

**STUDI BIOSORPSI ION LOGAM Cd (II) OLEH BIOMASSA  
ALGA HIJAU YANG DIIMOBILISASI PADA SILIKA GEL**

**SUSILAWATI  
0305030603**



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

**STUDI BIOSORPSI ION LOGAM Cd (II) OLEH BIOMASSA ALGA HIJAU  
YANG DIIMOBILISASI PADA SILIKA GEL**

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

**Oleh  
SUSILAWATI  
0305030603**



**DEPOK  
2009**

SKRIPSI : STUDI BIOSORPSI ION LOGAM Cd (II) OLEH  
BIOMASSA ALGA HIJAU YANG DIIMOBILISASI  
PADA SILIKA GEL

NAMA : SUSILAWATI

NPM : 0305030603

SKRIPSI INI TELAH DIPERIKSA DAN DISETUJUI

DEPOK, JULI 2009

ASEP SAFFUMILLAH, Ph.D

PEMBIMBING I

Drs. SUNARDI, M.Si

PEMBIMBING II

Tanggal lulus Ujian Sidang Sarjana : .....

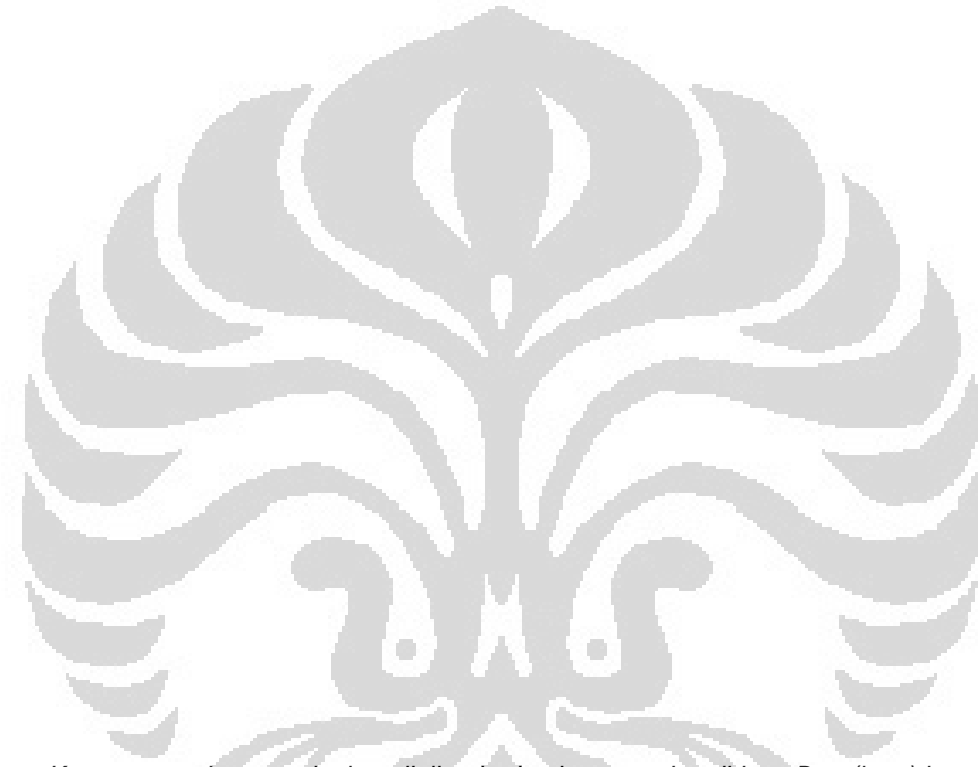
Penguji I : .....

Penguji II: .....

Penguji III : .....

*Skripsi ini kupersembahkan untuk keluargaku tercinta, terutama kedua orang tuaku atas segala pengorbanan serta kasih sayang mereka, semoga Allah selalu melindungi kalian dimana pun kalian berada.*

*Terima kasih Ya Allah atas segala anugerah yang Engkau berikan dan beri aku kesempatan untuk menjadi orang yang bermanfaat.*



*Kamu sungguh-sungguh akan diuji terhadap hartamu dan dirimu. Dan (juga) kamu sungguh-sungguh akan mendengar dari orang-orang yang diberi kitab sebelum kamu dan dari orang-orang yang mempersekutukan Allah, gangguan yang banyak, yang menyakitkan hati. Jika kamu bersabar dan bertakwa, maka sesungguhnya yang demikian itu termasuk urusan yang patut diutamakan. ( QS 3:186 )*

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Menggenggam segala sesuatu, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga dapat bertahan atas segala cobaan yang datang dan dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Dan juga solawat serta salam kepada Rasullulah Muhammad SAW, yang telah memberikan kabar gembira atas orang yang sabar dan tawakal.

Skripsi yang berjudul Studi Biosorpsi Ion logam  $Cd^{2+}$  oleh Biomassa Alga Hijau yang Diimobilisasi pada Silika Gel, disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program sarjana strata-1 di Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Pada kesempatan ini dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Asep Saefumillah, Ph.D dan Bapak Drs. Sunardi, M.Si selaku Pembimbing Penelitian, Dr. Ridla Bakri selaku Ketua Departemen Kimia UI, Dr. Jarnuzi Gulanzuardi selaku penasehat akademik, Dra. Tresye Utari selaku koordinator penelitian, dan seluruh dosen Kimia yang telah memberikan Ilmu dan wawasan yang tidak ternilai selama ini. Terima kasih juga kepada Mba Ina dan Mba Cucu atas bantuan bahan – bahan kimianya serta seluruh staff laboratorium afiliasi atas bantuan dalam pemakaian

instrumen, seluruh staf pengajar Departemen Kimia FMIPA UI yang telah dengan tulus memberikan ilmu, serta seluruh staf Tata Usaha FMIPA UI.

Ucapan terima kasih secara khusus kepada Mama dan Bapak tercinta yang telah memberikan perhatian, dukungan materi maupun moril, doa dan kasih sayang yang tulus, adikku Santi serta keluargaku atas doa dan bantuannya. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada sahabatku dan teman seperjuangan selama penelitian Santi, Ka Ratih terima kasih atas bantuan serta dukungannya. Rekan-rekan sesama penelitian , Alti, Mutia, Ana, Norma, Lila, Purnama, Meli, Lulu, Rilian, Mita, Dita, Destya, Ria, K vevi dkk. Rekan – rekan kimia 2005 lainnya terima kasih atas doa dan semangatnya, teman-teman dan orang-orang yang telah membantu namun tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, serta berbagai pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini baik secara langsung maupun tidak langsung selama penelitian, memberikan semangat, motivasi dan doa semoga Allah SWT membalasnya dengan rahmat dan ridho-Nya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, dan masih banyak kesalahannya oleh karena itu penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya, dan penulis berharap agar skripsi yang disusun ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.

Jakarta, Juni 2009

Penulis

## ABSTRAK

Penggunaan biomassa alga hijau merupakan suatu alternatif pemecahan masalah pencemaran lingkungan akibat logam berat, karena memiliki situs aktif dan pori-pori pada permukaannya sehingga mendukung proses adsorpsi, dapat diregenerasi, ramah lingkungan dan keberadaannya pun cukup melimpah. Namun, kemampuan biomassa alga untuk mengadsorpsi logam berat memiliki keterbatasan dalam beberapa hal seperti: ukurannya kecil, berat jenisnya yang rendah dan mudah rusak karena degradasi oleh mikroorganisme lain. Untuk mengatasi kelemahan tersebut maka dilakukan berbagai upaya, diantaranya dengan metode imobilisasi. Hasil dari penelitian ini, penyerapan maksimum ion logam Cd (II) oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel terjadi pada pH 8 sebesar 99,848 % dan 62,304 %. Waktu kontak maksimum pada 120 menit. Alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel memiliki ketahanan kimiawi (terhadap asam) yang lebih baik dibandingkan dengan alga hijau non imobilisasi. Dalam waktu 180 menit alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel dan alga hijau non imobilisasi mampu menyerap ion logam Cd (II) masing-masing sebesar 89,55 % dan 85,59 %.

Kata kunci: alga, biomassa, biosorpsi, imobilisasi, silika gel

xiii + 94 hal.;gbr.;lamp.;tab.

Bibliografi: 31 (1976-2009)

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Hipotesis.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1. Alga.....	5
2.2. Logam Berat.....	9
2.2.1. Kadmium .....	10
2.3. Biosorpsi.....	12
2.4. Imobilisasi Biomassa .....	15
2.5. Silika Gel .....	17
2.6. Interaksi logam dengan biomassa .....	18



2.7. Isoterm Adsorpsi.....	19
2.7.1. Isoterm Langmuir.....	20
2.7.2. Isoterm Freundlich.....	22
2.8. Spektrofotometer Serapan Atom .....	23
2.9. FTIR .....	25
2.10. SEM-EDX .....	27
<b>BAB III. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>29</b>
3.1. Alat dan Bahan .....	29
3.1.1. Alat.....	29
3.1.2. Bahan .....	29
3.2. Instrumen.....	30
3.3. Prosedur Kerja.....	30
3.3.1. Peparasi Biomassa Alga hijau .....	30
3.3.2. Immobilisasi biomassa alga hijau dengan silika gel ....	31
3.3.3. Karakterisasi Biomassa.....	31
3.3.4. Pembuatan Larutan Induk.....	31
3.4. Perlakuan Penelitian.....	32
3.4.1. Pengaruh variasi pH .....	32
3.4.2. Pengaruh variasi waktu kontak .....	32
3.4.3. Pengaruh variasi konsentrasi.....	33
3.4.4. Pengaruh asam terhadap stabilitas Alga Hijau .....	33
3.4.5. Penentuan kadar ion logam yang terserap biomassa .	34
3.4.6. Recovery Biomassa .....	34

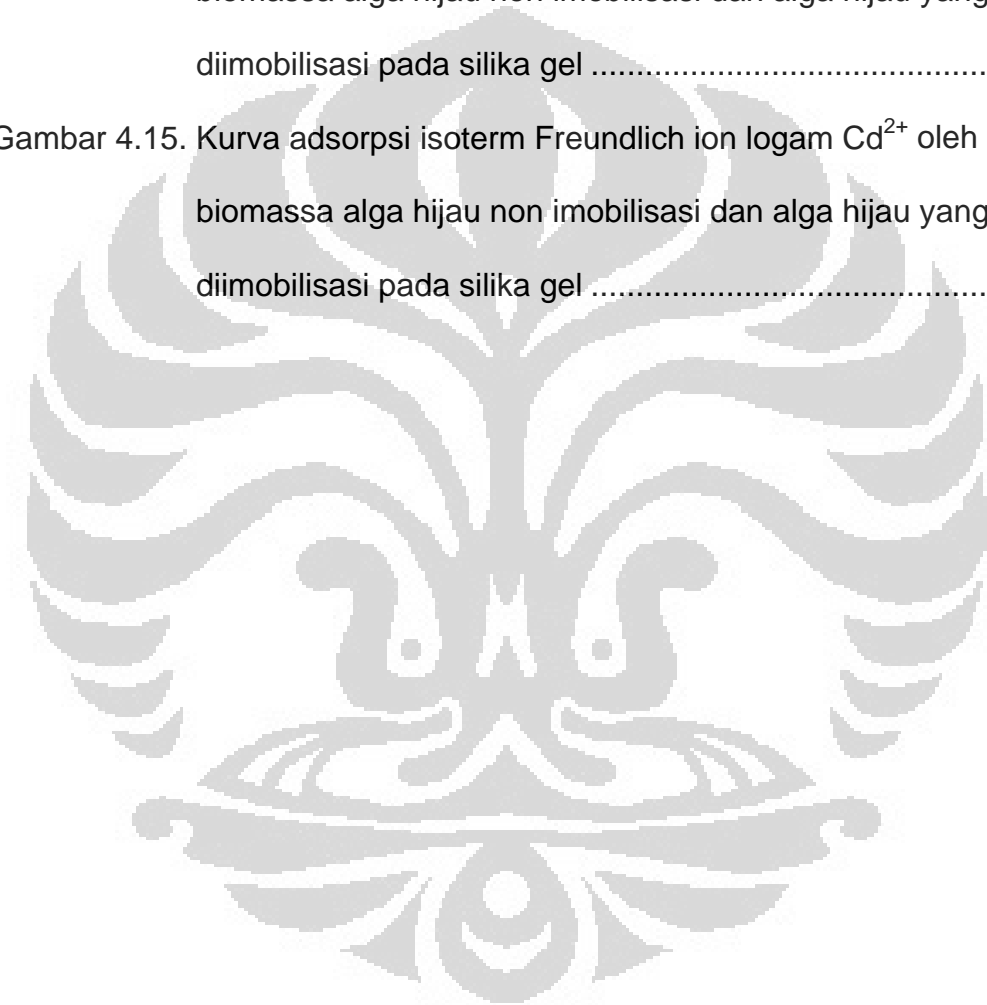
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>35</b>
4.1. Karakterisasi Biomassa Alga Hijau.....	35
4.1.1. Karakterisasi FT-IR.....	35
4.1.2. Karakterisasi SEM.....	42
4.1.3. Karakterisasi EDX.....	43
4.2. Pengaruh variasi pH awal larutan terhadap adsorpsi ion logam Cd (II) oleh biomassa alga hijau.....	46
4.3. Pengaruh variasi waktu kontak terhadap adsorpsi ion logam Cd (II) oleh biomassa alga hijau.....	50
4.4. Pengaruh variasi konsentrasi ion logam Cd (II) terhadap adsorpsi ion logam Cd (II) oleh biomassa alga hijau.....	52
4.5. Pengaruh Asam terhadap stabilitas alga hijau.....	55
4.6. Recovery.....	58
4.7. Kurva adsorpsi Isoterm Langmuir adsorpsi Cd (II) oleh biomassa alga hijau.....	62
4.8. Kurva adsorpsi Isoterm Freundlich adsorpsi Cd (II) oleh biomassa alga hijau.....	64
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>67</b>
5.1. Kesimpulan.....	67
5.2. Saran.....	68
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>69</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>74</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Alga Hijau.....	6
Gambar 2.2.	Sumber utama kontribusi fosfor yang masuk ke permukaan air (rata-rata untuk 12 kota termasuk UK) .....	7
Gambar 2.3.	Situasi ekstrim kasus ledakan populasi alga .....	7
Gambar 2.4.	Kasus ledakan populasi alga dilihat dari Citra satelit milik NASA SeaWiFS diambil pada 25 April 1998 menunjukkan ledakan populasi alga (coccolithophore) di the Bering Sea, yang ditunjukkan oleh daerah berwarna hijau yang sangat massive.....	8
Gambar 2.5.	Situasi algal bloom di situ Agathis Universitas Indonesia .....	9
Gambar 2.6.	Logam Kadmium .....	11
Gambar 2.7.	Struktur Silika gel .....	17
Gambar 2.8.	Diagram alat AAS.....	25
Gambar 4.1.	Spektra FT-IR alga hijau non imobilisasi sebelum dan setelah menyerap ion logam Cd (II) .....	36
Gambar 4.2.	Spektra FT-IR alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel sebelum dan setelah menyerap ion logam Cd (II) .....	40
Gambar 4.3.	Morfologi alga hijau dengan SEM (a) alga hijau non imobilisasi, (b) alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel, dan (c) silika gel .....	42

Gambar 4.4. Analisis semi kuantitatif (EDX) unsur utama penyusun biomassa alga hijau non imobilisasi .....	44
Gambar 4.5. Analisis semi kuantitatif (EDX) unsur utama penyusun biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel .....	45
Gambar 4.6. Adsorpsi ion logam $Cd^{2+}$ oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel dengan variasi pH .....	48
Gambar 4.7. Struktur silikon dalam substansi organik, (a) terikat secara kovalen, (b) terikat melalui ikatan hidrogen .....	49
Gambar 4.8. Adsorpsi ion logam $Cd^{2+}$ oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel dengan variasi waktu kontak .....	51
Gambar 4.9. Adsorpsi ion logam $Cd^{2+}$ oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel dengan variasi konsentrasi ion logam Cd (II) .....	53
Gambar 4.10. Adsorpsi ion logam $Cd^{2+}$ oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel setelah perlakuan asam dengan variasi waktu .....	56
Gambar 4.11. Spektra UV-Vis (a) alga dengan aquades; (b) alga hijau dengan asam 0,1 M; (c) alga hijau dengan asam 0,6 M; (d) alga hijau dengan asam 3 M .....	57
Gambar 4.12. Recovery ion logam $Cd^{2+}$ oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dengan variasi waktu .....	59

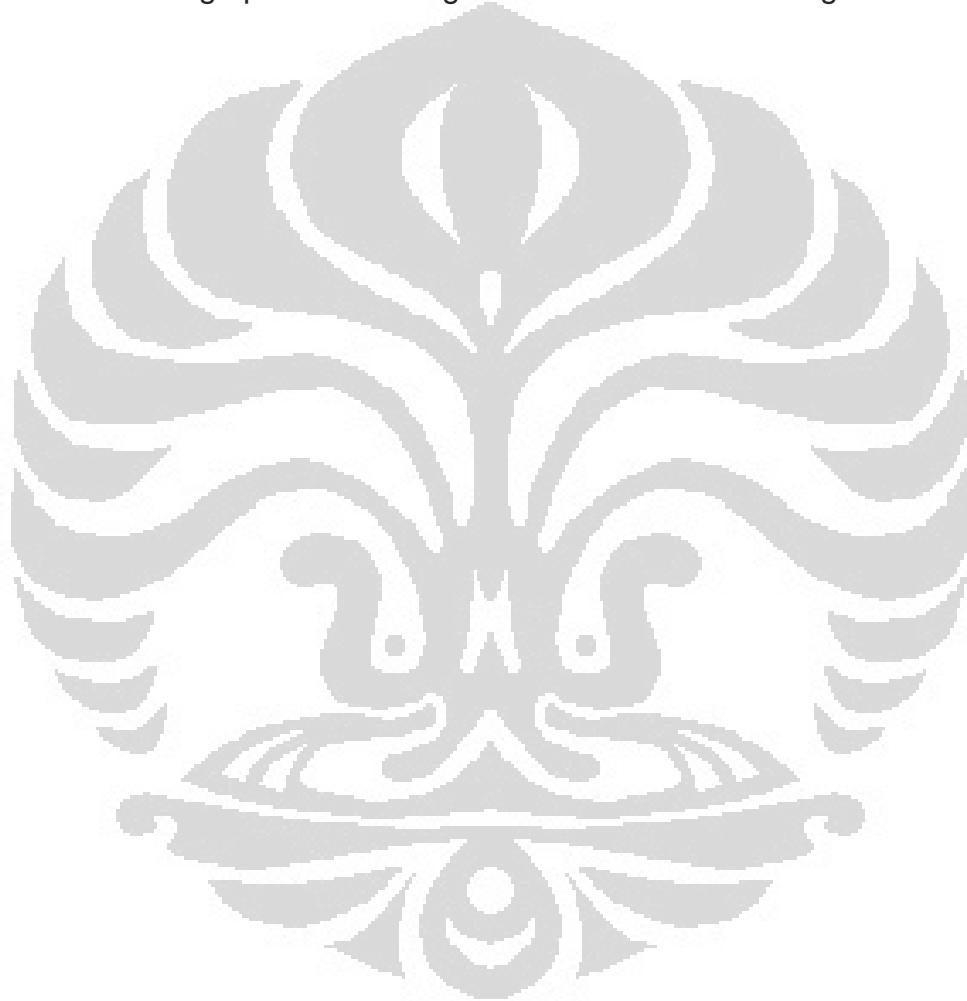
Gambar 4.13. Recovery ion logam $Cd^{2+}$ oleh biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel dengan variasi waktu.....	60
Gambar 4.14. Kurva adsorpsi isoterm Langmuir ion logam $Cd^{2+}$ oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel .....	63
Gambar 4.15. Kurva adsorpsi isoterm Freundlich ion logam $Cd^{2+}$ oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel .....	65



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat-sifat Fisika dari Logam Kadmium .....	11
Tabel 4.1. Pergeseran bilangan gelombang alga hijau non-imobilisasi sebelum dan setelah interaksi dengan Cd(II) .....	39
Tabel 4.2. Pergeseran bilangan gelombang alga hijau immobilisasi pada silika gel sebelum dan setelah interaksi dengan Cd(II) .....	41
Tabel 4.3. Data analisis semi kuantitatif (EDX) unsur utama penyusun biomassa alga hijau non immobilisasi dan immobilisasi pada silika gel.....	46
Tabel 4.4. Adsorpsi ion logam Cd <sup>2+</sup> oleh biomassa alga hijau non immobilisasi dan alga hijau yang diimmobilisasi pada silika gel dengan variasi pH.....	47
Tabel 4.5. Adsorpsi ion logam Cd <sup>2+</sup> oleh biomassa alga hijau non immobilisasi dan alga hijau yang diimmobilisasi pada silika gel dengan variasi waktu kontak .....	51
Tabel 4.6. Adsorpsi ion logam Cd <sup>2+</sup> oleh biomassa alga hijau non immobilisasi dan alga hijau yang diimmobilisasi pada silika gel dengan variasi konsentrasi larutan ion logam Cd(II).....	53
Tabel 4.7. Adsorpsi ion logam Cd <sup>2+</sup> oleh biomassa alga hijau non immobilisasi dan alga hijau yang diimmobilisasi pada silika gel setelah perlakuan asam dengan variasi waktu kontak .....	56

Tabel 4.8. % Recovery ion logam $Cd^{2+}$ oleh biomassa alga hijau non immobilisasi dengan variasi waktu kontak.....	59
Tabel 4.9. % Recovery ion logam $Cd^{2+}$ oleh biomassa alga hijau yang diimmobilisasi pada silika gel dengan variasi waktu kontak .....	61
Tabel 4.10. Harga parameter langmuir dan freundlich ion logam $Cd^{2+}$ .....	66



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Bagan Kerja Preparasi Biomassa.....	74
Lampiran 2. Desain Penelitian .....	74
Lampiran 3. Bagan Kerja Immobilisasi dengan silika gel .....	75
Lampiran 4. Bagan Kerja Variasi pH .....	76
Lampiran 5. Bagan Kerja Variasi Waktu.....	77
Lampiran 6. Bagan Kerja Variasi Konsentrasi Ion Logam.....	78
Lampiran 7. Bagan Kerja Perlakuan asam terhadap biomassa alga hijau .	79
Lampiran 8. Kurva kalibrasi standar logam Cd(II) .....	80
Lampiran 9. Adsorpsi ion logam Cd <sup>2+</sup> oleh biomassa alga hijau non immobilisasi dan alga hijau yang diimmobilisasi pada silika gel dengan variasi pH.....	81
Lampiran 10. Adsorpsi ion logam Cd <sup>2+</sup> oleh biomassa alga hijau non immobilisasi dan alga hijau yang diimmobilisasi pada silika gel dengan variasi waktu kontak.....	82
Lampiran 11. Adsorpsi ion logam Cd <sup>2+</sup> oleh biomassa alga hijau non immobilisasi dan alga hijau yang diimmobilisasi pada silika gel dengan variasi konsentrasi .....	83
Lampiran 12. Adsorpsi ion logam Cd <sup>2+</sup> oleh biomassa alga hijau non immobilisasi dan alga hijau yang diimmobilisasi pada silika gel setelah perlakuan asam dengan variasi waktu kontak .....	84



Lampiran 13. Pengaruh variasi konsentrasi Cd (II) dengan variasi waktu kontak pada biomassa alga hijau non imobilisasi .....	85
Lampiran 14. Pengaruh variasi konsentrasi Cd (II) dengan variasi waktu kontak pada biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel.....	86
Lampiran 15. Contoh perhitungan konsentrasi ion logam Cd (II) sisa ( $C_{eq}$ ), konsentrasi ion logam Cd (II) teradsorpsi ( $C_b$ ) dan persen adsorpsi.....	87
Lampiran 16. Data perhitungan untuk isoterm adsorpsi.....	89
Lampiran 17. Tabel absorpsi FT-IR.....	91
Lampiran 18. SEM Alga hijau non imobilisasi .....	92
Lampiran 19. SEM Alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel .....	93
Lampiran 20. SEM Silika gel .....	94

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan sistem adsorpsi untuk penyerapan logam-logam berat dari lingkungan akuatik telah banyak dilakukan. Salah satu penerapannya adalah sistem adsorpsi menggunakan biomassa alga. Biomassa alga dikenal memiliki kapabilitas yang tinggi untuk menyerap ion-ion logam karena memiliki sejumlah gugus fungsional seperti hidroksil, karboksil, amino, dan sulfat yang dapat digunakan untuk berikatan dengan ion logam<sup>[1]</sup>. Oleh karena itu, biomassa alga dapat dijadikan alternatif adsorben dalam rangka meminimalisasi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh logam berat.

Salah satu logam berat yang banyak ditemukan sebagai limbah industri adalah kadmium. Sumber pencemaran logam berat kadmium ini umumnya berasal dari beberapa limbah industri seperti industri pelapisan, cat, plastik, pembuatan baterai dan pertambangan. Kadmium merupakan logam yang bersifat toksik, oleh karena itu diperlukan suatu cara untuk memisahkan logam tersebut dari limbahnya.

