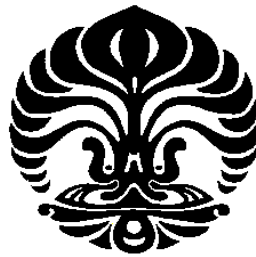


**STUDI BIOSORPSI ION LOGAM Cr (VI) OLEH BIOMASSA ALGA HIJAU
YANG DIIMMOBILISASI PADA KALSIUM ALGINAT**

TRI SUSANTI

0305030638



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

**STUDI BIOSORPSI ION LOGAM Cr (VI) OLEH BIOMASSA ALGA HIJAU
YANG DIIMMOBILISASI PADA KALSIUM ALGINAT**

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

Oleh:

TRI SUSANTI

0305030638



DEPOK

2009

SKRIPSI : STUDI BIOSORPSI ION LOGAM Cr (VI) OLEH
BIOMASSA ALGA HIJAU YANG DIIMMOBILISASI
PADA KALSIUM ALGINAT

NAMA : TRI SUSANTI

NPM : 0305030638

SKRIPSI INI TELAH DIPERIKSA DAN DISETUJUI

DEPOK, JULI 2009

ASEP SAEFUMILLAH, Ph.D

PEMBIMBING I

Drs. SUNARDI, M.Si

PEMBIMBING II

Tanggal lulus Ujian Sidang Sarjana :

Penguji I : Dr. Budiawan

Penguji II : Dra. Helmiyati, M.Si

Penguji III : Drs. Erzi Rizal Azwar



*“Maka nikmat Tuhanmu yang manakah kamu dustakan? Maha Suci
nama Tuhanmu yang mempunyai kebesaran dan kemurahan”*

(Ar – Rahman : 77-78)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan seru sekalian alam, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. 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 Cr (VI) oleh Biomassa Alga Hijau yang Diimmobilisasi pada Kalsium Alginat, disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program sarjana strata-1 di Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Ucapan terima kasih yang tak terhingga setulus hati ditujukan kepada kedua orang tua yang telah mendoakan dan bersusah payah mendidik penulis. Untuk Ka Indri, Ka Bede, Tia, Melisa, dan Michellia, terima kasih banyak untuk semangat dan dukungan yang telah diberikan pada penulis.

Penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih atas segala bantuan yang telah diberikan terutama ditujukan kepada pembimbing penelitian penulis, yaitu Asep Saefumillah, Ph.D dan Drs. Sunardi atas segala saran, masukan, kebaikan dan kesabarannya dalam membimbing penulis, meskipun penulis banyak melakukan kesalahan.

Selain itu, penulis juga ingin mengucapkan terima kasih yang tak ternilai kepada Dr. Ridla Bakri selaku Ketua Departemen Kimia UI, Dr. Djarnuzi 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, Mba Cucu atas bantuan bahan kimianya serta seluruh staff laboratorium afiliasi atas bantuan dan bimbingannya dalam pemakaian instrumen.

Kepada teman-teman yang tercinta penulis ucapkan banyak terima kasih, yaitu Ronggo, Siti, dan teman-teman gheghe yang selalu memberikan dukungan dan semangat dari awal hingga akhir, untuk Susi, Ka Ratih, Alti, Norma, Mutia, Purnama, Dian, dan teman-teman sepejuangan lainnya terima kasih atas semangat, bantuan, dan terutama atas doanya. Tak lupa pula penulis ucapkan terima kasih banyak kepada teman-teman angkatan 2005 dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas bantuan semangatnya.

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.

Depok, Juli 2009

Penulis

ABSTRAK

Alga hijau telah diketahui dapat menyerap ion logam berat seperti ion logam Cr (VI) dalam larutan. Namun kemampuan alga dalam menyerap ion logam berat dibatasi oleh beberapa kelemahan seperti mudah rusak karena degradasi oleh mikroorganisme lain, ukurannya yang sangat kecil, dan berat jenisnya yang rendah. Selain itu alga mudah sekali larut dalam asam. Oleh karena itu biomassa alga tersebut diimmobilisasi dengan kalsium alginat agar diperoleh struktur yang lebih stabil dalam asam. Selain itu, kalsium alginat diketahui juga dapat menyerap ion logam Cr (VI) dalam larutan. Biomassa alga, biomassa alga terimmobilisasi, dan kalsium alginat sebelum dan setelah mengikat ion logam Cr (VI) dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX dan FTIR. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pH maksimum untuk ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga, biomassa alga terimmobilisasi, dan kalsium alginat berada pada pH 2 dengan waktu kontak 120 menit. Recovery ion logam Cr (VI) dilakukan dengan menggunakan variasi konsentrasi HNO₃ dan NaOH.

Kata kunci: adsorpsi, biomassa alga, krom heksavalent, kalsium alginat

xiv + 104 hal.;gbr.;lamp.;tab.

Bibliografi : 34 (1990 - 2008)

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Hipotesis	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Alga.....	5
2.2. Logam Berat	8
2.2.1. Kromium	9
2.3. Immobilisasi	11
2.4. Natrium Alginat	13
2.5. Kalsium Alginat	15
2.6. Biosorpsi.....	17

2.6.1. <i>Passive Uptake</i>	19
2.6.2. <i>Active Uptake</i>	19
2.7. Jenis Interaksi pada Biosorpsi Logam oleh Mikroorganism	20
2.8. Adsorpsi	21
2.8.1. Adsorpsi Isoterm Freundlich	22
2.8.2. Adsorpsi Isoterm Langmuir	23
2.9. Spektrofotometer UV-Visible (UV-Vis)	24
2.10 Fourier Transform Infra Red	25
2.11 Scanning Electron Mycroscopy	28
BAB III. METODE PENELITIAN	29
3.1. Alat dan Bahan	29
3.1.1. Alat	29
3.1.2. Bahan.....	29
3.2. Prosedur kerja	30
3.2.1. Persiapan Biomassa	30
3.2.2. Immobilisasi Biomassa	30
3.2.3. Pembuatan Larutan Ion Logam Cr (VI).....	31
3.2.4. Pembuatan Larutan Diphenylcarbazide	31
3.2.5. Karakterisasi Biomassa.....	31
3.2.6. Perlakuan Penelitian	31
3.2.6.1. Pengaruh pH Awal Analit	32
3.3.6.2. Pengaruh Waktu Kontak.....	32

3.3.6.3. Pengaruh Konsentrasi Awal	32
3.2.7. Uji Ketahanan Terhadap Asam	32
3.2.8. Uji untuk Meningkatkan Serapan Ion Logam Cr (VI) pada Biomassa Alga Terimmobilisasi.....	33
3.2.9. Penentuan Kadar Ion Logam Cr (VI) yang Terserap.....	34
3.2.10. Recovery.....	34
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1. Immobilisasi Alga dengan Kalsium Alginat.....	35
4.2. Karakterisasi Biomassa	37
4.2.1. Karakterisasi SEM	37
4.2.2. Karakterisasi EDX	40
4.2.3. Karakterisasi FTIR	44
4.3. Adsorpsi Ion Logam Cr (VI) dengan Variasi pH.....	51
4.4. Adsorpsi Ion Logam Cr (VI) dengan Variasi Waktu Kontak..	55
4.5. Adsorpsi Ion Logam Cr (VI) dengan Variasi Konsentrasi.....	57
4.6. Uji Ketahanan Terhadap Asam	64
4.7. Uji untuk Meningkatkan Serapan Ion Logam Cr (VI).....	66
4.8. Recovery	69
V. KESIMPULAN DAN SARAN	77
5.1. Kesimpulan	77
5.2. Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN.....	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Alga Hijau.....	6
Tabel 2.2	Sifat Fisika dan Kimia Kromium	9
Tabel 4.1	Unsur yang terkandung dalam biomassa alga hijau.....	40
Tabel 4.2	Unsur yang terkandung dalam biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat.....	42
Tabel 4.3	Unsur yang terkandung dalam kalsium alginat.....	43
Tabel 4.4	Bilangan gelombang biomassa alga hijau sebelum dan setelah dikontakkan dengan Cr (VI).....	46
Tabel 4.5	Bilangan gelombang biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat sebelum dan setelah dikontakkan dengan Cr (VI).....	49
Tabel 4.6	Bilangan gelombang FTIR kalsium alginat sebelum dan setelah dikontakkan dengan Cr (VI).....	51
Tabel 4.7	% Adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga dan alga terimmobilisasi dengan variasi pH	52
Tabel 4.8	Adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh kalsium alginat dengan variasi pH	54
Tabel 4.9	Adsorpsi ion logam Cr (VI) dengan variasi waktu	56
Tabel 4.10	Adsorpsi ion logam Cr (VI) dengan variasi konsentrasi	58

Tabel 4.11 Nilai koefisien korelasi (R), kapasitas adsorpsi maksimum (am), dan afinitas serapan (k) logam Cr (VI).....	61
Tabel 4.12 Nilai k dan n pada isoterm Freundlich adsorben.....	63
Tabel 4.13 Adsorpsi ion logam Cr (VI) setelah adsorben dikontakkan terhadap asam	64
Tabel 4.14 Adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga terimmobilisasi setelah dielusi HNO ₃	68
Tabel 4.15 Recovery biomassa alga hijau dengan HNO ₃	70
Tabel 4.16 Recovery biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat menggunakan HNO ₃	71
Tabel 4.17 Recovery kalsium alginat dengan asam nitrat	73
Tabel 4.18 Recovery dengan menggunakan natrium hidroksida	73

DAFTAR GAMBAR

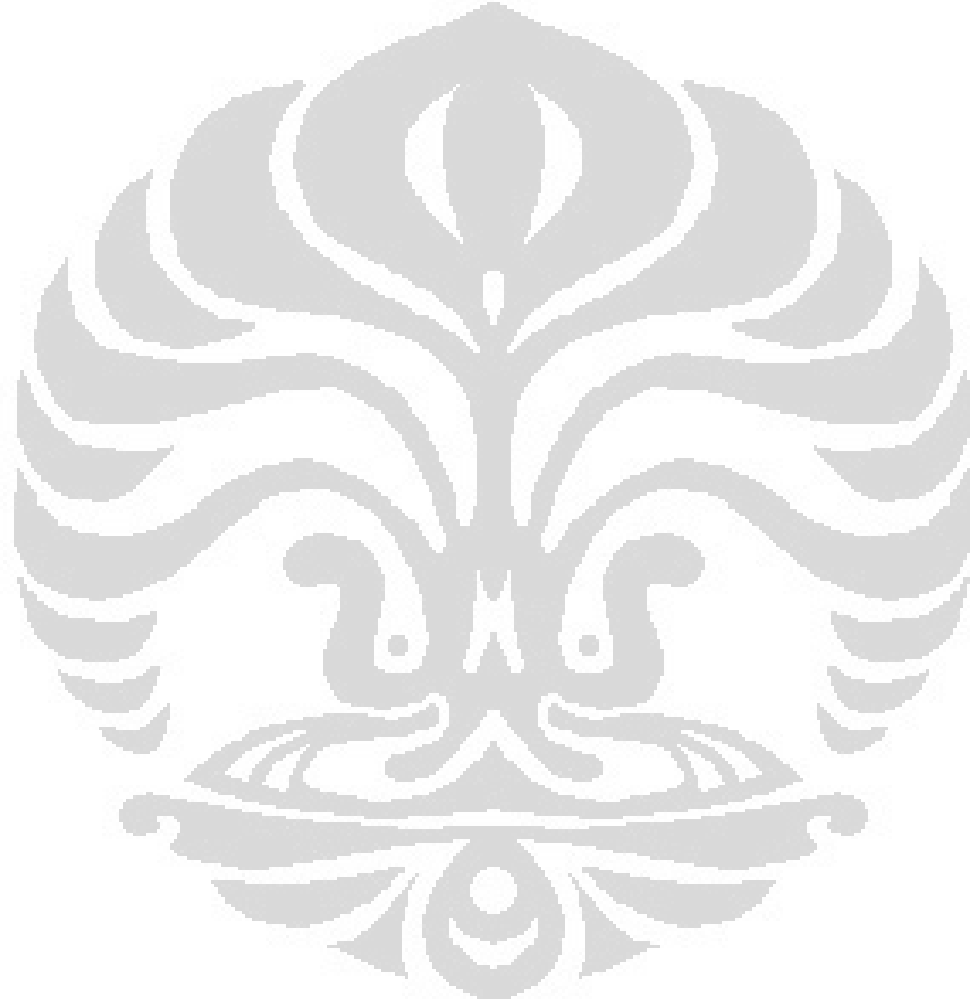
Gambar 2.1. Alga Hijau pada situ Agathis Universitas Indonesia	6
Gambar 2.2 Kasus ledakan populasi alga.....	7
Gambar 2.3 Logam kromium.....	9
Gambar 2.4 Krom oksida (Cr_2O_3).....	10
Gambar 2.5 Aplikasi penggunaan logam krom.....	11
Gambar 2.6 Teknik Immobilisasi.....	13
Gambar 2.7 Struktur Natrium Alginat	14
Gambar 2.8 Struktur <i>egg-box</i>	15
Gambar 2.9 Kemungkinan ikatan antara ion kalsium dengan residu homopolimer α -L-guluronat	15
Gambar 2.10 Diffusion method (Teknik immobilisasi)	16
Gambar 2.11 Internal setting method (Teknik GDL)	17
Gambar 2.12 Spektrofotometer FT-IR	27
Gambar 4.1 Pembentukan gel.....	36
Gambar 4.2. <i>Beads</i>	37
Gambar 4.3 Hasil SEM	38
Gambar 4.4 Hasil EDX biomassa alga hijau	40
Gambar 4.5 Hasil EDX biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat	41
Gambar 4.6 Hasil EDX kalsium alginat.....	43

Gambar 4.7	Spektrum FTIR biomassa alga hijau sebelum dan sesudah mengikat ion logam Cr (VI).....	45
Gambar 4.8	Spektrum FTIR biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat sebelum dan sesudah mengikat ion logam Cr (VI).....	47
Gambar 4.9	Spektrum FTIR kalsium alginat sebelum dan sesudah mengikat ion logam Cr (VI).....	49
Gambar 4.10	Grafik % adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga dan biomassa alga terimmobilisasi dengan variasi pH.....	52
Gambar 4.11	Grafik % adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh kalsium alginat dengan variasi pH	54
Gambar 4.12	Grafik % adsorpsi ion logam Cr (VI) dengan variasi waktu ..	56
Gambar 4.13	Grafik serapan logam per 1 gram adsorben dengan variasi konsentrasi	58
Gambar 4.14	Grafik isoterm Langmuir	60
Gambar 4.15	Grafik isoterm Freundlich	62
Gambar 4.16	Grafik % adsorpsi ion logam Cr (VI) setelah adsorben dikontakkan dengan asam	65
Gambar 4.17	Grafik % adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga hijau setelah dielusi asam	68

Gambar 4.18 Diagram % recovery biomassa alga dengan variasi waktu kontak dan konsentrasi HNO_3 71

Gambar 4.19 Diagram % recovery biomassa alga terimmobilisasi dengan variasi waktu kontak dan konsentrasi HNO_3 72

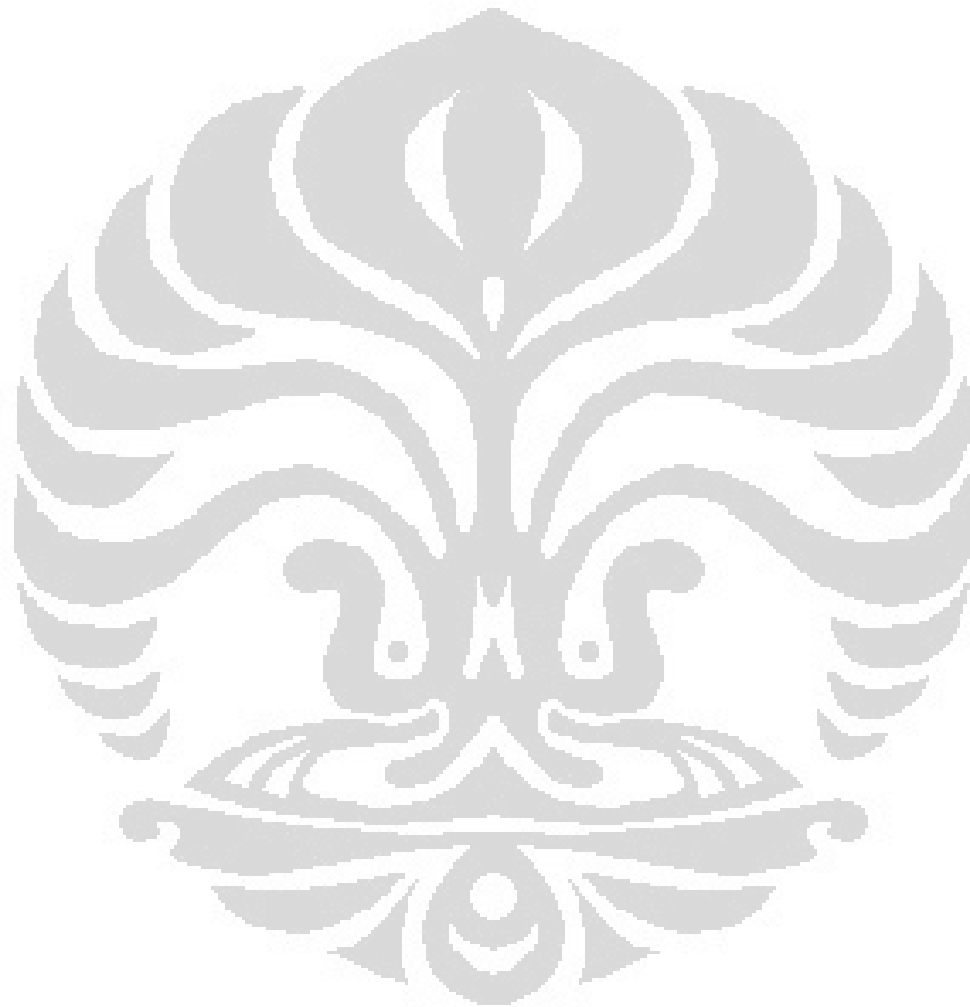
Gambar 4.20 Diagram % recovery menggunakan NaOH 74



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Desain Penelitian.....	89
Lampiran 2. Bagan Kerja Preparasi Biomassa Alga Hijau.....	90
Lampiran 3. Bagan Kerja Immobilisasi Biomassa Alga Hijau.....	90
Lampiran 4. Bagan kerja variasi pH.....	91
Lampiran 5. Bagan kerja pada variasi waktu.....	92
Lampiran 6. Bagan kerja pada variasi konsentrasi.....	93
Lampiran 7. Serapan ion logam Cr (VI) per berat adsorben (mmol/g) pada variasi pH.....	94
Lampiran 8. Serapan ion logam Cr (VI) per adsorben (mmol/g) pada variasi waktu.....	95
Lampiran 9. Serapan ion logam Cr (VI) per adsorben (mmol/g) pada variasi konsentrasi.....	96
Lampiran 10. Persen adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga hijau pada variasi konsentrasi vs waktu.....	97
Lampiran 11. Persen adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat pada variasi konsentrasi vs waktu.....	98
Lampiran 12. Bilangan gelombang beberapa gugus fungsi pada daerah infra merah.....	99

Lampiran 13. Kurva kalibrasi ion logam Cr (VI).....	99
Lampiran 14. Cara perhitungan.....	100
Lampiran 15 Data isoterm Langmuir dan Freundlich.....	102
Lampiran 16. Hasil SEM dengan perbesaran 100x.....	103



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini beberapa spesies alga telah ditemukan mempunyai kemampuan yang cukup tinggi untuk mengadsorpsi ion-ion logam, baik dalam keadaan hidup maupun dalam bentuk sel mati (biomassa). Alga tersebut diketahui dapat mengadsorpsi ion-ion logam karena pada alga terdapat gugus fungsi yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam. Gugus fungsi tersebut adalah gugus karboksil, hidroksi, amino, sulfat, dan sulfonat yang terdapat didalam dinding sel dalam sitoplasma^[1]. Dengan demikian, alga dapat digunakan sebagai salah satu alternatif untuk menanggulangi masalah pencemaran lingkungan akibat logam berat yang terdapat dalam limbah industri yang memakai bahan baku logam berat^[2].

Salah satu logam berat yang sering dijumpai dalam limbah industri tersebut adalah Cr (VI)^[3]. Dari industri pelapisan logam, jumlah Cr (VI) dapat mencapai 100 mg/L, nilai ini jauh lebih besar dari ambang batas Cr (VI) yaitu sekitar 0,05 mg/L^[4]. Oleh karena itu, alga dapat digunakan sebagai adsorben untuk mengurangi jumlah ion logam Cr (VI) tersebut. Penggunaan biomassa alga sebagai adsorben mempunyai keuntungan seperti biaya operasional yang murah, efisiensi dan kapasitas pengikatan logam yang tinggi, tidak menghasilkan produk sampingan yang berbahaya, alga dapat diregenerasi,

alga mudah didapatkan, dan ion logam yang teradsorpsi dapat di-*recovery* kembali^[5]. Akan tetapi, kemampuan alga dalam menyerap ion-ion logam sangat dibatasi oleh beberapa kelemahan seperti ukurannya yang sangat kecil, berat jenisnya yang rendah, dan alga tersebut mudah rusak karena degradasi oleh mikroorganisme lain^[6]. Selain itu, biomassa alga mudah larut dalam asam dan biomassa alga tidak dapat digunakan secara langsung dalam kolom karena sifatnya yang sangat lunak dan halus. Untuk mengatasi kelemahan tersebut, maka dilakukan pengimmobilisasian biomassa alga. Immobilisasi biomassa alga dapat dilakukan dengan menggunakan matrik polimer seperti kalsium alginat. Dengan mengimmobilisasi alga, maka ukuran adsorben akan menjadi lebih besar, mempunyai bentuk agregat yang stabil, serta alga dapat terlindungi^[1].

Pada penelitian ini akan dilakukan pengimmobilisasian biomassa alga hijau dengan menggunakan matrik kalsium alginat agar biomassa alga tersebut tidak mudah larut dalam asam. Pada penelitian ini akan dipelajari pula efek immobilisasi tersebut terhadap penyerapan logam Cr (VI) dalam larutan dengan cara membandingkannya dengan penyerapan logam Cr (VI) oleh biomassa alga hijau yang tidak diimmobilisasi. Dengan membandingkan penyerapan ion logam terhadap keduanya, maka diharapkan immobilisasi dengan kalsium alginat tidak mempunyai efek terhadap penyerapan logam Cr (VI) dalam larutan dan atau biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat akan menyerap logam Cr (VI) lebih baik dibandingkan dengan biomassa alga hijau yang tidak diimmobilisasi.

1.2 Perumusan Masalah

Pada penelitian ini akan dilakukan immobilisasi biomassa alga hijau dengan kalsium alginat serta mempelajari efek immobilisasi tersebut terhadap penyerapan logam Cr (VI) dalam larutan dengan cara membandingkannya dengan penyerapan logam Cr (VI) oleh biomassa alga hijau yang tidak diimmobilisasi. Selama ini telah diketahui bahwa biomassa alga dapat menyerap ion-ion logam berat, namun kemampuan alga dalam penyerapan ion-ion logam berat sangat dibatasi oleh beberapa kelemahan seperti ukurannya yang sangat kecil, berat jenisnya yang rendah dan mudah rusak karena degradasi oleh mikroorganisme lain. Selain itu, biomassa alga mudah larut dalam asam dan tidak dapat digunakan secara langsung dalam kolom karena sifatnya yang sangat lunak dan halus. Untuk mengatasi kelemahan tersebut, maka dilakukan immobilisasi terhadap alga hijau dengan kalsium alginat. Logam Cr (VI) dipilih karena logam tersebut merupakan salah satu logam yang sangat toksik. Dari studi ini akan diketahui efektivitas penyerapan logam Cr (VI) oleh biomassa alga hijau baik yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat ataupun yang tidak diimmobilisasi. Selain itu, dari penelitian ini akan diketahui kondisi optimum yang dibutuhkan untuk proses penyerapan logam Cr (VI) tersebut. Variasi yang digunakan yaitu variasi pH, variasi konsentrasi, dan variasi waktu kontak antara larutan logam Cr (VI) dengan biomassa alga hijau baik yang diimmobilisasi ataupun yang tidak diimmobilisasi dengan kalsium alginat.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk :

- Mempelajari immobilisasi biomassa alga hijau pada kalsium alginat.
- Mempelajari penyerapan ion logam Cr (VI) dan pengaruh beberapa parameter terhadap penyerapan ion logam Cr (VI) tersebut oleh biomassa alga hijau dan biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat.
- Mempelajari recovery ion logam Cr (VI) pada biomassa alga hijau dan alga hijau yang telah diimmobilisasi dengan kalsium alginat.

1.4 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini adalah:

- Biomassa alga hijau yang telah diimmobilisasi dengan kalsium alginat dapat menghasilkan struktur yang lebih stabil dalam asam.
- Adsorpsi ion logam Cr (VI) dipengaruhi oleh pH, waktu kontak, dan konsentrasi ion logam Cr (VI).
- Biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat dapat menghasilkan serapan ion logam yang lebih tinggi dibandingkan dengan alga hijau tanpa immobilisasi.

