



UNIVERSITAS INDONESIA

**MODIFIKASI ALGA HIJAU SCENEDESMUS.
SpYANGTERIMMOBILISASI PADA POLISULFON SEBAGAI
PENYERAP ION LOGAM Cd²⁺**

SKRIPSI

MOHAMAD FAESAL BAKHRI

0706197023

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI KIMIA
DEPOK
JULI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**MODIFIKASI ALGA HIJAU SCENEDESMUS. Sp YANG
TERIMMOBILISASI PADA POLISULFON SEBAGAI
PENYERAP ION LOGAM Cd²⁺**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

MOHAMAD FAESAL BAKHRI

0706197023

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI KIMIA
DEPOK
JULI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah dinyatakan dengan benar.

Nama : Mohamad Faesal Bakhri

NPM : 0706197023

Tanda Tangan :

Tanggal : 12 Juli 2011



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Mohamad Faesal Bakhri

NPM : 0706197023

Program Studi : Kimia

Judul Skripsi : Modifikasi Alga Hijau *Scenedesmus* sp. yang Terimmobilisasi pada Polisulfon sebagai Penyerap Ion Logam Cd^{2+}

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Kimia Fakultas Matematik dan Ilmu pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Asep Saefumillah, Ph.D

(.....)

Penguji : Prof. Dr. Endang Asijati W, MSc.

(.....)

Penguji : Dr. Herry Cahyana

(.....)

Penguji : Dr. Yoki Yulizar

(.....)

Ditetapkan di : UI Depok

Tanggal : 12 Juli 2011

KATA PENGANTAR

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. Shalawat serta salam kepada Rasullullah Muhammad SAW, yang telah memberikan kabar gembira atas orang sabar tawakal.

Skripsi berjudul “Modifikasi Alga Hijau *Scenedesmus* sp. yang Terimmobilisasi pada Polisulfon sebagai Penyerap Ion Logam Cd^{2+} ”, disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan program studi strata-1 di Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Ucapan terimakasih yang tak terhingga setulus hati ditujukan untuk kedua orang tua yang telah mendukung dan mendoakan penulis dengan tulus, Yusnita istri tercinta yang dengan sabar memberikan semangat dan membantu penulis, serta teman-teman di departemen kimia, Sandra, Sandi, Neny, Ka Dina, Any, Ari dan teman-teman seperjuangan lainnya yang turut serta membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih atas segala bantuan yang diberikan terutama kepada pembimbing penelitian penulis yaitu Asep Saefumillah, Ph.D atas segala masukan, kesabaran dan kebaikan selama membimbing penulis meskipun penulis telah banyak melakukan kesalahan.

Tidak lupa penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. Ridla Bakri serta seluruh dosen di Departemen Kimia yang telah dengan tulus memberikan ilmu dan wawasan kepada penulis yang tak ternilai selama ini.

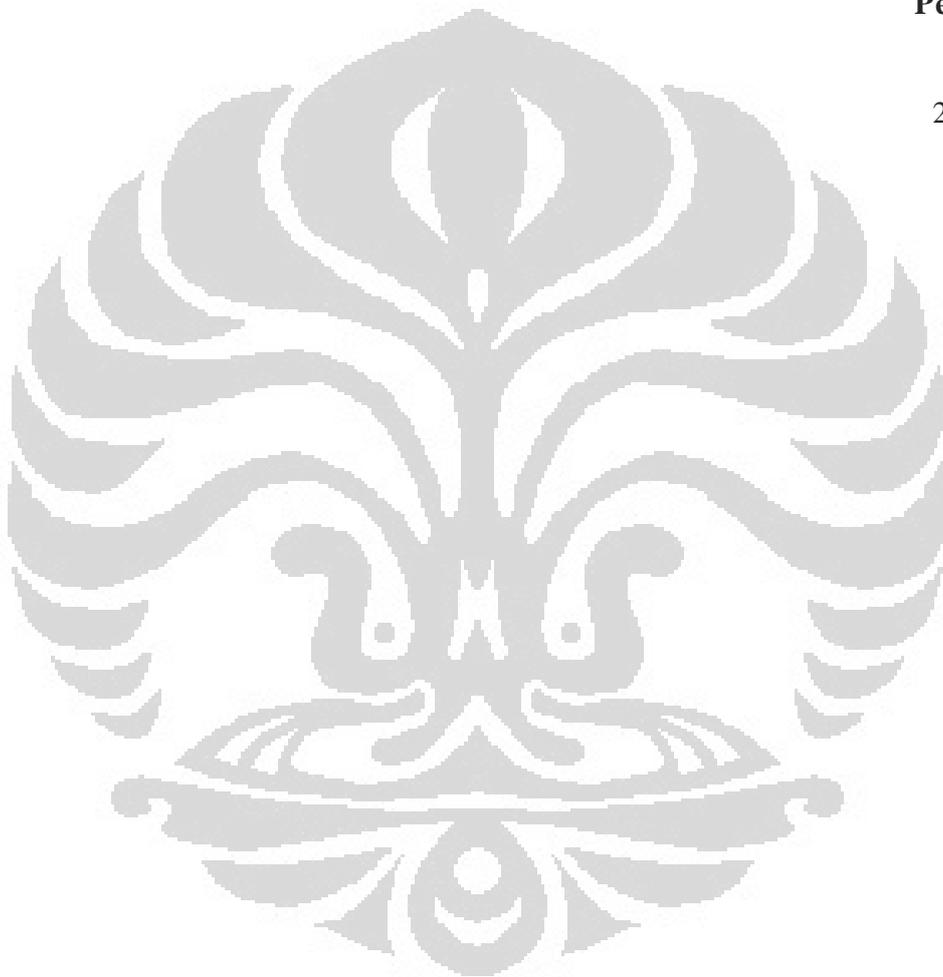
Terimakasih kepada teman-teman di Labkesda serta teman-teman tercinta lainnya serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas semangat dan dukungannya membantu penulis segenap dengan segenap hati.

Penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya karena penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan dan masih banyak kekurangan,

untuk itu penulis menerima segala kritikan dan saran yang membangun agar selanjutnya dapat dilakukan dengan lebih baik. Penulis berharap agar skripsi yang disusun ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.

Penulis

2011



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mohamad Faesal Bakhri
NPM : 0706197023
Program Studi : Sarjana S1 Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Non Eksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

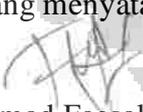
*“Modifikasi Alga Hijau *Scenedesmus. sp* yang Terimmobilisasi pada Polisulfon sebagai Penyerap Ion Logam Cd^{2+} ”*

Bersama perangkat yang ada (jika diperlukan), dengan Hak Bebas Royalti ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media / formatkan, mengelola dalam pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : UI Depok
Pada tanggal : 12 Juli 2011

Yang menyatakan


(Mohamad Faesal Bakhri)

ABSTRAK

Nama : Mohamad Faesal Bakhri
Program Studi : Kimia
Judul : Modifikasi Alga Hijau *Scenedesmus* sp. yang Terimmobilisasi pada Polisulfon sebagai Penyerap Ion Logam Cd^{2+}

Biomassa alga hijau telah diketahui mempunyai kemampuan menyerap ion-ion logam berat seperti Cd^{2+} . Namun kemampuan alga dalam menyerap ion logam berat dibatasi oleh beberapa kelemahan seperti mudah rusak karena degradasi oleh mikroorganisme dan oleh asam, ukurannya yang sangat kecil, dan berat jenisnya yang rendah. Untuk mengatasinya maka dilakukan immobilisasi pada suatu material atau zat agar alga hijau tersebut mempunyai ketahanan fisik yang baik serta meningkatkan kemampuannya dalam mengadsorpsi logam berat Cd^{2+} . Untuk tujuan tersebut penulis melakukan immobilisasi alga hijau pada polisulfon agar diperoleh struktur yang lebih stabil, selain itu polisulfon juga telah diketahui mempunyai kemampuan adsorpsi yang serupa. Kombinasi antara alga hijau dan polisulfon diharapkan dapat meningkatkan kemampuan adsorpsinya. Untuk itu dilakukan variasi-variasi percobaan untuk optimasi adsorpsinya. Biomassa alga hijau, biomassa alga hijau terimmobilisasi, serta polisulfon yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan FTIR. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pH optimumnya adalah antara pH 7 hingga pH10 dengan waktu kontak antara 120 hingga 180 menit dan konsentrasi logam hingga 20 ppm. Temu balik ion logam Cd^{2+} dilakukan dengan menggunakan variasi konsentrasi HNO_3 serta lamanya waktu kontak.

Kata Kunci : adsorpsi, biomassa alga, kadmium, polisulfon, *alga bloom*, logam berat.

xiv+67 halaman; 19 gambar; 8 tabel

Daftar Pustaka : 41 (1982-2011)

ABSTRACT

Name : Mohamad Faesal Bakhri
Program Study : Chemistry
Title : Modification of Green Algae *Scenedesmus* sp. Immobilized on to Polysulfone as Metal Ion Cd^{2+} Adsorbent.

Biomass of green algae *Scenedesmus* sp. has been known to have the ability to adsorb heavy metal ions such as Cd^{2+} . However, the ability of algae to adsorb heavy metal ions is limited by some disadvantages such as easily damaged due to degradation by microorganisms and by the acid, very small size, and the density is low. To handle these disadvantages, green algae immobilized on a material or substance to have good physical endurance and improve its ability to adsorb heavy metals Cd^{2+} . For this purpose the authors immobilized green algae on the polysulfone in order to obtain a more stable structure, other than polysulfone has also been known to have similar adsorption capacity. The combination of green algae and polysulfone are expected to increase the adsorption capacity. For that variation of experiments is carried out for optimization of adsorption. Biomass of green algae, immobilized green algae biomass, and polysulfone produced were characterized using FTIR. From the results showed that the optimum pH is between pH 7 to pH 10 with the contact time between 120 to 180 minutes and the concentration of metal up to 20 ppm. The recovery of the metal ions Cd^{2+} is done by using a variation of HNO_3 concentration and duration of contact time.

Key Words : adsorption, algae biomass, cadmium, polysulfone, algae bloom, heavy metals.

xiv+67 pages ; 19 pictures ; 8 tables

Bibliography : 41 (1982-2011)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR ISTILAH.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Hipotesis.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Alga	5
2.1.1 Alga Hijau (<i>Scenedesmus Sp.</i>).....	6
2.2 Logam Berat	9
2.3 Immobilisasi	10
2.3.1 Immobilisasi pada zat pendukung yang inert	11
2.3.2 Menggunakan matriks pendukung.....	11
2.3.2.1 Melalui perangkap dalam matriks polimerik	11
2.3.2.2 Melalui ikatan kovalen dengan senyawa vektor	11
2.3.2.3 Melalui <i>Cross-link</i>	11
2.4 Polisulfon	12
2.5 Biosorpsi.....	13
2.6 Isoterm Adsorpsi	15
2.6.1 Isoterm Adsorpsi Langmuir.....	16
2.6.2 Isoterm Adsorpsi Freundlich	17
2.7 Spektrofotometer Serapan Atom.....	17
2.8 Fourier Transform Infra Red (FTIR).....	19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Alat dan Bahan	21
3.1.1 Alat	21
3.1.2 Bahan	21
3.2 Instrumen	21
3.3 Prosedur Kerja.....	21
3.3.1 Preparasi Biomassa Alga	21
3.3.2 Immobilisasi Biomassa Alga.....	22
3.3.3 Perlakuan Percobaan Variasi Ph	22
3.3.4 Perlakuan Percobaan Variasi Waktu	22
3.3.5 Perlakuan Percobaan Variasi Konsentrasi.....	22

3.3.6	Perlakuan Percobaan untuk Variasi Suhu.....	23
3.3.7	Perlakuan Percobaan untuk Temu balik	23
3.3.8	Perlakuan untuk Pengukuran FTIR	23
3.4	Bagan Kerja	24
3.4.1	Bagan Kerja Secara Umum	24
3.4.2	Preparasi Biomassa Alga	24
3.4.3	Immobilisasi Biomassa Alga	25
3.4.4	Perlakuan Percobaan Variasi pH.....	25
3.4.5	Perlakuan Percobaan Variasi Waktu	25
3.4.6	Perlakuan Percobaan Variasi Konsentrasi.....	26
3.4.7	Perlakuan Percobaan Variasi Suhu	26
3.4.8	Perlakuan Percobaan untuk Temu balik	26
3.4.9	Pengujian FTIR	27
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1	Preparasi Biomassa Alga Hijau	28
4.2	Immobilisasi Biomassa Alga Hijau Pada Polisulfon	29
4.3	Perlakuan Percobaan Variasi pH	30
4.4	Perlakuan Percobaan Variasi Waktu	34
4.5	Perlakuan Percobaan Variasi Konsentrasi	35
4.6	Perlakuan Percobaan Variasi Suhu	40
4.7	Perlakuan Percobaan Temu balik	42
4.8	Pengujian FTIR.....	44
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	54