Salah satu cara untuk memisahkan logam dari limbahnya adalah dengan menggunakan biomassa alga sebagai adsorben logam. Penggunaan biomassa alga sebagai adsorben logam memiliki beberapa keunggulan, diantaranya adalah pada permukaan dinding sel alga memiliki gugus-gugus

fungsi yang dapat dijadikan sebagai situs aktif pengikatan ion logam berat, alga juga memiliki pori-pori yang dapat digunakan untuk mengadsorpsi ion logam berat secara fisik, selain itu kemungkinan pengambilan kembali (recovery) terhadap ion-ion logam yang terikat pada biomassa relatif mudah sehingga biomassa dapat digunakan kembali sebagai adsorben pada pengolahan air limbah. Ditambah lagi dengan keberadaan alga yang sangat berlimpah, sehingga biaya untuk memisahkan logam-logam berat dari limbahnya pun menjadi relatif murah.

Namun biomassa alga memiliki keterbatasan dalam beberapa hal seperti: ukurannya yang kecil, berat jenisnya yang rendah dan mudah rusak karena degradasi oleh biomassa alga lain<sup>[1]</sup>. Untuk mengatasi kelemahan tersebut maka berbagai upaya dilakukan, diantaranya dengan metode imobilisasi.

Pada penelitian ini, akan dipelajari mengenai studi biosorpsi ion logam Cd (II) oleh biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel. Biomassa alga hijau yang digunakan adalah alga hijau yang telah mati, sehingga proses adsorpsinya tidak dipengaruhi oleh metabolisme dan hanya terjadi pada permukaan. Studi ini mempelajari pengaruh pH, waktu kontak dan konsentrasi ion logam Cd (II) yang digunakan terhadap proses adsorpsi ion logam Cd (II), serta efek imobilisasi terhadap penyerapan ion logam Cd (II) dengan cara membandingkannya dengan penyerapan ion logam Cd (II) oleh biomassa alga hijau non imobilisasi.

## 1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh pH, waktu kontak serta konsentrasi ion logam Cd terhadap penyerapan ion logam Cd (II) oleh alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel?
2. Bagaimana perbandingan daya adsorpsi dan recovery alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mempelajari penyerapan ion logam berat Cd (II) oleh biomassa alga hijau non diimobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel.
2. Mempelajari pengaruh pH, waktu kontak dan konsentrasi ion logam Cd (II) terhadap penyerapan ion logam Cd (II) oleh biomassa alga hijau non diimobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel.
3. Mengetahui besarnya daya adsorpsi biomassa alga hijau non diimobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel terhadap penyerapan ion logam Cd (II).

#### 1.4 Hipotesis

1. Adsorpsi ion logam Cd (II) oleh biomassa alga hijau dipengaruhi oleh pH, waktu kontak dan konsentrasi ion logam yang digunakan.
2. Daya adsorpsi alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel lebih rendah dibandingkan dengan alga hijau non imobilisasi.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Alga

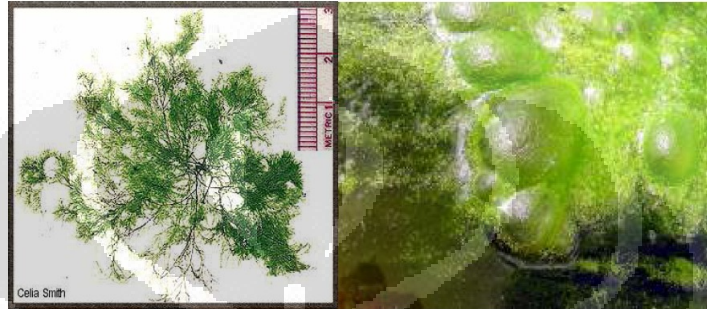
Alga merupakan tumbuhan yang belum mempunyai akar, batang dan daun yang sebenarnya, tetapi sudah memiliki klorofil sehingga bersifat autotrof. Tubuhnya terdiri atas satu sel (uniseluler) dan ada pula yang banyak sel (multi seluler). Alga uniseluler umumnya hidup sebagai fitoplankton, sedangkan yang multiseluler dapat hidup sebagai nekton, bentos atau perifiton. Habitat alga adalah air atau di tempat basah, sebagai epifit atau sebagai endofit.

Berdasarkan pigmennya, alga dibedakan menjadi 4 divisi yaitu Chrysophyta (alga keemasan), Phaeophyta (alga pirang/coklat), Rhodophyta (alga merah), dan Chlorophyta (alga hijau),

Jenis alga yang digunakan dalam penelitian ini adalah alga hijau. Alga hijau memiliki pigmen, dan struktur dinding sel yang mirip dengan tumbuhan darat. Habitat alga ini biasanya di air tawar, air laut, dan tanah-tanah yang basah.

Alga hijau memiliki klasifikasi sebagai berikut<sup>[2]</sup>:

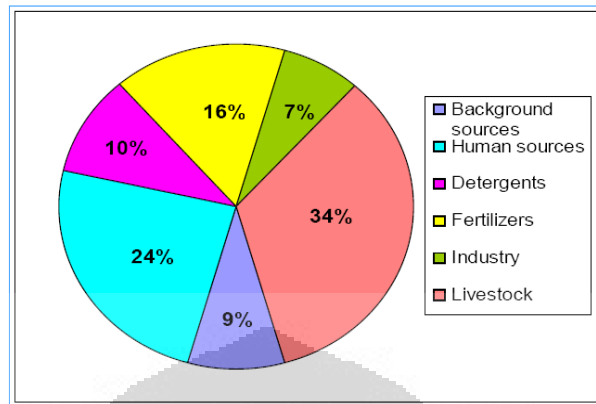
- Kingdom : Plantae
- Divisi : Chlorophyta
- Kelas : Chlorophyceae



**Gambar 2.1.** Alga Hijau

Alga dapat terbentuk secara alami atau diakselerasi oleh nutrisi yang berasal dari berbagai sumber eksternal. Masuknya unsur-unsur nutrisi tanaman yang berasal dari limbah, seperti fosfor dan nitrogen yang merupakan penyumbang utama terjadinya eutrofikasi, yang ditandai dengan terjadinya *algal bloom*<sup>[3]</sup>.

Sumber-sumber fosfor dapat digambarkan (Gambar 2.2) dengan paparan statistik berikut: 10 persen berasal dari proses alamiah di lingkungan air itu sendiri (*background source*), 7 persen dari industri, 11 persen dari detergen, 17 persen dari pupuk pertanian, 23 persen dari limbah manusia, dan yang terbesar, 32 persen, dari limbah peternakan<sup>[4]</sup>.



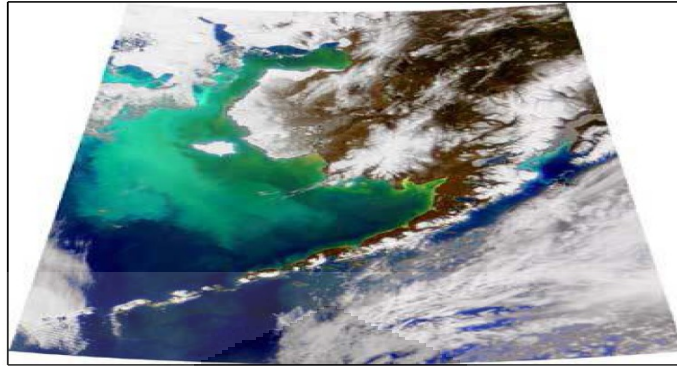
**Gambar 2.2** Sumber utama kontribusi fosfor yang masuk ke permukaan air (rata-rata untuk 12 kota termasuk UK) <sup>[4]</sup>.

Paparan statistik di atas (meskipun tidak persis mewakili data di Tanah Air) menunjukkan bagaimana berbagai aktivitas masyarakat di era modern dan semakin besarnya jumlah populasi manusia menjadi penyumbang yang sangat besar bagi lepasnya fosfor ke lingkungan air, akibatnya akan terjadi *Algal Bloom*. Gambaran situasi ekstrim akibat ledakan populasi alga dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Situasi ekstrim kasus ledakan populasi alga <sup>[5]</sup>





**Gambar 2.4** Kasus ledakan populasi alga dilihat dari Citra satelit milik NASA SeaWiFS diambil pada 25 April 1998 menunjukkan ledakan populasi alga (coccolithophore) di the Bering Sea, yang ditunjukkan oleh daerah berwarna hijau yang sangat massive<sup>[5]</sup>.

Pertumbuhan alga yang begitu pesat dapat menutupi seluruh lapisan permukaan perairan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Situasi tersebut juga terjadi di situ Agathis Universitas Indonesia yang digambarkan pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Situasi *algal bloom* di situ Agathis Universitas Indonesia<sup>[5]</sup>.

Pada musim kemarau pertumbuhan alga di sekitar situ Agathis Universitas Indonesia Depok (Gambar 2.5), khususnya situ yang terletak di dekat Politeknik Negeri Jakarta, menunjukkan pertumbuhan yang sangat pesat dan berlebih.

Karena fenomena *algal bloom*, keberadaan alga menjadi cukup melimpah, sehingga alga dapat dijadikan alternatif adsorben yang cukup potensial dalam rangka meminimalisasi pencemaran air yang disebabkan oleh logam berat. Selain itu, berkaitan dengan adsorpsi, alga memiliki dua karakteristik yang penting, yaitu secara struktural, alga memiliki sejumlah situs aktif pada dinding selnya (polisakarida dan protein, beberapa diantaranya mengandung gugus karboksil, sulfat, amino) yang dapat menjadi *binding sites* ion-ion logam. Di samping itu, pada permukaan alga terdapat pori-pori yang memberikan peluang untuk terjadinya proses adsorpsi secara fisik.

## 2.2 Logam Berat

Logam berat adalah logam yang memiliki bobot atom lebih besar dari kalsium ( $> 40,08 \text{ g/mol}$ ) dan densitas lebih dari  $5 \text{ g/cm}^3$ <sup>[6]</sup>. Kelompok logam berat memiliki ciri-ciri sebagai berikut<sup>[7]</sup>: (1) Memiliki berat jenis yang sangat besar ( $> 5$ ), (2) Mempunyai nomor atom 22-34 dan 40-50 serta unsur lantanida dan aktinida, (3) Mempunyai respon biokimia spesifik pada organisme hidup.

Unsur-unsur logam berat tersebar ke permukaan bumi di tanah, air dan udara. Logam berat tersebut dapat berbentuk senyawa organik, anorganik atau terikat dalam suatu senyawa logam yang lebih berbahaya daripada keadaan murninya. Unsur kimia yang termasuk ke dalam logam berat antara lain : Hg, Pb, Cd, Cu, Sb, V, Mn, Ni, Cr, Mo dan lain-lain<sup>[8]</sup>.

Logam-logam berat memiliki sifat-sifat sebagai berikut:, (1) Sulit didegradasi<sup>[9]</sup>; (2) Mudah terakumulasi dalam sedimen, sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam dalam air. Disamping itu sedimen mudah tersuspensi karena pergerakan massa air akan melarutkan kembali logam yang dikandungnya di dalam air, sehingga sedimen menjadi sumber pencemaran potensial pada skala waktu tertentu.

### **2.2.1 Kadmium (Cd)**

Kadmium adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cd dan nomor atom 48, juga merupakan logam berwarna putih keperakan yang dapat ditempa, liat dan mempunyai titik lebur 321°C. Kadmium termasuk logam golongan transisi II B, digunakan sebagai pigmen pada keramik, dalam penyepuhan listrik, pada pembuatan alloy, dan baterai alkali.

Kadmium merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya karena elemen ini beresiko tinggi terhadap pembuluh darah. Kadmium berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat

terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal. Menurut teori, pada konsentrasi rendah berefek terhadap gangguan pada paru-paru, *emphysema* dan *renal tubular disease acidosis* yang kronis.



**Gambar 2.6** Logam Kadmium

**Tabel 2.1.** Sifat-sifat Fisika dari Logam Kadmium <sup>[10]</sup>

No	Spesifikasi	Kadmium (Cd)
1	Nomor atom	48
2	Nomor massa	112,41
3	Elektronegativitas	1,69
4	Berat jenis (g/mL)	8,65
5	Titik didih (°C)	767
6	Titik Lebur (°C)	321,07
7	Jari-jari Kovalen (pm)	148
8	Energi Ionisasi (kJ mol <sup>-1</sup> )	867,8
9	Panas penguapan (kJ mol <sup>-1</sup> )	99,87
10	Panas peleburan (kJ mol <sup>-1</sup> )	6,21

Jumlah normal kadmium di tanah berada di bawah 1 ppm, tetapi angka tertinggi (1.700 ppm) dijumpai pada permukaan sampel tanah yang diambil di dekat pertambangan biji seng (Zn). Kadmium lebih mudah

diakumulasi oleh tanaman dibandingkan dengan ion logam berat lainnya seperti timbal. Logam berat ini bergabung bersama timbal dan merkuri sebagai *the big three heavy metal* yang memiliki tingkat bahaya tertinggi pada kesehatan manusia. Menurut badan dunia FAO/WHO, konsumsi per minggu yang ditoleransikan bagi manusia adalah 400-500 µg per orang atau 7 µg per kg berat badan.

### 2.3 Biosorpsi

Biosorpsi adalah proses penyerapan logam dengan menggunakan biomassa yang tidak aktif atau mati dan mudah didapat untuk memisahkan logam-logam berat dari larutan encernya dalam air<sup>[11]</sup>.

Umumnya, penyerapan ion logam berat oleh *Cyanobacteria* dan mikroorganisme terdiri atas dua mekanisme yang melibatkan proses *active uptake* (bioakumulasi) dan *passive uptake* (biosorpsi).

Proses *active uptake* dapat terjadi pada berbagai tipe sel hidup. Mekanisme ini secara simultan terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan mikroorganisme, dan/atau akumulasi intraselular ion logam tersebut. Proses ini tergantung dari energi yang terkandung dan sensitivitasnya terhadap parameter yang berbeda seperti pH, suhu, kekuatan ikatan ionik, cahaya dan lainnya. Sehingga proses ini dapat pula dihambat oleh suhu rendah, tidak tersedianya sumber energi dan penghambat metabolisme sel. Di sisi lain, penyerapan logam berat dengan sel hidup ini

terbatas dikarenakan oleh akumulasi ion yang menyebabkan racun terhadap mikroorganismenya. Hal ini biasanya dapat menghalangi pertumbuhan mikroorganismenya disaat terjadinya keracunan terhadap ion logam tersebut [12],[13].

*Passive uptake* dikenal dengan istilah proses biosorpsi. Proses ini terjadi ketika ion logam berat mengikat dinding sel dengan dua cara yang berbeda, pertama pertukaran ion di mana ion monovalen dan divalen seperti Na, Mg, dan Ca pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat; dan kedua adalah formasi kompleks antara ion-ion logam berat dengan gugus fungsi seperti karbonil, amino, tiol, hidroksi, fosfat, dan hidroksi-karboksil yang berada pada dinding sel. Proses biosorpsi ini bersifat bolak balik dan cepat. Proses biosorpsi dapat lebih efektif dengan kehadiran pH tertentu [12],[13].

Penelitian tentang parameter-parameter yang mempengaruhi biosorpsi telah banyak dilakukan. Biosorpsi kadmium dan nikel oleh biomassa alga yang ada di sungai Nil dilakukan oleh Iman Y. El-Sherif, et al.<sup>[14]</sup>. Adsorpsi kadmium dan nikel dilakukan pada pH 4 dan 6. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa adsorpsi maksimum kadmium dan nikel terjadi pada pH 6, dan diperoleh persen adsorpsi ion logam  $Cd^{2+}$  sebesar 46 % dari larutan  $Cd^{2+}$  yang dapat diserap oleh biomassa alga dari sungai Nil, sedangkan untuk nikel persen adsorpsinya mencapai 72 % dari larutan  $Ni^{2+}$ .

Selain penelitian yang mempelajari mengenai karakteristik dan parameter-parameter yang mempengaruhi biosorpsi, para peneliti juga

mempelajari mengenai modifikasi sel biomassa yang bertujuan untuk meningkatkan kemampuan biosorpsinya.

Modifikasi kimia pada biomassa *Aspergillus niger* yang digunakan untuk menyerap ion  $Pb^{2+}$ , telah dilakukan oleh Omotayo Raflu Awofolu, et al.<sup>[15]</sup>. Dengan memodifikasi biomassa menggunakan reagen asam oksalat, asam malat, dan EDTA, diperoleh persen adsorpsi untuk masing-masing asam oksalat, asam malat, dan EDTA berturut-turut adalah 92,84 %, 48,11 %, dan 39,83 %. Dengan persen peningkatan penyerapan logam jika dibandingkan dengan persen adsorpsi biomassa *Aspergillus niger* yang tidak dimodifikasi untuk masing-masing asam oksalat, asam malat, dan EDTA berturut-turut adalah 69,65 %, 41,23 % dan 29,25 %.

Modifikasi biomassa tidak hanya dapat dilakukan menggunakan reagen-reagen kimia, hal tersebut juga dapat dilakukan dengan perlakuan fisik seperti pemanasan. Emine Yalcin et al.<sup>[16]</sup>, meneliti tentang biosorpsi ion  $Pb^{2+}$  dan  $Cu^{2+}$  dengan modifikasi permukaan alga *Cladophora glomerata* dengan menggunakan pemanasan sekaligus perlakuan asam. Hasil penelitiannya, kapasitas biosorpsi dari ion Pb (II) dan Cu (II) pada biomassa yang telah dimodifikasi meningkat sebesar 1,38 dan 1,45 kali dibandingkan dengan biomassa yang tidak dimodifikasi.

## 2.4 Immobilisasi Biomassa

Dalam mengikat logam berat secara langsung, biomassa khususnya alga memiliki keterbatasan karena ukurannya yang kecil, berat jenisnya yang rendah serta mudah rusak karena degradasi oleh mikroorganisme lain. Untuk mengatasi kendala tersebut, maka perlu dilakukan immobilisasi pada biomasanya.

Ada beberapa aplikasi yang tersedia untuk immobilisasi biomassa. Teknik-teknik utama yang tersedia pada literatur adalah berdasarkan pada adsorpsi pada zat pendukung yang inert serta menggunakan matriks pendukung<sup>[1]</sup>.

a. Adsorpsi pada zat pendukung yang inert

Zat pendukung dimasukkan sebelum proses sterilisasi dan inokulasi dengan 'starter' dan dibiarkan di dalam untuk pembiakan selanjutnya sampai terbentuk lapisan tipis dari mikroorganisme yang terlihat jelas pada permukaan zat pendukung. Contohnya, karbon aktif yang digunakan sebagai zat pendukung untuk biofilm *Enterobacter aerogens*.

b. Menggunakan matriks pendukung

Syarat suatu bahan menjadi matriks pendukung antara lain<sup>[17]</sup>, (1) Memiliki sisi aktif terutama mengandung gugus aktif yang reaktif; (2) Mempunyai permukaan yang luas; (3) Memiliki kapasitas pengikatan yang tinggi; (4) Mempunyai daya tahan yang baik terhadap perubahan-perubahan pelarut kimia



Penggunaan matriks pendukung ini dibagi menjadi tiga bagian, (1) Melalui perangkap dalam matriks polimerik. Polimer yang biasa digunakan adalah, kalsium alginat, poliakrilamid, polisulfon, dan polietilenimin; (2) Melalui ikatan kovalen dengan senyawa vektor. Senyawa vektor (pembawa) yang umum digunakan adalah silika gel; (3) Melalui pengikatan silang. Penambahan zat yang dapat menyebabkan terbentuknya ikatan silang yang bertujuan untuk membentuk agregat sel yang stabil. Zat yang umum digunakan adalah formaldehid, glutaraldialdehid, divinilsulfo, dan campuran formaldehid-urea.

Penelitian mengenai imobilisasi biomassa juga telah banyak dilakukan. Amaria dkk<sup>[18]</sup> meneliti tentang biosorpsi ion  $Pb^{2+}$  oleh biomassa *Chaetoceros calcitrans* yang diimobilisasi silika gel. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi biomassa alga *Chaetoceros calcitrans* bebas terhadap kation timbal lebih besar (5,4259 mg/g adsorben) dibandingkan dengan biomassa alga *Chaetoceros calcitrans* terimobilisasi silika gel (2,7932 mg/g adsorben).

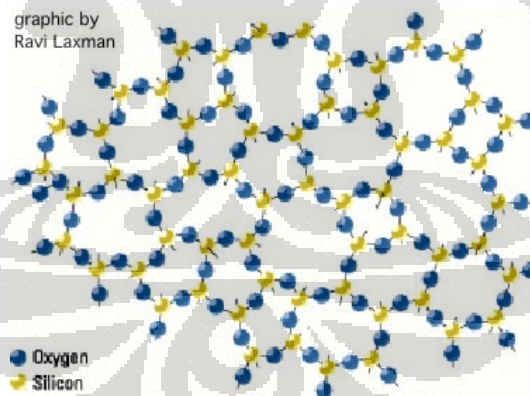
Hasil yang serupa terdapat pada penelitian Buhani dkk<sup>[19]</sup>, bahwa kapasitas adsorpsi biomassa alga *Chlorella sp* bebas terhadap kation  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ , dan  $Pb^{2+}$  lebih besar (10,24; 7,49; dan 8,19 mg/g adsorben) dibandingkan dengan biomassa alga *Chorella sp* terimobilisasi silika gel (9,62; 4,22; dan 5,60 mg/g adsorben).

Walaupun kapasitas adsorpsi biomassa yang diimobilisasi lebih rendah, upaya imobilisasi biomassa tetap disarankan karena selain

dihasilkan adsorben yang memiliki kekuatan partikel yang baik, porositas dan ketahanan kimia yang tinggi, juga tahan terhadap dekomposisi mikroorganismen lain serta adsorben dapat dicuci untuk digunakan kembali [19],[20].

## 2.5 Silika Gel

Silika gel merupakan bahan amorf yang tersusun dari tetrahedral  $\text{SiO}_4$  yang tersusun secara tidak teratur dan beragregasi membentuk kerangka tiga dimensi yang lebih besar ( $1\text{-}25\ \mu\text{m}$ ). Silika amorf dapat digunakan sebagai adsorben dan pendukung katalis karena luas permukaan yang besar dan porositas yang tinggi. Rumus kimia silika gel secara umum adalah  $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  [21].



Gambar 2.7. Struktur Silika gel

Silika gel merupakan suatu bentuk dari silika yang dihasilkan melalui penggumpalan sol natrium silikat ( $\text{NaSiO}_2$ ) yang tidak larut pada pH rendah, kelarutannya tidak meningkat jika pH dinaikkan dari pH 2-9, hanya diatas pH

9 silika akan melarut. Dalam rentang pH 2-9 kelarutan silika konstan yaitu 140 mg/L.

## 2.6 Interaksi Logam dengan Biomassa<sup>[22]</sup>

Interaksi antara kation logam dengan biomassa mikroorganisme yang melibatkan makromolekul permukaan sel, terjadi dengan kuat dan relatif tidak spesifik.

Terdapat tiga tipe interaksi antara ion logam dengan biomassa, yaitu : interaksi ionik, interaksi polar, dan interaksi campuran.

Interaksi ionik adalah interaksi yang terjadi antara kation logam dengan gugus anion makromolekul pada permukaan dinding sel. Interaksi tersebut mirip dengan interaksi dalam resin penukar kation, kekuatan dan spesifikasinya tergantung pada jari-jari ion dan muatan logam, derajat ionisasi anion makromolekul pada pH operasional dan persaingan dari muatan positif tertentu dalam polimer.

Interaksi polar adalah interaksi ion dipole antara kation logam dengan gugus polar seperti  $-OH$ ,  $-NH_2$ , dan  $C=O$  yang terdapat pada polisakarida penyusun dinding sel mikroorganisme. Gugus fungsi tersebut dapat membentuk ikatan kovalen koordinasi dengan ion logam transisi. Kekuatan gugus-gugus tersebut sama baiknya dengan gugus bermuatan negatif. Pembentukan ikatan kovalen koordinasi tergantung pada kemampuan beberapa gugus kelat dalam makromolekul.

Interaksi campuran adalah interaksi gabungan antara interaksi ionik dengan interaksi polar.

## 2.7 Isoterm adsorpsi

Teori adsorpsi menjelaskan pengikatan atau penggabungan molekul terlarut pada permukaan adsorben oleh gaya elektrik lemah yang dikenal dengan ikatan van der Waals. Adsorpsi akan terkonsentrasi pada sisi permukaan yang memiliki energi yang lebih tinggi. Aktivasi adsorben akan menaikkan energi pada permukaannya, sehingga dapat meningkatkan tarikan terhadap molekul terlarut<sup>[22]</sup>. Koefisien adsorben menjadi nilai yang penting dalam proses penghilangan kontaminan dalam air.

Proses adsorpsi berlangsung melalui tiga tahap, yaitu (1) Makrotranspor, meliputi perpindahan adsorbat melalui air menuju batas permukaan cair-padat dengan proses difusi. (2) Mikrotranspor, meliputi difusi adsorbat melalui sistem makropori adsorben menuju sisi adsorpsi mikropori dan submikropori. (3) Sorpsi, adalah istilah untuk menjelaskan kontak adsorbat dengan adsorben.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi antara lain sifat fisik dan kimia adsorben misalnya luas permukaan, ukuran partikel, sifat fisik dan kimia adsorbat misalnya ukuran molekul dan komposisi kimia, serta konsentrasi adsorbat dalam fasa cairan. Semakin kecil ukuran partikel, maka

semakin besar luas permukaan padatan per satuan volume tertentu, sehingga akan semakin banyak zat yang teradsorpsi<sup>[23]</sup>.