Tabel 2.1 Klasifikasi Alga Hijau

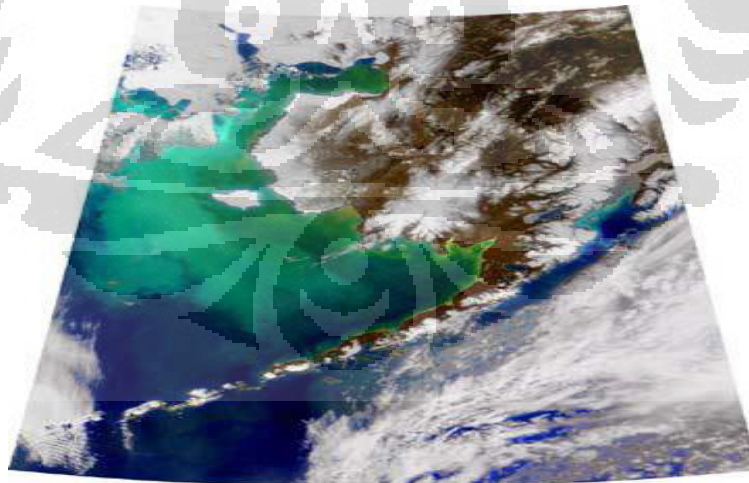
Kingdom	Plantae
Divisi	Chlorophyta
Kelas	Chlorophyceae

(www.gardenguides.com/plants/taxonomy.asp)

Alga hijau merupakan kelompok alga yang paling beragam karena ada yang bersel tunggal, koloni, dan bersel banyak. Pigmen yang dimilikinya adalah klorofil yang mengandung karoten, yang banyak ditemukan di danau, kolam, ataupun laut.

**Gambar 2.1** Alga Hijau pada situ Agathis Universitas Indonesia^[7]

Gambar 2.1 menunjukkan adanya alga hijau pada situ Aghatis di Universitas Indonesia. Alga mungkin terbentuk secara alami tetapi dengan adanya nutrisi yang berlebih akan menyebabkan pertumbuhan alga yang pesat. Hal tersebut disebabkan oleh masuknya unsur - unsur hara atau nutrisi tanaman yang berasal dari buangan hara yang mencapai badan air, seperti fosfat dan nitrogen yang merupakan senyawa dasar pada tumbuhan sebagai sumber makanan. Akibatnya dapat menimbulkan "alga bloom", yaitu pertumbuhan alga yang sangat pesat sehingga menutupi seluruh lapisan permukaan perairan. Oleh karena ketersediaan alga yang sangat banyak, alga tersebut dimanfaatkan sebagai biosorben logam berat dalam rangka untuk meminimalisasi pencemaran perairan oleh logam berat^[8]. Gambar 2.2 memperlihatkan adanya alga bloom pada perairan.



Gambar 2.2 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.

(sumber: <http://www.answers.com/topic/coccolithophore-bloom-jpg-1>)

2.2 Logam Berat

Logam berat adalah logam yang memiliki nomor atom antara 22 sampai 92, terletak dalam periode tiga sampai periode tujuh dalam susunan berkala, dan memiliki berat jenis lebih besar dari 5 g/cm^3 . Unsur-unsur yang termasuk dalam logam berat adalah besi, timah, kadmium, arsen, merkuri, kromium, tembaga, seng, timbal, dll^[9].

Pada umumnya logam berat dalam kadar rendah sudah merupakan racun bagi tumbuhan, hewan, serta manusia. Logam berat tersebut dapat berbentuk senyawa organik, anorganik atau terikat dalam suatu senyawa logam yang lebih berbahaya daripada keadaan murninya. Sifat-sifat logam berat antara lain adalah sulit didegradasi dan mudah terakumulasi dalam sedimen^[7].

Logam berat menjadi berbahaya karena sistem bioakumulasi, dimana terjadi peningkatan konsentrasi unsur kimia tersebut dalam tubuh makhluk hidup sesuai piramida makanan. Akumulasi atau peningkatan konsentrasi logam berat di alam mengakibatkan konsentrasi logam berat di tubuh manusia menjadi yang tertinggi karena manusia merupakan konsumen terakhir dalam piramida makanan dan jumlah logam berat yang terakumulasi lebih cepat dibandingkan dengan yang terekskresi dan terdegradasi.

2.2.1 Kromium (Cr)

Kromium merupakan salah satu logam berat berwarna putih, dengan massa jenis 7,19 g/mL, mempunyai nomor atom 24 dan massa atom 51,996. Pada Tabel Periodik krom terletak pada golongan VIB dan periode ke empat. Sumber utama kromium di alam yaitu senyawa kromit (FeCr_2O) dan kromium oksida (Cr_2O_3)^[5].



Gambar 2.3 Logam kromium

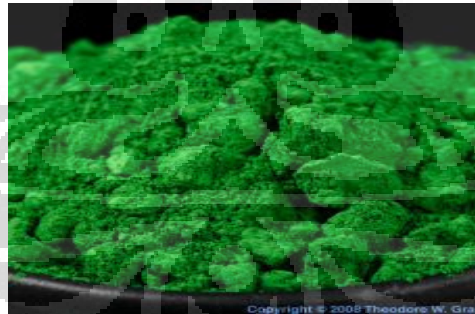
(<http://npic.orst.edu/images/chromium.jpg>)

Tabel 2.2 Sifat fisika dan kimia kromium

No	Spesifikasi	Kromium (Cr)
1	Nomor atom	24
2	Nomor massa	52
3	Elektronegativitas	1,66 g/mol
4	Berat jenis	7,15 g/cm ³
5	Titik didih	2944 K
6	Titik lebur	2180 K
7	Jari-jari atom	1,30 Å
8	Ionisasi	652 kJ/mol

Krom (VI) banyak dihasilkan dari polusi hasil dari limbah industri seperti industri tekstil dan elektroplating. Dari proses elektroplating dihasilkan Cr (VI) mendekati angka 100 mg/L, nilai ini jauh lebih besar dari ambang batas Cr (VI) yaitu sekitar 0,05 mg/L. Cr (VI) dalam perairan mempunyai kelarutan tinggi dan bersifat korosif [4].

Kromium merupakan logam toksik yang mempunyai beberapa tingkat oksidasi, tetapi yang paling stabil berada di alam adalah Cr (III) dan Cr (VI). Namun Cr (VI) dianggap paling toksik karena biasanya Cr (VI) dapat berikatan dengan oksigen membentuk CrO_4^{2-} dan $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. Cr (VI) dapat mengganggu kesehatan, antara lain menyebabkan iritasi kulit, gangguan pernafasan, merusak hati dan ginjal, menyebabkan mutasi, kanker, bahkan kematian [10].

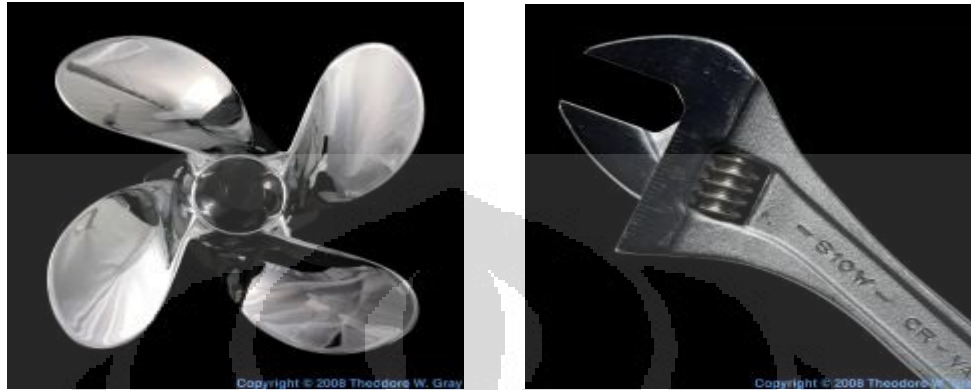


Gambar 2.4 Krom oksida (Cr_2O_3)

(www.periodictable.com/Elements/024/index.html)

Cr_2O_3 merupakan salah satu sumber utama krom yang terdapat di alam. Cr_2O_3 berbentuk seperti bubuk berwarna hijau, biasanya digunakan sebagai pemberi warna hijau pada cat atau pelapisan warna hijau pada

keramik. Sedangkan logam krom biasanya digunakan sebagai pelapis seperti pada kipas mobil atau campuran dalam membuat perkakas^[11].



Gambar 2.5 Aplikasi penggunaan logam krom
(www.periodictable.com/Elements/024/index.html)

2.3 Immobilisasi

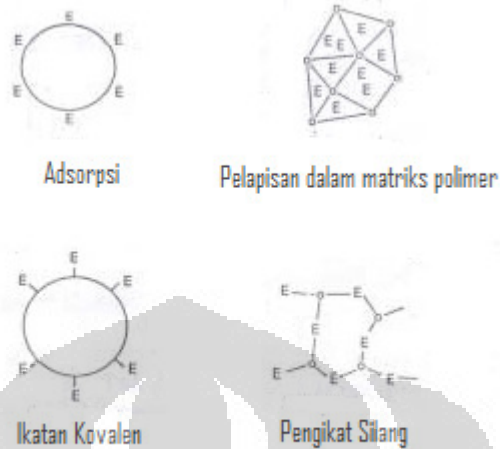
Immobilisasi merupakan teknik yang digunakan untuk fiksasi kimia atau fisika dari sel, organel sel, enzim, atau protein (misalnya monoklonal antibodi) ke dalam matriks pendukung atau membran dalam rangka meningkatkan stabilitasnya dan memungkinkannya dalam penggunaan yang berulang-ulang^[12].

Biomassa alga hijau diimmobilisasi agar diperoleh ukuran adsorben yang lebih besar, mempunyai bentuk agregat yang stabil, serta biomassa alga dapat terlindungi. Hal ini dikarenakan biomassa alga mempunyai ukuran yang sangat kecil, berat jenisnya yang rendah, dan mudah rusak karena degradasi oleh mikroorganisme lain. Selain itu, biomassa alga tidak dapat

digunakan secara langsung dalam kolom karena sifatnya yang sangat lunak dan halus.

Terdapat bermacam-macam aplikasi untuk mengimmobilisasi biomassa. Teknik dasar yang tersedia dalam literatur untuk aplikasi biosorpsi yang didasarkan pada adsorpsi dalam matriks pendukung, pelapisan dalam matriks polimer, ikatan kovalen, atau dengan *cross-link* sel^[13].

Adsorpsi dengan matriks pendukung biasanya digunakan untuk mikroorganisme. Matriks pendukung disterilkan terlebih dahulu dan dilekatkan dengan mikroorganisme induk sehingga setelah beberapa waktu, mikroorganisme tersebut akan menutupi seluruh permukaan pendukung. Pada pelapisan dengan matriks polimer, polimer yang biasa digunakan antara lain seperti kalsium alginat, polisulfon, dan polietilamina. Sedangkan pada ikatan kovalen, senyawa yang paling banyak digunakan adalah silika gel. Pada pengikatan silang, agen pengikat silang ditambahkan untuk membentuk agregat selular yang stabil. Agen pengikat silang yang biasanya digunakan adalah formaldehid, glutarat dialdehid, divinil sulfon, dan campuran urea-formaldehid. Gambaran mengenai teknik immobilisasi ini dapat dilihat pada Gambar 2.6.



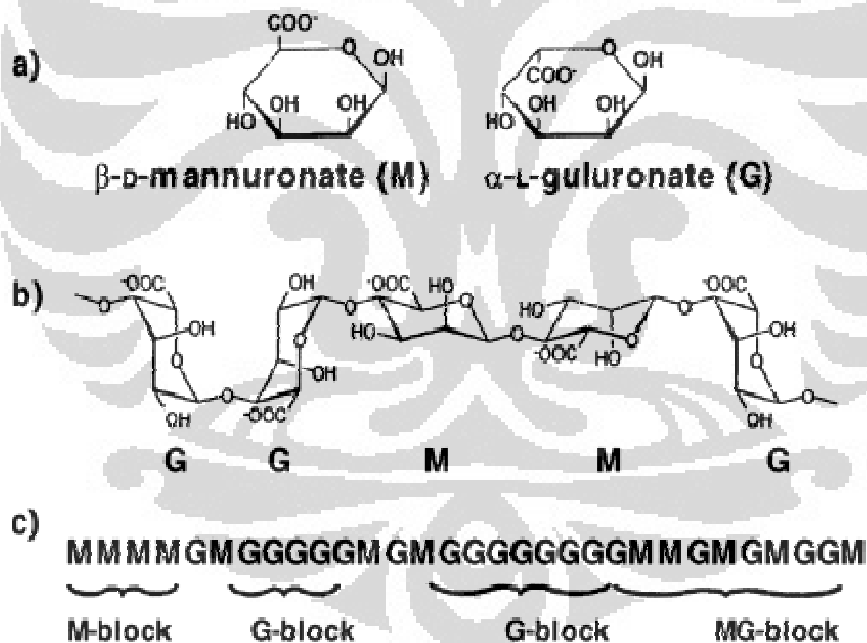
Gambar 2.6 Teknik Immobilisasi^[13]

Teknik immobilisasi yang dipilih pada percobaan ini adalah pelapisan dengan matriks polimer. Matriks yang digunakan untuk melapisi biomassa alga hijau adalah matriks kalsium alginat.

2.4 Natrium Alginat^[14,15,16]

Natrium alginat merupakan garam natrium dari asam alginat. Asam alginat adalah suatu polisakarida bahan alam yang diperoleh dari alga coklat. Alginat bersifat non-toksik, non-alergik, dan dapat terurai dalam tubuh (*biodegradable*). Apabila terkena jaringan tubuh maka alginat terurai menjadi gula sederhana dan dapat diabsorpsi. Natrium alginat larut secara perlahan dalam air menghasilkan larutan yang kental. Sedangkan dalam etanol dan eter, natrium alginat sama sekali tidak larut.

Natrium alginat mempunyai rumus molekul $(C_6 H_7 Na O_6)_n$, nilai n menentukan panjangnya rantai alginat dan besarnya harga n tersebut tergantung dari spesies asal alginat tersebut diisolasi karena berbeda spesies alga coklat maka berbeda pula panjang rantainya. Berat makromolekul natrium alginat berkisar antara 10.000 hingga 600.000. Biopolimer ini adalah suatu kopolimer yang terdiri atas residu β -D-asam manuronat (M), α -L-asam guluronat (G), dan dimer dari MG, yang tersusun dalam blok-blok homopolimer dari masing-masing tipe (MM, GG) dan dalam blok-blok heteropolimer (MG).

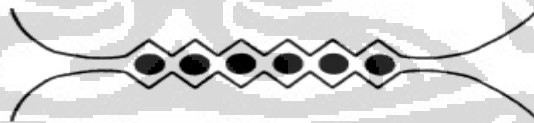


Gambar 2.7 Struktur Alginat^[16] (a) monomer alginat, (b) konformasi rantai, (c) distribusi blok

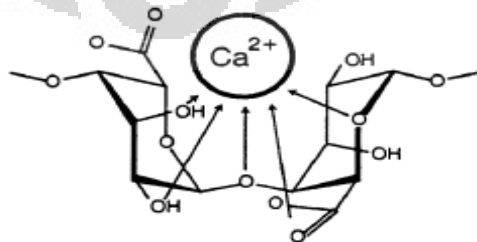
Alginat mempunyai ikatan yang selektif terhadap ion logam alkali tanah tertentu seperti ion kalsium dan magnesium. Kekuatan ikatan tersebut akan meningkat seiring dengan meningkatnya residu α -L-guluronat dalam rantai alginat.

2.5 Kalsium Alginat

Kalsium alginat dapat dibuat dari natrium alginat yang ditambahkan dengan kalsium klorida. Matrik kalsium alginat terbentuk dari pertukaran ion natrium pada natrium alginat dengan ion kalsium. Ion kalsium tersebut akan berikatan dengan residu α -L-guluronat yang terdapat dalam rantai alginat. Kurt, *et al*^[17] dalam percobaannya menemukan bahwa pautan silang antara ion kalsium dengan rantai alginat ini membentuk struktur yang khas yang dikenal dengan struktur *egg-box*.

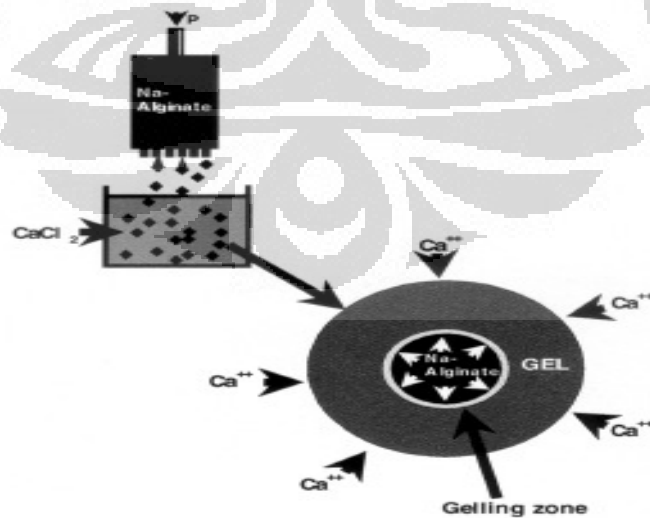


Gambar 2.8 Struktur *egg-box*^[17]



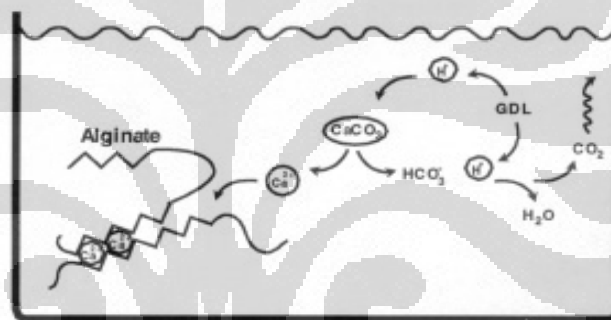
Gambar 2.9 Kemungkinan ikatan antara ion kalsium dengan residu homopolimer α -L-guluronat^[17]

Proses pembentukan matriks kalsium alginat dapat dilakukan dengan dua metode yaitu *diffusion method* dan *internal setting method*. Pada *diffusion method*, matriks kalsium alginat diperoleh dengan cara menyediakan langsung ion kalsium biasanya dalam bentuk larutan kalsium klorida lalu membiarkan ion kalsium dalam larutan berdifusi ke dalam tetesan natrium alginat sehingga akan terjadi proses pautan silang antara ion kalsium dengan alginat dengan cepat. *Diffusion method* ini biasanya digunakan untuk proses immobilisasi suatu senyawa bioaktif dimana satu tetes larutan alginat akan menghasilkan satu *bead* yang didalamnya terdapat senyawa bioaktif tersebut. Karena *diffusion method* kebanyakan bertujuan untuk proses immobilisasi suatu senyawa bioaktif, maka *diffusion method* ini sering disebut sebagai teknik immobilisasi. Metode yang digunakan untuk mengimmobilisasi biomassa alga hijau pada percobaan ini adalah dengan menggunakan *diffusion method*.



Gambar 2.10 Diffusion method (Teknik immobilisasi)^[17]

Sedangkan pada *internal setting method*, metode ini menggunakan CaCO_3 sebagai sumber bahan baku penghasil ion kalsium. Untuk mengontrol pembentukan ion kalsium dari hasil degradasi CaCO_3 , biasanya memanfaatkan proses hidrolisis lakton seperti D-glucono- δ -lakton (GDL) karena proses hidrolisis lakton seperti D-glucono- δ -lakton (GDL) dapat menghasilkan H^+ yang dapat mengurai CaCO_3 menjadi Ca^{2+} dan HCO_3^- . Oleh karena itu, *internal setting method* biasanya disebut juga dengan sebutan teknik GDL.



Gambar 2.11 Internal setting method (Teknik GDL)^[17]

2.6 Biosorpsi

Biosorpsi logam berat oleh mikroorganisme dapat terjadi melalui dua proses, yaitu proses biosorpsi pasif (adsorpsi) dan biosorpsi secara aktif (absorpsi)^[5]. Mikroorganisme tersebut diantaranya khamir, jamur, bakteri, dan alga secara efisien dapat menyerap logam berat dari lingkungannya^[18].

Studi biosorpsi ion logam Cr (VI) telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti, salah satunya adalah Diantariani^[19] yang menggunakan biosorben *Eucheuma spinosum* untuk menyerap ion logam Cr (VI) dalam larutan, hasil adsorpsi yang didapatkan sebesar 85%. Hal yang sama juga dilakukan oleh Ahalya, *et al.*^[20] mendapatkan persen adsorpsi ion logam Cr (VI) sebesar 99,9% pada pH 2 dengan menggunakan biosorben *Cicer arietinum*.

Secara umum, terdapat dua jenis penyerapan logam berat oleh mikroorganisme, yaitu penyerapan logam yang tidak bergantung pada metabolisme (*metabolism-independent*) yang terjadi pada permukaan sel, dan penyerapan logam yang bergantung pada metabolisme (*metabolism-dependent*) yang menyebabkan terakumulasinya logam di dalam sel^{[21] [22]}. Namun proses biosorpsi yang dimaksud dalam penelitian ini adalah proses penyerapan logam yang tidak tergantung pada metabolisme, terutama terjadi pada permukaan dinding sel dan permukaan eksternal lainnya, melalui mekanisme kimia dan fisika, misalnya pertukaran ion, pembentukan kompleks dan adsorpsi, yang secara keseluruhan disebut biosorpsi^{[23] [24]}.

Proses biosorpsi terjadi sebagai konsekuensi dari interaksi antara situs yang bermuatan negatif pada permukaan dinding sel mikroorganisme dan komponen eksopolimer lainnya dengan ion logam yang bermuatan positif atau melalui reaksi antara agen pengkompleks ekstraselluler dengan ion logam^[25]. Cara pengambilan (adsorpsi) logam berat oleh biomassa terbagi menjadi *passive uptake* dan *aktif uptake*.

2.6.1 *Passive uptake*

Passive uptake (Adsorpsi yang tidak bergantung metabolisme) terutama terjadi pada permukaan dinding sel dan permukaan eksternal lainnya, melalui mekanisme kimia dan fisika, misalnya pertukaran ion, pembentukan kompleks dan adsorpsi. Proses ini terjadi ketika ion logam berat terikat pada dinding sel biosorben yang terjadi pada biomassa alga mati. Mekanisme passive uptake dapat dilakukan dengan dua cara, pertama dengan cara pertukaran ion di mana ion pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat dan kedua adalah dengan pembentukan senyawa kompleks antara ion-ion logam berat dengan gugus fungsional seperti karbonil, amino, thiol, hidroksi, fosfat, dan hidroksi karboksil secara bolak balik dan cepat.

2.6.2 *Active uptake*

Proses penyerapan logam yang bergantung pada metabolisme hanya terjadi pada sel mikroorganisme hidup. Penyerapan yang demikian menyebabkan terakumulasinya logam di dalam dan di pinggir bagian dalam sel. Proses ini berlangsung lambat dan sangat tergantung pada nutrient dan kondisi lingkungan seperti pH larutan dan suhu ^[25].

Mekanisme masuknya logam berat melewati membran sel sama dengan proses masuknya logam esensial melalui sistem transpor membran yang terjadi pada alga hidup, hal ini disebabkan karena adanya kemiripan antara logam berat dengan logam esensial dalam hal fisika-kimia secara

keseluruhan sehingga proses active uptake ini terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan dan akumulasi intraselular ion logam.

Kelompok utama biopolimer yang sangat berperan dalam proses pengikatan ion logam oleh biomassa adalah protein, polisakarida, dan asam nukleat. Peptida dan protein mengandung gugus fungsi yang dapat berfungsi sebagai ligan dalam mengikat kation logam. Sedangkan polisakarida merupakan komponen utama penyusun biomassa seperti glikopeptida, chitosan, dan chitin^[5].

2.7 Jenis Interaksi pada Biosorpsi Logam oleh Mikroorganism^[5]

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^[23].

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 mikroorganism. Gugus fungsi tersebut dapat

membentuk ikatan kovalen koordinasi dengan ion logam transisi.

Pembentukan ikatan kovalen koordinasi tergantung pada kemampuan beberapa gugus kelat dalam makromolekul.

Interaksi campuran adalah interaksi gabungan antara interaksi ionik dengan interaksi polar. Interaksi campuran ini dapat dilihat pada protein yang gugus aktifnya dapat mengikat ion logam melalui ujung amino dan karboksilat atau melalui rantai polipeptida yang terprotonasi.

