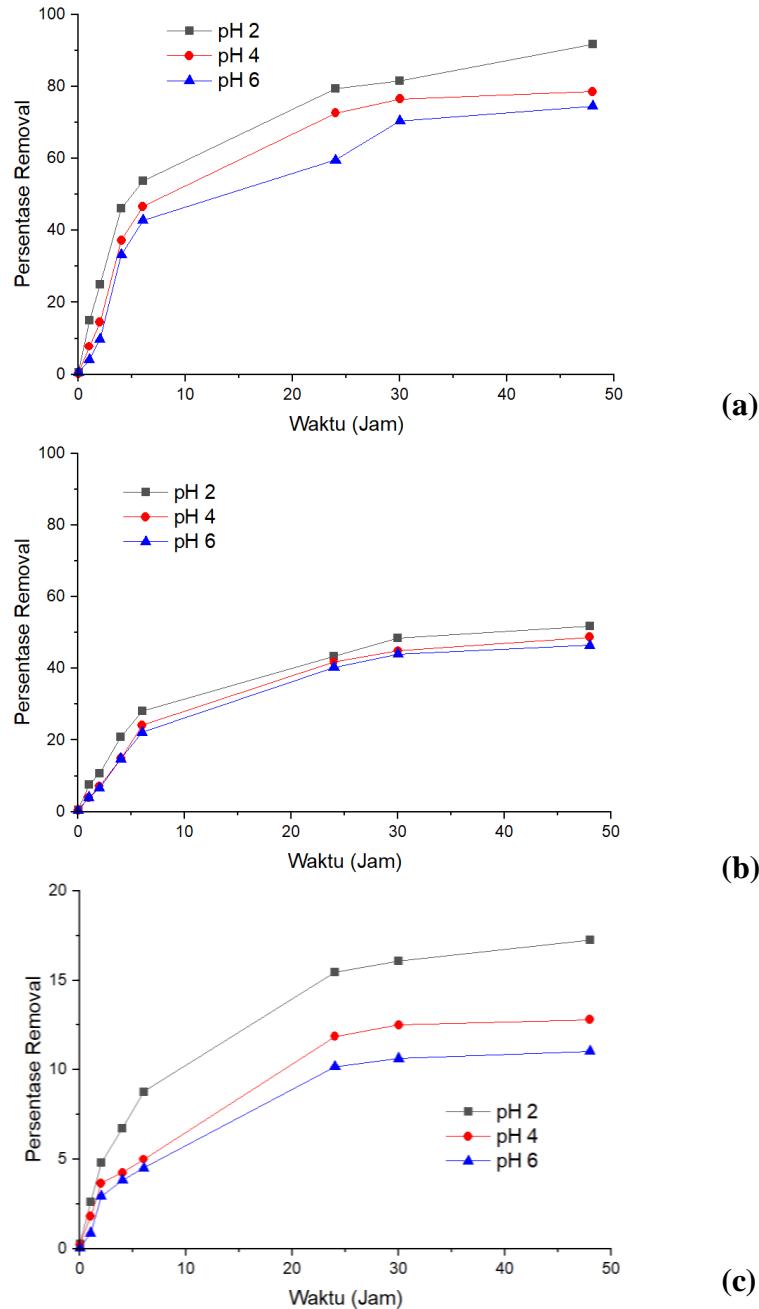
C.6 Hasil Persentase Removal Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi pH pada Salinitas 9000 ppm



Keterangan:

- (a) Konsentrasi Ion Logam 10 ppm
- (b) Konsentrasi Ion Logam 20 ppm
- (c) Konsentrasi Ion Logam 30 ppm

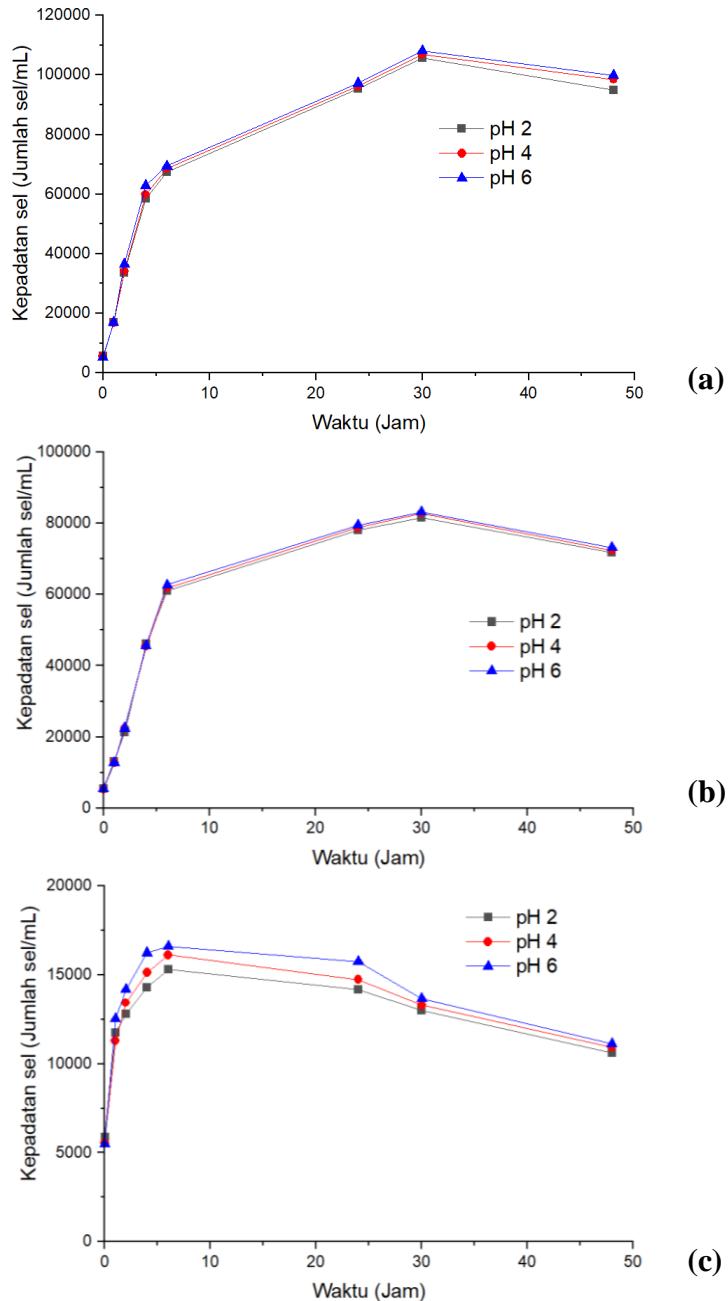
C.7 Hasil Persentase Removal Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi pH pada Salinitas 16000 ppm



Keterangan:

- (a) Konsentrasi Ion Logam 10 ppm
- (b) Konsentrasi Ion Logam 20 ppm
- (c) Konsentrasi Ion Logam 30 ppm

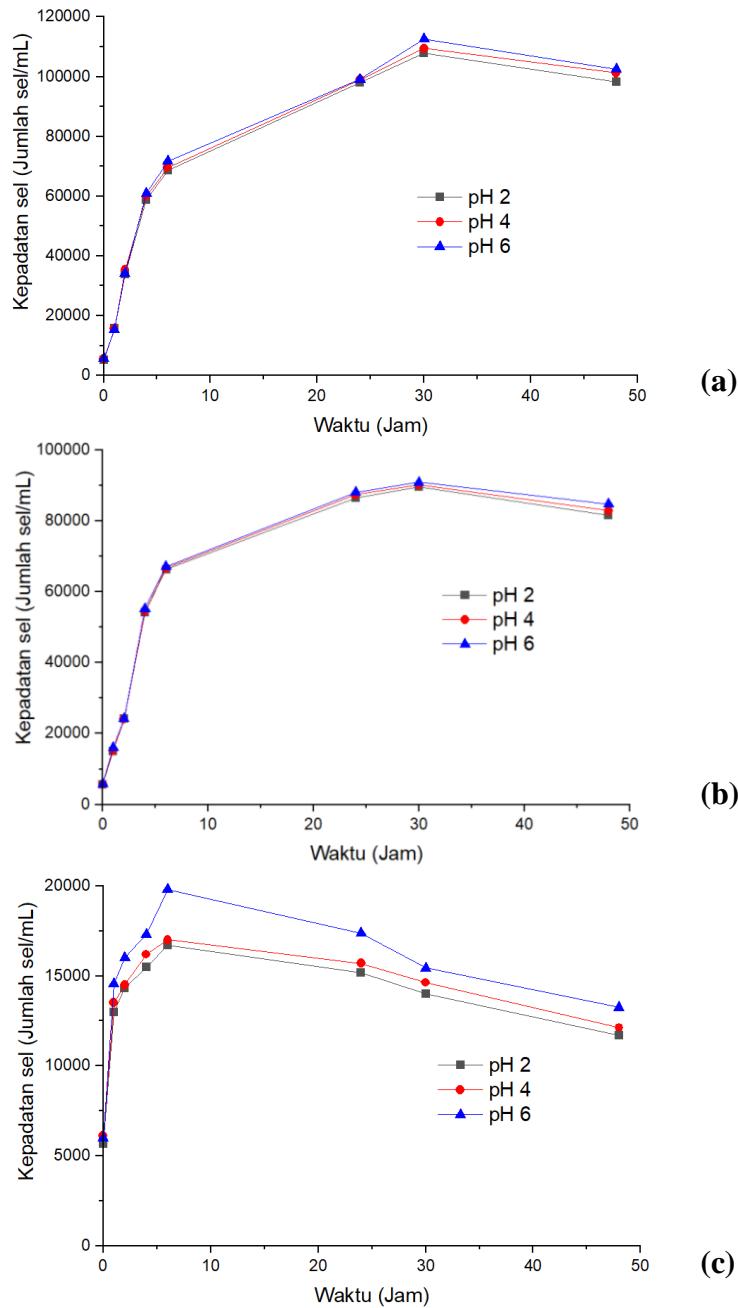
C.8 Pertumbuhan *Chlorella sp.* Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi pH pada Salinitas 2000 ppm



Keterangan:

- (a) Konsentrasi Ion Logam 10 ppm
- (b) Konsentrasi Ion Logam 20 ppm
- (c) Konsentrasi Ion Logam 30 ppm

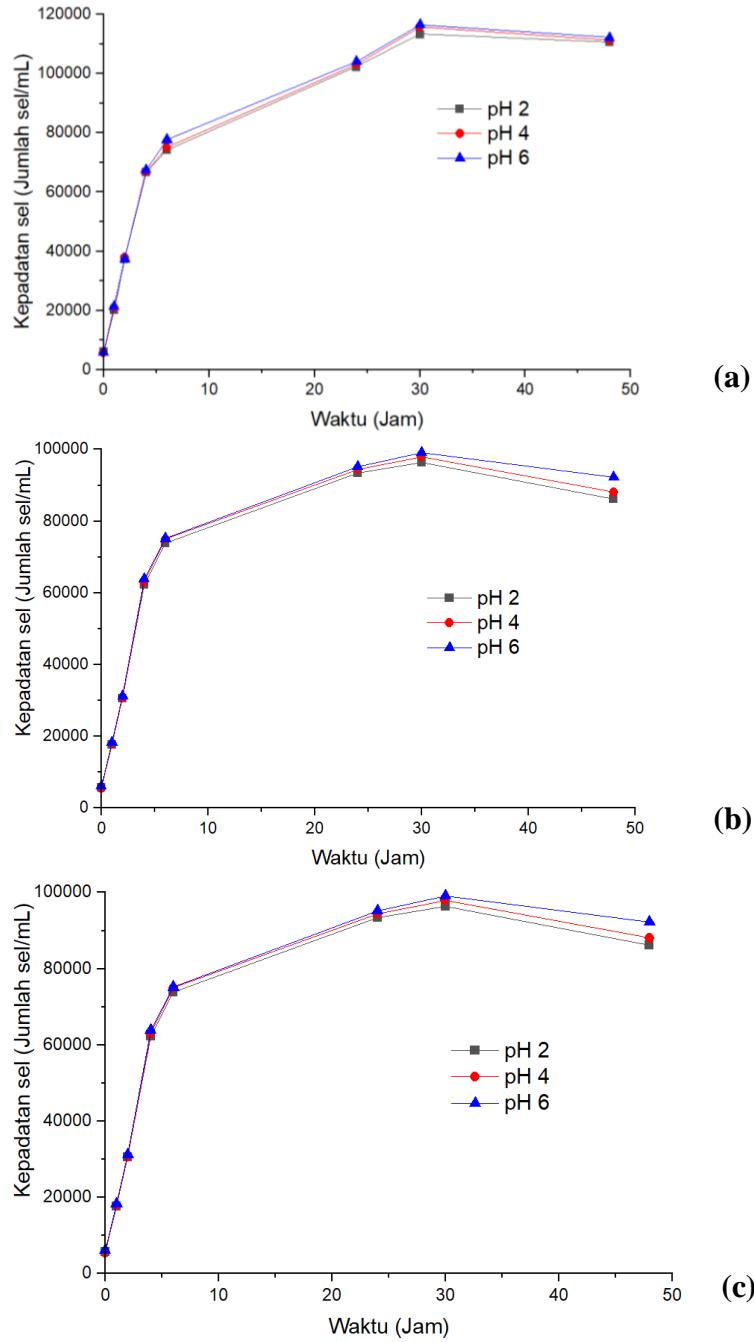
C.9 Pertumbuhan *Chlorella sp.* Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi pH pada Salinitas 9000 ppm