DAFTAR TABEL

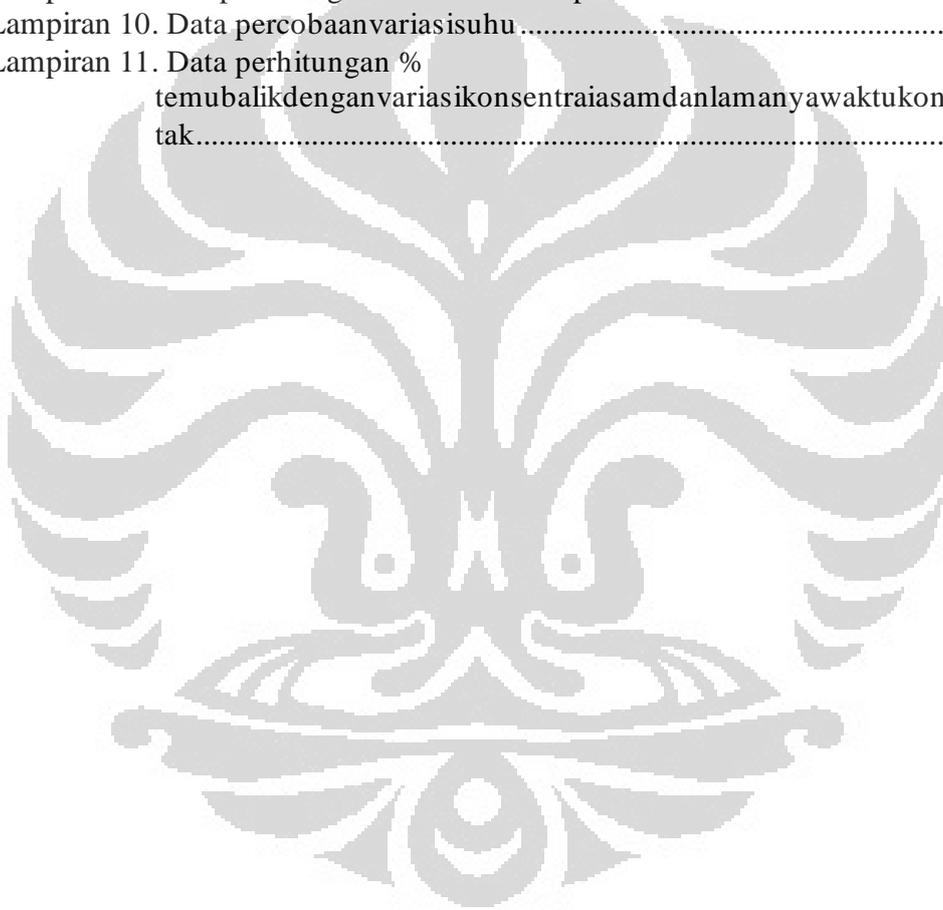
Tabel 4.1 Pengaruh pH terhadap % Adsorpsi logam Cd^{2+} pada alga dan alga terimmobilisasi	32
Tabel 4.2 Pengaruh variasi waktu terhadap % Adsorpsi logam Cd^{2+} pada alga, polisulfon dan alga terimmobilisasi	34
Tabel 4.3 Adsorpsi (mg/g) ion logam Cd^{2+} terhadap alga dan alga terimmobilisasi pada polisulfon.....	35
Tabel 4.4 Nilai koefisien korelasi (R^2), kapasitas adsorpsi maksimum (a_m), dan afinitas serapan (k) logam Cd^{2+}	38
Tabel 4.5 Nilai koefisien korelasi (R^2), kapasitas adsorpsi maksimum (n), dan afinitas serapan (k) logam Cd^{2+}	39
Tabel 4.6 % Adsorpsi pada percobaan pengaruh suhu ($^{\circ}C$) larutan untuk biomassa alga, polisulfon dan alga terimmobilisasi.....	40
Tabel 4.7% Temu balik ion logam Cd^{2+} pada alga hijau yang terimmobilisasi pada polisulfon.....	42
Tabel 4.8% Temu balik ion logam Cd^{2+} pada alga hijau yang terimmobilisasi pada polisulfon.....	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alga Hijau (<i>Scenedesmus sp.</i>).....	7
Gambar 2.2 Alga Hijau pada situ Agathis Universitas Indonesia	8
Gambar 2.3 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.	9
Gambar 2.4 Struktur Polisulfon $[\text{OC}_6\text{H}_4\text{C}_3\text{H}_6\text{C}_6\text{H}_4\text{OC}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{C}_6\text{H}_4]_n$	12
Gambar 2.5 Skema alat AAS	19
Gambar 4.1 Proses Budidaya Alga.....	28
Gambar 4.2 Alga yang telah dikeringkan.....	29
Gambar 4.3 (a) Alga-polisulfon beads yang sudah jadi, (b) Polisulfon beads.....	30
Gambar 4.4 Teknik percobaan yang dilakukan untuk pengontakkan biomassa dengan larutan logam	31
Gambar 4.5 Grafik % adsorpsi ion logam Cd^{2+} oleh biomassa alga hijau dan biomassa alga terimmobilisasi dengan variasi pH.....	32
Gambar 4.6 Perbedaan warna larutan pada saat percobaan dilakukan.....	33
Gambar 4.7Grafik % adsorpsi ion logam Cd^{2+} oleh biomassa alga hijau dan biomassa alga terimmobilisasi dengan variasi waktu	34
Gambar 4.8Grafik adsorpsi ion logam Cd^{2+} (mg/g) oleh alga hijau dan alga terimmobilisasi dengan variasi konsentrasi.....	36
Gambar 4.9 Grafik adsorpsi isoterm Langmuir (a) biomassa alga hijau dan (b) biomassa alga hijau terimmobilisasi	37
Gambar 4.10Grafik adsorpsi isoterm Freindlich (a) biomassa alga hijau dan (b) biomassa alga hijau terimmobilisasi	39
Gambar 4.11 Gambar perlakuan untuk percobaan variasi suhu	40
Gambar 4.12 Grafik perbandingan % adsorpsi terhadap suhu larutan	41
Gambar 4.13Diagram % temu balik(a) biomassa alga yang terimmobilisasi dan (b) polisulfon dengan variasi waktu dan konsentrasi asam	43
Gambar 4.14Spektrum FTIR alga dan alga terimmobilisasi.....	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Cara perhitungan konsentrasi	54
Lampiran 2. Cara perhitungan % Adsorpsi.....	56
Lampiran 3. Cara perhitungan adsorpsi per bobotbiomassa (mg/g).....	57
Lampiran 4. Cara perhitungan isotherm adsorpsi Langmuir	58
Lampiran 5. Cara perhitungan isotherm adsorpsiFreundlich	60
Lampiran 6. Data percobaanvariasi pH.....	61
Lampiran 7. Data percobaanvariasiwaktu	62
Lampiran 8. Data percobaanvariasikonsentrasi	63
Lampiran 9. Data perhitungan isotherm adsorpsi.....	64
Lampiran 10. Data percobaanvariasisuhu	65
Lampiran 11. Data perhitungan % temubalikdenganvariasikonsentraiasamdanlamanyawaktukon tak.....	66



DAFTAR ISTILAH

Green science	: kosakatabahasainggris yang mengacupadapemanfaatanilmupengetahuandanteknologi ntukpelestarianlingkungan
Bead(s)	: manik-manik, butiran-butiran
Biofuel	: bahanbakarminyakselaendariminyakbumi,berasaldaripeng olahantumbuhanmaupunhewan.
Blocking agent	: zatatausenyawa yang dapatmencegahreaksitertentu.
Recovery	: upayapemanfaatanlimbah agar dapatdigunakankembali
Blooming algae	: pertumbuhan alga yang sangatpesathinggamenutupiseluruhlapisanpermukaanperairan.
Eutrofik	: kondisiperairan yang kaya akanunsurhara.



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dewasa ini menunjukkan kecenderungan yang mengarah pada *green science* dimana merupakan salah satu bentuk reformasi ilmu pengetahuan untuk membantu pelestarian lingkungan hidup dengan mengaplikasikan sumber daya ramah lingkungan. Hal itulah sebagai salah satu alasan yang mendorong upaya penguasaan ilmu pengetahuan untuk mengatasi masalah - masalah lingkungan yang dilaksanakan melalui penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan.

Salah satu pengkajian *green science* yang menarik adalah penggunaan biomasa yang dapat diaplikasikan untuk berbagai keperluan seperti *biofuel* (Triantoro, Koko. 2008) dan sebagai penyerap ion logam berat. Penelitian kali ini difokuskan pada fungsi biomasa alga sebagai penyerap ion logam berat yang dihasilkan oleh proses-proses industri yang dapat mencemari lingkungan dan berbahaya bagi kesehatan. Material yang digunakan ini adalah *biomasa alga* yang banyak terdapat di alam khususnya ekosistem perairan, dimana dengan sedikit modifikasi diharapkan dapat meningkatkan efek serapnya. Berbagai penelitian mengenai hal ini telah dilakukan sebelumnya dan menunjukkan hasil yang cukup efektif sebagai penyerap ion logam berat.

Penelitian mengenai studi awal pemanfaatan alga hijau sebagai biosorben ion logam Cd^{2+} , Zn^{2+} dan Cr^{3+} yang meneliti tentang pemanfaatan biomassa campuran alga mati yang berasal dari situ Agathis Universitas Indonesia sebagai biosorben ion logam. Selanjutnya penelitian ini berkembang dan menghasilkan studi biosorpsi ion logam Cd^{2+} oleh alga termodifikasi (Wulandari, Diah. 2008) yang meneliti tentang pemanfaatan biomassa campuran alga mati yang berasal dari situ Agathis Universitas Indonesia dengan ditambahkan zat pemodifikasi menggunakan EDTA dan asam oksalat sebagai biosorben ion logam Cd^{2+} . Selanjutnya (Susanti, Tri. 2009) melakukan penelitian lanjutan dan menghasilkan studi biosorpsi ion logam Cd^{2+} oleh alga termodifikasi yang meneliti tentang

pemanfaatan biomassa campuran alga hijau yang berasal dari situ Agathis Universitas Indonesia dengan ditambahkan zat pemodifikasi menggunakan kalsium alginat sebagai biosorben ion logam Cr^{6+} .

Torresdey, et. al. (1990), mengesterifikasi gugus karboksil dari lima spesies alga yang berbeda, dengan menggunakan metanol dalam keadaan asam. Keleluasaan esterifikasi dipantau dengan menganalisa jumlah metanol yang dibebaskan dalam sampel yang dihidrolisis menggunakan kromatografi gas. Pengaruh dan keluasaan esterifikasi terhadap pengikatan tembaga (II) oleh biomassa ditentukan pada pH 5,0 dan 2,0. Kapasitas pengikatan emas (III) meningkat dengan tajam karena esterifikasi gugus karboksil. Hasil ini menunjukkan bahwa gugus karboksil pada sel alga berperan sebagai inhibitor dalam pengikatan emas (III).

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

Mawardi. (2000), telah meneliti biosorpsi logam timbal (II) oleh biomassa alga hijau yang merupakan campuran dari spesies *Oedogonium gigiantium* dan *Cladophora glomerata* mati. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa kira-kira 63,6% dari total serapan terjadi pada 2,5 menit pertama waktu kontak. Penyerapan meningkat dengan tajam pada jangkang pH 2,0 dan 3,0 dan penyerapan meningkat secara linier sebagai fungsi dari konsentrasi ion timbal (II) sampai 200 mg/L. Kapasitas serapan maksimum yang diperoleh adalah 19,53 mg Pb/g. Keberadaan masing-masing kation Ca^{2+} , Cu^{2+} , dan Ag^{+} bersama-sama dengan kation Pb^{2+} dalam larutan menyebabkan turunannya jumlah logam timbal yang terserap masing-masing 4,8%; 14,9% dan 6,5% dari jumlah maksimum serapan, sedangkan pengaruh perlakuan biomassa dengan reagen pemodifikasi asetat anhidrida, glikol dan metanol 99,9% masing-masing menyebabkan berkurangnya

jumlah logam timbal yang terserap oleh biomassa masing-masing adalah 12,8 %; 45,2 % dan 30,9% dari jumlah maksimum serapan.

Yin, et. al. (2001), telah meneliti sifat adsorpsi dan desorpsi kadmium (II) dari larutan menggunakan biomassa alga laut *Laminaria japonica*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kapasitas penyerapan tergantung pada pH larutan dan kapasitas maksimum penyerapan sekitar 1,3 mmol/g berat kering pada pH 6. Kadmium tidak teradsorpsi dengan air destilat, tetapi efektif teradsorpsi dengan larutan asam atau EDTA. Kesetimbangan isoterm dapat digambarkan dengan baik dengan persamaan adsorpsi Langmuir. Perlakuan pendahuluan biomassa dengan larutan kalsium memperlihatkan peningkatan kapasitas penyerapan (sekitar 30%). Kinetika perendaman memperlihatkan bahwa biomassa *L. japonica* dapat digunakan sebagai biosorben yang efisien untuk memindahkan dan memperoleh kembali kadmium (II) dari aliran limbah cair.