Kapasitas adsorpsi suatu adsorben untuk sebuah kontaminan dapat ditentukan dengan menghitung isoterm adsorpsi<sup>[24]</sup>. Umumnya, pemodelan adsorpsi menggunakan isoterm yang menggunakan fungsi konsentrasi zat terlarut yang terserap per satuan berat adsorben terhadap konsentrasi larutan. Isoterm adsorpsi menunjukkan hubungan kesetimbangan antara konsentrasi adsorbat dalam fluida dan dalam permukaan adsorben pada suhu yang tetap. Kesetimbangan terjadi saat laju pengikatan adsorben terhadap adsorbat sama dengan laju pelepasannya<sup>[25]</sup>.

Ada tiga isoterm adsorpsi yang umum digunakan, yaitu isoterm Freundlich, Langmuir dan Brunauer-Emmet Teller (BET). Isoterm Freundlich maupun Langmuir digunakan untuk gas atau larutan dengan konsentrasi rendah. Sedangkan isoterm BET merupakan modifikasi isoterm Langmuir pada tekanan tinggi. Isoterm BET merupakan metode umum untuk menentukan luas permukaan adsorben<sup>[25]</sup>.

### **2.7.1 Isoterm Adsorpsi Langmuir**

Langmuir menggambarkan bahwa pada permukaan penyerap terdapat sejumlah tertentu sisi aktif (*active sites*) yang sebanding dengan luas permukaan penyerap<sup>[23]</sup>. Pada setiap sisi aktif hanya satu molekul yang dapat diserap. Ikatan antara zat yang terserap dengan penyerap dapat

terjadi secara fisika (*physisorption*) atau secara kimia (*chemisorption*). Ikatan tersebut harus cukup kuat untuk mencegah perpindahan molekul yang telah terserap sepanjang permukaan penyerap<sup>[23]</sup>. Interaksi antara molekul-molekul yang terserap dalam lapisan hasil serapan diabaikan.

Penyerapan secara kimia, terjadi apabila terjadi ikatan kimia antara molekul terserap dengan situs aktif penyerap. Karena terjadi pemutusan dan pembentukan ikatan, maka harga panas penyerapan kimia mempunyai kisaran nilai sama dengan energi untuk reaksi kimia yang terjadi. Penyerapan kimia hanya membentuk lapisan tunggal pada permukaan penyerap (*monolayer adsorption*)

Proses penyerapan dapat dinyatakan dengan suatu persamaan kimia. jika zat yang terserap adalah suatu gas, persamaan sbb<sup>[23]</sup>:

$$a = \frac{a_m kc}{1 + kc} \quad (1)$$

Persamaan adsorpsi Isoterm Langmuir diatas dapat ditulis dalam bentuk persamaan linier, yaitu:

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{a_m} + \frac{1}{a_m k} \cdot \frac{1}{c} \quad (2)$$

Dimana:

- a adalah miligram logam yang terserap per gram biomassa kering.
- k adalah konstanta kesetimbangan (afinitas serapan).
- c adalah konsentrasi ion bebas saat setimbang (mg/L).

- $a_m$  adalah miligram (mmol) logam terserap pada keadaan jenuh atau kapasitas maksimum, dalam mg/g atau mmol/g.

### 2.7.2 Isoterm Adsorpsi Freundlich<sup>[23]</sup>

Isoterm Freundlich paling umum digunakan karena dinilai lebih baik dalam mendeskripsikan proses adsorpsi. Persamaan adsorpsi isoterm Freundlich merupakan persamaan yang menunjukkan hubungan antara jumlah zat yang terserap dengan konsentrasi zat dalam larutan, yang dinyatakan dalam persamaan:

$$m = kc^{1/n} \quad (3)$$

$m$  adalah jumlah zat yang terserap per gram zat penyerap,  $c$  adalah konsentrasi zat terserap saat setimbang,  $k$  dan  $n$  adalah tetapan adsorpsi.

Persamaan adsorpsi isoterm Freundlich diatas dapat ditulis dalam bentuk persamaan linier, yaitu:

$$\log m = \log k + 1/n \log c \quad (4)$$

Dengan mengukur  $m$  sebagai fungsi  $c$  dan membuat hubungan antara  $\log m$  dan  $\log c$ , maka nilai  $n$  dan  $k$  dapat ditentukan dari derajat kemiringan dan perpotongan garisnya (*intercept*).

## 2.8 Spektrofotometer Serapan Atom<sup>[26]</sup>

Metode analisis Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) didasarkan pada penyerapan energi radiasi pada panjang gelombang tertentu oleh atom atom netral pada keadaan dasarnya (*ground state*) dalam bentuk gas.

Penyerapan energi radiasi dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) tertentu mengakibatkan terjadinya transisi elektronik dari tingkat energi dasar yang merupakan konfigurasi elektron yang paling stabil ke tingkat energi yang lebih tinggi (*excited state*).

Spektrofotometri Serapan Atom merupakan salah satu metoda analisis logam yang sangat selektif dan sensitif, karena setiap atom memiliki garis resonansi yang spesifik. Spektrofotometri Serapan Atom digunakan untuk menentukan kadar unsur-unsur logam dan semi logam yang konsentrasinya relatif rendah di dalam sebuah sampel. Kebanyakan analisis Spektrofotometri Serapan Atom menggunakan nyala untuk mengatomkan unsur yang dianalisis. Intensitas radiasi yang diserap sebanding dengan jumlah atom yang ada.

Pada prinsipnya metode analisis SSA mempunyai dua aspek, yaitu aspek kualitatif yang ditunjukkan oleh adanya serapan atom yang spesifik panjang gelombang tertentu dan aspek kuantitatif didasarkan pada hukum Lambert-Beer yang menyatakan bahwa banyaknya sinar yang diserap sebanding dengan banyaknya atom yang ada dalam nyala atomisasi. Pengamatan banyaknya sinar yang diserap ini dilakukan dengan

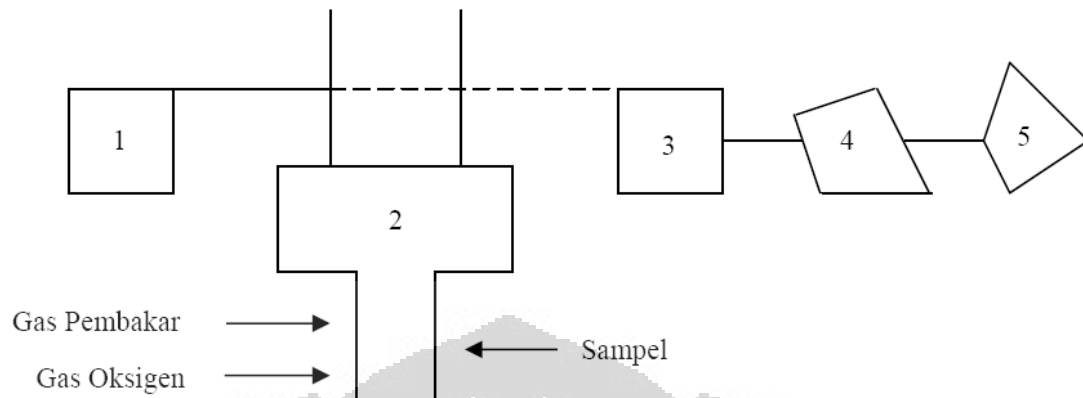


membandingkan intensitas radiasi sebelum diserap dengan intensitas radiasi setelah diserap oleh atom-atom pada tingkat energi dasar.

Pada umumnya sampel berada dalam bentuk cairan atau padatan, oleh sebab itu ion atau analit harus diuapkan di dalam nyala (flame) atau tungku (*grafite furnace*). Suatu sampel pertama-tama harus dilarutkan (destruksi) yang bertujuan untuk membuat unsur logam menjadi ion logam yang bebas. Kemudian larutan sampel dimasukkan kedalam nyala dalam bentuk aerosol yang selanjutnya akan membentuk atom-atomnya. Pada suhu nyala udara-asetilen ( $2300^{\circ}\text{C}$ ), atom dari sejumlah banyak unsur berada dalam keadaan dasar. Sumber emisi sinar yang digunakan adalah lampu katoda berongga yang mempunyai garis spektra yang tajam.

Lima komponen dasar instrumen Spektrofotometri Serapan Atom (SSA), sbb:

1. Sumber sinar, berfungsi untuk mengemisikan spektrum spesifik untuk analit yang akan diukur.
2. Sel sampel, sebagai wadah analit yang akan diukur dengan emisi dari sumber sinar.
3. Monokromator, untuk memonokromatiskan cahaya dari nyals pembakar.
4. Detektor, biasanya digunakan photomultiplier tube yang berfungsi untuk merubah energi sinar menjadi energi listrik.
5. Rekorder, merupakan sistem pembacaan data dari instrumen elektronik



**Gambar 2.8.** Diagram alat AAS

## 2.9 FTIR<sup>[27]</sup>

Spektroskopi inframerah merupakan teknik spektroskopi yang berguna untuk mengidentifikasi gugus fungsi. Spektrum inframerah meliputi panjang gelombang antara 2,5-1,6  $\mu\text{m}$  atau setara dengan bilangan gelombang 4000-650  $\text{cm}^{-1}$ .

Radiasi yang diserap oleh molekul muncul sebagai pita pada spektrum. Karena setiap tipe ikatan yang berbeda mempunyai sifat frekuensi vibrasi yang berbeda, dan karena tipe ikatan yang sama dalam dua senyawa yang berbeda terletak dalam lingkungan yang sedikit berbeda, maka tidak ada dua molekul yang berbeda strukturnya akan mempunyai bentuk serapan yang tepat sama. Dengan membandingkan spektra inframerah dari dua senyawa yang diperkirakan identik maka seseorang dapat menyatakan apakah kedua senyawa tersebut identik atau tidak. Pelacakan tersebut lazim dikenal dengan dengan bentuk 'sidik jari' dari dua spektrum inframerah.

Puncak-puncak serapan di daerah sidik jari pada spektrum inframerah merupakan kekhasan untuk setiap senyawa. Daerah sidik jari berada di daerah frekuensi rendah, yaitu dari 700 sampai 1500  $\text{cm}^{-1}$ . Jika puncak spektrum inframerah kedua senyawa tepat sama maka dalam banyak hal dua senyawa tersebut adalah identik.

Spektrofotometer FTIR biasanya digunakan untuk sampel dengan konsentrasi yang kecil dan pengukurannya lebih cepat dibandingkan dengan IR. Prinsip kerja FTIR tidak jauh berbeda dengan IR hanya kemampuan FTIR lebih baik daripada IR.

Prinsip kerja FTIR adalah sebagai berikut: suatu sumber infra merah akan mengemisikan energi infra merah dan berjalan melalui bagian optik dari spektrometer. Kemudian gelombang sinar akan melewati interferometer dimana sinar tersebut dipisahkan dan digabungkan kembali untuk menghasilkan suatu pola interferensi. Kemudian intensitas dari frekuensi sinar ditransmisikan dan diukur oleh detektor adalah interferogram, yaitu suatu daerah waktu yang menggambarkan pola interferensi. Dengan adanya ADC (*analog to digital converter*) akan mengubah pengukuran tersebut menjadi suatu format digital yang dapat digunakan oleh komputer. Kemudian interferogram diubah menjadi suatu pita spektrum tunggal (*single beam spectrum*) oleh FFT (*Fast Fourier Transform*).

## 2.10 SEM-EDX<sup>[28]</sup>

SEM adalah suatu tipe mikroskop elektron yang mampu menggambarkan permukaan suatu sampel dengan cara *men'scan'* permukaan tersebut menggunakan gelombang elektron berenergi tinggi dalam suatu pola yang acak. Elektron-elektron tersebut akan berinteraksi dengan atom-atom yang membuat sampel dapat menghasilkan sinyal yang mengandung informasi mengenai topografi permukaan sampel, komposisi dan sifat-sifat lainnya seperti konduktivitas elektrik.

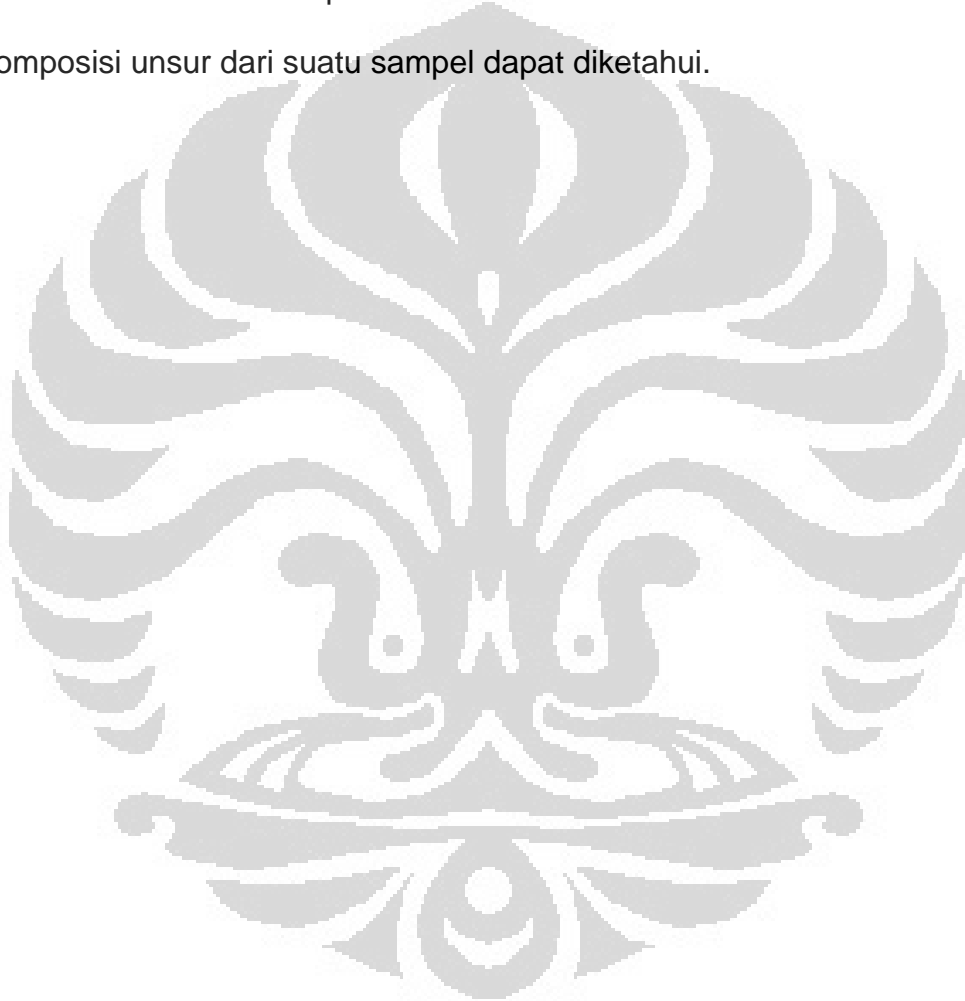
Sampel yang akan dianalisis menggunakan SEM, harus bersifat konduktor, minimal pada permukaannya. Hal tersebut bertujuan untuk mencegah adanya akumulasi muatan elektrostatik pada permukaan. Oleh karena itu untuk sampel-sampel yang tidak bersifat konduktor harus dilapisi suatu material yang bersifat konduktor. Material-material tersebut seperti emas, alloy emas/palladium, platina dan osmium.

EDX adalah suatu teknik analisis yang digunakan untuk menganalisis unsur dari suatu sampel. Sebagai salah satu teknik analisis spektroskopi, analisis EDX bergantung pada investigasi sampel melalui interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan suatu materi.

Prinsip kerja EDX adalah selama analisis EDX, sampel akan ditembakkan oleh gelombang elektron. Penembakan tersebut akan membuat elektron pada kulit dalam terlepas, sehingga meninggalkan lubang elektron. Kemudian elektron dari kulit luar (kulit yang memiliki energi yang lebih tinggi),

akan mengisi lubang elektron tersebut. Adanya perbedaan energi antara energi kulit yang lebih tinggi dengan energi kulit yang lebih rendah menyebabkan terjadinya emisi energi dalam bentuk sinar X.

Jumlah dan energi dari sinar X yang diemisikan oleh suatu sampel bersifat khas untuk setiap struktur atom dari suatu unsur. Oleh karena itu, komposisi unsur dari suatu sampel dapat diketahui.



## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Alat dan Bahan

##### 3.1.1 Alat

- Erlenmeyer 100 mL
- Labu ukur
- Pipet volumetri
- Gelas piala
- Corong
- Spatula
- Cawan porselin
- Magnetic stirrer dan stirrer bar
- Oven
- Shaker
- pH meter
- Sentifuge
- Kertas saring Whatman Kualitatif
- Waterbath
- Timbangan analitik

##### 3.1.2 Bahan

- Alga Hijau
- Kadmium Sulfat ( $\text{CdSO}_4$ )
- Silika Gel
- $\text{HNO}_3$
- $\text{NH}_4\text{OH}$
- $\text{HCl}$

- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

- Aquabides

### **3.2 Instrumen**

- FTIR
- SSA (Spektroskopi Serapan Atom).
- UV-Vis
- SEM-EDX

### **3.3 Prosedur Kerja**

#### **3.3.1 Preparasi Biomassa Alga hijau**

Biomassa alga hijau diambil dalam jumlah yang cukup dari Situ Agathis kampus Universitas Indonesia Depok, selanjutnya alga hijau dibawa ke laboratorium kimia untuk dicuci dengan aquades dan disaring dengan kertas saring Whatman kualitatif. Proses pencucian diulangi dengan menggunakan aquades dan disentrifugasi untuk memisahkan air dan biomassa alga hijau . 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.

### **3.3.2 Immobilisasi biomassa alga hijau dengan silika gel**

Sebanyak 0,3 gr biomassa dicampur dengan 1,5 gr silika gel amorf dan dibasahkan dengan 5 mL aquades. Campuran tersebut diaduk selama 5 menit kemudian dioven pada suhu 60°C sampai kering.

Pengontakkan dengan aquades, diulang sebanyak dua kali agar kontak antara permukaan biomassa dengan silika gel menjadi maksimal.

### **3.3.3 Karakterisasi Biomassa Alga Hijau**

Karakterisasi ini dilakukan terhadap biomassa alga hijau sebelum dan sesudah dilakukan pengontakkan biomassa alga hijau dengan larutan logam, dilakukan uji karakterisasi gugus fungsi dalam biomassa dengan Fourier Transform Infrared (FTIR). Selain itu dilakukan pula pengukuran Scanning Electron Mycroscopy (SEM) dan EDX untuk mengetahui bentuk morfologi permukaan dari matriks biomassa alga hijau.

### **3.3.4 Pembuatan Larutan Induk**

#### Larutan Kadmium

Larutan induk  $\text{Cd}^{2+}$  1000 mg/L, dibuat dengan cara melarutkan 1.8545 g serbuk kadmium sulfat ( $\text{CdSO}_4$ ) dengan aquades sampai volume 1000 ml.



### 3.4 Perlakuan Penelitian

Biomassa dicampurkan dengan larutan ion logam Cd(II) yang mempunyai konsentrasi tertentu, pH tertentu dalam erlenmeyer 100 mL, pengaturan pH menggunakan larutan asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) 0,1 M dan amoniak (NH<sub>4</sub>OH) 0,1 M.

#### 3.4.1 Pengaruh variasi pH larutan

Masing-masing 25 mL larutan ion logam Cd<sup>2+</sup> dengan konsentrasi 10 mg/L yang dibuat dari masing-masing larutan induk dan pHnya diatur, yaitu: 2, 3, 4, 5, 6, 7 dan 8. Masing-masing larutan dicampur dengan 100 mg biomassa dalam tabung erlenmeyer 100 mL, kemudian dikocok dengan menggunakan *shaker* selama 60 menit. Yang menjadi pH optimum adalah pH yang menghasilkan adsorpsi maksimum.

#### 3.4.2 Pengaruh variasi waktu kontak

Masing-masing 25 mL larutan ion logam Cd(II) pada konsentrasi 10 mg/L dengan pH optimum dan 100 mg biomassa dalam tabung erlenmeyer 100 mL, kemudian dikocok dengan menggunakan *shaker*, waktu kontak yang diatur, yaitu 10, 30, 60, 90 dan 120 menit.

### **3.4.3 Pengaruh variasi konsentrasi**

Masing-masing 25 mL larutan ion logam  $Cd^{2+}$  dengan konsentrasi, yaitu: 5, 10, 20, 30 dan 50 mg/L. Larutan tersebut dibuat dengan mengencerkan larutan induk dengan volume tertentu, kemudian pHnya diatur, pada pH maksimum masing-masing larutan dicampur dengan 100 mg biomassa dalam tabung Erlenmeyer 100 mL, kemudian dikocok dengan menggunakan *shaker* selama 120 menit.

### **3.4.4 Pengaruh Asam terhadap stabilitas alga hijau**

Perlakuan ini dibagi menjadi dua jenis, yang pertama dianalisis menggunakan SSA, yang kedua dianalisis menggunakan UV-Vis. Prosedur analisis pertama yaitu, 100 mg biomassa dikontakkan dengan asam HCl 0.1 M dengan variasi waktu 30, 60, 120, 180 menit. Kemudian disaring dan dicuci hingga pH mendekati netral. Biomassa yang telah dicuci dan disaring, dikontakkan dengan ion logam Cd(II) dengan pH maksimum serta konsentrasi 20 mg/L selama 120 menit. Kemudian disaring menggunakan kertas saring Whatman Kualitatif, filtratnya dianalisis menggunakan SSA.

Prosedur analisis yang kedua yaitu, 100 mg biomassa dikontakkan dengan asam HCl 0.1 M, 0,6 M, 3 M dengan waktu yang dibuat tetap, yaitu 120 menit. Kemudian disaring menggunakan kertas saring Whatman Kualitatif, filtratnya dianalisis menggunakan UV-Vis.

### **3.4.5 Penentuan kadar ion logam yang terserap oleh biomassa**

Suspensi analit yang telah diberi perlakuan dengan biomassa, dipisahkan dengan penyaringan menggunakan kertas saring Whatman Kualitatif. Larutan yang terpisahkan ditentukan konsentrasi logamnya dengan AAS dengan nyala pembakar udara asetilen untuk mengetahui konsentrasi logam yang diserap oleh biomassa, yaitu konsentrasi pada saat kesetimbangan ( $C_{eq}$ )

Perbedaan konsentrasi logam mula-mula ( $C_i$ ) atau sebelum dan sesudah perlakuan merupakan jumlah ion logam yang terserap ( $C_b$ ) oleh biomassa. Hasil yang diperoleh dianalisa menggunakan prosedur pembuatan kurva isoterm Langmuir dan Freundlich untuk menentukan kapasitas serapan maksimum dan konstanta adsorpsi, yang menunjukkan ukuran afinitas serapan dan jenis isoterm adsorpsi dari biosorben terhadap ion logam.

### **3.4.6 Recovery Biomassa**

Biomassa alga hijau yang telah mengadsorpsi logam dikontakkan dengan 25 ml asam nitrat 0,1, 1, 2, dan 3 M dan Aquabides. Kemudian dikocok selama 30, 60, 120, 180 menit dan disaring. Filtrat yang didapat diukur konsentrasinya dengan SSA (Spektroskopi Serapan Atom).

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Karakterisasi biomassa alga hijau**

Dalam penelitian ini karakterisasi biomassa alga hijau dilakukan dengan tiga teknik analisis menggunakan instrumen, yaitu menggunakan FT-IR, SEM dan EDX. Dengan menggunakan FT-IR diharapkan dapat diidentifikasi gugus fungsional apa saja yang terdapat pada biomassa alga hijau non imobilisasi serta alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel. Karakterisasi SEM bertujuan untuk mengetahui morfologi dari permukaan biomassa alga hijau non imobilisasi serta alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel. Sedangkan karakterisasi menggunakan EDX bertujuan untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang terdapat pada biomassa alga hijau non imobilisasi serta alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel.

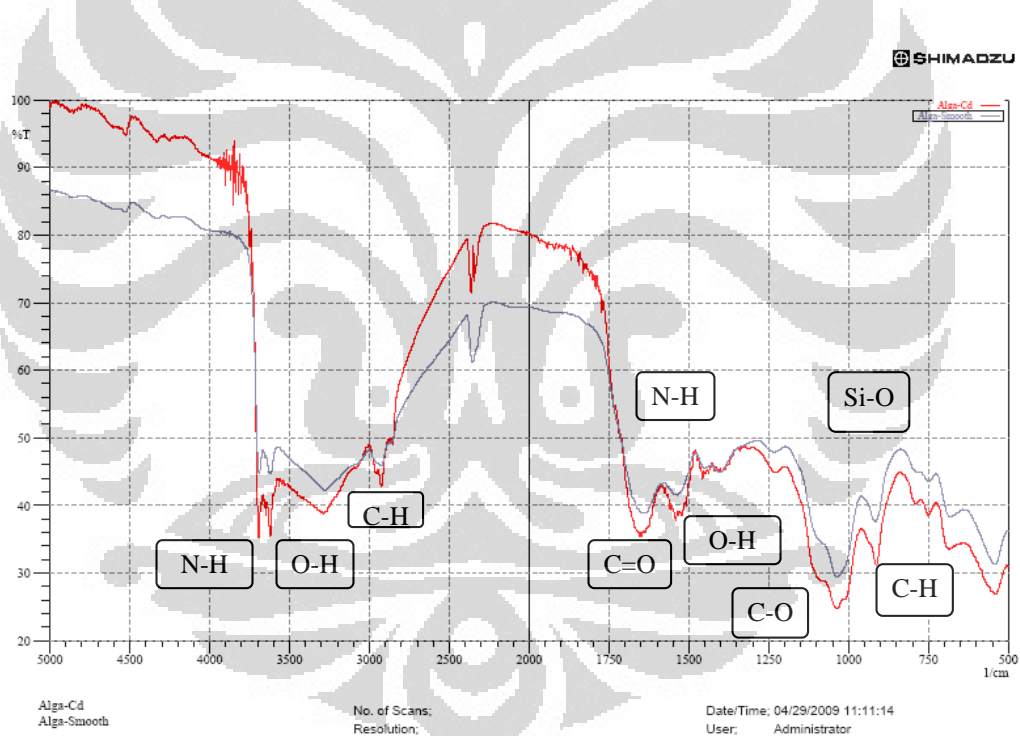
##### **4.1.1 Karakterisasi FT-IR**

Dugaan bahwa struktur kimia sel dari biomassa alga mempengaruhi kemampuan biosorpsi logam, telah mendorong para peneliti untuk mengidentifikasi gugus fungsional yang terkandung dalam biomassa alga.