Keterangan:

- (a) Konsentrasi Ion Logam 10 ppm
- (b) Konsentrasi Ion Logam 20 ppm
- (c) Konsentrasi Ion Logam 30 ppm

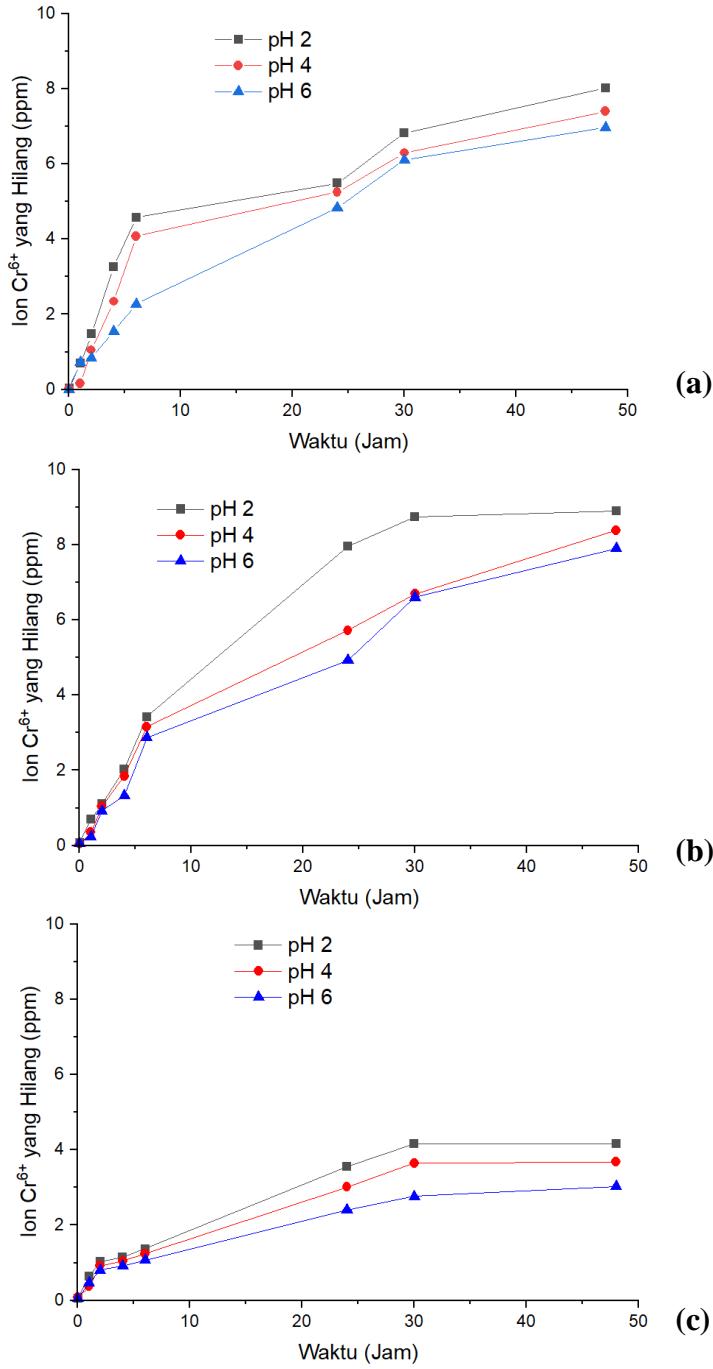
C.10 Pertumbuhan *Chlorella sp.* Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi pH pada Salinitas 16000 ppm



Keterangan:

- (a) Konsentrasi Ion Logam 10 ppm
- (b) Konsentrasi Ion Logam 20 ppm
- (c) Konsentrasi Ion Logam 30 ppm

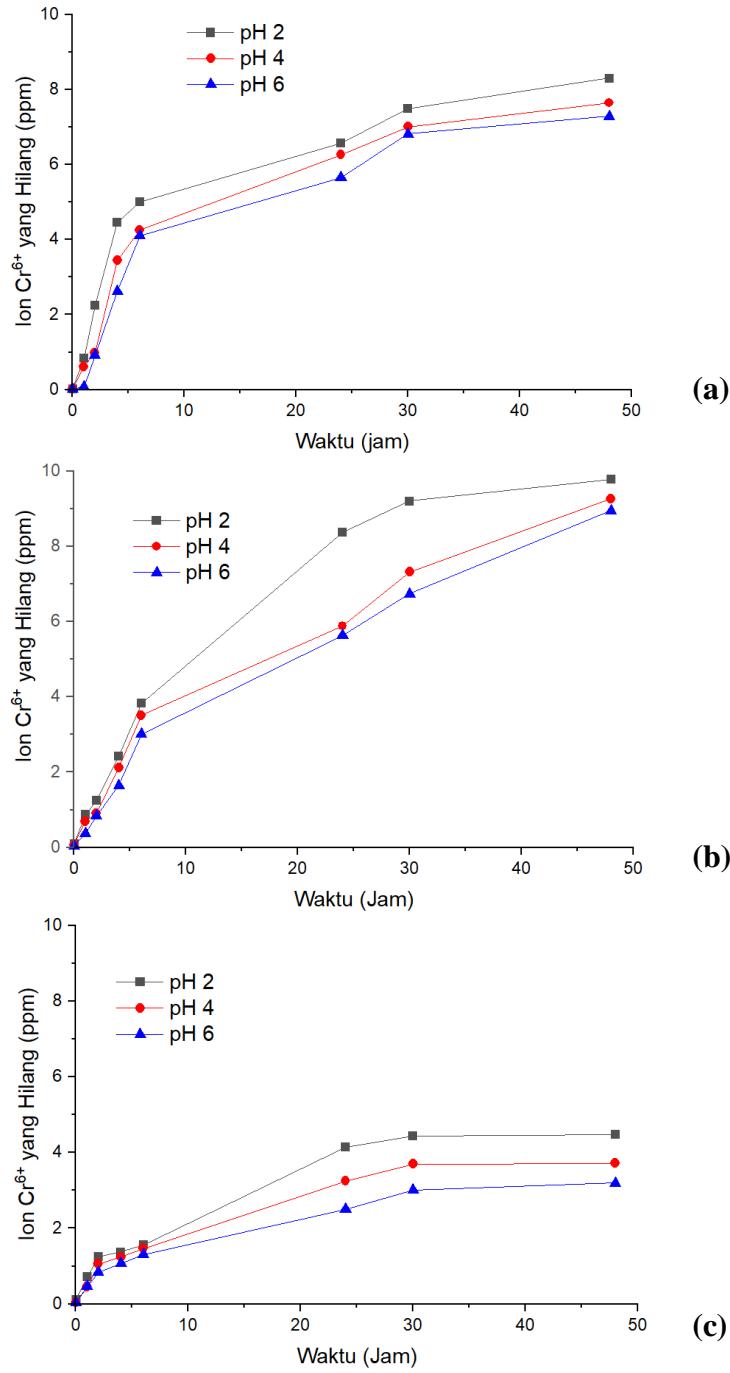
C.11 Hasil Ion Logam Kromium yang Hilang Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi pH pada Salinitas 2000 ppm



Keterangan:

- (a) Konsentrasi Ion Logam 10 ppm
- (b) Konsentrasi Ion Logam 20 ppm
- (c) Konsentrasi Ion Logam 30 ppm

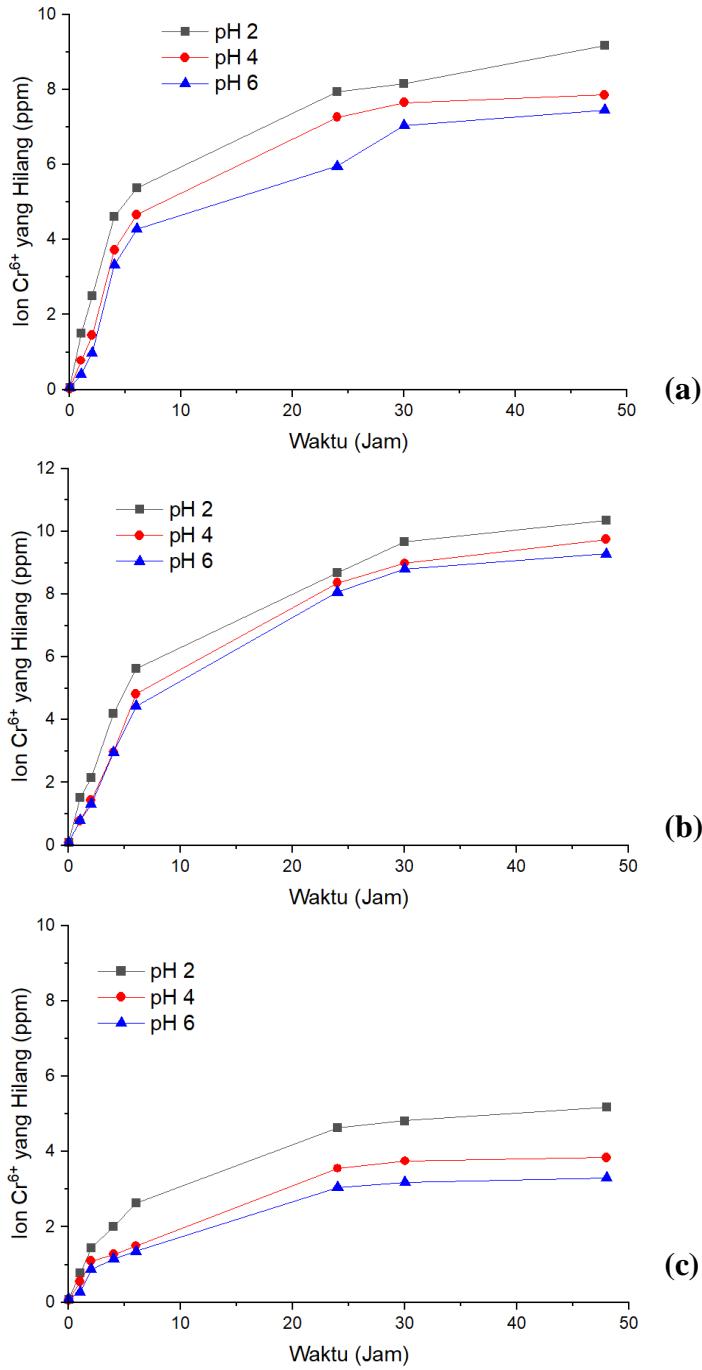
C.12 Hasil Ion Logam Kromium yang Hilang Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi pH pada Salinitas 9000 ppm



Keterangan:

- (a) Konsentrasi Ion Logam 10 ppm
- (b) Konsentrasi Ion Logam 20 ppm
- (c) Konsentrasi Ion Logam 30 ppm