Triani, (2006). telah meneliti kontribusi gugus fungsi karboksilat, amino dan thiol yang terdapat pada biomassa *Chlorella*, dalam menyerap logam. Dalam penelitian digunakan 1-etil-3-(2-dimetilaminopropil) karbodiimida hidroklorida (EDC), glutaraldehid dan N-maleimida sebagai *blocking agent*, masing-masing untuk gugus asam karboksilat, gugus amina dan thiol.

Aplikasi lebih luas dari penelitian ini, dapat digunakan dalam proses pengolahan limbah cair, dimana ion-ion logam berat dapat terikat pada biomassa alga yang telah termodifikasi, sehingga dapat mengurangi kadar logam berat dalam limbah yang akan dialirkan ke perairan umum.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Pada penelitian ini akan dilakukan immobilisasi biomassa alga hijau pada polisulfon serta mempelajari efek immobilisasi tersebut terhadap penyerapan ion logam Cd^{2+} dalam larutan dengan cara membandingkannya dengan penyerapan ion logam Cd^{2+} oleh biomassa alga hijau yang tidak diimmobilisasi serta dengan polisulfon itu sendiri. Selama ini telah diketahui bahwa biomassa alga hijau dapat menyerap ion-ion logam berat, namun kemampuan alga dalam menyerap ion-ion logam sangat dibatasi oleh beberapa kelemahan seperti ukurannya yang sangat kecil, berat jenisnya yang rendah dan mudah rusak karena degradasi oleh

mikroorganisme lain. 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 polisulfon. Logam Cd^{2+} dipilih karena logam tersebut merupakan salah satu logam yang sangat toksik. Dari penelitian ini akan diketahui efektivitas penyerapan logam Cd^{2+} oleh biomassa alga hijau yang diimmobilisasi, alga hijau yang tidak diimmobilisasi serta material polisulfon itu sendiri. Selain itu, dari penelitian ini akan diketahui kondisi optimum yang dibutuhkan untuk proses penyerapan ion logam Cd^{2+} tersebut. Variasi yang digunakan yaitu variasi pH, variasi waktu kontak, serta variasi konsentrasi.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk:

1. Mempelajari tehnik immobilisasi biomassa alga hijau pada polisulfon.
2. Mempelajari pengaruh konsentrasi, pH, waktu dan suhu terhadap efisiensi adsorpsi oleh alga yang diimmobilisasi pada polisulfon terhadap logam Cd^{2+} .
3. Mempelajari temu balik ion logam Cd^{2+} yang sudah terserap oleh alga-polisulfon agar dapat digunakan kembali.

1.4 HIPOTESIS

Hipotesis dalam penelitian ini adalah:

1. Biomassa alga hijau yang telah terimmobilisasi pada polisulfon dapat menghasilkan struktur yang lebih stabil dalam asam
2. Adsorpsi ion logam Cd^{2+} dipengaruhi oleh pH larutan, waktu kontak, dan konsentrasi ion logam Cd^{2+} .
3. Biomassa alga hijau yang diimmobilisasi dengan polisulfon dapat menghasilkan serapan ion logam yang lebih tinggi dibandingkan dengan alga hijau tanpa immobilisasi.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Alga

Vashishta dkk. (2004), Secara umum habitat alga adalah pada lingkungan perairan baik itu air tawar maupun air laut. Pada air tawar, alga biasanya melimpah pada kolam, danau, sungai dan waduk. Alga hidup dengan cara mengapung, melayang atau pada dasar air yang dangkal. Namun, ada juga yang memiliki habitat di lingkungan daratan. Beberapa tempat di lingkungan daratan yang menjadi habitat alga diantaranya tanah lembab, batang kayu, atau bahkan pada batu.

Putra. (2003), Berdasarkan berbagai penelitian diketahui bahwa berbagai spesies alga dari habitat perairan baik itu makroalga maupun mikroalga, dalam keadaan hidup, biomassa mati maupun biomassa terimmobilisasi memiliki kemampuan mengadsorpsi ion logam. Ini berarti alga tersebut memiliki kemungkinan untuk dimanfaatkan sebagai biosorben (material biologi penyerap logam berat) dalam pengolahan air limbah di industri.

Keuntungan pemanfaatan alga dalam bentuk biomassa mati sebagai biosorben dikarenakan kemampuannya yang cukup tinggi dalam mengadsorpsi logam berat. Kemampuan tersebut dimiliki karena di dalam alga terdapat gugus fungsi yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam (Putra, 2003:2). Gugus fungsi tersebut terutama gugus karboksil, hidroksil, amina, sulfidril, imidazol, sulfat dan sulfonat yang terdapat dalam dinding sel (Al-Rub et al., 2006:458; Putra, 2003:2; Suhendrayatna, 2001:5). Dinding sel alga hijau-biru, seperti *Mastigocladus laminosus*, sangat efektif mengikat logam berat (Tjandra, 2006:1).

Menurut Al-Rub et al., (2006:458); Ahalya et al., (2003:73); Putra (2003:2) dan Suhendrayatna (2001:5), dinding sel dari sebagian besar biosorben terdiri dari lipid, polisakarida dan protein. Pada dinding tersebut terdapat kelompok fungsional yang berbeda seperti imidazol, tioeter, karboksil, hidroksil,

karbonil, fosfat, fenolik dan lain-lain yang dapat membentuk koordinasi kompleks dengan ion logam.

Hal yang sama juga dikemukakan oleh Donmez et al., (1999:886).

Disebutkan bahwa biomassa mikroalga telah banyak digunakan sebagai agen biosorpsi karena mikroalga menggunakan cahaya sebagai sumber energinya, memiliki gugus fungsional tertentu dan melakukan metabolisme sendiri. Selain kemampuan tersebut, alga mudah didapat dan tersedia dalam jumlah banyak, biaya operasional yang murah, dan tidak perlu nutrisi tambahan.

2.1.1 Alga Hijau (*Scenedesmus sp.*)

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 (Putra. 2006).

Scenedesmus pada gambar 2.1 adalah, mikroalga kecil nonmotile kolonial yang terdiri dari sel-sel sejenis berbentuk silindris. Koloni-koloni yang paling sering ada dua atau empat sel, kadang ada yang 8 atau 16 dan kadang-kadang uniseluler (Triantoro. 2008).



Gambar 2.1 Alga Hijau (*Scenedesmus sp.*)

(sumber: http://plantphys.info/plant_biology/labaid/images/scenedesmus.jpg)

Domain : Eukaryota
 Kingdom : Plantae
 Phylum : Chlorophyta
 Class : Chlorophyceae
 Order : Chlorococcales
 Family : Scenedesmaceae
 Genus : *Scenedesmus*

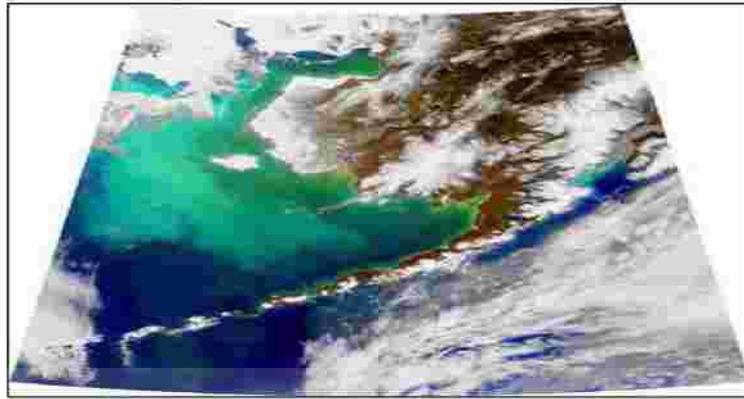
Alga merupakan tumbuhan yang belum mempunyai akar, batang dan daun yang sebenarnya, tetapi sudah memiliki klorofil sehingga sifat autotrof. Tubuhnya terdiri atas satu sel (uniseluler) dan ada pula yang banyak sel (multiseluler). Alga uniseluler umumnya hidup sebagai fitoplankton, sedangkan yang multiseluler dapat hidup sebagai nekton, bentos atau perifiton (Jeffers et. Al. 1991).

Alga dapat terbentuk secara alami atau diakselerasi oleh nutrisi yang berasal dari berbagai sumber eksternal. Masuknya unsur-unsur nutrisi tanaman yang berasal dari limbah, seperti fosfor dan nitrogen yang merupakan penyumbang utama terjadinya eutrofikasi, yang ditandai dengan terjadinya *blooming algae* (Saefumillah. 2008).

Kondisi eutrofik sangat memungkinkan bagi alga untuk tumbuh berkembang biak dengan pesat (*blooming*) akibat ketersediaan fosfor yang berlebihan serta kondisi lain yang memadai. Hal ini bisa dikenali dengan warna air yang menjadi kehijauan, berbau tak sedap, dan kekeruhannya yang menjadi semakin meningkat (gambar 2.2) (Saefumillah. 2008). Kualitas air di banyak ekosistem air menjadi sangat menurun. Rendahnya konsentrasi oksigen terlarut, bahkan sampai batas nol, menyebabkan makhluk hidup air seperti ikan dan spesies lainnya tidak bisa tumbuh dengan baik sehingga akhirnya mati. Hilangnya ikan dan hewan lainnya dalam mata rantai ekosistem air menyebabkan terganggunya keseimbangan ekosistem air. Permasalahan lainnya, cyanobacteria (blue-green algae) diketahui mengandung toksin sehingga membawa risiko kesehatan bagi manusia dan hewan. *Algae bloom* juga menyebabkan hilangnya nilai konservasi, estetika, rekreasional, dan pariwisata sehingga dibutuhkan biaya sosial dan ekonomi yang tidak sedikit untuk mengatasinya (Wulandari. 2008).



Gambar 2.2 Alga Hijau pada situ Agathis Universitas Indonesia (Wulandari. 2008)



Gambar 2.3 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

Pallar, (1994). Logam berat sebenarnya masih termasuk golongan logam dengan kriteria yang sama dengan logam lain. Perbedaannya terletak dalam pengaruh yang dihasilkan apabila logam berat ini berikatan dan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup. Sebagai contoh, apabila unsur logam tembaga (Cu), apabila masuk ke dalam tubuh dalam jumlah yang berlebihan akan menimbulkan pengaruh buruk terhadap fisiologi tubuh.

Pallar, (1994). Kelompok logam berat memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

1. Memiliki berat jenis yang sangat besar (> 4)
2. Mempunyai nomor atom 22-34 dan 40-50 serta unsur lantanida dan aktinida
3. Mempunyai respon biokimia spesifik pada organisme hidup

Niebor dan Richardson menggunakan istilah logam berat untuk menggantikan pengelompokan logam dalam tiga kelompok biologi dan kimia (biokimia), pengelompokan tersebut adalah (Pallar, (1994):

1. Kelompok yang mudah mengalami reaksi kimia apabila bertemu dengan unsur oksigen atau disebut juga dengan *oxygen seeking metal*.
2. Logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia apabila bertemu dengan unsur nitrogen dan atau belerang, atau disebut juga nitrogen *sulphur seeking metal*.

3. Logam antara atau logam transisi yang memiliki sifat khusus atau spesifik sebagai logam pengganti (ion pengganti) untuk logam atau ion logam dari kelas A dan logam dari kelas B pada tabel periodik unsur.

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

Logam-logam berat memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai.
2. Mudah terakumulasi dalam sedimen, sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam dalam air. Disamping itu sedimen mudah tersuspensi karena pergerakan massa air akan melarutkan kembali logam yang dikandungnya di dalam air, sehingga sedimen menjadi sumber pencemaran potensial pada skala waktu tertentu.

2.3 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 (Susanti, 2008).

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 (Susanti, 2009).

Ada beberapa aplikasi yang tersedia untuk immobilisasi biomassa. Teknik-teknik utama yang tersedia pada literatur adalah berdasarkan pada adsorpsi pada zat pendukung yang inert serta menggunakan matriks pendukung (Wulandari, 2008).

2.3.1 Immobilisasi pada zat pendukung yang inert

Zat pendukung dimasukkan sebelum proses sterilisasi dan inokulasi dengan 'starter' dan dibiarkan di dalam untuk pembiakan selanjutnya sampai terbentuk lapisan tipis dari mikroorganisme yang terlihat jelas pada permukaan zat pendukung (Putra, 2007). Contohnya, karbon aktif yang digunakan sebagai zat pendukung untuk biofilm *Enterobacter aerogens*.