2.8 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan gejala pengumpulan molekul-molekul suatu zat pada permukaan zat lain, sebagai akibat ketidakseimbangan gaya-gaya pada permukaan tersebut. Zat yang teradsorpsi disebut adsorbat dan zat pengadsorpsi disebut adsorben. Adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik-menarik antara molekul-molekul yang diadsorpsi (adsorbat) dengan molekul adsorben. Gaya tarik menarik ini dapat bersifat lemah ataupun kuat. Untuk proses adsorpsi dalam larutan, jumlah zat yang teradsorpsi bergantung pada jenis adsorben, jenis adsorbat misalnya ukuran molekul dan komposisi kimia, konsentrasi zat terlarut, temperatur, dan luas permukaan adsorben. Semakin kecil ukuran adsorben, maka semakin besar luas permukaan padatan persatuan volume tertentu, sehingga akan semakin banyak zat yang teradsorpsi^{[5][7]}.

Proses adsorpsi ion logam oleh biomassa alga terjadi melalui mekanisme pengikatan ion-ion logam oleh alga berlangsung melalui beberapa cara, seperti pertukaran ion, pembentukan kompleks dan adsorpsi [27]. Kapasitas adsorpsi suatu adsorben untuk sebuah kontaminan dapat ditentukan dengan menghitung isoterm adsorpsi. Dan penyerapan ion-ion logam pada permukaan sel mikroorganisme dapat digambarkan dengan kurva Freundlich atau Langmuir, menggunakan data-data konsentrasi logam yang terikat dan yang masih terdapat dalam larutan.

2.8.1 Adsorpsi Isoterm Freundlich

Isoterm adsorpsi adalah Hubungan antara banyaknya zat yang teradsorpsi persatuan berat adsorben dengan konsentrasi zat terlarut pada temperatur tertentu. Oleh Freundlich isoterm adsorpsi ini dinyatakan sebagai:

$$m = k c^{1/n}$$

Dimana:

- m adalah berat zat teradsorpsi/berat adsorben (mg/g)
- c adalah konsentrasi zat terlarut setelah tercapai kesetimbangan adsorpsi (mg/L)
- k dan n adalah tetapan yang bergantung pada jenis adsorben, adsorbat dan temperatur

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

$$\text{Log } (m) = \log k + 1/n \log c$$

Persamaan ini mengungkapkan bahwa bila suatu proses adsorpsi menuruti isoterm Freundlich, maka aluran $\log (m)$ terhadap $\log c$ akan merupakan garis lurus. Dari grafik tersebut tetapan k dan n dapat ditentukan.

2.8.2 Adsorpsi Isoterm Langmuir

Isoterm adsorpsi Langmuir menjelaskan bahwa permukaan penyerap dalam hal ini biomassa alga hijau terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan penyerap. Pada situs aktif hanya satu molekul yang dapat diserap, sehingga dengan memperbesar konsentrasi zat terserap (ion logam krom) yang berinteraksi dengan biomassa yang beratnya tetap akan menghasilkan serapan logam yang akan meningkat secara linear sampai konsentrasi tertentu ^[28].

Proses penyerapan dapat dinyatakan dengan suatu persamaan kimia. Jika zat yang terserap adalah suatu gas, persamaan sbb:

$$1/a = 1/a_m + 1/(a_m \cdot k \cdot c)$$

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.

Apabila penyerapan melibatkan situs penyerap tunggal maka bila kurva $1/a$ diplot terhadap $1/c$ akan diperoleh kurva linier, sehingga konstanta afinitas serapan (k) dan kapasitas maksimum (a_m) dapat ditentukan dari *slope* dan *intersep*.

2.9 Spektrofotometer Ultra Violet – Visible (UV-Vis)

Semua molekul dapat menyerap radiasi dalam daerah UV-Vis karena mengandung elektron yang dapat dieksitasikan ke tingkat energi yang lebih tinggi. Energi radiasi yang besar berbanding terbalik dengan panjang gelombang.

Elektron dalam suatu ikatan kovalen tunggal terikat dengan kuat, dan diperlukan radiasi berenergi tinggi atau panjang gelombang pendek untuk eksitasinya. Elektron pada ikatan tunggal bereksitasi dari σ - σ^* , sedangkan elektron dalam ikatan rangkap dua dan tiga memiliki elektron π yang dapat dieksitasikan ke tingkat π^* . Energi yang dibutuhkan untuk mengeksitasi π - π^* lebih kecil dibandingkan dengan σ - σ^* , karena ikatan π lebih lemah dibandingkan dengan ikatan σ sehingga panjang gelombang yang dihasilkan lebih panjang. Molekul yang mempunyai elektron non bonding (n) dapat tereksitasi ke tingkat π^* maupun σ^* .

Berdasarkan hukum Lambert-Beer, absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi sesuai dengan persamaan:

$$A = \epsilon \cdot b \cdot C$$

Keterangan : A = absorbansi

ϵ = absorptivitas molar ($M^{-1}cm^{-1}$)

b = tebal kuvet (cm)

C = konsentrasi larutan (M)

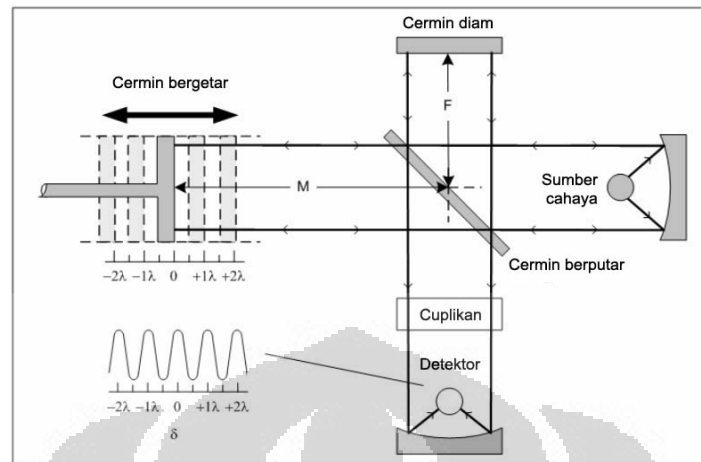
Radiasi yang dilewatkan pada suatu sampel ada yang diserap dan ada diteruskan. Logaritma daya radiasi yang diserap per daya radiasi yang diteruskan merupakan nilai absorbansi. Secara sederhana spektrofotometer UV-Vis terdiri dari komponen pokok, yaitu sumber radiasi (lampu hidrogen, lampu deuterium, atau Wolfram), wadah sampel berupa kuvet (kuarsa, kaca, atau plastik dengan ketebalan $b = 1$ cm), monokromator, detektor, dan rekorder.

2.10 Fourier Transform Infra Red (FTIR) ^[29]

Spektroskopi inframerah merupakan teknik spektroskopi yang berguna untuk mengidentifikasi gugus fungsi. Spektrum inframerah meliputi panjang gelombang antara $2,5-1,6\mu m$ atau setara dengan bilangan gelombang $4000-650\text{ cm}^{-1}$. Spektrum inframerah suatu senyawa dapat dengan mudah diperoleh dalam beberapa menit. Sedikit sampel senyawa diletakkan dalam

instrumen dengan sumber radiasi inframerah. Spektrometer secara otomatis membaca sejumlah radiasi yang menembus sampel dengan kisaran frekuensi tertentu dan merekam pada kertas berapa persen radiasi yang ditransmisikan. 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 bentuk 'sidik jari' dari dua spectrum inframerah. Puncak-puncak serapan di daerah sidik jari pada spectrum inframerah merupakan kekhasan untuk setiap senyawa. Daerah sidik jari berada di daerah frekuensi rendah, yaitu dari 700 sampai 1500 cm^{-1} . Jika puncak spectrum inframerah kedua senyawa tepat sama maka dalam banyak hal dua senyawa tersebut adalah identik.



Gambar 2.12 Spektrofotometer FT-IR

Fourier Transform Infrared (FTIR) merupakan hasil suatu pengembangan dari spektrofotometri inframerah yang dilengkapi dengan interferometer yang berfungsi sebagai pemisah dua berkas sinar yang saling berinteraksi di dalam ruang. Diantara dua cermin dipasang pembagi berkas sinar yang berasal dari luar. Berkas tersebut sebagian direfleksikan menuju cermin tetap dan sebagian lainnya diteruskan menuju cermin bergerak. Setiap berkas kemudian direfleksikan kembali ke arah pembagi berkas. Sebagian kembali dan sebagian lagi diteruskan sehingga bagian yang telah melewati baik cermin tetap maupun cermin bergerak, akan mencapai detektor. Sementara bagian lainnya dilewatkan kembali ke sumber sinar. Berkas sinar yang dilewatkan tegak lurus terhadap sinar masuk.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Alga

Alga merupakan tumbuhan utama yang menghuni lingkungan air, baik tawar maupun air laut. Ditinjau secara biologi, alga merupakan kelompok tumbuhan yang terdiri dari satu atau banyak sel dan berbentuk koloni. Alga bersel satu biasanya hidup menempel pada tumbuhan lain atau pada jaringan makhluk hidup lain, sedangkan alga multiseluler biasanya hidup bebas, dapat berupa benang, lembaran, atau berbentuk menyerupai tumbuhan tingkat tinggi. Didalam alga terkandung bahan-bahan organik seperti polisakarida, hormon, vitamin, dan mineral. Selain itu, alga juga terdiri dari bermacam-macam gugus fungsi yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam. Gugus fungsi tersebut terutama adalah gugus karboksil, hidroksil, amino, dan sulfat^[1].

Berdasarkan jenis pigmen dominan yang dimilikinya, maka alga dapat digolongkan menjadi empat kelas, yaitu Chlorophyta (alga hijau), Chrysophyta (alga keemasan), Phaeophyta (alga pirang/coklat), dan Rhodophyta (alga merah). Jenis alga yang digunakan pada penelitian ini adalah alga hijau yang diperoleh dari Situ Aghatis UI.

2.11 Scanning Electron Mycroscopy (SEM)^[30]

Scanning Electron Mycroscope (SEM) biasanya digunakan untuk studi detail morfologi permukaan sel/struktur jasad renik dalam bentuk tiga dimensi. Pada SEM, gambar dibuat berdasarkan deteksi elektron baru (elektron sekunder) atau elektron pantul yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel tersebut dipindai dengan sinar elektron. Elektron sekunder atau elektron pantul yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor CRT (cathode ray tube). Di layar CRT inilah gambar struktur obyek yang sudah diperbesar bisa dilihat. Pada proses operasinya, SEM tidak memerlukan sampel yang ditipiskan, sehingga bisa digunakan untuk melihat obyek dari sudut pandang 3 dimensi.

Agar dapat mengamati preparat dengan baik, diperlukan persiapan sediaan dengan tahap sebagai berikut : pertama yaitu melakukan fiksasi, yang bertujuan untuk mematikan sel tanpa mengubah struktur sel yang akan diamati. fiksasi dapat dilakukan dengan menggunakan senyawa glutaraldehida atau osmium tetroksida. Kedua adalah dehidrasi, yang bertujuan untuk memperendah kadar air dalam sayatan sehingga tidak mengganggu proses pengamatan. Ketiga yaitu pelapisan/pewarnaan, bertujuan untuk memperbesar kontras antara preparat yang akan diamati dengan lingkungan sekitarnya. Pelapisan/pewarnaan dapat menggunakan logam mulia seperti emas dan platina.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Alat dan Bahan

3.1.1. Alat

- Peralatan Gelas
- Timbangan Analitis
- pH meter
- Oven
- Magnetik Stirer
- *Shaker*
- Kertas Saring Whatman Kualitatif No 1
- Spektrofotometer UV-Visible
- Scanning Electron Mycroscopy (SEM)
- Fourier Transform Infra Red (FTIR)

3.1.2. Bahan

- $K_2Cr_2O_7$
- Asam klorida (HCL)
- Asam sulfat (H_2SO_4)
- Asam nitrat (HNO_3)
- Aseton
- Natrium alginat
- Amonium hidroksida (NH_4OH)
- 1,5-Diphenylcarbazine
- Kalsium klorida
- Aquademin

3.2. Prosedur Kerja

3.2.1. Persiapan Biomassa

Alga diambil dalam jumlah yang cukup dari Situ Agathis Universitas Indonesia, Depok. Pada alga tersebut tidak dilakukan proses identifikasi spesies alga terlebih dahulu, namun terlihat bahwa spesies alga yang dominan dari alga tersebut adalah alga hijau. Alga tersebut dicuci dengan aquadest lalu disaring dengan kertas saring Whatman kualitatif. Proses pencucian diulangi dengan menggunakan aquadest dan disentrifugasi untuk memisahkan air dan alga. Alga dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C selama 24 jam hingga kering, kemudian dihaluskan dengan mortar, dihomogenkan dan disimpan dalam desikator agar tetap kering sampai siap untuk digunakan.

3.2.2. Immobilisasi Biomassa

Biomassa alga hijau sebanyak 100 mg disuspensikan ke dalam aquades. Suspensi alga tersebut dicampurkan dengan larutan natrium alginat 4% (w/v), sambil terus diaduk, larutan tersebut diteteskan ke dalam larutan kalsium klorida 2.5% (w/v) dengan menggunakan syring. Kemudian *beads* alga hijau yang terbentuk dibiarkan dalam larutan kalsium klorida pada suhu 4 °C semalaman agar proses pembentukan gel dapat berjalan sempurna. Lalu *beads* dibilas dengan aquades dan direndam dengan aquades pada suhu 4 °C sampai siap digunakan.

3.2.3. Pembuatan Larutan Induk Logam Cr (VI)

Larutan induk Cr (VI) 1000 mg/L dibuat dengan cara melarutkan 2.82887 g $K_2Cr_2O_7$ dengan aquadest hingga 1000 mL.

3.2.4. Pembuatan Larutan Diphenylcarbazine

Larutan diphenylcarbazine dibuat dengan cara melarutkan 250 mg 1,5-Diphenylcarbazine dalam 50 mL aseton.

3.2.5. Karakterisasi Biomassa

Uji karakterisasi gugus fungsi dalam biomassa dilakukan dengan Fourier Transform Infrared (FT-IR). Selain itu dilakukan pula pengukuran dengan Scanning Electron Mycroscopy (SEM) untuk mengetahui bentuk morfologi permukaan dari biomassa alga hijau baik yang diimmobilisasi maupun yang tidak diimmobilisasi dengan kalsium alginat sebelum dan sesudah dikontakkan dengan ion logam Cr (VI).

3.2.6. Perlakuan Penelitian

Biomassa dicampurkan dengan larutan ion logam Cr (VI) yang mempunyai konsentrasi tertentu, volume, dan pH tertentu ke dalam erlenmeyer 100 mL, pengaturan pH menggunakan larutan HCl 0.1 M dan NH_4OH 0.1 M.

3.2.6.1. Pengaruh pH Larutan Ion Logam Cr (VI)

Mencampurkan 25 mL larutan logam dengan konsentrasi 10 mg/L dan pHnya diatur menjadi 2, 3, 4, 5, dan 6, dengan 100 mg biomassa atau biomassa terimmobilisasi dalam erlenmeyer 100 mL selama 60 menit.

3.2.6.2. Pengaruh Waktu kontak

Mencampurkan 25 mL larutan logam dengan konsentrasi 10mg/L pada pH optimum dengan 100 mg biomassa atau biomassa terimmobilisasi dalam erlenmeyer 100 ml, waktu kontak divariasikan menjadi 30, 60, 90, 120, dan 180 menit.

3.2.6.3. Pengaruh Konsentrasi Larutan Ion Logam Cr (VI)

Mencampurkan 25 mL larutan logam yang konsentrasinya diatur menjadi 5, 10, 15, 25, 30, dan 40 mg/L pada pH optimum, dengan 100 mg biomassa atau biomassa terimmobilisasi dalam erlenmeyer 100 ml selama 120 menit. Konsentrasi larutan logam yang divariasikan dibuat dengan cara mengencerkan larutan induk Cr (VI) 1000 mg/L.

3.2.7. Uji Ketahanan Terhadap Asam

Biomassa baik yang telah diimmobilisasi dengan kalsium alginat maupun yang tidak diimmobilisasi sama-sama diuji ketahanannya terhadap

asam. Hal ini dilakukan untuk membuktikan bahwa alga yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat mempunyai stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan alga yang tidak diimmobilisasi jika dikontakkan dengan larutan asam.

0.1 gram biomassa yang tidak diimmobilisasi, 0.1 gram berat kering biomassa yang diimmobilisasi, dan matriks kalsium alginat, dikontakkan dengan 25 mL larutan HCl 1M selama 60, 120, 180, dan 240 menit. Kemudian disaring, dicuci hingga netral, dan ketiganya dikontakkan dengan larutan ion logam Cr (VI). Penurunan serapan ion logam Cr (VI) yang terjadi diasumsikan sebanding dengan banyaknya adsorben yang larut dalam asam.

3.2.8. Uji Meningkatkan Serapan Ion Logam Cr (VI) pada Biomassa Alga Hijau yang Terimmobilisasi

Uji ini dilakukan untuk biomassa alga hijau yang diimmobilisasi kalsium alginat. Saat proses pengimmobilisasian biomassa, larutan kalsium klorida digunakan sebagai penyedia ion kalsium dalam proses pembentukan gel. Dengan penggunaan kalsium klorida tersebut, dikhawatirkan ada situs aktif dari biomassa alga yang terikat dengan ion kalsium ataupun ion klorida yang dapat mengurangi situs aktif alga untuk berikatan dengan ion logam Cr (VI) sehingga serapannya akan menurun.

0.1 gram berat kering biomassa yang sudah diimmobilisasi dengan kalsium alginat dielusi dengan 0.1, 1, 2, dan 3 M HNO₃. Disaring dan dicuci hingga netral, kemudian dikontakkan dengan larutan ion logam Cr (VI). Hasil

serapan ion logam yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan kontrol (biomassa alga terimmobilisasi tanpa dielusi HNO_3).

3.2.9. Penentuan Kadar Ion Logam Cr (VI) yang Terserap

Larutan ion logam yang telah dikontakkan dengan biomassa, selanjutnya dipisahkan dengan cara penyaringan. Analisis ion logam Cr (VI) pada larutan yaitu dengan cara menambahkan 1,5-dipheylcarbazine sehingga akan dihasilkan senyawa kompleks yang berwarna ungu, selanjutnya diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV pada panjang gelombang maksimum.

3.2.10. Recovery

Biomassa alga hijau yang telah mengadsorpsi ion logam Cr (VI) dapat di-*recovery* kembali dengan cara mengontakkan biomassa tersebut dengan suatu zat yang dapat memutuskan ikatan antara logam dan biomassa. *Recovery* biomassa ini dilakukan dengan cara mengontakkan biomassa dengan 25 mL larutan asam nitrat dan atau natrium hidroksida, kemudian disaring, filtrat ditambahkan 1,5-diphenylcarbazine, dan diukur dengan spektrofotometer UV-Visible pada panjang gelombang maksimum.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

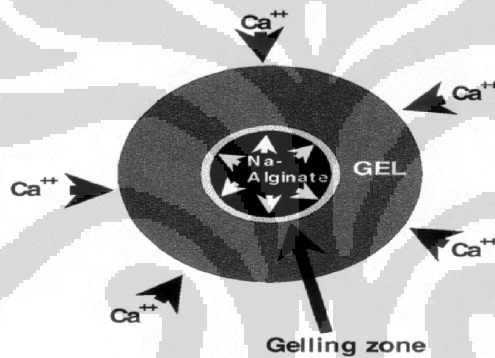
4.1 Immobilisasi Biomassa Alga Hijau dengan Kalsium Alginat

Matriks kalsium alginat merupakan matriks yang sering digunakan untuk pengimmobilisasian biomassa karena teknik pengimmobilisasian yang simpel, mudah didapatkan, dan harganya yang murah. Keuntungan lain dengan menggunakan kalsium alginat sebagai matriks pengimmobilisasi yaitu kalsium alginat mempunyai pori-pori yang besar^[6], sehingga pada percobaan ini ion logam Cr (VI) mudah untuk berdifusi ke dalam matriks. Selain itu, pada matriks kalsium alginat terdapat gugus fungsi seperti gugus karboksil yang dapat melakukan ikatan dengan ion logam Cr (VI) dalam larutan sehingga serapan ion logam Cr (VI) dapat meningkat.

Penelitian tentang kalsium alginat sebagai matriks pengimmobilisasi adsorben logam berat telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti, misalnya Yalcinkaya, *et al*^[31], mengimmobilisasi *Pleurotus sapidus* dengan kalsium alginat untuk menyerap ion logam cadmium dan merkuri dalam larutan. Pengimmobilisasian ditujukan agar *Pleurotus sapidus* dapat menjadi lebih besar dan stabil. Berbeda dengan Yalcinkaya, Hameed^[32] mengimmobilisasi *Chlorella vulgaris* dengan kalsium alginat agar *Chlorella vulgaris* tersebut dapat menyerap ion logam nikel lebih banyak dibandingkan

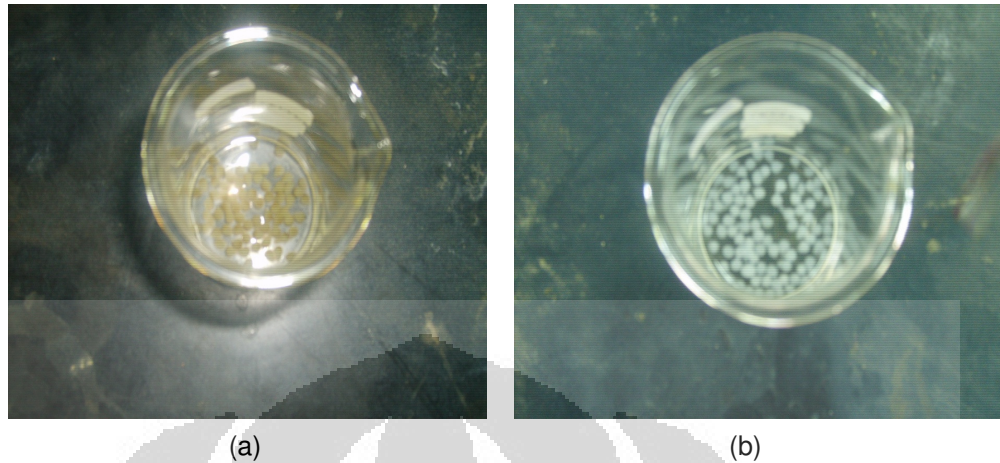
dengan *Chlorella vulgaris* tanpa diimmobilisasi dengan kalsium alginat.

Biomassa alga hijau diimmobilisasi dengan matriks kalsium alginat dengan cara meneteskan campuran yang terdiri dari biomassa alga hijau dan larutan natrium alginat ke dalam larutan kalsium klorida. Secara cepat akan terjadi ikatan antara ion kalsium dari kalsium klorida dengan α -L-Guluronat dalam rantai alginat pada natrium alginat, proses ini adalah pembentukan gel. Matriks yang dihasilkan berbentuk bulat dengan ukuran yang sama seperti ukuran tetesan yang diberikan.



Gambar 4.1 Pembentukan gel^[17]

Saat pembentukan gel, ion kalsium dari larutan kalsium klorida dengan cepat masuk ke dalam butiran tetesan yang berisi alginat. Ion kalsium tersebut akan berikatan dengan α -L-Guluronat yang terdapat di dalam rantai alginat dan membentuk struktur yang khas yang dikenal dengan struktur *egg-box*^[17]. Pembentukan gel terjadi dari permukaan terluar tetesan hingga ke bagian dalam tetesan. Tetesan yang sudah menjadi gel ini disebut *beads*. *Beads* biomassa alga hijau dan kalsium alginat dapat dilihat pada Gambar 4.2.



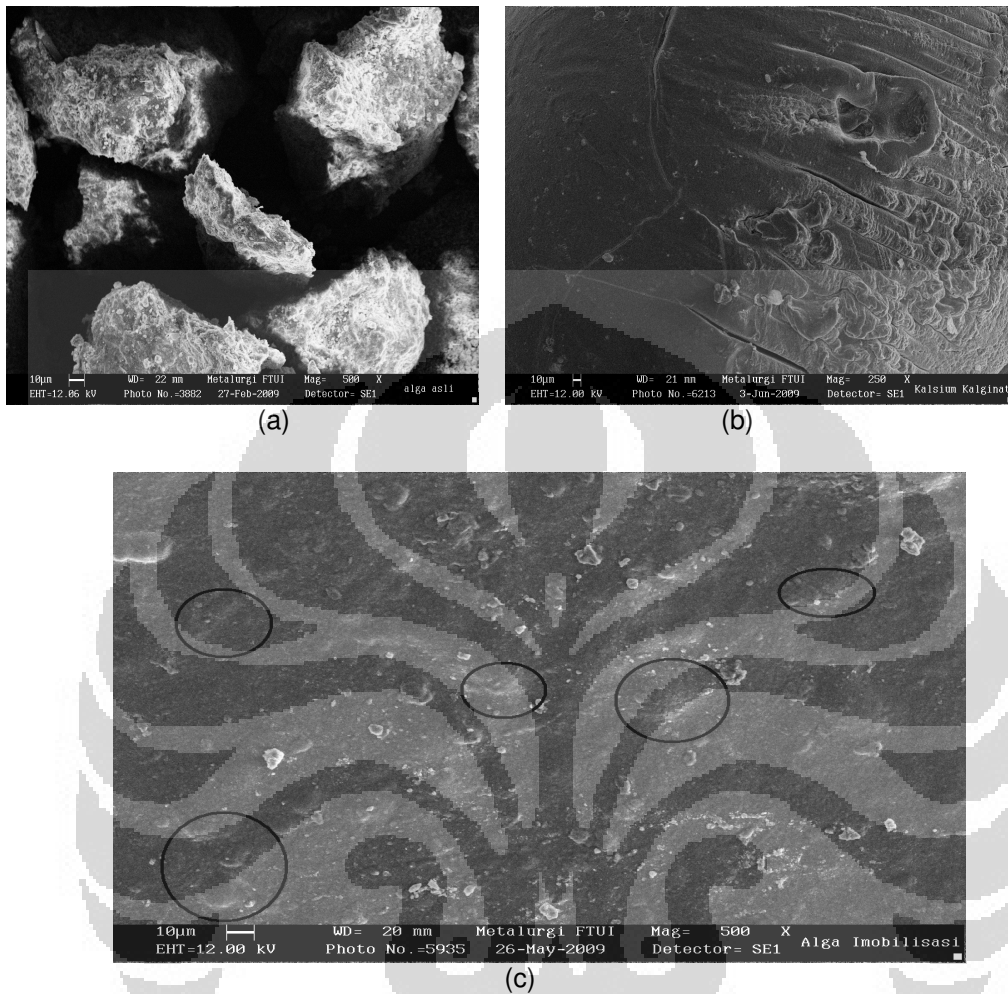
Gambar 4.2 *Beads* (a) biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat, (b) kalsium alginat.