Dengan menggunakan FT-IR diharapkan dapat diidentifikasi gugus fungsional apa saja yang terdapat pada biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel.

### - Gugus Fungsional Biomassa Alga Hijau non imobilisasi

Hasil identifikasi gugus fungsional biomassa alga hijau non imobilisasi sebelum dan sesudah interaksi dengan ion logam  $Cd^{2+}$  disajikan pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1.** Spektrum FT-IR alga hijau non imobilisasi sebelum dan setelah menyerap ion logam Cd (II)

Spektrum berwarna biru menunjukkan spektrum FT-IR alga hijau non imobilisasi sebelum mengikat logam Cd, sedangkan untuk spektrum yang

berwana merah menunjukkan spektrum FT-IR alga hijau non imobilisasi setelah mengikat logam Cd. Berdasarkan spektrum FT-IR alga hijau non imobilisasi sebelum interaksi dengan ion logam  $Cd^{2+}$  tampak serapan medium di sekitar bilangan gelombang  $3689.83\text{ cm}^{-1}$  merupakan serapan dari vibrasi ulur N-H primer. Adanya serapan tajam disekitar bilangan gelombang  $3624.25\text{ cm}^{-1}$  merupakan serapan vibrasi ulur dari gugus OH-alkohol dan serapan lebar disekitar bilangan gelombang  $3277.06\text{ cm}^{-1}$ . Serapan ini menunjukkan adanya vibrasi ulur OH dari asam karboksilat. Pita serapan disekitar bilangan gelombang  $2927.94\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ulur C-H. Adanya serapan kuat disekitar bilangan gelombang  $1639.49\text{ cm}^{-1}$ , menunjukkan adanya vibrasi uluran C=O (karboksilat, ester). Pita serapan disekitar bilangan gelombang  $1535.34\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi tekuk N-H. Disekitar bilangan gelombang  $1400.32\text{ cm}^{-1}$  terdapat serapan yang menunjukkan adanya vibrasi tekuk OH-karboksilat. Pita serapan lebar disekitar bilangan gelombang  $1118.71\text{ cm}^{-1}$ . menunjukkan adanya vibrasi ulur asimetri Si-O-Si. Pita serapan disekitar bilangan gelombang  $1037.70\text{ cm}^{-1}$  diidentifikasi sebagai vibrasi ulur C-O dan vibrasi tekuk O-H. Sedangkan pita serapan disekitar bilangan gelombang  $916\text{ cm}^{-1}$  diidentifikasi sebagai vibrasi tekuk C-H.

Dinding sel biomassa alga hijau terdiri dari polisakarida dan protein, beberapa diantaranya mengandung gugus karboksil, sulfat, amino. Oleh karena itu, berdasarkan spektrum FT-IR di atas, diinterpretasikan bahwa gugus fungsional yang terdapat pada biomassa alga hijau adalah adanya (1)

gugus hidroksil (-OH) dari polisakarida, (2) gugus C=O peptida (-CONH-) berasal dari protein.

Berdasarkan spektrum FT-IR biomassa alga hijau non imobilisasi setelah interaksi dengan ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  tampak pita serapan medium di sekitar bilangan gelombang  $3691.75 \text{ cm}^{-1}$  yang merupakan serapan dari vibrasi ulur N-H primer. Adanya serapan tajam disekitar bilangan gelombang  $3620.39 \text{ cm}^{-1}$  merupakan serapan vibrasi ulur dari gugus OH-alkohol dan adanya serapan lebar disekitar bilangan gelombang  $3302.13 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ulur OH dari asam karboksilat. Pita serapan disekitar bilangan gelombang  $2926.01 \text{ cm}^{-1}$  adanya vibrasi ulur C-H.. Sedangkan pita serapan disekitar bilangan gelombang  $2440-2275 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ulur P-H. Adanya serapan kuat disekitar bilangan gelombang  $1647.21 \text{ cm}^{-1}$  diidentifikasi sebagai vibrasi uluran C=O (karboksilat, ester) dan pita serapan disekitar bilangan gelombang  $1530 \text{ cm}^{-1}$  diidentifikasikan sebagai vibrasi tekuk N-H. Terdapat pula serapan disekitar bilangan gelombang  $1400 \text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya vibrasi tekuk OH-karboksilat. Adanya pita serapan lebar disekitar bilangan gelombang  $1118.71 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ulur asimetri Si-O-Si. Sedangkan pita serapan disekitar bilangan gelombang  $1037.70 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ulur C-O dan vibrasi tekuk O-H dan pita serapan disekitar bilangan gelombang  $914 \text{ cm}^{-1}$ . serapan ini menunjukkan adanya vibrasi tekuk C-H.

Berdasarkan spektrum FT-IR alga hijau non imobilisasi sebelum dan setelah interaksi dengan Cd(II) tampak adanya pergeseran-pergeseran bilangan gelombang yang dapat disajikan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1.** Pergeseran bilangan gelombang alga hijau non imobilisasi sebelum dan setelah interaksi dengan Cd(II)

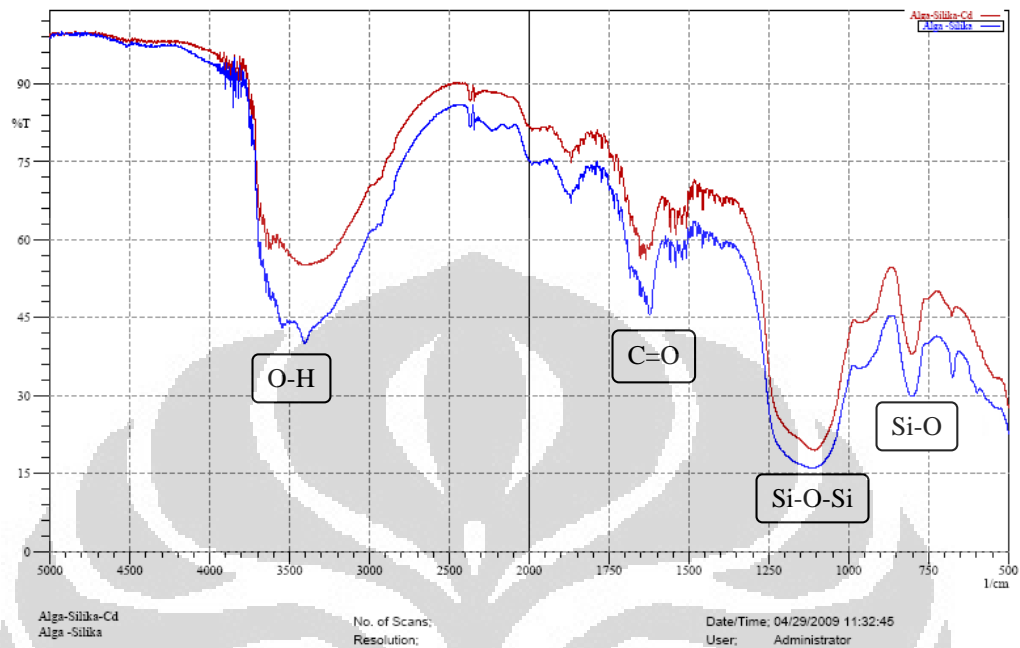
Sebelum menyerap Cd(II)	Setelah menyerap Cd(II)	Pergeseran	Keterangan
3689,83	3691,75	1,92	vibrasi ulur N-H primer
3624,25	3620,39	3,86	vibrasi ulur dari gugus OH-alkohol.
3227,06	3302,13	75,07	vibrasi ulur OH dari asam karboksilat
2927,94	2926,01	1,93	vibrasi ulur C-H
1639,49	1647,21	8,21	vibrasi uluran C=O (karboksilat, ester)
916,19	914,26	1,93	vibrasi tekuk C-H

Gugus-gugus fungsi yang mengalami pergeseran bilangan gelombang tersebut diasumsikan sebagai gugus-gugus fungsi yang kemungkinan berperan dalam proses adsorpsi.

#### **- Gugus Fungsional Biomassa Alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel**

Spektrum FT-IR dari biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel sebelum dan sesudah interaksi dengan ion logam Cd<sup>2+</sup> disajikan pada Gambar 4.2





**Gambar 4.2.** Spektrum FT-IR alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel sebelum dan setelah menyerap ion logam Cd(II)

Spektrum berwarna biru menunjukkan spektrum FT-IR alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel sebelum mengikat logam Cd, sedangkan untuk spektrum yang berwarna merah menunjukkan spektrum FT-IR alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel setelah mengikat logam Cd. Terlihat dari Gambar 4.2 bahwa serapan di sekitar bilangan gelombang  $3404.36 \text{ cm}^{-1}$  merupakan serapan dari vibrasi ulur O-H dari Si-OH. Adanya serapan kuat disekitar bilangan gelombang  $1624.06 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi ulur C=O. Pita serapan lebar disekitar bilangan gelombang  $1118.71 \text{ cm}^{-1}$  diidentifikasi sebagai vibrasi ulur asimetri Si-O-Si. Vibrasi ulur Si-O terjadi pada pita serapan disekitar bilangan gelombang  $800.46 \text{ cm}^{-1}$ .

Sedangkan berdasarkan spektrum FT-IR biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel setelah interaksi dengan ion logam  $Cd^{2+}$  tampak pita serapan di sekitar bilangan gelombang  $3392.79\text{ cm}^{-1}$  merupakan serapan dari vibrasi ulur O-H dari Si-OH. Adanya serapan kuat disekitar bilangan gelombang  $1627.92\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi ulur C=O. Terdapat pita serapan lebar disekitar bilangan gelombang  $1107.14\text{ cm}^{-1}$  diidentifikasi sebagai vibrasi ulur asimetri Si-O-Si. Sedangkan pita serapan disekitar bilangan gelombang  $800.46\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ulur Si-O

Berdasarkan spektrum FT-IR alga hijau non-imobilisasi sebelum dan setelah interaksi dengan Cd(II) tampak adanya pergeseran-pergeseran bilangan gelombang yang dapat disajikan pada Tabel 4.2.

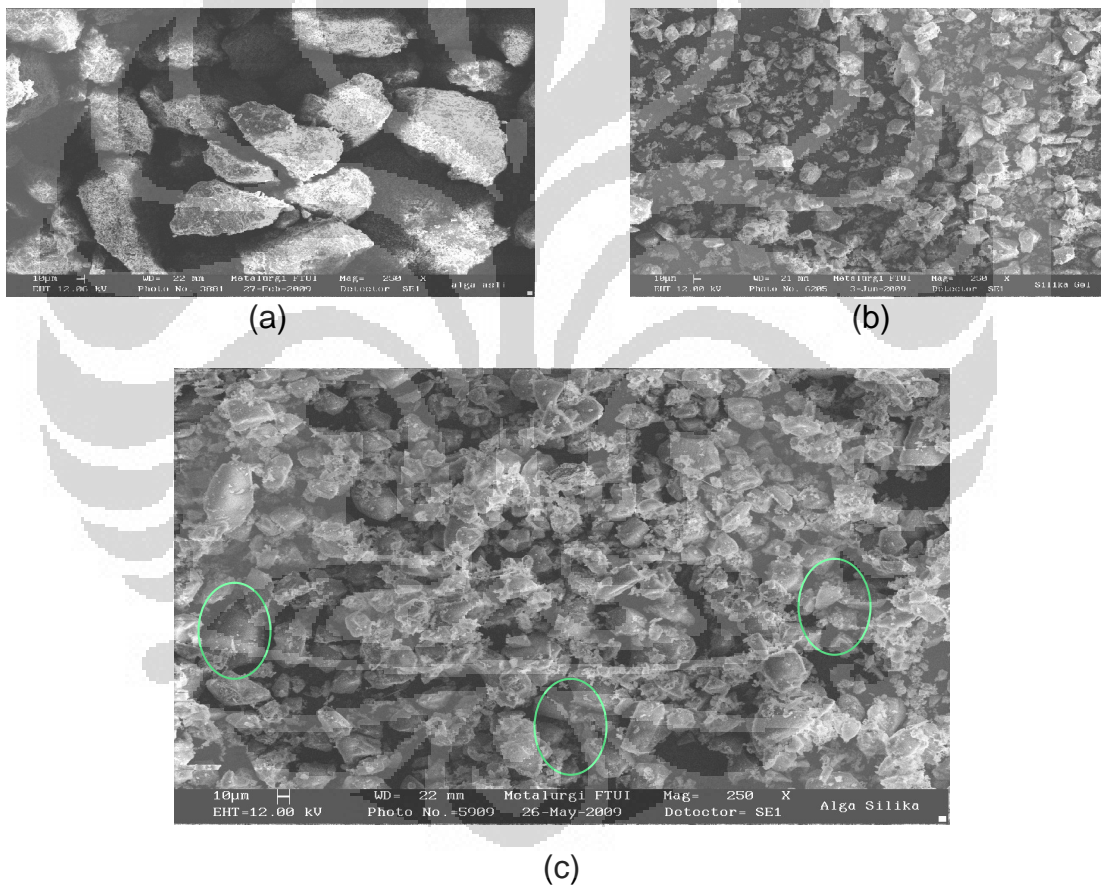
**Tabel 4.2.** Pergeseran bilangan gelombang alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel sebelum dan setelah interaksi dengan Cd(II)

Spektrum Alga hijau immobilisasi sebelum interaksi dengan Cd(II) ( $\text{cm}^{-1}$ )	Spektrum Alga hijau immobilisasi setelah interaksi dengan Cd(II) ( $\text{cm}^{-1}$ )	Pergeseran	Keterangan
3404.36	3392.79	74.57	vibrasi ulur O-H dari Si-OH
1618.28	1627.92	9.64	vibrasi ulur C=O
1118.71	1107.14	11.57	vibrasi ulur asimetri Si-O-Si

Gugus-gugus fungsi yang mengalami pergeseran bilangan gelombang tersebut diasumsikan sebagai gugus-gugus fungsi yang kemungkinan berperan dalam proses adsorpsi.

#### 4.1.2 Karakterisasi SEM

Untuk mengetahui morfologi permukaan biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel maka biomassa tersebut diamati dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Hasilnya terlihat pada Gambar 4.5. dan pada Lampiran 15-17.



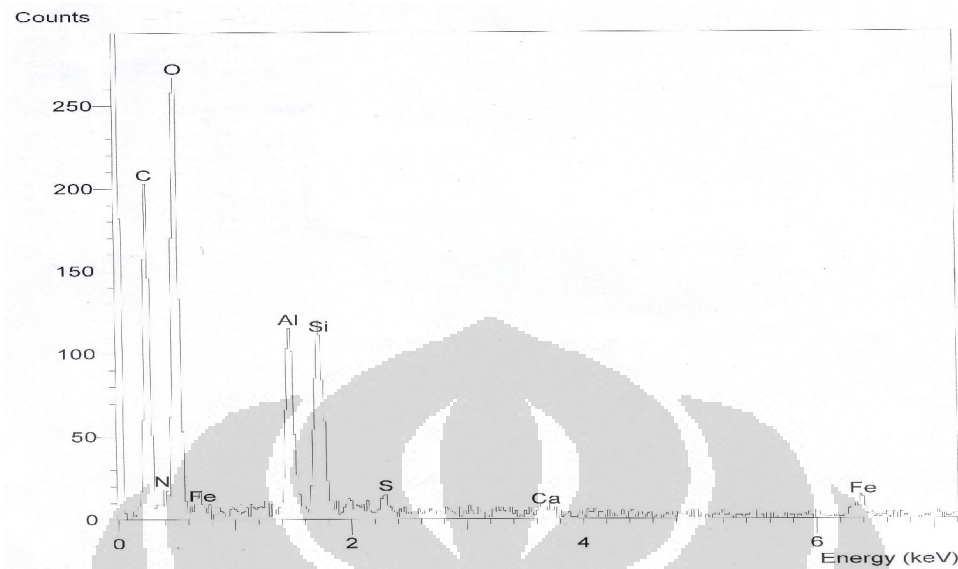
**Gambar 4.3.** Morfologi alga hijau dengan SEM (a) alga hijau non imobilisasi, (b) silika gel alga hijau dan (c) alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel dengan perbesaran 250 kali

Dari foto SEM pada Gambar 4.5 terlihat pada bagian (a) yaitu foto SEM untuk alga hijau non imobilisasi, terlihat bahwa partikel alga hijau non

imobilisasi berupa padatan kasar yang berukuran cukup besar, sedangkan pada bagian (b) yaitu hasil SEM untuk silika gel, partikel-partikel silika gel berukuran kecil, pada bagian (c) yaitu hasil SEM untuk alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel, terlihat perubahan pada foto SEM tersebut. Dari foto SEM tersebut, penggambarannya diasumsikan silika gel terdapat di bagian luar dan biomassa alga hijau pada bagian dalam (ditandai oleh lingkaran berwarna hijau). Partikel biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel berubah menjadi lebih rapat dibandingkan dengan biomassa non imobilisasi, hal tersebut menandakan imobilisasi dengan silika gel menyebabkan perubahan morfologi pada permukaan.

#### **4.1.3 Karakterisasi EDX**

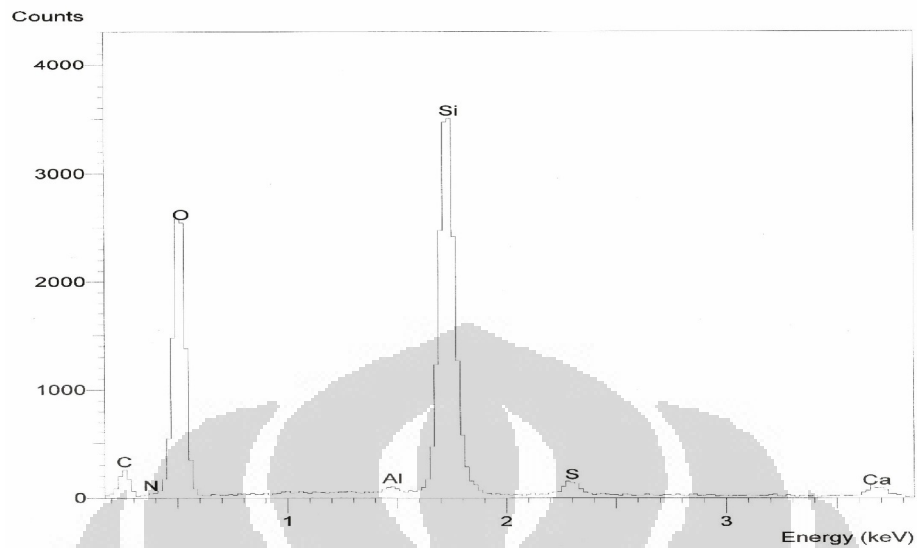
Analisis semi-kuantitatif (EDX) adalah suatu teknik analisis yang digunakan untuk menganalisis unsur-unsur utama penyusun biosorben. Karakterisasi menggunakan EDX ini dilakukan terhadap biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel, visualisasinya disajikan pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.



**Gambar 4.4.** Analisis semi kuantitatif (EDX) unsur utama penyusun biomassa alga hijau non imobilisasi

Data EDX (Gambar 4.4) menunjukkan bahwa unsur utama penyusun biomassa alga hijau non imobilisasi adalah karbon, nitrogen, dan oksigen yang merupakan unsur yang lazim terdapat pada makhluk hidup. Terdapat pula logam aluminium, silikon, kalsium dan besi. Dari informasi tersebut, dapat diasumsikan bahwa gugus-gugus fungsi yang ada pada biomassa alga hijau telah mengikat logam-logam tersebut dan tidak mengikat logam berat, khususnya Cd.

Sedangkan data EDX untuk biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel disajikan pada Gambar 4.5.



**Gambar 4.4.** Analisis semi kuantitatif (EDX) unsur utama penyusun biomassa alga hijau alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel

Hasil data EDX untuk biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel menunjukkan bahwa komposisi unsur utamanya tidak terlalu jauh berbeda dengan biomassa alga hijau non imobilisasi, yaitu karbon, nitrogen, oksigen, alumunium, silikon, dan kalsium. Namun secara kuantitatif terdapat perubahan yang signifikan, terutama untuk unsur silikon. Data lengkap mengenai komposisi dan persentase unsur untuk biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel disajikan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3.** Data analisis semi kuantitatif (EDX) unsur utama penyusun biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel

Unsur	Alga hijau non imobilisasi (%)	Alga hijau imobilisasi (%)
C	3,89	1,58
N	45,23	17,10
O	38,00	55,16
Al	4,02	0,33
Si	2,49	20,41
S	0,46	1,98
Ca	0,62	3,44
Fe	5,31	-

Dari data Tabel 4.3 terlihat bahwa proses imobilisasi alga hijau yang pada silika gel, menyebabkan terjadinya perubahan beberapa unsur secara kuantitatif, terutama unsur silikon dari 2,49 % pada alga hijau non imobilisasi berubah menjadi 20,41 %. Demikian juga terlihat pada unsur oksigen dari 38,00 % pada alga hijau non imobilisasi berubah menjadi 55,16 %.

Penambahan tersebut terjadi karena keberadaan silika gel yang mengandung unsur silikon dan oksigen.

#### **4.2 Pengaruh variasi pH dari larutan logam terhadap adsorpsi ion logam Cd (II) oleh biomassa alga hijau**

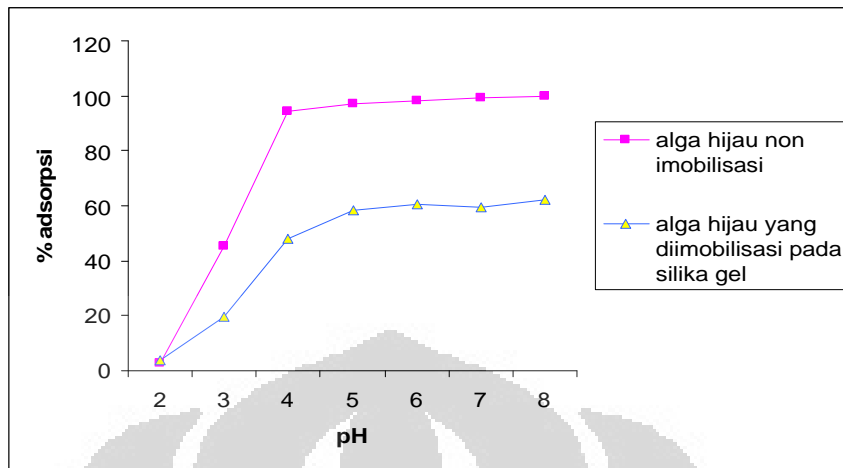
Adsorpsi ion logam Cd (II) dilakukan dengan mengkontakkan 100 mg biomassa alga hijau baik non imobilisasi maupun alga hijau yang diimobilisasi dengan silika gel, dengan 25 mL larutan ion logam Cd (II) dengan konsentrasi

yang digunakan sebesar 10 mg/L. Waktu kontak adsorpsi 60 menit dengan pH yang divariasikan dari 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 8. Selanjutnya kadar ion logam setelah adsorpsi diukur dengan AAS. Kadar ion logam yang terukur merupakan kadar ion logam yang tidak teradsorpsi oleh biomassa alga hijau baik yang diimmobilisasi pada silika gel ataupun alga hijau non immobilisasi. Hasil adsorpsi ion logam Cd (II) dengan variasi pH ditampilkan pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4.** Adsorpsi ion logam Cd<sup>2+</sup> oleh biomassa alga hijau non immobilisasi dan alga hijau yang diimmobilisasi pada silika gel dengan variasi pH

pH	Alga hijau Non-Immobilisasi		Alga hijau immobilisasi	
	% Adsorpsi	Ads Cd/bio (mg/g)	% Adsorpsi	Ads Cd/bio (mg/g)
2	2,6945	0,0674	3,6984	0,0925
3	45,199	1,1300	19,6302	0,4908
4	94,535	2,3634	48,0797	1,2020
5	97,192	2,4298	58,6060	1,4651
6	97,951	2,4488	60,3129	1,5078
7	99,469	2,4867	59,4595	1,4865
8	99,848	2,4962	62,3044	1,5576





**Gambar 4.6** Adsorpsi ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel dengan variasi pH

Derajat keasaman (pH) merupakan faktor utama yang mempengaruhi proses adsorpsi logam di dalam larutan, karena pH yang bervariasi akan berpengaruh pada muatan yang terdapat pada situs aktif alga hijau dan juga adanya ion  $\text{H}^+$  yang akan berkompetisi dengan kation untuk berikatan dengan situs aktif .