2.3.2 Menggunakan matriks pendukung

Syarat suatu bahan menjadi matriks pendukung antara lain (Putra, 2007):

1. Memiliki sisi aktif terutama mengandung gugus aktif yang reaktif
2. Mempunyai permukaan yang luas
3. Memiliki kapasitas pengikatan yang tinggi
4. Mempunyai daya tahan yang baik terhadap perubahan-perubahan pelarut kimia

Penggunaan matriks pendukung ini dibagi menjadi tiga bagian.

2.3.2.1 Melalui perangkap dalam matriks polimerik

Polimer yang biasa digunakan adalah, Kalsium alginat, poliakrilamid, polisulfon, dan polietilenimin (Putra, 2007).

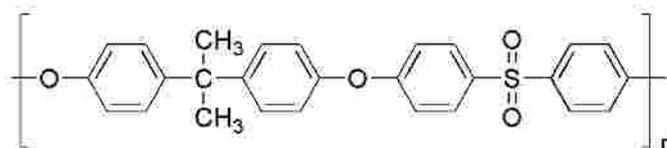
2.3.2.2 Melalui ikatan kovalen dengan senyawa vektor

Senyawa vektor (pembawa) yang umum digunakan adalah si ika gel (Putra, 2007).

2.3.2.3 Melalui Cross-link

Penambahan zat yang dapat menyebabkan cross link bertujuan untuk membentuk agregat sel yang stabil. Zat yang umum digunakan adalah formaldehid, glutaraldialdehid, divinilsulfo, dan campuran formaldehid-urea (Putra, 2007).

2.4 Polisulfon



Gambar 2.4 Struktur Polisulfon $[OC_6H_4C(CH_3)_2C_6H_4OC_6H_4SO_2C_6H_4]_n$
(<http://en.wikipedia.org/wiki/Polysulfone>)

David, et. Al. (2002). Polisulfon adalah polimer yang banyak digunakan sebagai bahan dasar pembuatan membran. Hal ini dikarenakan memiliki ketahanan yang baik terhadap temperatur tinggi, rentang pH yang lebar 1 – 13, memiliki resistansi yang baik terhadap klorin, serta mudah dipabrikasi. Polisulfon merupakan golongan polimer termoplastik. Polimer ini mengandung subunit aril-SO₂-aril, menggambarkan fitur yang merupakan sulfon grup. Polisulfon diperkenalkan pada tahun 1965 oleh Union Carbide.

Produksi polisulfon dihasilkan oleh reaksi di-fenol dan bis (4-chlorophenyl) sulfon, membentuk polieter dengan eliminasi klorida^[18]:



Difenol biasanya adalah bisphenol-A atau, seperti yang ditunjukkan di atas, 1,4-dihydroxybenzene. Reaksi polimerisasi semacam ini memerlukan monomer sangat murni untuk menjamin produk-produk yang dihasilkan memiliki berat molekul tinggi (David, et. Al. 2002).

Sifat Kimia dan Fisik. Polimer ini kaku, kekuatan-tinggi, dan transparan, mempertahankan sifat-sifatnya antara -100 °C dan 150 °C. Memiliki stabilitas dimensi yang sangat tinggi; ukuran berubah bila terkena air mendidih atau uap dengan suhu hingga 150 °C umumnya turun di bawah 0,1%. Temperatur transisi gelas adalah 185 °C. Polisulfon sangat tahan terhadap asam mineral, alkali, dan elektrolit, pada pH berkisar 2-13. Polisulfon tahan terhadap oksidasi agen, sehingga dapat dibersihkan dengan pemutih. Juga tahan terhadap surfaktan dan hidrokarbon minyak. Tidak tahan terhadap pelarut organik kepolaran rendah (keton dan diklorinasi hidrokarbon), dan hidrokarbon aromatik. Mekanismenya pemadatan polisulfon memiliki resistensi tinggi, merekomendasikan penggunaannya di bawah tekanan tinggi. Stabil dalam asam dan basa berair dan

banyak pelarut non-polar, namun larut dalam diklorometana dan methylpyrrolidone. Polyethersulfon (PES) merupakan polimer yang serupa dengan retensi protein rendah (David, et. Al. 2002).

2.5 Biosorpsi

Biosorpsi adalah proses penyerapan logam dengan menggunakan biomassa yang tidak aktif atau mati dan mudah didapat untuk memisahkan logam-logam berat dari larutan encernya dalam air.

Seperti telah diketahui bahwa biosorben merupakan materi biologis yang digunakan dalam proses penyerapan logam dari suatu larutan (Alluri et al., 2007:2925). Biosorben yang digunakan dalam proses biosorpsi dapat berasal dari bakteri, alga, jamur, ragi dan tanaman (Alluri et al., 2007:2926).

Menurut Al-Rub et al., (2006:458); Ahalya et al., (2003:73); Putra (2003:2) dan Suhendrayatna (2001:5), dinding sel dari sebagian besar biosorben terdiri dari lipid, polisakarida dan protein. Pada dinding tersebut terdapat kelompok fungsional yang berbeda seperti imidazol, tioeter, karboksil, hidroksil, karbonil, fosfat, fenolik dan lain-lain yang dapat membentuk koordinasi kompleks dengan ion logam.

Biosorben yang digunakan dapat berupa biomassa hidup maupun biomassa mati (Al-Rub et al., 2006:458; Ahalya et al., 2003:72). Menurut Ahalya et al., (2003:72), biomassa mati mengikat ion logam secara adsorpsi pada permukaan selnya dengan kapasitas yang besar dibandingkan dengan pertukaran ion. Berdasarkan penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa teknologi biosorpsi dengan menggunakan biomassa mati melalui pengikatan oleh dinding sel lebih sesuai untuk tujuan teknologi daripada menggunakan organisme hidup.

Umumnya, penyerapan ion logam berat oleh *Cyanobacteria* dan mikroorganisme terdiri atas dua mekanisme yang melibatkan proses *active uptake* (bioakumulasi) dan *passive uptake* (biosorpsi)(Gadd. 1990).

Active uptake dapat terjadi pada berbagai tipe sel hidup. Mekanisme ini secara simultan terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan mikroorganisme, dan/atau akumulasi intraselular ion logam tersebut. Logam berat dapat juga diendapkan pada proses metabolisme dan sekresi sel pada tingkat

kedua. Proses ini tergantung dari energi yang terkandung dan sensitivitasnya terhadap parameter yang berbeda seperti pH, suhu, kekuatan ikatan ionik, cahaya dan lainnya. Sehingga proses ini dapat pula dihambat oleh suhu rendah, tidak tersedianya sumber energi dan penghambat metabolisme sel. Di sisi lain, penyerapan logam berat dengan sel hidup ini terbatas dikarenakan oleh akumulasi ion yang menyebabkan racun terhadap mikroorganisme. Hal ini biasanya dapat menghalangi pertumbuhan mikroorganisme disaat keracunan terhadap ion logam tercapai. Mikroorganisme yang tahan terhadap efek racun ion logam akan dihasilkan berdasarkan prosedur seleksi yang ketat terhadap pemilihan jenis mikroorganisme yang tahan terhadap kehadiran ion logam berat (Gadd. 1990).

Passive uptake dikenal dengan istilah proses biosorpsi. Proses ini terjadi ketika ion logam berat mengikat dinding sel dengan dua cara yang berbeda, pertama pertukaran ion di mana ion monovalen dan divalen seperti Na, Mg, dan Ca pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat; dan kedua adalah formasi kompleks antara ion-ion logam berat dengan functional groups seperti carbonyl, amino, thiol, hydroxy, phosphate, dan hydroxy-carboxyl yang berada pada dinding sel. Proses biosorpsi ini bersifat bolak balik dan cepat. Proses biosorpsi dapat lebih efektif dengan kehadiran pH tertentu (Gadd. 1990).

Ahalya et al., (2003:73) mengemukakan bahwa pengikatan ion logam oleh biomassa mati melalui dinding sel tidak melibatkan proses metabolisme dari mikroorganisme yang bersangkutan, kemudian beresiko kecil dari adanya kontaminasi oleh organisme lain, harga murah dan ketersediaan biomassa yang luas serta adanya proses perbaikan kembali. Pemilihan biosorben berupa biomassa mati tersebut didasarkan pula pada penjelasan Al-Rub et al., (2006:458) yang menyebutkan bahwa biomassa hidup dapat meningkatkan BOD atau COD dalam larutan. Selain itu, pengikatan ion logam akan tergantung pada metabolisme sel sedangkan apabila biomassa mati yang digunakan tidak dipengaruhi oleh toksisitas ion logam dan menyerap logam lebih mudah.

2.6 Isoterm Adsorpsi

Ocik., (1982). Teori adsorpsi menjelaskan pengikatan atau penggabungan molekul terlarut pada permukaan adsorben oleh gaya elektrik lemah yang dikenal dengan ikatan *van der waals*. Adsorpsi akan terkonsentrasi pada sisi permukaan yang memiliki energi yang lebih tinggi. Aktivasi adsorben akan menaikkan energi pada permukaannya, sehingga dapat meningkatkan tarikan terhadap molekul terlarut. Koefisien adsorben menjadi nilai yang penting dalam proses penghilangan kontaminan dalam air.

Proses adsorpsi berlangsung melalui tiga tahap, yaitu :

1. Makrotransport, meliputi perpindahan adsorbat melalui air menuju batas permukaan cair-padat dengan proses difusi.
2. Mikrotransport, meliputi difusi adsorbat melalui sistem makropori adsorben menuju sisi adsorpsi mikropori dan submikropori.
3. sorpsi, adalah istilah untuk menjelaskan kontak adsorbat dengan adsorben.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi antara lain sifat fisik dan kimia adsorben misalnya luas permukaan, ukuran partikel, sifat fisik dan kimia adsorbat misalnya ukuran molekul dan komposisi k serta konsentrasi adsorbat dalam fasa cairan. Semakin kecil ukuran partikel, maka semakin besar luas permukaan padatan per satuan volume tertentu, sehingga akan semakin banyak zat yang teradsorpsi.

Kapasitas adsorpsi suatu adsorben untuk sebuah kontaminan dapat ditentukan dengan menghitung isoterm adsorpsi. Umumnya, pemodelan adsorpsi menggunakan isoterm yang menggunakan fungsi konsentrasi zat terlarut yang terjerap per satuan berat adsorben terhadap konsentrasi larutan. Isoterm adsorpsi menunjukkan hubungan kesetimbangan antara konsentrasi adsorbat dalam fluida dan dalam permukaan adsorben pada suhu yang tetap. Kesetimbangan terjadi saat laju pengikatan adsorben terhadap adsorbat sama dengan laju pelepasannya. Ada tiga isoterm adsorpsi yang umum digunakan, yaitu isoterm Freundlich, Langmuir dan Brunauer-Emmet Teller (BET). Isoterm Freundlich maupun Langmuir digunakan untuk gas atau larutan dengan konsentrasi rendah. Sedangkan isoterm BET merupakan modifikasi isoterm Langmuir pada tekanan tinggi.

2.6.1 Isoterm Adsorpsi Langmuir

Atkins. (2009). Isoterm Langmuir dipelajari untuk menggambarkan pembatasan sisi adsorpsi dengan asumsi bahwa sejumlah tertentu sisi sentuh adsorben ada pada permukaannya dan semuanya memiliki energi yang sama, serta adsorpsi bersifat balik.

Langmuir menggambarkan bahwa pada permukaan penyerap terdapat sejumlah tertentu sisi aktif (*active sites*) yang sebanding dengan luas permukaan penyerap. Pada setiap sisi aktif hanya satu molekul yang dapat diserap. Ikatan antara zat yang terserap dengan penyerap dapat terjadi secara fisika (*physisorption*) atau secara kimia (*chemisorption*). Ikatan tersebut harus cukup kuat untuk mencegah perpindahan molekul yang telah terserap sepanjang permukaan penyerap. Interaksi antara molekul-molekul yang terserap dalam lapisan hasil serapan diabaikan.

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

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

$$x = \frac{a_m kc}{1 + kc}$$

Keterangan: x = konsentrasi zat yang diserap oleh adsorben
 a_m = kapasitas maximum adsorben menyerap adsorbat
 k = konstanta kesetimbangan (afinitas adsorpsi)
 c = konsentrasi zat pada larutan setelah kesetimbangan

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

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{a_m} + \frac{1}{a_m k} \cdot \frac{1}{c}$$

Keterangan: a = miligram logam yang terserap per gram biomassa kering
 a_m = kapasitas maximum adsorben menyerap adsorbat

- k = konstanta kestimbangan (afinitas adsorpsi)
 c = konsentrasi zat pada larutan setelah kesetimbangan

2.6.2 Isoterm Adsorpsi Freundlich

Atkins. (2009). Isoterm Freundlich paling umum digunakan karena dinilai lebih baik dalam mencirikan proses adsorpsi. Persamaan adsorpsi isoterm Freundlich merupakan persamaan yang menunjukkan hubungan antara jumlah zat yang terserap dengan konsentrasi zat dalam larutan, yang dinyatakan dalam persamaan:

$$m = kc^{1/n}$$

m adalah jumlah zat yang terserap per gram zat penyerap, c adalah konsentrasi zat terserap saat setimbang, k dan n adalah tetapan. Persamaan adsorpsi isoterm Freundlich diatas dapat ditulis dalam bentuk persamaan linier, yaitu:

$$\log m = \log k + 1/n \log c$$

Dengan mengukur m sebagai fungsi c dan membuat hubungan antara log m dan log c, maka nilai n dan k dapat ditentukan dari derajat kemiringan atau tetapan zat terserap terlalu tinggi.