Biomassa alga hijau yang sebelum diimmobilisasi berbentuk seperti bubuk berubah menjadi *beads* yang berbentuk bulat-bulat besar. Dengan demikian, immobilisasi biomassa alga hijau dengan kalsium alginat dapat merubah biomassa alga hijau yang ringan dan lunak menjadi suatu *beads* biomassa alga hijau yang padat dengan bentuk dan ukuran sesuai dengan tetesan campuran alga dan natrium alginat yang dibuat saat proses immobilisasi.

4.2. Karakterisasi Biomassa

4.2.1 Karakterisasi SEM

Karakterisasi SEM dilakukan terhadap biomassa alga hijau, biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat, dan kalsium alginat. Karakterisasi dengan SEM dilakukan dengan perbesaran 500 kali.



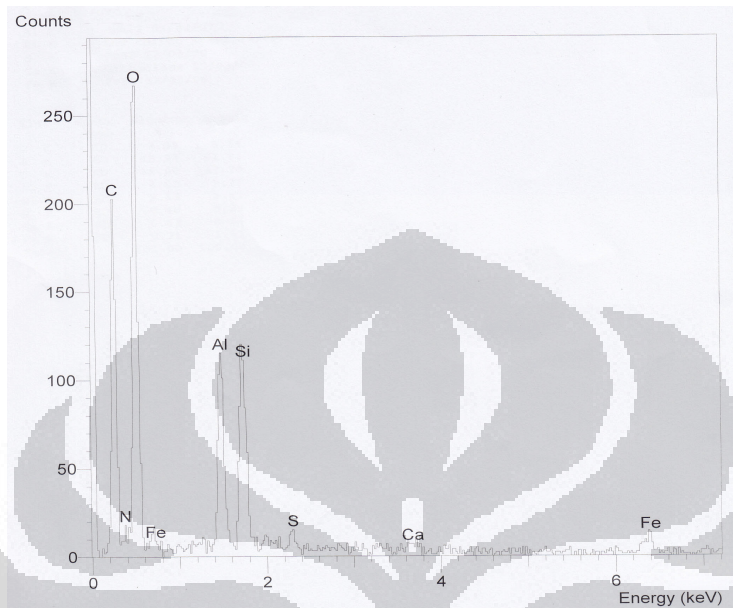
Gambar 4.3 SEM (a) biomassa alga hijau; (b) kalsium alginat; (c) biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat.

Hasil SEM seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.3, menunjukkan bahwa biomassa alga hijau sebelum diimmobilisasi dengan kalsium alginat berupa partikel-partikel yang kasar. Sedangkan hasil SEM pada kalsium alginat menunjukkan permukaan yang padat dan tidak berongga. Namun jika hasil SEM kalsium alginat tersebut dibagi menjadi dua bagian, akan terlihat adanya perbedaan kontur permukaan kalsium alginat. Jika dilihat secara

seksama, permukaan kalsium alginat pada bagian kiri lebih rata dibandingkan dengan permukaannya pada bagian kanan. Karena karakterisasi dengan SEM ditujukan untuk mengetahui bentuk permukaan adsorben, maka ketidakhati-hatian saat pengerjaan immobilisasi biomassa dapat memberikan pengaruh terhadap hasilnya.

Hasil SEM pada biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan menggunakan kalsium alginat memperlihatkan adanya perbedaan yang sangat signifikan pada permukaan biomassa alga hijau sebelum diimmobilisasi dan setelah diimmobilisasi dengan kalsium alginat, biomassa alga hijau yang sebelum diimmobilisasi berupa partikel-partikel kasar, permukaannya berubah menjadi lebih halus dan seragam. Hal ini terjadi karena partikel-partikel biomassa alga hijau tersebut terselubungi oleh matriks kalsium alginat sehingga diperoleh permukaan yang lebih halus dan padat. Lingkaran hitam yang terdapat pada gambar menunjukkan adanya partikel-partikel biomassa alga yang terperangkap pada daerah tersebut. Hal ini dapat dilihat dengan adanya benjolan-benjolan pada daerah tersebut.

4.2.2 Karakterisasi EDX



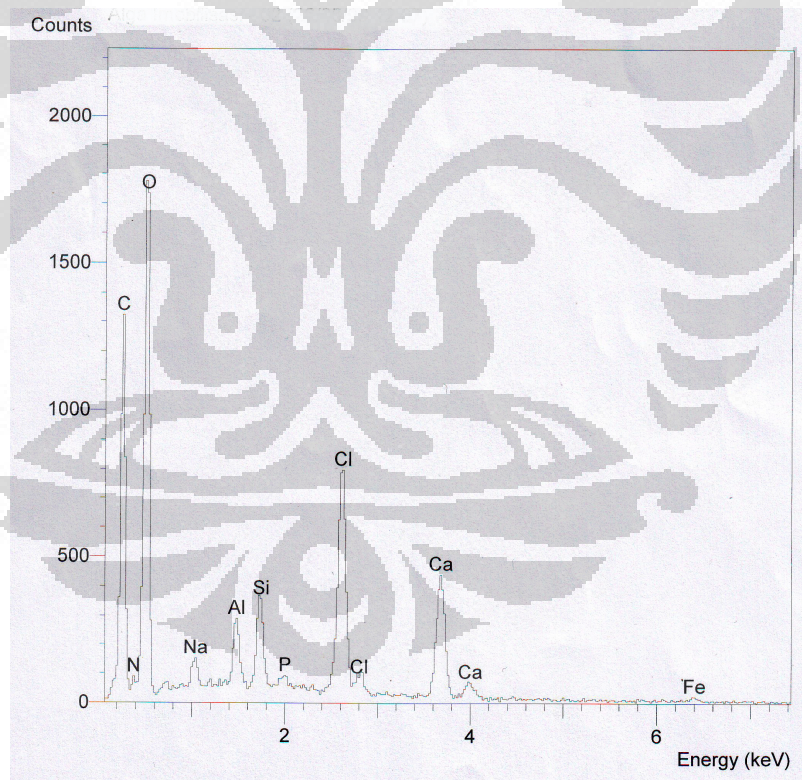
Gambar 4.4 Hasil EDX biomassa alga hijau

Tabel 4.1 Unsur yang terkandung dalam biomassa alga hijau

<i>Unsur</i>	<i>% Unsur</i>
C	3,89
N	45,23
O	38,00
Al	4,02
Si	2,49
S	0,46
Ca	0,62
Fe	5,31

Karakterisasi dengan menggunakan EDX pada biomassa alga hijau menunjukkan bahwa di dalam alga tersebut terkandung unsur-unsur yang

lazim ditemukan pada makhluk hidup seperti karbon, nitrogen, dan oksigen. Dari data juga terlihat bahwa dalam biomassa alga sudah terdapat unsur-unsur lain seperti alumunium, silika, sulfur, kalsium, dan besi. Hal ini menandakan bahwa biomassa alga hijau telah mengikat unsur-unsur tersebut. Unsur-unsur tersebut mungkin diperoleh dari situ Agathis UI tempat diambilnya biomassa alga hijau. Selain alumunium, silika, sulfur, kalsium, dan besi, tidak ditemukan adanya logam krom yang telah berikatan dengan biomassa alga hijau.



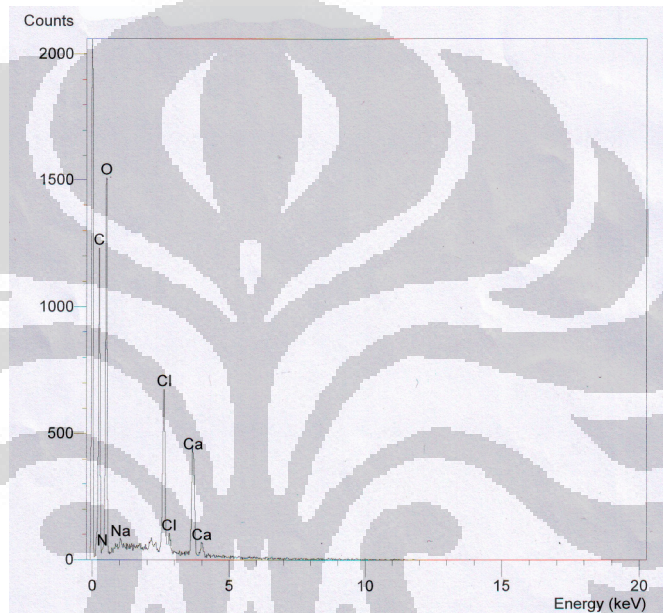
Gambar 4.5 Hasil EDX biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat

Tabel 4.2 Unsur yang terkandung dalam biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat.

<i>Unsur</i>	<i>% Unsur</i>
C	4,35
N	27,84
O	34,25
Na	0,95
Al	1,15
Si	0,97
P	0,45
Cl	20,49
Ca	8,68
Fe	0,88

Hasil EDX pada biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Hal ini dikarenakan unsur yang terkandung pada kalsium alginat, yaitu karbon, oksigen, dan kalsium sudah dimiliki oleh biomassa alga hijau. Sedangkan natrium yang muncul mungkin disebabkan karena penggunaan natrium alginat sebagai sumber alginat untuk pembuatan *beads*. Sedangkan ion klorida mungkin muncul karena penggunaan kalsium klorida pada saat proses immobilisasi sehingga meninggalkan ion klorida dalam *beads*.

Hal yang sama juga ditemukan pada hasil EDX kalsium alginat. Hasil tersebut menunjukkan bahwa selain karbon, oksigen, dan kalsium, terlihat adanya nitrogen, natrium, dan klorida. Hasil EDX kalsium alginat dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Tabel 4.3.



Gambar 4.6 Hasil EDX kalsium alginat

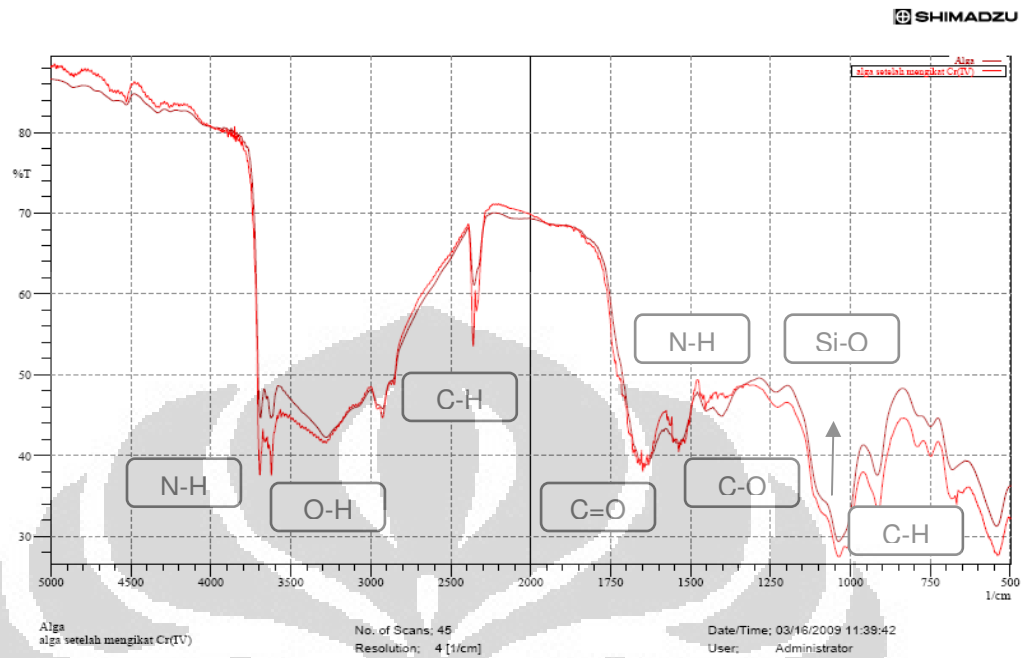
Tabel 4.3 Unsur yang terkandung dalam kalsium alginat

<i>Unsur</i>	<i>% Unsur</i>
C	4,71
N	25,00
O	36,29
Na	0,37
Cl	21,93
Ca	11,70

4.2.3 Karakterisasi FTIR

Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada biomassa alga hijau, biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat, dan kalsium alginat, sehingga dapat diperkirakan kemungkinan ketiga adsorben tersebut melakukan pengikatan dengan ion logam.

Karakterisasi FTIR terhadap biomassa alga hijau, biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat, dan kalsium alginat dilakukan sebelum dan setelah ketiganya dikontakkan dengan larutan ion logam Cr (VI). Pengontakkan ketiga adsorben tersebut dengan larutan ion logam Cr (VI) dilakukan pada kondisi yang diperoleh dari percobaan variasi pH, variasi waktu, dan variasi konsentrasi yang diberikan. Oleh karena itu, pengkarakterisasian ketiga adsorben setelah mengikat ion logam Cr (VI) dilakukan setelah diperoleh pH, waktu, dan konsentrasi maksimum. Spektrum FTIR biomassa alga hijau sebelum dan sesudah mengikat ion logam Cr (VI) dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Spektrum FTIR biomassa alga hijau sebelum dan sesudah mengikat ion logam Cr (VI)

Bilangan gelombang yang diperoleh pada spektrum FTIR biomassa alga hijau antara lain serapan medium disekitar bilangan gelombang 3689.83 cm^{-1} yang menunjukkan adanya uluran N-H. Kemudian serapan disekitar bilangan gelombang 3624.25 cm^{-1} , serapan ini menunjukkan adanya getaran ulur dari gugus O-H alkohol. Pita serapan lebar disekitar bilangan gelombang 3277.06 cm^{-1} yang menunjukkan adanya uluran O-H karbonil. Terdapat serapan disekitar bilangan gelombang 2927.94 cm^{-1} . Serapan ini menunjukkan adanya uluran C-H. Serapan kuat disekitar bilangan gelombang 1639.49 cm^{-1} menunjukkan uluran C=O. Adanya sedikit serapan pada daerah 1225 cm^{-1} menunjukkan adanya uluran C-O. Pita serapan disekitar bilangan

gelombang 1037.70 cm^{-1} menunjukkan adanya uluran Si-O. Sedangkan bilangan gelombang 916.19 cm^{-1} menunjukkan adanya gerakan menekuk dari C-H.

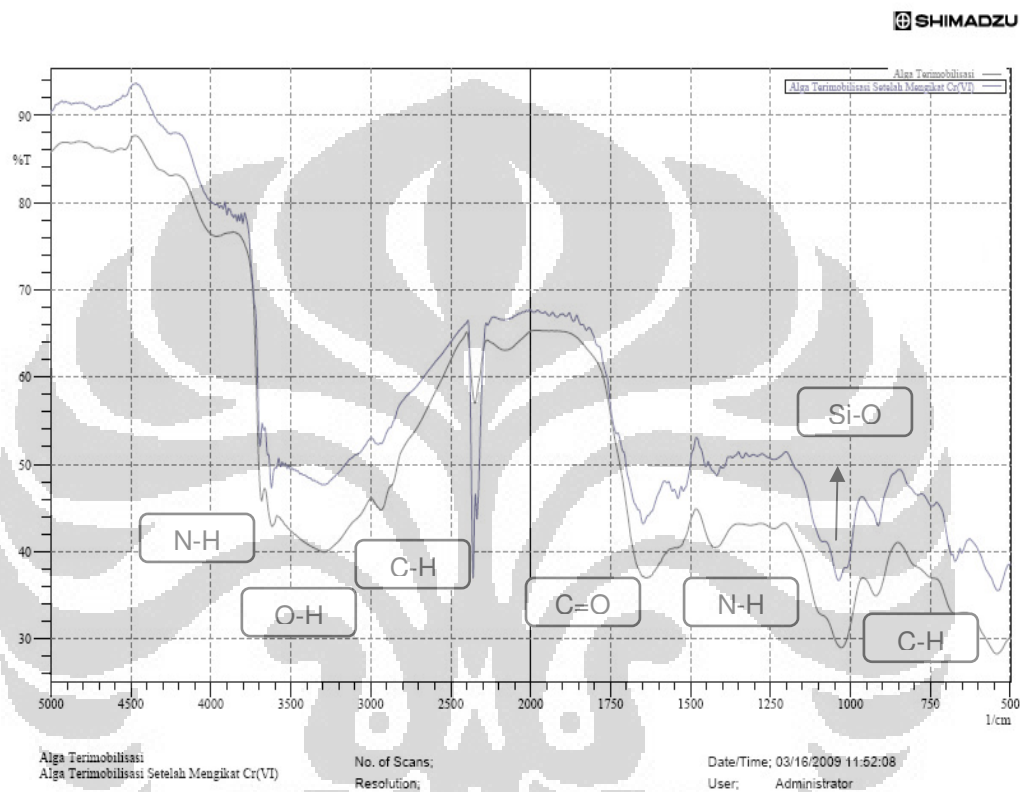
Spektrum FTIR pada biomassa alga hijau seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.7, mengalami pergeseran bilangan gelombang setelah dikontakkan dengan ion logam Cr (VI). Pergeseran bilangan gelombang tersebut terjadi pada uluran N-H, uluran O-H, ulur C-H, uluran C=O, uluran Si-O, uluran C-O, serta tekuk C-H. Oleh karena itu, pergeseran bilangan gelombang pada gugus fungsi tersebut mengindikasikan gugus fungsi tersebut mungkin berperan dalam proses adsorpsi ion logam Cr (VI).

Besarnya pergeseran bilangan gelombang tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Bilangan gelombang biomassa alga hijau sebelum dan setelah dikontakkan dengan Cr (VI).

<i>Bilangan gelombang alga</i>	<i>Bilangan gelombang alga+Cr(VI)</i>	<i>Perubahan bilangan gelombang</i>	<i>Keterangan</i>
3689.83	3693.68	3.85	Ulur N-H
3624.25	3622.32	1.93	Ulur O-H dari alkohol
3277.06	3278.99	1.93	Ulur O-H dari karbonil
2927.94	2926.01	1.93	Ulur C-H
1639.49	1649.14	9.65	Ulur C=O
1225.35	1232.67	7.32	Ulur C-O
1037.70	1035.77	1.93	Ulur Si-O
916.19	912.33	3.86	Tekuk C-H

Spektrum FTIR pada biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat sebelum dan sesudah dikontakkan dengan ion logam Cr (VI) dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 4.8 Spektrum FTIR biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat sebelum dan sesudah mengikat ion logam Cr (VI)

Bilangan gelombang yang diperoleh pada spektrum FTIR biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat adalah adanya serapan medium disekitar bilangan gelombang 3682.11 cm^{-1} . Serapan ini menunjukkan adanya uluran N-H. Serapan lebar disekitar bilangan gelombang 3616.53 cm^{-1} menunjukkan adanya getaran ulur dari gugus O-H.

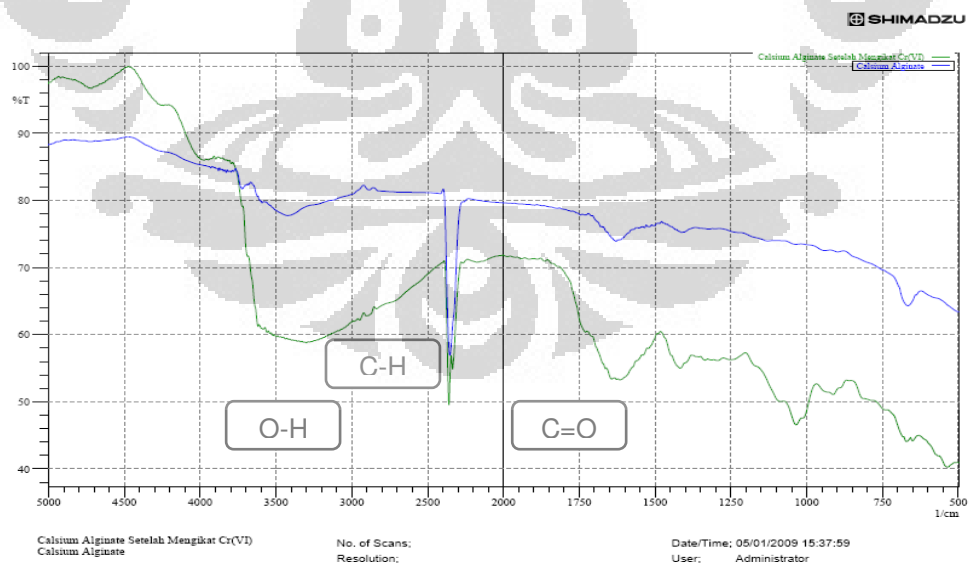
Terdapat serapan disekitar bilangan gelombang 2935.66 cm^{-1} . Serapan ini menunjukkan adanya uluran C-H. Serapan kuat disekitar bilangan gelombang 1641.42 cm^{-1} menunjukkan uluran C=O. Adanya serapan pada $1415,75 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gerakan menekuk pada N-H. Pita serapan disekitar bilangan gelombang 1028.06 cm^{-1} menunjukkan adanya uluran dari Si-O. Sedangkan pada bilangan gelombang 920.05 cm^{-1} menunjukkan adanya gerakan menekuk pada C-H.

Pada spektrum FTIR biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat juga mengalami pergeseran bilangan gelombang setelah dikontakkan dengan ion logam Cr (VI). Pergeseran bilangan gelombang tersebut terjadi pada uluran dari O-H, uluran C=O, ulur Si-O, uluran N-H, uluran C-H, serta gerakan menekuk pada N-H dan C-H. Adanya pergeseran bilangan gelombang tersebut mengindikasikan bahwa gugus tersebut kemungkinan berperan dalam proses adsorpsi ion logam Cr (VI). Pergeseran bilangan gelombang pada biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Bilangan gelombang biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat sebelum dan setelah dikontakkan dengan Cr (VI).

<i>Bilangan gelombang alga</i>	<i>Bilangan gelombang alga + Cr(VI)</i>	<i>Perubahan bilangan gelombang</i>	<i>Keterangan</i>
3682.11	3691.75	9.64	Ulur N-H
3616.53	3620.39	3.86	Ulur O-H
2935.66	2953.02	17.36	Ulur C-H
1641.42	1647.21	5.79	Ulur C=O
1415.75	1441.12	25.37	Tekuk N-H
1028.06	1035.77	7.71	Ulur Si-O
920.05	912.33	7.72	Tekuk C-H

Spektrum FTIR pada kalsium alginat sebelum dan sesudah dikontakkan dengan ion logam Cr (VI) dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Spektrum FTIR kalsium alginat sebelum dan sesudah mengikat ion logam Cr (VI)

Bilangan gelombang yang diperoleh pada spektrum FTIR dengan kalsium alginat adalah serapan lebar disekitar bilangan gelombang 3423.65 cm^{-1} . Serapan ini menunjukkan adanya getaran ulur dari gugus O-H alkohol. Terdapat serapan disekitar bilangan gelombang 2353.16 cm^{-1} . Serapan ini menunjukkan adanya uluran C-H. Serapan kuat disekitar bilangan gelombang 1627.92 cm^{-1} , serapan ini menunjukkan uluran C=O.

Hasil spektrum FTIR kalsium alginat pada Gambar 4.9 menunjukkan bahwa gugus fungsi yang dimiliki oleh kalsium alginat lebih sedikit dibandingkan dengan biomassa alga hijau yang diimmobilisasi atau biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat. Akan tetapi dari spektrum FTIR ini dapat diketahui bahwa kalsium alginat dapat menyumbang gugus aktif untuk berikatan dengan ion logam Cr (VI) sewaktu proses adsorpsi.