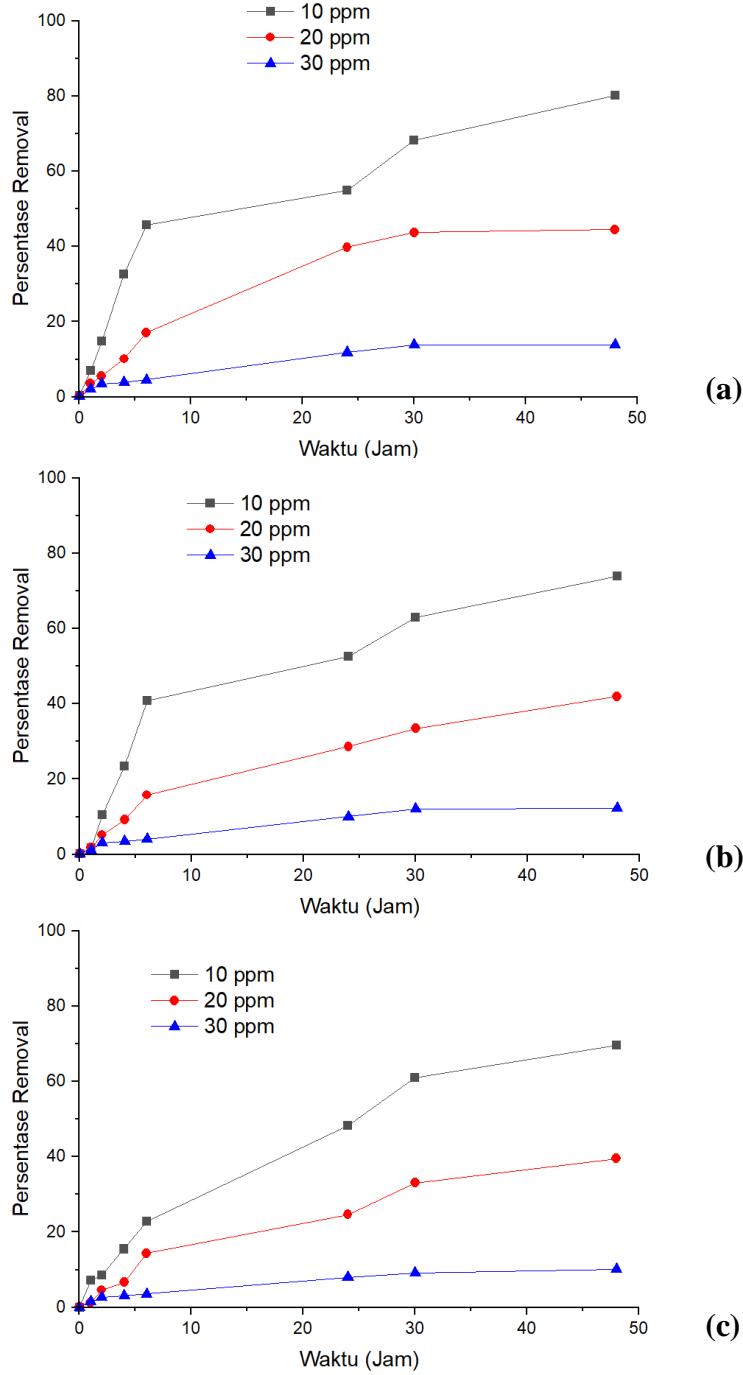
C.13 Hasil Ion Logam Kromium yang Hilang Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi pH pada Salinitas 16000 ppm



Keterangan:

- (a) Konsentrasi Ion Logam 10 ppm
- (b) Konsentrasi Ion Logam 20 ppm
- (c) Konsentrasi Ion Logam 30 ppm

C.14 Hasil Persentase Removal Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Konsentrasi Ion Logam pada Salinitas 2000 ppm



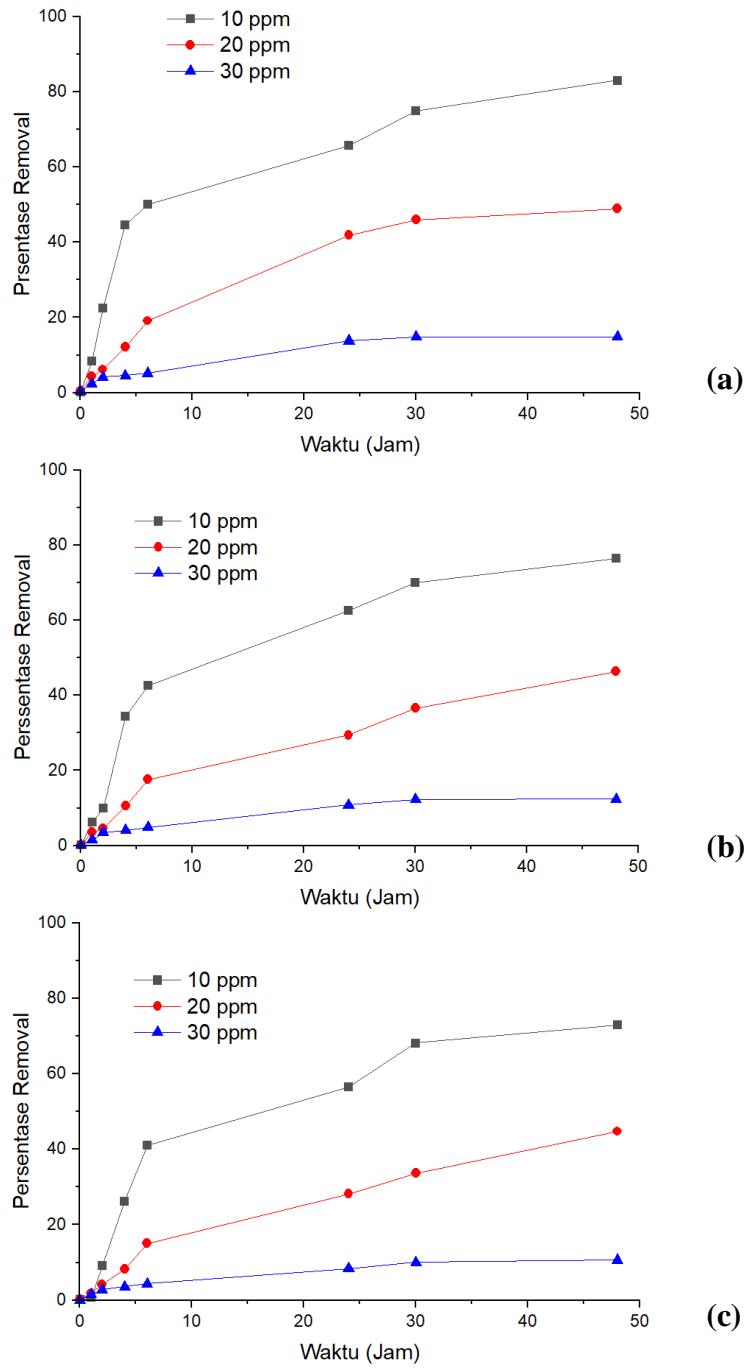
Keterangan:

(a) pH 2

(b) pH 4

(c) pH 6

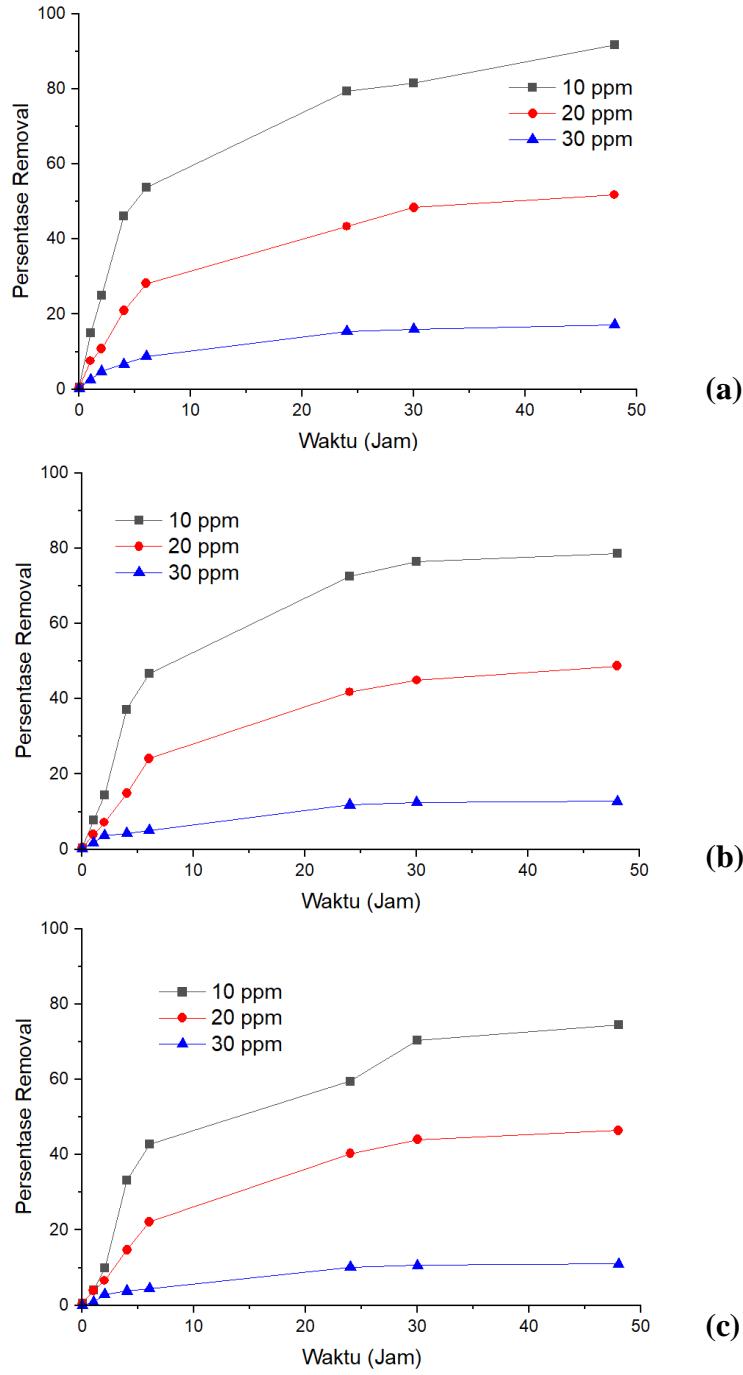
C.15 Hasil Persentase *Removal* Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Konsentrasi Ion Logam pada Salinitas 9000 ppm



Keterangan:

- (a) pH 2
- (b) pH 4
- (c) pH 6

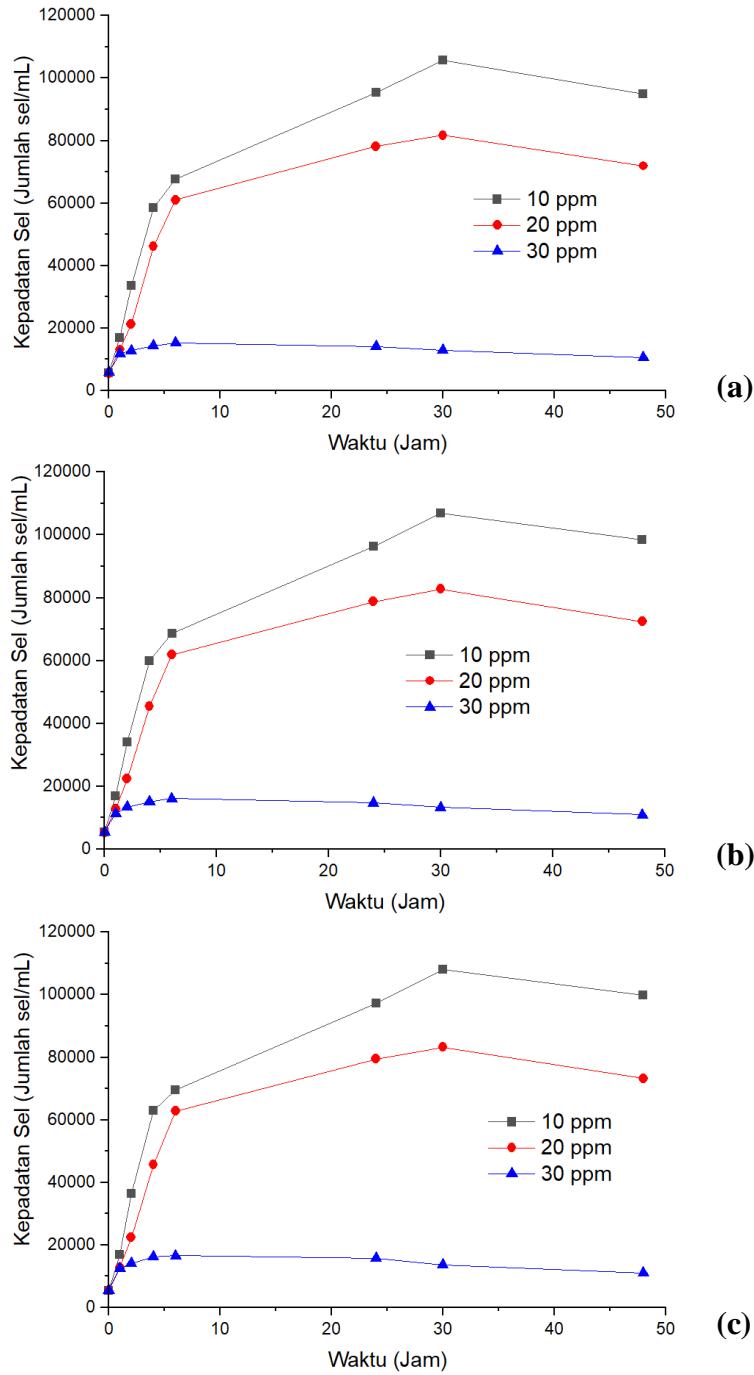
C.16 Hasil Persentase *Removal* Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Konsentrasi Ion Logam pada Salinitas 16000 ppm



Keterangan:

- (a) pH 2
- (b) pH 4
- (c) pH 6

C.17 Pertumbuhan *Chlorella sp.* Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Konsentrasi Ion Logam pada Salinitas 2000 ppm



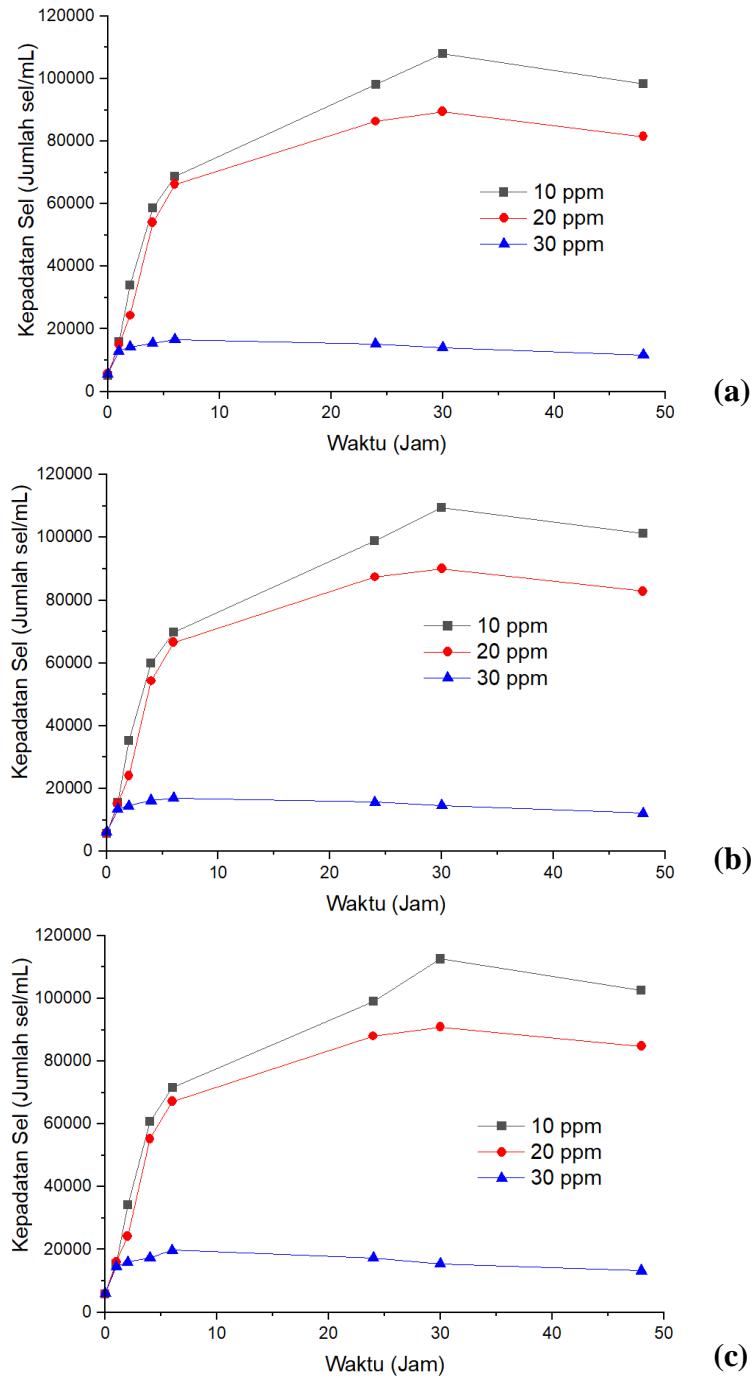
Keterangan:

(a) pH 2

(b) pH 4

(c) pH 6

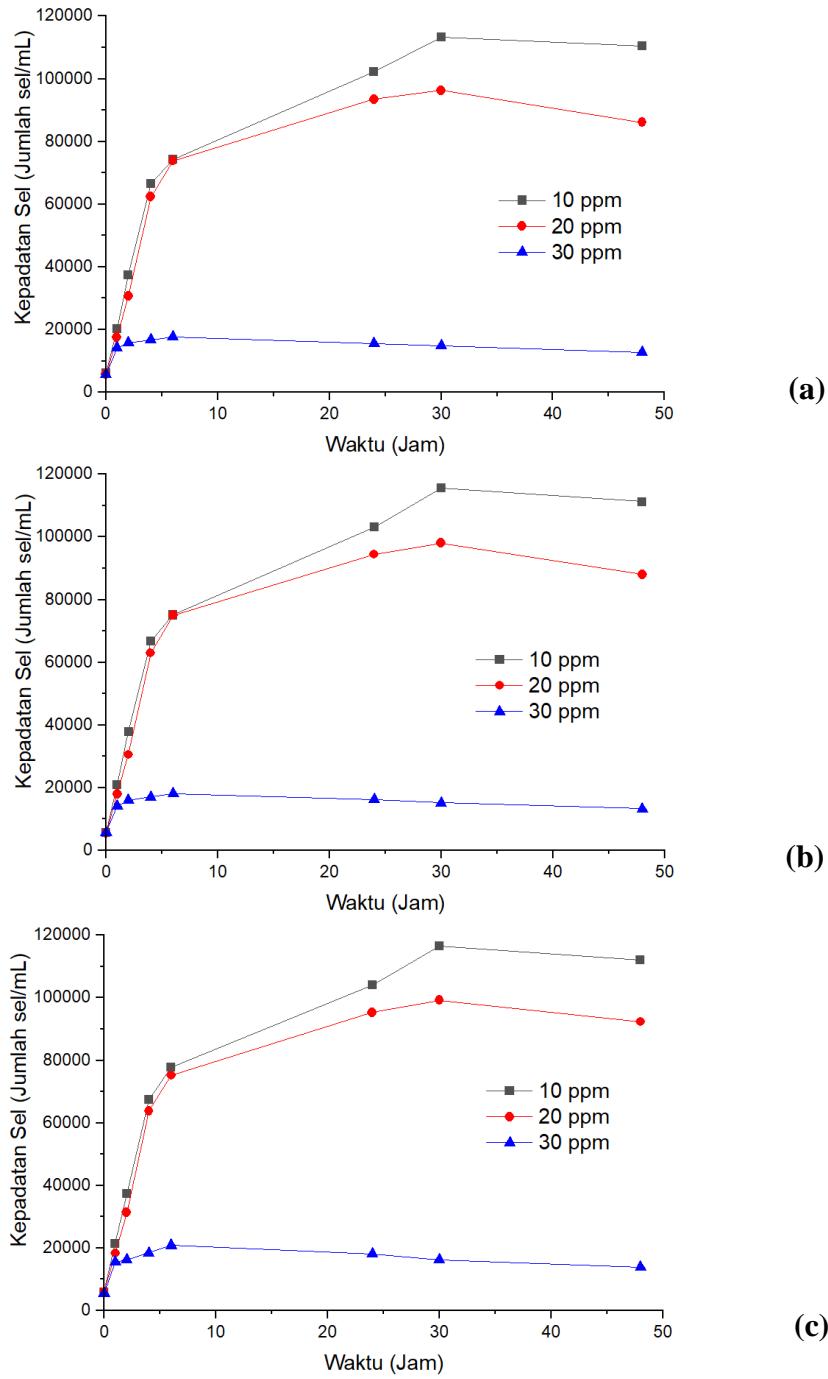
C.18 Pertumbuhan *Chlorella sp.* Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Konsentrasi Ion Logam pada Salinitas 9000 ppm



Keterangan:

- (a) pH 2
- (b) pH 4
- (c) pH 6

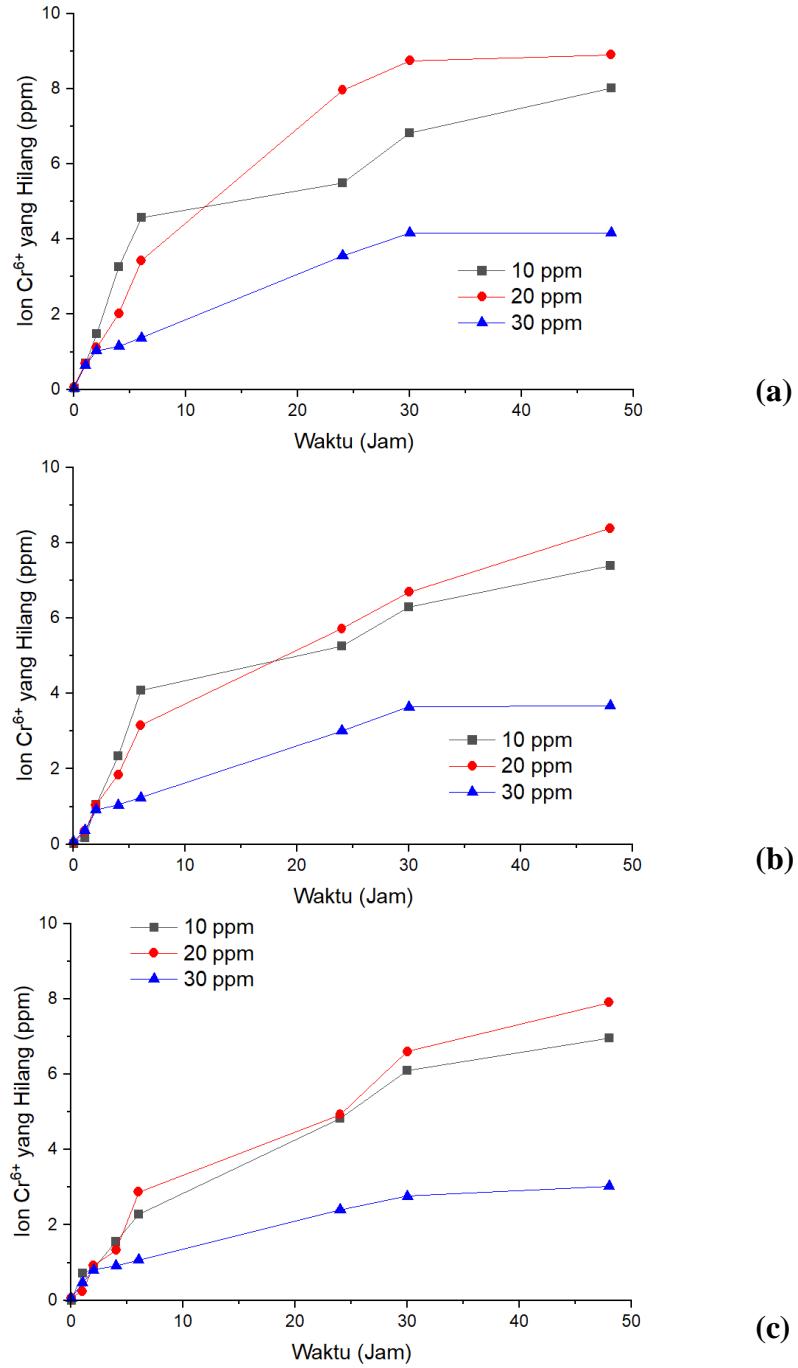
C.19 Pertumbuhan *Chlorella sp.* Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Konsentrasi Ion Logam pada Salinitas 16000 ppm