Dari Gambar 4.6 tersebut memperlihatkan bahwa jumlah kadmium yang terserap oleh biomassa alga hijau sangat dipengaruhi oleh pH dari larutan logam tersebut. Adsorpsi ion logam Cd (II) dengan biomassa alga hijau non imobilisasi maupun biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan pH.

Pada pH rendah, permukaan padatan bermuatan positif karena terjadi protonasi pada gugus anionik, seperti karboksilat ataupun amino. Ditambah lagi dengan adanya kompetisi ion  $\text{H}^+$  dengan kation logam; karena sama-sama memiliki muatan positif (antara muatan pada permukaan alga dengan

kation logam), sehingga terjadi tolakan yang menyebabkan daya serap menjadi rendah. Sedangkan pada pH tinggi permukaan padatan bermuatan negatif karena terjadi deprotonasi pada gugus hidroksil atau amino, oleh karena itu daya serap ion logam Cd (II) meningkat.

Jumlah Cd teradsorpsi sebesar 99,848% dan jumlah Cd terserap per gram biomassa sebesar 2,492 mg/g untuk alga hijau non imobilisasi pada pH penyerapan maksimumnya yaitu pH 8. Pada alga hijau imobilisasi, serapan maksimum diperoleh pada pH 8 dengan jumlah Cd teradsorpsi sebesar 62,3044 % dan jumlah Cd terserap per gram biomassa sebesar 1,5576 mg/g.

Alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel memiliki persen serapan yang lebih rendah dibandingkan dengan alga hijau non imobilisasi, hal ini disebabkan oleh adanya silika yang berikatan dengan gugus fungsional yang terdapat pada biomassa sehingga menyebabkan berkurangnya situs aktif pada biomassa alga hijau. Struktur silikon dalam substansi organik dapat dilihat pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.7.** Struktur silikon dalam substansi organik, (a) terikat secara kovalen, (b) terikat melalui ikatan hidrogen

Dari Gambar 4.7 terlihat bahwa silikon dapat berikatan kovalen kuat pada karbon melalui atom oksigen atau berikatan melalui ikatan hidrogen<sup>[19]</sup>.

Walaupun kapasitas adsorpsi biomassa yang diimobilisasi lebih rendah, upaya imobilisasi biomassa tetap disarankan karena selain dihasilkan adsorben yang memiliki kekuatan partikel yang baik, porositas dan ketahanan kimia yang tinggi, juga tahan terhadap dekomposisi mikroorganisme lain serta adsorben dapat dicuci untuk digunakan kembali [20].

#### **4.3. Pengaruh variasi waktu kontak terhadap adsorpsi ion logam Cd (II) oleh biomassa alga hijau**

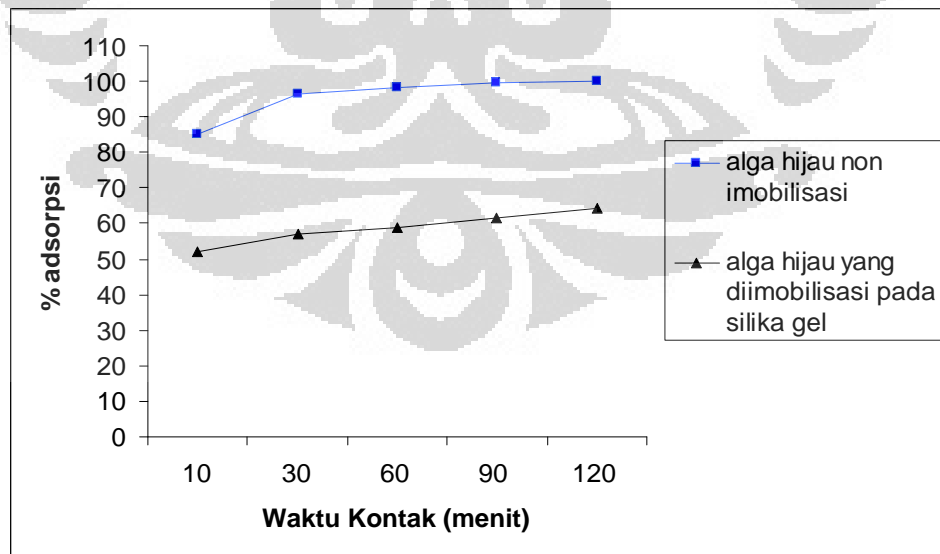
Perlakuan ini dimaksudkan untuk mendapatkan informasi berapa lama waktu yang diperlukan untuk mencapai penyerapan maksimum (keadaan kesetimbangan) kadmium oleh biomassa alga hijau.

Adsorpsi logam dengan variasi waktu kontak dilakukan dengan cara mengontakkan 100 mg alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel dengan larutan ion logam  $Cd^{2+}$  dengan konsentrasi awal 10 mg/L. pH yang digunakan yaitu pH pada kondisi penyerapan maksimum yaitu pH 8. Waktu kontak divariasikan dengan variasi 10, 30, 60, 90, 120 menit. Selanjutnya, kadar ion logam diukur dengan AAS. Kadar ion logam yang terukur merupakan kadar ion logam yang tidak

teradsorpsi oleh adsorben. Hasil % adsorpsi ion logam Cd (II) disajikan dalam Tabel 4.5 dan Gambar 4.8.

**Tabel 4.5.** Adsorpsi ion logam Cd<sup>2+</sup> oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel dengan variasi waktu kontak

Waktu Kontak	Alga hijau Non-Imobilisasi			Alga hijau Imobilisasi		
	% Adsorpsi	Ads Cd/bio (mg/g)		% Adsorpsi	Ads Cd/bio (mg/g)	
10	84,9499	2,1237		51,942	1,2986	
30	96,3948	2,4099		57,122	1,4281	
60	98,1116	2,4528		58,849	1,4712	
90	99,5422	2,4886		61,439	1,5360	
120	99,8283	2,4957		64,317	1,6079	



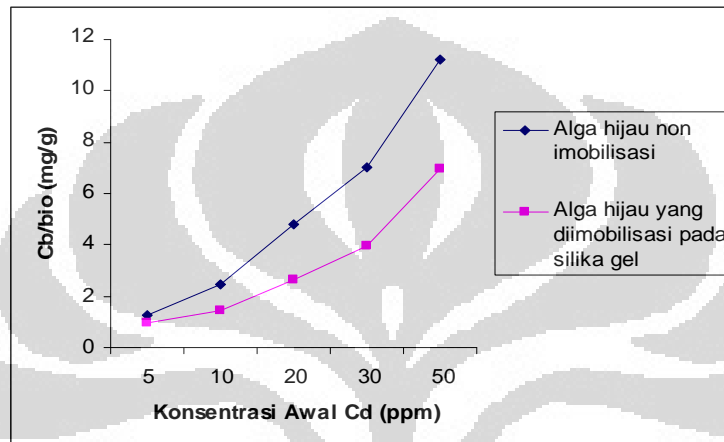
**Gambar 4.8.** Adsorpsi ion logam Cd<sup>2+</sup> oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel dengan variasi waktu kontak

Dari Gambar 4.8 terlihat bahwa pada 10 menit pertama waktu kontak, terjadi penyerapan yang cukup tinggi, yaitu 84,95% untuk alga hijau non imobilisasi dan 51.942 % untuk alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel. Sesuai dengan teori bahwa proses biosorpsi yang tidak bergantung pada proses metabolisme atau dengan kata lain proses penyerapan ion logam yang hanya terjadi pada permukaan dinding sel, berlangsung relatif cepat karena tidak melibatkan proses akumulasi logam dalam sel<sup>[21]</sup>. Penyerapan ion logam  $Cd^{2+}$  semakin meningkat seiring meningkatnya waktu kontak. Kemudian terjadi penyerapan yang relatif konstan pada perpanjangan waktu kontak berikutnya. Bentuk kurva yang relatif mendatar memberikan informasi bahwa situs aktif dinding sel biomassa alga hijau telah jenuh dengan ion logam atau sistem telah mencapai keadaan kesetimbangan. Sehingga penambahan waktu kontak tidak akan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penyerapan ion logam  $Cd^{2+}$ .

#### **4.4. Pengaruh variasi konsentrasi ion logam Cd (II) terhadap adsorpsi ion logam Cd (II) oleh biomassa alga hijau**

Dengan adanya variasi konsentrasi ion logam pada adsorpsi logam menggunakan alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel akan didapatkan dapat informasi tentang kapasitas adsorpsi dari alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel yang didapat dari isoterm adsorpsinya. Logam divariasikan pada konsentrasi

5, 10, 20, 30, dan 50 mg/L. Selanjutnya, kadar ion logam yang diukur dengan AAS. Kadar ion logam yang terukur merupakan kadar ion logam yang tidak teradsorpsi oleh adsorben. Hasil serapan ion logam  $Cd^{2+}$  dengan variasi konsentrasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.9.



**Gambar 4.9.** Adsorpsi ion logam  $Cd^{2+}$  oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel dengan variasi konsentrasi ion logam Cd (II)

**Tabel 4.6.** Adsorpsi ion logam  $Cd^{2+}$  oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel dengan variasi konsentrasi larutan ion logam Cd (II)

Konsentrasi larutan ion logam Cd (II) (mg/L)	Alga hijau Non-Imobilisasi		Alga hijau Imobilisasi	
	% Adsorpsi	Ads Cd/bio (mg/g)	% Adsorpsi	Ads Cd/bio (mg/g)
5	99,7305	1,2466	74,5761	0,9322
10	97,7316	2,4433	58,7872	1,4697
20	95,4632	4,7732	52,8355	2,6418
30	93,2323	6,9924	52,5884	3,9441
50	89,5295	11,1912	55,7732	6,9716

Dari Gambar 4.9 terlihat bahwa jumlah kadmium yang terserap oleh biomassa alga hijau dipengaruhi oleh variasi konsentrasi larutan yang digunakan. Semakin besar konsentrasi larutan yang diinteraksikan dengan jumlah biomassa yang tetap maka semakin besar pula jumlah kadmium yang terserap oleh biomassa alga hijau. Sesuai dengan teori Langmuir yang mengatakan bahwa pada permukaan penyerap dalam hal ini biomassa alga hijau terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan penyerap. Sehingga selama situs aktif belum jenuh atau berada pada keadaan seimbang, maka dengan bertambahnya konsentrasi ion logam yang dikontakkan akan bertambah pula jumlah ion logam yang terserap<sup>[20]</sup>.

Untuk alga hijau non imobilisasi, pada konsentrasi awal larutan kadmium 5 ppm hingga 50 ppm jumlah kadmium yang terserap meningkat dari 1,2466 mg sampai 11,19 mg kadmium per gram bio massa. Hal yang sama terjadi pada biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel. Pada konsentrasi awal larutan kadmium 5 ppm hingga 50 ppm jumlah kadmium yang terserap meningkat dari 0,9322 mg sampai 6,9716 mg kadmium per gram biomassa.

Selanjutnya, untuk lebih memperoleh hasil yang lebih meyakinkan, dilakukan percobaan dengan waktu kontak serta konsentrasi awal larutan ion logam Cd (II) yang divariasikan. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Lampiran 14 dan 13, yang semuanya mengikuti pola yang sama dengan percobaan-percobaan sebelumnya.

#### 4.5. Pengaruh Asam terhadap stabilitas alga hijau

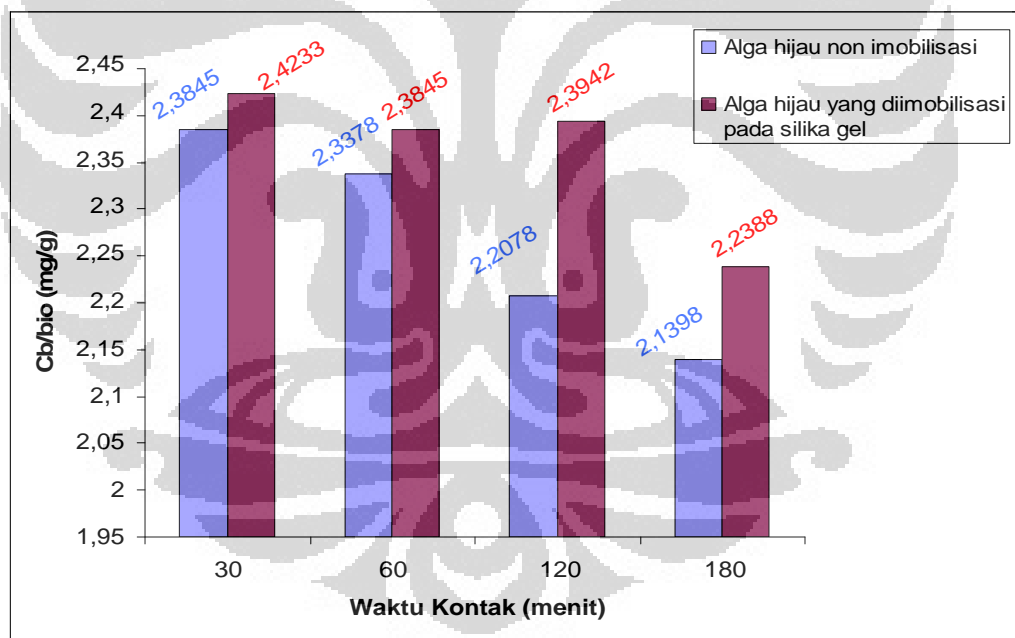
Imobilisasi biomassa bertujuan untuk mengatasi keterbatasan-keterbatasan biomassa alga hijau, dalam aplikasinya sebagai biosorben, sehingga biomassa akan memiliki daya tahan yang lebih baik terhadap perubahan-perubahan pelarut kimia, menambah berat jenis, serta tidak mudah rusak akibat dekomposisi.

Perlakuan asam ini dimaksudkan untuk membuktikan bahwa alga hijau yang diimmobilisasi dengan silika gel mempunyai stabilitas yang lebih tinggi (sebagai salah satu keunggulan teknik imobilisasi) dibandingkan dengan alga hijau yang non imobilisasi jika berada pada lingkungan asam. Dengan mengkontakkan biomassa alga hijau, baik yang diimmobilisasi pada silika gel maupun non imobilisasi, dengan 25 mL larutan HCl 0,1 M yang disertai dengan waktu kontak yang divariasikan 30, 60, 120, dan 180 menit. Setelah itu biomassa alga hijau tersebut disaring, dicuci hingga netral, dikontakkan dengan larutan ion logam  $Cd^{2+}$ . Selanjutnya, kadar ion logam diukur dengan AAS, kadar ion logam yang terukur merupakan kadar ion logam yang tidak teradsorpsi oleh adsorben. Adanya penurunan serapan ion logam  $Cd^{2+}$  yang terjadi pada alga hijau non imobilisasi dibandingkan dengan alga hijau yang diimmobilisasi pada silika gel, diasumsikan sebanding dengan banyaknya adsorben yang larut dalam asam. Hasil serapan ion logam  $Cd^{2+}$  dengan perlakuan asam dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.10.



**Tabel 4.7.** Adsorpsi ion logam Cd<sup>2+</sup> oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel setelah perlakuan asam dengan variasi waktu kontak

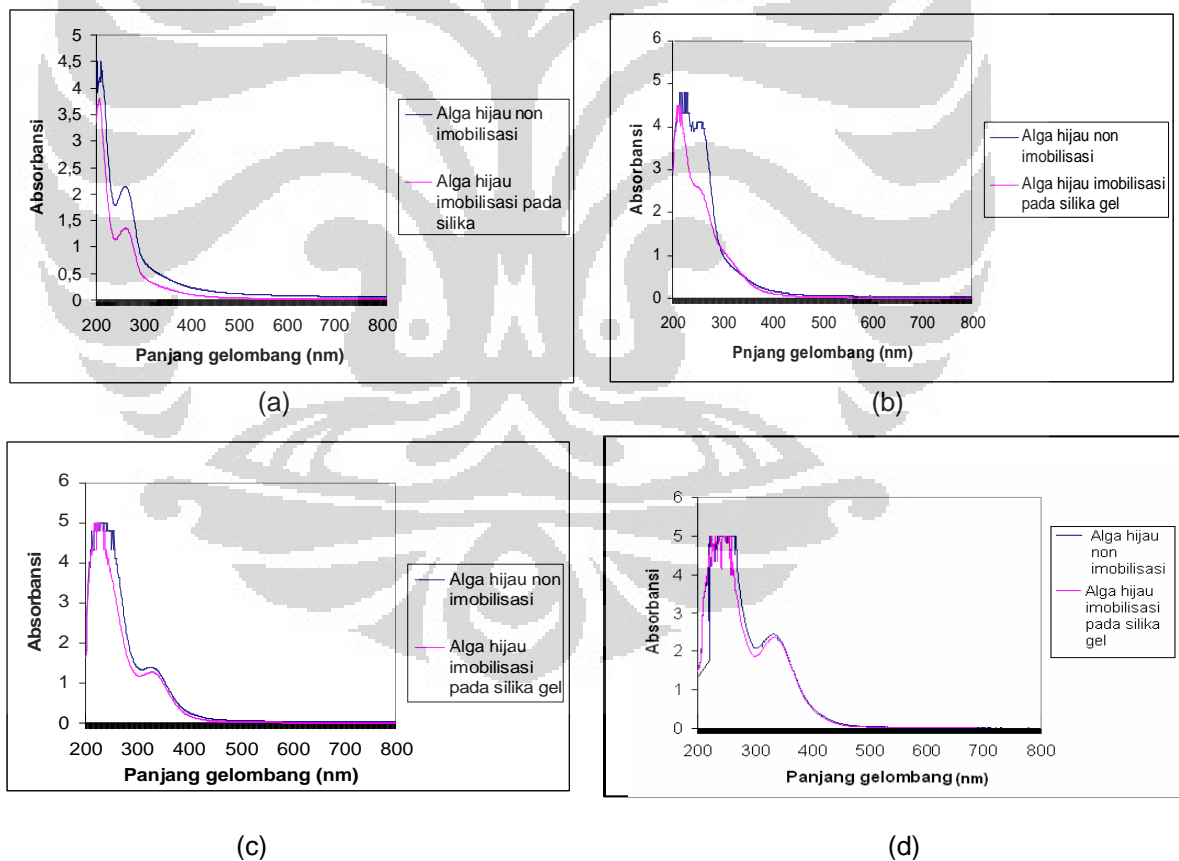
Waktu Kontak	Alga hijau non imobilisasi		Alga hijau imobilisasi	
	% Adsorpsi	Ads Cd/bio (mg/g)	% Adsorpsi	Ads Cd/bio (mg/g)
30	95,3786	2,3845	96,9320	2,4233
60	93,5146	2,3379	95,3786	2,3845
120	88,3107	2,2078	95,7670	2,3942
180	85,5922	2,1398	89,5534	2,2388



**Gambar 4.10.** Adsorpsi ion logam Cd<sup>2+</sup> oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel setelah perlakuan asam dengan variasi waktu

Terlihat dari data Tabel 4.7 dan Gambar 4.10, terjadi penurunan serapan ion logam  $Cd^{2+}$  pada alga hijau non imobilisasi dibandingkan dengan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel, hal tersebut mengindikasikan bahwa adsorben yang larut dalam asam pada biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel lebih sedikit, sehingga dapat dikatakan bahwa biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel lebih tahan atau stabil terhadap asam dibandingkan dengan alga hijau non imobilisasi.

Secara kualitatif, adanya bagian dari adsorben yang larut dalam asam ditunjukkan oleh data UV-Vis pada Gambar 4.11.

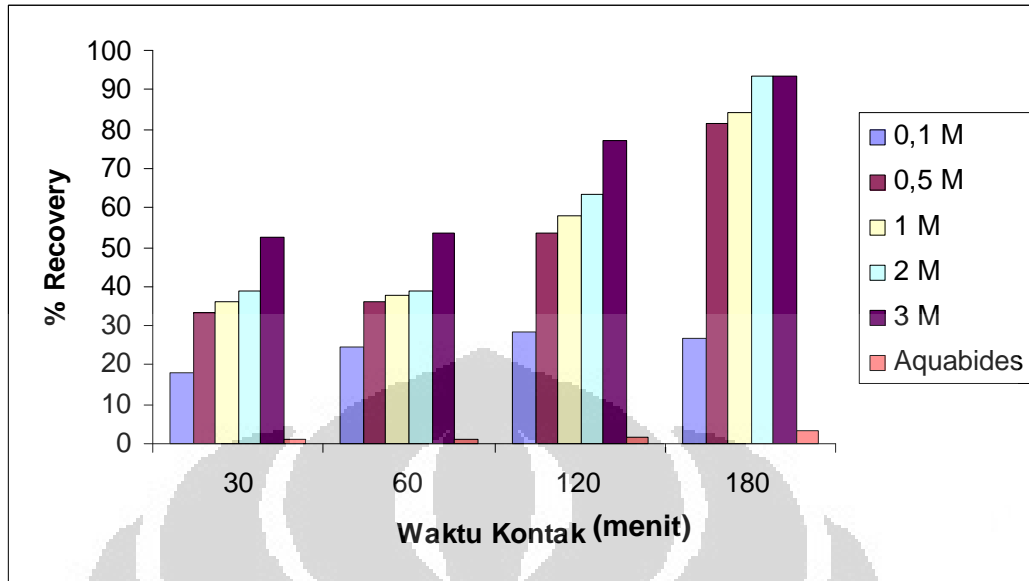


**Gambar 4.11.** Spektrum UV-Vis (a) alga hijau dengan aquades; (b) alga hijau dengan asam 0,1 M; (c) alga hijau dengan asam 0,6 M; (d) alga hijau dengan asam 3 M

Berdasarkan Gambar 4.11, secara kualitatif peak pada alga hijau non imobilisasi dibandingkan dengan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel terlihat memiliki serapan yang hampir sama pada panjang gelombang yang sama, namun jika kita asumsikan secara kuantitatif, dapat terlihat bahwa absorbansi peak pada alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel rendah dibandingkan alga hijau non imobilisasi. Informasi tersebut mendukung asumsi bahwa jumlah adsorben yang larut pada alga hijau non imobilisasi lebih banyak dibandingkan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel.

#### **4.6. Recovery**

Recovery adalah upaya pemanfaatan limbah (adsorben yang sudah digunakan) dengan jalan memprosesnya untuk memperoleh kembali salah satu komponen yang terkandung di dalamnya sehingga adsorben tersebut dapat digunakan kembali<sup>[29]</sup>. Kadmium (II) yang telah diadsorpsi oleh biomassa alga hijau dapat dilepas kembali (desorpsi) menggunakan desorben, dalam hal ini desorben yang digunakan adalah aquabides dan  $\text{HNO}_3$  dengan berbagai variasi konsentrasi serta waktu kontak. Hasil recovery untuk biomassa alga hijau non imobilisasi dapat dilihat pada Gambar 4.12. Data lengkapnya disajikan dalam Tabel 4.8.

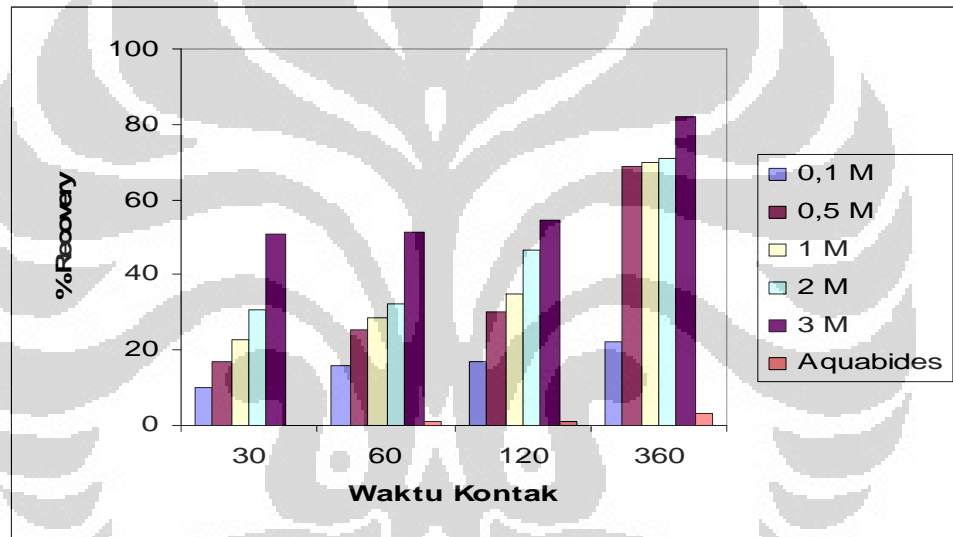


**Gambar 4.12.** Recovery ion logam Cd<sup>2+</sup> oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dengan variasi waktu

**Tabel 4.8.** % Recovery ion logam Cd<sup>2+</sup> oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dengan variasi waktu kontak

Desorben	% Recovery					
	HNO <sub>3</sub> 0,1M	HNO <sub>3</sub> 0,5M	HNO <sub>3</sub> 1M	HNO <sub>3</sub> 2 M	HNO <sub>3</sub> 3 M	Aquabides
Waktu						
30	17,8486	33,2690	36,2538	38,6890	52,2852	0,8480
60	24,7418	36,3180	37,7143	38,8176	53,3191	1,2488
120	28,2195	53,6440	57,6703	63,6127	76,9437	1,4835
180	26,5113	81,2360	84,3310	93,2103	93,2947	3,0807

Hasil recovery yang diperoleh menunjukkan bahwa persen recovery maksimum untuk biomasa non imobilisasi dicapai pada waktu kontak 180 menit dengan konsentrasi asam nitrat sebesar 3 M, yaitu sekitar 93%. Sedangkan menggunakan aquabides mencapai persen recovery maksimum pada waktu 180 menit yaitu sekitar 3%. Hasil recovery biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel dengan dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan Tabel 4.9..



