

**STUDI BIOSORPSI ION LOGAM Cd(II) OLEH BIOMASSA ALGA HIJAU
KULTUR LABORATORIUM (*Scenedesmus* sp.)
YANG DI MODIFIKASI EDTA**

**RATIH KUMALA DEWI
0606040463**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN KIMIA PROGRAM EKSTENSI
DEPOK
2009**

**STUDI BIOSORPSI ION LOGAM Cd(II) OLEH BIOMASSA ALGA HIJAU
KULTUR LABORATORIUM (*Scenedesmus* sp.)
YANG DI MODIFIKASI EDTA**

**Skripsi diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains**

**Oleh:
RATIH KUMALA DEWI
0606040463**



**DEPOK
2009**

SKRIPSI : STUDI BIOSORPSI ION LOGAM Cd(II) OLEH BIOMASSA
ALGA HIJAU KULTUR LABORATORIUM (*Scenedesmus* sp.)
YANG DI MODIFIKASI EDTA

NAMA : RATIH KUMALA DEWI

NPM : 0606040463

SKRIPSI INI TELAH DIPERIKSA DAN DISETUJUI

DEPOK, JULI 2009

Dr. ASEP SAEFUMILLAH, M.Si.

PEMBIMBING I

Dra. NINING B. PRIHANTINI, M.Sc.

PEMBIMBING II

Tanggal Lulus Ujian Sidang Sarjana :

Penguji I :

Penguji II :

Penguji III :

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat beserta salam saya haturkan pada contoh terbaik sepanjang masa Rasulullah SAW. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Kimia pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia dengan skripsi yang berjudul “Studi Biosorpsi Ion Logam Cd(II) Oleh Biomassa Alga Hijau Kultur Laboratorium (*Scenedesmus* sp.) yang di modifikasi EDTA”

Saya menyadari bahwa sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis dengan segala ketulusan dan kerendahan hati ingin mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Asep Saefumillah, M.Si, selaku pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan dan penjelasan yang berguna dalam penyusunan skripsi ini. Ibu Dra. Nining B. Prihantini, M.Sc, selaku pembimbing II yang telah banyak membantu penulis dalam berbagai hal. Seluruh dosen, karyawan dan karyawan Departemen Kimia, terutama Mas Hadi dan Pak Mardji, yang selalu direpotkan oleh penulis.

Ayah dan Ibu tersayang, yang telah banyak memberikan dukungan moril maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Kedua adikku Aditya dan Delia, yang selalu memberikan keceriaan dan tawa dalam

hidup ini. Muhammad Ekky Rizkiyadi yang selalu sabar mendengar keluhan penulis. Mbah, Yati, A Andry, Ce Dewi, Tanteku dan anak-anaknya serta seluruh keluarga yang telah setia membantu penulis dalam penulisan laporan ini.

Sahabat-sahabat tercinta Dita, Mega, Malla, Ratich, Debby, Sony, Andi, dan Arie yang selalu memberikan semangat dan dukungan. Teman-teman seperjuangan penelitian Anna, Susi, Santi, Farouq, Yusni dan semuanya yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Teman-teman ekstensi kimia Mba Asri, Vira, Achie, Sumarni, Dillah, Nissa, Fevi, Arie, Amrina, Wulan, Puri serta para analis Mba Indri, Mba Aty, Mba Ina, Mba Cucu, Mba Emma, dan Mba Tri serta Irwansyah. Teman-teman lab TTNV Akbar, K'Dida, Raes, Tiwi, Tari, Afi, dan yang lainnya. Terima kasih telah banyak mengajarkan banyak hal kepada penulis. Adik-adik kimia terapan ku tersayang Nadia, Esza, Riri, Lugina, Meliana, Vines dan yang lainnya.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu per satu. Semoga skripsi ini dapat berguna bagi para pembaca serta penulis sendiri.

Depok, Juli 2009

Penulis

ABSTRAK

Penggunaan biomassa alga hijau untuk menyerap logam berat merupakan alternatif pemecahan masalah penanganan pencemaran logam berat di lingkungan perairan. Pada penelitian ini dipelajari karakterisasi penggunaan biomassa alga hijau hasil budidaya *Scenedesmus* sp. yang diperoleh dari Situ Agatis Universitas Indonesia setelah dimodifikasi dengan EDTA sebagai biosorben ion logam kadmium(II) untuk memperbanyak sisi aktif pada alga sehingga akan diperoleh persen teradsorpsi yang meningkat. Hasil penelitian menunjukkan pH optimum biosorpsi adalah pH 5 dan waktu kontaknya 60 menit dengan konsentrasi optimum sebesar 20 mg/L. Kapasitas maksimum biosorpsi alga hijau *Scenedesmus* sp. untuk alga termodifikasi EDTA sebesar 0,254 mmol/g dan untuk alga tanpa modifikasi sebesar 0,575 mmol/g. Persen *recovery* maksimum, yakni 57,89% didapat pada konsentrasi asam HNO₃ 3M dengan waktu kontak 120 menit. Hasil persamaan isotherm Freundlich diperoleh nilai ketetapan (n) sebesar 1,383 untuk alga termodifikasi EDTA *Scenedesmus* sp. dan 1,033 untuk alga *Scenedesmus* sp. tanpa modifikasi EDTA dan nilai ketetapan (k) 0,962 untuk alga termodifikasi EDTA *Scenedesmus* sp. dan 0,018 untuk alga *Scenedesmus* sp. tanpa modifikasi EDTA

Kata kunci :

Biosorpsi, *Scenedesmus* sp., Kadmium, EDTA

xii + 90 hal.; gbr.; lamp.; tab.

Bibliografi : 33 (1975-2009)

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Hipotesis.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Alga.....	5
2.1.1 Alga Sebagai Adsorben Logam Berat.....	7
2.1.2 Alga Hijau (<i>Chlorophyta</i>).....	9
2.1.2.1 <i>Scenedesmus</i> sp.	9
2.1.3 Pertumbuhan Mikroalga.....	12
2.2 Biosorpsi.....	15
2.2.1 Proses Biosorpsi.....	16
2.3 Efisiensi Adsorpsi Biomassa Alga.....	17

2.4 Logam Berat.....	21
2.4.1 Kadmium (Cd)	21
2.5 Isoterm Adsorpsi	23
2.5.1 Isoterm Langmuir	24
2.5.2. Isoterm Freundlich	25
2.6 Instrumentasi	26
2.6.1 <i>Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)</i>	26
2.6.2 <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	28
2.6.3 <i>Fourier Transform Infra Red (FT-IR)</i>	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 Alur Penelitian.....	36
3.2 Alat dan Bahan	37
3.2.1 Alat Percobaan.....	37
3.2.2 Bahan Percobaan	38
3.3 Prosedur Percobaan.....	38
3.3.1 Budidaya Alga	38
3.3.2 Pengamatan Pertumbuhan Alga	39
3.3.3 Persiapan Biomassa	40
3.3.4 Modifikasi Kimiawi Biomassa Alga.....	41
3.3.5 Karakterisasi Biomassa	42
3.3.6 Pembuatan Larutan Induk Logam.....	42
3.3.7 Perlakuan Pengontakkan Biomassa dengan Larutan Logam	43

3.3.8 Penentuan Kadar Logam yang Terserap Oleh Biomassa ...	45
3.3.9 <i>Recovery</i> Biomassa	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1 Hasil Pengamatan Alga Hasil Budidaya.....	47
4.2 Hasil Data Perhitungan Laju Pertumbuhan.....	49
4.3 Karakterisasi EDX.....	50
4.4 Hasil Data FT-IR.....	52
4.5 Hasil Data SEM	55
4.6 Hasil Penentuan pH Optimum.....	56
4.7 Hasil Penentuan Waktu Kontak Optimum.....	60
4.8 Hasil Penentuan Konsentrasi Optimum.....	62
4.9 Hasil Penentuan Isoterm Adsorpsi Langmuir	64
4.10 Hasil Penentuan Isoterm Adsorpsi Freundlich	68
4.11 Hasil Penentuan <i>Recovery</i> Biomassa	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	74
5.1 Kesimpulan.....	74
5.2 Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA.....	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2. 1 Struktur morfologi <i>Scenedesmus quadricauda</i>	11
2. 2 Struktur morfologi <i>Scenedesmus</i> sp.	12
2. 3 Kurva pertumbuhan alga.....	13
2. 4 Struktur EDTA	20
2. 5 Reaksi esterifikasi alga dengan EDTA.....	20
2. 6 Lampu katoda berongga	27
2. 7 Bagan alat Spektrofotometer Serapan Atom menggunakan nyala pada proses pengatoman.....	28
2. 8 Skema alat SEM	31
2. 9 Sistem optik spektrofotometer FT-IR	33
3. 1 Diagram alir penelitian.....	36
3. 2 Diagram alir budidaya alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp.	39
3. 3 Diagram alir persiapan biomassa.....	41
3. 4 Diagram alir modifikasi kimiawasi biomassa alga hijau.....	42
3. 5 Diagram alir karakterisasi biomassa	42
3. 6 Diagram alir pembuatan larutan induk logam Cd (II).....	43
3. 7 Diagram alir percobaan variasi pH.....	43
3. 8 Diagram alir percobaan variasi waktu kontak.....	44
3. 9 Diagram alir percobaan variasi konsentrasi larutan logam	45
3. 10 Diagram alir percobaan persentase <i>recovery</i>	46

4.1 Foto alga <i>Scenedesmus</i> sp. hasil budidaya.....	48
4.2 Grafik pertumbuhan alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp.....	49
4.3 Analisis semi kuantitatif (EDX) unsur utama penyusun sel biomassa kering alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp. tanpa modifikasi EDTA	50
4.4 Analisis semi kuantitatif (EDX) unsur utama penyusun sel biomassa kering alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp. dengan modifikasi EDTA	51
4.5 Spektrum FT-IR alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp. tanpa modifikasi EDTA	52
4.6 Spektrum FT-IR alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp. modifikasi EDTA	53
4.7 Hasil SEM alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp. tanpa modifikasi EDTA.....	55
4.8 Hasil SEM alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp. dengan modifikasi EDTA	55
4.9 Grafik adsorpsi ion logam Cd(II) dengan alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp. dengan variasi pH.....	57
4.10 Grafik adsorpsi ion logam Cd(II) per biomassa alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp. dengan variasi pH.....	57
4.11 Grafik adsorpsi ion logam Cd(II) dengan alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp. dengan variasi waktu kontak	60
4.12 Grafik adsorpsi ion logam Cd(II) per biomassa alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp. dengan variasi waktu kontak.....	61
4.13 Grafik adsorpsi ion logam Cd(II) dengan alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp. dengan variasi konsentrasi.....	63
4.14 Grafik adsorpsi ion logam Cd(II) perbiomassa alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp. dengan variasi konsentrasi	63
4.15 Grafik linieritas adsorpsi isoterm Langmuir ion logam Kadmium (Cd) dengan alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp. modifikasi EDTA	65
4.16 Grafik linieritas adsorpsi isoterm Langmuir ion logam Kadmium (Cd) dengan alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp. tanpa modifikasi EDTA	66
4.17 Grafik linieritas adsorpsi isoterm Freundlich ion logam Kadmium (Cd) dengan alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp. modifikasi EDTA	68

4.18 Grafik linieritas adsorpsi isoterm Freundlich ion logam Kadmium (Cd) dengan alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp. tanpa modifikasi EDTA	68
4.19 Grafik persentase <i>recovery</i> untuk alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp. tanpa modifikasi EDTA.....	70
4.20 Grafik persentase <i>recovery</i> untuk alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp. dengan modifikasi EDTA.....	70



DAFTAR TABEL

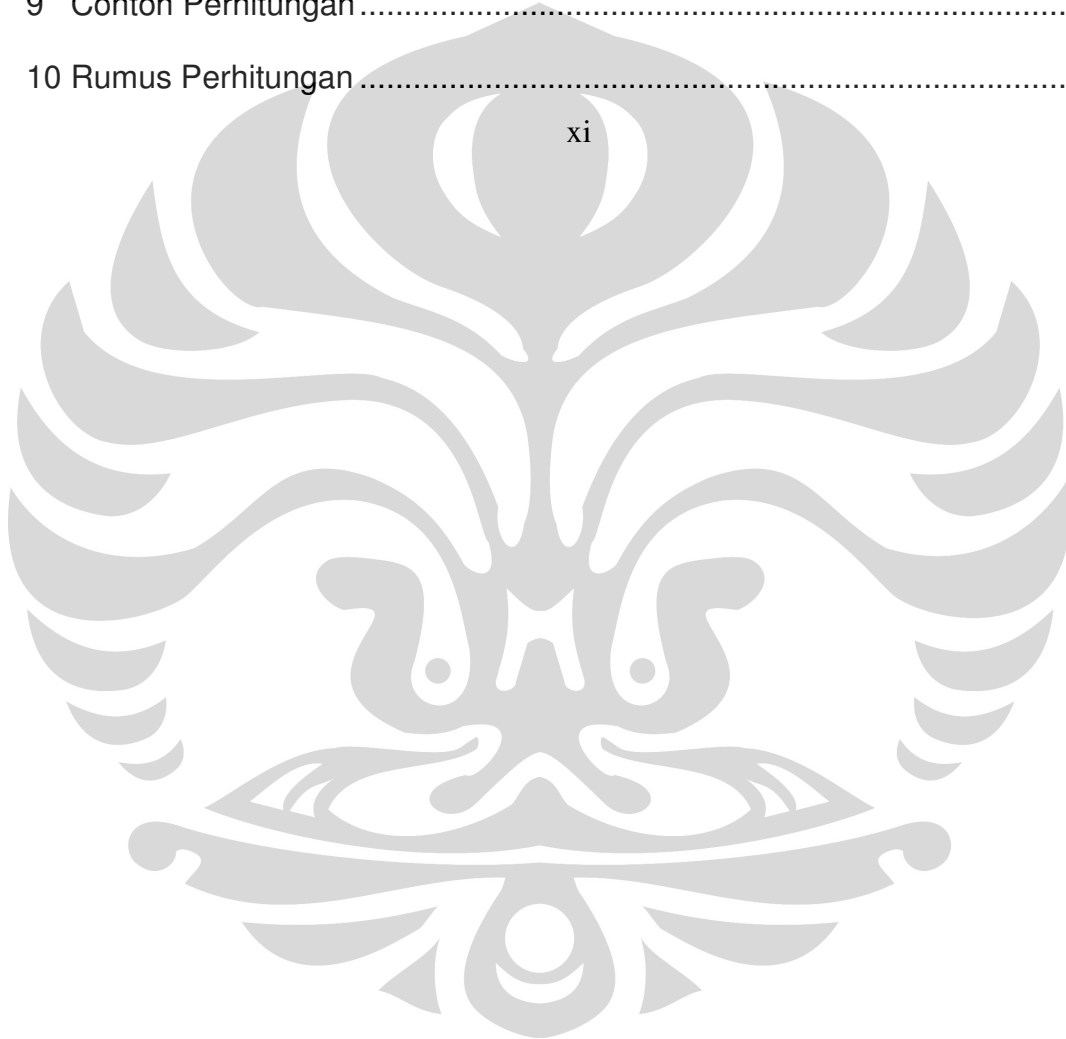
Tabel	Halaman
2.1 Alga yang potensial sebagai biosorben	8
2.3 Sifat-sifat fisika dari logam Kadmium (Cd)	23
4.1 Kondisi Pengkulturan	47
4.3 Nilai koefisien korelasi (R), kapasitas maksimum (a_m) dan afinitas serapan (k)	67
4.4 Nilai koefisien korelasi (R), ketetapan (n) dan (k)	69
4.5 Data hasil <i>recovery</i> biomassa alga hijau terhadap masing-masing modifikasi EDTA	71
4.6 Data hasil <i>recovery</i> biomassa alga hijau terhadap masing-masing tanpa modifikasi EDTA	72

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1a Lokasi sampling	80
1b Pengamatan biakan Wadah A	80
1c Pengamatan biakan Wadah A	79
1d Pengamatan biakan Wadah A	79
2a Hasil transformasi data (log x) terhadap data kerapatan sel alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp. (sel/mL)	82
2b Rerata kerapatan sel alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp. (sel/mL)	82
2c Laju pertumbuhan alga hijau <i>Scenedesmus</i> sp.	82
3a Pengaruh pH awal 25 mL larutan kadmium(II) 10 mg/L terhadap adsorpsi alga hijau tanpa modifikasi EDTA.....	83
3a Pengaruh pH awal 25 mL larutan kadmium(II) 10 mg/L terhadap adsorpsi alga hijau modifikasi EDTA.....	83
4a Pengaruh waktu kontak 25 mL larutan kadmium(II) 10 mg/L pH 5 terhadap adsorpsi alga hijau tanpa modifikasi EDTA	84
4b Pengaruh waktu kontak 25 mL larutan kadmium(II) 10 mg/L pH 5 terhadap adsorpsi alga hijau modifikasi EDTA	84
5a Pengaruh konsentrasi awal larutan kadmium(II) pH 5 terhadap adsorpsi alga hijau tanpa modifikasi EDTA.....	85
5b Pengaruh konsentrasi awal larutan kadmium(II) pH 5 terhadap adsorpsi alga hijau modifikasi EDTA.....	85
6a Isoterm adsorpsi Langmuir alga tanpa modifikasi EDTA	86
6b Isoterm adsorpsi Langmuir alga modifikasi EDTA	86

7a Isoterm adsorpsi Freundlich alga tanpa modifikasi EDTA.....	87
7b Isoterm adsorpsi Freundlich alga modifikasi EDTA.....	87
8a Hasil EDX kandungan alga tanpa modifikasi EDTA.....	88
8b Hasil EDX kandungan alga modifikasi EDTA.....	88
9 Contoh Perhitungan.....	89
10 Rumus Perhitungan.....	90

xi



xii

iii

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya ekonomi dan bertambahnya jumlah penduduk, jumlah industri pun semakin meningkat dan kemungkinan bertambah juga buangan industri ke ekosistem air, seperti sungai dan laut. Beberapa diantaranya menggunakan logam berat dalam proses produksinya.

Berbagai jenis industri seperti industri pupuk, tekstil, pengolahan minyak, pelapisan logam, baterai, cat, dan pestisida merupakan contoh sumber pencemaran berbagai logam berat di lingkungan. Logam-logam berat seperti krom, timbal, kadmium, merkuri, nikel, tembaga, dan arsen merupakan kandungan limbah cair industri yang dapat menimbulkan dampak-dampak negatif terhadap lingkungan dan makhluk hidup. Apabila kadar dari logam-logam berat tersebut melebihi ambang batas akan menimbulkan bahaya bagi kelangsungan ekosistem disekitarnya.

Konsentrasi ion-ion logam di ekosistem perairan yang sering kali melebihi standar kesehatan dan keselamatan lingkungan akan memberikan dampak yang buruk bagi kesehatan. Pembuangan limbah cair industri yang mengandung ion logam berat ke perairan merupakan masalah pencemaran yang sangat serius karena dapat menurunkan kualitas air.

Permasalahan pembuangan limbah tersebut terjadi pada teknik pemisahan logam-logam berat dari limbahnya. Logam berat dari air limbah

tersebut dapat dipisahkan dengan cara fisika, kimia maupun biologi.

Penggunaan cara fisika dan kimia dinilai masih memiliki kekurangan dari segi teknis, yakni rumit, membutuhkan energi, dan juga dari segi ekonomis membutuhkan biaya yang cukup tinggi. Selain itu peraturan/undang-undang lingkungan internasional yang harus dipenuhi terkait dengan konsentrasi limbah ion logam berat sebelum dibuang ke perairan juga semakin ketat. Oleh karena itu, dikembangkan suatu sistem pemisahan logam berat dari limbah menggunakan mikroorganisme sebagai penyerap logam. Salah satu yang potensial adalah alga hijau yang banyak terdapat di alam^[1].

Pemanfaatan alga baik digunakan dalam bentuk biomassa bebas, termodifikasi dengan senyawa kimia untuk memasukkan gugus fungsi ataupun dengan dimasukkan ke dalam suatu matriks polimer. Alga dapat digunakan sebagai biosorben karena metode ini cukup efisien, biaya relatif murah, mudah diperoleh, dapat diregenerasi dan ion logam yang teradsorpsi dapat *direcovery* kembali.

Alga adalah salah satu organisme yang dapat tumbuh pada rentang kondisi yang luas di permukaan bumi. Alga biasanya ditemukan pada tempat-tempat yang lembap atau benda-benda yang sering terkena air dan banyak hidup pada lingkungan berair di permukaan bumi. Alga dapat hidup hampir di semua tempat yang memiliki cukup sinar matahari, air, dan karbondioksida, tetapi nutrisi yang ditambahkan manusia menyebabkan pertumbuhan alga yang berlebih. Hal tersebut disebabkan oleh masuknya unsur-unsur hara atau nutrisi tanaman yang berasal dari buangan hara yang mencapai badan

air, seperti fosfat dan nitrogen. Hal ini menyebabkan eutrofikasi sehingga terjadi "*algae bloom*", yakni pertumbuhan alga yang sangat pesat sehingga menutupi seluruh lapisan permukaan perairan. Khususnya di situ Agathis yang terletak diantara Kampus Politeknik Negeri Jakarta dan FMIPA UI, pertumbuhannya sangat pesat, berlebihan dan tak dapat dikontrol sehingga menimbulkan permasalahan ekologis yang sangat serius. Berdasarkan hal tersebut maka alga tersebut dapat digunakan sebagai biosorben logam berat untuk memisahkan logam dalam rangka meminimalisasi pencemaran perairan oleh logam berat^[2].

1.2. Perumusan Masalah

Alga yang digunakan pada penelitian sebelumnya tidak homogen sehingga interpretasi menjadi sulit, sehingga dibutuhkan pemurnian. Pada penelitian ini akan mempelajari tentang biosorpsi logam berat pada biomassa alga yang telah diisolasi yang berasal dari alam dan telah dibudidayakan dalam skala laboratorium agar didapatkan jenis alga yang lebih murni. Studi biosorpsi dilakukan di laboratorium dengan cara variasi konsentrasi larutan ion logam, waktu kontak, dan pH larutan awal. Selain itu dilakukan modifikasi untuk melihat pengaruh penambahan pereaksi kimia seperti EDTA untuk meningkatkan efisiensi adsorpsi alga tersebut.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah mempelajari aspek pengembangan kultur alga di laboratorium untuk mendapatkan kultur alga yang lebih spesifik dan homogen atau lebih murni, mempelajari penyerapan logam berat oleh biomassa alga hijau hasil budi daya, mempelajari pengaruh beberapa parameter terhadap efektivitas penyerapan logam oleh biomassa alga, dan mempelajari fenomena biosorpsi ion-ion logam pada alga termodifikasi secara fisik dan kimia.

1.4. Hipotesis

Dalam penelitian ini hipotesis yang dapat diajukan adalah biomassa alga hijau hasil budi daya dapat digunakan untuk menyerap logam-logam berat, serapan logam oleh biomassa alga tersebut dipengaruhi oleh variasi pH larutan awal, waktu kontak, konsentrasi larutan ion logam, pengaruh penambahan EDTA dapat meningkatkan efisiensi adsorpsi biosorben terhadap pengaruh asam atau basa, dan biomassa alga hijau hasil budi daya tersebut dapat diregenerasi sehingga diperoleh kembali ion logam berat yang terserap dengan jumlah persentase *recovery*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Alga

Alga merupakan organisme yang mengandung klorofil serta pigmen-pigmen lain untuk melangsungkan fotosintesis, tersebar luas di alam, dan dijumpai hampir di segala macam lingkungan yang terkena sinar matahari. Alga dapat berukuran makroskopik (makroalga), namun kebanyakan alga berukuran mikroskopik (mikroalga)^[3].