Keterangan:

- (a) pH 2
- (b) pH 4
- (c) pH 6

C.20 Hasil Ion Logam Kromium yang Hilang Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Konsentrasi Ion Logam pada Salinitas 2000 ppm



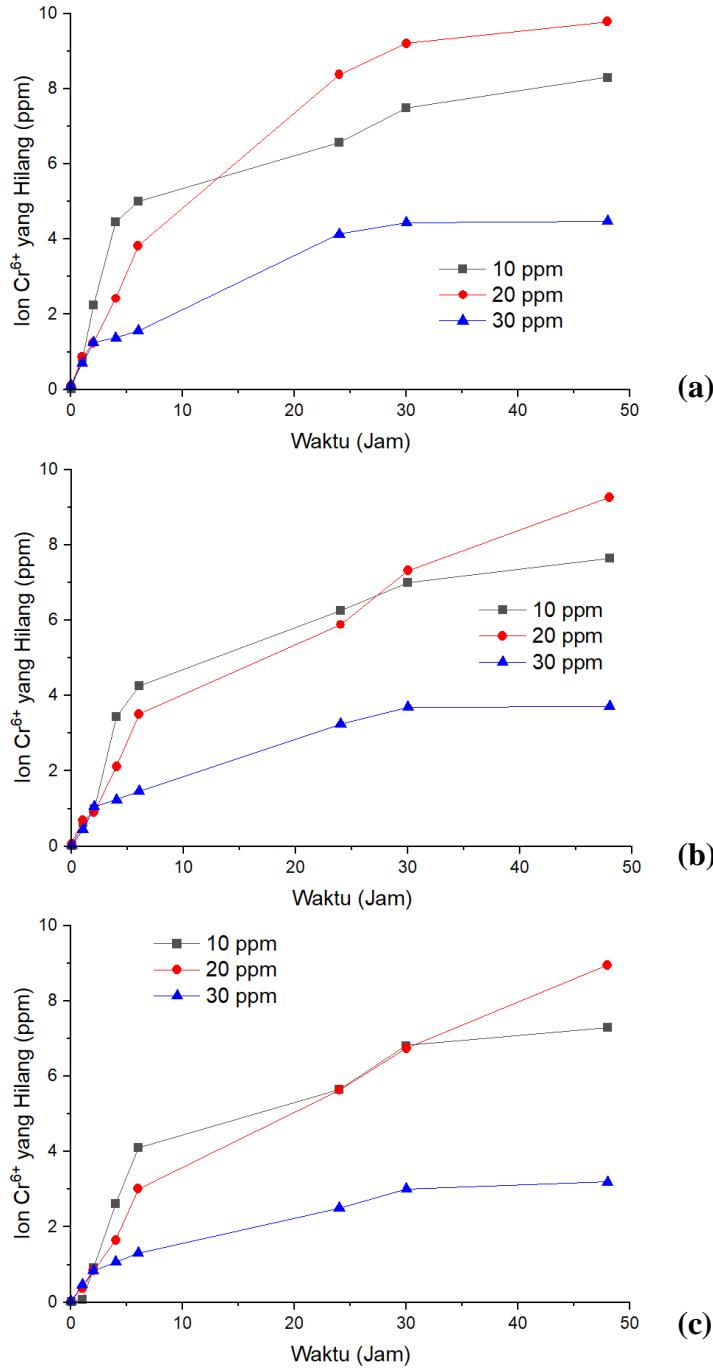
Keterangan:

(a) pH 2

(b) pH 4

(c) pH 6

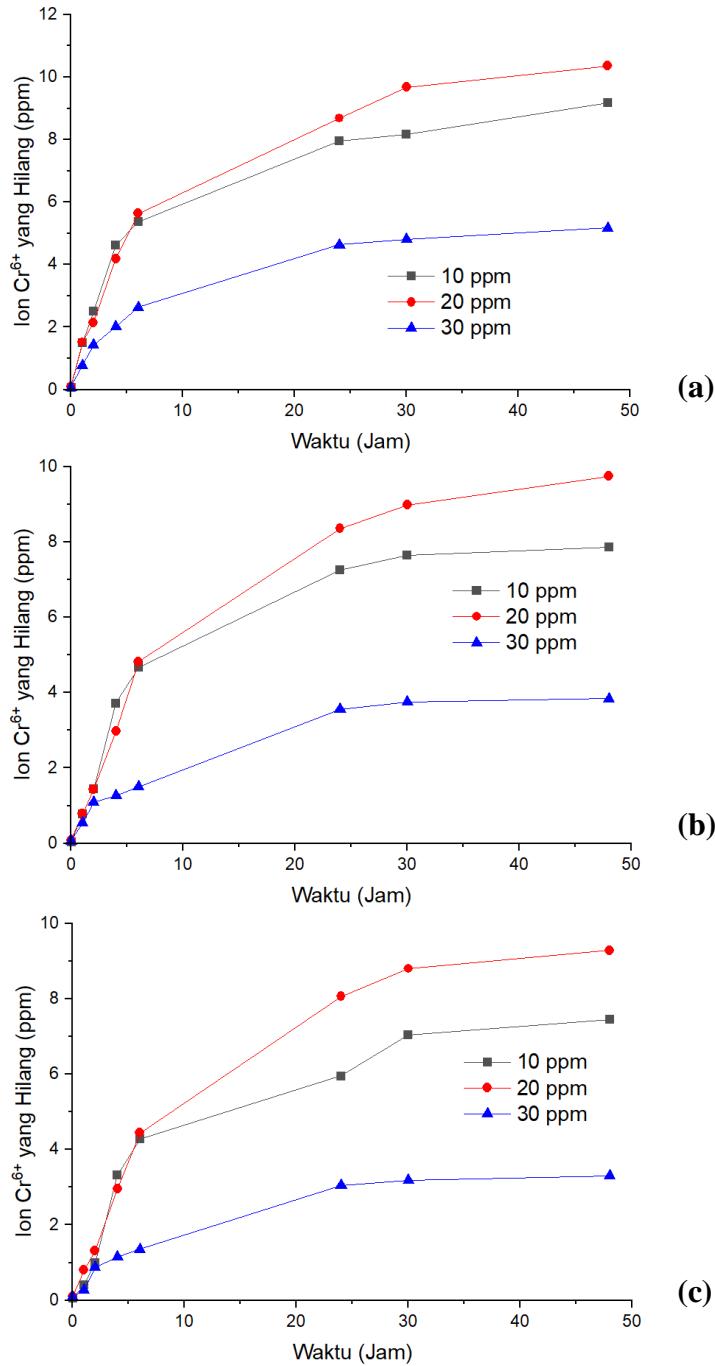
C.21 Hasil Ion Logam Kromium yang Hilang Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Konsentrasi Ion Logam pada Salinitas 9000 ppm



Keterangan:

- (a) pH 2
- (b) pH 4
- (c) pH 6

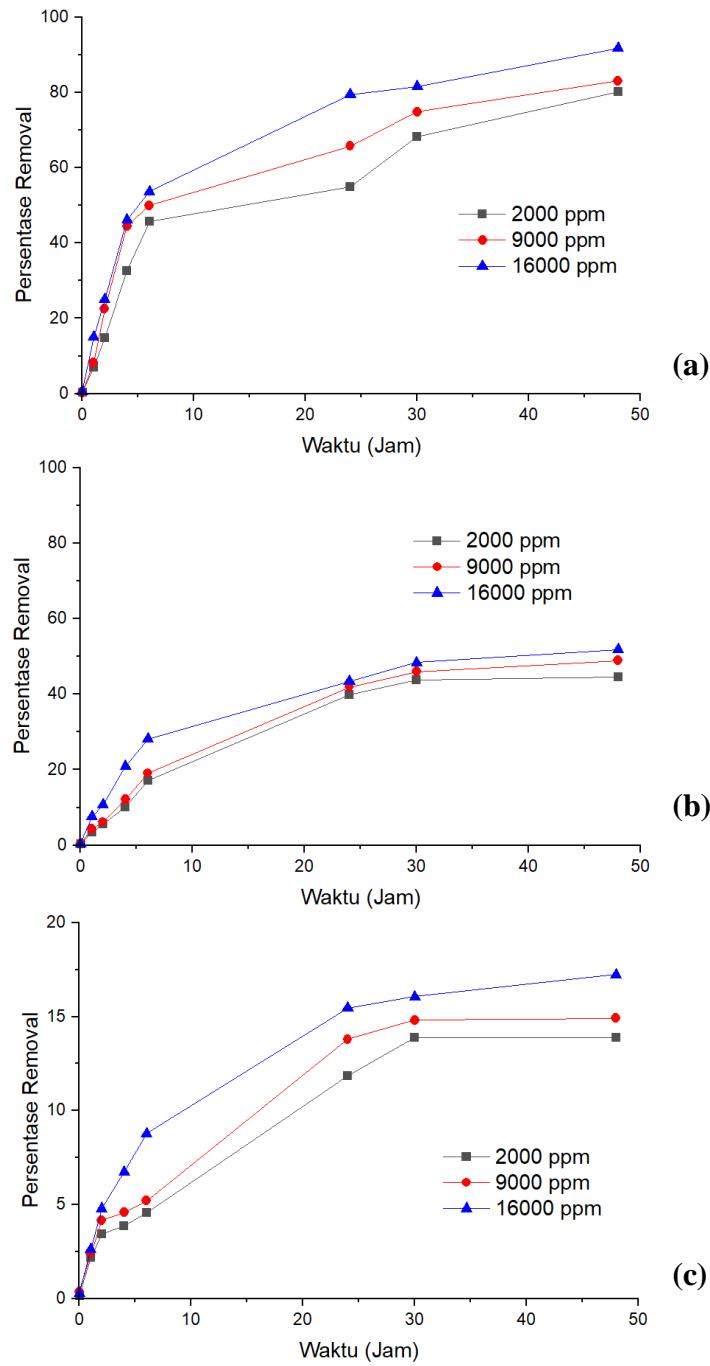
C.22 Hasil Ion Logam Kromium yang Hilang Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Konsentrasi Ion Logam pada Salinitas 16000 ppm



Keterangan:

- (a) pH 2
- (b) pH 4
- (c) pH 6

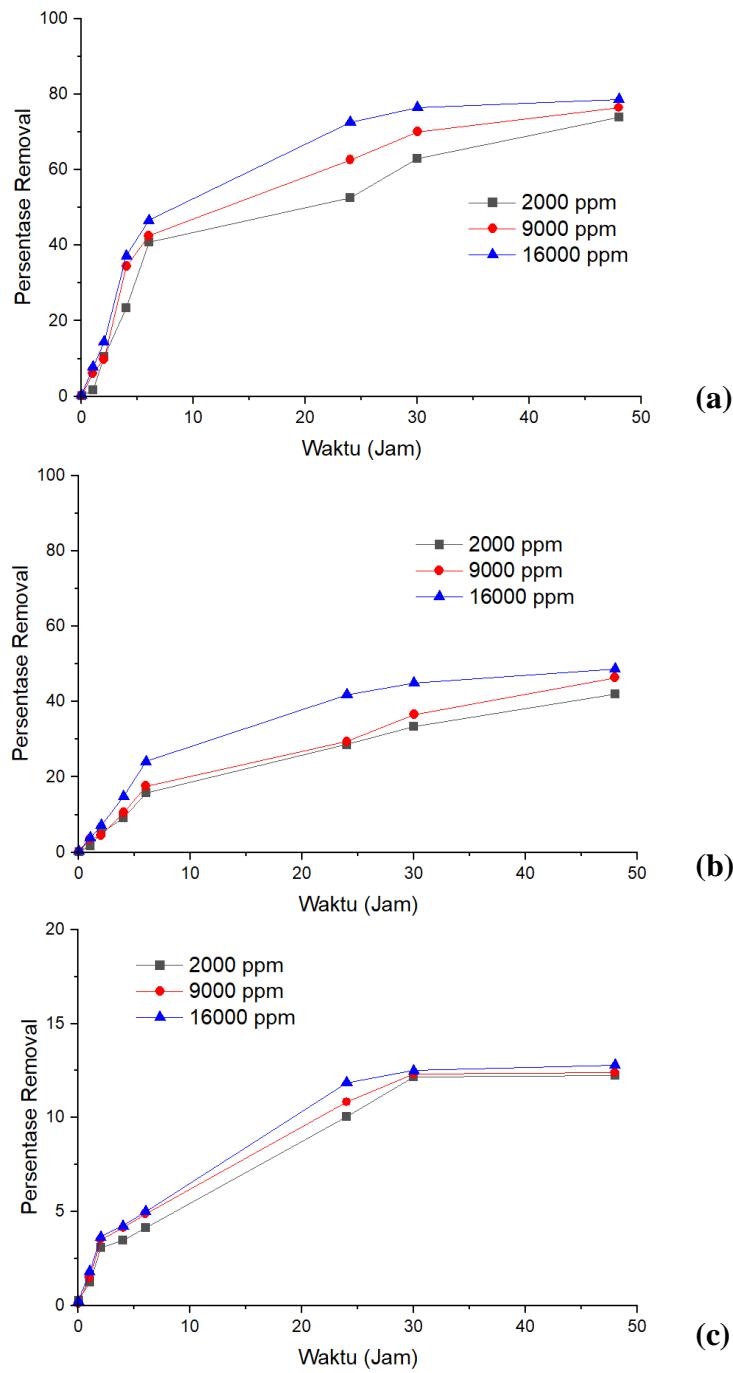
C.23 Hasil Persentase *Removal* Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Salinitas pada pH 2



Keterangan:

- (a) Konsentrasi Ion Logam 10 ppm
- (b) Konsentrasi Ion Logam 20 ppm
- (c) Konsentrasi Ion Logam 30 ppm

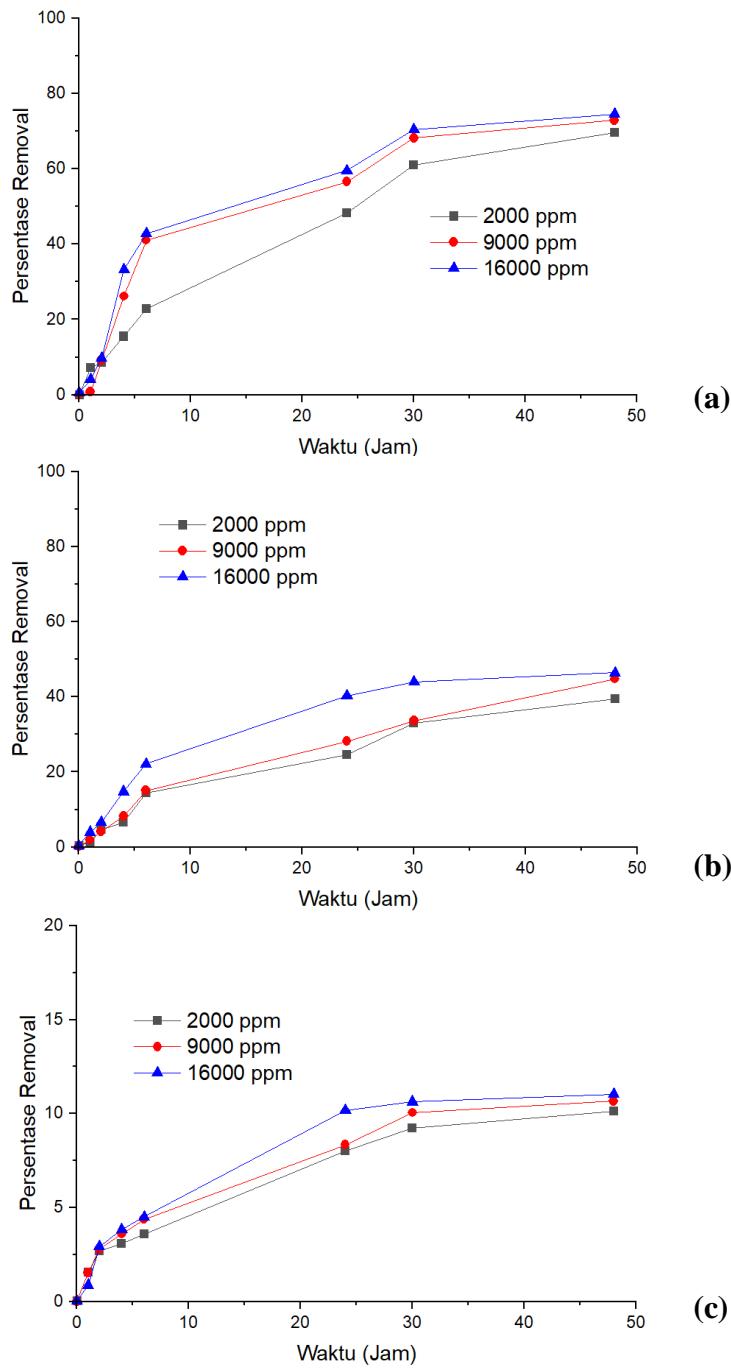
C.24 Hasil Persentase *Removal* Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Salinitas pada pH 4



Keterangan:

- Konsentrasi Ion Logam 10 ppm
- Konsentrasi Ion Logam 20 ppm
- Konsentrasi Ion Logam 30 ppm

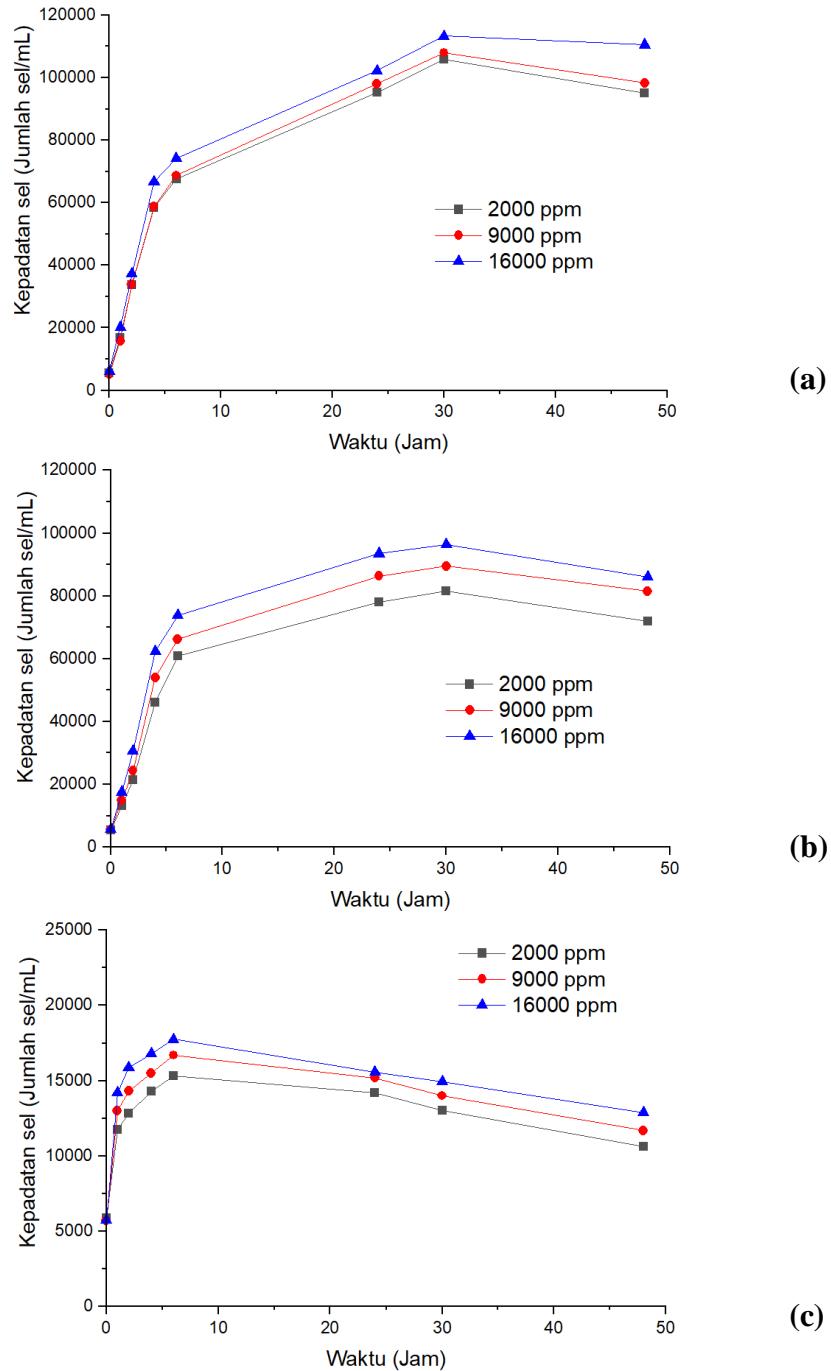
C.25 Hasil Persentase Removal Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Salinitas pada pH 6



Keterangan:

- (a) Konsentrasi Ion Logam 10 ppm
- (b) Konsentrasi Ion Logam 20 ppm
- (c) Konsentrasi Ion Logam 30 ppm

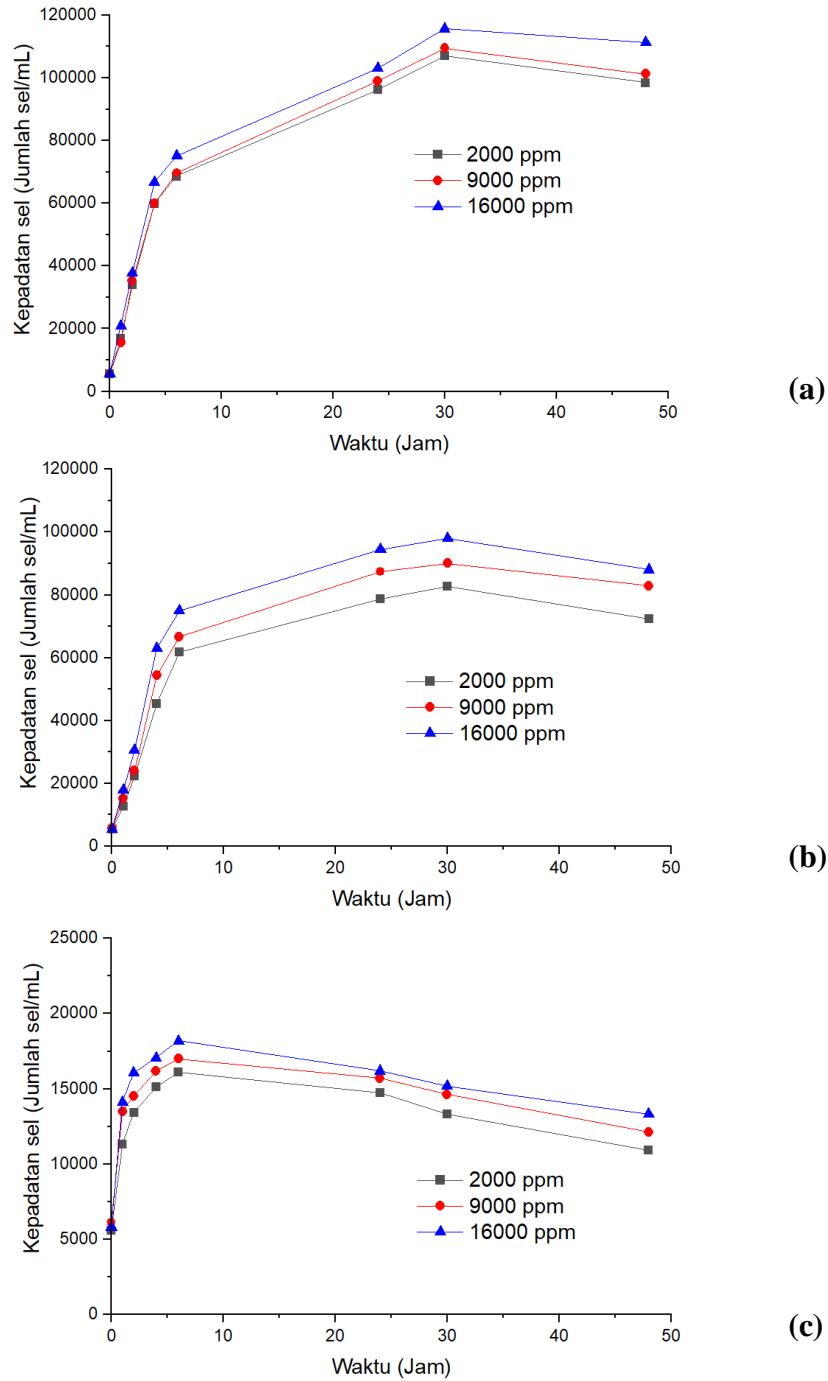
C.26 Pertumbuhan *Chlorella sp.* Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Salinitas pada pH 2