**Gambar 4.13.** Recovery ion logam  $Cd^{2+}$  oleh biomassa alga hijau imobilisasi dengan variasi waktu

**Tabel 4.9.** % Recovery ion logam Cd<sup>2+</sup> oleh biomassa alga hijau imobilisasi dengan variasi waktu kontak

Desorb-en Waktu	% Recovery					
	HNO <sub>3</sub> 0,1M	HNO <sub>3</sub> 0,5M	HNO <sub>3</sub> 1M	HNO <sub>3</sub> 2 M	HNO <sub>3</sub> 3 M	Aqubides
30	9,9744	17,1580	22,9677	30,7629	50,94645	0,1053
60	16,12423	25,455	28,39811	32,20454	51,44697	0,8843
120	17,13592	29,993	34,98378	46,38676	54,51665	1,1414
180	22,01835	68,999	69,9687	71,01132	81,92795	3,3756

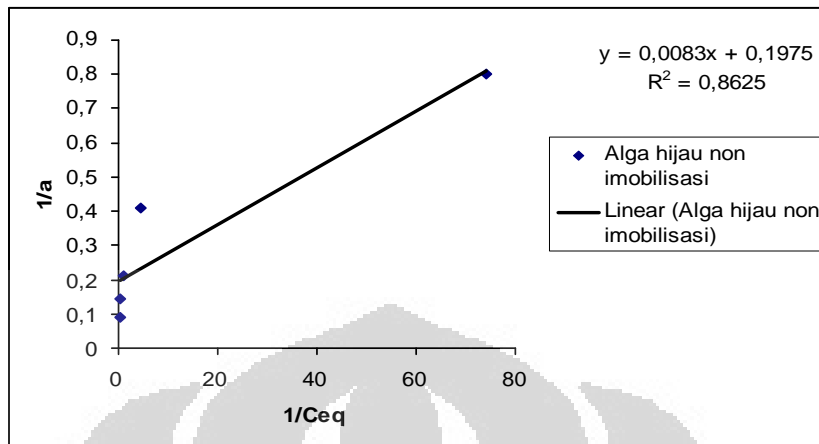
Hasil recovery yang diperoleh menunjukkan bahwa persen recovery maksimum untuk biomasa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel dicapai pada waktu kontak 180 menit dengan desorben asam nitrat 3 M, yaitu sekitar 82%. Sedangkan menggunakan aquabides mencapai persen recovery maksimum pada waktu 180 menit yaitu sekitar 3,4%.

Penggunaan aquabides bertujuan untuk mendesorpsi kadmium (II) yang teradsorpsi melalui mekanisme fisik bukan interaksi kimia. Sedangkan penggunaan HNO<sub>3</sub>, menginterpretasikan adanya interaksi kimiawi, dengan cara mempengaruhi pH dari sistem. Sebagaimana telah dijelaskan dalam pembahasan sebelumnya adanya H<sup>+</sup> atau pH rendah akan menyebabkan protonasi situs aktif dan kompetisi antara ion logam dengan proton untuk memperebutkan ligan, sehingga ion logam akan terlepas. Oleh karena itu dapat diasumsikan bahwa proses adsorpsi pada kedua biomassa tersebut dapat terjadi secara fisik dan kimiawi.

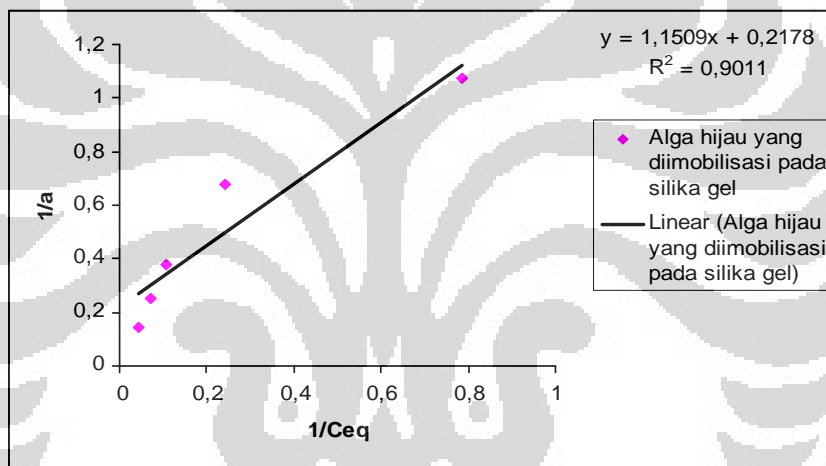
#### **4.7 Kurva adsorpsi Isoterm Langmuir adsorpsi Cd (II) oleh biomassa alga hijau**

Isoterm adsorpsi digunakan untuk mengetahui hubungan antara jumlah zat yang terserap (adsorbat) dengan jumlah zat penyerap (adsorben), serta kemungkinan sifat dari permukaan adsorben. Pada penelitian ini digunakan dua bentuk persamaan isoterm adsorpsi, yaitu isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich. Data yang digunakan untuk mencari isoterm adsorpsi adalah data penyerapan pada variasi konsentrasi ion logam Cd (II) yang digunakan, oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dan biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel.

Pada isoterm adsorpsi Langmuir, teori Langmuir menjelaskan bahwa permukaan penyerap dalam hal ini biomassa alga hijau terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan penyerap. Pada setiap situs aktif memiliki energi yang sama sehingga dapat dikatakan bahwa permukaan adsorben bersifat homogen. Hasil pengolahan data variasi konsentrasi ion logam Cd (II) yang digunakan untuk mencari isoterm adsorpsi Langmuir disajikan pada Gambar 4.14.



(a)



(b)

**Gambar 4.14.** Kurva adsorpsi isoterm Langmuir ion logam  $Cd^{2+}$  (a) oleh biomassa alga hijau non imobilisasi; (b) alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel.

Dari kurva adsorpsi diatas (Gambar 4.14) didapat persamaan linier  $y = 0,0083 x + 0,1975$  dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,8625 dan  $y = 1,1509 x + 0,2178$  dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,9011. Dengan menggunakan persamaan isoterm Langmuir (persamaan 2) kapasitas adsorpsi maksimum pada permukaan monolayer alga hijau non imobilisasi ( $a_{max}$ ) sebesar 5,0633 mg Cd/g dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel sebesar 4,5914 mg Cd/g. Nilai  $a_{max}$



menunjukkan bahwa 1 gram alga hijau non imobilisasi dapat mengadsorpsi ion logam  $Cd^{2+}$  sebesar 5,0633 mg dan 4,5914 mg untuk alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel. Sedangkan harga k (afinitas serapan) untuk alga hijau non imobilisasi sebesar 23,7650, dan untuk alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel sebesar 0,1892, semakin besar nilai k, maka afinitas penyerapan oleh biosoben tersebut semakin besar. Data selengkapnya disajikan pada Tabel 4.10. Namun demikian, jika mempertimbangkan linearitas garis hubungan antara  $1/a$  dengan  $1/C_{eq}$ , pada grafik tersebut fenomena adsorpsi kurang memenuhi persamaan isoterm adsorpsi Langmuir. Oleh karena itu, dicoba untuk memasukkan data isoterm adsorpsi tersebut ke persamaan isoterm adsorpsi Freundlich.

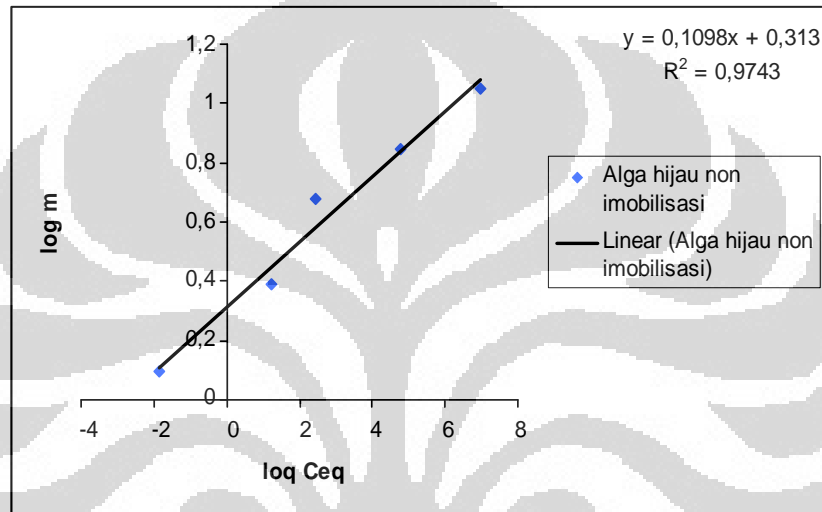
#### **4.8 Kurva adsorpsi Isoterm Freundlich adsorpsi Cd (II) oleh biomassa alga hijau**

Isoterm adsorpsi Freundlich menyatakan bahwa permukaan adsorben bersifat heterogen, hal tersebut berarti afinitas dari masing-masing pusat aktif tidak sama, sehingga adsorpsi pada situs yang paling aktif lebih disukai.

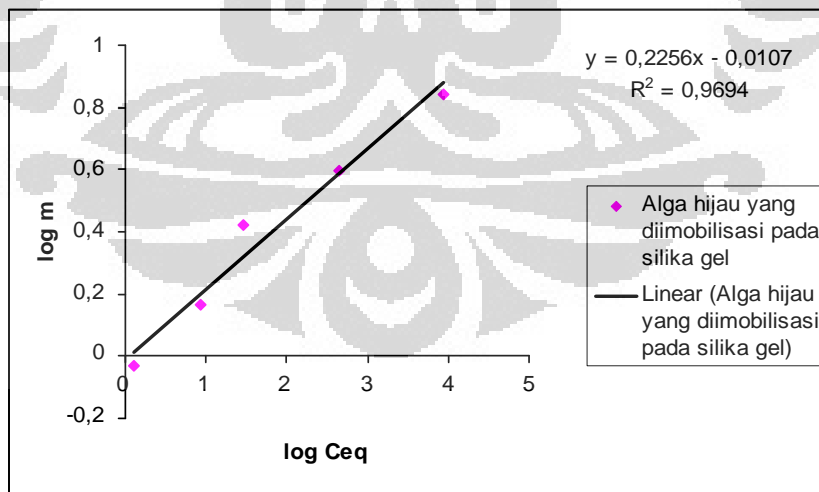
Dari data penyerapan pada variasi konsentrasi ion logam Cd (II) oleh alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel, dan dengan menggunakan persamaan isoterm Freundlich (persamaan 4), maka didapat persamaan linier  $y = 0,1098 x + 0,313$  dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,9743 untuk biomassa alga hijau non imobilisasi, sedangkan untuk

biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel diperoleh persamaan linier  $y = 0,2256x - 0,0107$  dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,9694.

Hasil pengolahan data variasi konsentrasi ion logam Cd (II) yang digunakan untuk mencari isoterm adsorpsi Freundlich disajikan pada Gambar 4.14.



(a)



(b)

**Gambar 4.15.** Kurva adsorpsi isoterm Freundlich ion logam  $Cd^{2+}$  (a) oleh biomassa alga hijau non imobilisasi (b) alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel.

Berdasarkan persamaan isoterm Freundlich (persamaan 4) diperoleh nilai konstanta adsorpsi ( $k$ ) untuk adsorpsi ion logam  $Cd^{2+}$  alga hijau non imobilisasi sebesar 2,0599 dan untuk alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel sebesar 0,9757. Sedangkan konstanta  $n$  dari adsorpsi dengan alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel sebesar 0,7766 dan 0,5948. Data selengkapnya disajikan pada Tabel 4.10.

**Tabel 4.10.** Harga parameter Langmuir dan Freundlich ion logam  $Cd^{2+}$

	Isoterm Langmuir		Isoterm Freundlich	
	Alga hijau non imobilisasi	Alga hijau Imobilisasi	Alga hijau non imobilisasi	Alga hijau Imobilisasi
$R^2$	0,8625	0,9011	$R^2$	0,9743
$a_m$	5,0633	4,5914	$k$	2,0559
$k$	23,7650	0,1892	$n$	0,7766
				0,5948

Dari Tabel 4.10, dilihat dari nilai  $R^2$ , dapat diasumsikan isoterm Freundlich mampu menginterpretasikan data adsorpsi lebih baik daripada isoterm Langmuir. Hal tersebut menginformasikan bahwa kemungkinan permukaan dari kedua biomassa alga hijau yang digunakan bersifat heterogen, artinya setiap situs aktif pada matriks alga yang kompleks memiliki energi atau afinitas yang berbeda-beda.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan menggunakan biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel dengan menggunakan sistem *batch*, dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Berdasarkan spektra FT-IR makromolekul penyusun alga hijau non imobilisasi mengandung gugus-gugus karboksilat, amino, dan hidroksi.
- Penyerapan maksimum ion logam Cd (II) oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel terjadi pada pH 8, waktu 2 jam.
- Variasi konsentrasi ion logam Cd (II) yang digunakan memiliki pengaruh terhadap penyerapan ion logam tersebut. Semakin besar konsentrasi awal ion logam Cd (II), semakin besar pula konsentrasi ion logam yang terserap.
- Daya adsorpsi alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel lebih rendah dibandingkan dengan alga hijau non imobilisasi, namun memiliki ketahanan kimiawi yang lebih baik terhadap asam.

- Hasil recovery menggunakan asam nitrat 3 M untuk biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel masing-masing sebesar 93 % dan 82%.
- Berdasarkan linearitas, isoterm adsorpsi Freundlich dapat menginterpretasikan data adsorpsi lebih baik dibandingkan isoterm adsorpsi Langmuir.

## 5.2 Saran

- Perlu dipelajari lebih lanjut mengenai mekanisme reaksi yang terjadi antara logam dengan gugus fungsi pada proses adsorpsi.
- Perlu dilakukan penelitian yang lebih jauh mengenai teknik imobilisasi biomassa sebagai adsorben logam.
- Perlu dilakukan penelitian menggunakan sistem kontinyu saat proses kontak antara alga imobilisasi dengan larutan logam .

## DAFTAR PUSTAKA

1. Harris, R.O. and Ramelow, G.J, 1990. *Binding of Metal Ions by Particulate Biomassa Derivate From Chlorella Vulgaris and Scenedesmu quaadricauda*, Environ. Sci. Tech. 24, 220-227.
2. *Green Algae (Chlorophyta)- Division*.  
<http://www.gardenguides.com/plants/taxonomy.asp> (30 Juni 2009 pkl 19.30).
3. Wisjuprpto. 1996. *Penyisihan Logam Berat dalam Buangan yang Diaplikasikan di Indonnesia. Symposium and Workshop on Heavy Metal Bioaccumulation*. IUC Biptechnology Gadjah Mada University. Yogyakarta.
4. Morse et al. 1993. *The Economic and Environment Impact of Phosphorus Removal from Wastewater in the European Community*
5. Saefumillah, A. 2008. *Studi Biosorpsi Ion Logam Berat Menggunakan Biomassa Alga Hijau dari Danau di Lingkungan Universitas Indonesia*. Proposal Penelitian Hibah Bersaing Tahun 2008. FMIPA. UI. Depok
6. Wulandari, wanti. 2007. *Studi awal Pemanfaatan Alga Hijau dan Karakterisasinya Sebagai Biosorben Ion logam  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  dan  $Cr^{2+}$* . FMIPA Universitas Indonesia.

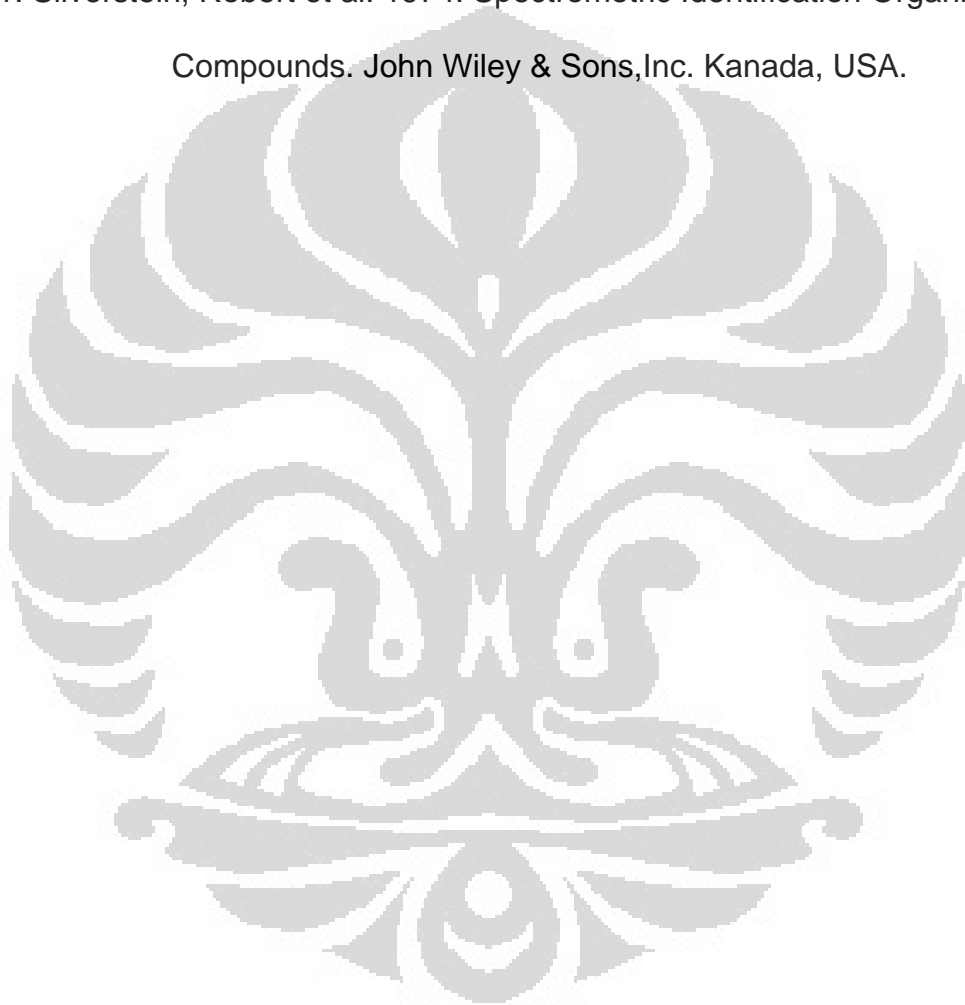
7. Pallar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksisitas Logam Berat*. Renika Cipta. Jakarta.
8. Bryan, G.W. 1976. *Heavy Metals Contamination in The Sea*, in : Johnston. J. (ed) *Marine Pollution Academic Press, London* : p. 185-302.
9. Sutamiharja, R.T.N.; Adnan, K. ; dan Sanusi. 1992. *Perairan Teluk Jakarta Ditinjau dari Tingkat Pencemarannya*. Fakultas Pascasarjana, Jurusan PSL. Institut Pertanian Bogor
10. *Cadmium*. <http://en.wikipedia.org/wiki/cadmium> (6 juni 2009 pkl 13.00)
11. Volesky, Bohumil. *Biosorption*. <http://www.biosorption.net>. (31 Maret 2009 pkl 13.00)
12. Suhendrayatna. *Heavy Metal Bioremoval by Microorganisms: A Literature Study Institute for Science and Technology Studies (ISTECS)-Chapter Japan*. Department of Applied Chemistry and Chemical Engineering Faculty of Engineering, Kagoshima University. <http://www.mail-archive.com/zoa-biotek@sinergy-forum.net/msg00178.html> (12 Januari 2009 pkl 13.00).
13. Ahaya. N, et al. 2004. *Biosorption of Heavy Metals* <http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/water/paper/biosorption/biosorption.htm>. (16 Febuari 2009 pkl 16:10).
14. El-Sherif, Iman et al. 2008. *Biosorption of Cadmium and Nickel by Nile Water Algae*. *Journal of Applied Sciences Research*, 4(4): 391- 396.

15. Awofulo, O.R., J.O.Okonkwo, et al. 2006. *A New Approach to Chemical Modification Protocols of Aspergillus niger and Sorption of lead ion by Fungal Spesies*. Electronic Journal of Biotechnology 9(4):341-348.
16. Yalcin, Emine, et al. 2007. *Biosorption of Lead (II) and Copper (II) Metal Ions on Cladophora glomerata (L.) Kütz. (Chlorophyta) Algae: Effect of Algal Surface Modification*. Acta Chim. Slov. 55, 228–232.
17. Buhani. 2007. *Alga sebagai Bioindikator dan Biosorben Logam Berat (Bagian 2: Biosorben)*. [http://www.chem-is-try.org/artikel\\_kimia/Biosorben.htm](http://www.chem-is-try.org/artikel_kimia/Biosorben.htm) (16 Febuari 2009 pkl 16.15).
18. Amaria. 1998. *Evaluasi Kemampuan Adsorpsi Biomassa Chaetoceros Calsitrans yang Terimmobilisasi pada Silika Gel terhadap ion Cd(II), Pb(II) dan Cu(II) dalam Medium Air*. Tesis Program Pasca Sarjana UGM. Yogyakarta.
19. Buhani dan Sembiring, Zipora. 2002. *Adsorpsi Ion logam Kadmium (II), Timbal (II) dan Tembaga (II) Pada Biomassa Alga yang Diimmobilisasi Silika Gel*. Laporan Penelitian FMIPA, UNLAM : Bandar Lampung.
20. Amaria. 2005. *Immobilisasi Saccharomyces cerevisiae Limbah Fermentasi Industri Bir melalui Pembentukan Sol-Gel Silika dan Aplikasinya untuk Adsorpsi Kation-Kation Logam Berat*. USU. Surabaya.

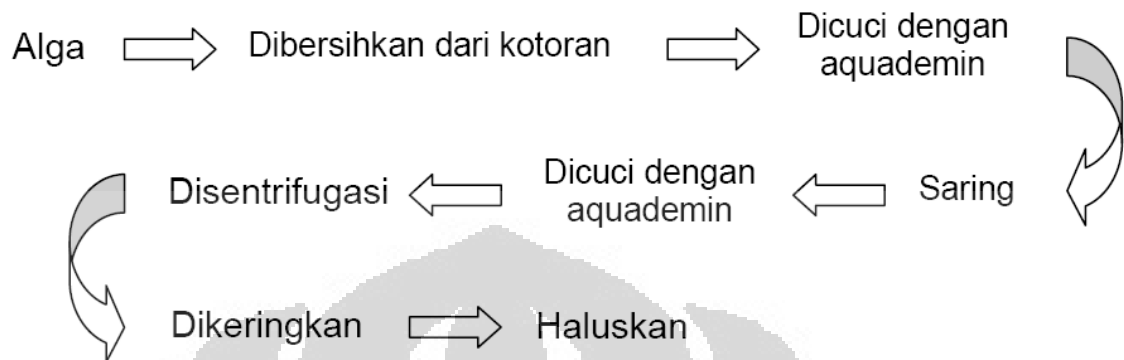


21. Oscik, J., 1982. *Adsorption*. John Wiley and Son. New York.
22. Jason, PP. 2004. *Activated Carbon and Some Application for The Remediation of Soil and Groundwater Pollution*.  
<http://www.ceee.vt.edu/programareas> (20 Juli 2005 pkl 10.00).
23. Atkins, PW. 1999. *Kimia Fisika* jilid 2 edisi ke-4. Erlangga. Jakarta
24. Tchobanoglous G; Franklin L.B. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*. McGraw-Hill. Singapura.
25. Albert, RA; Silbey RJ. 1992. *Physical Chemistry* ed.ke-1. John Willey. New York.
26. Skoog. Douglas A., F. James Holler, Timothy A. Nieman. 2000. *Principles of Instrumental Analysis* Fifth ed. Saunders College Publishing. London..
27. Williams, Dudley H., Ian Fleming. 1980. *Spectroscopic Methods in Organic Chemistry*. McGraw Hill.England.
28. *Scanning electron microscope*.  
[http://id.wikipedia.org/wiki/Scanning\\_electron\\_microscope#Mikroskop\\_pemindai\\_elektron\\_.28SEM.29](http://id.wikipedia.org/wiki/Scanning_electron_microscope#Mikroskop_pemindai_elektron_.28SEM.29) (6 Juni 2009 pkl 13.00)
29. Puriyati. 2008. *Studi biosorpsi ion logam Cr (III) dan Cr (VI) terhadap Biomassa Alga Hijau dan Alga Hijau Terprotonasi*. Skripsi. FMIPA, UI, Depok

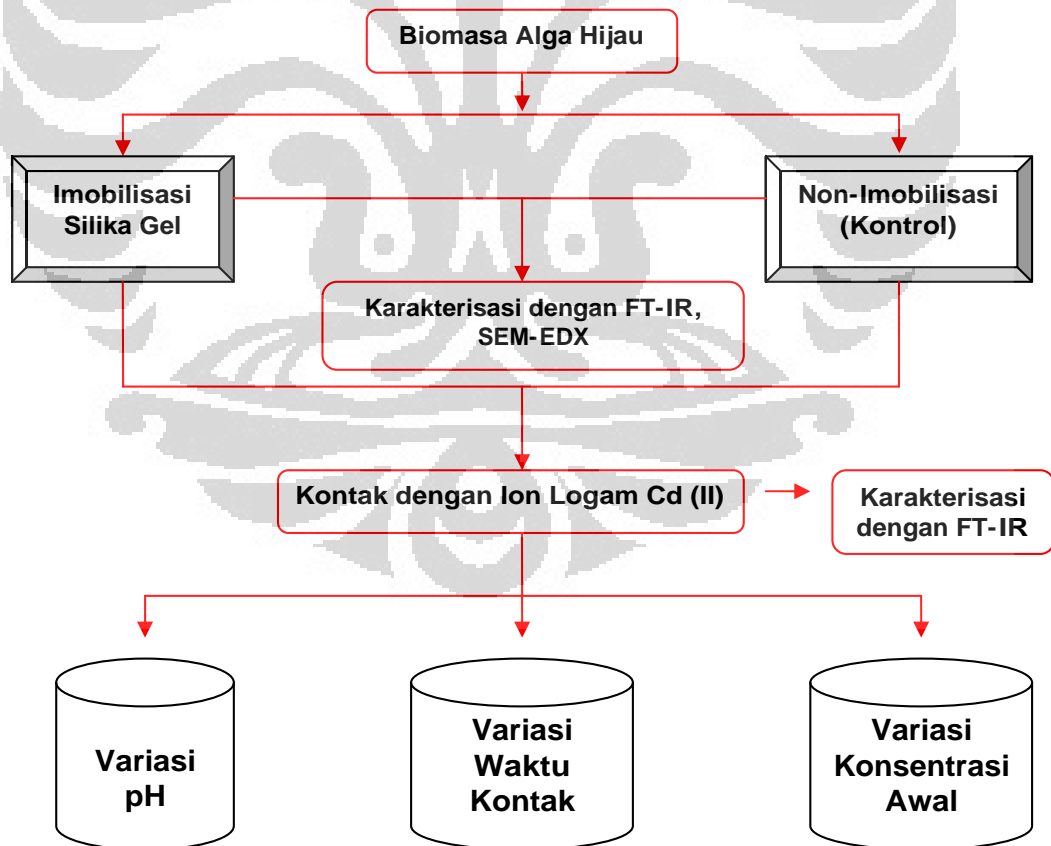
30. Sunarya, Yayan. 2000. *Studi Kinetika dan Mekanisme Biosorpsi Logam Berat pada Miroalga Perairan laut Secara Eksperimen dan Teoritis Melalui Pemodelan dan simulasi Monte Carlo*.  
FMIPA UPI : Bandung.
31. Silverstein, Robert et al. 1974. *Spectrometric Identification Organiganic Compounds*. John Wiley & Sons, Inc. Kanada, USA.