2.7 Spektrofotometer Serapan Atom

Susanti. (2009). Metoda analisa Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) didasarkan pada penyerapan energi radiasi pada panjang gelombang tertentu oleh atom atom netral pada keadaan dasarnya (*ground state*) dalam bentuk gas. Penyerapan energi radiasi dengan panjang gelombang (?) tertentu mengakibatkan terjadinya transisi elektronik dari tingkat energi dasar yang merupakan konfigurasi elektron yang paling stabil ke tingkat energi yang lebih tinggi (*excited state*) bila energinya sesuai.

Spektrofotometri Serapan Atom merupakan salah satu metoda analisis logam yang sangat selektif dan sensitif, karena setiap atom memiliki garis resonansi yang spesifik. Spektrofotometri Serapan Atom digunakan untuk menentukan kadar unsur-unsur logam dan semi logam yang konsentrasinya relatif rendah didalam sebuah sampel. Kebanyakan analisa Spektrofotometri Serapan

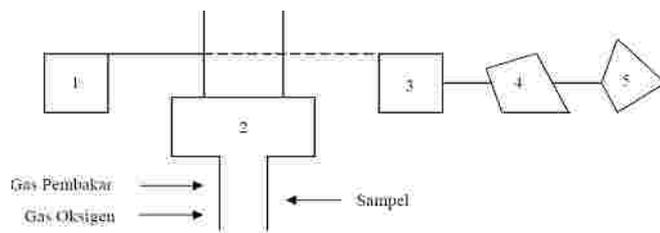
Atom menggunakan nyala untuk mengatomkan unsur yang dianalisis. Intensitas radiasi yang diserap sebanding dengan jumlah atom yang ada.

Pada prinsipnya metode analisis SSA mempunyai dua aspek, yaitu aspek kualitatif yang ditunjukkan oleh adanya serapan atom yang spesifik panjang gelombang tertentu dan aspek kuantitatif didasarkan pada hukum Lambert-Beer yang menyatakan bahwa banyaknya sinar yang diserap sebanding dengan banyaknya atom yang menyerap. Pengamatan banyaknya sinar yang diserap ini dilakukan dengan membandingkan intensitas radiasi sebelum diserap dengan intensitas radiasi setelah diserap oleh atom-atom pada tingkat energi dasar.

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

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

1. Sumber sinar, berfungsi untuk mengemisikan spektrum spesifik untuk analit yang akan diukur.
2. Sel sampel, sebagai wadah analit yang akan diukur dengan emisi dari sinar.
3. Monokromator, untuk mengisolasi panjang gelombang yang digunakan dari garis spektrum lainnya didaerah yang sama.
4. Detektor, biasanya digunakan photomultiplier tube yang berfungsi untuk merubah energi sinar menjadi energi listrik.
5. Rekorder, merupakan sistem pembacaan data dari instrumen elektronik



Gambar 2.5 Skema alat AAS

2.8 Fourier Transform Infra Red (FTIR)

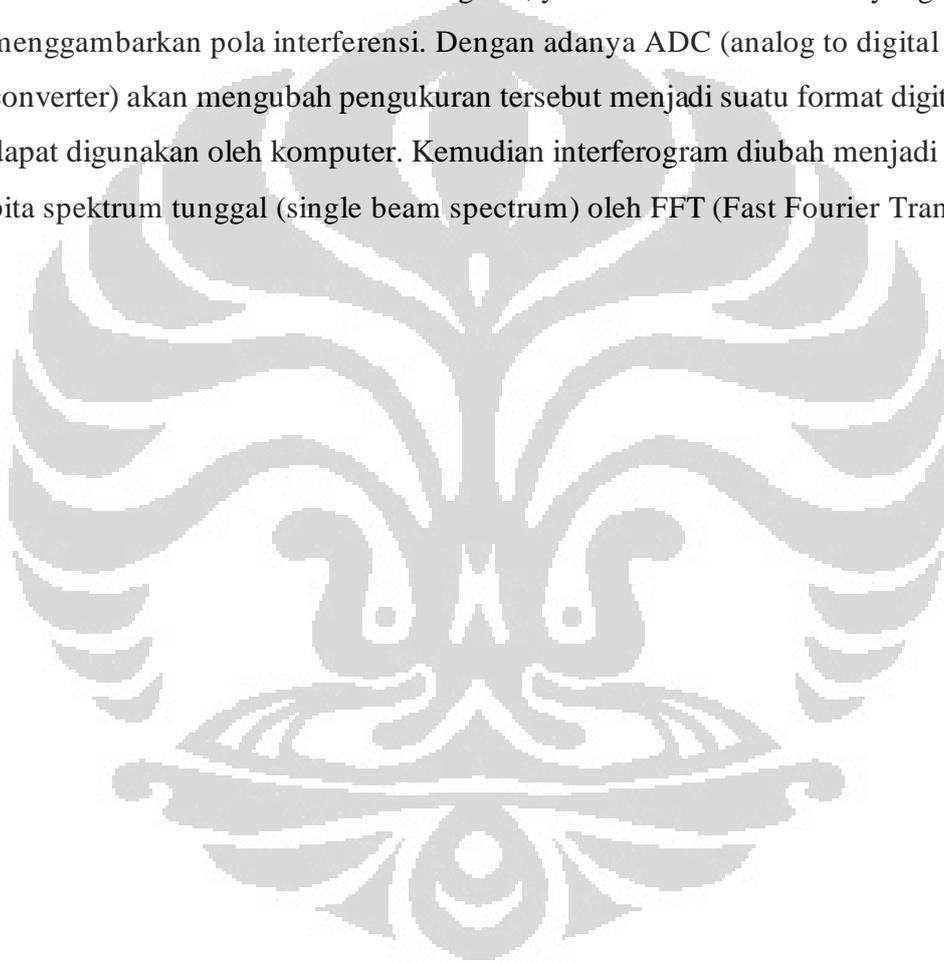
Giwangkara., (2007). Spektroskopi inframerah merupakan teknik spektroskopi yang berguna untuk mengidentifikasi gugus fungsi. Spektrum inframerah meliputi panjang gelombang antara 2,5-1,6 μm atau setara dengan bilangan gelombang 4000-650 cm^{-1} . Spektrum inframerah suatu senyawa dapat dengan mudah diperoleh 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 spektrum inframerah. Puncak-puncak serapan di daerah sidik jari pada spektrum inframerah merupakan kekhasan untuk setiap senyawa. Daerah sidik jari berada di daerah frekuensi 700 sampai 1500 cm^{-1} . Jika puncak spektrum inframerah kedua senyawa tepat sama maka dalam banyak hal dua senyawa tersebut adalah identik.

Spektrofotometer FTIR biasanya digunakan untuk sampel dengan konsentrasi yang kecil dan pengukurannya lebih cepat dibandingkan dengan IR.

Prinsip kerja FTIR tidak jauh berbeda dengan IR hanya kemampuan FTIR lebih baik daripada IR.

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



BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

- | | |
|----------------------|--------------------------------------|
| 1. Erlenmeyer 100 mL | 9. Corong |
| 2. Oven | 10. Kertas saring Whatman |
| 3. Labu ukur | 11. Spatula |
| 4. Rotary Shaker | 12. Waterbath |
| 5. Pipet volumetri | 13. Tabung Reaksi |
| 6. pH meter | 14. Cawan porselin |
| 7. Gelas piala | 15. Timbangan analitik |
| 8. Sentifuge | 16. Magnetic stirrer dan stirrer bar |

3.1.2 Bahan

- | | |
|-------------------------|-----------------------------------|
| 1. Biomassa Alga | 5. Standar Kadmium 1000 ppm |
| 2. Polisulfon BM Tinggi | 6. H ₂ SO ₄ |
| 3. Dimetilformamid | 7. NaOH |
| 4. Air destilatt | 8. HCl |

3.2 Instrumen

1. AAS
2. FTIR

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Preparasi Biomassa Alga

Species alga adalah *Scenedesmus* sp. diambil dari Situ Agathis kampus Universitas Indonesia Depok, kemudian dikembang biakkan dalam laboratorium untuk mendapatkan kultur alga yang lebih spesifik dan homogen atau lebih murni. Setelah dibiakkan, alga kemudian dicuci dan dikeringkan pada suhu 50°C dan

dihaluskan hingga menjadi serbuk alga. Alga yang telah dihaluskan kemudian disimpan pada suhu 4°C sampai siap digunakan.

3.3.2 Immobilisasi Biomassa Alga

Polisulfon dilarutkan dalam dimetilformamid (DMF) (100g/L) 6-8 jam pada suhu 25°C, kemudian dicampur dengan 100 mg serbuk alga kering, diaduk hingga menjadi bubur kemudian ditetaskan ke dalam air hingga menjadi manik-manik (bead), biarkan dalam air selama 30 menit, kemudian dikeringkan pada suhu ruangan.

3.3.3 Perlakuan Percobaan Variasi pH

Dibuat larutan standar kadmium 10 mg/L dalam air destilat sebanyak 8 buah dengan labu tentu ukur kemudian dimasukkan ke dalam dalam tabung nessler, masing-masing untuk satu titik pH (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 10). Untuk mengatur pH digunakan H₂SO₄ dan NaOH. Kemudian setiap larutan ditambahkan 100 mg biomassa dan dikocok dengan shaker selama 60 menit, selanjutnya disaring dengan kertas Whatman dan absorbansi filtrat diukur dengan menggunakan AAS. Dilakukan juga untuk alga yang diimmobilisasi pada polisulfon serta polisulfon bead itu sendiri.

3.3.4 Perlakuan Percobaan Variasi Waktu

Dibuat larutan standar induk kadmium sesuai pH dan konsentrasi optimum dalam air destilat, kemudian dibagi masing-masing 25 mL dan setiap larutan ditambahkan 100 mg biomassa dan dikocok dengan shaker selama 15, 30, 45, 60,90,120 dan 180 menit selanjutnya disaring dengan kertas Whatman dan adsorpsi filtrat diukur dengan menggunakan AAS. Dila ga yang diimmobilisasi pada polisulfon serta polisulfon bead itu sendiri.

3.3.5 Perlakuan Percobaan Variasi Konsentrasi

Dibuat larutan standar induk kadmium 100 mg/L dalam air destilat, kemudian dibuat beberapa titik konsentrasi dengan pengenceran dari larutan induk hingga didapatkan konsentrasi 0,1; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0 dan 20,0 mg/L. Diatur

pH sesuai pH optimum yang didapatkan dari percobaan yang telah dilakukan sebelumnya. Kemudian setiap larutan ditambahkan 100 mg biomassa dan dikocok dengan shaker selama 60 menit, selanjutnya disaring dengan kertas Whatman dan adsorpsi filtrat diukur dengan menggunakan AAS. Dilakukan juga untuk alga yang diimmobilisasi pada polisulfon serta polisulfon bead itu sendiri.

3.3.6 Perlakuan Percobaan untuk Variasi Suhu

Dibuat larutan standar kadmium 5 mg/L dalam air destilat pada pH optimum masing-masing 25 ml untuk setiap titik suhu, titik suhu yang digunakan adalah pada suhu 30, 40, 50, 60, 70, dan 80 °C. Kemudian setiap larutan ditambahkan 100 mg biomassa dan dipanaskan pada penangas air pada suhu yang telah ditentukan selama 60 menit, selanjutnya disaring dengan kertas Whatman dan adsorpsi filtrat diukur dengan menggunakan AAS. Dilakukan juga untuk alga yang diimmobilisasi pada polisulfon serta polisulfon bead itu sendiri.