Alga di alam dapat tumbuh secara alami dengan diakselerasi oleh nutrisi yang berasal dari berbagai sumber eksternal. Masuknya unsur-unsur nutrisi tanaman yang berasal dari limbah, seperti fosfat dan nitrogen merupakan penyumbang utama terjadinya eutrofikasi, yang ditandai dengan terjadinya "*algae bloom*", yaitu pertumbuhan alga yang pesat sehingga menutupi seluruh lapisan permukaan perairan^[4].

Dalam sel alga terdapat sejumlah plastida, yaitu organel sel yang mengandung zat warna (pigmen). Plastida yang terdapat pada alga terutama kloroplas mengandung pigmen klorofil yang berperan penting dalam proses fotosintesis. Di dalam alga terkandung bahan-bahan organik seperti polisakarida, hormon, vitamin, mineral dan juga senyawa bioaktif. Alga dapat dikelompokkan ke dalam beberapa divisi, antara lain *Chlorophyta* (alga hijau), *Chrysophyta* (alga keemasan) disebut alga keemasan karena mempunyai pigmen warna kuning keemasan disebabkan oleh dominasi banyaknya

xantofil, *Phaeophyta* (alga pirang/coklat) disebut alga coklat karena mempunyai pigmen berwarna coklat yang disebabkan oleh dominasi banyaknya fikosantin dan *Rhodophyta* (alga merah) disebut alga merah karena mempunyai pigmen berwarna merah yang disebabkan banyaknya dominasi fikoeritrin^[5].

Alga terdiri dari alga makroskopik yang terdiri dari banyak sel dan alga mikroskopik yang hanya terdiri dari satu sel. Meskipun alga tidak memiliki struktur sekomples tumbuhan darat, fotosintesis pada keduanya terjadi dengan cara yang sama. Hanya saja karena alga memiliki berbagai jenis pigmen dalam kloroplasnya, maka panjang gelombang cahaya yang diserapnya pun lebih bervariasi. Semua alga menghasilkan oksigen dari proses fotosintesis alga itu sendiri. Hanya sebagian kecil saja yang bersifat heterotrof yang berarti bergantung pada materi yang dihasilkan oleh organisme lain.

Beberapa fungsi alga, antara lain sebagai sumber makanan, adsorben logam berat, sumber senyawa bioaktif, sumber senyawa alginat, penghasil bioetanol dan biodiesel, dan pupuk organik. Sejauh ini, pemanfaatan alga sebagai komoditi perdagangan atau bahan baku industri masih relatif kecil jika dibandingkan dengan keanekaragaman jenis alga yang ada di Indonesia. Padahal komponen kimiawi yang terdapat dalam alga sangat bermanfaat bagi bahan baku industri makanan, kosmetik, farmasi dan lain-lain. Berbagai jenis alga seperti *Griffithsia*, *Ulva*, *Enteromorpha*, *Gracilaria*, *Euchema*, dan *Kappaphycus* telah dikenal luas sebagai sumber makanan seperti salad

rumpun laut atau sumber potensial karagenan yang dibutuhkan oleh industri gel. Begitupun dengan *Sargasum*, *Chlorella/Nannochloropsis* yang telah dimanfaatkan sebagai adsorben logam berat, *Osmundaria*, *Hypnea*, dan *Gelidium* sebagai sumber senyawa bioaktif, *Laminariales* atau *Kelp* dan *Sargassum Muticum* yang mengandung senyawa alginat yang berguna dalam industri farmasi. Pemanfaatan berbagai jenis alga yang lain adalah sebagai penghasil bioetanol dan biodiesel ataupun sebagai pupuk organik^[6].

2.1.1. Alga Sebagai Adsorben Logam Berat

Pemanfaatan sistem adsorpsi untuk pengambilan logam-logam berat dari perairan telah banyak dilakukan. Beberapa spesies alga telah ditemukan mempunyai kemampuan yang cukup tinggi untuk mengadsorpsi ion-ion logam, baik dalam keadaan hidup maupun dalam bentuk sel mati (biomassa). Berbagai penelitian telah membuktikan bahwa gugus fungsi yang terdapat dalam alga mampu melakukan pengikatan dengan ion logam. Gugus fungsi tersebut terutama adalah gugus karboksil, hidroksil, sulfidril, amino, iomodazol, sulfat, dan sulfonat yang terdapat di dalam dinding sel dalam sitoplasma.

Kemampuan alga dalam menyerap ion-ion logam sangat dibatasi oleh beberapa kelemahan seperti ukurannya yang sangat kecil, berat jenisnya yang rendah dan mudah rusak karena degradasi oleh mikroorganisme lain. Untuk mengatasi kelemahan tersebut berbagai upaya dilakukan, diantaranya dengan mengimmobilisasi biomasanya. Immobilisasi biomassa dapat

dilakukan dengan menggunakan matrik polimer seperti polietilena glikol, akrilat, oksida (*oxides*) seperti alumina, silika, campuran oksida (*mixed oxides*) seperti kristal aluminasilikat, asam polihetero, dan karbon. Dalam penelitian kali ini dilakukan modifikasi untuk meningkatkan serapan dengan menambahkan senyawa kimia.

Berbagai mekanisme yang berbeda telah dipostulasikan untuk ikatan antara logam dengan alga/biomassa seperti pertukaran ion, pembentukan kompleks koordinasi, penyerapan secara fisik, dan pengendapan mikro. Tetapi hasil penelitian akhir-akhir ini menunjukkan bahwa mekanisme pertukaran ion adalah yang lebih dominan. Hal ini dimungkinkan karena adanya gugus aktif dari alga/biomassa seperti karboksil, sulfat, sulfonat dan amina yang akan berikatan dengan ion logam^[6].

Tabel 2. 1 Alga yang potensial sebagai biosorben^[6]

Spesies Alga	Logam Berat Teradsorpsi	Sumber Rujukan
<i>Cladophora glomerata</i>	Ni, V, Cd, Pb, Cr	Chmielewska dan Medved (2001)
<i>Galaxaura rugosa</i>	Cu, Zn	Rivai dan Supriyanto (2000)
<i>Scenedemus acutus</i>	Cd	Vilchez et al., 1997
<i>Corallina</i> sp.	Zn, Pb	Siswantoro (2001)
<i>Euchema isiforme</i>	Cr, Fe, Co, Cu, Zn, Cd, Pb	Fajarwati (2003)
<i>Phormidium</i> sp.	-	Maeda dan Ohki (1998)
<i>Fucus vesiculosus</i>	Pb, Cu	Kautsky (1998)
<i>Padina boergesenii</i>	Pb	Mamboya et al., 1999
<i>Sargassum</i> sp.	Pb, Cd, Cu	Buhani (2003)
<i>Nostoc</i> sp.	-	Maeda dan Ohki (1998)
<i>Euchema</i> sp.	Cd, Cr	Martadinata (2001)
<i>Euglena gracilis</i>	-	Vilchez et al., 1997
<i>Chaetocerus</i> sp.	Ni, V, Cd, Pb, Cr Pb, Cd	Noegrohati (1995)

2.1.2. Alga Hijau (*Chlorophyta*)

Alga hijau *Chlorophyta* merupakan kelompok alga yang paling beragam karena ada yang bersel tunggal, koloni dan bersel banyak. Alga bersel banyak (*multicellular*) dapat berbentuk benang, lembaran dan selain itu ada juga yang mempunyai bentuk yang hampir menyerupai tumbuhan tingkat tinggi.

Struktur sel mempunyai selaput membran inti (eukariotik), membran plastida dan mitokondria. Pigmen fotosintesisnya terdiri atas klorofil a dan b, bervariasi karotenoid, dan santofil^[5]. Pigmen warna yang lebih banyak dimiliki alga hijau adalah klorofil.

Alga hijau bersifat kosmopolit yang sering dijumpai di berbagai macam habitat. Alga merupakan produsen utama (*primary producer*) yang terdapat di dalam ekosistem air, baik di dalam air tawar maupun di dalam air laut.

Berbagai potensi telah dimanfaatkan dari alga hijau. Sebagian telah digunakan sebagai makanan atau bahan makanan penghasil unsur-unsur seperti protein (sumber penghasil Sel Tunggal), karbohidrat, dan vitamin. Fungsi lain dari alga hijau antara lain sebagai bioindikator dan bioremediator kondisi lingkungan air yang tercemar^[7].

2.1.2.1. *Scenedesmus* sp.

Kata *Scenedesmus* berasal dari bahasa Yunani. Skene artinya susunan papan dan desmos berarti ikatan^[8]. *Scenedesmus* termasuk ke dalam kelas *Chlorophyceae*, bangsa *Chlorococcales*, dan suku

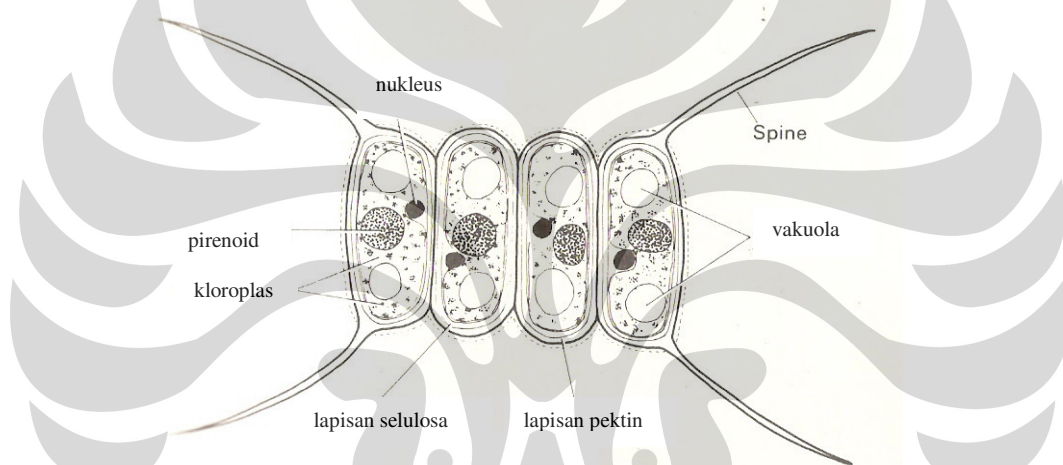
Scenedesmaceae^[5]. Marga *Scenedesmus* merupakan mikroalga eukariotik yang termasuk anggota divisi *Chlorophyta* (alga hijau)^[8].

Scenedesmus merupakan mikroalga yang dapat berbentuk uniseluler atau koloni yang umumnya terdiri atas 2,4,8 atau 16 sel secara lateral. Koloni *Scenedesmus* merupakan koloni *coenobitic*. Jumlah sel dalam koloni *Scenedesmus* bervariasi tergantung dari jenis^[5].

Koloni *Scenedesmus* dapat terbentuk apabila kondisi lingkungan memiliki konsentrasi nutrisi yang rendah terutama dari unsur nitrogen, sedangkan bentuk uniseluler terbentuk apabila kondisi lingkungan memiliki konsentrasi nutrisi yang tinggi. Selain konsentrasi nutrisi, pembentukan koloni *Scenedesmus* juga dipengaruhi oleh suhu. *Scenedesmus* yang diinkubasi pada suhu rendah (10° C) memiliki persentase koloni yang lebih banyak jika dibandingkan dengan *Scenedesmus* yang diinkubasi pada suhu ruang^[9].

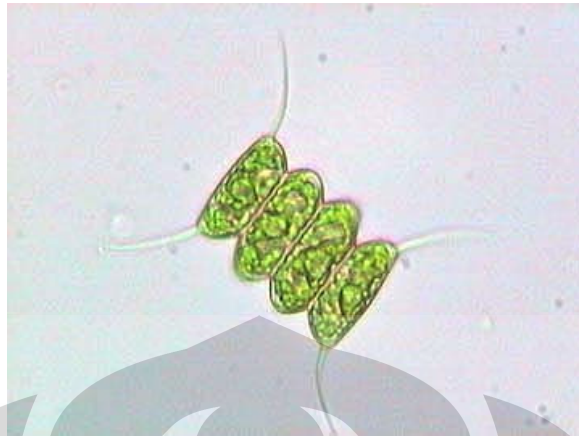
Sel *Scenedesmus* berbentuk silindris, ukuran bervariasi, panjang sekitar 8-20 µm dan lebar sekitar 3-9 µm^[10]. *Scenedesmus* memiliki struktur sel yang sederhana, seperti dapat dilihat pada gambar 2.1. Sel *Scenedesmus* diselubungi oleh dinding yang tersusun atas tiga lapisan. Tiap satu sel diselubungi lapisan dalam yang merupakan lapisan selulosa dan lapisan tengah merupakan lapisan tipis yang strukturnya seperti membran. Lapisan luar yang menyelubungi sel dalam koloni, berupa lapisan seperti jaring yang tersusun atas pektin dan dilengkapi oleh *bristles*^[11]. *Scenedesmus* berbentuk

silinder dengan bentuk pada bagian terminal berbentuk bulatan ataupun lancip. Pada beberapa jenis terdapat ornamen pada ujung terminalnya yang disebut *spine*^[5]. *Spine* berfungsi untuk keseimbangan, mendeteksi keberadaan pemangsa, atau membantu sel mencapai tempat yang mendapat cahaya dan nutrisi yang optimum^[8]. Setiap satu sel *Scenedesmus* mengandung satu inti sel dan mempunyai lapisan kloroplas yang mengandung pirenoid^[5].



Gambar 2. 1 Struktur morfologi *Scenedesmus quadricauda*.^[12]

Pigmen *Scenedesmus* terdiri atas klorofil a, klorofil b, dan karotenoid. Klorofil a berfungsi sebagai tempat untuk mengubah energi cahaya menjadi energi kimia dan klorofil b berfungsi sebagai pengumpul cahaya yang selanjutnya diteruskan ke klorofil a. Karotenoid berfungsi sebagai tempat pengumpul cahaya dan antioksidan yang berperan untuk mencegah kerusakan sel oleh radikal bebas^[5].

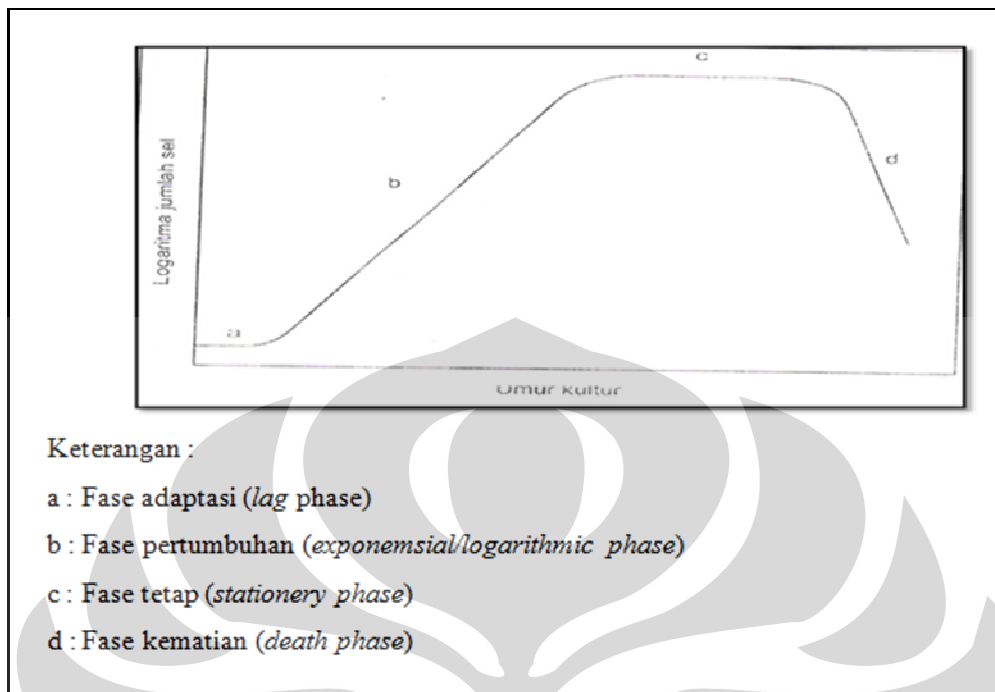


Gambar 2. 2 Struktur morfologi *Scenedesmus* sp.^[13]

Scenedesmus dapat ditemukan di perairan tawar, payau dan tanah. Marga *Scenedesmus* juga dapat ditemukan di perairan tercemar. Banyak jenis *Scenedesmus* yang ditemukan di perairan yang tercemar logam berat, contohnya *Scenedesmus bijuga*, *S. obliquus*, *S. quadricauda*, *S. armatus*, *S. serratus*, dan *S. iongus*^[8].

2.1.3. Pertumbuhan Mikroalga

Pertumbuhan mikroalga secara umum dapat didefinisikan sebagai pertambahan jumlah sel atau multiplikasi. Pertumbuhan tersebut dapat digambarkan dalam kurva seperti yang terlihat pada gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2. 3 Kurva pertumbuhan alga^[14]

Kurva pertumbuhan kultur mikroalga terdiri atas fase-fase yang umum terdapat pada kurva pertumbuhan mikroorganisme. Fase tersebut terdiri atas empat fase, yaitu fase adaptasi, fase eksponensial, fase tetap, dan fase kematian.

Tahap adaptasi merupakan periode penyesuaian diri mikroalga terhadap kondisi lingkungan yang baru. Pertambahan sel berlangsung sangat lambat pada fase adaptasi. Pada fase tersebut terjadi proses pembentukan enzim-enzim yang dibutuhkan untuk pertumbuhan. Pada fase adaptasi, beberapa jenis mikroalga mensintesis asam glikolat yang dibutuhkan untuk pertumbuhan.

Tahap pertumbuhan eksponensial merupakan periode yang ditandai dengan penambahan populasi mikroalga. Laju fotosintesis pada fase eksponensial akan mengalami peningkatan. Hasil fotosintesis tersebut akan digunakan untuk melakukan perbanyakan sel. Perbanyakan sel pada fase eksponensial dipengaruhi oleh kondisi lingkungan antara lain suhu, pH, intensitas cahaya dan komposisi medium.

Tahap pertumbuhan stasioner merupakan periode yang ditandai dengan populasi mikroalga yang cenderung tetap. Pada fase stasioner terjadi keseimbangan antara jumlah penambahan sel dan kematian sehingga populasi mikroalga cenderung tetap. Fase stasioner terjadi karena kadar nutrisi dalam medium telah berkurang atau akibat akumulasi sisa metabolisme dalam media. Laju fotosintesis pada fase tetap akan mengalami penurunan dan diikuti dengan penurunan kadar klorofil. Pada fase tetap juga terjadi akumulasi pigmen karotenoid yang menyebabkan kultur mikroalga berwarna kekuningan.

Tahap kematian merupakan periode yang ditandai dengan penurunan populasi mikroalga. Hal tersebut terjadi karena jumlah sel yang mati lebih besar dari pada sel membelah. Jumlah sel akan berkurang secara perlahan dan selanjutnya semakin cepat. Kematian sel umumnya diikuti dengan peristiwa pemecahan dinding sel (*cell lysis*)^[14].

2.2. Biosorpsi

Biosorpsi adalah pemindahan ion logam berat dari dari suatu larutan menggunakan biosorben material biologi. Biosorpsi juga dapat didefinisikan sebagai proses penggunaan bahan alami untuk mengikat logam berat.

Biosorpsi memiliki beberapa mekanisme, yaitu pertukaran ion, pengkelatan, dan difusi yang melewati dinding sel dan membran. Mekanisme biosorpsi yang terjadi tergantung dari biosorben yang digunakan.

Biosorpsi lebih efektif dengan adanya keasaman dan kehadiran ion-ion lainnya di dalam media tempat logam berat dapat terendapkan sebagai garam yang tidak larut. Pada saat ion logam berat tersebar ke permukaan sel, ion akan mengikat pada bagian permukaan sel berdasarkan kemampuan daya afinitas kimianya.

Pada proses adsorpsi, terjadi tarik-menarik antara molekul adsorbat (zat teradsorpsi) dan sisi-sisi aktif pada permukaan adsorben. Jika gaya tarik ini lebih kuat daripada gaya tarik antarmolekul adsorbat, maka terjadi perpindahan massa adsorbat dari fase gerak (fluida pembawa adsorbat) ke permukaan adsorben. Berdasarkan jenis gaya tariknya, dikenal adsorpsi fisik (fisorpsi) yang melibatkan gaya Van der Waals dan adsorpsi kimia (kimisorpsi) yang melibatkan reaksi kimia.

Penerapan logam oleh organisme dapat terjadi secara metabolisme-independent, yang terjadi pada sel hidup dan mati, terutama terjadi pada permukaan dinding sel melalui mekanisme kimia dan fisika, seperti pertukaran ion, pembentukan kompleks dan adsorpsi. Proses biosorpsi

meibatkan interaksi ionik, polar dan interaksi gabungan antara kation logam dengan biopolimer (makromolekul) sebagai sumber gugus fungsional seperti gugus karboksilat, amina, tiolat, fosfodiester, karbonil dan gugus fosfat, dapat berkoordinasi dengan atom pusat logam melalui pasangan elektron bebas^[15].

2.2.1. Proses Biosorpsi

Cara pengambilan (adsorpsi) logam berat pada alga dapat dibagi menjadi dua yaitu *passive uptake* dan *active uptake*. *Passive uptake* (penyerapan pasif) dimana pada proses ini terjadi ketika ion logam berat terikat pada permukaan alga mati sebagai biosorben. Mekanisme *passive uptake* dapat dilakukan dengan dua cara, pertama dengan cara pertukaran ion dimana ion pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat. Kedua adalah pembentukan senyawa kompleks antara ion-ion logam berat dengan gugus fungsional seperti karbonil, amino, thiol, hidroksi, dan hidroksi-karbonil secara bolak-balik dan cepat.

Active Uptake (penyerapan aktif) merupakan proses adsorpsi dengan mekanisme masuknya logam berat melewati membran sel sama dengan proses masuknya logam esensial melalui sistem transpor membran, hal ini disebabkan adanya kemiripan sifat antara logam berat dengan logam esensial dalam hal sifat fisika-kimia secara keseluruhan. Proses *active uptake* pada mikroorganisme dapat terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan dan akumulasi intraselular ion logam^[16].

2.3. Efisiensi Adsorpsi Biomassa Alga

Alga mempunyai kemampuan yang cukup tinggi dalam mengadsorpsi logam berat karena di dalam alga terdapat gugus fungsi yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam. Gugus fungsi tersebut terutama gugus karboksil, hidroksil, amina, sulfidril, imadazol, sulfat dan sulfonat yang terdapat dalam dinding sel dalam sitoplasma^[12]. Efisiensi dapat dilakukan dengan cara modifikasi dengan tujuan memasukkan gugus-gugus fungsi baru dengan suatu pereaksi kimia sehingga jumlah sisi aktif diharapkan akan semakin bertambah.

Penelitian mengenai studi awal pemanfaatan alga hijau sebagai biosorben ion logam Cd^{2+} , Zn^{2+} dan Cr^{3+} oleh Wanti Wulandari pada tahun 2007 yang meneliti tentang pemanfaatan biomassa campuran alga mati yang berasal dari Situ Agathis Universitas Indonesia sebagai biosorben ion logam $Cd(II)$, $Zn(II)$ dan $Cr(III)$ ^[17]. Selanjutnya penelitian ini berkembang dan menghasilkan penelitian studi biosorpsi ion logam $Cd(II)$ oleh alga termodifikasi (Wulandari, Diah. 2008) yang meneliti tentang pemanfaatan biomassa campuran alga mati yang berasal dari Situ Agathis Universitas Indonesia dengan ditambahkan zat pemodifikasi menggunakan EDTA (Etilen Diamin Tetra Asetat) dan asam oksalat sebagai biosorben ion logam $Cd(II)$ ^[18].