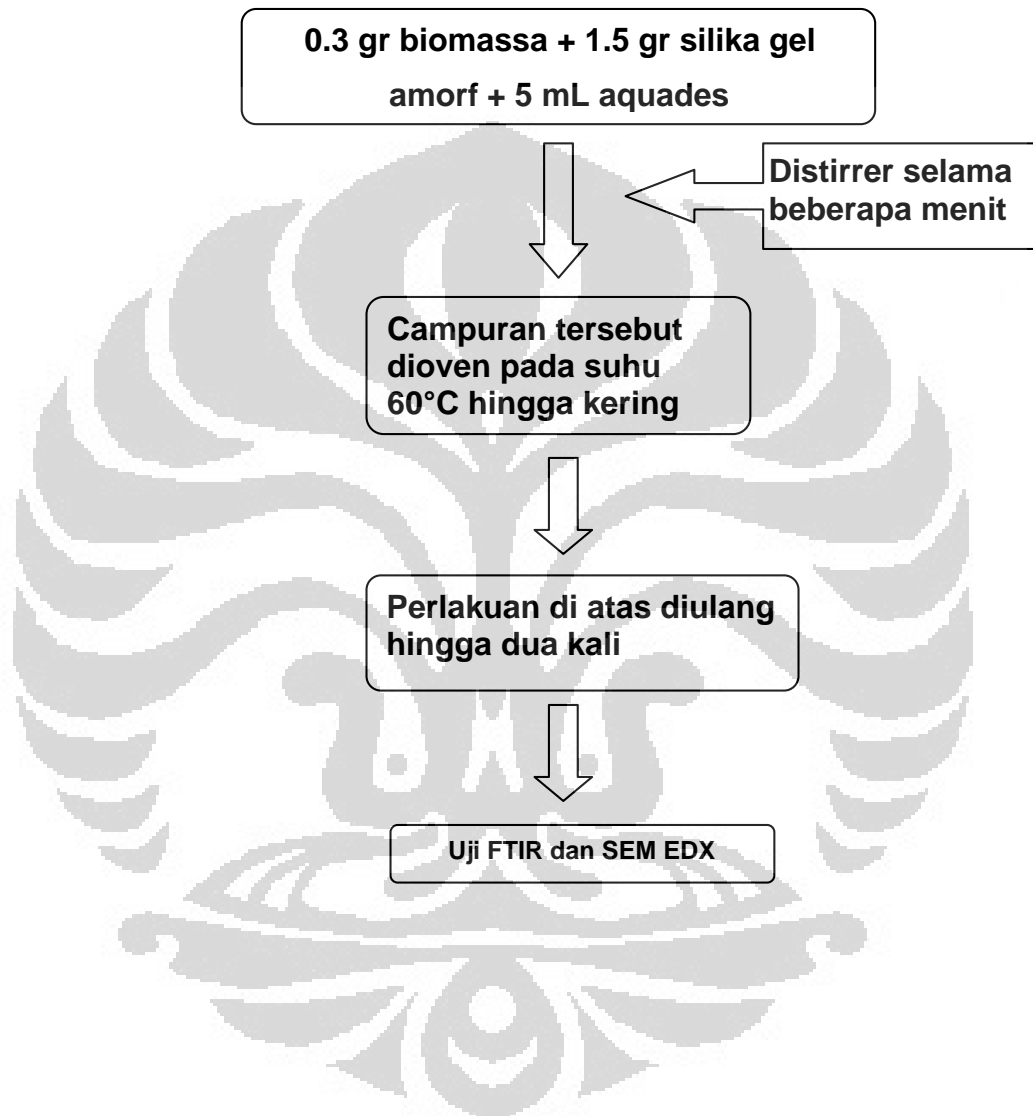
## Lampiran 1. Bagan Kerja Preparasi Biomassa



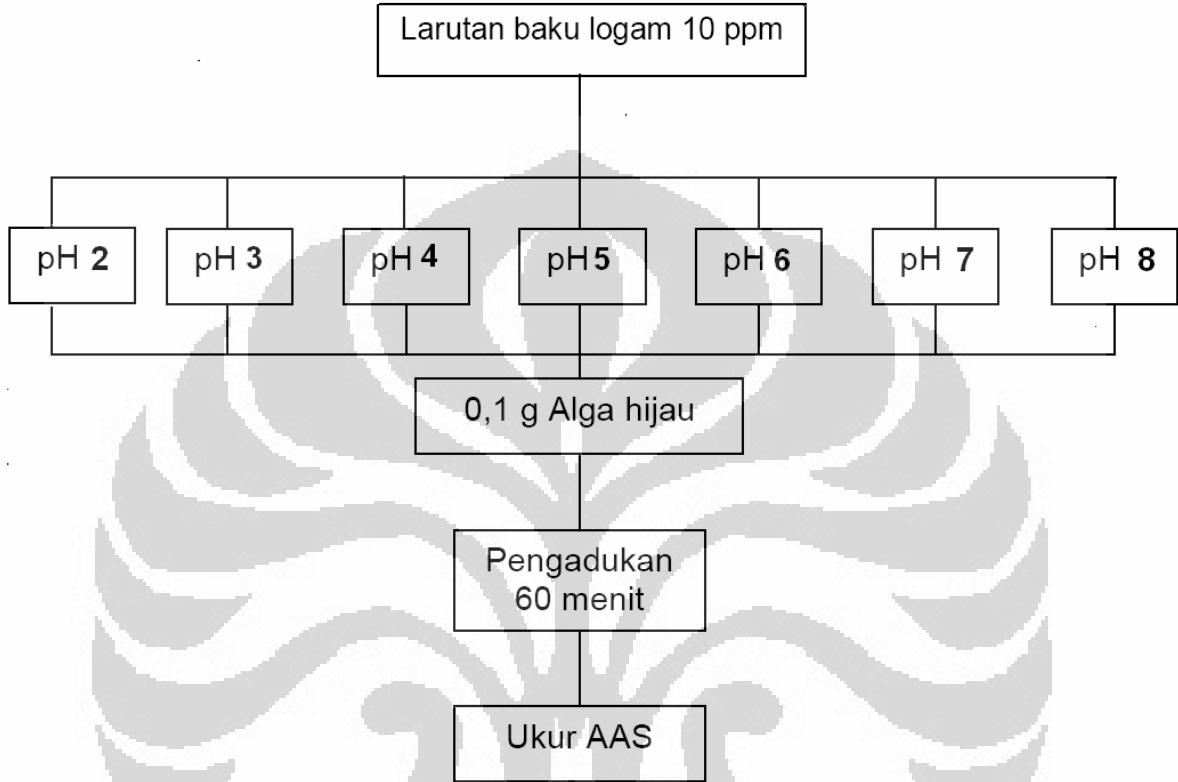
## Lampiran 2. Desain Penelitian



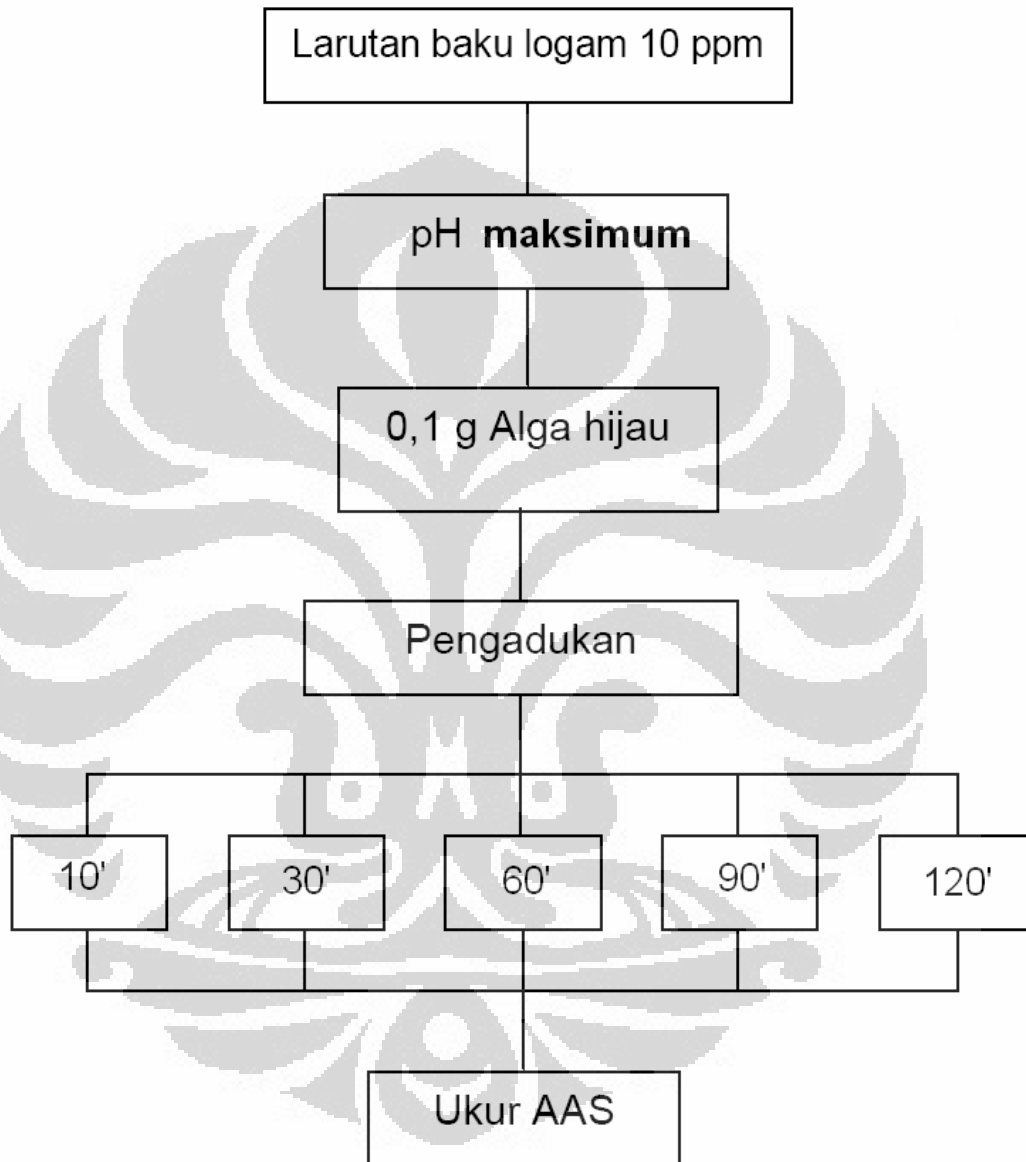
### Lampiran 3. Bagan Kerja Immobilisasi dengan silika gel



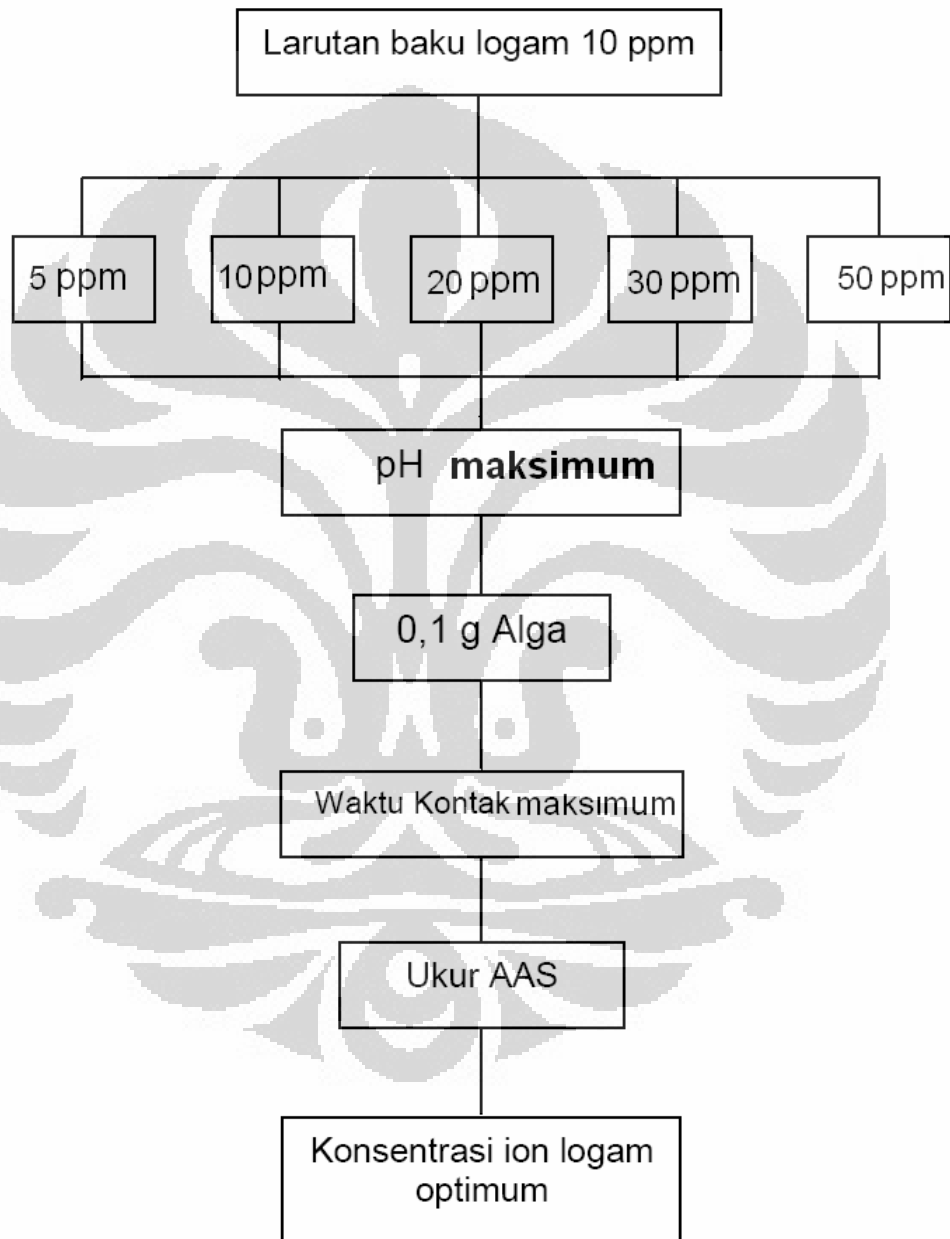
**Lampiran 4. Bagan Kerja Variasi pH**



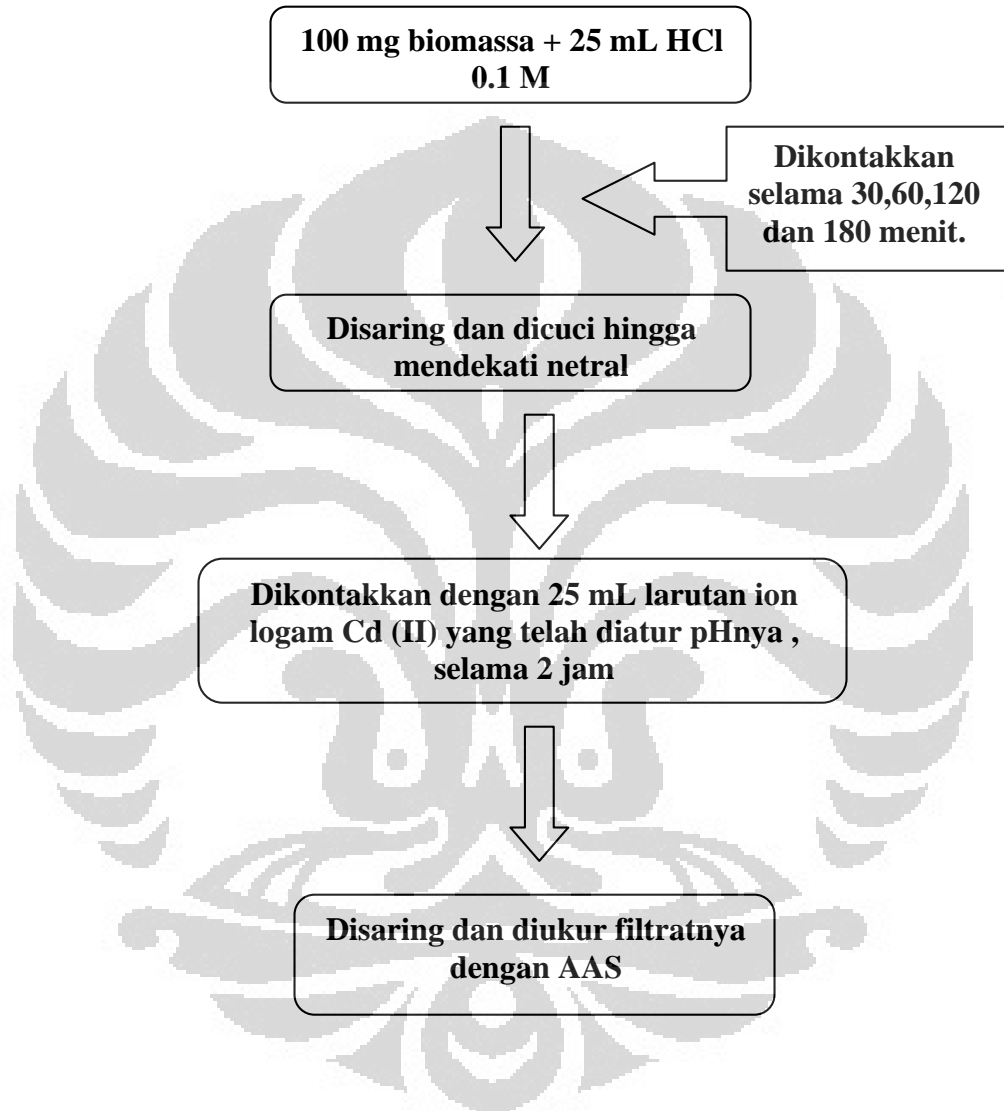
## Lampiran 5. Bagan Kerja Variasi Waktu



## Lampiran 6. Bagan Kerja Variasi Konsentrasi Ion Logam

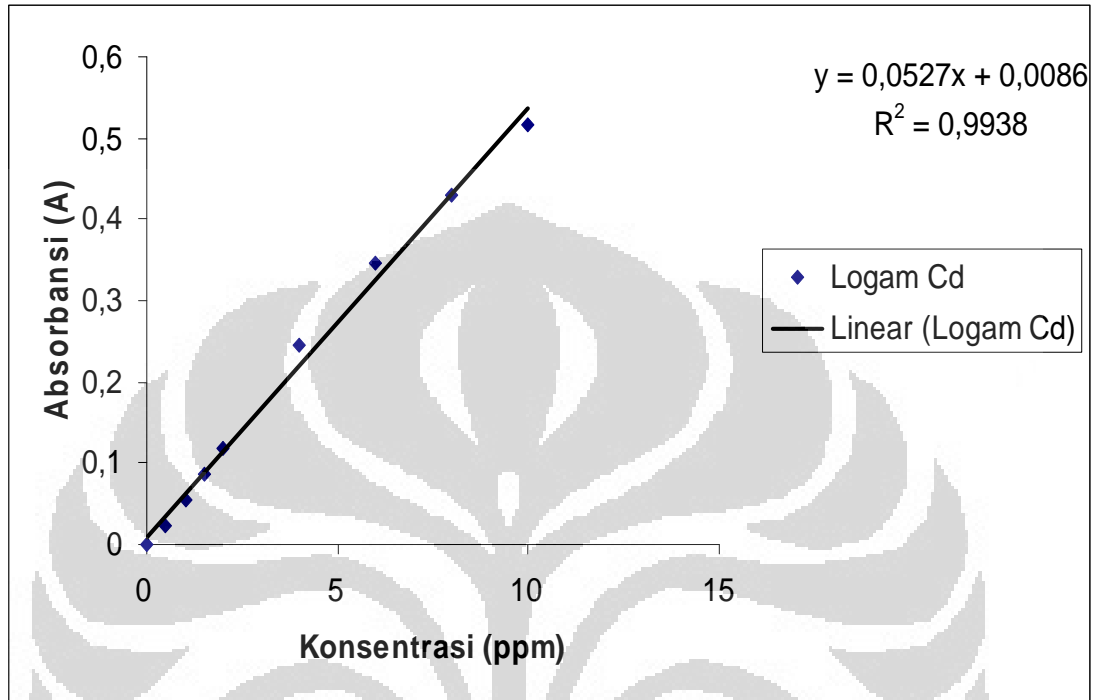


## Lampiran 7. Bagan Kerja Perlakuan asam terhadap biomassa alga hijau



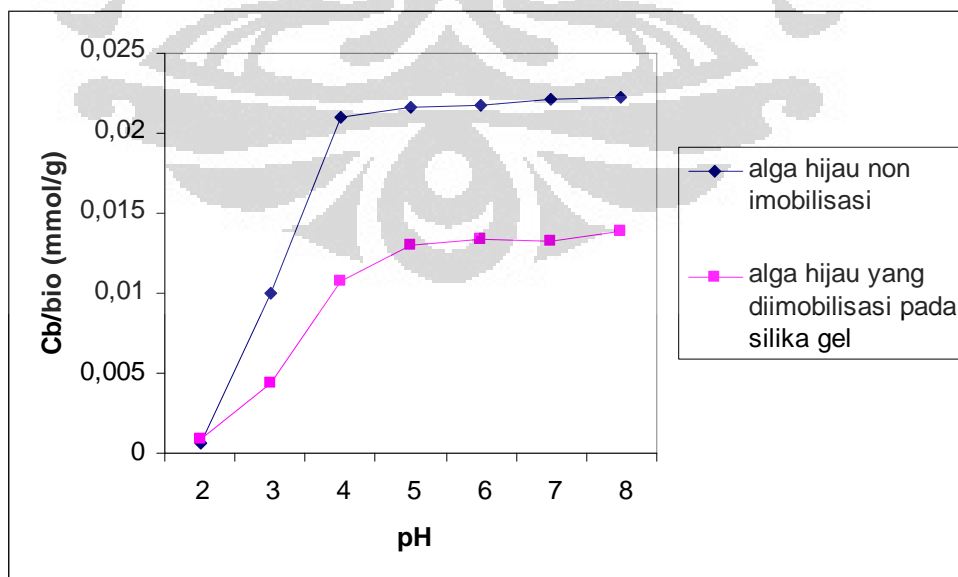


**Lampiran 8. Kurva kalibrasi standar logam Cd (II)**



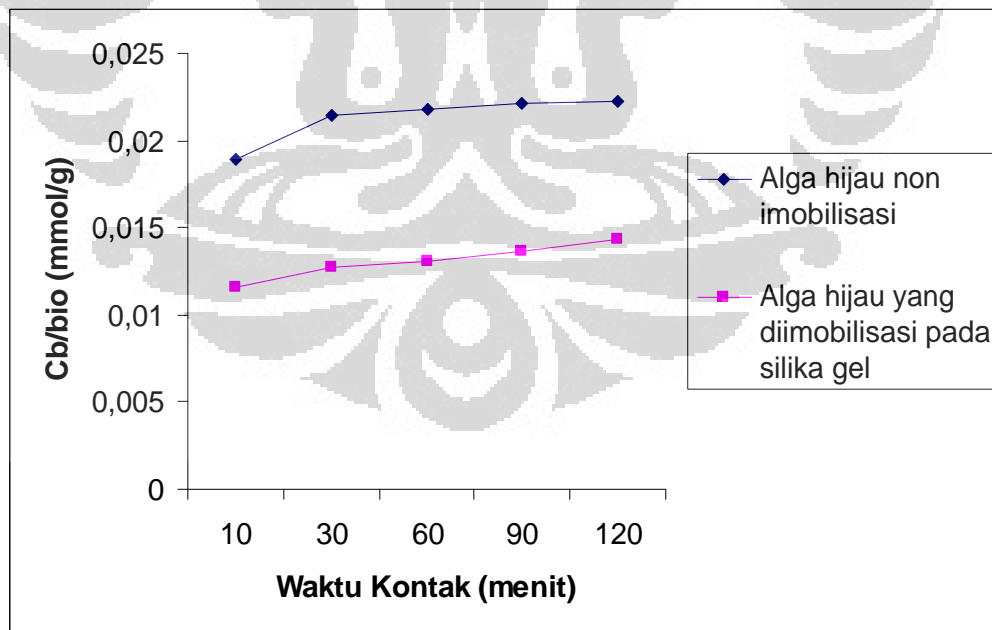
**Lampiran 9. Adsorpsi ion logam Cd<sup>2+</sup> oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel dengan variasi pH**

pH	Alga Non-Imobilisasi		Alga Imobilisasi	
	% Adsorpsi	Ads Cd/bio (mmol/g)	% Adsorpsi	Ads Cd/bio (mmol/g)
2	2,6945	0,0006	3,6984	0,0008
3	45,199	0,0101	19,6302	0,0044
4	94,535	0,021	48,0797	0,0107
5	97,192	0,0216	58,6060	0,013
6	97,951	0,0218	60,3129	0,0134
7	99,469	0,0221	59,4595	0,0132
8	99,848	0,0222	62,3044	0,0139