3.3.7 Perlakuan Percobaan untuk Temu balik

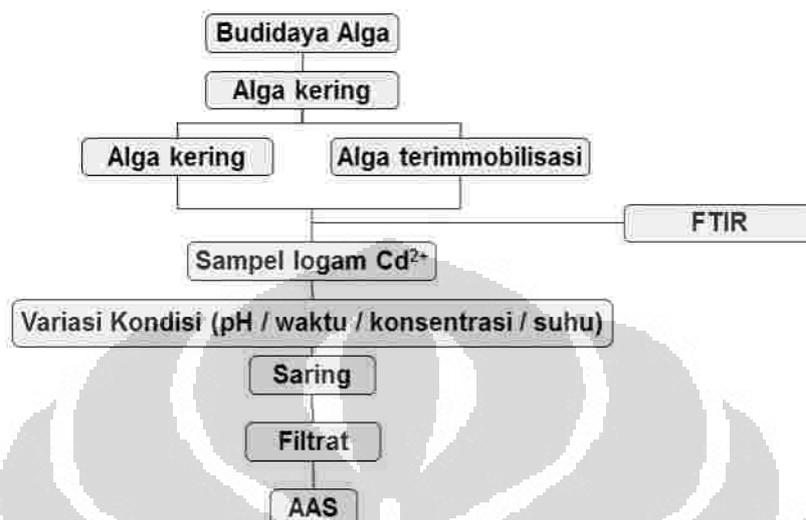
Alga-polisulfon bead dan polisulfon bead yang telah mengadsorpsi logam dikontakkan dengan 25 mL variasi asam nitrat 0,5 M; 1 M; 2 M dan 3 M. Kemudian dikocok dengan variasi waktu 30, 60, 90, dan 120 menit dan disaring. Filtrat yang didapat diukur konsentrasinya dengan SSA (Spektroskopi Serapan Atom).

3.3.8 Perlakuan untuk Pengukuran FTIR

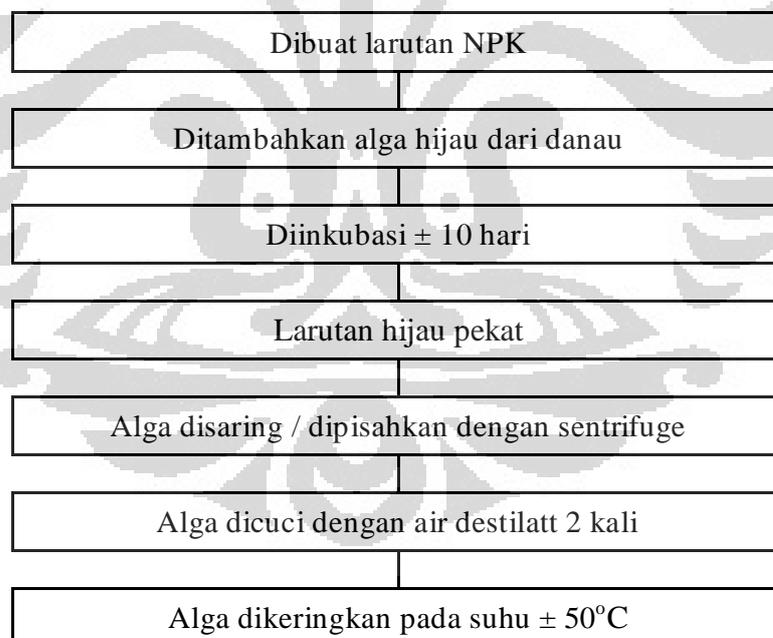
Alga, bead polisulfon dan bead alga-polisulfon yang telah dibuat pada keadaan bebas air diukur menggunakan spektrofotometer FTIR. Sedikit alga yang telah diserbukkan dicampur dengan KBr pada kuvet, kemudian diukur dengan spektrofotometer FTIR. Untuk bead polisulfon dan bead alga-polisulfon sebelum diukur perlu dipadatkan menggunakan alat press pembuat pelet hingga bentuknya seperti membran yang sangat tipis.

3.4 Bagan Kerja

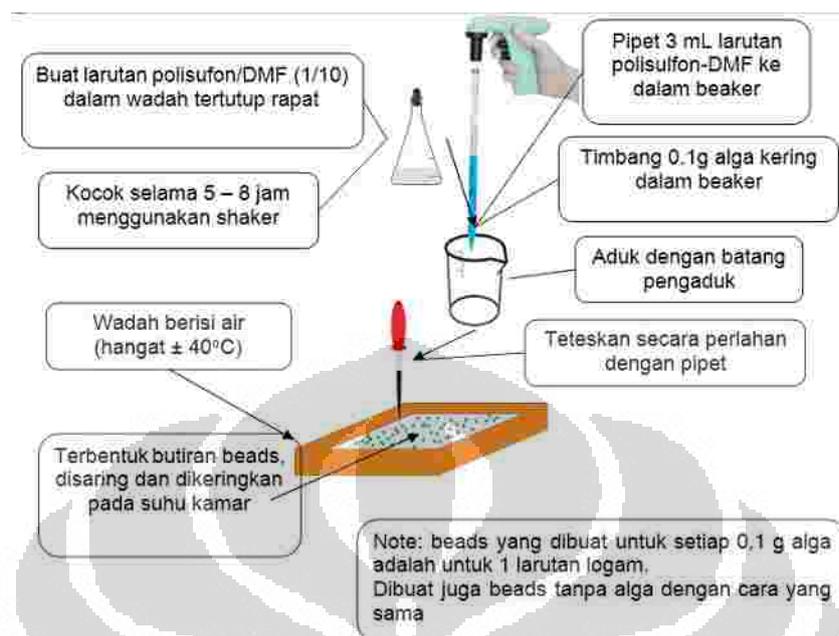
3.4.1 Bagan Kerja Secara Umum



3.4.2 Preparasi Biomassa Alga



3.4.3 Immobilisasi Biomassa Alga



3.4.4 Perlakuan Percobaan Variasi pH

25 mL larutan logam kadmium 10 mg/L
dibuat variasi pH 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

Masing-masing ditambahkan 100 mg beads

Dikocok selama 60 menit dengan shaker

Disaring dan filtrat diukur dengan AAS

3.4.5 Perlakuan Percobaan Variasi Waktu

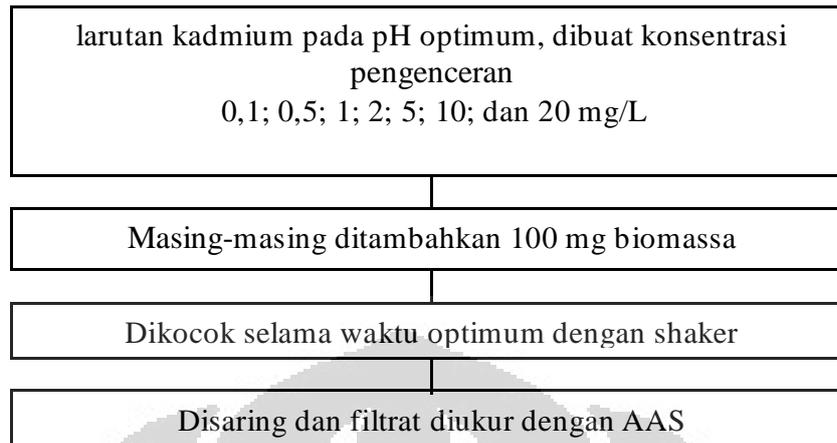
Larutan Kadmium pada pH dan konsentrasi optimum

Masing-masing ditambahkan 100 mg biomassa

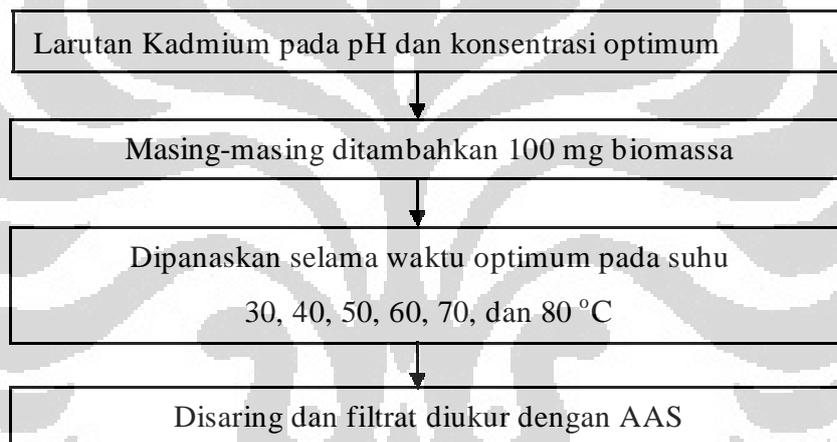
Dikocok selama 15, 30, 45, 60, 90, 120 dan 180 menit

Disaring dan filtrat diukur dengan AAS

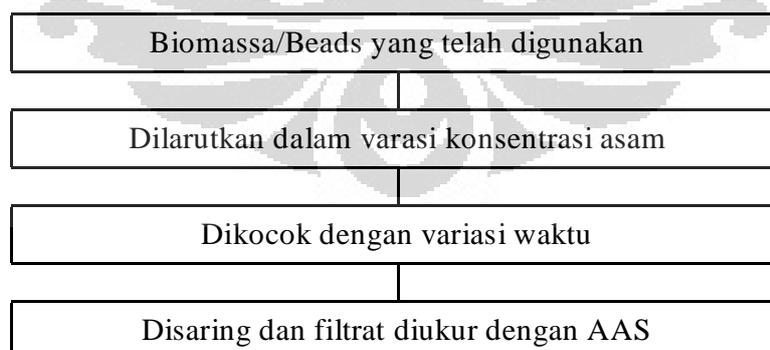
3.4.6 Perlakuan Percobaan Variasi Konsentrasi



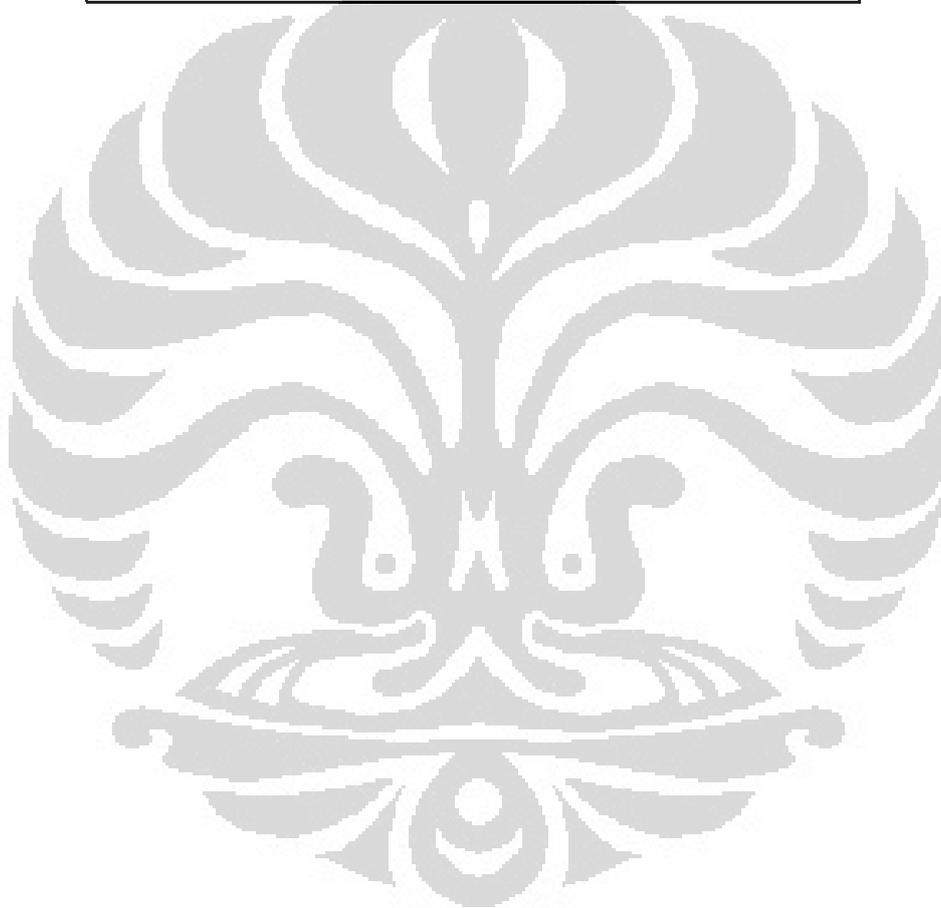
3.4.7 Perlakuan Percobaan Variasi Suhu



3.4.8 Perlakuan Percobaan untuk Temu balik



3.4.9 Pengujian FTIR



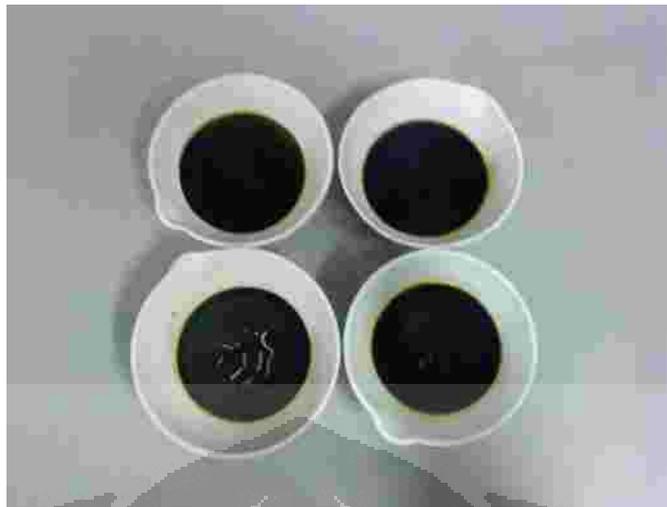
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Preparasi Biomassa Alga Hijau

Sampel alga diambil dari danau Universitas Indonesia, kemudian dibudidayakan pada lingkungan laboratorium untuk memperoleh specimen alga yang lebih murni dan tidak tercemar. Nutrisi yang digunakan adalah pupuk jenis NPK. Alga diinkubasi selama ± 10 hari, setelah larutan menjadi hijau pekat, alga kemudian dipisahkan dari larutan dengan penyaringan, atau lebih baik menggunakan sentrifuge.