Torresdey, dkk. (1990), mengesterifikasikan gugus karboksil dari lima spesies alga yang berbeda, dengan menggunakan metanol dalam keadaan asam. Keluasan esterifikasi dipantau dengan menganalisa jumlah metanol

yang dibebaskan dalam sampel yang dihidrolisis menggunakan kromatografi gas. Pengaruh dan keluasaan esterifikasi terhadap pengikatan tembaga(II) oleh biomassa ditentukan pada pH 5,0 dan 2,0. Kapasitas pengikatan emas(III) meningkat dengan tajam karena esterifikasi gugus karboksil. Hasil ini menunjukkan bahwa gugus karboksil pada sel alga sangat berperan sebagai inhibitor dalam pengikatan emas(III)^[19].

Zhao dkk. (1994), telah meneliti pengaruh beberapa perlakuan pada serapan ion-ion logam dalam larutan oleh biomassa alga *E. bicyclis* dan *G. contera*. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa pada umumnya dalam 15 atau 30 menit sudah tercapai serapan maksimum. Perlakuan pada suhu sampai 60° C hanya sedikit mempengaruhi serapan. Penambahan NaOH pada laga *E. bicyclis* dan *G. contera* meningkatkan penyerapan Pb, Cu, Zn dan Cd. Penambahan asam nitrat sampai dengan 1 M meningkatkan penyerapan Au, Ag, dan Hg^[20].

Mawardi. (2000), telah meneliti biosorpsi logam timbal(II) oleh biomassa alga hijau yang merupakan campuran dari spesies *Oedogonium gigantium* dan *Cladophora glomerata* mati. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa kira-kira 63,6% dari total serapan terjadi pada 2,5 menit pertama waktu kontak. Penyerapan meningkat dengan tajam pada jangka pH 2,0 dan 3,0 dan penyerapan meningkat secara linier sebagai fungsi dari konsentrasi ion timbal(II) sampai 200 mg/L. Kapasitas serapan maksimum yang diperoleh adalah 19,53 mg Pb/g. Keberadaan masing-masing kation Ca^{2+} , Cu^{2+} , dan Ag^+ bersama-sama dengan kation Pb^{2+} dalam larutan menyebabkan

turunnya jumlah logam timbal yang terserap masing-masing 4,8%; 14,9%; dan 6,5% dari jumlah maksimum serapan, sedangkan pengaruh perlakuan biomassa dengan reagen pmodifikasi asetat anhidrida, glikol, dan metanol 99,9% masing-masing menyebabkan berkurangnya jumlah logam timbal yang terserap oleh biomassa masing-masing sekitar 12,8%; 45,2%; dan 30,9% dari jumlah maksimum serapan^[21].

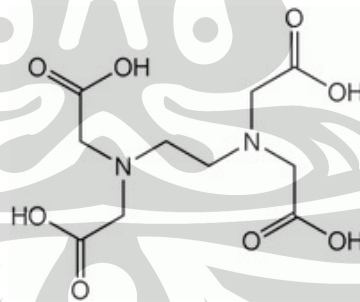
Yin dkk. (2001), telah meneliti sifat adsorpsi dan desorpsi kadmium(II) dari larutan menggunakan biomassa alga laut *Laminaria japonica*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kapasitas penyerapan tergantung pada pH larutan dan kapasitas maksimum penyerapan sekitar 1,3 mmol/g berat kering pada pH 6. Kadmium teradsorpsi tidak terdesorpsi dengan air destilat, tetapi efektif terdesorpsi dengan larutan asam atau EDTA. Kesetimbangan isotherm dapat digambarkan dengan baik dengan persamaan adsorpsi Langmuir. Perlakuan pendahuluan biomassa dengan larutan kalsium memperlihatkan peningkatan kapasitas penyerapan (sekitar 30%). Kinetika perendaman memperlihatkan bahwa lebih dari 90% adsorpsi terjadi dalam 20 menit pengadukan dan kesetimbangan dicapai lebih 1 jam. Penelitian ini memperlihatkan bahwa biomassa *L. japonica* dapat digunakan sebagai biosorben yang efisien untuk memindahkan dan memperoleh kembali kadmium(II) dari aliran limbah cair^[22].

Saitoh dkk. (2001), telah meneliti kontribusi gugus fungsi karboksilat, amino, dan thiol yang terdapat pada biomassa *Chlorella*, dalam menyerap logam. Dalam penelitian digunakan 1-etil-3-(3-dimetilaminopropil)

karbodiimida hidroklorida (EDC), glutaraldehid dan N-maleimida sebagai *blocking agent*, masing-masing untuk gugus asam karboksilat, gugus amina, dan thiol^[23].

Modifikasi berfungsi untuk mempelajari seberapa jauh peranan gugus fungsi yang terkandung dalam suatu biomassa. Modifikasi tersebut dapat dilakukan dengan berbagai bahan kimia yang mengandung gugus-gugus karboksil seperti asam oksalat, asam malat, EDTA (Etilen Diamin Tetra Asetat) dan sebagainya.

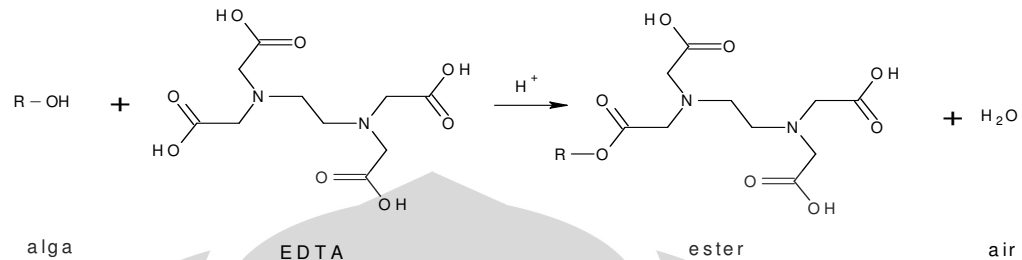
EDTA merupakan salah satu agen pemodifikasi yang cukup baik karena mengandung empat gugus karboksil. Semakin besar dan banyak gugus karboksil maka daya adsorpsi biomassa alga tersebut akan semakin baik karena akan semakin banyak situs aktif yang terbentuk.



Gambar 2. 4 Struktur EDTA^[24]

Secara teoritis, gugus fungsi alkohol dengan asam karboksilat dalam suasana asam akan berubah menjadi ester. Reaksi spesifik kimia organik

dari suatu gugus karboksil dengan alkohol dalam suasana asam menghasilkan satu ester dan air, yang disebut dengan reaksi esterifikasi.



Gambar 2. 5 Reaksi esterifikasi alga dengan EDTA

2.4. Logam Berat

Logam berat didefinisikan sebagai suatu jenis logam yang mempunyai bobot atom kalsium dan atom lebih besar dari bobot atom kalsium dan densitasnya lebih besar dari 5 g/cm³. Logam berat berjumlah lebih dari 70 unsur, memiliki nomor atom 22-92 dan terdapat pada periode IVA dan VIIA. Logam berat dalam tubuh manusia jumlahnya sangat sedikit dan bersifat esensial karena digunakan untuk aktifitas kerja enzim misalnya zink (Zn), tembaga (Cu), besi (Fe) dan beberapa unsur lainnya seperti kobalt (Co), mangan (Mn), dan lainnya. Beberapa logam berat bersifat non-esensial dan toksik terhadap makhluk hidup seperti kadmium dan timbal^[25].

2.4.1. Kadmium (Cd)

Kadmium memiliki nomor atom 48, bobot atom 112,4, densitas 8,6 g/cm³, titik didih 756°C (Reilly, 1991). Kadmium berwarna putih keperakan menyerupai aluminium. Kadmium memiliki sifat tahan panas, sehingga

sangat bagus untuk melapisi plat besi dan baja. Kadmium digunakan untuk melapisi plat besi dan baja. Kadmium digunakan untuk elektrolisis, bahan pigmen untuk industri cat, enamel dan plastik. Kadmium dalam bentuk garam Cd dari asam lemah digunakan sebagai katalis pada pembuatan PVC ataupun plastik untuk mencegah radiasi dan oksidasi. Kadmium juga digunakan dalam pembuatan aki dalam bentuk campuran Cd-Ni. Logam kadmium biasanya selalu dalam bentuk campuran dengan logam lain terutama dalam pertambangan timah hitam dan seng.

Keberadaan Cd di alam bercampur dengan seng dan timbal. Ekstrak serta pengolahan seng dan timbal sering menyebabkan pencemaran lingkungan oleh Cd. Logam berat Cd juga berasal dari industri kimia (industri cat, zat warna, fotografi, karet, pupuk, pestisida dan baterai), pelapis logam dan campuran logam.

Logam Cd merupakan logam paling beracun setelah Hg. Limbah logam ini banyak dilepaskan di daerah dekat tambang dan tempat peleburan logam-logam timbal (Pb) dan seng (Zn). Sumber lainnya yaitu dari sisa lumpur kotor sebagai pupuk tanaman pangan. Kadmium digunakan sebagai pigmen dalam pembuatan keramik, penyepuhan listrik, pembuatan aloi dan baterai alkali^[26].

Tabel 2. 2 Sifat-sifat fisika dari logam Kadmium (Cd)^[26]

No.	Spesifikasi	Kadmium (Cd)
1	Nomor atom	48
2	Nomor massa	112,41
3	Elektronegativitas	1,7
4	Berat jenis (g/mL)	8,65
5	Titik didih (°C)	765
6	Titik lebur (°C)	320,8
7	Jari-jari kovalen (Å)	11,41
8	Ionisasi (kJ/mol)	876
9	Panas penguapan (kJ/mol)	6,4 (± 0,2)
10	Panas peleburan (kJ/mol)	100,0 (± 2,1)

2.5. Isoterm Adsorpsi

Adsorpsi sering dirangkaikan dengan istilah isoterm, yang menunjukkan hubungan antara aktivitas (konsentrasi) fase cair dari adsorbat dan jumlah adsorben pada suhu konstan. Isoterm menggambarkan kesetimbangan yang tercapai setelah permukaan adsorben mengadakan kontak dengan adsorbat dalam jangka waktu tertentu dan suhu yang tetap. Adsorpsi biasa dimodelkan dengan istilah isoterm yang merupakan fungsi konsentrasi zat terlarut yang terserap pada padatan terhadap konsentrasi larutan.

Persamaan yang biasa digunakan untuk menjelaskan data percobaan isoterm dikaji dan dikembangkan oleh Freundlich dan Langmuir^[27].

2.5.1. Isoterm Langmuir

Isoterm Langmuir dipelajari untuk menggambarkan pembatasan sisi adsorpsi dengan asumsi bahwa sejumlah tertentu sisi sentuh adsorben ada pada permukaannya dan semuanya memiliki energi yang sama, serta adsorpsi bersifat balik. Isoterm Langmuir terjadi secara kimisorpsi satu lapisan. Isoterm Langmuir diturunkan berdasarkan teori dengan persamaan 2.1.

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{a_m} + \frac{1}{a_m k} \cdot \frac{1}{c} \quad [2.1]$$

Persamaan 2.1 diatas juga dapat diubah menjadi 2.2

$$\frac{c}{a} = \frac{c}{a_m} + \frac{1}{a_m k} \quad [2.2]$$

Dengan a adalah miligram (mmol) logam yang terserap per gram biomassa, k adalah konstanta kesetimbangan (afinitas serapan), c adalah konsentrasi ion bebas saat setimbang (mg/L) dan a_m adalah miligram (mmol) logam terserap pada keadaan jenuh atau kapasitas maksimum, dalam mg/g atau mmol/g.

Pada konsentrasi c yang tinggi menyebabkan faktor bilangan 1 dalam persamaan diatas dapat diabaikan sehingga persamaan menjadi konstan. Pada kondisi ini, permukaan adsorben menjadi jenuh dan serapan mencapai maksimal.

Dengan mengukur nilai C/a sebagai fungsi y , serta C sebagai sumbu x maka akan diperoleh nilai k (afinitas serapan) dan a_m (kapasitas maksimum) dari nilai *slope* dan *intercept*^[27].

2.5.2. Isoterm Freundlich

Isoterm yang paling umum digunakan adalah isoterm Freundlich yang lebih baik dalam mengkarakterisasi kebanyakan proses adsorpsi. Pada isoterm Freundlich proses biosorpsi terjadi secara fisorpsi banyak lapisan. Isoterm Freundlich menganggap bahwa pada semua sisi permukaan adsorben akan terjadi proses adsorpsi dibawah kondisi yang diberikan. Isoterm Freundlich tidak mampu memperkirakan adanya sisi-sisi pada permukaan yang mampu mencegah adsorpsi pada saat keseimbangan tercapai, dan hanya ada beberapa sisi aktif saja yang mampu mengadsorpsi molekul terlarut. Pada proses adsorpsi zat terlarut oleh permukaan padatan diterapkan isoterm Freundlich yang diturunkan secara empiris dalam bentuk persamaan 2.3.

$$m = kc^{\frac{1}{n}} \quad [2.3]$$

Apabila dilogartimkan, persamaan 2.3 akan menjadi persamaan 2.4

$$\log m = \log k + \frac{1}{n} \log c \quad [2.4]$$

Dengan m adalah jumlah zat yang terserap per gram zat penyerap, c merupakan konsentrasi zat terserap saat setimbang dan k serta n merupakan

suatu ketetapan. Dengan mengukur nilai $\log x/m$ sebagai fungsi x , serta $\log c$ sebagai fungsi y maka akan didapat nilai n dan k dari nilai *slope* dan *intercept*^[27].

2.6. Instrumentasi

2.6.1. Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

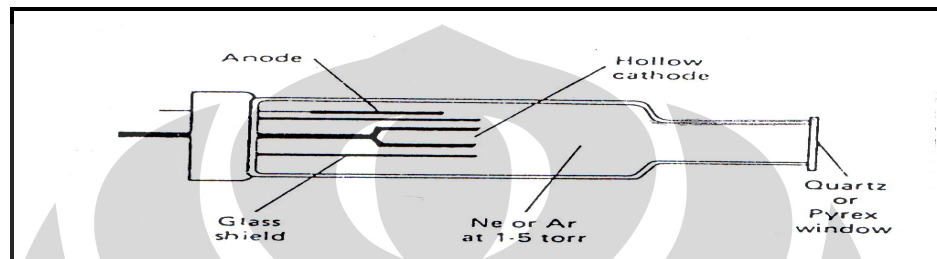
Spektrofotometer serapan atom (*Atomic Absorption Spectrophotometer*, AAS) merupakan instrument yang menggunakan metode analisis untuk penetapan unsur logam dan metaloid berdasarkan penyerapan (absorpsi) radiasi oleh atom bebas suatu unsur. Spektrofotometri serapan atom didasarkan pada absorpsi radiasi gelombang elektromagnetik oleh atom-atom.

Atom mempunyai dua tingkat keadaan energi, yaitu energi keadaan dasar (*ground state*) dan keadaan tereksitasi (*excited state*). Atom tersebut mengabsorpsi radiasi dari sumber cahaya yang dipancarkan lampu katoda (*hallow cathode lamp*) yang mengandung unsur yang akan ditentukan.

Perbedaan tingkat energi dari keadaan dasar kekeadaan tereksitasi untuk setiap unsur adalah khas sebagai panjang gelombang cahaya yang diabsorpsi setiap unsur tertentu.

Komponen dasar dari AAS adalah sumber radiasi, atomizer, sistem optik, monokromator, dan detektor. Sumber radiasi akan memancarkan sinar radiasi elektromagnet pada panjang gelombang yang diinginkan. Pada umumnya sumber yang digunakan dalam instrument AAS yaitu sumber

kontinyu. Sumber radiasi yang kini banyak dipakai adalah *Hallow Cathode Lamp (HCL)* atau lampu katoda berongga. Yang dapat dilihat pada Gambar 2.7.



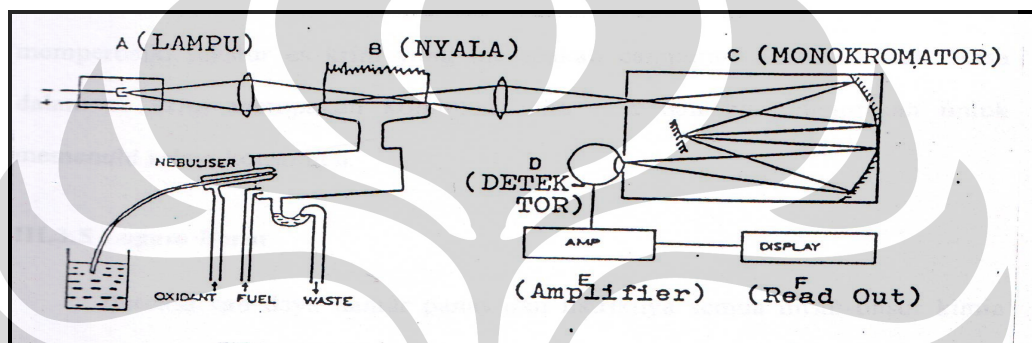
Gambar 2. 6 Lampu katoda berongga [28]

Atomizer terdiri dari *nebulizer*, *spray chamber*, dan *burner*. *Nebulizer* yaitu alat yang langsung kontak dengan larutan contoh yang biasanya mengandung asam-asam. *Nebulizer* berfungsi untuk mengubah larutan menjadi aerosol. Sistem *nebulizer-burner* adalah jantungnya AAS, karena disinilah efisiensi pengatoman ditentukan, jadi langsung akan berpengaruh terhadap kepekaan analisis.

Sistem optik berfungsi mengumpulkan cahaya dari sumbernya, melewatkan ke contoh dan kemudian ke monokromator. Sistem optik dapat berupa *single beam* maupun *double beam*.

Monokromator berfungsi monokromator di dalam alat ini bukan untuk memonokromatisasikan cahaya dari sumber sinar, tetapi untuk cahaya dari nyala pembakarnya.

Detektor pada AAS biasanya dipakai *photomultiplier tube*. Tenaga listrik yang dihasilkan dari detektor kemudian diteruskan ke *amplifier* setelah itu baru diteruskan ke sistem pembacaan. Skala yang dibaca dalam satuan %T atau absorbans yang dapat dibaca dalam *read out*. Skema alat dapat dilihat pada Gambar 2.8 ^[28].



Gambar 2. 7 Bagan alat Spektrofotometer Serapan Atom menggunakan nyala pada proses pengatoman ^[28]

2.6.2. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang mampu memproduksi gambar dari sebuah permukaan sample dengan resolusi tinggi. Disebabkan cara dimana gambar dibuat, gambar SEM memiliki karakteristik kualitas 3 dimensi dan berguna untuk memperkirakan struktur permukaan dari suatu sampel.

Pada proses scanning dalam konfigurasi SEM yang khas, elektron secara termionik (memerlukan kalor) teremisi dari filamen katoda tungsten atau lanthanum heksaboride (LaB_6) menuju anoda, elektron lainnya teremisi

melalui medan emisi. Sinar elektron, yang khas memiliki energi dari keV yang rendah sampai 50 keV, yang difokuskan oleh dua lensa kondensor berturut-turut, menuju sinar dengan ukuran spot yang baik (~5nm). Sinar lalu dilewatkan melalui lensa objektif, dimana pasangan *scanning coil* membelokkan sinar secara linier atau dalam penampilan *raster* melewati daerah persegi panjang dari permukaan sample. Sebagai elektron utama yang menumbuk permukaan mereka dihamburkan secara inelastis oleh atom dalam sample. Melalui peristiwa penghamburan ini, sinar utama menyebar secara efektif dan menempati volum berukuran kecil, dikenal dengan nama volum interaksi, memperluas permukaan dari 1µm sampai 5 µm. Interaksi dalam daerah ini berperan dalam emisi berikutnya dari elektron yang kemudian dideteksi untuk menghasilkan gambar sinar X, yang juga dihasilkan oleh interaksi elektron dengan sample, yang mungkin juga dapat dideteksi dalam SEM yang dilengkapi untuk spektroskopi energi dispersi sinar X.

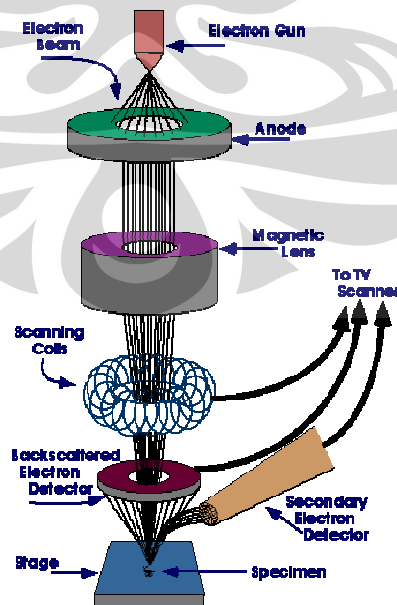
Deteksi elektron sekunder merupakan metode penggambaran umum dimana terjadi penangkapan elektron sekunder dengan energi rendah (<50 eV). Karena energinya yang rendah, elektron ini harus berasal dari jarak yang pendek dari permukaan. Elektron dideteksi oleh alat *scintillator-photomultiplier*, dan menghasilkan sinyal untuk mengatur intensitas CRT (*Cathode Ray Tube*) yang diraster dalam sambungan dengan sinar utama *raster scanned*. Karena elektron sekunder berasal dari daerah yang dekat

permukaan, terangnya sinyal tergantung pada daerah permukaan yang ditampakkan untuk sinar utama. Daerah permukaan ini relative kecil untuk permukaan yang datar, tetapi lebih besar untuk permukaan yang bertingkat. Jadi permukaan yang bertingkat dan bertepi (jurang) cenderung lebih terang daripada permukaan yang datar menghasilkan gambar dengan kontras tiga dimensi yang bagus. Dengan teknik ini, memungkinkan resolusi yang diharapkan 5 nm.

Deteksi dari elektron yang dihamburkan balik (*Backscattered Electron*) merupakan tambahan untuk elektron sekunder, elektron yang dihamburkan balik (pada dasarnya elektron utama yang dihamburkan secara elastis) dapat juga dideteksi. Elektron yang dihamburkan balik dapat digunakan untuk mendeteksi detail dari topologi dan komposisi, meskipun energinya yang lebih tinggi (kira-kira sama dengan sinar utama) elektron ini mungkin dihamburkan dari bagian yang dalam dari sample. Ini menghasilkan perbedaan topologi yang lebih rendah daripada elektron sekunder. Tetapi, peluang dari penghamburan balik merupakan fungsi dari nomor atom, jadi beberapa perbedaan antara daerah dengan perbedaan komposisi kimia dapat diamati khususnya ketika nomor atom rata-rata dari daerah yang berbeda juga berbeda.

Resolusi SEM tergantung dari ukuran spot elektron yang kemudian tergantung pada sistem optik elektron magnetik yang menghasilkan sinar *scanning*. Resolusi juga dibatasi oleh ukuran volum interaksi, atau luas material yang berinteraksi dengan sinar elektron. Ukuran spot dan volum

interaksi keduanya lebih besar dibanding jarak antar atom, jadi resolusi dari SEM tidak cukup tinggi untuk menggambarkan skala atom, yang mungkin dilakukan dengan *transmission electron microscope* (TEM). TEM adalah teknik penggambaran untuk sinar elektron yang difokuskan di atas specimen yang menyebabkan versi yang diperluas untuk menampilkan layar fluoresen atau lapisan film fotografi, atau dapat dideteksi oleh kamera CCD. SEM memiliki keuntungan yang mengimbangi kerugian yaitu kemampuan untuk menggambarkan daerah yang luas dari specimen, kemampuan untuk menggambarkan material yang memiliki bagian terbesar (tidak hanya film tipis atau *foil*), dan berbagai cara analisis yang cocok untuk menentukan komposisi dan sifat dasar specimen. Umumnya, gambar SEM lebih mudah diinterpretasikan daripada gambar TEM, dan kebanyakan gambar SEM benar-benar bagus, jauh dari nilai ilmiahnya [29].