Keterangan:

- (a) Konsentrasi Ion Logam 10 ppm
- (b) Konsentrasi Ion Logam 20 ppm
- (c) Konsentrasi Ion Logam 30 ppm

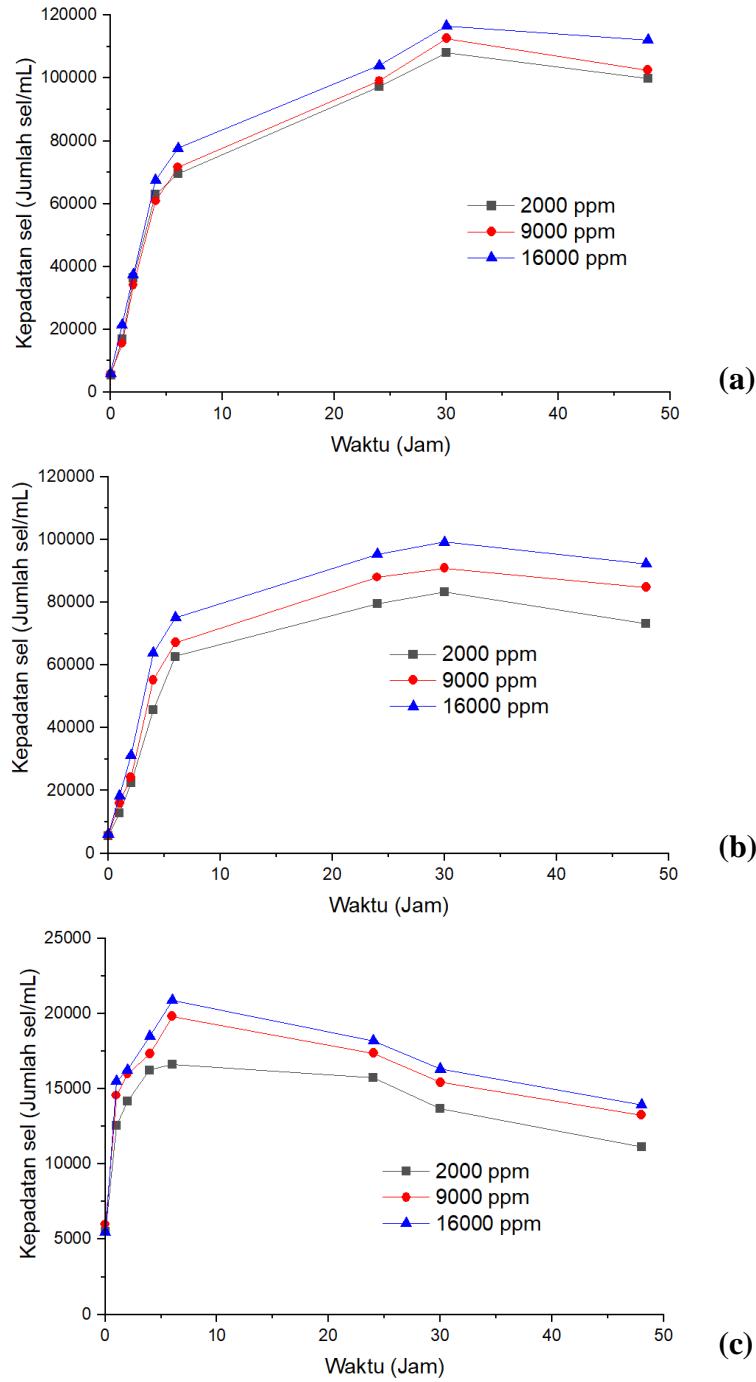
C.27 Pertumbuhan *Chlorella sp.* Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Salinitas pada pH 4



Keterangan:

- (a) Konsentrasi Ion Logam 10 ppm
- (b) Konsentrasi Ion Logam 20 ppm
- (c) Konsentrasi Ion Logam 30 ppm

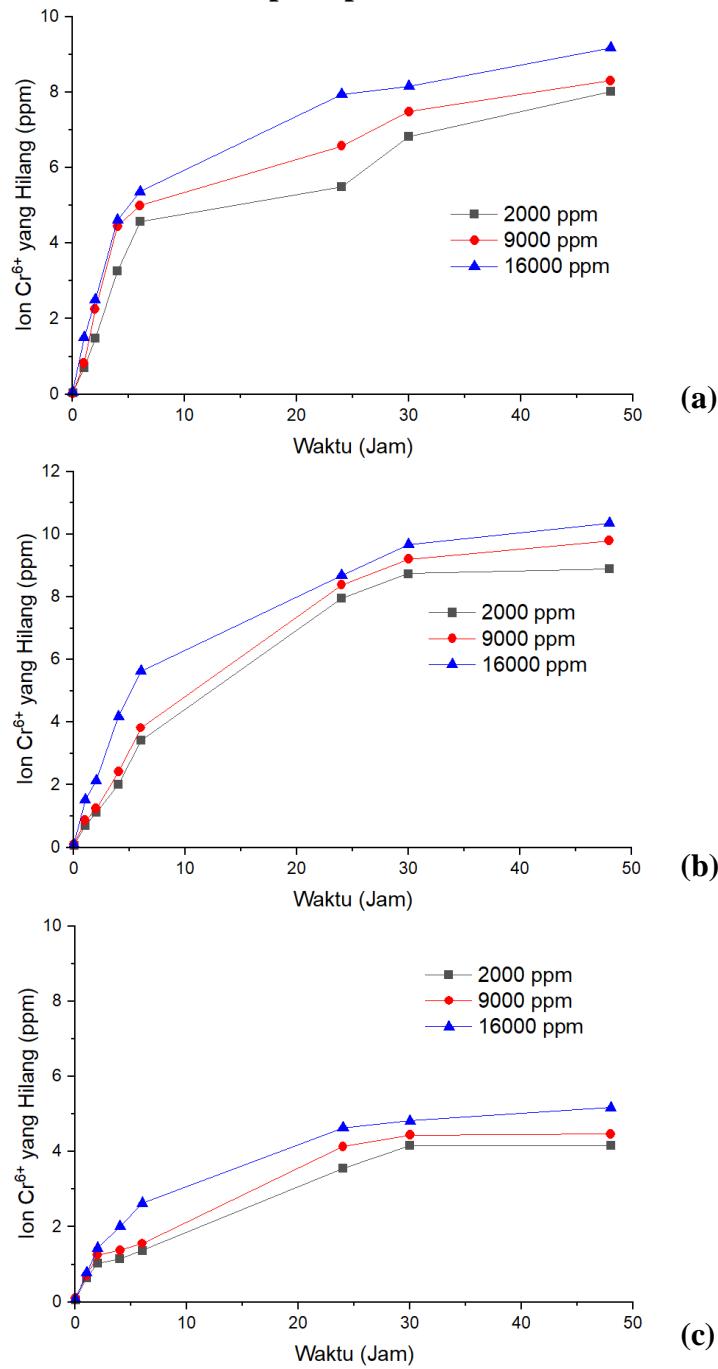
C.28 Pertumbuhan *Chlorella sp.* Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Salinitas pada pH 6



Keterangan:

- (a) Konsentrasi Ion Logam 10 ppm
- (b) Konsentrasi Ion Logam 20 ppm
- (c) Konsentrasi Ion Logam 30 ppm

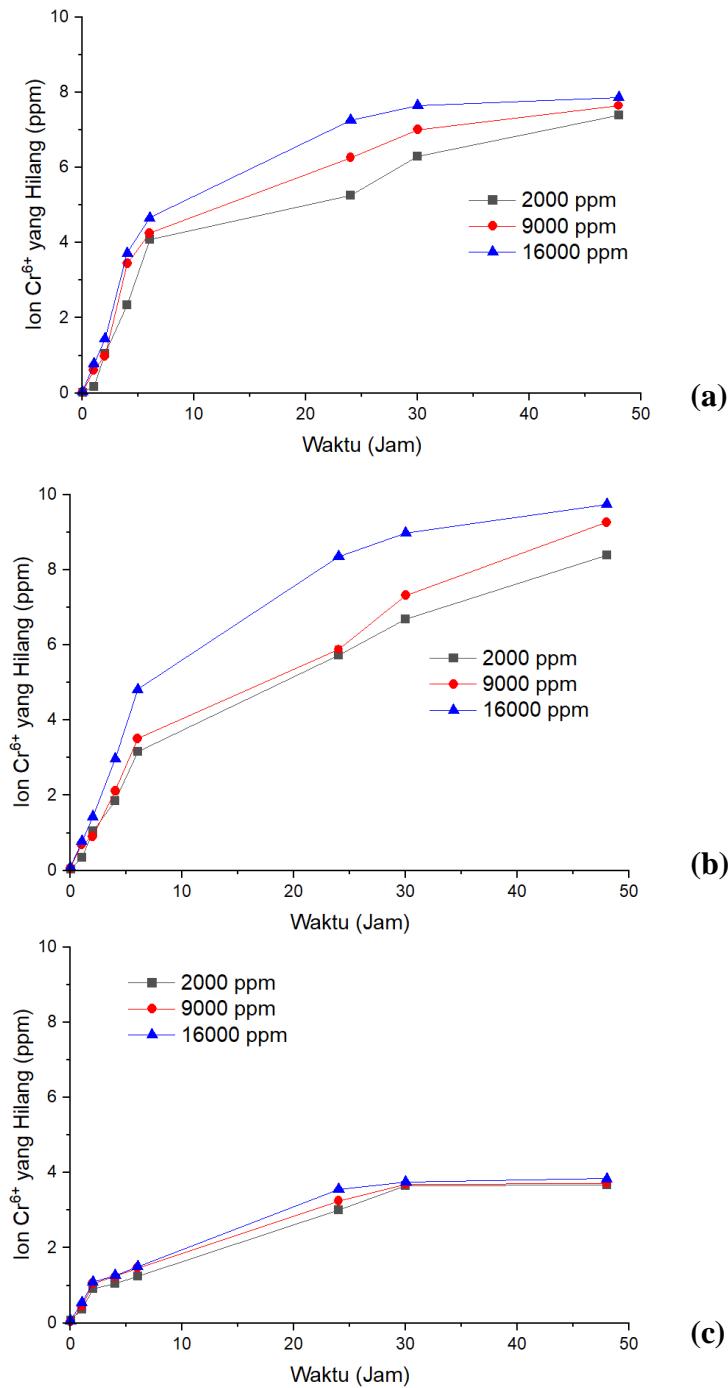
C.29 Hasil Ion Logam Kromium yang Hilang Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Salinitas pada pH 2