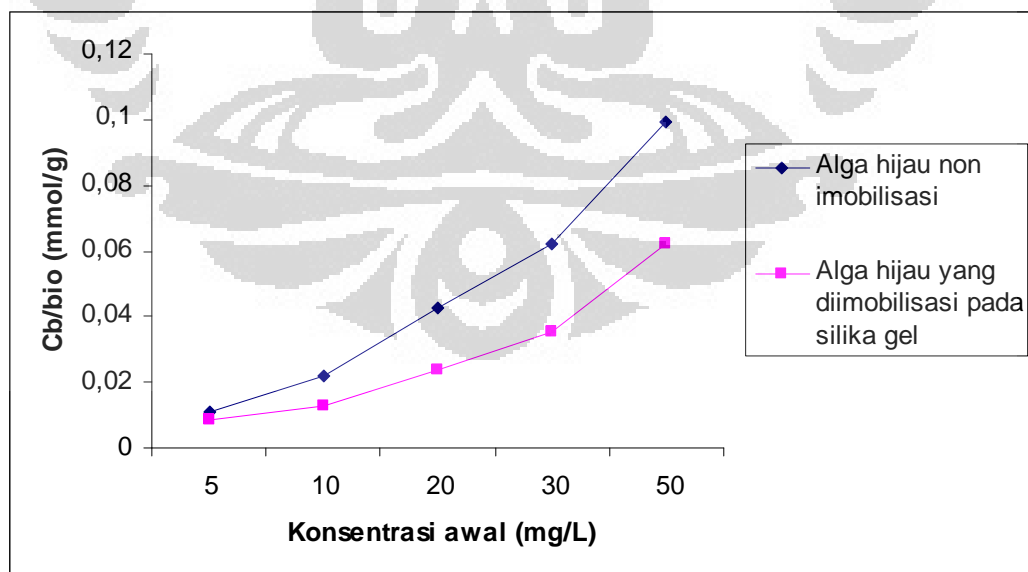
**Lampiran 10. Adsorpsi ion logam Cd<sup>2+</sup> oleh biomassa alga hijau non immobilisasi dan alga hijau yang diimmobilisasi pada silika gel dengan variasi waktu kontak**

Waktu Kontak	Alga Non-Immobilisasi		Alga Immobilisasi	
	% Adsorpsi	Ads Cd/bio (mmol/g)	% Adsorpsi	Ads Cd/bio (mmol/g)
10	84,9499	0,0189	21,2375	0,0116
30	96,3948	0,0214	24,0987	0,0127
60	98,1116	0,0218	24,5279	0,0131
90	99,5422	0,0221	24,8856	0,0137
120	99,8283	0,0222	24,9571	0,0143



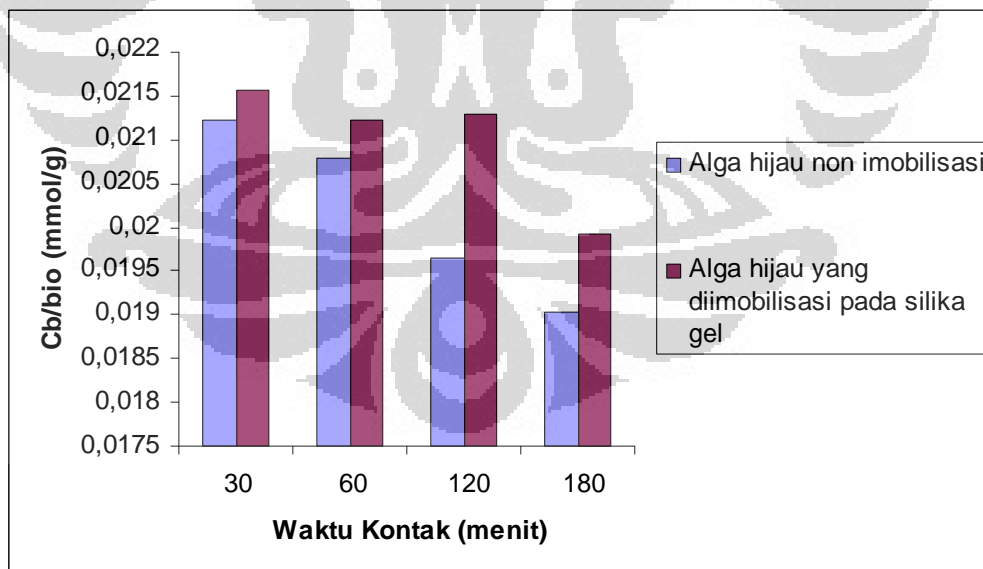
**Lampiran 11. Adsorpsi ion logam Cd<sup>2+</sup> oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel dengan variasi konsentrasi**

Konsentrasi Awal (mg/L)	Alga Non-Imobilisasi		Alga Imobilisasi	
	% Adsorpsi	Ads Cd/bio (mmol/g)	% Adsorpsi	Ads Cd/bio (mmol/g)
5	99,7305	0,0111	74,5761	0,0083
10	97,7316	0,0217	58,7872	0,0131
20	95,4632	0,0425	52,8355	0,0235
30	93,2323	0,0622	52,5884	0,0351
50	89,5295	0,0996	55,7732	0,0620



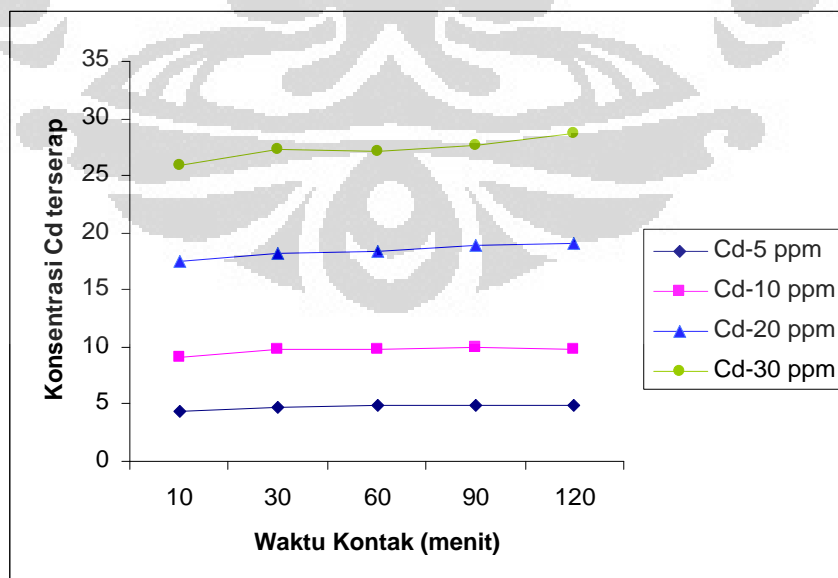
**Lampiran 12. Adsorpsi ion logam  $Cd^{2+}$  oleh biomassa alga hijau non Imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel setelah perlakuan asam dengan variasi waktu kontak**

Waktu Kontak	Alga Non-Imobilisasi		Alga Imobilisasi	
	% Adsorpsi	Ads Cd/bio (mmol/g)	% Adsorpsi	Ads Cd/bio (mmol/g)
30	95,3786	0,0212	96,9320	0,0216
60	93,5146	0,0208	95,3786	0,0212
120	88,3107	0,0196	95,7670	0,0213
180	85,5922	0,0190	89,5534	0,0199



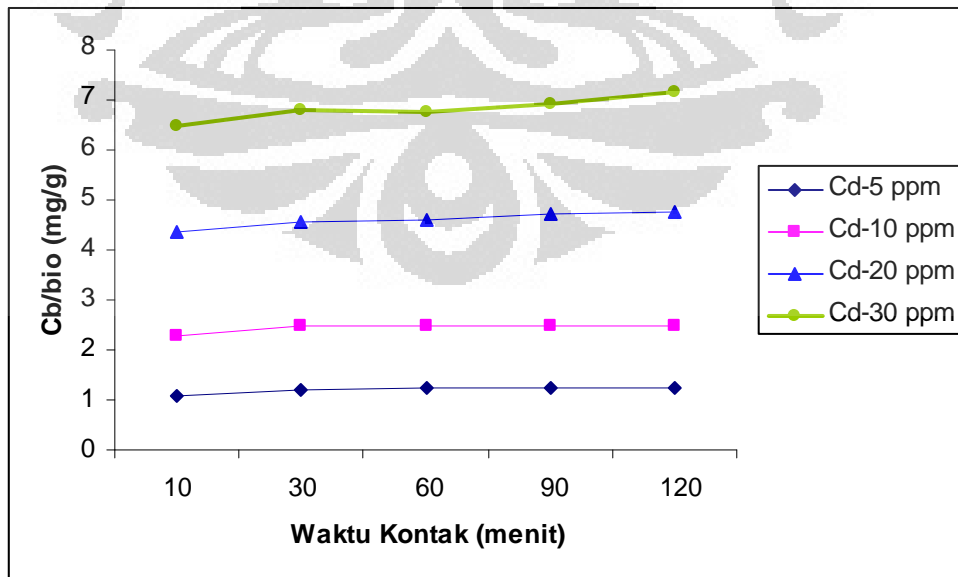
**Lampiran 13. Pengaruh variasi konsentrasi Cd (II) dengan variasi waktu kontak pada biomassa alga hijau non imobilisasi**

Konsentrasi Waktu	Cb/bio (mg/g)			
	5 mg/L	10 mg/L	20 mg/L	30 mg/L
10	1,0996	2,2636	4,3688	6,4693
30	1,1905	2,4606	4,5438	6,8045
60	1,2207	2,4688	4,5975	6,7625
90	1,2236	2,4770	4,7323	6,9023
120	1,2318	2,4688	4,7590	7,1675



**Lampiran 14. Pengaruh variasi konsentrasi Cd (II) dengan variasi waktu kontak pada biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel**

Konsentrasi \ Waktu	Cb/bio (mg/g)			
	5 mg/L	10 mg/L	20 mg/L	30 mg/L
10	0,6553	1,2986	2,7490	2,9915
30	0,8197	1,4281	2,6705	3,1313
60	0,8510	1,4712	2,7820	3,2850
90	0,8666	1,5360	2,8240	3,2710
120	0,8979	1,6079	2,8958	3,2990



**Lampiran 15. Contoh perhitungan konsentrasi ion logam Cd (II) sisa (Ceq), konsentrasi ion logam Cd (II) teradsorpsi (Cb) dan persen adsorpsi.**

a. Konsentrasi ion logam Cd (II) sisa (Ceq)

Konsentrasi ion logam Cd (II) sisa atau konsentrasi pada saat kesetimbangan adalah konsentrasi yang langsung terukur oleh SSA, dengan pengolahan data menggunakan kurva kalibrasi standar ion logam Cd (II) seperti pada Lampiran 8.

Contoh: untuk penentuan konsentrasi ion logam Cd (II) sisa untuk data pada Lampiran 9. Untuk pH 2, dari hasil pengukuran SSA diperoleh absorbansi sebesar 0,265. Dengan menggunakan kurva kalibrasi standar dari Lampiran 8, dengan persamaan regresi linear, yaitu:  $y = 0,0527x + 0,0086$  dan memasukkan nilai absorbansi (sebagai y), maka konsentrasi ion logam Cd (II) sisa (sebagai x) yaitu :

$$x = \frac{y - 0,0086}{0,0527} \times \text{faktor pengenceran}$$

Karena larutan ion Cd (II) pada penelitian ini mengalami pengenceran, maka perhitungan konsentrasi ion logam Cd (II) sisa (Ceq) harus dikali dengan faktor pengenceran. Maka akan diperoleh konsentrasi ion logam Cd (II) sisa (Ceq).



b. Konsentrasi ion logam Cd (II) yang teradsorpsi ( $C_b$ )

Konsentrasi ion logam Cd (II) yang teradsorpsi ( $C_b$ ) adalah selisih antara konsentrasi awal larutan ion logam Cd (II) ( $C_i$ ) dengan konsentrasi ion logam Cd (II) sisa ( $C_{eq}$ ).

$$C_b = C_i - C_{eq}$$

c. Persen adsorpsi

Merupakan perbandingan dalam bentuk persen antara konsentrasi ion logam Cd (II) teradsorpsi ( $C_b$ ) dengan konsentrasi mula-mula ion logam Cd (II) ( $C_i$ ).

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{C_b}{C_i} \times 100 \%$$

Untuk melihat nilai dari penyerapan yang terjadi, selain menggunakan persen adsorpsi, dapat juga menggunakan perbandingan antara konsentrasi ion logam Cd (II) yang teradsorpsi ( $C_b$ ), baik dalam satuan mg ataupun mmol, dengan jumlah biomassa yang digunakan (biasanya dalam satuan g), seperti yang terdapat pada Lampiran 9 -12.

$$C_b/\text{biomassa (mg/g)} = \frac{(C_i - C_{eq}) \times \text{Volume}}{\text{Jumlah biomassa}}$$

$$C_b/\text{biomassa (mmol/g)} = \frac{\left( \frac{C_i - C_{eq}}{M_r} \right) \times \text{Volume}}{\text{Jumlah biomassa}}$$

## Lampiran 16. Data perhitungan untuk isoterm adsorpsi

### Data Isoterm Langmuir Alga Hijau Non Imobilisasi

[Cd] awal (Ci) mg/L	[Cd] sisa (Ceq) (mg/L)	[Cd] teradsorpsi (Cb)		1/Ceq (1/mg/L)	a (Cb / 0,1 g)	1/a
		mg/L	mg		mg/g	g/mg
5	0,0135	4,9865	0,1247	74,0741	1,2466	0,8022
10	0,2268	9,7732	0,2443	4,4092	2,4433	0,4093
20	0,9074	19,0926	0,4773	1,1020	4,7732	0,2095
30	2,0303	27,9697	0,6992	0,4925	6,9924	0,1430
50	5,2353	44,7647	1,1191	0,1910	11,1912	0,0894

### Data Isoterm Langmuir Alga Hijau yang Diimobilisasi pada Silika Gel

[Cd] awal (Ci) mg/L	[Cd] sisa (Ceq) (mg/L)	[Cd] teradsorpsi (Cb)		1/Ceq (1/mg/L)	a (Cb / 0,1 g)	1/a
		mg/L	mg		mg/g	g/mg
5	1,2712	3,7288	0,0932	0,7867	0,9322	1,0727
10	4,1213	5,8787	0,1470	0,2426	1,4697	0,6804
20	9,4329	10,5671	0,2642	0,1060	2,6418	0,3785
30	14,223	15,777	0,3944	0,0703	3,9443	0,2535
50	22,113	27,887	0,6972	0,0452	6,9718	0,1434

Data Isoterm Freundlich Alga Hijau Non Imobilisasi

[Cd] awal (Ci) mg/L	[Cd] sisa (Ceq) (mg/L)	[Cd] teradsorpsi (Cb)		log Ceq log mg/L	m (Cb / 0,1 g) mg/g	log m log mg/g
		mg/L	mg			
5	0,0135	4,9865	0,00034	-1,8697	1,2466	0,0957
10	0,2268	9,7732	0,00567	-0,6444	2,4433	0,3880
20	0,9074	19,0926	0,02269	-0,0422	4,7732	0,6788
30	2,0303	27,9697	0,05076	0,3076	6,9924	0,8446
50	5,2353	44,7647	0,13088	0,7189	11,1912	1,0489

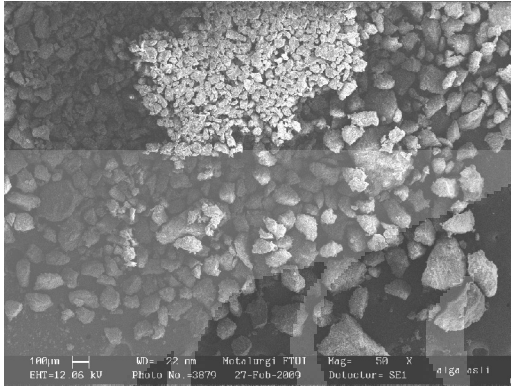
Data Isoterm Freundlich Alga Hijau yang Diimobilisasi pada Silika Gel

[Cd] awal (Ci) mg/L	[Cd] sisa (Ceq) (mg/L)	[Cd] teradsorpsi (Cb)		log Ceq log mg/L	m (Cb / 0,1 g) mg/g	log m log mg/g
		mg/L	mg			
5	1,2712	3,7288	0,0932	0,1042	0,9322	-0,0305
10	4,1213	5,8787	0,1470	0,6150	1,4697	0,1672
20	9,4329	10,5671	0,2642	0,9746	2,6418	0,4219
30	14,223	15,777	0,3944	1,1530	3,9443	0,5960
50	22,113	27,887	0,6972	1,3446	6,9718	0,8433

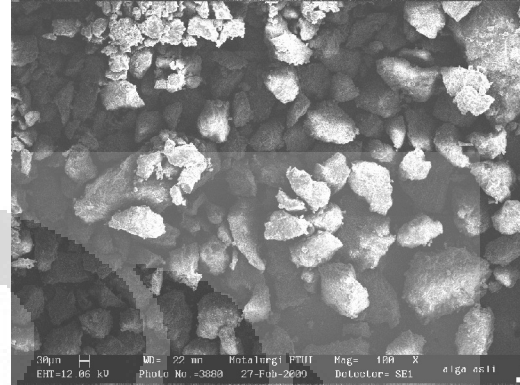
### Lampiran 17. Tabel absorpsi FT-IR

Jenis gugus fungsi	Pita serapan ( $\text{cm}^{-1}$ )	Keterangan
N-H primer	3500 – 3300	Vibrasi ulur
N-H primer	1580 – 1490	Vibrasi tekuk
O-H asam karboksilat	3000 – 2500	Vibrasi ulur
O-H	1410 – 1260	Vibrasi tekuk
O-H alkohol	3550 – 3200	Vibrasi ulur
C-O	1260 – 1000	Vibrasi ulur
C-H	3000 – 2840	Vibrasi ulur
C=O	1870 – 1540	Vibrasi ulur
O-H dari Si-OH	3700 – 3200	Vibrasi ulur
Si-O dari Si-O-Si	1100 – 1000	Vibrasi ulur

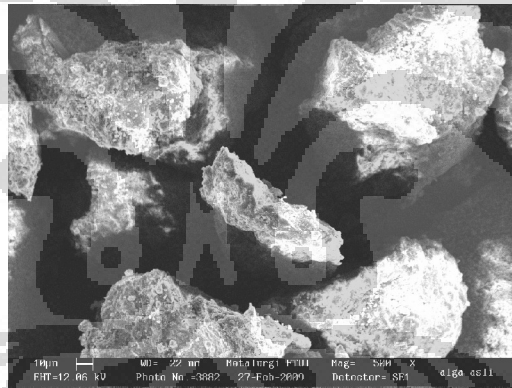
## Lampiran 18. SEM Alga non imobilisasi



(a) perbesaran 50 kali

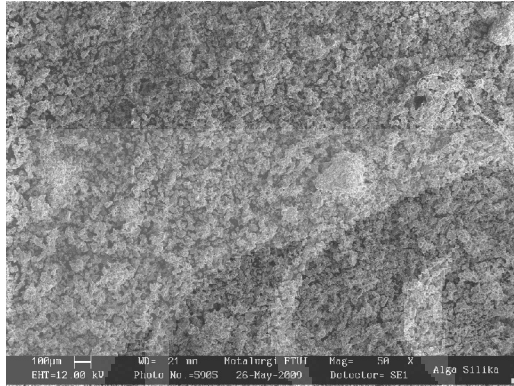


(b) perbesaran 100 kali

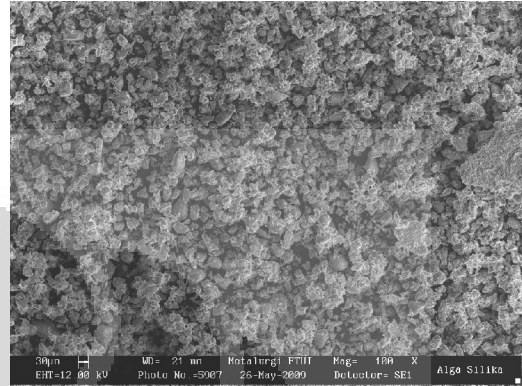


(c) perbesaran 500 kali

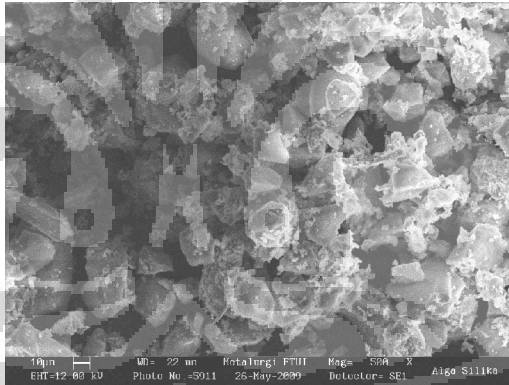
## Lampiran 19. SEM Alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel



(a) perbesaran 50 kali

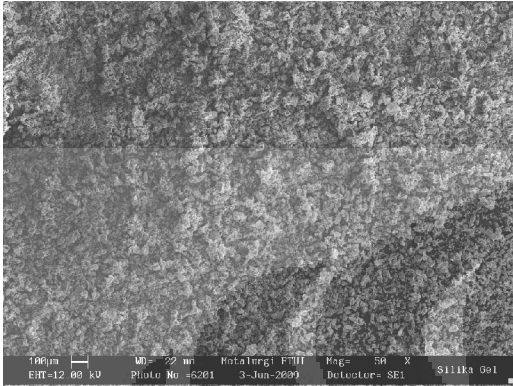


(b) perbesaran 100 kali

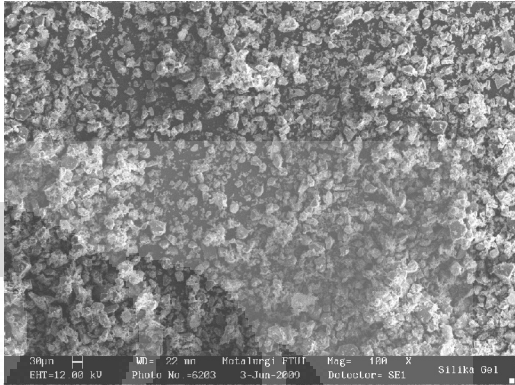


(c) perbesaran 500 kali

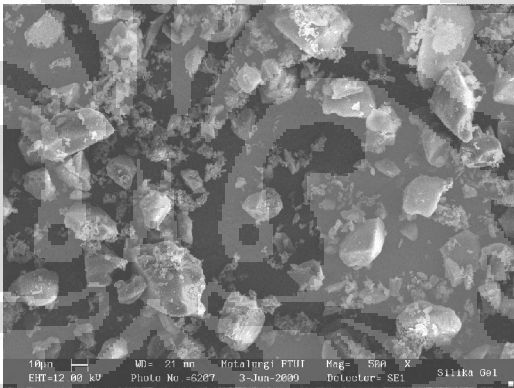
**Lampiran 20. SEM Silika gel**




(a) perbesaran 50 kali



(b) perbesaran 100 kali



(c) perbesaran 500 kali



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.