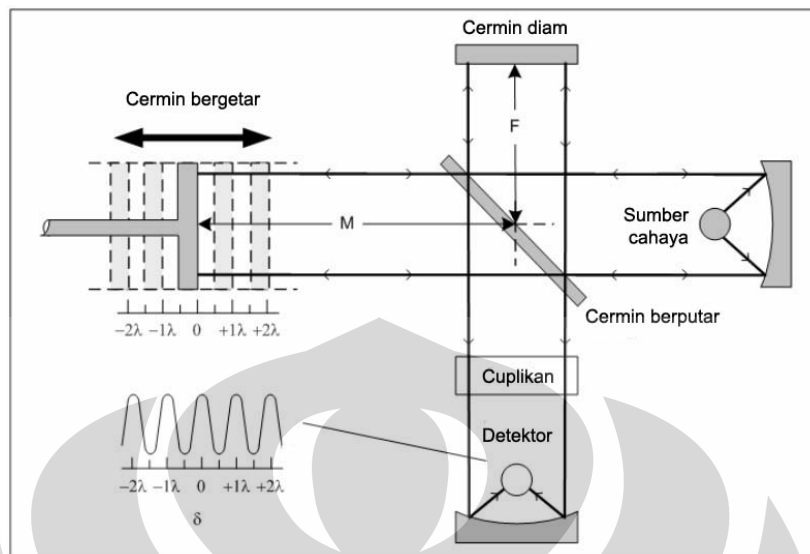
Gambar 2. 8 Skema alat SEM [29]

2.6.3. *Fourier Transform Infra Red (FT-IR)*

Pada dasarnya *Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red (FTIR)* adalah sama dengan *Spektrofotometer Infra Red dispersi*, yang membedakannya adalah pengembangan pada sistem optiknya sebelum berkas sinar infra merah melewati contoh. Dasar pemikiran dari *Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red* adalah dari persamaan gelombang yang dirumuskan oleh Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) seorang ahli matematika dari Perancis.

Dari deret Fourier tersebut intensitas gelombang dapat digambarkan sebagai daerah waktu atau daerah frekuensi. Perubahan gambaran intensitas gelombang radiasi elektromagnetik dari daerah waktu ke daerah frekuensi atau sebaliknya disebut *Transformasi Fourier (Fourier Transform)*.

Selanjutnya pada sistem optik peralatan instrumen *Fourier Transform Infra Red* dipakai dasar daerah waktu yang non dispersif. Sebagai contoh aplikasi pemakaian gelombang radiasi elektromagnetik yang berdasarkan daerah waktu adalah interferometer yang dikemukakan oleh Albert Abraham Michelson (Jerman, 1831). Perbedaan sistem optik *Spektrofotometer Infra Red dispersif* dan *Interferometer Michelson* pada *Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red* tampak pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 9 Sistem optik spektrofotometer FT-IR [30]

Cara kerja alat Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* yakni sistem optik Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* seperti pada gambar 2.10 dilengkapi dengan cermin yang bergerak tegak lurus dan cermin yang diam. Dengan demikian radiasi infra merah akan menimbulkan perbedaan jarak yang ditempuh menuju cermin yang bergerak (M) dan jarak cermin yang diam (F). Perbedaan jarak tempuh radiasi tersebut adalah 2 yang selanjutnya disebut sebagai retardasi (δ). Hubungan antara intensitas radiasi IR yang diterima detektor terhadap retardasi disebut sebagai interferogram. Sedangkan sistem optik dari Spektrofotometer Infra Red yang didasarkan atas bekerjanya interferometer disebut sebagai sistem optik *Fourier Transform Infra Red*.

Pada sistem optik *Fourier Transform Infra Red* digunakan radiasi LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) yang

berfungsi sebagai radiasi yang diinterferensikan dengan radiasi infra merah agar sinyal radiasi infra merah yang diterima oleh detektor secara utuh dan lebih baik.

Detektor yang digunakan dalam *Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red* adalah *Tetra Glycerine Sulphate* (TGS) atau *Mercury Cadmium Telluride* (MCT). Detektor MCT lebih banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan detektor TGS, yaitu memberikan respon yang lebih baik pada frekwensi modulasi tinggi, lebih sensitif, lebih cepat, tidak dipengaruhi oleh temperatur, sangat selektif terhadap energi vibrasi yang diterima dari radiasi infra merah.

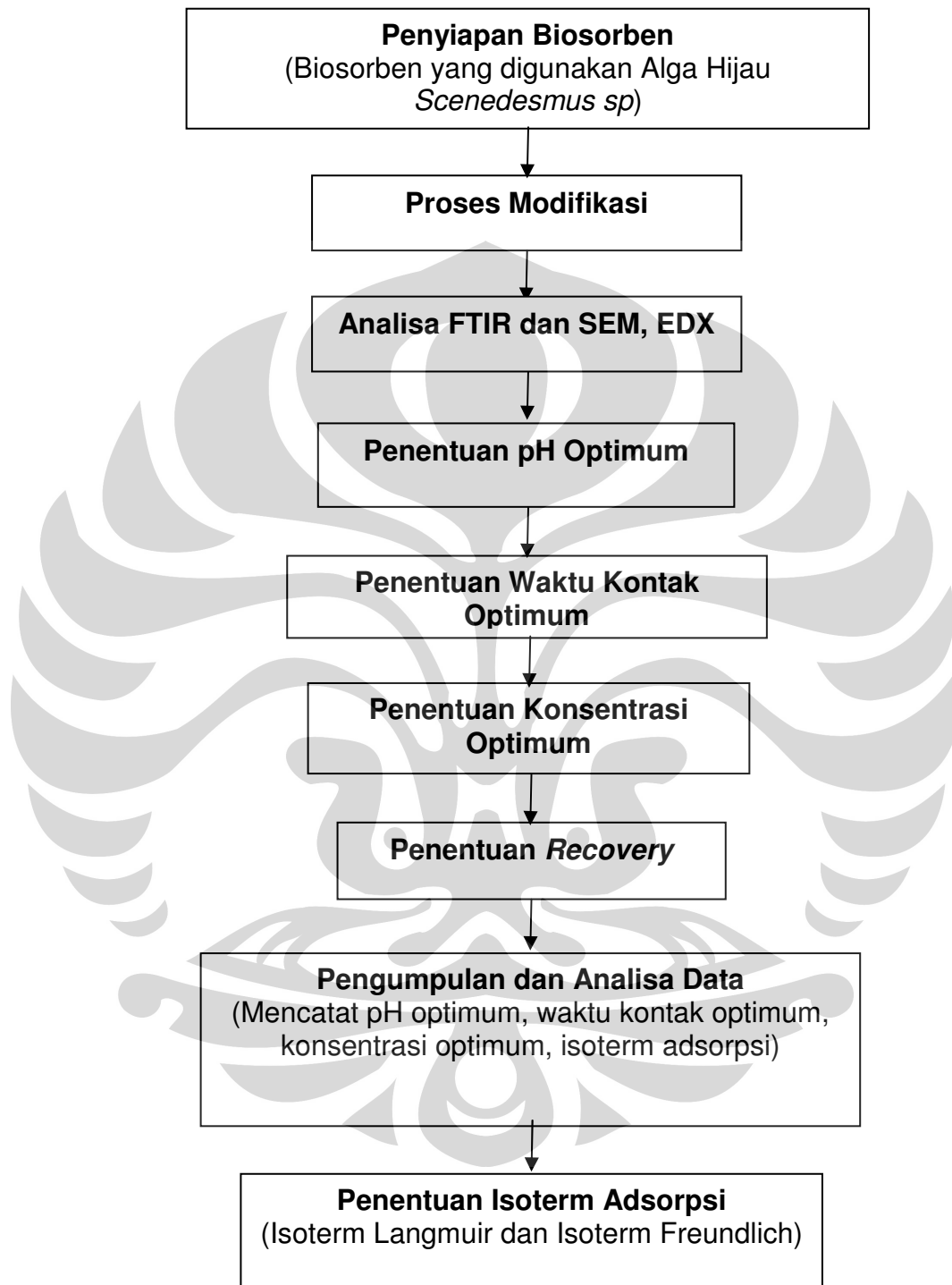
Keunggulan *Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red* adalah dapat digunakan pada semua frekwensi dari sumber cahaya secara simultan sehingga analisis dapat dilakukan lebih cepat daripada menggunakan cara sekuensial atau pemindaian dan memiliki sensitifitas yang lebih besar daripada cara dispersi, sebab radiasi yang masuk ke sistim detektor lebih banyak karena tanpa harus melalui celah ^[30].

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Alga yang digunakan merupakan hasil budidaya dalam skala laboratorium yang didapat dari perairan situ Agathis yang terletak diantara Kampus Politeknik Negeri Jakarta dan FMIPA UI sebagai induk. Kemudian dilakukan budidaya alga dalam Laboratorium Rumah Kaca Departemen Biologi FMIPA UI. Kemudian dilakukan pengkulturan selama beberapa hari dan dilakukan pengamatan setiap harinya. Alga yang didapat kemudian dimodifikasi dengan penambahan EDTA kemudian dikontakkan dengan larutan analit (larutan logam) dengan sistem batch. Untuk analisa biomassa alga hijau hasil budidaya yang telah dimodifikasi dikarakterisasi morfologinya dengan menggunakan alat SEM dan karakteristik gugus fungsi dalam biomassa dengan FT-IR. Kemampuan alga tersebut dalam menyerap logam berat digunakan AAS serta kapasitas suatu biomassa sebagai adsorben dapat digambarkan dengan kesetimbangan isoterm Langmuir dan Freundlich.

3.1. Alur Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

Dalam penelitian ini digunakan biomassa alga yang merupakan hasil budidaya dalam skala laboratorium yang didapat dari perairan situ Agathis yang terletak diantara Kampus Politeknik Negeri Jakarta dan FMIPA UI sebagai induk. Kemudian dilakukan budidaya alga dalam Laboratorium Rumah Kaca Departemen Biologi FMIPA UI. Alga tersebut kemudian dimodifikasi dengan penambahan EDTA untuk melihat pengaruh efisiensi adsorpsi biosorben terhadap pengaruh asam atau basa. Prosedur yang digunakan dengan sistem batch yakni dengan pengontakkan langsung suatu larutan analit terhadap alga yang telah dimodifikasi tersebut. Parameter yang digunakan untuk melihat proses biosorpsi tersebut adalah konsentrasi ion logam, jenis ion logam berat, kuantitas biomassa, waktu kontak, dan pH larutan awal. Untuk analisa biomassa alga hijau hasil budidaya yang telah dimodifikasi dikarakterisasi morfologinya dengan menggunakan alat SEM dan karakteristik gugus fungsi dalam biomassa dengan FT-IR. Sementara kemampuan alga untuk menyerap logam berat digunakan AAS dengan nyala udara asetilen serta kapasitas suatu biomassa sebagai adsorben dapat digambarkan dengan kesetimbangan isoterm Langmuir dan Freundlich.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat Percobaan

Peralatan yang digunakan pada percobaan ini adalah alat-alat gelas laboratorium, alat-alat laboratorium, dan alat-alat analisa instrumentasi. Alat-alat laboratorium terdiri dari *magnetic stirrer* sebagai alat pengaduk,

timbangan digital untuk pengukuran berat, *sentrifuge* berfungsi untuk memisahkan campuran dari *support* dan memisahkan air dari minyak, pH meter digunakan untuk mengukur pH larutan, *shaker* untuk pengocokan, oven digunakan untuk mengeringkan alga, *aerator* yang digunakan untuk memompa air yang akan dialirkan ke dalam aquarium yang mengandung biakan alga. Sedangkan analisa instrumentasi terdiri atas AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*), FTIR (*Fourier Transform Infra Red*), SEM (*Scanning Electron Magnetic*) dan EDX (*Energy Dispersive X-ray*).

3.2.2. Bahan Percobaan

Bahan-bahan yang digunakan terdiri atas padatan dan larutan. Padatan yang digunakan, yakni CdSO_4 (Kadmium Sulfat) untuk membuat larutan Cd(II), Na-EDTA untuk membuat larutan EDTA sebagai zat pemodifikasi, dan pupuk NPK sebagai media kultur alga.

Sementara larutan yang digunakan adalah HNO_3 (Asam Nitrat) dan NH_4OH sebagai larutan untuk mengatur pH, aquadest bebas ion sebagai pelarut, aquabidest bebas ion untuk alat AAS.

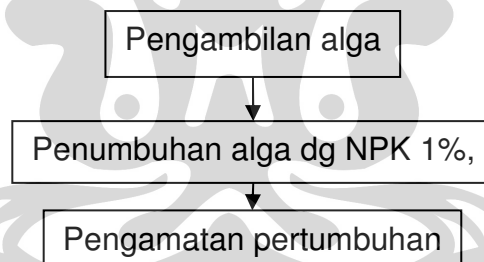
3.3. Prosedur Percobaan

3.3.1. Budidaya Alga

Biomassa alga yang digunakan merupakan hasil budidaya dalam skala laboratorium yang didapat dari dari perairan situ Agathis yang terletak diantara Kampus Politeknik Negeri Jakarta dan FMIPA UI sebagai induk.

Budidaya alga dilakukan dalam Laboratorium Rumah Kaca Departemen Biologi FMIPA UI dalam aquarium berukuran 10 liter. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan inokulasi kasar.

Selama budidaya, sinar matahari digunakan sebagai sumber cahaya, kebutuhan oksigen dan karbondioksida dipasok dengan mengalirkan udara ke dalam aquarium menggunakan *aerator*. Sebagai sumber makanan ditambahkan suatu pupuk yang mengandung fosfat, dalam hal ini digunakan pupuk NPK 1%. Dilihat dari alga yang terbentuk secara alami berasal dari berbagai unsur nutrisi tanaman yang berasal dari limbah seperti fosfat dan nitrogen, oleh sebab itu digunakan pupuk NPK dan juga NPK cukup mudah didapat serta relatif murah.



Gambar 3. 2 Diagram alir budidaya alga hijau *Scenedesmus* sp.

3.3.2. Pengamatan Pertumbuhan Alga

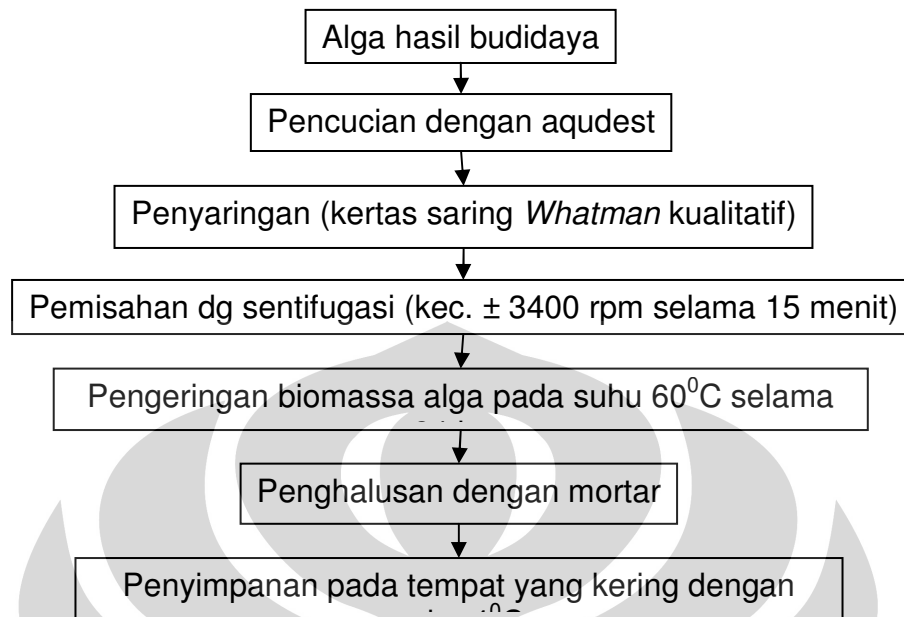
Pengamatan dilakukan di Laboratorium Tumbuhan Departemen Biologi FMIPA UI selama delapan hari. Sampel alga hijau hasil budidaya tersebut dilakukan pengamatan setiap harinya dengan mikroskop. Dari pengamatan di bawah mikroskop diketahui jenis alga yang tumbuh dengan

mengetahui bentuk sel. Disamping itu diketahui juga populasi jumlah sel alga yang tumbuh setiap harinya dengan metode *counting chamber Improved Neubauer*. Dengan mengetahui populasi jumlah sel alga setiap harinya akan diketahui waktu terbaik untuk mengambil alga tersebut, yakni dengan mengetahui fasa stasioner dari laju pertumbuhannya.

Penghitungan sel dilakukan dengan menggunakan kamar hitung *Improved Neubaur*. Sel yang dihitung adalah sel yang berada 4 di kotak besar yang terletak di sudut luar kamar *Improved Neubaur*. Masing-masing kotak tersebut memiliki volume 1mm^3 . Jumlah sel dalam 1 mL dihitung dengan rumus $n \times p \times 2500$ sel dengan n adalah jumlah sel dalam 4 kotak dan n adalah pengenceran ^[31].

3.3.3. Persiapan Biomassa

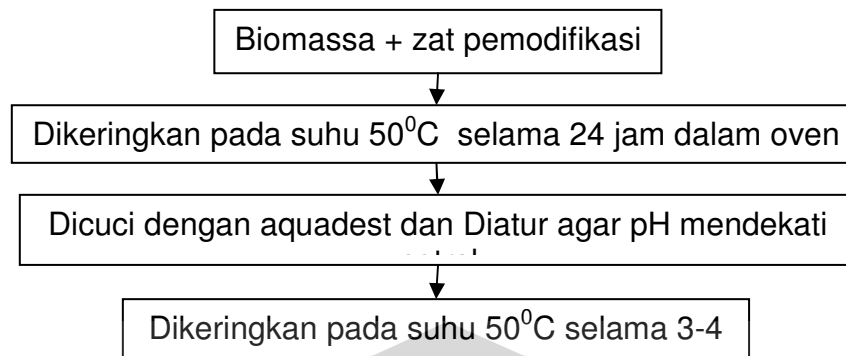
Dalam penelitian ini digunakan biomassa alga hijau hasil budidaya untuk skala laboratorium. Alga hasil budidaya diambil dalam jumlah yang cukup, kemudian dicuci dengan aquadest bebas ion dan disaring dengan kertas saring Whatman No.1 (kualitatif). Proses pencucian diulangi dengan memakai aqua bebas ion dan disentrifugasi untuk memisahkan air dan biomassa alga. Setelah fasa air dibuang, biomassa dikumpulkan dalam cawan porselin, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam hingga kering, kemudian dihaluskan dengan mortar, dihomogenkan dan disimpan pada suhu 4°C agar tetap kering sampai siap digunakan.



Gambar 3. 3 Diagram alir persiapan biomassa

3.3.4. Modifikasi Kimiawi Biomassa Alga

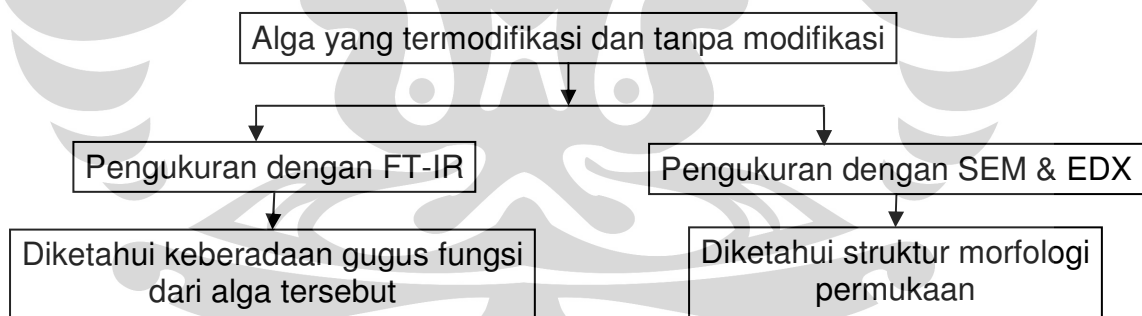
Modifikasi dilakukan dengan dua agen pemodifikasi yakni EDTA. Sebanyak 1 gram serbuk biomassa ditempatkan secara terpisah dalam beaker glass dan dibasahkan masing-masing dengan 7 mL EDTA 0,1 M. Kemudian campuran biomassa dan zat pemodifikasi dikeringkan dalam oven suhu 50°C selama satu malam. Biomassa kering yang sudah termodifikasi kemudian dicuci dengan 20 mL air bebas ion sampai dengan pH netral untuk menghilangkan sisa bahan pemodifikasi. Kemudian biomassa yang telah dimodifikasi tersebut dikeringkan kembali pada suhu 50°C selama ± 3-4 jam.



Gambar 3. 4 Diagram alir modifikasi kimiawasi biomassa alga hijau

3.3.5. Karakterisasi Biomassa

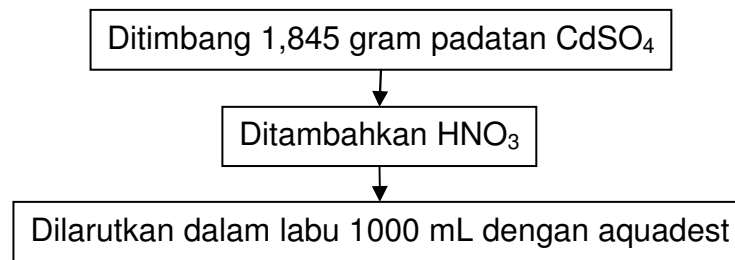
Analisa biomassa alga hijau hasil budidaya yang telah dimodifikasi dikarakterisasi morfologinya dengan menggunakan alat SEM dan EDX sementara karakteristik gugus fungsi dalam biomassa dengan FT-IR.



Gambar 3. 5 Diagram alir karakterisasi biomassa

3.3.6. Pembuatan Larutan Induk Logam

Larutan induk logam Cd (II) 1000 mg/L dibuat dengan cara melarutkan 1,845 gram serbuk CdSO₄ dengan aquadest dalam labu ukur 1000 mL.