Gambar 4.1 Proses Budidaya Alga

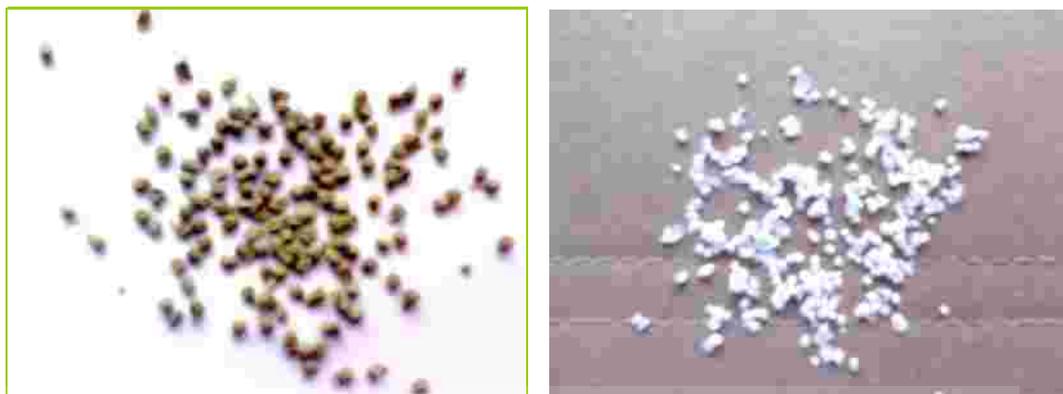


Gambar 4.2 Alga yang telah dikeringkan

Pada saat akan dilakukan pemisahan alga dari larutan biakan, perlu diperhatikan apabila terdapat endapan NPK, jika ada endapan NPK maka dapat dipisahkan dengan corong pisah.

4.2 Immobilisasi Biomassa Alga Hijau Pada Polisulfon

Pada penelitian ini immobilisasi alga pada polisulfon dilakukan per 100 mg alga. Pada awalnya pembuatan beads alga-polisulfon dilakukan dengan cara mencampurkan langsung alga dengan larutan polisulfon dalam DMF sesuai dengan perbandingan yang telah ditetapkan berdasarkan percobaan sebelumnya yaitu 10 mL DMF ditambahkan 1g polisulfon dan 3 g alga (Jeffers, T. H, dkk. 1991.), akan tetapi hal ini menghasilkan beads alga polisulfon yang kurang baik karena pada saat dikontakkan dengan larutan logam, alga yang sudah terimmobilisasi terlepas kembali. Selanjutnya pembuatan beads dilakukan dengan cara dibuat larutan 1 g polisulfon dalam DMF kemudian dipipet 3 mL dimasukkan dalam beaker, baru kemudian ditambahkan 100 mg alga dan dengan cepat diteteskan kedalam air, hasil dari teknik ini cukup memuaskan karena beads yang dihasilkan tidak hancur waktu dikontakkan pada larutan logam, jumlah beads yang dihasilkan juga cukup banyak yaitu ± 100 butir. Untuk selanjutnya teknik inilah yang digunakan pada penelitian ini.



(a)

(b)

Gambar 4.3 (a) Alga-polisulfon beads yang sudah jadi, (b) Polisulfon beads

Pada saat pengeringan biomassa alga yang terimmobilisasi sebaiknya dilakukan pada suhu kamar, hal ini dikarenakan pada saat dilakukan pengeringan menggunakan oven pada suhu 50°C , polisulfon kembali menjadi bentuk plastik yang transparan, sehingga dikhawatirkan akan mengganggu proses adsorpsi.

4.3 Perlakuan Percobaan Variasi pH

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

Pada pH diatas titik isoelektrik, terjadi muatan negatif *netto* pada komponen dinding sel dan keadaan ionik ligan, seperti PO_4^{3-} , fosfat dan amino yang meningkatkan reaksi dengan kation logam (Susanti, 2009). Titik isoelektrik pada alga terjadi karena asam amino pada protein alga memiliki gugus aktif amina dan karboksil sekaligus. Pada pH tertentu gugus amina pada asam amino menjadi bermuatan positif (terprotonasi, $-\text{NH}_3^+$), sedangkan gugus karboksilnya menjadi bermuatan negatif (terdeprotonasi, $-\text{COO}^-$), pada pH netral atau pH fisiologis yang dekat netral, asam amino akan bermuatan nol akibat bertambahnya proton atau kehilangan muatan maka hal inilah yang disebut sebagai titik isoelektrik (wikipedia, 2011).

Pada pH dibawah titik isoelektrik, muatan permukaan keseluruhan pada permukaan sel menjadi positif, yang akan menghambat mendekatnya kation bermuatan positif. Proton akan berkompetisi dengan terdahulu berikatan dengan ligan sehingga mengurangi interaksi ion logam dengan sisi aktif pada biomassa alga (Susanti, 2009).

Pada pH tinggi, logam Cd^{2+} mengendap menjadi $Cd(OH)_2$ sehingga dilakukan percobaan pada pH yang lebih rendah tetapi diatas pH isoelektrik. Pada percobaan ini, dibuat larutan logam Cd^{2+} 10 ppm dalam 25 mL dengan pH masing-masing adalah 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10. Larutan tersebut dikontakkan dengan alga dan alga yang diimmobilisasi selama 60 menit.

Teknik yang digunakan untuk pengontakkan adalah dengan metode *batch* dimana alga, beads-alga, dan polisulfon itu sendiri dikontakkan dengan larutan logam dalam tabung kemudian di letakkan dalam rotary shaker (Gambar 4.4) untuk pengadukan.



Gambar 4.4 Teknik percobaan yang dilakukan untuk pengontakkan biomassa dengan larutan logam

Tabel 4.1 Pengaruh pH terhadap % Adsorpsi logam Cd^{2+} pada biomassa alga dan biomassa alga yang terimmobilisasi

pH	Alga (%)	Alga Terimmobilisasi (%)
3	71,01	52,45
4	85,19	65,31
5	86,93	70,96
6	86,67	78,44
7	89,60	80,10
8	90,34	75,32
9	88,13	80,84
10	90,13	87,17

Gambar 4.5 Grafik % Adsorpsi ion logam Cd^{2+} oleh biomassa alga dan biomassa alga terimmobilisasi dengan variasi pH

Berdasarkan Tabel 4.1 dan Gambar 4.5, persen adsorpsi ion logam Cd^{2+} oleh biomassa alga hijau dan biomassa alga hijau terimmobilisasi pada polisulfon meningkat seiring dengan meningkatnya nilai pH. Dari 8 titik variasi pH yang diberikan persen adsorpsi ion logam Cd^{2+} tertinggi dicapai pada saat nilai pH 10, akan tetapi peningkatan persen adsorpsi tidak drastis berubah mulai dari pH 7 pada biomassa alga, sedangkan pada biomassa alga yang terimmobilisasi terlihat bahwa peningkatan adsorpsi masih terjadi.

Pada pH rendah persen adsorpsi logam Cd^{2+} rendah hal ini disebabkan karena permukaan adsorbern menjadi bermuatan positif sehingga terjadi interaksi tolak-menolak antara gugus fungsi pada permukaan biosorben dengan ion logam Cd^{2+} .

Pada pH netral atau pada titik isoelektrik dimana muatannya adalah nol, maka interaksi yang terjadi antara logam dengan biosorben terbatas pada interaksi fisik. Pada pH basa muatan gugus fungsi pada permukaan biosorben menjadi negatif sehingga terjadi interaksi yang kuat antara biosorben dengan ion logam Cd^{2+} , akan tetapi perlu diperhatikan bahwa pada pH yang tinggi atau sangat basa ion logam Cd^{2+} akan mudah mengendap menjadi $\text{Cd}(\text{OH})_2$.

Persentase adsorpsi dari biomassa alga tanpa immobilisasi lebih tinggi daripada biomassa alga yang terimmobilisasi, hal ini terjadi karena ukuran partikel biomassa alga lebih kecil daripada ukuran partikel biomassa alga yang terimmobilisasi pada polisulfon, maka luas permukaan biomassa alga lebih besar daripada biomassa alga yang terimmobilisasi pada polisulfon yang berpengaruh pada daya serap terhadap ion logam Cd^{2+} . Disisi lain alga yang terimmobilisasi ada yang terletak di bagian dalam bead polisulfon sehingga perlu daya difusi tertentu dari ion logam untuk mencapai sisi aktif alga.

Hal lain yang sangat terlihat berbeda adalah larutan yang menggunakan biomassa alga tampak lebih keruh jika dibandingkan dengan alga yang diimmobilisasi pada polisulfon seperti pada Gambar 4.6. Kondisi ini membuktikan bahwa dengan immobilisasi pada polisulfon terjadi peningkatan kekuatan fisik dari alga sehingga tidak mudah terlarut dalam larutan.



Gambar 4.6 Perbedaan warna larutan pada saat percobaan dilakukan

4.4 Perlakuan Percobaan Variasi Waktu

Pada percobaan ini, dibuat larutan logam Cd^{2+} 10 ppm dalam 25 mL dengan pH optimum. Larutan tersebut dikontakkan dengan alga dan alga yang diimmobilisasi dengan waktu masing-masing adalah 15, 30, 45, 60, 90, 120, dan 180 menit. Teknik kontak yang dilakukan adalah seperti yang dilakukan pada percobaan variasi pH. Pada perlakuan ini, dilakukan pula variasi waktu kontak untuk beads polisulfon tanpa biomassa alga.

Tabel 4.2 Pengaruh variasi waktu terhadap % Adsorpsi logam Cd^{2+} pada biomassa alga, polisulfon dan biomassa alga yang terimmobilisasi

Waktu (menit)	Alga (%)	Polisulfon (%)	Alga Terimmobilisasi (%)
15	62,65	62,18	60,97
30	71,03	64,22	67,63
45	74,32	68,07	74,61
60	75,03	69,89	80,77
90	79,71	72,47	86,78
120	81,91	71,52	89,86
180	84,63	73,77	92,10

Gambar 4.7 Grafik % Adsorpsi ion logam Cd^{2+} oleh biomassa alga, polisulfon dan biomassa alga terimmobilisasi dengan variasi waktu

Dari grafik pada gambar 4.7 dapat kita lihat bahwa semakin lama waktu kontak maka % adsorpsi semakin besar. Dengan adanya variasi waktu kontak ini dapat terlihat berapa waktu yang cukup antara biomassa alga, alga yang terimmobilisasi pada polisulfon dan beads polisulfon itu sendiri untuk menyerap larutan logam Cd^{2+} . Pada waktu antara 90 menit sampai dengan 180 menit, rentang peningkatan adsorpsi sudah tidak signifikan yang menunjukkan bahwa proses adsorpsi telah mencapai keadaan maksimum. Setelah penyerapan maksimum tercapai, jumlah ion logam yang terserap secara signifikan tidak berubah dengan penambahan waktu kontak antara ion logam Cd^{2+} dengan adsorben.

4.5 Perlakuan Percobaan Variasi Konsentrasi

Adsorpsi ion logam Cd^{2+} dengan variasi konsentrasi dilakukan dengan cara memberikan variasi konsentrasi larutan ion logam Cd^{2+} . Konsentrasi logam Cd^{2+} yang digunakan adalah 0,1; 0,5; 1; 2; 5; 10 dan 20 ppm.

Tabel 4.3 Adsorpsi (mg/g) ion logam Cd^{2+} terhadap biomassa alga hijau dan biomassa alga hijau terimmobilisasi pada polisulfon dengan variasi konsentrasi (mg/L).