Pada spektrum FTIR kalsium alginat mengalami pergeseran bilangan gelombang setelah dikontakkan dengan ion logam Cr (VI). Pergeseran bilangan gelombang tersebut terjadi pada uluran O-H, uluran C-H, dan uluran C=O. Adanya pergeseran bilangan gelombang tersebut mengindikasikan bahwa gugus tersebut mungkin berperan dalam proses adsorpsi ion logam Cr (VI) pada kalsium alginat. Hasil pergeseran bilangan gelombang pada kalsium alginat sebelum dan setelah dikontakkan dengan ion logam Cr (VI) dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Bilangan gelombang FTIR kalsium alginat sebelum dan setelah dikontakkan dengan Cr (VI).

<i>Bilangan gelombang sebelum + Cr (VI)</i>	<i>Bilangan gelombang sesudah + Cr (VI)</i>	<i>Perubahan bilangan gelombang</i>	<i>Keterangan</i>
3423.65	3332.11	91.54	Ulur O-H
2353.16	2339.65	13.51	Ulur C-H
1627.92	1641.42	13.5	Ulur C=O

Setelah biomassa alga hijau, biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat, dan kalsium alginat dikontakkan dengan ion logam Cr (VI), terjadi pergeseran bilangan gelombang beberapa gugus fungsi pada spektrum ketiganya yang mengindikasikan gugus fungsi tersebut mungkin berperan dalam proses adsorpsi ion logam Cr (VI). Pada spektrum tersebut juga tidak terlihat adanya *peak* baru, hal ini menandakan bahwa tidak terbentuk gugus baru pada proses pengikatan ion logam dengan ketiga adsorben tersebut karena pengikatan hanya mengganggu vibrasi gugus yang mengikat ion logam Cr (VI) tersebut.

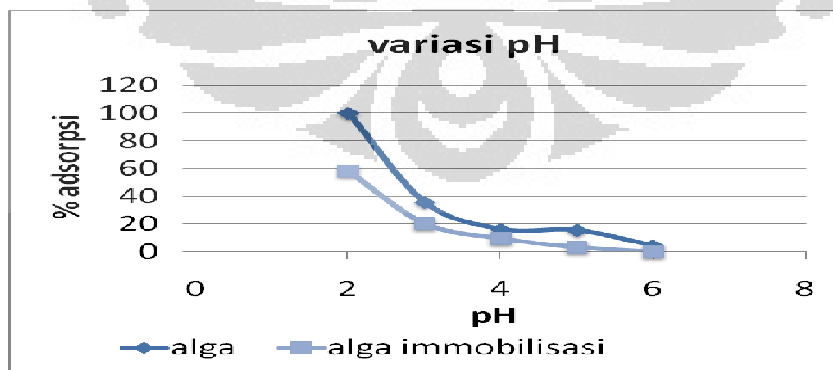
4.3. Adsorpsi Ion Logam Cr (VI) dengan variasi pH

Adsorpsi ion logam Cr (VI) dengan variasi pH dilakukan dengan cara mengkontakkan 0.1 gram biomassa alga hijau dan 0.1 gram berat kering biomassa alga hijau yang sudah diimmobilisasi dengan kalsium alginat dengan 25 mL larutan ion logam Cr (VI) dengan konsentrasi 10 mg/L dan

waktu kontak adsorpsi 60 menit. pH larutan ion logam Cr (VI) divariasikan pada 5 titik, yaitu pH 2, 3, 4, 5, dan 6. Kemudian direaksikan dengan larutan diphenylcarbazine agar terbentuk kompleks berwarna ungu dan kadar masing-masing ion logam diukur dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Visible pada panjang gelombang maksimum. Kadar ion logam yang terukur merupakan kadar ion logam yang tidak teradsorpsi oleh biomassa alga hijau baik yang diimmobilisasi ataupun yang tidak diimmobilisasi dengan kalsium alginat. Hasil adsorpsi ion logam Cr (VI) dengan variasi pH ditampilkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 % Adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga dan alga terimmobilisasi pada variasi pH

<i>pH</i>	<i>Alga</i>	<i>Alga Terimmobilisasi</i>
2	100,000	58,175
3	35,792	20,426
4	16,336	9,653
5	15,507	3,302
6	4,560	0,128



Gambar 4.10 Grafik % adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga dan biomassa alga terimmobilisasi dengan variasi pH.

Berdasarkan Tabel 4.7 dan Gambar 4.10, persen adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga hijau dan alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat menurun seiring dengan meningkatnya pH. Dari 5 titik variasi pH yang diberikan, persen adsorpsi ion logam Cr (VI) tertinggi dicapai saat pH awal larutan berada pada pH 2. Ahalya, *et al*^[20] juga mendapatkan pH maksimum pada penyerapan ion logam Cr (VI) oleh *Cicer arietinum* berada pada pH 2. Pada pH rendah (dibawah pH 3) permukaan kedua adsorben secara keseluruhan menjadi bermuatan positif atau kurang negatif, karena terjadinya protonasi gugus fungsi, melalui pasangan elektron bebasnya, ion logam Cr (VI) yang dalam larutan asam terdapat dalam bentuk spesies anion HCrO_4^- , CrO_4^{2-} dan $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, relatif akan mudah berinteraksi dengan adsorben, sehingga yang teradsorpsi relatif besar, dan penyerapan akan berkurang sejalan dengan berkurangnya pusat aktif yang bermuatan positif^[2].

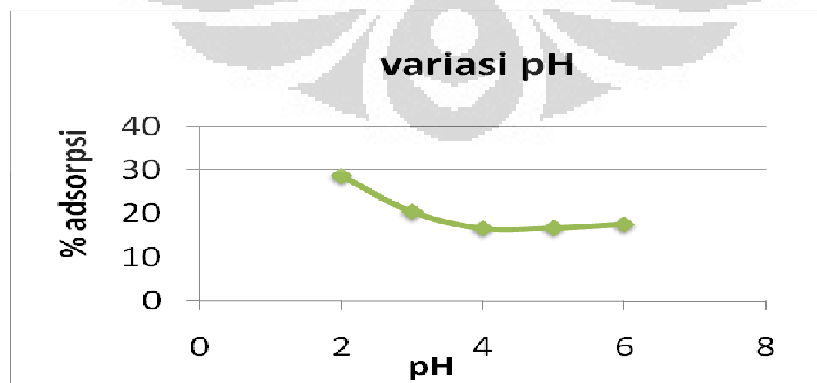
Data memperlihatkan bahwa serapan ion logam Cr (VI) pada biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat lebih kecil dibandingkan biomassa alga hijau tanpa immobilisasi dengan kalsium alginat, padahal dalam rantai alginat pada kalsium alginat terkandung gugus fungsi yang dapat menyumbang sisi aktif untuk berikatan dengan ion logam Cr (VI). Hal ini mungkin disebabkan karena biomassa alga hijau terperangkap dalam *beads* sehingga ion logam Cr (VI) memerlukan waktu untuk berdifusi ke dalam *beads*^[6], jadi dengan waktu kontak 60 menit, biomassa alga hijau akan lebih banyak menyerap ion logam Cr (VI) dibandingkan dengan biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat. Persen adsorpsi oleh

biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat mungkin dapat juga disebabkan karena pada saat proses pengimmobilisasian biomassa, ada gugus dari biomassa alga yang terikat dengan ion kalsium ataupun ion klorida dari larutan kalsium klorida yang digunakan sebagai penyedia ion kalsium, yang dapat mengurangi gugus alga untuk berikatan dengan ion logam Cr (VI) sehingga serapannya akan menurun.

Perlakuan variasi pH juga dikerjakan terhadap kalsium alginat untuk membuktikan bahwa kalsium alginat juga dapat menyerap ion logam Cr (VI). Hasil adsorpsi ion logam Cr (VI) dengan variasi pH oleh kalsium alginat dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 % Adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh kalsium alginat dengan variasi pH

<i>pH</i>	<i>Kalsium Alginat</i>
2	28.783
3	20.524
4	16.753
5	16.856
6	17.655



Gambar 4.11 Grafik % adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh kalsium alginat dengan variasi pH.

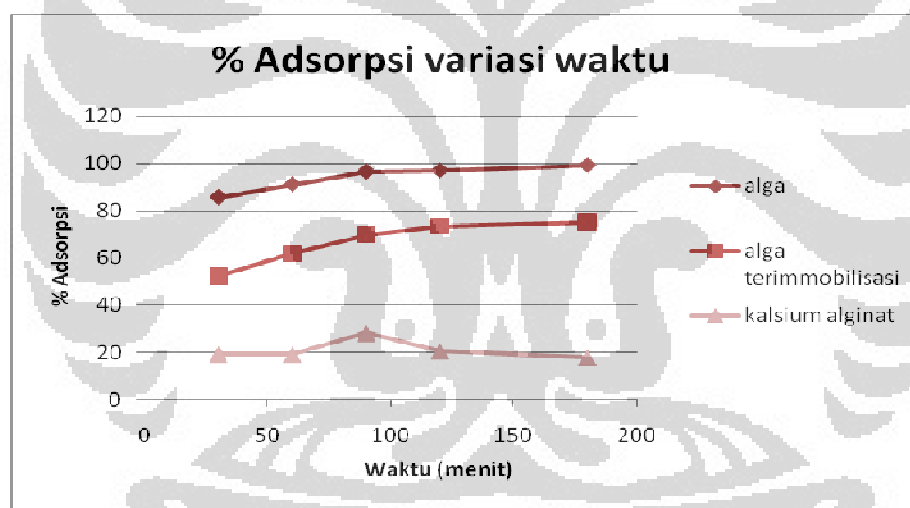
Variasi pH yang dilakukan terhadap kalsium alginat memperlihatkan bahwa kalsium alginat juga dapat menyerap ion logam Cr (VI). Peran kalsium alginat dalam menyerap ion logam Cr (VI) cukup tinggi, yaitu sebesar 28,783% pada pH 2 dengan konsentrasi awal 10 mg/L. Sama halnya dengan biomassa alga dan biomassa alga yang terimmobilisasi, adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh kalsium alginat juga mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya pH. Hal ini disebabkan karena gugus fungsi yang ada pada rantai alginat mengalami protonasi sehingga dapat mengikat spesi Cr (VI) yang ada di dalam larutan melalui pasangan elektron bebasnya.

4.4. Adsorpsi Ion Logam Cr (VI) dengan Variasi Waktu Kontak

Adsorpsi ion logam dengan variasi waktu kontak dilakukan dengan mengontakkan biomassa alga hijau, biomassa alga hijau yang terimmobilisasi, dan kalsium alginat dengan 25 mL larutan ion logam Cr (VI) dengan konsentrasi awal 10 mg/L. pH yang digunakan untuk variasi waktu kontak yaitu pH 2 dan waktu kontak divariasikan dengan variasi 30, 60, 90, 120, dan 180 menit. Selanjutnya kadar masing-masing ion logam di ukur dengan Spektrofotometer UV-Visible. Kadar ion logam yang terukur merupakan kadar ion logam yang tidak terserap oleh adsorben. Hasil adsorpsi ion logam Cr (VI) dengan variasi waktu kontak ditampilkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. % Adsorpsi ion logam Cr (VI) dengan variasi waktu

waktu (menit)	Alga	Alga terimmobilisasi	Kalsium Alginat
30	85,787	52,492	19,232
60	91,311	61,792	19,199
90	96,728	69,787	28,182
120	97,179	73,359	20,657
180	99,402	75,033	17,936

**Gambar 4.12** Grafik % adsorpsi ion logam Cr (VI) dengan variasi waktu.

Variasi waktu kontak pada adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga dan biomassa alga yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat merupakan waktu yang digunakan kedua adsorben untuk mengadsorpsi ion logam Cr (VI). Pada perlakuan ini, dikerjakan pula variasi waktu kontak untuk

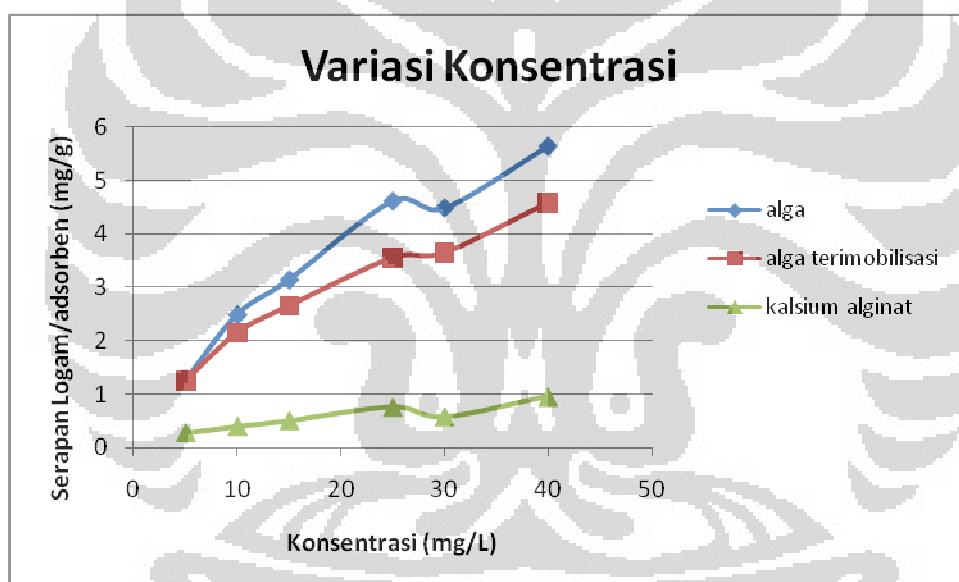
kalsium alginat. Dengan adanya variasi waktu kontak ini dapat terlihat berapa waktu maksimum biomassa alga, biomassa alga yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat, dan kalsium alginat dalam mengadsorpsi ion logam Cr (VI). Pada waktu kontak 30 menit sampai 90 menit, jumlah ion logam Cr (VI) yang terserap oleh biomassa alga dan biomassa alga yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat terus meningkat. Adsorpsi ion logam Cr (VI) mulai linier pada menit ke 120 sehingga dapat diasumsikan bahwa penyerapan ion logam Cr (VI) maksimum terjadi pada waktu kontak 120 menit. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi telah mencapai keadaan setimbang. Setelah kesetimbangan tercapai, jumlah ion logam yang terserap secara signifikan tidak berubah dengan penambahan waktu kontak antara ion logam Cr (VI) dengan adsorben.

4.5. Adsorpsi Ion Logam Cr (VI) dengan Variasi Konsentrasi

Adsorpsi ion logam Cr (VI) dengan variasi konsentrasi dikerjakan dengan cara memberikan variasi konsentrasi larutan ion logam Cr (VI). Variasi konsentrasi yang diberikan yaitu 5, 10, 15, 25, 30, dan 40 mg/L. Hasil serapan ion logam Cr (VI) dengan variasi konsentrasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Serapan ion logam Cr (VI) (mg/g) dengan variasi konsentrasi.

<i>Konsentrasi (mg/L)</i>	<i>Alga</i>	<i>Alga Terimmobilisasi</i>	<i>Kalsium Alginat</i>
5	1.250	0.432	0.143
10	2.489	0.743	0.206
15	3.143	0.917	0.260
25	4.615	1.228	0.391
30	4.485	1.261	0.298
40	5.639	1.582	0.490

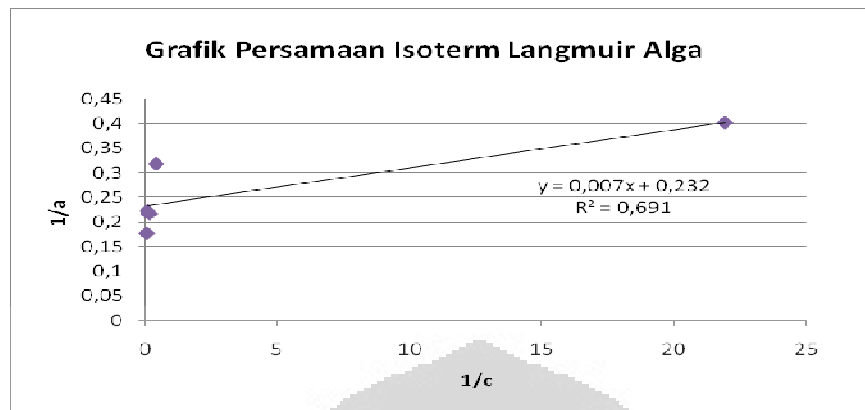
**Gambar 4.13** Grafik serapan ion logam Cr (VI) (mg/g) dengan variasi konsentrasi.

Hasil adsorpsi ion logam Cr (VI) dengan variasi konsentrasi menunjukkan bahwa serapan ketiga adsorben tersebut terus naik hingga konsentrasi larutan ion logam Cr (VI) sebesar 25 mg/L, kemudian turun saat konsentrasi diperbesar menjadi 30 mg/L. Akan tetapi setelah konsentrasi

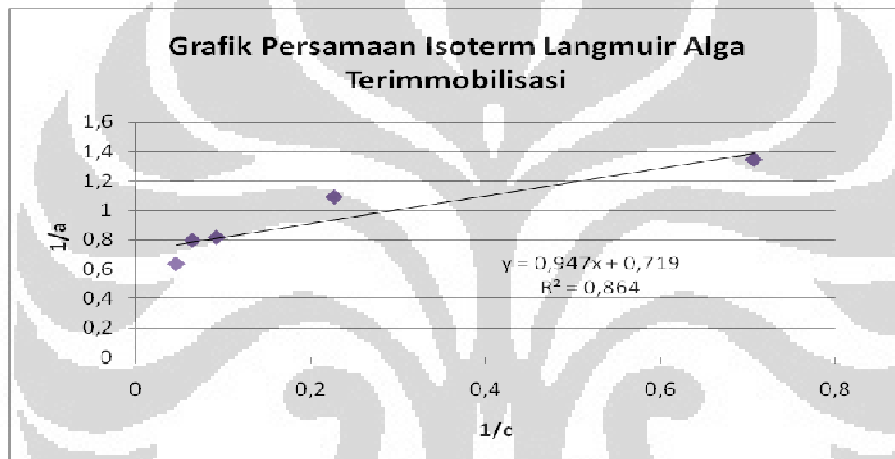
dinaikkan melebihi 30 mg/L, serapan ion logam Cr (VI) kembali naik. Serapan ion logam ini akan terus naik hingga mencapai konsentrasi maksimum penyerapan ion logam oleh adsorben. Secara umum, hasil yang diperoleh memperlihatkan bahwa serapan ion logam Cr (VI) meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi ion logam Cr (VI). Dengan memperbesar konsentrasi ion logam, jumlah ion logam yang terserap oleh biomassa akan meningkat secara linier sampai konsentrasi tertentu.

Selanjutnya data variasi konsentrasi ion logam Cr (VI) ini dapat dipergunakan untuk mencari isoterm adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga, biomassa alga yang terimmobilisasi, dan kalsium alginat. Isoterm adsorpsi tersebut dapat dipergunakan untuk memperkirakan ikatan yang terjadi antara adsorben dengan ion logam Cr (VI).

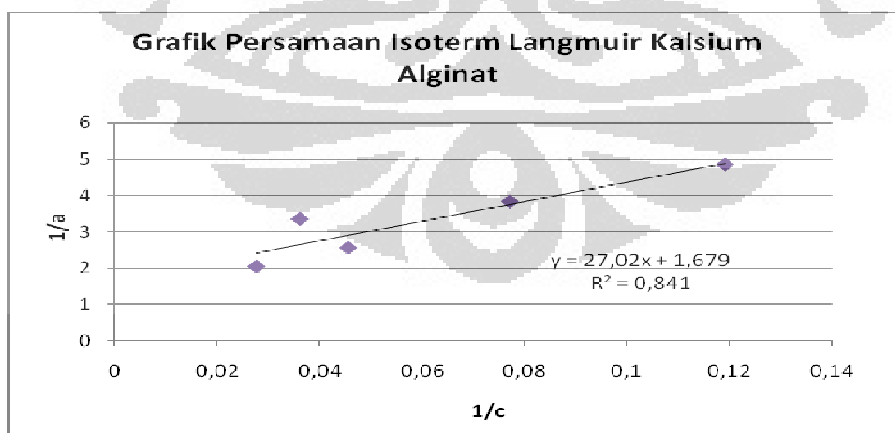
Isoterm Langmuir menjelaskan bahwa permukaan penyerap dalam hal ini biomassa alga hijau terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan penyerap. Pada setiap situs aktif hanya satu molekul yang dapat diserap, sehingga dengan memperbesar konsentrasi adsorbat dalam hal ini larutan ion logam Cr (VI) yang berinteraksi dengan adsorben yang beratnya tetap akan menghasilkan serapan ion logam Cr (VI) yang meningkat secara linier sampai konsentrasi tertentu karena situs aktif telah jenuh dengan adsorbat.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.14 Grafik adsorpsi isoterm Langmuir (a) Alga; (b) Alga Terimmobilisasi; (c) Kalsium Alginat.

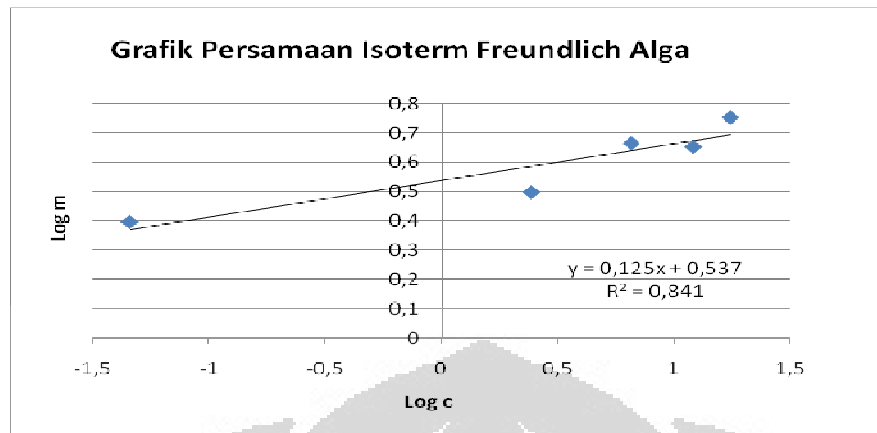
Dengan menggunakan persamaan regresi linier diperoleh koefisien korelasi (R), kapasitas adsorpsi maksimum (a_m) dan afinitas adsorpsi (k).

Tabel 4.11 Nilai koefisien korelasi (R), kapasitas adsorpsi maksimum (a_m), dan afinitas serapan (k) logam Cr (VI).

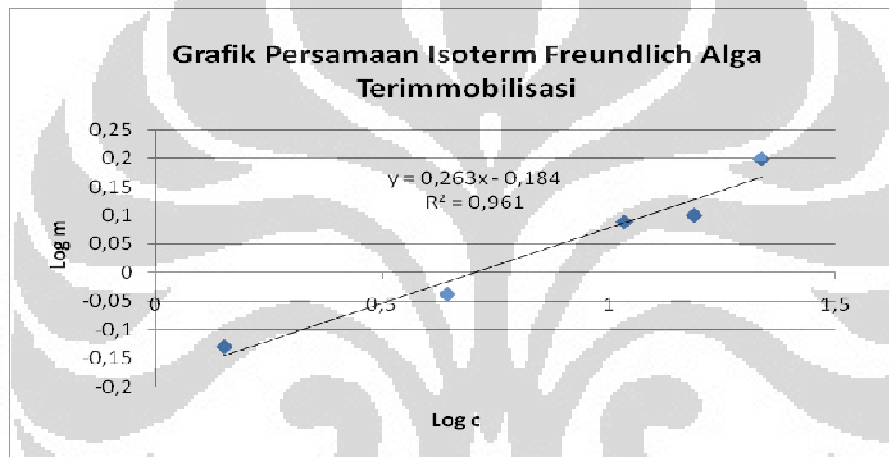
<i>Adsorben</i>	R^2	k	a_m	
			(mg/g)	(mmol/g)
Alga	0,691	33,1428	4,3103	0,08289
Alga Terimmobilisasi	0,864	0,75924	1,3908	0,02675
Kalsium Alginat	0,841	0,06214	0,5956	0,01145

Data yang diperoleh dari Tabel 4.11 menunjukkan bahwa semakin besar afinitas adsorpsi (k) adsorben maka akan semakin banyak ion logam yang terserap oleh adsorben. Dari data tersebut menunjukkan bahwa untuk 1 gram biomassa alga dapat menyerap 0,08289 mmol ion logam Cr (VI). Sedangkan 1 gram biomassa alga yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat dapat menyerap 0,02675 mmol ion logam Cr (VI). Pada kalsium alginat, 1 g kalsium alginat dapat menyerap 0,01145 mmol ion logam Cr (VI).