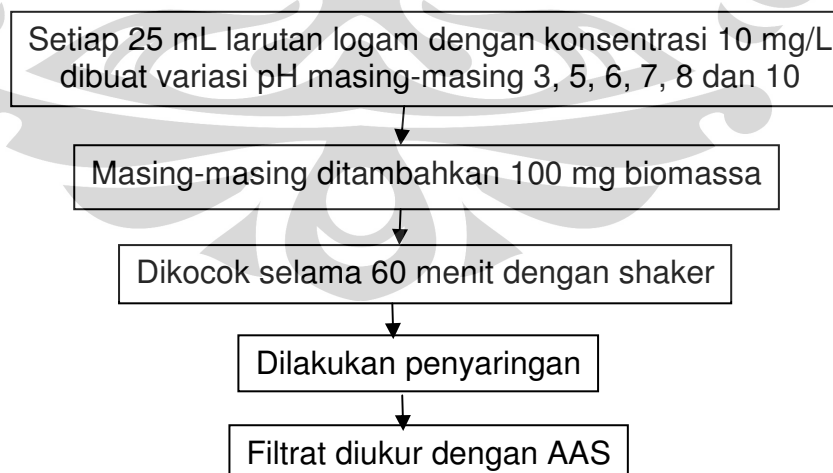


Gambar 3. 6 Diagram alir pembuatan larutan induk logam Cd (II)

3.3.7. Perlakuan Pengontakkan Biomassa dengan Larutan Logam

a. Pengaruh pH awal larutan analit

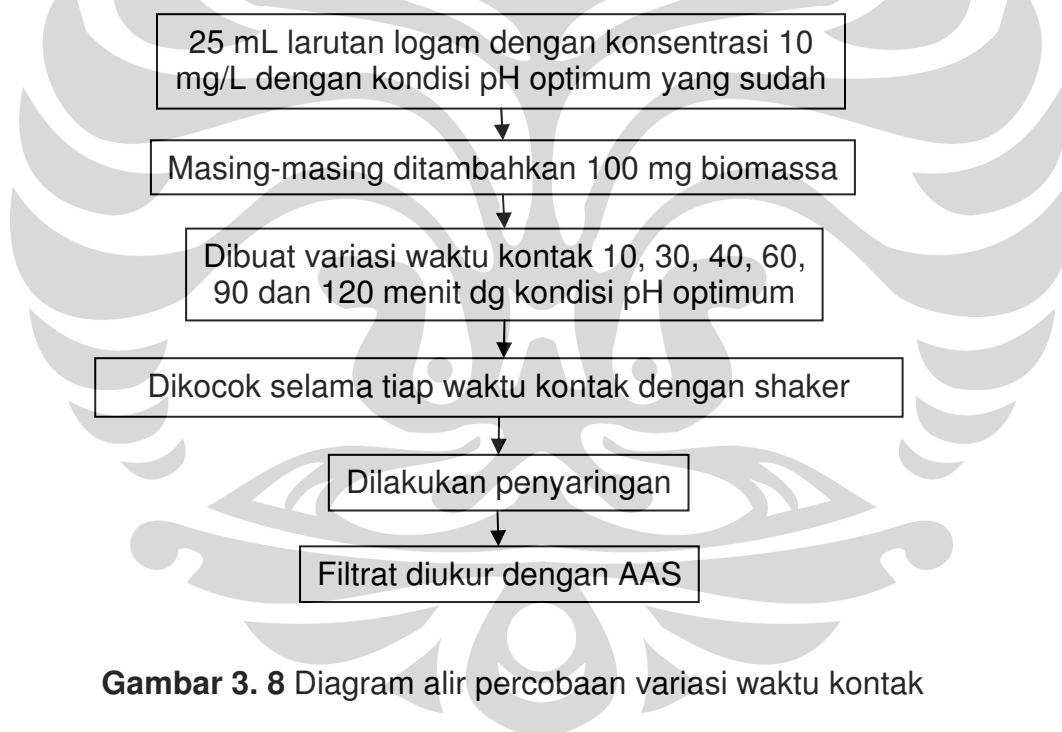
Setiap 25 mL larutan logam dengan konsentrasi 10 mg/L yang dibuat dari larutan induk diatur pHnya pada *range* 3, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 dengan penambahan HNO₃ dan NH₄OH. Setiap larutan pada tiap pH ditambahkan 100mg biomassa dan dikocok dengan *shaker* selama 60 menit. Selanjutnya disaring dengan kertas saring *Whatman* kualitatif dan absorbansi filtrat dikur dengan menggunakan AAS.



Gambar 3. 7 Diagram alir percobaan variasi pH

b. Pengaruh waktu kontak

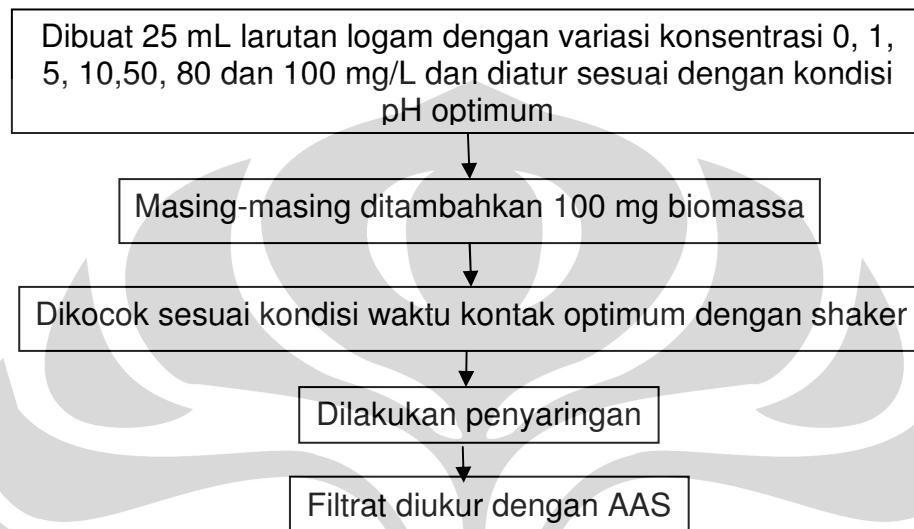
Setiap 25 mL larutan logam Cd (II) pada konsentrasi 10 mg/L diatur sesuai dengan pH optimum dengan penambahan HNO₃ dan NH₄OH, kemudian setiap larutan ditambahkan 100mg biomassa dan dikocok dengan *shaker* dengan waktu kontak yang berbeda-beda, yakni 10, 30, 40, 60, 90 dan 120 menit. Selanjutnya disaring dengan kertas saring *Whatman* kualitatif dan absorbansi filtrat diukur dengan menggunakan AAS.



Gambar 3. 8 Diagram alir percobaan variasi waktu kontak

Setiap 25 mL larutan logam Cd(II) dengan konsentrasi 5, 10, 20, 30, 50, dan 80 mg/L. Larutan tersebut dibuat dengan cara mengencerkan larutan induk logam. Diatur sesuai pH optimum yang didapat dengan penambahan HNO₃ dan NH₄OH, lalu masing-masing ditambahkan 100 mg biomassa,

kemudian diaduk sesuai waktu kontak optimum yang didapat dengan *shaker*. Selanjutnya disaring dengan kertas saring *Whatman* kualitatif dan absorbansi filtrat diukur dengan menggunakan AAS.



Gambar 3. 9 Diagram alir percobaan variasi konsentrasi larutan logam

3.3.8. Penentuan Kadar Logam yang Terserap Oleh Biomassa

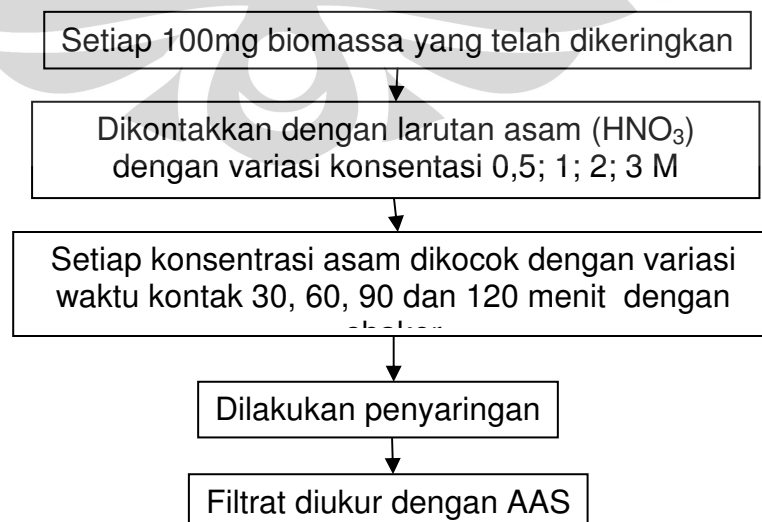
Suspensi analit yang telah diberi perlakuan dengan biomassa, dipisahkan dengan penyaringan. Larutan yang terpisahkan ditentukan konsentrasi logamnya dengan AAS dengan nyala udara asetilen untuk mengetahui konsentrasi logam yang diserap oleh biomassa atau konsentrasi pada saat setimbang (C_{eq}).

Perbedaan konsentrasi logam mula-mula (C_i) atau sebelum dan sesudah perlakuan merupakan jumlah ion yang terserap (C_b) oleh biomassa. Hasil yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan prosedur pembuatan

kurva isoterm adsorpsi Langmuir dan freundlich untuk menentukan kapasitas serapan maksimum dan konstanta adsorpsi, yang menunjukkan ukuran afinitas serapan biosorben terhadap ion logam.

3.3.9. *Recovery* Biomassa

Biomassa yang teradsorpsi dapat di *recovery* kembali dengan menggunakan sistem batch. Biomassa dikontakkan dengan larutan logam. Metode ini merupakan reaksi kesetimbangan (reversibel), maka biomassa yang telah jenuh dengan logam tertentu dapat dikembalikan ke keadaan awal, dengan cara mengontakkan biomassa dengan larutan asam. Setiap 100 mg biomassa yang telah digunakan, dikeringkan. Setelah kering setiap 100 mg biomassa tersebut dikontakkan dengan larutan asam HNO_3 dengan variasi konsentrasi 0,5; 1; 2; dan 3 M. Setiap konsentrasi asam tersebut dilakukan pengocokan dengan variasi waktu kontak 30, 60, 90, dan 120 menit dengan menggunakan *shaker*. Selanjutnya disaring dengan kertas saring *Whatman* kualitatif dan absorbansi filtrat diukur dengan menggunakan AAS.



Gambar 3. 10 Diagram alir percobaan persen *recovery*

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengamatan Alga Hasil Budidaya

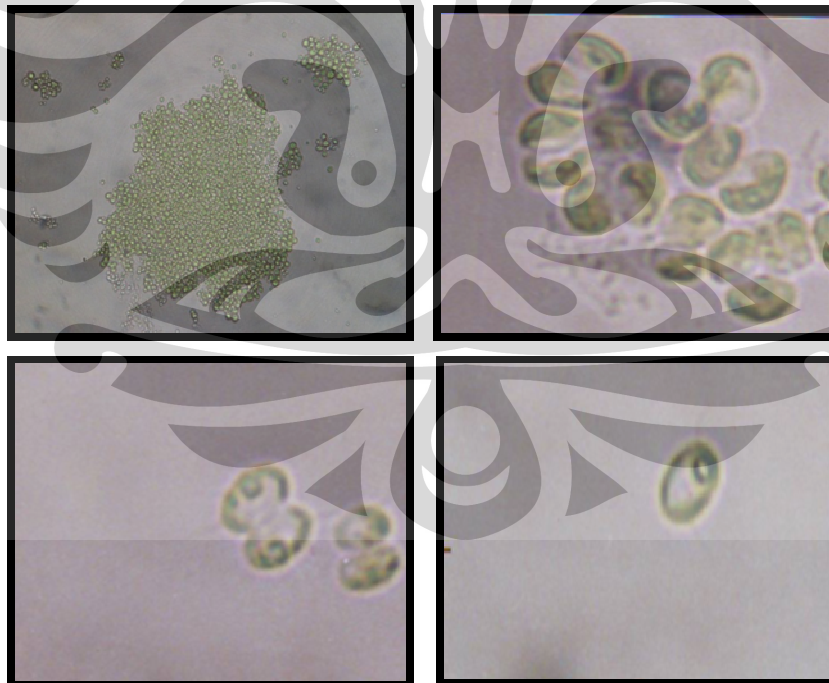
Kondisi pengkulturan didapat dengan mengukur setiap kondisi pembuatan media. Tabel 4.1 menunjukkan kondisi rata-rata setiap pembuatan media. Dilihat dari alga yang terbentuk secara alami berasal dari berbagai unsur nutrisi tanaman yang berasal dari limbah seperti fosfat dan nitrogen^[4], oleh sebab itu digunakan pupuk NPK dan juga NPK cukup mudah didapat serta relatif murah.

Tabel 4. 1 Kondisi Pengkulturan

Parameter	Nilai
t (°C)	26-33
pH	6.5-6.8
Kelembaban (%)	60-90
Jumlah Inokulum (Liter)	2
Jumlah Media	8
Media	NPK 1 %

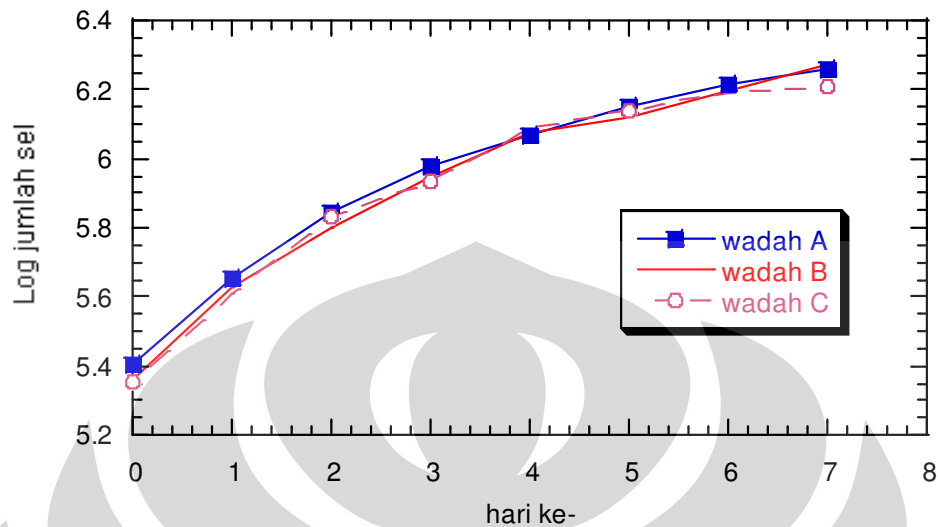
Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan terhadap morfologi alga hijau yang digunakan dapat disimpulkan bahwa alga hijau tersebut merupakan alga hijau *Scenedesmus* sp. karena berdasarkan morfologi struktur yang terlihat dari mikroskop yang digunakan menunjukkan bahwa struktur morfologi alga hijau tersebut merupakan alga hijau *Scenedesmus* sp.

dengan karakteristik yang diperoleh jika dibandingkan dengan literatur. Dari hasil pengamatan gambar 4.1, didapatkan bahwa alga tersebut banyak berbentuk silinder, pada bagian terminalnya berbentuk bulat dan terdapat *spine* yang berupa rambut halus pada pinggir bagian tepi tiap sudut, mempunyai koloni 2-4 sel secara lateral dan terdapat *pyrenoid* pada bagian tengah sel alga yang berupa warna hijau bulat pada tiap sel yang sangat terlihat jelas. Berdasarkan literatur *Scenedesmus* berbentuk silindris, umumnya berbentuk koloni dengan 2, 4, 8, 16 sel secara lateral^[7]. Namun pada kali ini ditemukan jumlah koloni terbanyak yang ditemui terdiri atas 4 sel secara lateral. Hal ini disebabkan karena alga tersebut ditumbuhkan pada kondisi nutrien, terutama unsur nitrogen yang rendah^[8].



Gambar 4. 1 Foto alga *Scenedesmus* sp. hasil budidaya

4.2. Hasil Data Perhitungan Laju Pertumbuhan



Gambar 4. 2 Grafik pertumbuhan alga hijau *Scenedesmus* sp.

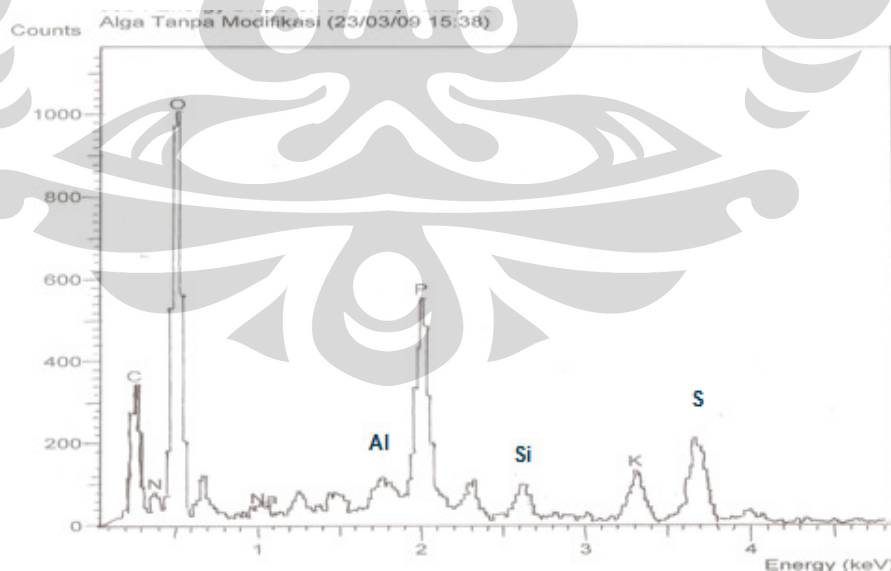
Selama masa inkubasi (8 hari) terjadi perubahan warna pada seluruh media perlakuan yang semula berwarna hijau kekuningan berubah menjadi hijau zamrud (Lampiran 1). Warna hijau dari ketiga perlakuan media perlakuan relatif sama. (Tabel 4.1). Perubahan warna kultur juga diikuti dengan peningkatan kerapatan sel. Peningkatan kerapatan sel *Scenedesmus* sp. pada ketiga media perlakuan menandakan terjadinya pemanfaatan nutrisi yang terkandung dalam NPK oleh sel-sel *Scenedesmus* sp. Nilai pH media perlakuan yang digunakan pH (5-10) diduga merupakan pH optimum sel *Scenedesmus* sp. isolat Depok, sehingga pH tersebut sesuai untuk penyerapan nutrisi oleh sel dan kelangsungan aktivitas enzim yang optimum. Dari hasil pengamatan (Lampiran 2) juga didapatkan bahwa kerapatan sel mengalami kenaikan cukup tinggi pada hari ke-5 setelah itu

cenderung meningkat tetapi dianggap telah linier karena kenaikannya tidak sebesar pada hari ke-5. Hal ini berarti pada hari ke-4 dan hari ke-5 mengalami fase eksponensial dan selanjutnya mengalami fase stationer. Dengan demikian maka biomassa tersebut baik diambil pada hari ke-5.

Pada lingkungan netral, CO_2 berada dalam bentuk bebas sehingga dapat berdifusi dengan mudah ke dalam sel mikroalga. Hal tersebut menyebabkan CO_2 sebagai sumber karbon utama bagi proses fotosintesis mikroalga cukup tersedia sehingga proses metabolisme dapat berlangsung dengan cepat dan kerapatan sel menjadi meningkat ^[32].

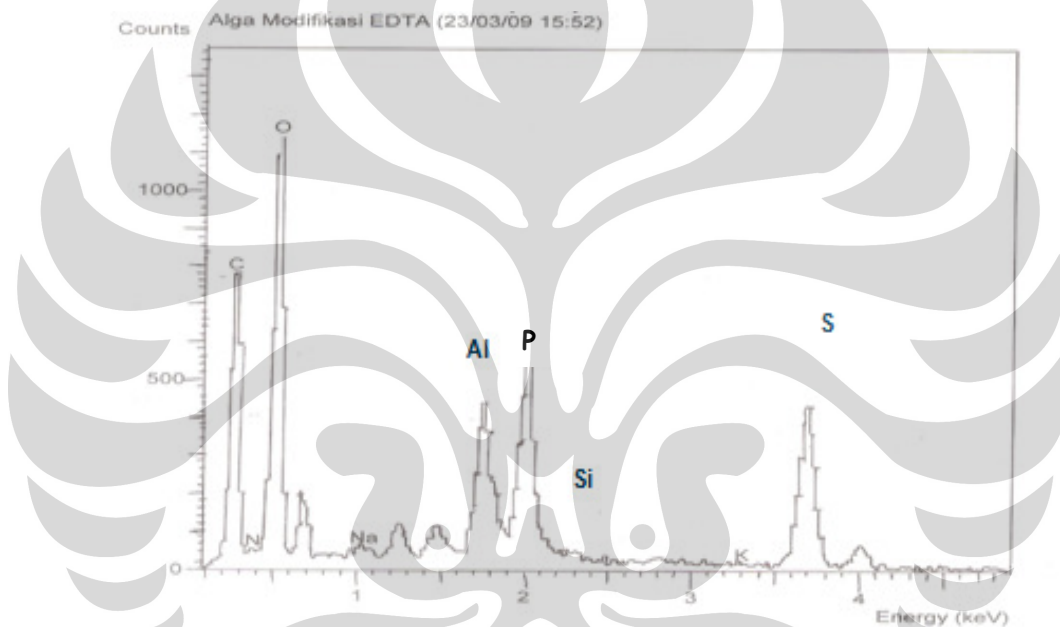
4.3. Karakterisasi EDX

Analisis semi kualitatif (EDX) unsur utama penyusun sel biomassa kering alga hijau *Scenedesmus* sp. tanpa modifikasi EDTA seperti Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Analisis semi kuantitatif (EDX) unsur utama penyusun sel biomassa kering alga hijau *Scenedesmus* sp. tanpa modifikasi EDTA

Data EDX menunjukkan bahwa unsur utama penyusun biomassa alga adalah karbon, nitrogen, oksigen. Disamping itu juga terdapat unsur-unsur fosfor, belerang, silikon, dan kalium. Sementara hasil EDX unsur utama penyusun sel biomassa kering alga hijau *Scenedesmus* sp. dengan modifikasi EDTA dapat dilihat pada Gambar 4.4.



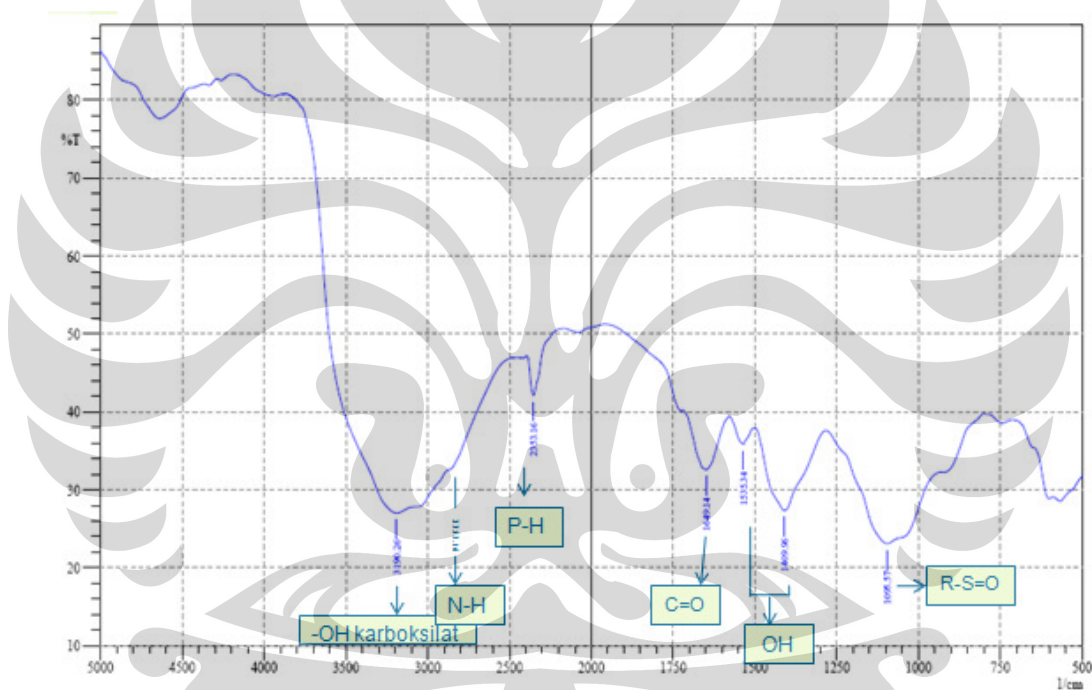
Gambar 4. 4 Analisis semi kuantitatif (EDX) unsur utama penyusun sel biomassa kering alga hijau *Scenedesmus* sp. dengan modifikasi EDTA

Pada Lampiran 8 dapat dilihat bahwa tidak terdapat logam Cd pada alga hijau *Scenedesmus* yang termodifikasi EDTA maupun tanpa modifikasi EDTA ini. Terlihat bahwa nilai persen Cd bernilai nol. Hal ini menunjukkan bahwa biomassa alga yang digunakan tidak mengandung logam Cd, sebelum

dikontakkan dengan larutan logam kadmium sehingga alga dari Situ Agathis belum terkontaminasi logam berat kadmium.