Keterangan:

- (a) Konsentrasi Ion Logam 10 ppm
- (b) Konsentrasi Ion Logam 20 ppm
- (c) Konsentrasi Ion Logam 30 ppm

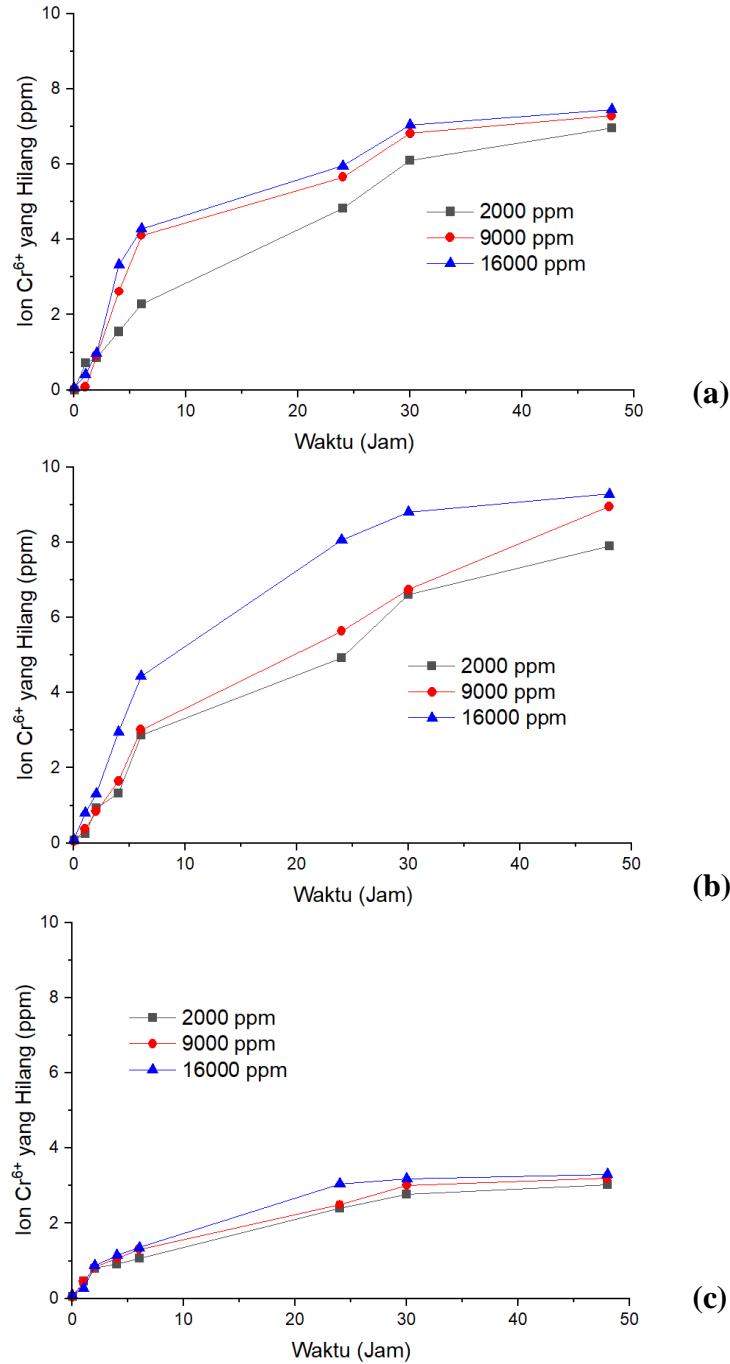
C.30 Hasil Ion Logam Kromium yang Hilang Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Salinitas pada pH 4



Keterangan:

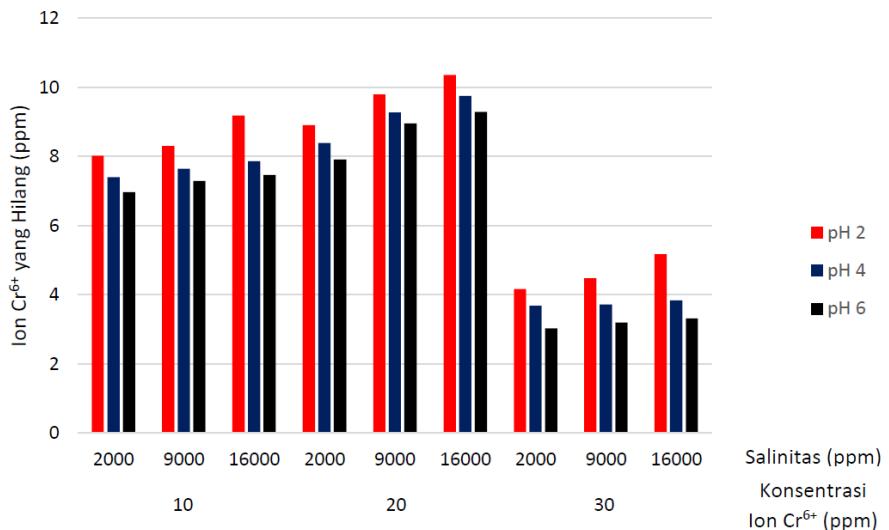
- (a) Konsentrasi Ion Logam 10 ppm
- (b) Konsentrasi Ion Logam 20 ppm
- (c) Konsentrasi Ion Logam 30 ppm

C.31 Hasil Ion Logam Kromium yang Hilang Selama Proses Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) dengan Variasi Salinitas pada pH 6



Keterangan:

- (a) Konsentrasi Ion Logam 10 ppm
- (b) Konsentrasi Ion Logam 20 ppm
- (c) Konsentrasi Ion Logam 30 ppm

C.32 Hasil Ion Logam Kromium (VI) yang Hilang Secara Keseluruhan

LAMPIRAN D
CONTOH PERHITUNGAN

D.1 Pembuatan Larutan Induk Logam Kromium (VI)

Ar K	= 39 g/mol
Ar Cr	= 52 g/mol
Ar O	= 16 g/mol
Mr $K_2Cr_2O_7$	$= (2 \times 39) + (2 \times 52) + (7 \times 16)$ $= 294$ g/mol
Konsentrasi Larutan Induk	$= 10 \text{ ppm} = 0,01 \text{ g/L}$
$K_2Cr_2O_7$ yang diperlukan	$= 0,01 \frac{\text{g}}{\text{L}} \times \frac{\text{Mr } K_2Cr_2O_7}{2 \times \text{Ar Cr}}$ $= 0,01 \frac{\text{g}}{\text{L}} \times \frac{294}{2 \times 52}$ $= 0,0283 \text{ g}$

D.2 Pembuatan Kurva Standar Ion Logam Kromium (VI)

Dilakukan pengenceran larutan induk dengan menggunakan labu ukur untuk mendapatkan 100 mL larutan ion logam kromium (VI) dengan konsentrasi 5 ppm.

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

Dimana M_1 merupakan konsentrasi larutan induk dan M_2 merupakan larutan ion kromium (VI) dengan konsentrasi 5 ppm.

$$10 \text{ ppm} \times V_1 = 5 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 50 \text{ mL}$$

Larutan induk diambil 50 mL dan ditambahkan air hingga 100 mL pada labu ukur sehingga dihasilkan 100 mL larutan ion logam kromium (VI) dengan konsentrasi 5 ppm.

Perhitungan yang sama digunakan untuk mendapatkan larutan ion logam kromium (VI) dengan konsentrasi 4 ppm, 3 ppm, 2 ppm, 1 ppm, dan 0,5 ppm. Seluruh larutan diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum sebesar 530 nm.

Seluruh hasil pengukuran absorbansi dibuat persamaan garis yang menghubungkan absorbansi dan konsentrasi hingga diperoleh persamaan berikut

$$y = 0,0249x + 0,003$$

Dimana y merupakan absorbansi dan x merupakan konsentrasi larutan ion logam kromium (VI).

D.3 Pembuatan Kurva Standar Kepadatan Sel Mikroalga *Chlorella sp.*

Dari *haemocytometer* didapatkan jumlah dari 5 kotak besar yang masing-masing terdiri dari 16 kotak kecil. Kepadatan sel mikroalga dihitung dengan rumus berikut

$$\text{Kepadatan Sel Mikroalga} = \frac{\text{jumlah sel 5 kotak besar}}{80} \times 10000$$

Pada pembuatan kurva standar mikroalga *Chlorella sp.* dibuat larutan induk sebanyak 20 mL dengan kepadatan sel sebesar 100.000 sel/mL sehingga

$$\begin{aligned} \text{jumlah sel 5 kotak besar} &= \frac{\text{kepadatan sel mikroalga} \times 80}{10.000} \\ &= \frac{100.000 \times 80}{10.000} \\ &= 800 \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan pengenceran larutan induk dengan menggunakan labu ukur untuk mendapatkan 10 mL larutan mikroalga dengan kepadatan 10.000 sel/mL.

$$M1 \times V1 = M2 \times V2$$

Dimana M1 merupakan kepadatan larutan induk dan M2 merupakan larutan mikroalga dengan kepadatan sel sebesar 10.000 sel/mL.

$$100.000 \frac{\text{sel}}{\text{mL}} \times V1 = 10.000 \frac{\text{sel}}{\text{mL}} \times 10\text{mL}$$

$$V1 = 1 \text{ mL}$$

Larutan induk diambil 1 mL dan ditambahkan air steril hingga 10 mL pada labu ukur sehingga dihasilkan 10 mL larutan mikroalga dengan kepadatan sel 10.000 sel/mL.

Perhitungan yang sama digunakan untuk mendapatkan larutan mikroalga dengan kepadatan sel 20.000 sel/mL, 30.000 sel/mL, 40.000 sel/mL, 50.000 sel/mL, 60.000 sel/mL, 70.000 sel/mL, 80.000 sel/mL, dan 90.000 sel/mL. Seluruh larutan diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum sebesar 686 nm yang kemudian akan didapatkan nilai OD (*Optical Density*) dengan rumus berikut

$$OD = 2 - \log(\%T)$$

Seluruh hasil perhitungan OD dibuat persamaan garis yang menghubungkan OD dengan kepadatan sel hingga diperoleh persamaan berikut

$$y = (4 \times 10^{-7})x + 0,0018$$

Dimana y merupakan OD dan x merupakan kepadatan sel larutan mikroalga *Chlorella sp.*

D.4 Pembuatan Pertumbuhan Mikroalga *Chlorella sp.*

Dari *haemocytometer* didapatkan jumlah dari 5 kotak besar yang masing-masing terdiri dari 16 kotak kecil. Kepadatan sel mikroalga dihitung dengan rumus berikut

$$\text{Kepadatan Sel Mikroalga} = \frac{\text{jumlah sel 5 kotak besar}}{80} \times 10000$$

Pada pembuatan kurva pertumbuhan mikroalga *Chlorella sp.* didapatkan sel dalam *haemocytometer* pada hari pertama (jam ke-24) sebesar 87 sel, sehingga

$$\text{Kepadatan Sel Mikroalga} = \frac{87}{80} \times 10000 = 10875 \frac{\text{sel}}{\text{mL}}$$

D.5 Biosorpsi Ion Logam Kromium (VI) Menggunakan Mikroalga *Chlorella sp.*

Kondisi Biosorpsi: konsentrasi logam 10 ppm, pH 2, salinitas 2000 ppm

$$\text{Konsentrasi ion logam kromium (VI) awal (Co)} = 10 \text{ ppm}$$

$$\text{Absorbansi ion logam kromium (VI) awal} = 0,0278$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi ion logam kromium (VI) akhir (Ct)} &= \frac{0,0262 - 0,003}{0,0249} \times 10 \\ &= 9,9680 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$$\text{Absorbansi ion logam kromium (VI) akhir} = 0,0262$$

$$\text{Percentase removal} = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100\% = \frac{10 - 9,9680}{10} \times 100\% = 6,9088\%$$