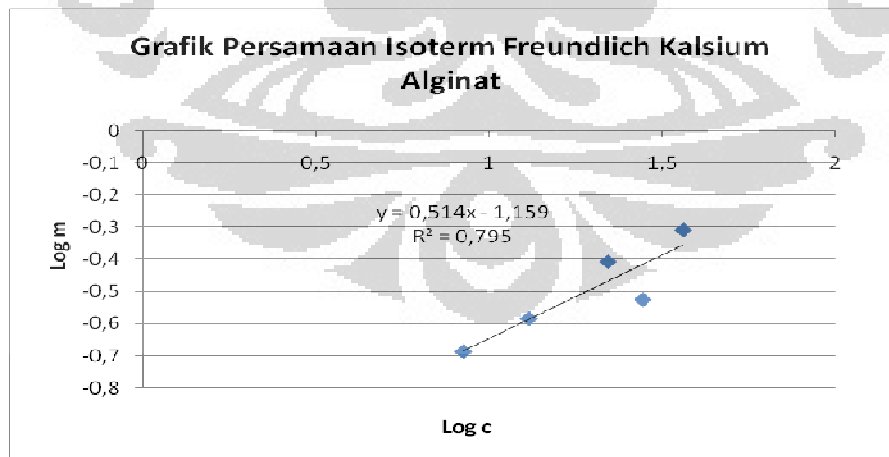
Perhitungan berdasarkan persamaan isoterm adsorpsi Freundlich adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga (Gambar 4.15) didapatkan persamaan linier $y = 0,125x + 0,537$ dengan nilai $R^2 = 0,841$. Persamaan linier pada biomassa alga yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat adalah $y = 0,263x - 0,184$ dengan nilai $R^2 = 0,961$. Sedangkan persamaan linier pada kalsium alginat adalah $y = 0,514x - 1,159$ dengan nilai $R^2 = 0,795$.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.15 Grafik isoterm Freundlich (a) Alga; (b) Alga Terimmobilisasi; (c) Kalsium Alginat

Tabel 4.12 Nilai k dan n pada isoterm Freundlich adsorben.

<i>Adsorben</i>	<i>K</i>	<i>n</i>	R^2
Alga	3,4435	8	0,842
Alga terimmobilisasi	0,6546	3,8023	0.961
Kalsium alginat	0,0693	1,9455	0,795

Berdasarkan persamaan isoterm Freundlich ini didapat nilai konstanta adsorpsi (*k*) untuk adsorpsi ion logam Cr (VI) biomassa alga, biomassa alga yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat, dan kalsium alginat, berturut-turut sebesar 3,4435; 0,6546; dan 0,0693. Sedangkan nilai konstanta *n* dari ketiganya adalah 8; 3,8023; dan 1,9455.

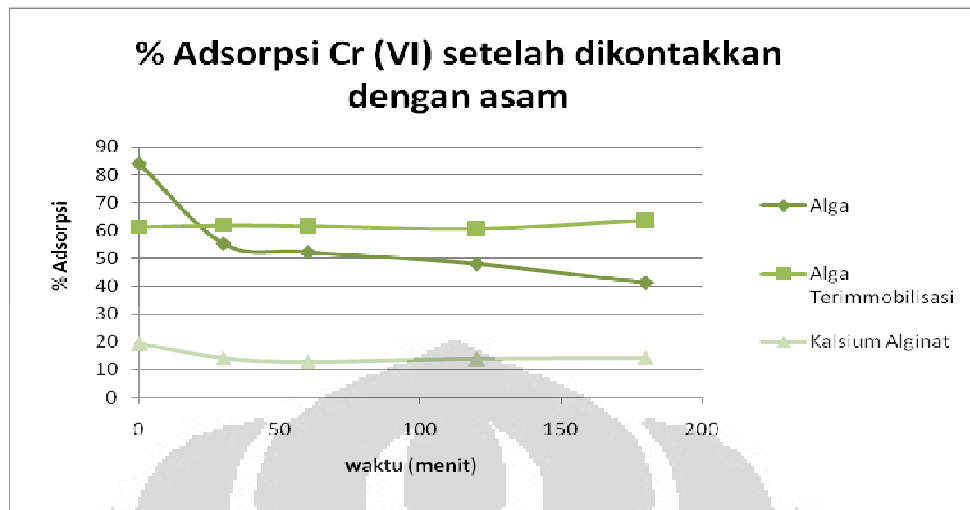
Hasil yang diperoleh pada isoterm Langmuir dan Freundlich menunjukkan bahwa alga hijau dan alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat cenderung mengikuti isoterm Freundlich dibandingkan dengan isoterm Langmuir. Sedangkan data isoterm pada kalsium alginat menunjukkan bahwa kalsium alginat cenderung mengikuti isoterm Langmuir sehingga dapat diperkirakan bahwa permukaan kalsium alginat cenderung lebih homogen dibandingkan dengan alga hijau dan alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat. Hal ini menandakan bahwa pada kalsium alginat terdapat sejumlah situs aktif tertentu yang sebanding dengan luas permukaan kalsium alginat.

4.6. Uji Ketahanan terhadap Asam

Biomassa baik yang telah diimmobilisasi dengan kalsium alginat maupun yang tidak diimmobilisasi sama-sama diuji ketahanannya terhadap asam. Hal ini dilakukan untuk membuktikan bahwa alga yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat mempunyai stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan alga yang tidak diimmobilisasi jika dikontakkan dengan larutan asam. Uji ini dilakukan dengan cara mengontakkan biomassa alga, biomassa alga yang diimmobilisasi, dan kalsium alginat dengan 25 mL larutan HCl 1M selama 60, 120, 180, dan 240 menit. Kemudian disaring, dicuci hingga netral, dan ketiganya dikontakkan dengan larutan ion logam Cr (VI). Penurunan serapan ion logam Cr (VI) yang terjadi diasumsikan sebanding dengan banyaknya adsorben yang larut dalam asam.

Tabel 4.13 % Adsorpsi ion logam Cr (VI) setelah adsorben dikontakkan terhadap asam.

<i>Waktu (menit)</i>	<i>Alga</i>	<i>Alga terimmobilisasi</i>	<i>Kalsium Alginat</i>
0	83,999	61,128	19,483
30	55,202	61,759	14,271
60	52,149	61,524	12,960
120	47,950	60,522	14,069
180	41,240	63,694	14,320



Gambar 4.16 Grafik % adsorpsi ion logam Cr (VI) setelah adsorben dikontakkan dengan asam.

Adsorpsi ion logam Cr (VI) pada biomassa alga turun seiring dengan bertambahnya waktu kontak dengan asam klorida. Persen adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga hijau jika tidak dikontakkan dengan asam sebesar 83.999%. Namun setelah dikontakkan dengan asam selama 30 menit, persen adsorpsi ion logam Cr (VI) turun drastis menjadi 55.202% dan terus turun seiring dengan bertambahnya waktu kontak dengan asam.

Pada biomassa alga yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat, pengontakkan dengan asam relatif tidak berpengaruh terhadap persen adsorpsi ion logam Cr (VI) dalam larutan. Begitu pula dengan kalsium alginat, walaupun adsorpsinya turun namun penurunan adsorpsi tersebut tidak terlalu signifikan jika dibandingkan dengan penurunan adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga.

Penurunan persen adsorpsi terjadi karena semakin berkurangnya gugus fungsi yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam Cr (VI). Hal ini dikarenakan semakin banyak biomassa alga yang larut dalam asam klorida maka akan semakin banyak pula gugus fungsi yang akan larut. Oleh sebab itu, penurunan persen adsorpsi ion logam Cr (VI) pada biomassa alga dapat diasumsikan sebanding dengan banyaknya biomassa alga yang larut dalam asam.

4.7. Uji untuk Meningkatkan Serapan Ion Logam Cr (VI) pada Biomassa Alga Hijau yang Terimmobilisasi

Saat proses pengimmobilisasian biomassa, larutan kalsium klorida digunakan sebagai penyedia ion kalsium dalam proses pembentukan gel. Dengan penggunaan kalsium klorida tersebut, dikhawatirkan ada situs aktif dari biomassa alga yang terikat dengan ion kalsium ataupun ion klorida yang dapat mengurangi gugus pada alga untuk berikatan dengan ion logam Cr (VI) sehingga serapannya akan menurun. Hal ini dapat dilihat pada data sebelumnya, persen adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga tanpa immobilisasi selalu lebih besar dibandingkan dengan biomassa alga yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat padahal dalam rantai alginat terkandung gugus fungsi yang dapat melakukan ikatan dengan ion logam Cr (VI) seperti gugus karboksil. Maka biomassa alga yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat seharusnya dapat mengadsorpsi ion logam Cr (VI) lebih besar

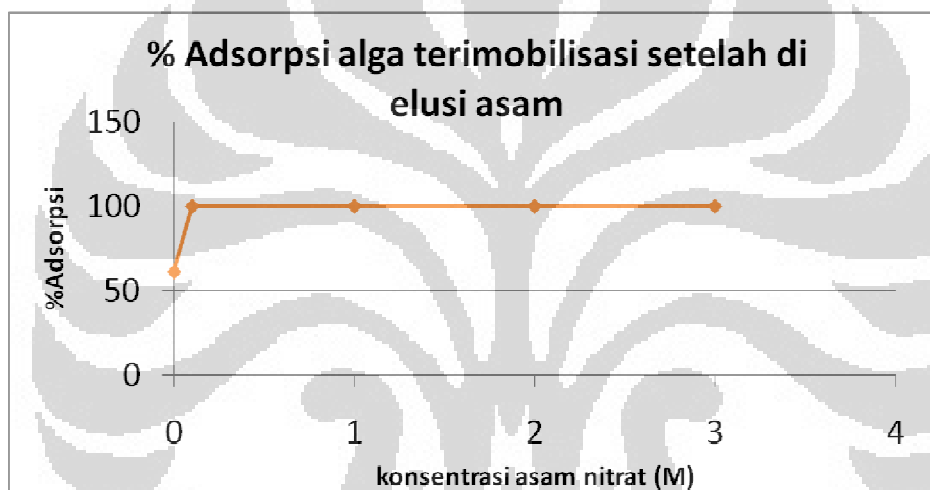
dibandingkan dengan biomassa alga yang tidak diimmobilisasi. Selain itu, *beads* dielusi dengan asam juga bertujuan agar pori-pori dari matriks kalsium alginat dapat terbuka lebih lebar sehingga ion logam Cr (VI) dapat berdifusi lebih cepat ke dalam *beads* dan menghasilkan serapan ion logam Cr (VI) yang lebih tinggi dibandingkan dengan *beads* yang tanpa dielusi dengan asam.

Perlakuan ini juga dikerjakan oleh Hameed^[32] yang mengimmobilisasi *Chlorella vulgaris* dengan kalsium alginat untuk penyerapan ion logam timbal dalam larutan. Hameed memakai asam nitrat 0,1 M untuk mengelusi *beads* agar ion-ion yang terikat pada gugus aktif adsorben saat proses immobilisasi dapat terputus.

Uji ini dilakukan dengan cara menempatkan *beads* biomassa alga yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat ke dalam suatu kolom sederhana. Kemudian *beads* tersebut dielusi dengan 0,1, 1, 2, dan 3 M HNO₃. Laju alir rata-rata yang digunakan sebesar 0.007 mL/detik. *Beads* yang sudah dielusi dengan HNO₃ dibilas hingga netral, kemudian dikontakkan dengan larutan ion logam Cr (VI). Hasil serapan ion logam yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan *beads* biomassa alga terimmobilisasi tanpa dielusi HNO₃. HNO₃ dipilih untuk mengelusi *beads* karena HNO₃ merupakan asam yang baik untuk proses desorpsi ion-ion logam alkali dan alkali tanah^[33]. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 % Adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga terimmobilisasi setelah dielusi HNO₃.

Konsentrasi HNO ₃ (M)	% Adsorpsi Alga Terimmobilisasi
0	62,259
0,1	100,000
1	100,000
2	100,000
3	100,000



Gambar 4.17 Grafik % adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga hijau setelah dielusi asam.

Adsorpsi ion logam Cr(VI) oleh biomassa alga yang tidak diimmobilisasi dengan kalsium alginat adalah 88,802%. Adsorpsi tersebut lebih besar dibandingkan dengan adsorpsi oleh biomassa alga yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat sebesar 62,259%. Namun setelah dielusi dengan 0.1 M HNO₃, persen adsorpsi biomassa alga yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat meningkat menjadi 100%, melebihi

persen adsorpsi oleh biomassa alga yang tidak diimmobilisasi. Peningkatan persen adsorpsi ini dapat diartikan sebagai bertambahnya gugus yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam Cr (VI) pada biomassa alga dengan kalsium alginat setelah dielusi dengan HNO_3 . Dari perlakuan ini dapat disimpulkan bahwa biomassa alga yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat dapat mengadsorpsi ion logam Cr (VI) lebih tinggi dibandingkan dengan biomassa alga yang tidak diimmobilisasi dengan kalsium alginat dengan cara memberikan perlakuan awal terhadap *beads* biomassa alga berupa desorpsi ion-ion logam yang berikatan dengan biomassa alga dalam *beads* biomassa alga yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat.

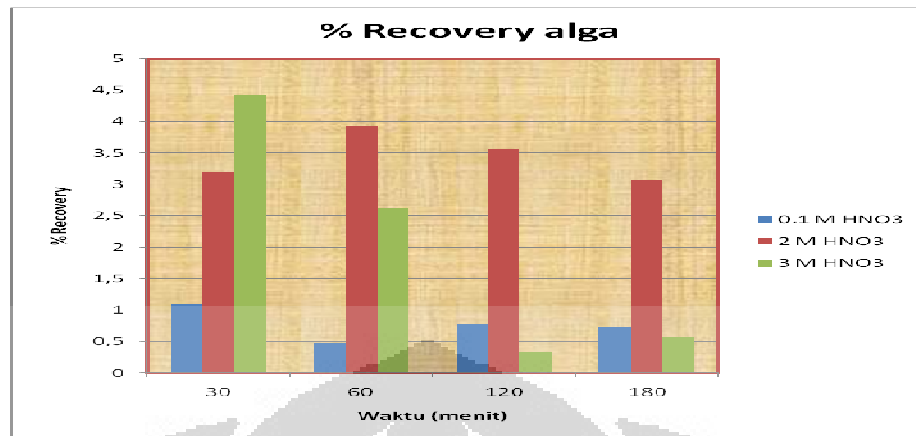
4.8. Recovery

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^[5]. Recovery biomassa ini dilakukan dengan cara mengontakkan adsorben yang sudah mengadsorpsi ion logam dengan larutan yang dapat mendesorpsi ion logam tersebut. Larutan pendesorpsi yang digunakan pada perlakuan ini adalah asam nitrat dan natrium hidroksida, kemudian adsorben disaring, filtrat ditambahkan 1,5-diphenylcarbazine, dan diukur dengan spektrofotometer UV-Visible pada panjang gelombang maksimum.

Recovery ion logam Cr (VI) pernah dilakukan oleh berbagai peneliti seperti Zao dan Duncan^[33] dengan menggunakan 0,1M NaOH pada *Saccharomyces cerevisiae* hanya didapatkan persen recovery sebesar 5,2%. Persen recovery yang kecil juga dialami oleh Diantariani^[19] yang hanya mendapatkan persen recovery sebesar 4,84% dan 0,20% pada rumput laut *Eucheuma spinosum*, berturut-turut dengan menggunakan HCl 1 M dan Na₂EDTA 0,05 M. Sedangkan Luis, *et al*^[34] merecovery *Sargassum siliquosum* dengan 0,2M H₂SO₄ hanya memperoleh persen recovery sekitar 10%. Berikut ini adalah hasil recovery yang diperoleh dengan menggunakan asam nitrat sebagai pendesorpsi.

Tabel 4.15 % Recovery biomassa alga hijau dengan HNO₃

Waktu (menit)	0.1 M HNO ₃	2 M HNO ₃	3M HNO ₃
30	1.094	3.194	4.420
60	0.480	3.935	2.620
120	0.774	3.566	0.338
180	0.738	3.071	0.579

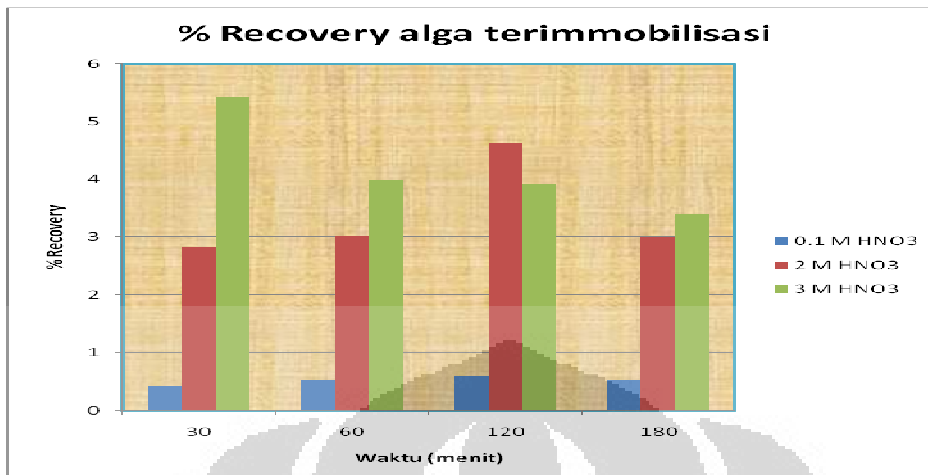


Gambar 4.18 Diagram % recovery biomassa alga dengan variasi waktu kontak dan konsentrasi HNO₃.

Hasil recovery pada biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat menggunakan variasi asam nitrat dan variasi waktu dapat dilihat pada Tabel 4.16 dan Gambar 4.19.

Tabel 4.16 % Recovery biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat menggunakan HNO₃

<i>Waktu (menit)</i>	<i>0.1 M HNO₃</i>	<i>2 M HNO₃</i>	<i>3M HNO₃</i>
30	0.434	2.834	5.430
60	0.541	3.032	3.979
120	0.597	4.641	3.915
180	0.542	3.010	3.409



Gambar 4.19 Diagram % recovery biomassa alga terimmobilisasi dengan variasi waktu kontak dan konsentrasi HNO₃.

Biomassa alga dan biomassa alga yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat direcovery menggunakan asam nitrat. Proses recovery dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi asam nitrat dan waktu kontak adsorben dengan asam nitrat tersebut. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa persen recovery tertinggi keduanya dicapai pada waktu kontak 30 menit dengan konsentrasi asam nitrat sebesar 3 M. Namun persen recovery biomassa alga dan biomassa alga yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat tersebut berturut-turut hanya sebesar 4.420% dan 5.430%. Berbeda dengan recovery pada kalsium alginat, pada waktu kontak 30 menit, persen recovery mencapai 64.540% dengan menggunakan 0,5 M HNO₃. Hasil recovery kalsium alginat dengan menggunakan asam dapat dilihat pada Tabel 4.17.

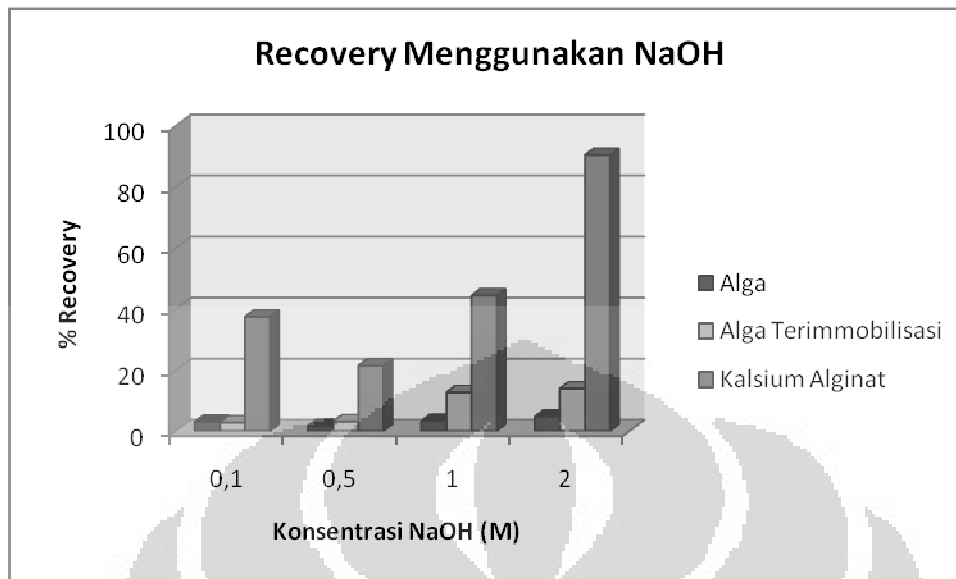
Tabel 4.17 % Recovery kalsium alginat dengan asam nitrat.

<i>Waktu Kontak (menit)</i>	<i>0.1M HNO₃</i>	<i>0.5M HNO₃</i>
30	23,916	64,540
60	16,967	16,799
120	15,041	13,236
180	14,372	8,189

Hasil recovery yang diperoleh dengan menggunakan asam kurang maksimum. Oleh sebab itu, larutan basa dipilih sebagai larutan pendesorpsi ion logam Cr (VI) selain asam nitrat. Larutan basa yang digunakan adalah natrium hidroksida. Recovery menggunakan natrium hidroksida dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi NaOH dengan waktu kontak selama 120 menit. Hasil recovery ion logam Cr (VI) dengan menggunakan natrium hidroksida dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 % Recovery dengan menggunakan natrium hidroksida

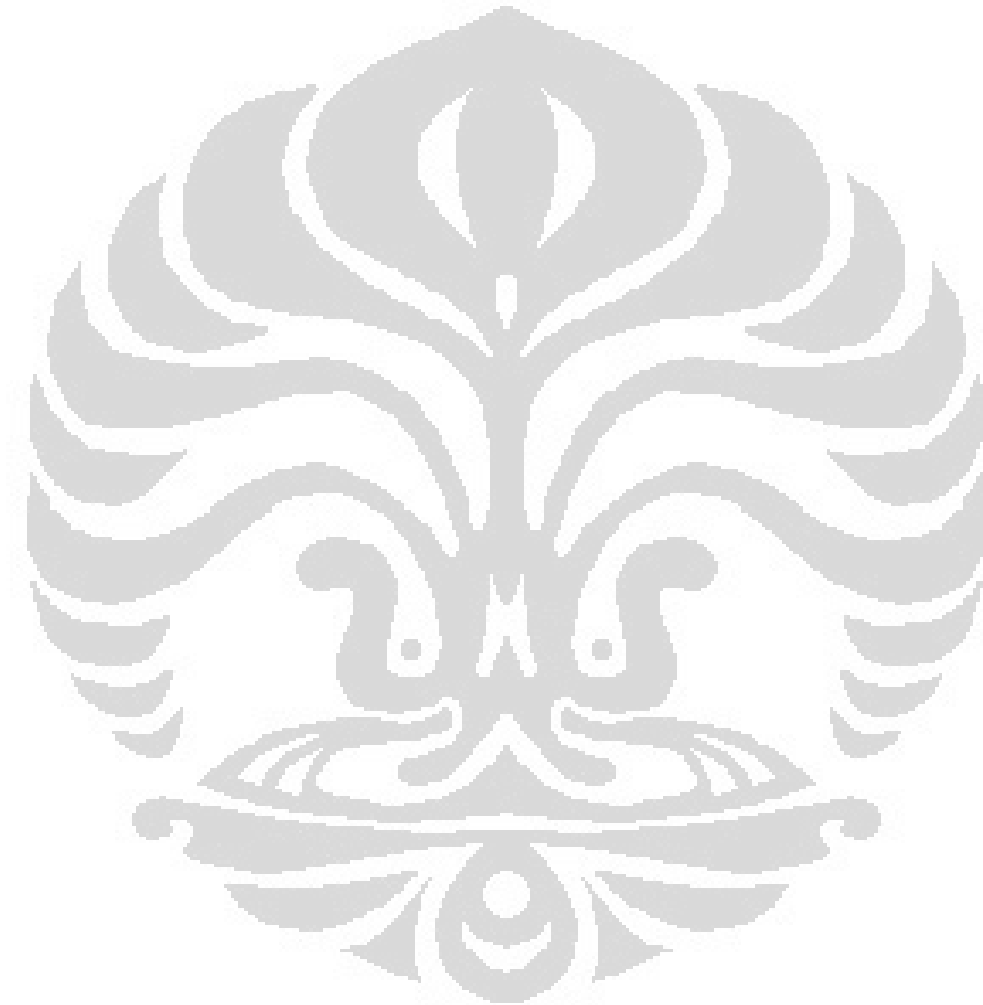
<i>Konsentrasi NaOH (M)</i>	<i>Alga</i>	<i>Alga Terimmobilisasi</i>	<i>Kalsium Alginat</i>
0,1	3,062	2,819	37,475
0,5	1,736	3,150	21,487
1	3,323	12,738	44,504
2	4,733	13,982	90,481



Gambar 4.20 Diagram % recovery menggunakan NaOH.