4.4. Hasil Data FT-IR

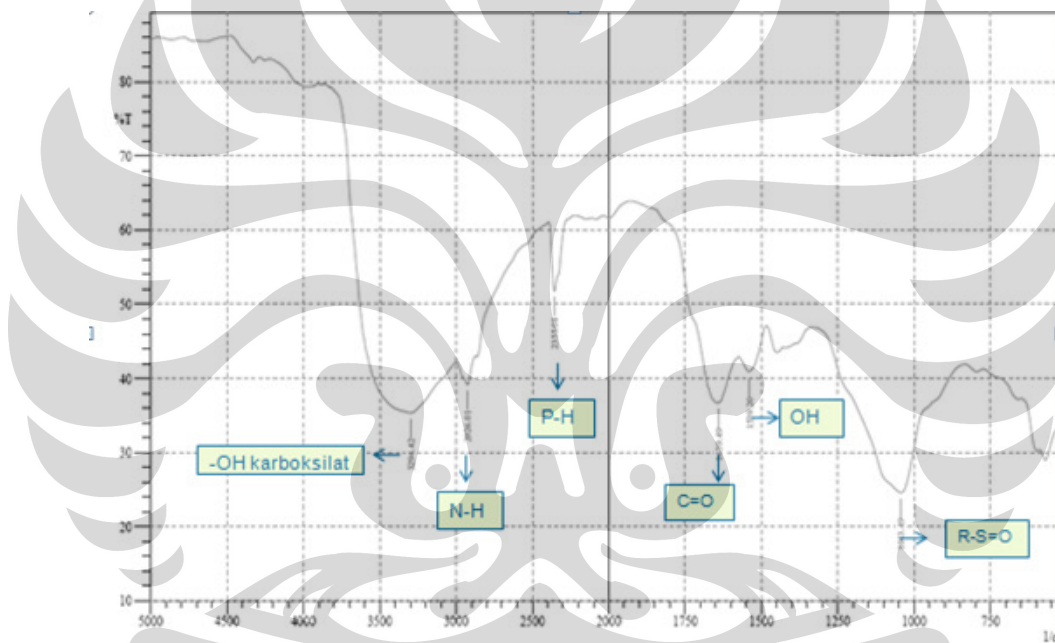
Karakterisasi gugus fungsi dalam biomassa dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) terlihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 di bawah ini.



Gambar 4. 5 Spektrum FT-IR alga hijau *Scenedesmus sp.* tanpa modifikasi EDTA

Gambar 4.5 di atas menunjukkan spektrum FT-IR alga hijau *Scenedesmus sp.* tanpa modifikasi EDTA. Spektrum spektroskopi FT-IR biomassa alga hijau menunjukkan pita serapan pada daerah 3190.26 cm^{-1}

yang mewakili uluran O-H karboksilat, pada daerah $2926,02 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan uluran N-H dan pada daerah $2353,16 \text{ cm}^{-1}$ merupakan uluran P-H. Pita serapan pada daerah $1649,14 \text{ cm}^{-1}$ memperlihatkan uluran C=O sedangkan pita serapan yang teramati pada daerah $1535,34 \text{ cm}^{-1}$ dan $1409,96 \text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan tekukan OH. Pita serapan yang teramati pada daerah $1095,57 \text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan tekukan R-S=O.



Gambar 4. 6 Spektrum FT-IR alga hijau *Scenedesmus* sp. modifikasi EDTA

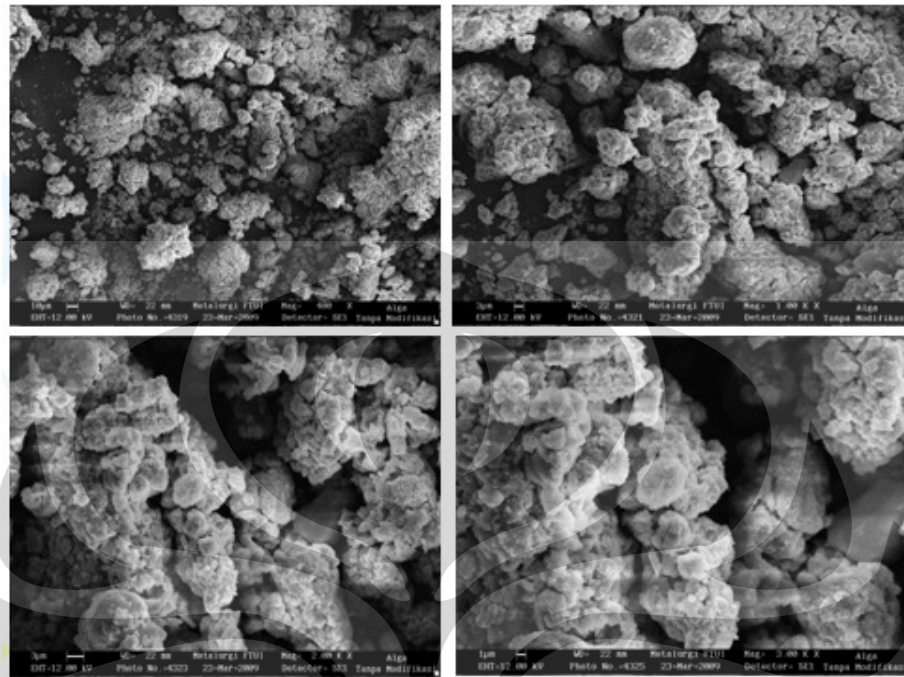
Gambar 4.6 menunjukkan spektrum FT-IR alga hijau *Scenedesmus* sp. dengan modifikasi EDTA. Spektrum spektroskopi FT-IR biomassa alga hijau menunjukkan pita serapan pada daerah $3294,42 \text{ cm}^{-1}$ yang mewakili uluran N-H sedangkan pada daerah $2926,01 \text{ cm}^{-1}$ merupakan uluran OH karboksilat dan pada daerah $2355,08 \text{ cm}^{-1}$ mewakili uluran P-H. Pita serapan

pada daerah 1639.49 cm^{-1} memperlihatkan uluran C=O sedangkan pita serapan yang teramati pada daerah 1539.20 cm^{-1} mengindikasikan tekukan OH. Pita serapan yang teramati pada daerah 1043.49 cm^{-1} mengindikasikan tekukan R-S=O.

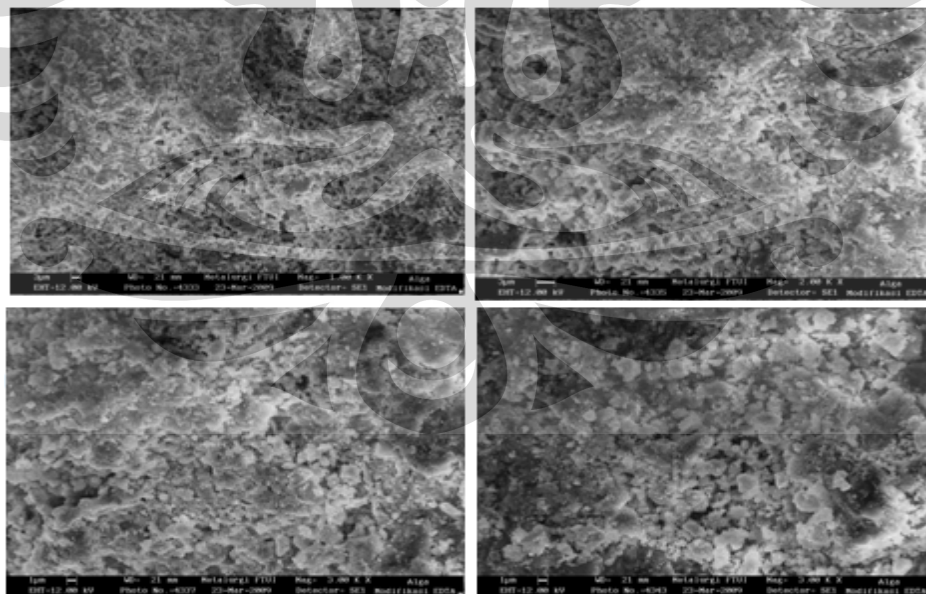
Berdasarkan spektrum spektroskopi FTIR dan komposisi unsur penyusun biomassa di atas dapat disimpulkan bahwa makromolekul penyusun alga hijau murni mengandung gugus-gugus amina, karboksil, hidroksi, alkil, fosfat, sulfat. Hasil FT-IR alga hijau *Scenedesmus* sp. modifikasi EDTA mempunyai bilangan gelombang yang hampir jika dibandingkan dengan alga hijau tanpa modifikasi EDTA berbeda namun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Proses modifikasi dapat dilihat dari persen transmisi pada tiap gugus, dimana pada alga modifikasi EDTA mempunyai persen transmisi yang lebih kecil, terutama pada gugus karboksil sehingga dapat dikatakan proses modifikasi berhasil.

Dari hasil analisa FT-IR diharapkan ion logam Cd^{2+} dapat berikatan dengan gugus fungsi terutama dengan gugus amina, karboksil, hidroksi, alkil, fosfat, sulfat melalui interaksi ionik maupun interaksi polar. Dimana kemampuan ion logam membentuk kompleks tergantung pada kemampuan untuk mempolarisasi yaitu perbandingan muatan/jari-jari ion logam tersebut serta sifat kebasahan ligan. Suatu kation dengan daya mempolarisasi tinggi “disenangi” oleh ligan sebagai pusat muatan positif dengan kerapatan yang tinggi, sehingga mendapatkan interaksi yang kuat^[33].

4.5. Hasil Data SEM



Gambar 4. 7 Hasil SEM alga hijau *Scenedesmus* sp. tanpa modifikasi (dengan perbesaran 3000x)



Gambar 4. 8 Hasil SEM alga hijau *Scenedesmus* sp. dengan modifikasi EDTA (dengan perbesaran 3000x)

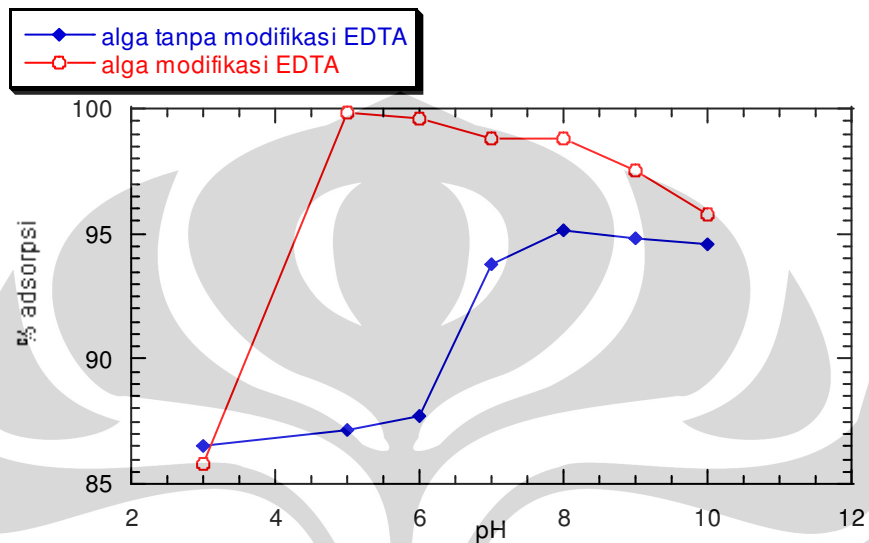
Berdasarkan hasil SEM yang telah dilakukan pada penelitian ini diketahui bahwa struktur molekul alga hijau *Scenedesmus* sp. dengan modifikasi EDTA memiliki morfologi permukaan yang lebih rapat jika dibandingkan dengan alga hijau *Scenedesmus* sp. tanpa modifikasi EDTA karena gugus molekul EDTA terserap ke dalam alga hijau *Scenedesmus* sp. sehingga struktur molekulnya lebih rapat dan menyebabkan hasil *recovery* yang dihasilkan menjadi lebih besar jika dibandingkan dengan menggunakan alga hijau *Scenedesmus* sp. tanpa modifikasi.

4.6. Hasil Penentuan pH Optimum

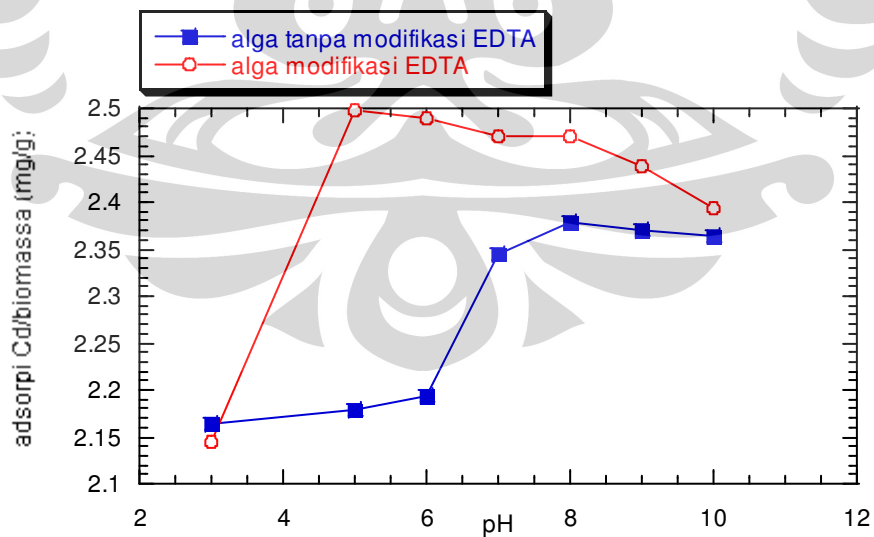
Penentuan pH optimum dilakukan untuk mengetahui pH interaksi dimana biosorben menyerap biosorbat secara maksimum. Nilai pH merupakan parameter yang sangat mempengaruhi kemampuan penyerapan logam karena beberapa ikatan antara gugus fungsi protein biomassa dengan ion logam melibatkan penggantian proton, sehingga dipengaruhi oleh pH.

Pada pH di atas titik isoelektrik, terjadi muatan negatif netto pada komponen dinding sel dan keadaan ionik ligan, seperti gugus karboksil, fosfat dan amino yang meningkatkan reaksi dengan kation logam. Pada pH di bawah titik isoelektrik, muatan permukaan keseluruhan pada permukaan sel menjadi positif, yang akan menghambat mendekatnya kation bermuatan positif. Proton akan berkompetisi dengan terlebih dahulu dengan berikatan dengan ligan sehingga mengurangi interaksi ion logam dengan sisi aktif pada

biomassa alga. Pada pH tinggi, logam Cd^{2+} mengendap menjadi $\text{Cd}(\text{OH})_2$, sehingga dilakukan percobaan pada pH yang lebih rendah tetapi di atas pH isoelektrik [18].



Gambar 4. 9 Grafik adsorpsi ion logam Cd (II) dengan alga hijau *Scenedesmus* sp. dengan variasi pH



Gambar 4. 10 Grafik adsorpsi ion logam Cd (II) per biomassa alga hijau *Scenedesmus* sp. dengan variasi pH

Gambar 4.9 terlihat bahwa penyerapan yang tertinggi terjadi pada pH 8 untuk ion Cd tanpa modifikasi dengan jumlah Cd yang teradsorpsi sebesar 95.177 % dan jumlah ion Cd terserap per gram biomassa sebesar 0.0212 mmol/g. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa jumlah ion Cd yang terserap oleh biomassa alga hijau *Scenedesmus* sp. sangat dipengaruhi oleh pH awal larutan ion logam Cd.

Gambar 4.9 juga memperlihatkan pada pH 3 sampai 5 jumlah ion logam Cd (II) yang terserap tiap gram biosorben cenderung meningkat, tetapi setelah di atas pH 5 ion logam Cd (II) membentuk endapan $\text{Cd}(\text{OH})_2$, sehingga jumlah Cd (II) yang terserap pada biosorben menjadi berkurang. Berdasarkan Gambar 4.9, pH 5 adalah pH optimum biosorpsi alga hijau *Scenedesmus* sp dengan modifikasi EDTA terhadap ion logam Cd (II) dengan persen adsorpsi sebesar 99.9 % karena pada pH 5 ini, ion logam Cd (II) terserap secara maksimum oleh biosorben *Scenedesmus* sp yaitu sebesar 0.0222 mmol/g. Oleh karena itu, pH 5 dijadikan acuan dalam penentuan waktu optimum dan isoterm adsorpsi selanjutnya.

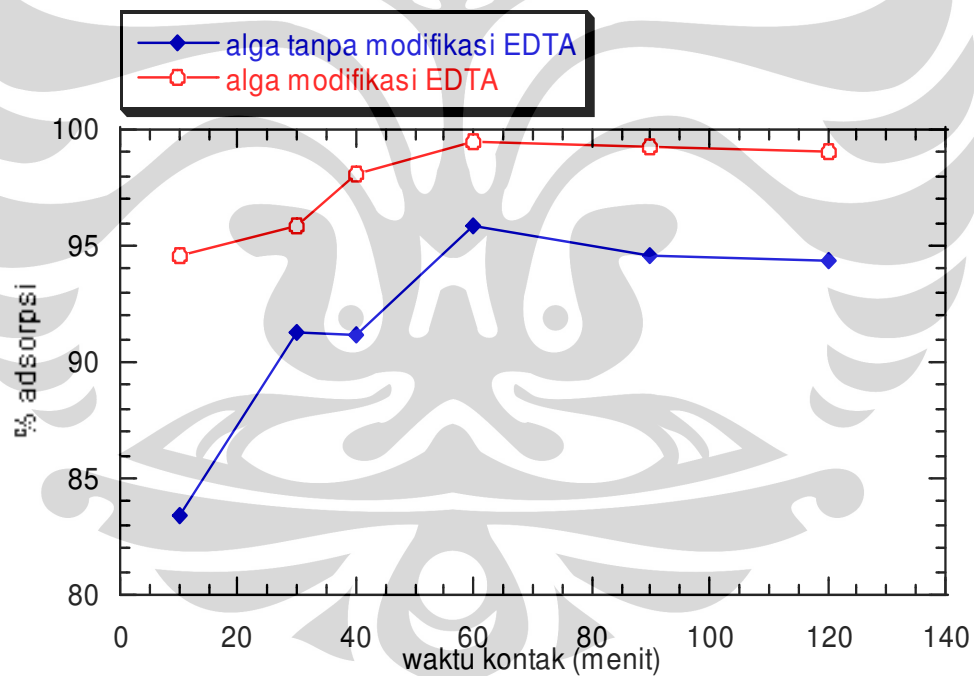
pH pada larutan sangat menentukan spesi logam dan juga disosiasi keaktifan biosorben^[16]. Alga hijau dengan modifikasi EDTA memiliki persen serapan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan alga hijau tanpa modifikasi. Hal ini disebabkan karena pada EDTA terdapat 4 gugus karboksilat (-COOH) bebas dan pada saat direaksikan dengan gugus

hidroksil (-OH) dari alga hijau dimungkinkan masih terdapat gugus OH bebas yang lebih besar dibandingkan dengan alga hijau tanpa modifikasi. Adanya pengaruh pH awal larutan, pada jumlah serapan biomassa alga hijau didukung oleh pernyataan bahwa interaksi antara kation logam dengan gugus anion pada permukaan dinding sel menyerupai dengan interaksi di dalam resin penukar ion, dimana kekuatan dan kespesifikan bergantung pada jari-jari dari muatan ion, pH operasional dan kompetisi antar muatan. Proses biosorpsi dapat berlangsung sebagai akibat dari interaksi antara situs yang mempunyai muatan negatif pada permukaan dinding sel mikroorganisme dan komponen ekopolimer lainnya dengan ion logam yang bermuatan positif atau melalui reaksi antara agen pengompleks ekstraseluler dengan ion logam.

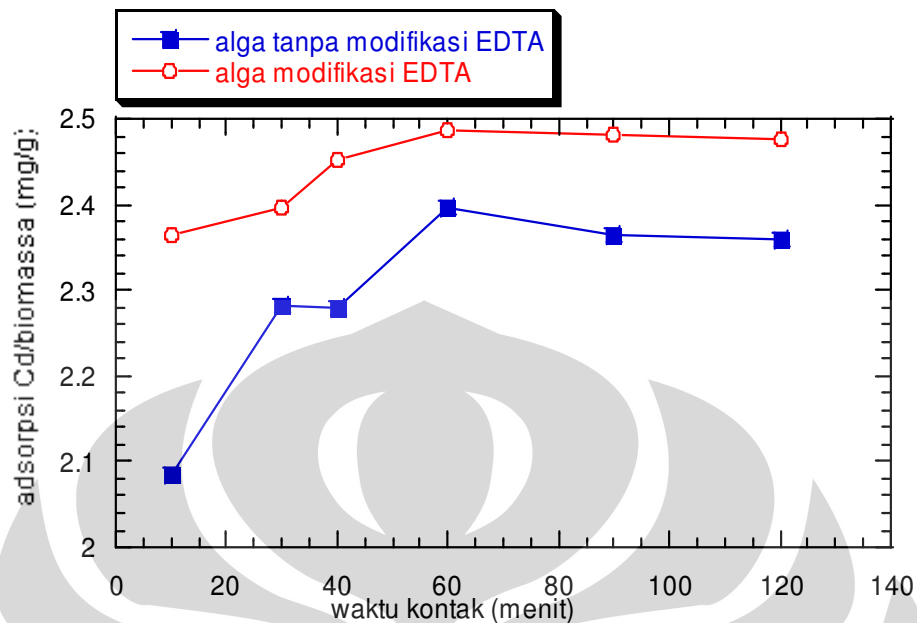
Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan efisiensi penyerapan ion Cd memiliki nilai pH terendah pada pH 3. Pada pH yang rendah permukaan biomassa secara keseluruhan menjadi bermuatan positif atau kurang negatif. Hal ini terjadi disebabkan oleh protonasi gugus-gugus fungsi melalui pasangan elektron bebasnya, sehingga kation Cd^{2+} relatif sulit berinteraksi dengan biomassa, akibatnya daya absorp terhadap biomassa rendah. Dengan semakin tingginya derajat keasaman, pusat aktif berupa gugus karboksil akan memiliki kecenderungan untuk mempunyai muatan negatif atau dengan kata lain membentuk ion karboksilat sehingga kation dari logam yang terabsorpsi menjadi semakin bertambah dan cenderung konstan ketika mencapai kondisi setimbang dimana pusat aktif sudah menjadi jenuh dengan logam yang terserap^[18].

4.7. Hasil Penentuan Waktu Kontak Optimum

Penentuan waktu kontak biosorpsi dilakukan untuk mengetahui waktu minimum yang dibutuhkan oleh biosorben dalam menyerap ion logam Cd (II) secara maksimum sampai tercapai keadaan jenuh. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, hubungan antara banyaknya ion logam Cd (II) yang terserap (mg) per gram biosorben terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 dibawah ini.



Gambar 4. 11 Grafik adsorpsi ion logam Cd (II) dengan alga hijau *Scenedesmus* sp. dengan variasi waktu kontak



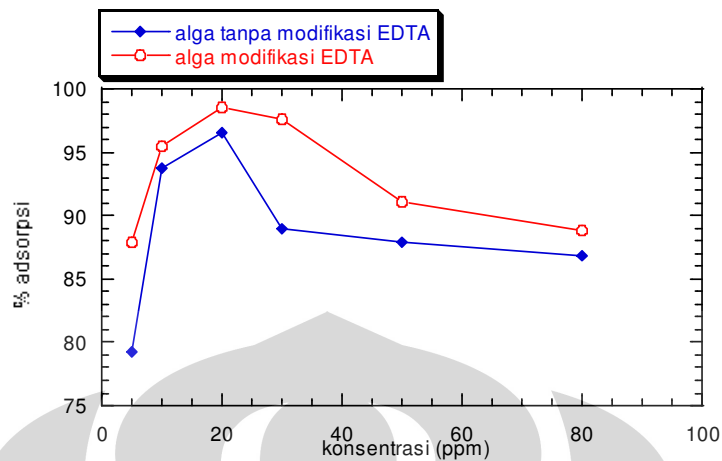
Gambar 4. 12 Grafik adsorpsi ion logam Cd (II) per biomassa alga hijau *Scenedesmus* sp. dengan variasi waktu kontak

Pada gambar 4.11 ditunjukkan bahwa jumlah Cd (II) yang terserap tidak stabil yaitu naik turun dengan bertambahnya waktu. Pada awal waktu interaksi sampai 60 menit jumlah ion logam Cd (II) yang terserap terus meningkat dengan bertambahnya waktu interaksi. Akan tetapi setelah dinteraksikan selama 120 menit jumlah Cd (II) yang terserap turun, dan selanjutnya cenderung stabil (konstan). Turunnya jumlah ion logam Cd (II) yang terserap setelah pengadukan 60 menit kemungkinan disebabkan oleh adsorpsi alga hijau *Scenedesmus* sp. dengan ion logam Cd (II) sudah mencapai jenuh atau maksimum, sehingga sebagian kecil dari partikel logam Cd (II) ada yang terlepas kembali.

Dari karakterisasi di atas diperoleh pada waktu kontak 60 menit alga hijau *Scenedesmus* sp. dapat menyerap ion logam Cd (II) paling besar dibandingkan waktu kontak yang lainnya dengan persen adsorpsi 95.8% atau 0.0213 mmol/g untuk alga tanpa modifikasi EDTA, sedangkan untuk alga termodifikasi EDTA didapatkan persen adsorpsi sebesar 99.4% atau 0.0221 mmol/g. Oleh karena itu, waktu kontak selama 60 menit digunakan sebagai acuan dalam penentuan isoterm biosorpsi Cd (II) selanjutnya.

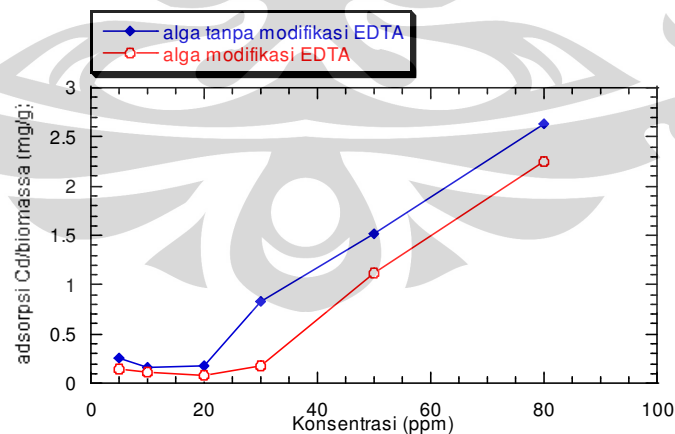
4.8. Hasil Penentuan Konsentrasi Optimum

Penentuan konsentrasi biosorpsi pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi minimum yang dibutuhkan oleh biosorben dalam menyerap ion logam Cd (II) secara maksimum sampai tercapai keadaan jenuh. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, hubungan antara jumlah ion logam Cd (II) yang terserap (mg) per gram biosorben terhadap konsentrasi awal Cd (II) disajikan pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 dibawah ini.



Gambar 4. 13 Grafik adsorpsi ion logam Cd (II) dengan alga hijau *Scenedesmus* sp. dengan variasi konsentrasi

Dari hasil pengukuran konsentrasi optimum (Lampiran 5) didapatkan bahwa persentase adsorpsi terbesar didapat pada konsentrasi 20 ppm dengan persen alga tanpa modifikasi EDTA sebesar 96.607% atau 0.0430 mmol/g. Sementara untuk alga termodifikasi EDTA sebesar 98.482% atau 0.038 mmol/g.



Gambar 4. 14 Grafik adsorpsi ion logam Cd (II) perbiomassa alga hijau *Scenedesmus* sp. dengan variasi konsentrasi

Pada grafik 4.13 terlihat bahwa dengan bertambahnya konsentrasi biosorbat yang diinteraksikan, maka jumlah ion logam Cd (II) yang terserap tiap gram alga hijau *Scenedesmus* sp. semakin bertambah juga. Akan tetapi pada konsentrasi Cd (II) 30 ppm jumlah biosorbat yang terserap tidak bertambah dengan meningkatnya konsentrasi dan cenderung menurun sampai pada konsentrasi Cd (II) mencapai 80 ppm. Pada setiap situs aktif hanya satu molekul atau ion yang dapat diserap, sehingga dengan memperbesar konsentrasi zat terserap dalam hal ini larutan kadmium yang berinteraksi dengan biomassa yang jumlah tetap akan menghasilkan adsorpsi ion logam kadmium yang akan mencapai adsorpsi maksimum atau mencapai titik jenuhnya^[16].

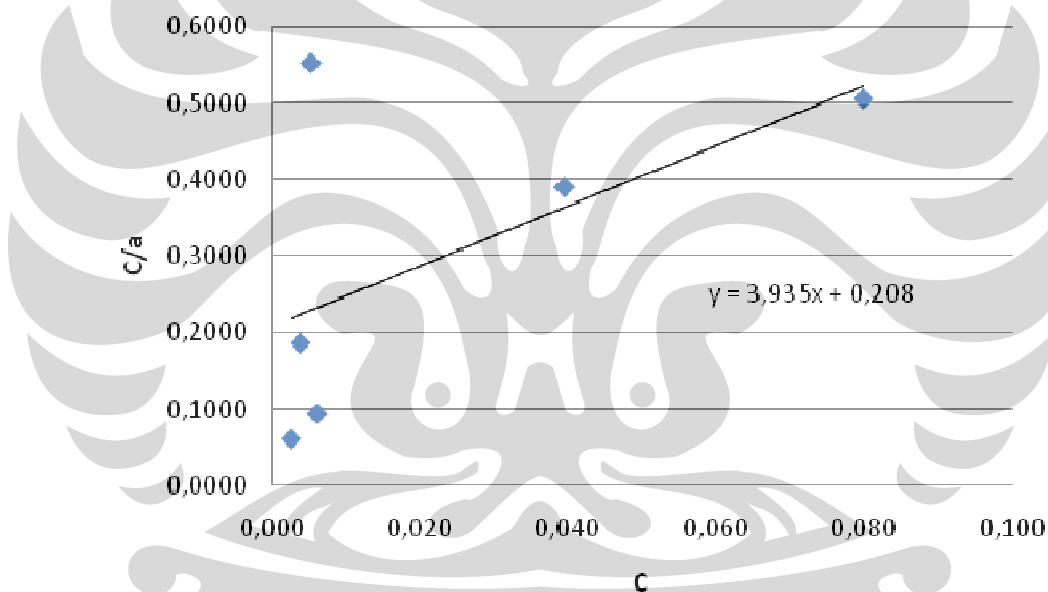
4.9. Hasil Penentuan Isoterm Adsorpsi Langmuir

Langmuir menjabarkan teori adsorpsinya bahwa pada permukaan penyerap terdapat sejumlah situs aktif yang proporsional dengan luas permukaan. Ikatan antara penyerap dan zat penyerap dapat terjadi secara fisika atau secara kimia. Teori Langmuir mengasumsikan bahwa situs penyerap adalah ekuivalen dan ikatan yang terjadi tidak bergantung pada ikatan yang telah terbentuk pada situs aktif yang berada didekatnya.

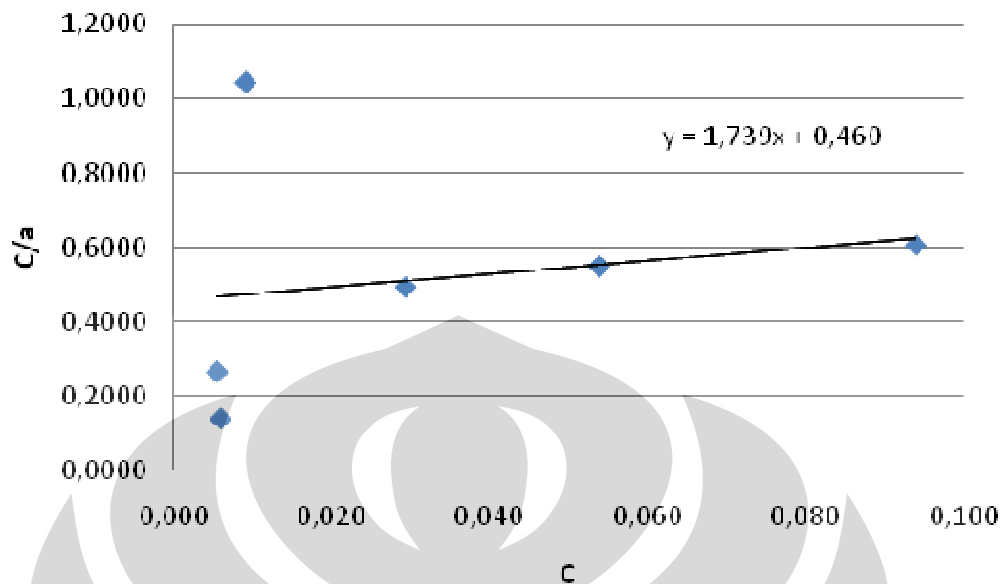
Penyerapan secara kimia terjadi karena terbentuknya ikatan antara situs aktif dengan zat yang terserap. Ikatan yang terjadi membentuk lapisan penyerapan tunggal pada permukaan penyerap (*monolayer adsorption*). Ketika situs aktif yang terdapat pada permukaan penyerap (biomassa alga

hijau) belum jenuh dengan zat penyerap (ion logam) maka dengan memperbesar konsentrasi ion logam, jumlah ion logam yang terserap oleh biomassa akan semakin meningkat secara linier sampai konsentrasi tertentu. Bila situs aktif yang terdapat pada permukaan dinding sel biomassa telah jenuh dengan ion logam, maka penambahan konsentrasi ion logam tidak lagi meningkatkan serapan ion logam^[15].

Selanjutnya pengolahan data dengan mempergunakan persamaan Langmuir diperoleh kurva linier seperti tampak pada Gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Grafik linieritas adsorpsi isoterm Langmuir ion logam Kadmium (Cd) dengan alga hijau *Scenedesmus* sp. modifikasi EDTA



Gambar 4.16 Grafik linieritas adsorpsi isoterm Langmuir ion logam Kadmium (Cd) dengan alga hijau *Scenedesmus* sp. tanpa modifikasi EDTA

Apabila ikatan yang terjadi membentuk lapisan penyerapan tunggal (*monolayer*) pada permukaan dinding sel biomassa maka kurva yang dihasilkan pada isoterm Langmuir adalah linier seperti pada gambar diatas.

Dengan menggunakan persamaan regresi linier diperoleh koefisien korelasi (r), kapasitas adsorpsi maksimum (a_m) dan afinitas adsorpsi (k). Dari hasil adsorpsi logam Cd oleh alga hijau *Scenedesmus* sp. modifikasi EDTA menggunakan persamaan isoterm Langmuir didapat persamaan linier $y=3,935x+0,208$ dengan nilai R sebesar 0,577 (Gambar 4.15) dan adsorpsi logam Cd oleh alga *Scenedesmus* sp. tanpa modifikasi EDTA didapatkan persamaan linier $y=1,739x+0.460$ dengan nilai R sebesar 0.195 (Gambar 4.16). Dari persamaan diperoleh adsorpsi maksimum (a_{max}) pada permukaan monolayer alga dengan modifikasi EDTA sebesar 0,254 mmol/g dan alga

tanpa modifikasi EDTA sebesar 0,575 mmol/g. Afinitas serapan (k) logam kadmium pada alga dengan modifikasi EDTA sebesar 0,053 mg/g dan alga tanpa modifikasi EDTA sebesar 0,264 mg/g. Semakin besar nilai afinitas serapan biomassa, maka semakin banyak ion logam yang terserap oleh biomassa. Dari Tabel 4.2 dapat dilihat nilai a_m dan k yang didapat dari persamaan isoterm Langmuir tersebut tidak dapat digunakan karena tidak didapatkan data linearitas yang cukup baik karena mempunyai nilai R yang rendah sehingga proses adsorpsi dari penelitian ini tidak dapat dihubungkan dengan isoterm Langmuir, selain itu dapat dilihat bahwa titik-titik dari grafik tersebut tidak terdapat pada satu garis melainkan tersebar secara acak. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi yang terjadi tidak terserap secara merata karena tidak homogen dan adsorbat tidak membentuk lapisan *monolayer* pada permukaan adsorben.

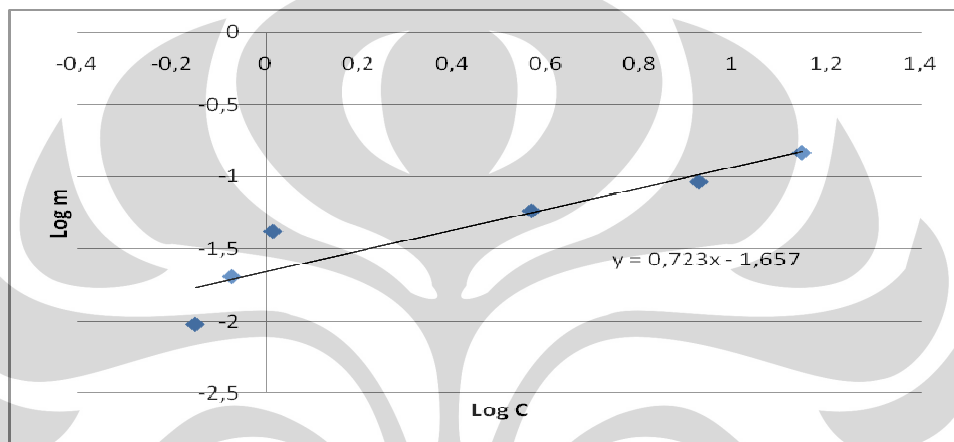
Tabel 4. 2 Nilai koefisien korelasi (R), kapasitas maksimum (a_m) dan afinitas serapan (k)



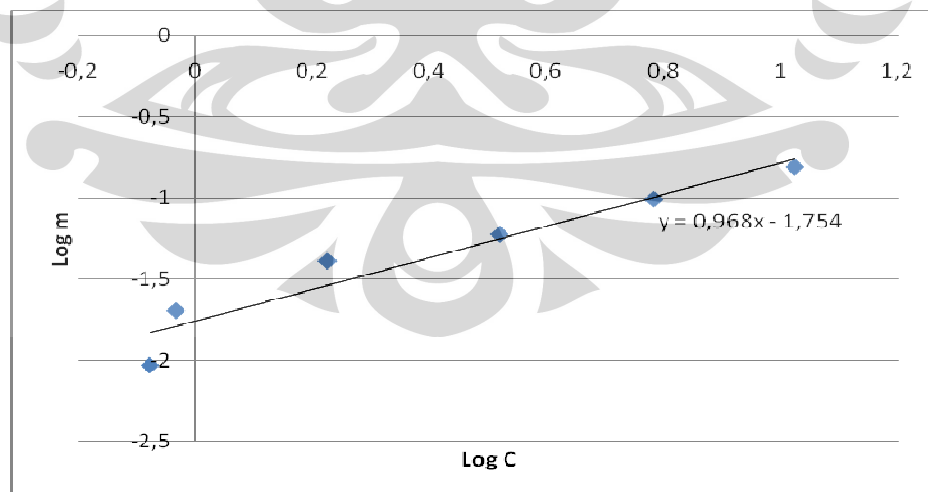
Penyerapan secara kimia terjadi karena adanya interaksi atau ikatan antara situs aktif (bermuatan negatif) yang terdapat pada permukaan dinding sel alga hijau *Scenedesmus* sp. dengan ion logam. Spektra IR menunjukkan bahwa pada permukaan dinding sel alga hijau mengandung gugus fungsional yang dapat berikatan sebagai ligan pada karboksilat, amida, amina, hidroksi

dan karbonil yang dapat berkoordinasi dengan ion logam, melalui pasangan elektron bebasnya dengan tingkat energi yang homogen atau berinteraksi secara ionik melalui pertukaran ion^[26].

4.10. Hasil Penentuan Isoterm Adsorpsi Freundlich



Gambar 4. 17 Grafik linieritas adsorpsi isoterm Freundlich ion logam Kadmium (Cd) dengan alga hijau *Scenedesmus* sp. modifikasi EDTA



Gambar 4. 18 Grafik linieritas adsorpsi isoterm Freundlich ion logam Kadmium (Cd) dengan alga hijau *Scenedesmus* sp. tanpa modifikasi EDTA

Dari hasil adsorpsi logam Cd oleh alga modifikasi EDTA dengan menggunakan persamaan isoterm Freundlich (Gambar 4.16) didapat persamaan linier $y = 0,723x - 1,657$ dengan nilai R sebesar 0,922, sementara untuk alga tanpa modifikasi EDTA didapat persamaan linier $y = 0,968x - 1,754$ dengan nilai R sebesar 0,962. Berdasarkan persamaan isoterm Freundlich diperoleh nilai konstanta adsorpsi (k) untuk adsorpsi ion logam Cd^{2+} dengan alga modifikasi EDTA sebesar 0,022 dan 0,018 untuk alga tanpa modifikasi EDTA. Sementara nilai ketetapan (n) untuk alga dengan modifikasi EDTA sebesar 1,383 dan 1,033 untuk alga tanpa modifikasi EDTA.

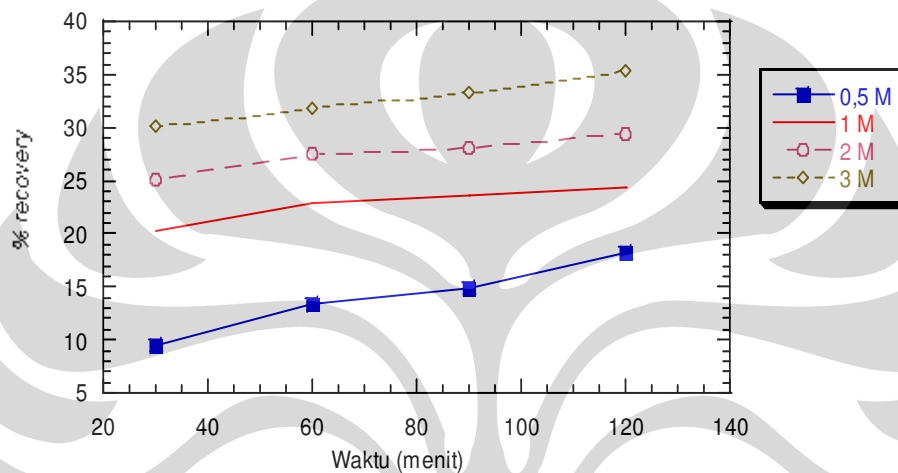
Tabel 4. 3 Nilai koefisien korelasi (R), ketetapan (n) dan (k)



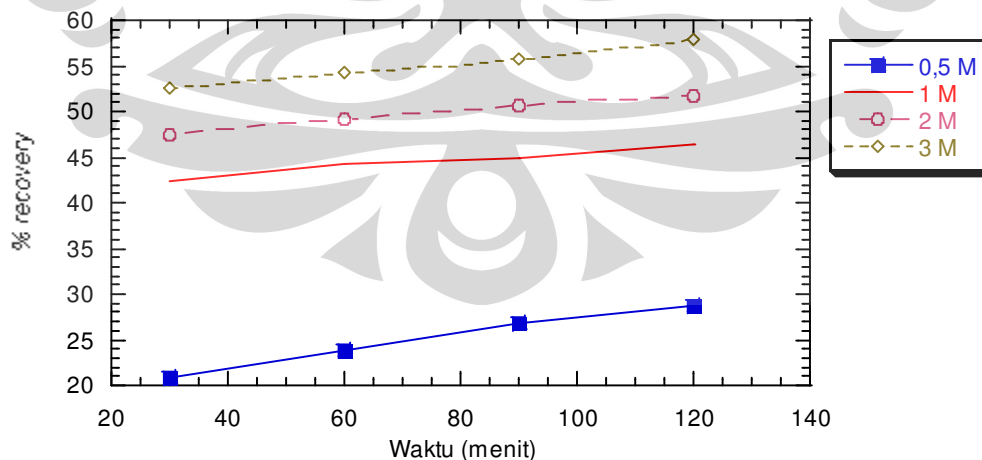
Dari data linearitas Tabel 4.3 didapatkan nilai R yang cukup baik. Hal ini menunjukkan bahwa proses penyerapan yang terjadi lebih mengarah kepada isoterm Freundlich, dimana proses penyerapan tersebut terjadi pada situs aktif yang bersifat heterogen, adsorbat membentuk lapisan multilayer pada permukaan adsorben. Didapat nilai n yang berada diantara 1-10 yang menandakan proses adsorpsi tersebut baik atau disukai^[26]. Nilai n yang cukup besar tersebut juga menunjukkan bahwa proses adsorpsi tersebut tidak dipengaruhi oleh konsentrasi melainkan oleh biomassa.

4.11. Hasil Penentuan *Recovery* Biomassa

Recovery adalah upaya pemanfaatan limbah (biosorben yang sudah dipergunakan) dengan jalan memprosesnya untuk memperoleh kembali salah satu atau kembali komponen yang terkandung di dalamnya. *Recovery* merupakan langkah penting untuk menjaga agar biaya proses tetap rendah.



Gambar 4.19 Grafik persen *recovery* untuk alga hijau *Scenedesmus* sp. tanpa modifikasi EDTA



Gambar 4. 20 Grafik persen *recovery* untuk alga hijau *Scenedesmus* sp. dengan modifikasi EDTA

Tabel 4. 4 Data hasil *recovery* biomassa alga hijau terhadap masing-masing modifikasi EDTA

Cd-EDTA 30'				
Konsentrasi asam (M)	C logam (mg/L)	A (mg/L)	b (mg/L)	% <i>recovery</i>
0.5	18.43	14.60	3.83	20.78
1	17.99	13.70	4.29	23.83
2	18.72	13.69	5.03	26.86
3	18.79	13.38	5.41	28.79
Cd-EDTA 60'				
Konsentrasi asam (M)	C logam (mg/L)	A (mg/L)	b (mg/L)	% <i>recovery</i>
0.5	17.84	10.28	7.57	42.41
1	18.16	10.13	8.03	44.21
2	18.37	10.11	8.26	44.95
3	18.09	9.70	8.39	46.39
Cd-EDTA 90'				
Konsentrasi asam (M)	C logam (mg/L)	A (mg/L)	b (mg/L)	% <i>recovery</i>
0.5	18.32	9.62	8.71	47.51
1	18.22	9.26	8.95	49.14
2	17.79	8.79	8.99	50.59
3	17.99	8.68	9.31	51.77
Cd-EDTA 120'				
Konsentrasi asam (M)	C logam (mg/L)	A (mg/L)	b (mg/L)	% <i>recovery</i>
0.5	17.98	8.53	9.45	52.55
1	18.24	8.35	9.89	54.24
2	17.65	7.82	9.83	55.68
3	18.23	7.68	10.56	57.89

Tabel 4. 5 Data hasil *recovery* biomassa alga hijau terhadap masing-masing tanpa modifikasi EDTA

Cd 30'				
Konsentrasi asam (M)	C logam (mg/L)	A (mg/L)	b (mg/L)	% <i>recovery</i>
0.5	18.25	16.53	1.73	9.46
1	18.64	16.16	2.48	13.31
2	18.79	15.99	2.79	14.89
3	17.96	14.68	3.28	18.25
Cd 60'				
Konsentrasi asam (M)	C logam (mg/L)	A (mg/L)	b (mg/L)	% <i>recovery</i>
0.5	17.34	13.83	3.51	20.25
1	17.16	13.23	3.93	22.89
2	17.34	13.23	4.11	23.71
3	17.09	12.94	4.16	24.33
Cd 90'				
Konsentrasi asam (M)	C logam (mg/L)	A (mg/L)	b (mg/L)	% <i>recovery</i>
0.5	18.55	13.88	4.67	25.19
1	17.71	12.84	4.87	27.51
2	18.27	13.14	5.13	28.09
3	18.11	12.77	5.34	29.49
Cd 120'				
Konsentrasi asam (M)	C logam (mg/L)	A (mg/L)	b (mg/L)	% <i>recovery</i>
0.5	18.10	12.65	5.45	30.13
1	18.92	12.89	6.03	31.88
2	17.68	11.78	5.89	33.34
3	18.39	11.88	6.50	35.37

Keterangan :

- C logam : konsentrasi logam yang diserap saat dikontakkan dengan biomassa (mg/L)
- a : konsentrasi logam yang terlepas saat dielusi (mg/L)
- b : konsentrasi logam yang masih terikat (mg/L)

Dari hasil modifikasi diperoleh *recovery* maksimum untuk alga hijau yang termodifikasi EDTA sebesar 57.89 % dengan waktu elusi 120 menit dan konsentrasi asam 3 M.