Pada data tersebut terlihat bahwa semakin besar konsentrasi natrium hidroksida, maka akan semakin besar pula persen recovery. Persen recovery tertinggi pada biomassa alga, biomassa alga terimmobilisasi, dan kalsium alginat dicapai pada konsentrasi 2 M. Persen recovery ketiganya berturut-turut sebesar 4,733%, 13,982%, dan 90,481%. Hasil tersebut lebih tinggi jika dibandingkan dengan menggunakan asam nitrat sebagai pendesorpsi walaupun pada biomassa alga dan biomassa alga yang terimmobilisasi persen recovery tersebut hanya meningkat sedikit. Sedangkan pada kalsium alginat, persen recovery ion logam Cr (VI) baik menggunakan asam nitrat maupun menggunakan natrium hidroksida menunjukkan nilai yang besar. Hal ini mungkin disebabkan karena pada biomassa alga dan biomassa alga yang terimmobilisasi, ion logam Cr (VI) membentuk ikatan dan reaksi yang

kompleks dengan bermacam-macam gugus fungsi yang ada pada permukaan biomassa sehingga ikatan yang terjadi sulit diputuskan, sedangkan pada kalsium alginat, ion logam Cr (VI) hanya membentuk ikatan dengan gugus karboksil yang ada di dalam rantai alginat^[34].



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai studi biosorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga hijau yang diimmobilisasi pada kalsium alginat, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Spektrum FTIR biomassa alga hijau dan alga hijau terimmobilisasi memperlihatkan bahwa keduanya memiliki gugus karboksil, amino, dan hidroksi. Sedangkan kalsium alginat memiliki gugus karboksil dan hidroksi.
- Kondisi maksimum adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga dan biomassa alga terimmobilisasi yaitu pada pH 2 dengan waktu kontak 120 menit.
- Pada konsentrasi larutan ion logam Cr (VI) sebesar 40 mg/L, serapan ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga hijau, biomassa alga hijau terimmobilisasi, dan kalsium alginat adalah 5, 639, 1,582, dan 0,490mg/g.

- Biomassa alga hijau dan alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat cenderung mengikuti isoterm Freundlich sedangkan kalsium alginat cenderung mengikuti isoterm Langmuir.
- Hasil recovery biomassa alga hijau dan biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat dengan menggunakan 3 M HNO_3 berturut-turut sebesar 5,430% dan 4,420%. Sedangkan persen recovery untuk kalsium alginat diperoleh sebesar 64,540% dengan menggunakan 0,5M HNO_3 .
- Pada recovery dengan menggunakan NaOH, persen recovery pada biomassa alga, biomassa alga terimmobilisasi, dan kalsium alginat pada konsentrasi 2 M berturut-turut sebesar 4,733%, 13,982%, dan 90,481%.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat dikemukakan beberapa saran :

- Perlu dilakukan penelitian menggunakan system kontinu saat proses kontak antara alga dengan larutan logam.
- Perlu dipelajari lebih dalam mengenai mekanisme reaksi antara logam dengan gugus fungsional tertentu pada proses adsorpsi.
- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengimmobilisasian biomassa sebagai adsorben logam berat.

DAFTAR PUSTAKA

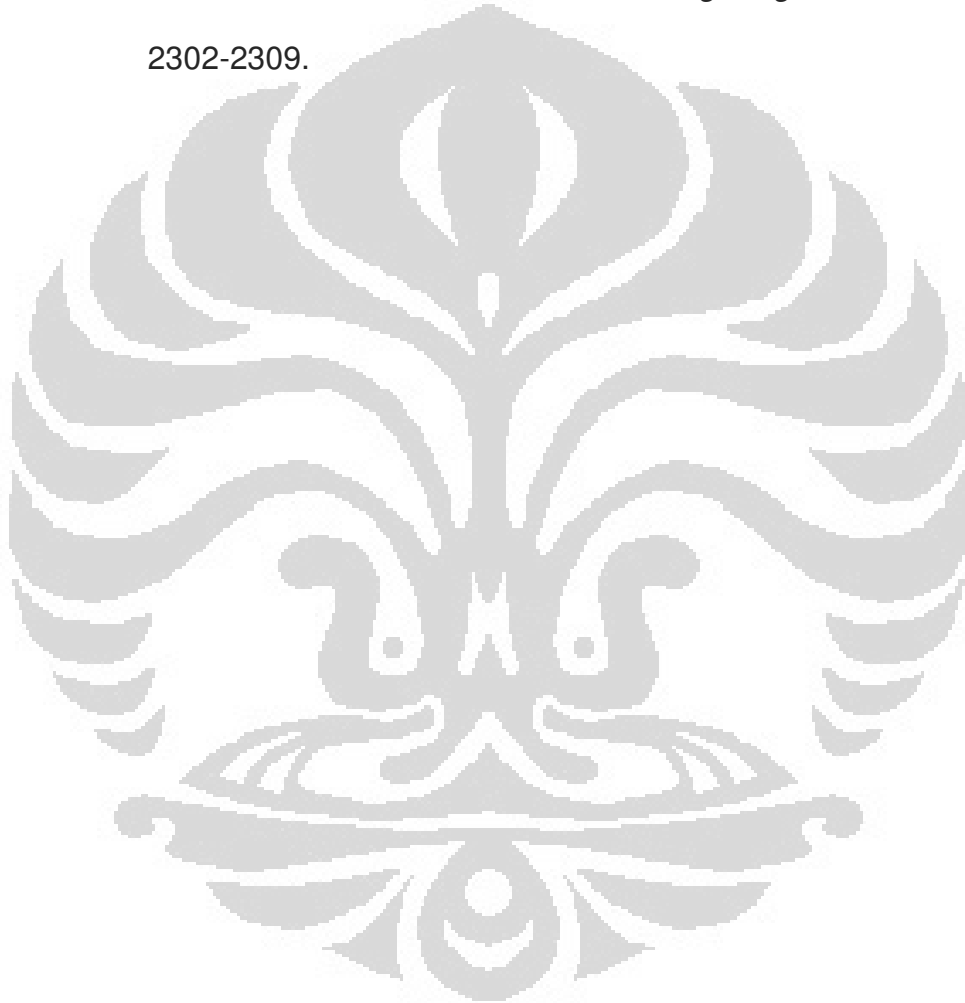
1. Putra, Sinly Evan. 2006. *Tinjauan Kinetika dan Termodinamika Proses Adsorpsi Ion Logam Pb, Cd, dan Cu oleh Biomassa Alga Nannochloropsis sp. yang Dilmobilisasi Polietilamina-Glutaraldehyd*. Laporan Penelitian. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
2. Kresnawaty, Irma. & Tri-panji. *Biosorpsi logam Zn oleh biomassa Saccharomyces cerevisiae*. Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia, Bogor 16151, Indonesia.
3. Kiran, Bala. Anubha, & Kaushik .2007. *Response surface methodological approach for optimizing removal of Cr (VI) from aqueous solution using immobilized cyanobacterium*, *Chemical Engineering Journal* 126,147–153.
4. Ahalya. 2005. *Biosorption of chromium (VI) from aqueous solutions by the husk of Bengal gram (Cicer arietinum)*. *Electronic Journal of Biotechnology*, vol 8.
5. Puriyati. 2008. *Studi biosorpsi ion logam Cr (III) dan Cr (VI) terhadap Biomassa Alga Hijau dan Alga Hijau Terprotonasi*. Laporan Penelitian. FMIPA, UI, Depok.

6. Yang Lu, et al. 2005. *Diffusion of Nicotinamide Adenine Dinucleotide in Calcium Alginate Hydrogel Beads Doped with Carbon and Silica Nanotubes*. *J. Chem. Eng. Data*, 50 (4), 1319-1323.
7. Wulandari, Diah. 2008. *Studi Biosorpsi Ion Logam Cd (II) oleh Biomassa Alga Hijau Termodifikasi*. Laporan Penelitian. FMIPA, UI. Depok.
8. 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.
9. Palar, H. 1994. *Pencemaran dan toksisitas Logam Berat*. Renika Cipta. Jakarta.
10. *Chromium*. <http://id.wikipedia.org/wiki/Chromium> (18 Januari 2009, pkl 16.05).
11. *Chromium*. www.periodictable.com (16 Juni 2009, pkl 15.00)
12. *Immobilization*. IUPAC Compendium of Chemical Terminology IUPAC 2nd Edition (1997).
13. Zuhra, Cut Fatimah. *Penyediaan Asam Eikosapentanoat (EPA) dan Asam Dokosaheksanoat (DHA) Melalui Transesterifikasi Minyak Ikan dengan Etanol yang Dikatalisis oleh Lipase*. Laporan Penelitian. Kimia. FMIPA. Universitas Sumatera Utara.

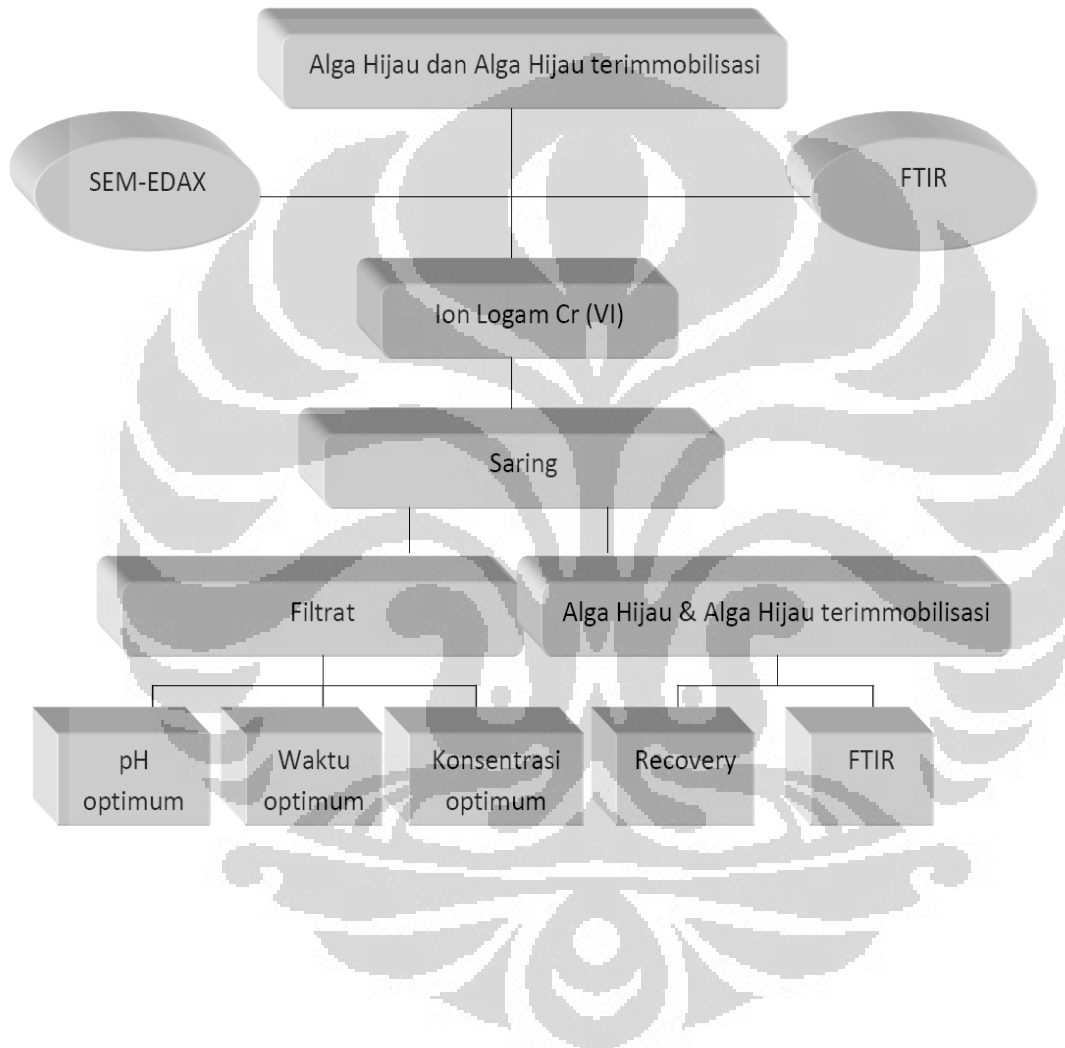
14. *Natrium Alginat*. <http://www.lenntech.com/periodic-chart-elements/cr-en.htm>. (19 Januari 2009, pkl 06.33).
15. *Natrium Alginat*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Sodiumalginate> (19 Januari 2009, pkl 06.23).
16. Stokke, et al. 2000. *Small-Angle X-ray Scattering and Rheological Characterization of Alginate Gels. 1. Ca-Alginate Gels. Macromolecules*, 33 (5), 1853-1863.
17. Draget, Kurt. et al 2005. *Polysaccharides and Polyamides in the Food Industry Properties, Production and Patents, chapter Alginates from Algae*. Wiley-vch Verlag GmbH.
18. Gadd, G. M. 1992. *Microbial control of heavy metal pollution*, in Fry, J.C.
19. Diantariani. 2008. *Proses Biosorpsi dan Desorpsi Ion Cr(VI) pada Rumput Laut Eucheuma spinosum*. Jurnal kimia 2(1), 45-52.
20. Ahalya. 2005. *Biosorption of chromium (VI) from aqueous solutions by the husk of Bengal gram (Cicer arietinum)*. *Electronic Journal of Biotechnology*, vol 8.
21. Huges, M. N. and Poole, R. K. 1990. *Metal dan Microorganism*, Chapman and Hall, London.
22. Gadd, G. M, 1990b. *Metal tolerance*, in Edwards, C., *Microbial of Extreme Environments*, (edl), pp. 1780 – 210. Milton Keynes, Open University Press, UK.

23. Hancock, J. C. 1996. *Mechanism of passive sorption of heavy metal by biomass and biological products*, in Symposium and Workshop on Heavy Metal Bioaccumulation. IUC Biotechnology Gajah Mada University, Yogyakarta, 18 – 20 September 1996.
24. Gadd, G. M. 1992. *Microbial control of heavy metal pollution*, in Fry, J.C.
25. Gadd, G. M. 1990a. *Biosorption*, Chemistry & Industry, 13, 421 - 426
26. *Biosorption*. www.wikipedia.com (16 Juni 2009, pkl 14.35)
27. Harris & Ramelow. 1990. *Binding of Metal Ions by Particulate Quadricauda*. *Environ. Sci.* 627-652.
28. Oscik, J. 1982. *Adsorption*, John Willey and Son, New York.
29. *Spektrofotometri Infra Merah*. <http://chem-is-try.org/artikel/spektrofotometriinframerah> (11 Januari 2009, pkl 13.50)
30. *Scanning electron microscope*. http://id.wikipedia.org/wiki/Scanning_electron_microscope#Mikroskop_pemindai_elektron_.28SEM.29 (18 Januari 2009, pkl 16.20).
31. Yalcinkaya. 2002. *Cadmium and Mercury Uptake by Immobilized Pleurotus sapidus*. *Turk J Chem* 26, 441-452.
32. Hameed, Abdel. 2006. *Continuous removal and recovery of lead by alginate beads, free and alginate-immobilized Chlorella vulgaris*. *African Journal of Biotechnology Vol. 5 (19)*, 1819-1823.

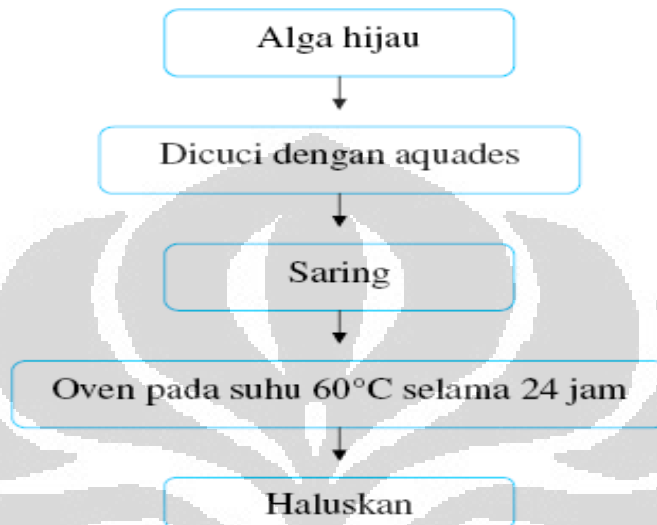
33. Zhao, M.; Ducan, J.R. 1998. *Column sorption of Cr (VI) from electroplating effluent using formaldehyde cross-linked Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnol. Lett*, 20 (6), 603.
34. Luis, et al. 2001. *Potential of Biosorption for the Recovery of Chromate in Industrial Wastewaters*. *Ing. Eng. Chem. Res*, 40, 2302-2309.



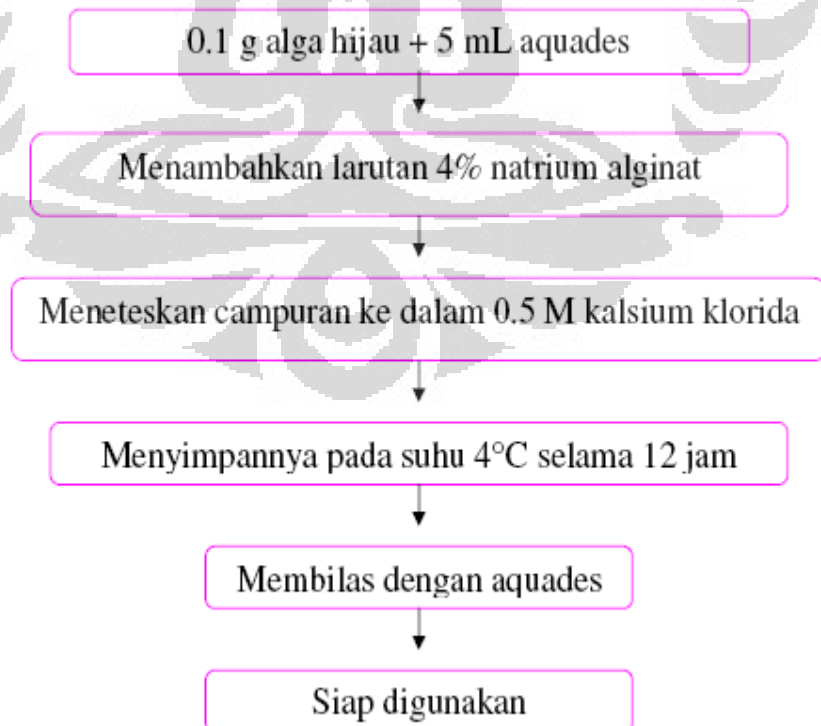


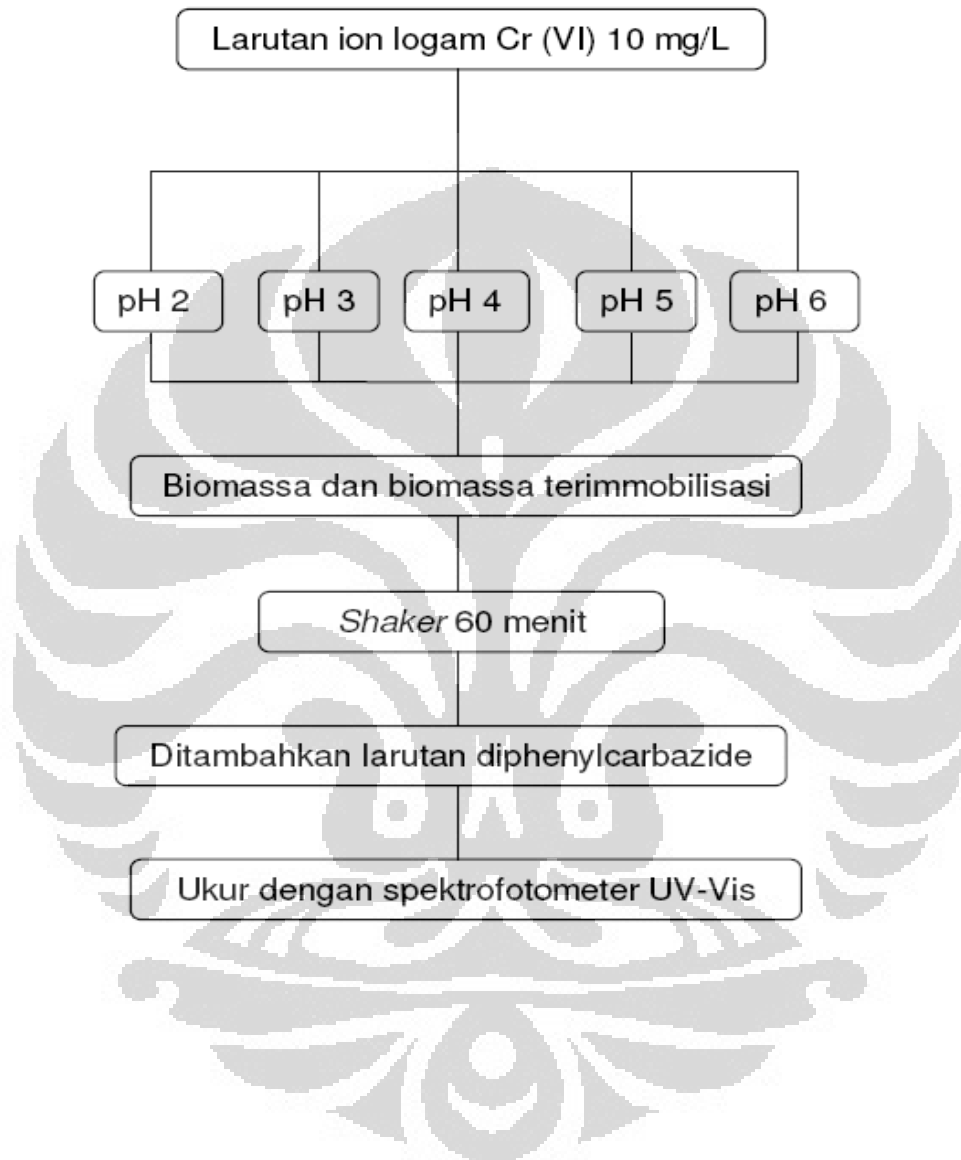
Lampiran 1. Desain Penelitian

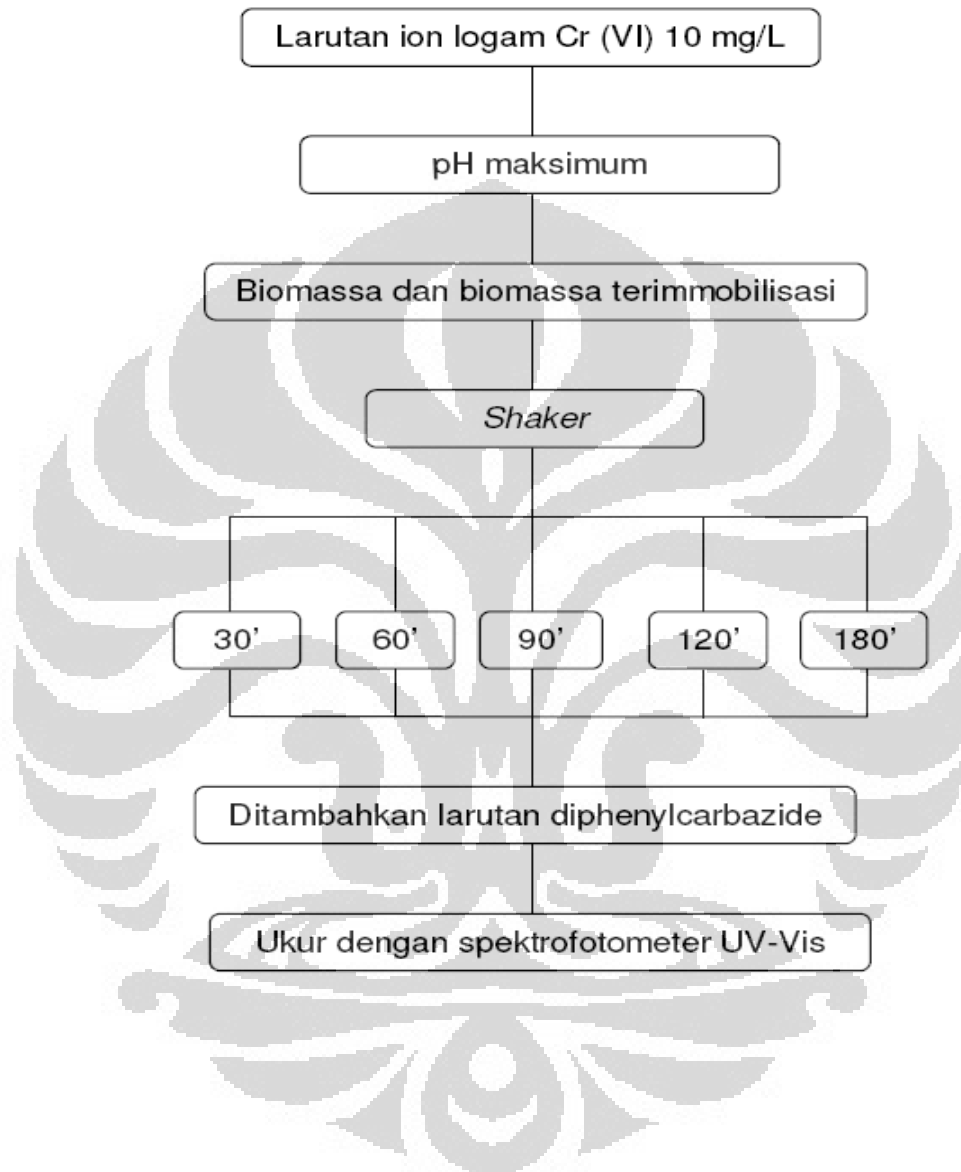
Lampiran 2. Bagan Kerja Preparasi Biomassa Alga Hijau