Sedangkan untuk alga hijau tanpa modifikasi EDTA diperoleh *recovery* maksimum sebesar 35.37 % dengan waktu elusi 120 menit dan konsentrasi asam 3 M. Persent *recovery* tidak diperoleh sebesar 100 % karena dimungkinkan adanya adsorpsi yang berjalan secara kimia dimana ikatan yang terjadi sulit diputus dengan asam. Dan dari hasil penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa alga hijau *Scenedesmus* sp. baik untuk digunakan sebagai biosorben logam Cd.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah

1. Berdasarkan spektra spektroskopi FTIR, dapat disimpulkan bahwa makro molekul penyusun biomassa alga hijau *Scenedesmus* sp. murni mengandung gugus karboksil, amina, hidroksil, amina disamping adanya senyawa sulfur dan fosfor.
2. Biosorpsi sangat dipengaruhi oleh pH awal larutan, waktu kontak, dan konsentrasi awal larutan.
3. Berdasarkan waktu pengkulturan didapatkan kesimpulan bahwa waktu pengambilan alga yakni pada hari ke-5 pada saat fasa stasioner.
4. Efisiensi biosorpsi logam meningkat dari pH 3 sampai dengan didapatkan kondisi optimum pada pH 5. Untuk waktu kontak yakni 60 menit dan konsentrasi optimum pada 20 ppm.
5. Perhitungan dengan persamaan isoterm Freundlich diperoleh nilai ketetapan (n) sebesar 1,383 untuk alga termodifikasi EDTA *Scenedesmus* sp. dan 1,033 untuk alga *Scenedesmus* sp. tanpa modifikasi EDTA.
6. Proses *recovery* dengan pengasaman didapatkan persen *recovery* sebesar 57 % dengan proses pengadukan selama 120 menit.

7. Hasil adsorpsi alga yang termodifikasi EDTA menunjukkan persentase adsorpsi yang tidak jauh berbeda sehingga cara modifikasi ini kurang efektif untuk meningkatkan adsorpsi.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dikemukakan saran-saran sebagai berikut :

1. Melakukan penelitian lebih lanjut dengan mengimmobilisasi biomassa dengan menggunakan polimer tertentu.
2. Melakukan penelitian lebih lanjut yang mempelajari mekanisme reaksi antara kation dengan gugus fungsional tertentu pada proses biosorpsi
3. Alga hijau yang digunakan sebagai biosorben harus lebih homogen lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Hutagalung, H.P.1991.*Pencemaran Laut Oleh Logam Berat*. Laporan Penelitian Proyek Penelitian Bagian Peningkatan Kualitas Sumber Daya Manusia. Departemen Pendidikan Nasional.
- [2]. Saefumillah, Asep. 2008. *Proposal Penelitian Hibah Bersaing “Studi Biosorpsi Ion Logam Berat Menggunakan Biomassa Alga Hijau dari Danau di Lingkungan Universitas Indonesia”*. Departemen Kimia. FMIPA UI.
- [3]. J. Pelczar, Jr., Michael. C. S. Chan, E. 1986. *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Penerjemah :Siri Hdaioetomo, Ratna. dkk. Jakarta: UI-Press. Terjemahan dari : *Elements of Microbiology*.
- [4]. Wetzel, R.G. 2001. *Limnology: Lake and River Ecosystem*. Academic Press.
- [5]. Bold, H.C. &M.J. Wynne. 1985. *Introduction to the algae. Structure and Reproduction*. Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi.
- [6]. Anonim, *Alga Penghasil Biodiesel*, <http://www.energidansumberdayamineral.com/alga.html> diakses tanggal 1 Agustus 2008.
- [7]. Anonim. *Fotosintesis*. <http://id.wikipedia.org/.../f/o/t/Fotosintesis.html> diakses tanggal 1 Agustus 2008.
- [8]. L.E. Graham, L.W. Wilcox. 2000. *Algae*, Prentice Hall, Inc., New Jersey.

- [9]. Trainor, F. R. 1993. *Cyclomorphosis in Scenedesmus subspicatus (Chlorococcales, Chlorophyta) Stimulation of Colony Development at Low Temperature*. Phycologia.
- [10]. Pantecost, A. 1984. *Introduction to Freshwater Algae*. Richmond Publishing Co, Ltd., Surrey.
- [11]. Pickett-Heaps, J. D. 1975. *Green Algae*. Sinauer Associates, Inc. Publisher, Sunderland.
- [12]. R. Bell, Peter and Christopher L. F. Woodcock. 1983. *The diversity of Green Plants*. ELBS third edition. Edward Arnorld Publisher, Ltd. London.
- [13]. Anonim. *Scenedesmus*.
<http://www.microscopyuk.org.uk/mag/indexmag.html?http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/artoct05/mmdesmid.html> diakses tanggal 9 Juni 2009.
- [14]. G.E. Fogg, B. Thake, 1987. *Algal Cultures and Phytoplankton Ecology*, 3rd ed., The University of Wisconsin Press, Wisconsin.
- [15]. Mawardi, dkk. 2008. *Karakterisasi Biosorpsi Ion Krom (III) dan Krom (VI) Oleh Biomassa Alga Hijau Spirogyra subsalsa*. Disertasi Program Studi Kimia FMIPA UI.
- [16]. Hancock, J. C., 1996. *Mechanism of Passive sorption of Heavy Metal by Biomass and Biological Products*, in Symposium and Workshop on Heavy Metal Bioaccumulation. IUC Biotechnology Gajah Mada University, Yogyakarta 18-20 September.

- [17]. Wulandari, Wanti. 2007. *Studi awal Pemanfaatan Alga Hijau dan Karakterisasiny Sebagai Biosorben Ion logam Cd^{2+} , Zn^{2+} dan Cr^{2+}* . Skripsi Departemen Kimia FMIPA Universitas Indonesia.
- [18]. Wulandari, Diah. 2008. *Studi Biosorpsi Ion Logam Cd(II) Oleh Biomassa Alga Hijau Termodifikasi*. Skripsi Sarjana Departemen Kimia Universitas Indonesia.
- [19]. Garedea-Torresdey, J.L, Becker-Hapak, M. K., Hosea, J. M., dan Darnall, D. W. 1990. *Effect of Chemical Modification of Algal Carboxyl Group on Metal Ion Binding, Environ. Sci. Technol.*
- [20]. Zhao, Y., hao, Y and Ramelow, G. J., 1994. *Evaluation of Treatment Techniques for Increasing the Upted of Metal Ion From Solution by Non-Living Seaweed Algal Biomass*. Environmental Monitoring and Assesment.
- [21]. Mawardi. 2000. *Studi Biosorpsi Logam Timbal oleh Biomassa Alga Mati*. Laporan Penelitian. Due-Like. Lemlit UNP Padang.
- [22]. Yin, P., dkk. 2001. *Biosorption and Desorption of Cadmium(II) by Biomass of Laminaria japonica*. Environmental Technology.
- [23]. Saitoh, T., dkk. 2001. *Spectrophotometric Determination of Some Functional Groups on Chlorella for The Evaluation of Their Contribution to Metal Uptake*. Analytical Sciences.
- [24]. Anonim Etylen Tri Amine Tetra Acetate.
[http://id.wikipedia.org.../f/o/t/Etylen Tri Amenie Tetra Acetate.html](http://id.wikipedia.org.../f/o/t/Etylen_Tri_Amenie_Tetra_Acetate.html).
Diakses tanggal 5 Juni 2009.
- [25]. Nur El Fajri. 2001. *Analisis Kandungan Logam Berat Hg, Cd dan Pb dalam Air Laut, Sedimen dan Tiram (Carassostrea cucullata) di*

Perairan Pesisir Kecamatan Pedes, Kabupaten Karawang, Jawa Barat. Tesis Program Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor.

- [26]. Ismayati S., Asri. 2006. *Biosorpsi Cd(II) dan Pb(II) Menggunakan Kulit Jeruk Siam(Citrus reticulata)*. Skripsi Sarjana Departemen Kimia. FMIPA IPB.
- [27]. Atkins, PW. 1999. *Kimia Fisik Jilid I*. Irma I Kartohadiprojo, penerjemah : Rohhadiyan T, Hadiyana K, editor. Jakarta: Erlangga. Terjemahan dari : *Physical Chemistry*.
- [28]. Sunardi.,2002 .*Analisis Fotometri*. Departemen Kimia. FMIPA UI.
- [29]. Auliya H., Dina. 2008. *Pencangkakan Glisidil Metakrilat (GMA) dan Asam Iminodiasetat (IDA) pada Serat Rayon yang Diikat Silang dengan N,N'-Metilendiakrilamid (NBA) melalui Teknik Ozonasi*. Skripsi Sarjana Departemen Kimia. FMIPA UI.
- [30]. Anonim, *Fourier Transform Infrared*, <http://www.wikipedia.com/ftir.html> diakses tanggal 20 Mei 2009.
- [31]. Rahmadi, Adel. 2005. *Pengaruh Beberapa Konsentrasi Tembaga (Cu) dalam Medium Basal Bold (MBB) Terhadap Kerapatan Sel Mikroalga Marga Scenedesmus Meyen*. Skripsi Departemen Biologi FMIPA UI.
- [32]. Betawati P., Nining., dkk. 2005. *Pertumbuhan Chlorella spp. dalam Medium Ekstrak Tauge (MET) dengan Variasi pH Awal*. Departemen Biologi. FMIPA UI.
- [33]. Hughes, M. N. and Poole R. K., 1990. *Metal and Microorganism*. Chapman and Hall. London.

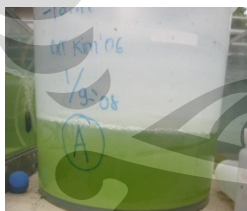
Lampiran 1

a. Lokasi sampling

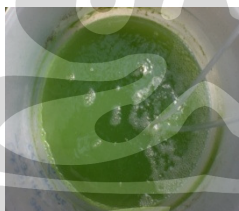
Situ Agathis Universitas Indonesia Depok



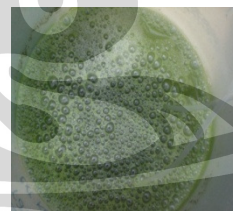
b. Pengamatan biakan wadah A



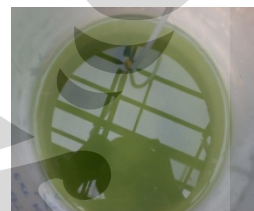
19 Oktober 2008



20 Oktober 2008



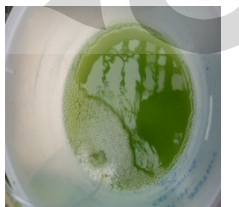
21 Oktober 2008



22 Oktober 2008



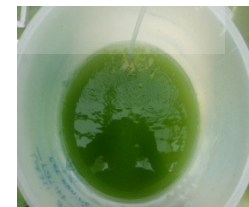
23 Oktober 2008



24 Oktober 2008



25 Oktober 2008

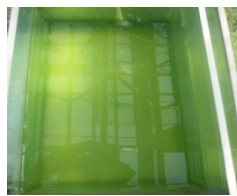


26 Oktober 2008

c. Pengamatan biakan wadah B



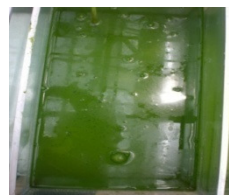
19 Oktober 2008



20 Oktober 2008



21 Oktober 2008



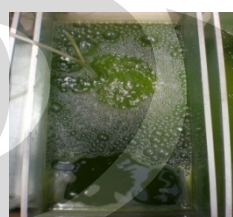
22 Oktober 2008



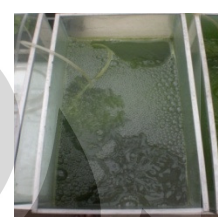
23 Oktober 2008



24 Oktober 2008



25 Oktober 2008



26 Oktober 2008

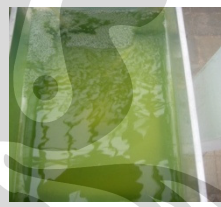
d. Pengamatan biakan wadah C



19 Oktober 2008



20 Oktober 2008



21 Oktober 2008



22 Oktober 2008



23 Oktober 2008



24 Oktober 2008



25 Oktober 2008



26 Oktober 2008

Lampiran 2

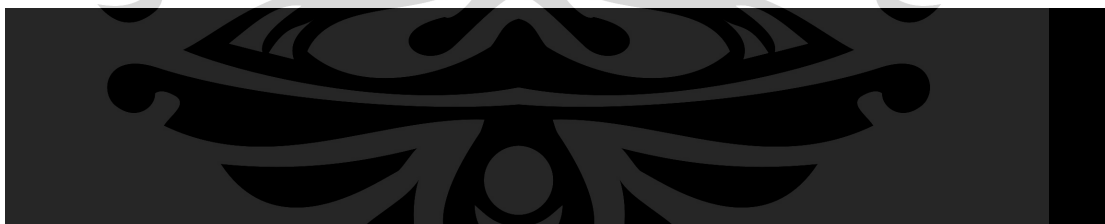
a. Hasil Transformasi data ($\log x$) terhadap data kerapatan sel alga hijau *Scenedesmus* sp. (sel/ml)



b. Rerata kerapatan sel alga hijau *Scenedesmus* sp (sel/ml)



c. Laju pertumbuhan alga hijau *Scenedesmus* sp (sel/ml)



Lampiran 3

- a. Pengaruh pH awal 25 mL larutan kadmium(II) 10 mg/L terhadap adsorpsi alga hijau *Scenedesmus* sp. tanpa modifikasi EDTA

pH	Absorbansi	Ceq (mg/L)	Cb (mg/L)	% adsorpsi	ads Cd/biomassa (mg/g)	ads Cd/biomassa (mmol/g)
3	0.075	1.345	8.655	86.549	2.164	0.019
5	0.072	1.286	8.714	87.137	2.178	0.019
6	0.069	1.227	8.773	87.725	2.193	0.020
7	0.038	0.620	9.380	93.804	2.345	0.021
8	0.031	0.482	9.518	95.176	2.379	0.021
9	0.033	0.522	9.478	94.784	2.370	0.021
10	0.034	0.541	9.459	94.588	2.365	0.021

- b. Pengaruh pH awal 25 mL larutan kadmium(II) 10 mg/L terhadap adsorpsi alga hijau *Scenedesmus* sp. modifikasi EDTA

pH	Absorbansi	Ceq (mg/L)	Cb (mg/L)	% adsorpsi	ads Cd/biomassa (mg/g)	ads Cd/biomassa (mmol/g)
3	0.079	1.424	8.576	85.765	2.144	0.019
5	0.007	0.012	9.988	99.882	2.497	0.022
6	0.009	0.041	9.959	99.588	2.490	0.022
7	0.013	0.120	9.880	98.804	2.470	0.022
8	0.012	0.116	9.884	98.837	2.471	0.022
9	0.019	0.247	9.753	97.529	2.438	0.022
10	0.028	0.424	9.576	95.765	2.394	0.021

Lampiran 4

- a. Pengaruh waktu kontak 25 mL larutan kadmium(II) 10 mg/L pH 5 terhadap adsorpsi alga hijau *Scenedesmus* sp. tanpa modifikasi EDTA

Waktu Kontak (menit)	Absorbansi	Ceq (mg/L)	Cb (mg/L)	% adsorpsi	ads Cd/biomassa (mg/g)	ads Cd/biomassa (mmol/g)
10	0.107	1.660	8.340	83.396	2.085	0.019
30	0.065	0.868	9.132	91.321	2.283	0.020
40	0.066	0.887	9.113	91.132	2.278	0.020
60	0.041	0.415	9.585	95.849	2.396	0.021
90	0.048	0.547	9.453	94.528	2.363	0.021
120	0.049	0.566	9.434	94.340	2.358	0.021

- b. Pengaruh waktu kontak 25 mL larutan kadmium(II) 10 mg/L pH 5 terhadap adsorpsi alga hijau *Scenedesmus* sp. modifikasi EDTA

Waktu Kontak (menit)	Absorbansi	Ceq (mg/L)	Cb (mg/L)	% adsorpsi	ads Cd/biomassa (mg/g)	ads Cd/biomassa (mmol/g)
10	0.048	0.547	9.453	94.528	2.363	0.021
30	0.041	0.415	9.585	95.849	2.396	0.021
40	0.029	0.189	9.811	98.113	2.453	0.022
60	0.022	0.057	9.943	99.434	2.486	0.022
90	0.023	0.075	9.925	99.245	2.481	0.022
120	0.024	0.094	9.906	99.057	2.476	0.022

Lampiran 5

- a. Pengaruh konsentrasi awal larutan kadmium(II) pH 5 terhadap adsorpsi alga hijau *Scenedesmus* sp. tanpa modifikasi EDTA

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi	Ceq (mg/L)	% adsorpsi	ads Cd/bio (mg/g)	ads Cd/biomassa (mmol/g)
5	0.086	1.036	79.286	0.259	0.002
10	0.063	0.625	93.750	0.156	0.001
20	0.066	0.679	96.607	0.170	0.002
30	0.213	3.304	88.988	0.826	0.007
50	0.367	6.054	87.893	1.513	0.013
80	0.619	10.554	86.808	2.638	0.023

- b. Pengaruh konsentrasi awal larutan kadmium(II) pH 5 terhadap adsorpsi alga hijau *Scenedesmus* sp. modifikasi EDTA

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi	Ceq (mg/L)	% adsorpsi	ads Cd/bio (mg/g)	ads Cd/biomassa (mmol/g)
5	0.062	0.607	87.857	0.152	0.001
10	0.053	0.446	95.536	0.112	0.001
20	0.045	0.304	98.482	0.076	0.001
30	0.067	0.696	97.679	0.174	0.002
50	0.277	4.446	91.107	1.112	0.010
80	0.531	8.982	88.772	2.246	0.020

Lampiran 6

a. Isoterm adsorpsi Langmuir alga tanpa modifikasi EDTA

Ceq (mg/L)	Adsorpsi Cd/bio (mmol/g)	Ceq (mmol/L) c	Serapan Cd/bio (mmol/g) a	C/a
1.0357	0.0088	0.009	0.0088	1.0450
0.625	0.0209	0.0056	0.0209	0.2667
0.67857	0.0430	0.0060	0.0430	0.1405
3.3036	0.0594	0.0294	0.0594	0.4950
6.0536	0.0977	0.054	0.0977	0.5510
10.554	0.1544	0.0939	0.1544	0.6079

b. Isoterm adsorpsi Langmuir alga modifikasi EDTA

Ceq (mg/L)	Adsorpsi Cd/bio (mmol/g)	Ceq (mmol/L) c	Serapan Cd/bio (mmol/g) a	C/a
0.6071	0.0098	0.005	0.0098	0.5528
0.4464	0.0212	0.0040	0.0212	0.1869
0.3036	0.0438	0.0027	0.0438	0.0617
0.6964	0.0652	0.0062	0.0652	0.0951
4.4464	0.1013	0.040	0.1013	0.3904
8.9821	0.1579	0.0799	0.1579	0.5059

Lampiran 7

a. Isoterm adsorpsi Freundlich alga tanpa modifikasi EDTA

Ceq (mg/L)	Serapan Cd/bio (mmol/g)	log Ceq	log ads/bio
0.8357	0.0093	-0.0779	-2.0333
0.925	0.0202	-0.0339	-1.6950
1.67857	0.0407	0.2249	-1.3899
3.3036	0.0594	0.5190	-1.2264
6.0536	0.0977	0.7820	-1.0099
10.554	0.1544	1.0234	-0.8112

b. Isoterm adsorpsi Freundlich alga modifikasi EDTA

Ceq (mg/L)	Serapan Cd/bio (mmol/g)	log Ceq	log ads/bio
0.7071	0.0095	-0.1505	-2.0201
0.8464	0.0204	-0.0724	-1.6913
1.0360	0.0422	0.0154	-1.3749
3.6964	0.0585	0.5678	-1.2328
8.4464	0.0924	0.9267	-1.0343
13.9821	0.1468	1.1456	-0.8332

Lampiran 8

a. Hasil EDX kandungan alga tanpa modifikasi EDTA

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
 N K BN 22/03/06
 O K AL₂O₃ 22/03/06
 Na K Orthoclase 22/03/06
 P K GaP 22/03/06
 K K Orthoclase 22/03/06
 Cd L Cadmium 03/03/07
 Pb M PbTe 03/03/07

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	6.21	8.84
N K	ED	22.29	27.19
O K	ED	47.15	50.37
Na K	ED	1.06	0.78
P K	ED	22.60	12.47
K K	ED	0.75	0.33
Cd L	ED	0.21*	0.03*
Pb M	ED	-0.27*	-0.02*
Total		100.00	100.00

b. Hasil EDX kandungan alga tanpa modifikasi EDTA

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
 N K BN 22/03/06
 O K AL₂O₃ 22/03/06
 Na K Orthoclase 22/03/06
 P K GaP 22/03/06
 K K Orthoclase 22/03/06
 Cd L Cadmium 03/03/07
 Pb M PbTe 03/03/07

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	6.21	8.84
N K	ED	22.29	27.19
O K	ED	47.15	50.37
Na K	ED	1.06	0.78
P K	ED	22.60	12.47
K K	ED	0.75	0.33
Cd L	ED	0.21*	0.03*
Pb M	ED	-0.27*	-0.02*
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Lampiran 9

Contoh Perhitungan

Dari pengukuran larutan standard dengan memplotkan antara konsentrasi sebagai sumbu x dan absorbansi sebagai sumbu y didapatkan persamaan garis

$$y = 0,051x + 0,006.$$



Dengan memasukkan nilai absorbansi hasil pengukuran sampel sebagai sumbu y ke dalam persamaan diatas maka akan diperoleh nilai C_{eq} (konsentrasi saat kesetimbangan).

Contoh : pada pH 3, $y = 0,075$

$$0,075 = 0,051x + 0,006$$

$$x = 1,3451$$

Maka C_{eq} pada pH 3 adalah 1,3451 mg/L.

Lampiran 10

Rumus Perhitungan

Kadar logam yang terserap

$$C = \frac{(C_i - C_{eq}) \times V}{W}$$

Keterangan : C = Konsentrasi logam yang terserap (mg/g)

C_i = Konsentrasi larutan logam mula-mula (mg/L)

C_{eq} = Konsentrasi saat kesetimbangan (mg/L)

V = Volum (L)

W = Berat (g)

Contoh : Pada pH 3 untuk ion logam Cd(II), yaitu :

$$C = \frac{(10^{-1,3451}) \text{ mg/L} \times 25 \cdot 10^{-3} \text{ L}}{0,1 \text{ g}}$$

$$= 2,1637 \text{ mg/g}$$

Atau

$$C = \frac{2.1637 \text{ mg/g}}{Ar \text{ Cd}}$$

$$= \frac{2.1637 \text{ mg/g}}{112,41 \text{ mg/mmol}}$$

$$= 0,0192 \text{ mmol/g}$$