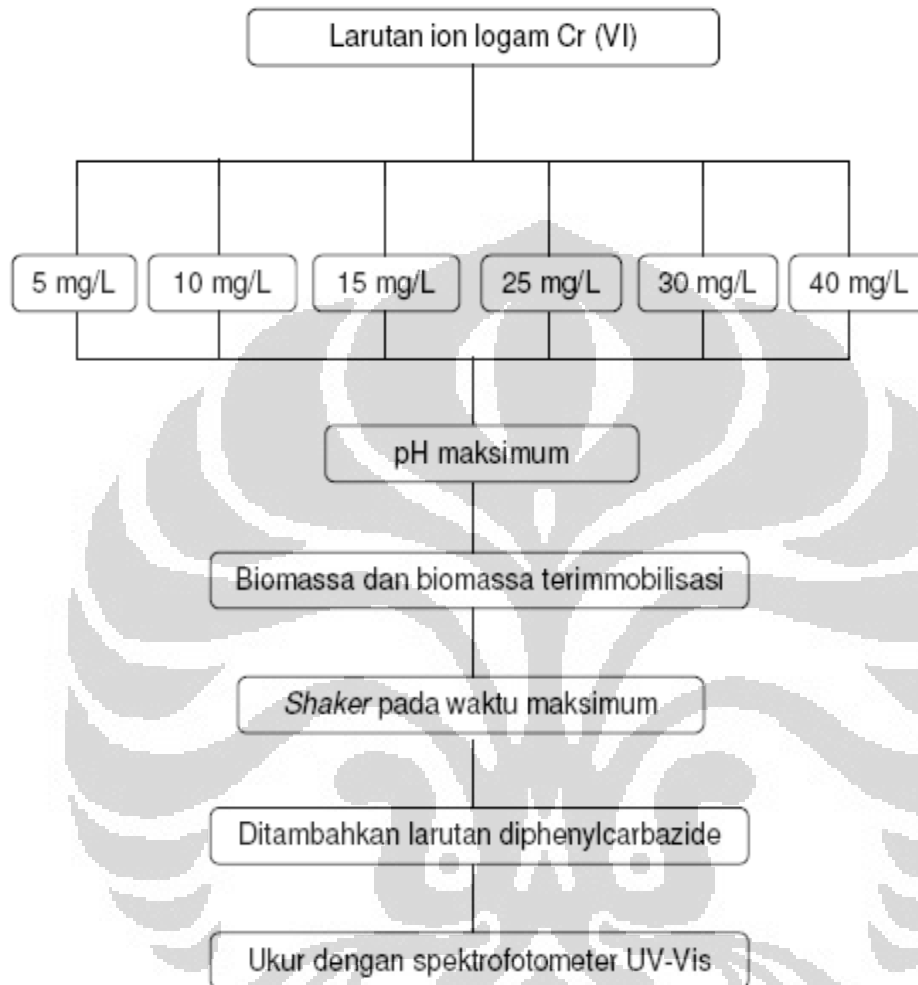


Lampiran 3. Bagan Kerja Immobilisasi Biomassa Alga Hijau



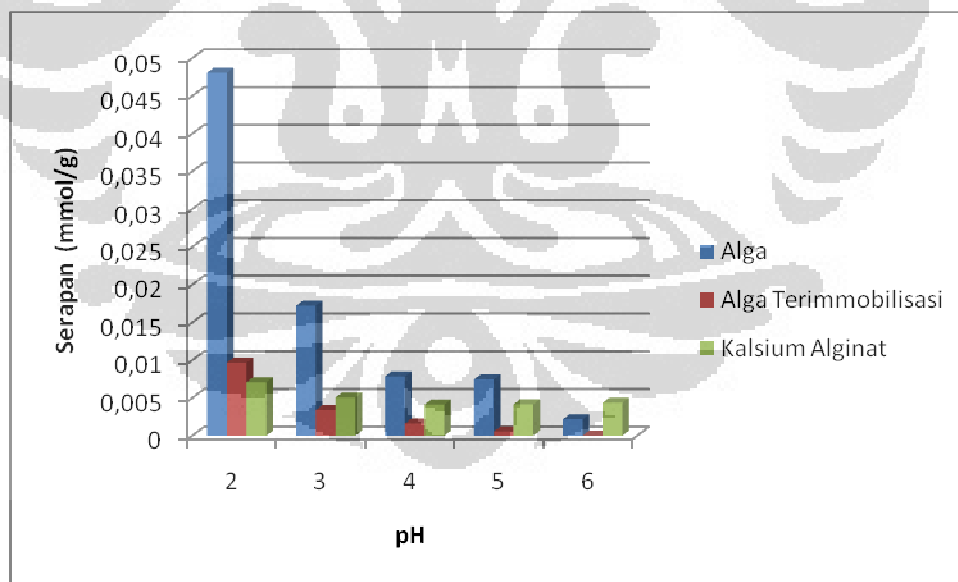
Lampiran 4. Bagan kerja variasi pH

Lampiran 5. Bagan kerja pada variasi waktu

Lampiran 6. Bagan kerja pada variasi konsentrasi

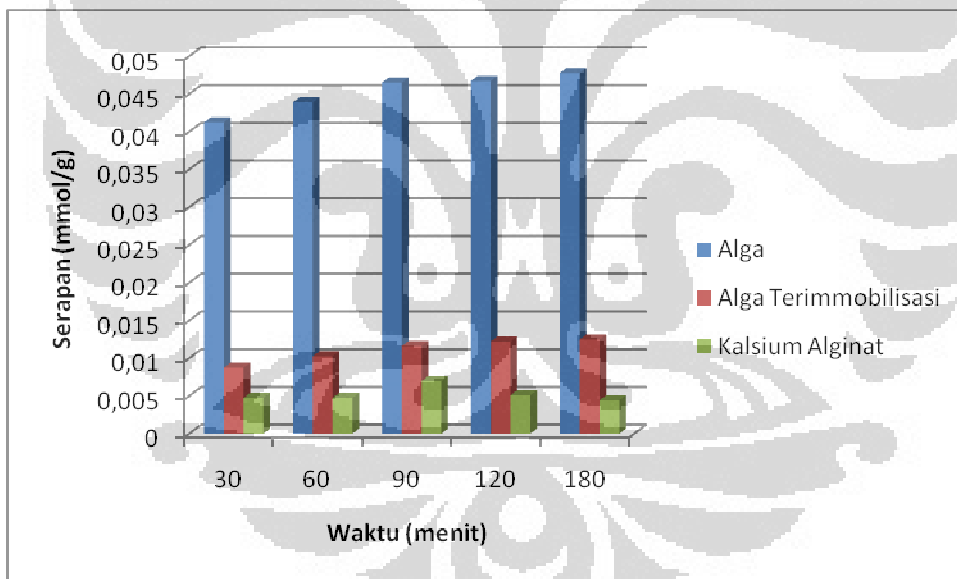
Lampiran 7. Serapan ion logam Cr (VI) per berat adsorben (mmol/g) pada variasi pH

pH	Alga	Alga Terimmobilisasi	Kalsium Alginat
2	0,04808	0,00968	0,00711
3	0,01721	0,00340	0,00507
4	0,00785	0,00160	0,00414
5	0,00745	0,00055	0,00416
6	0,00219	0,00002	0,00436



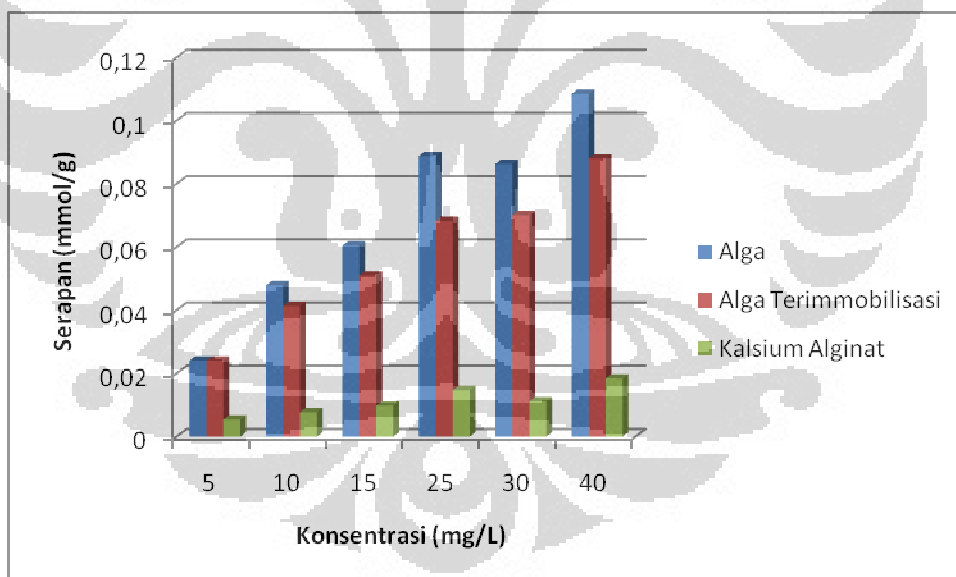
Lampiran 8. Serapan ion logam Cr (VI) per adsorben (mmol/g) pada variasi waktu

Waktu (menit)	Alga	Alga Terimmobilisasi	Kalsium Alginat
30	0,0412	0,0087	0,0047
60	0,0439	0,0103	0,0047
90	0,0465	0,0116	0,0069
120	0,0467	0,0122	0,0051
180	0,0478	0,0125	0,0044



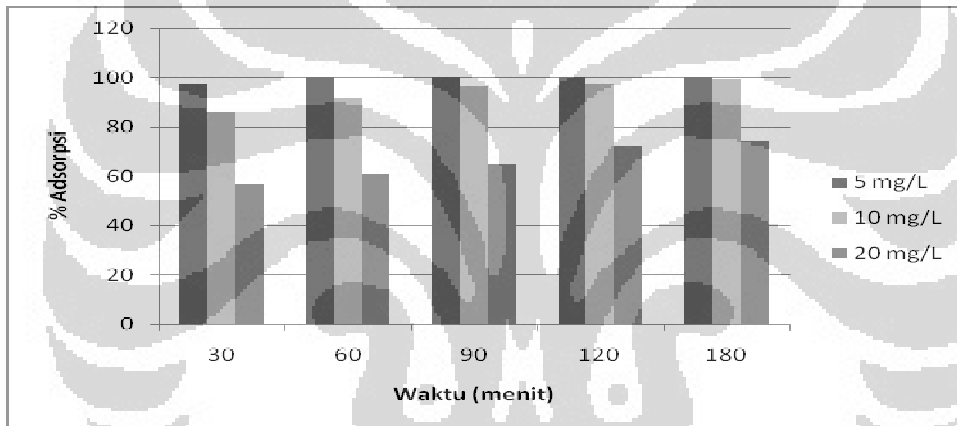
Lampiran 9. Serapan ion logam Cr (VI) per adsorben (mmol/g) pada variasi konsentrasi

Konsentrasi (mg/L)	Alga	Alga Terimmobilisasi	Kalsium Alginat
5	0,0240	0,0240	0,0054
10	0,0478	0,0413	0,0077
15	0,0604	0,0510	0,0097
25	0,0887	0,0682	0,0146
30	0,0862	0,0701	0,0111
40	0,1084	0,08791	0,0183

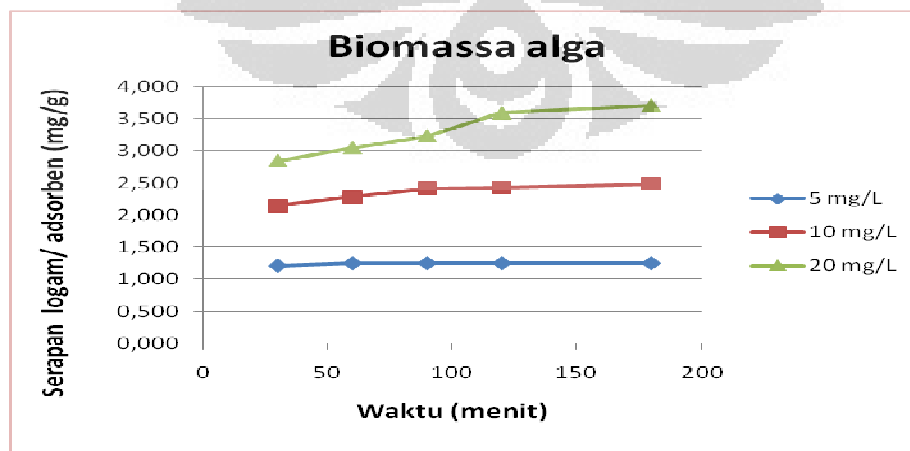


Lampiran 10. Persen adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga hijau pada variasi konsentrasi vs waktu

Waktu (menit)	5 mg/L	10 mg/L	20 mg/L
30	96,980	85,787	56,909
60	100,000	91,311	61,025
90	100,000	96,728	64,743
120	100,000	97,179	71,952
180	100,000	99,402	74,289

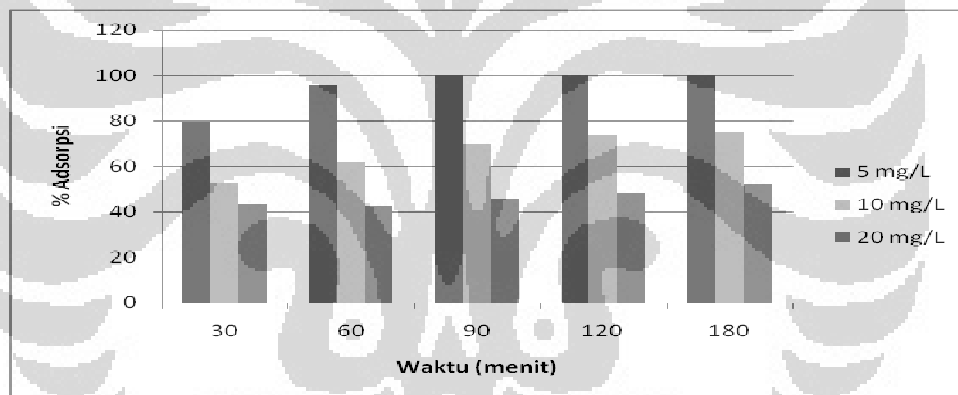


Jika persen adsorpsi tersebut dikonversi menjadi serapan ion logam Cr (VI) per 1 gram biomassa alga, maka akan menghasilkan grafik seperti berikut:

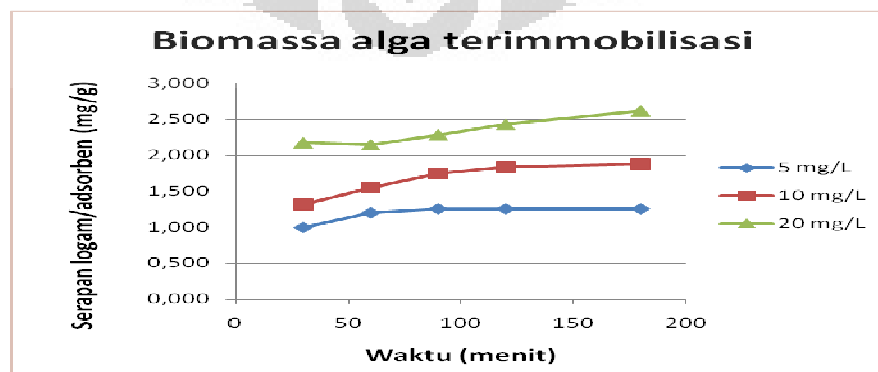


Lampiran 11. Persen adsorpsi ion logam Cr (VI) oleh biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat pada variasi konsentrasi vs waktu

Waktu (menit)	5 mg/L	10 mg/L	20 mg/L
30	79,647	52,492	43,374
60	95,642	61,792	42,786
90	100,000	69,787	45,562
120	100,000	73,359	48,486
180	100,000	75,033	52,275

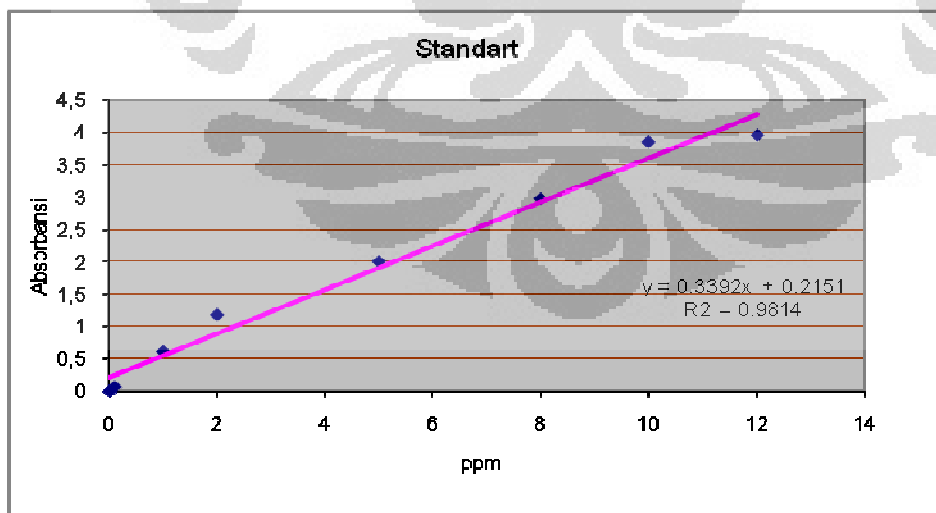


Jika persen adsorpsi tersebut dikonversi menjadi serapan ion logam Cr (VI) per 1 gram biomassa alga terimmobilisasi, maka akan menghasilkan grafik seperti berikut:



Lampiran 12. Bilangan gelombang beberapa gugus fungsi pada daerah infra merah.

Bilangan gelombang (cm^{-1})	Gugus fungsi
3800 - 2700	Ulur O-H, N-H
3030 - 2400	Ulur C-H
1800 - 1200	Ulur C=O
1650 - 1550	Tekuk N-H
1300 - 1200	Tekuk O-H
1300 - 800	Ulur C-O
1000 - 800	Tekuk C-H

Lampiran 13. Kurva kalibrasi ion logam Cr (VI)

Lampiran 14. Cara perhitungan

$$\text{Serapan ion logam Cr (VI) (mg/g)} = \frac{(C_{\text{awal}} \cdot V_{\text{awal}} - C_{\text{akhir}} \cdot V_{\text{akhir}})}{\text{Berat adsorben}}$$

$$\text{Serapan ion logam Cr (VI) (mmol/g)} = \frac{\text{Serapan ion logam Cr (VI) (mg/g)}}{\text{Berat molekul logam Cr}}$$

Keterangan :

- C_{awal} = konsentrasi mula-mula (mg/L)
- C_{akhir} = konsentrasi yang tidak terserap (mg/L)
- Volume = volume larutan ion logam (L)

Contoh:

Pada variasi pH biomassa alga hijau dengan $C_{\text{awal}} = 10 \text{ mg/L}$, $V_{\text{awal}} = 25 \text{ mL}$,
 $V_{\text{akhir}} = 50 \text{ mL}$. Didapatkan absorbansi pada pH 3 = 1,3039

Persamaan kurva kalibrasi ion logam Cr (VI): $y = 0,3392x + 0,2151$

Maka nilai absorbansi disubstitusi ke dalam persamaan sebagai y:

$$y = 0,3392x + 0,2151$$

$$1,3039 = 0,3392x + 0,2151$$

$$x = 3,210$$

Jadi nilai C_{akhir} adalah 3,210 mg/L.

$$\text{Serapan ion logam (mg/g)} = \frac{(C_{awal} \cdot V_{awal} - C_{akhir} \cdot V_{akhir})}{\text{Berat adsorben}}$$

$$= \frac{(10 \text{ mg/L} \times 0,025 \text{ mL}) - (3,210 \text{ mg/L} \times 0,050 \text{ mL})}{0,1 \text{ g}}$$

$$= 0,0895 \text{ mg/g}$$

$$\text{Serapan ion logam (mmol/g)} = \frac{\text{Serapan logam mg/g}}{\text{Ar ion logam Cr}}$$

$$= \frac{0,0895 \text{ mg/g}}{52 \text{ mg/mmol}}$$

$$= 0,01721 \text{ mmol/g} \longrightarrow \text{pada lampiran 7}$$

Lampiran 15. Data Isoterm Langmuir dan Freundlich.

- Biomassa alga hijau

Konsentrasi (mg/L)	m	log m	1/a	c	Log c	1/c
10	2,4886	0,3959	0,4018	0,0456	-1,3410	21,9293
15	3,1426	0,4973	0,3182	2,4294	0,3855	0,4116
25	4,6150	0,6642	0,2167	6,5400	0,8156	0,1529
30	4,4853	0,6518	0,2229	12,0587	1,0813	0,0829
40	5,6389	0,7512	0,1773	17,4444	1,2416	0,0573

- Biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan kalsium alginat

Konsentrasi (mg/L)	m	log m	1/a	c	log c	1/c
10	0,7428	-0,1291	1,3463	1,4136	0,1503	0,7074
15	0,9173	-0,0375	1,0901	4,3958	0,6430	0,2275
25	1,2281	0,0892	0,8142	10,8032	1,0335	0,0926
30	1,2612	0,1008	0,7929	15,4209	1,1881	0,0648
40	1,5821	0,1992	0,6321	21,7112	1,3367	0,0460

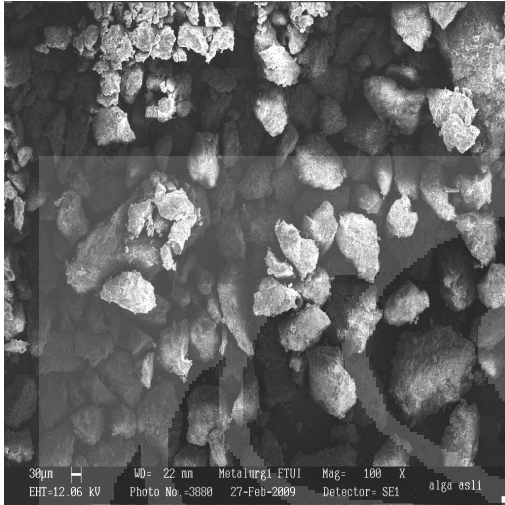
- Kalsium Alginat

Konsentrasi (mg/L)	m	log m	1/a	c	Log c	1/c
10	0,2057	-0,6868	4,8613	8,3976	0,9241	0,1191
15	0,2604	-0,5843	3,8396	12,9711	1,1130	0,0771
25	0,3908	-0,4080	2,5585	21,9553	1,3415	0,0455
30	0,2979	-0,5259	3,3565	27,6791	1,4421	0,0361
40	0,4901	-0,3097	2,0403	36,1820	1,5585	0,0276

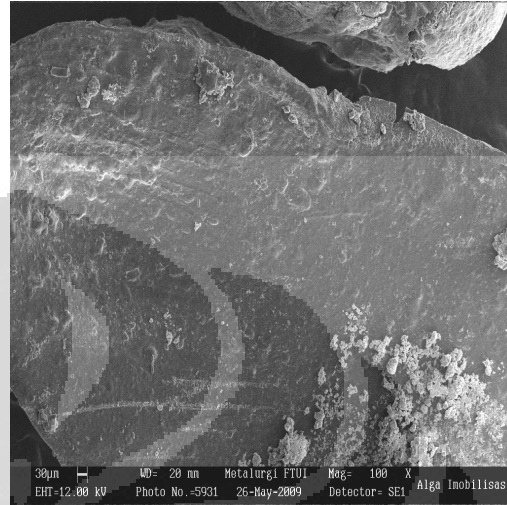
Keterangan :

- m adalah berat ion logam Cr (VI) yang teradsorpsi/berat adsorben (mg/g).
- c adalah konsentrasi zat terlarut setelah tercapai kesetimbangan adsorpsi (mg/L).
- a adalah miligram logam yang terserap per gram adsorben kering.

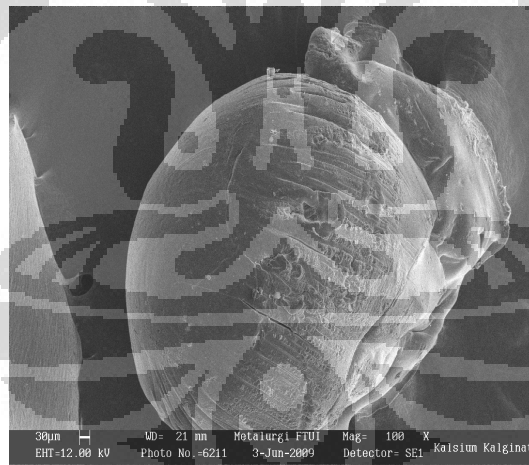
Lampiran 16. Hasil SEM dengan perbesaran 100x



Biomassa alga hijau



Biomassa alga hijau terimmobilisasi



Kalsium alginat