Konsentrasi (mg/L)	Alga (mg/g)	Alga Terimmobilisasi (mg/g)
0,1	0,018	0,017
0,5	0,148	0,146
1,0	0,282	0,290
2,0	0,483	0,438
5,0	1,318	1,050
10,0	2,253	2,457
20,0	4,013	4,712

Gambar 4.8 Grafik Adsorpsi ion logam Cd^{2+} (mg/g) oleh biomassa alga dan biomassa alga terimmobilisasi dengan variasi konsentrasi

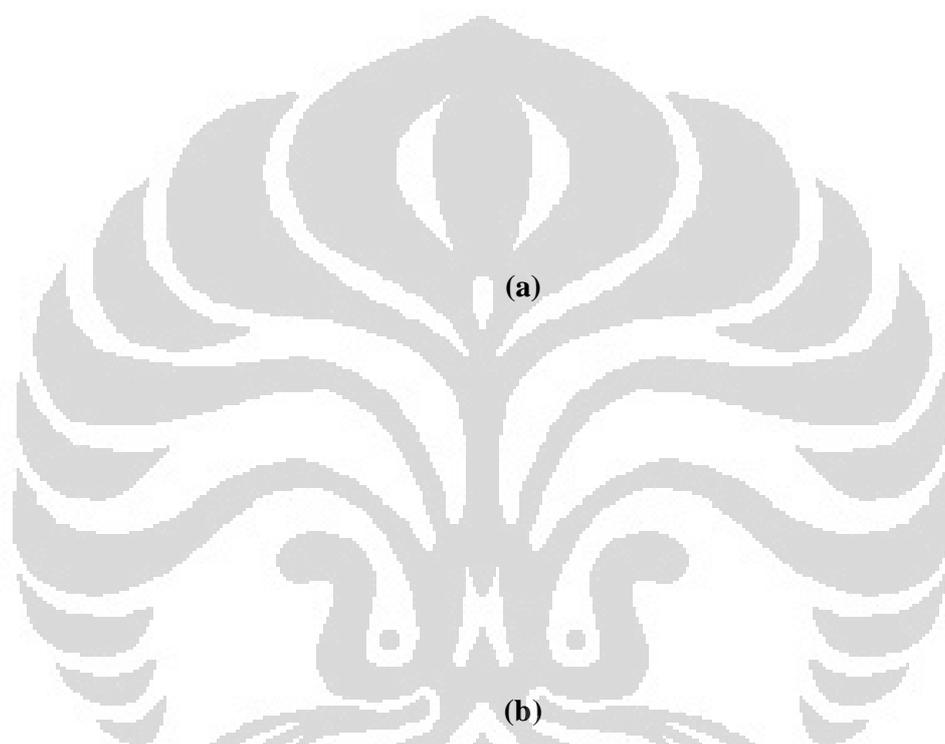
Dari Tabel 4.3 dan Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa hasil pengukuran pada konsentrasi 20 ppm untuk biomassa alga masih dapat menyerap ion logam Cd^{2+} sampai dengan 4,013 mg/g atau 76,63 % dan untuk biomassa alga yang terimmobilisasi pada polisulfon masih dapat menyerap ion logam Cd^{2+} sampai dengan 4,712 mg/g atau 89,12 %.

Jika dilihat dari grafik pada gambar 4.8, menunjukkan bahwa pada konsentrasi yang rendah biomassa alga mempunyai kemampuan adsorpsi lebih baik dari pada biomassa alga yang terimmobilisasi karena luas permukaan alga yang tidak terimmobilisasi lebih besar dari pada alga yang terimmobilisasi sehingga sisi aktif biomassa alga yang tidak terimmobilisasi lebih banyak dari pada biomassa alga terimmobilisasi. Namun pada konsentrasi yang tinggi adsorpsi dari alga hijau terimmobilisasi meningkat lebih tinggi dari pada biomassa alga tidak terimmobilisasi, hal ini terjadi karena pada konsentrasi yang tinggi daya difusi dari ion logam Cd^{2+} terhadap polisulfon meningkat sehingga ion logam lebih mudah mencapai sisi aktif alga sedangkan pada alga yang tidak terimmobilisasi sisi aktif alga mulai jenuh sehingga adsorpsi mulai menurun.

Selanjutnya data variasi konsentrasi ion logam Cd^{2+} ini dapat digunakan untuk mencari isoterm adsorpsi ion logam Cd^{2+} oleh adsorben. Isoterm adsorpsi ini dapat digunakan untuk memperkirakan ikatan yang terjadi antara adsorben dengan ion logam.

Isoterm Langmuir menjelaskan bahwa permukaan adsorben terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan adsorben.

Pada setiap situs aktif hanya satu molekul yang dapat diserap, sehingga dengan memperbesar konsentrasi adsorbat yaitu ion logam Cd^{2+} yang berinteraksi dengan adsorben yang beratnya tetap akan menghasilkan serapan ion logam Cd^{2+} yang meningkat secara linear sampai maksimum pada konsentrasi tertentu karena situs aktif telah jenuh dengan adsorbat.



Gambar 4.9 Grafik adsorpsi isoterm Langmuir (a) biomassa alga hijau dan (b) biomassa alga hijau yang terimmobilisasi

Data yang digunakan pada grafik isoterm Langmuir untuk biomassa alga hanya tiga titik nilai karena data yang diperoleh pada konsentrasi rendah menunjukkan nilainya dibawah limit deteksi, sehingga data selain tiga titik nilai tersebut tidak dapat digunakan dalam persamaan.

Dengan menggunakan persamaan regresi linear $y = bx + a$ maka diperoleh suatu koefisien korelasi (R^2), kapasitas adsorpsi maksimum (a_m) dan afinitas adsorpsi (k).

Tabel 4.4 Nilai koefisien korelasi (R^2), kapasitas adsorpsi maksimum (a_m), dan afinitas serapan (k) logam Cd^{2+} dari isoterm Langmuir

Adsorben	R^2	k	a_m	
			mg/g	mmol/g
Alga	0,8892	4,771	3,138	0,028
Alga Terimmobilisasi	0,8719	18,722	0,895	0,008

Dari hasil adsorpsi logam Cd^{2+} oleh alga hijau dan alga hijau yang terimmobilisasi pada polysulfon dengan menggunakan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir maka diperoleh persamaan regresi liner untuk alga hijau yaitu $y = 0,0668x + 0,3187$ dengan nilai $R^2 = 0,8892$ dan untuk alga hijau yang terimmobilisasi pada polysulfon yaitu $y = 0,0597x + 1,1177$ dengan nilai $R^2 = 0,8719$. Semakin besar nilai afinitas serapan (k) biomassa, maka semakin banyak ion logam yang terserap oleh biomassa. Dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai a_m dan k yang didapat dari persamaan isoterm Langmuir, selain itu dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan afinitas serapan pada alga yang telah terimmobilisasi, hal ini menunjukkan bahwa alga hijau yang terimmobilisasi pada polysulfon memiliki daya serap lebih besar daripada alga hijau yang tidak terimmobilisasi.

Penyerapan secara kimia terjadi karena adanya interaksi antara situs aktif (bermuatan negatif) yang terdapat pada permukaan dinding sel dari alga hijau maupun polysulfon.

(a)

(b)

Gambar 4.10 Grafik adsorpsi isoterm Freundlich (a) biomassa alga dan (b) biomassa alga terimmobilisasi pada polisulfon.

Tabel 4.5 Nilai koefisien korelasi (R^2), kapasitas adsorpsi maksimum (n), dan afinitas serapan (k) logam Cd^{2+} dari isoterm Freundlich

Adsorben	R^2	k	n
Alga	0,9335	1,415	3,332
Alga Terimmobilisasi	0,9512	1,399	1,527

Dari hasil adsorpsi logam Cd^{2+} oleh alga hijau dan alga hijau yang terimmobilisasi pada polisulfon dengan menggunakan persamaan isoterm adsorpsi Freundlich maka diperoleh persamaan regresi liner yaitu $y = 0,3001x + 0,3468$ dengan nilai $R^2 = 0,8892$ untuk alga hijau dan $y = 0,655x + 0,3355$ dengan nilai $R^2 = 0,9512$ untuk alga hijau yang terimmobilisasi pada polisulfon. Dari hasil persamaan isoterm adsorpsi Freundlich diperoleh nilai kapasitas adsorpsi (k) untuk adsorpsi ion logam Cd^{2+} pada alga hijau adalah 1,415 mg/g dan 1,399 mg/g pada alga hijau yang terimmobilisasi pada polisulfon. Nilai ketetapan (n) untuk alga hijau adalah 3,332 dan untuk alga hijau yang terimmobilisasi pada polisulfon adalah 1,572.

Dari sisi linearitas data tersebut menunjukkan bahwa proses penyerapan tersebut lebih mengarah pada isoterm Freundlich karena nilai linearitasnya lebih mendekati satu daripada isoterm Langmuir, jadi dapat diketahui bahwa proses penyerapan tersebut terjadi pada situs aktif yang bersifat heterogen. Nilai n yang menunjukkan antara 1 – 10 menandakan bahwa proses adsorpsi tersebut dipengaruhi oleh konsentrasi dan jumlah adsorbennya.

4.6 Perlakuan Percobaan Variasi Suhu

Adsorpsi ion logam Cd^{2+} dengan variasi suhu dilakukan dengan cara memanaskan larutan ion logam Cd^{2+} dengan konsentrasi 5 ppm pada pH 10 selama 90 menit pada suhu waterbath 30, 40, 50, 60, 70 dan 80 °C dengan sesekali dikocok.

Konsentrasi larutan standar 5 ppm digunakan sebagai dasar konsentrasi awal larutan percobaan, dari percobaan dihasilkan konsentrasi larutan standar 5 ppm tersebut adalah 5,221 ppm.



Gambar 4.11 Gambar Perlakuan Untuk Percobaan Variasi Suhu.

Gambar 4.11 merupakan percobaan yang dilakukan untuk percobaan variasi suhu dimana hanya dapat dilakukan dengan proses *batch*, homogenisasi dilakukan dengan pengocokan setiap 5 menit sekali.

Tabel 4.6% Adsorpsi pada percobaan pengaruh suhu (°C) larutan untuk biomassa alga, polisulfon dan biomassa alga yang terimmobilisasi pada polisulfon

Suhu (°C)	Alga (%)	Polisulfon (%)	Alga Terimmobilisasi (%)
30	61,597	56,688	65,949
40	68,097	62,248	68,150
50	65,136	60,550	72,124
60	67,626	54,499	62,802
70	68,162	57,806	60,879
80	73,051	66,229	62,330

Gambar 4.12 Grafik perbandingan % adsorpsi terhadap suhu larutan

Dari tabel 4.6 dan grafik 4.12 dapat terlihat bahwa % adsorpsi biomassa alga hijau dan polisulfon beads meningkat pada suhu 40 °C sedangkan pada peningkatan suhu diatas 40 °C % adsorpsi cenderung turun, begitu juga untuk alga hijau yang terimmobilisasi pada polisulfon % Adsorpsi meningkat terus hingga suhu 50°C kemudian selanjutnya menurun. Hal ini dapat terjadi karena sebagian besar penyusun alga adalah protein, pemanasan akan memutus ikatan-ikatan lemah yang menahan protein dalam bentuk-bentuk struktural sekunder atau lebih tinggi (Elrod, S. & Stansfield, W. 2002) sehingga gugus-gugus fungsi yang akan mengikat ion logam Cd^{2+} akan berkurang dan proses adsorpsi menurun.

Selain itu seperti yang terjadi pada percobaan pembuatan bead polisulfon dimana pemanasan lebih tinggi akan mengakibatkan polisulfon kembali menjadi bentuk plastik karena sifatnya yang termoplastik, jika ini terjadi maka pori-pori membran pada keadaan ini akan menyempit sehingga kemampuan difusi ion logam terhadap polisulfon akan menurun yang menyebabkan ion logam sulit mencapai sisi aktif alga yang ada pada bagian dalam bead tersebut. Pada suhu 40 hingga 50 °C dapat diamati terjadi peningkatan ketahanan terhadap panas untuk alga yang terimmobilisasi pada polisulfon dibandingkan dengan alga yang tidak terimmobilisasi pada polisulfon dari 40 °C menjadi 50 °C, hal ini menunjukkan bahwa peran immobilisasi terhadap polisulfon dapat meningkatkan ketahanan fisik dari biomassa alga.

4.7 Perlakuan Percobaan Temu balik

Temu balik (recovery) adalah upaya pemanfaatan limbah (bisorben yang sudah digunakan) dengan cara memprosesnya untuk melepaskan kembali logam yang telah diadsorpsi sehingga adsorben tersebut dapat digunakan kembali. Temu balik merupakan langkah penting untuk menjaga agar biaya proses tetap rendah.

Percobaan temu balik biomassa alga juga pernah dilakukan oleh berbagai peneliti sebelumnya seperti Zhao (1994) dengan menggunakan 0,1 M NaOH pada *Saccharomyces cerevisiae* untuk logam Cr^{6+} hanya didapatkan persen temu balik sebesar 5,2%. Persen temu balik yang kecil juga dialami oleh Susanti (2009) pada alga hijau yang terimmobilisasi pada kalsium alginat dengan menggunakan larutan 3M HNO_3 , hanya mendapatkan persen temu balik sebesar 5,43% dengan lama kontak 30 menit.

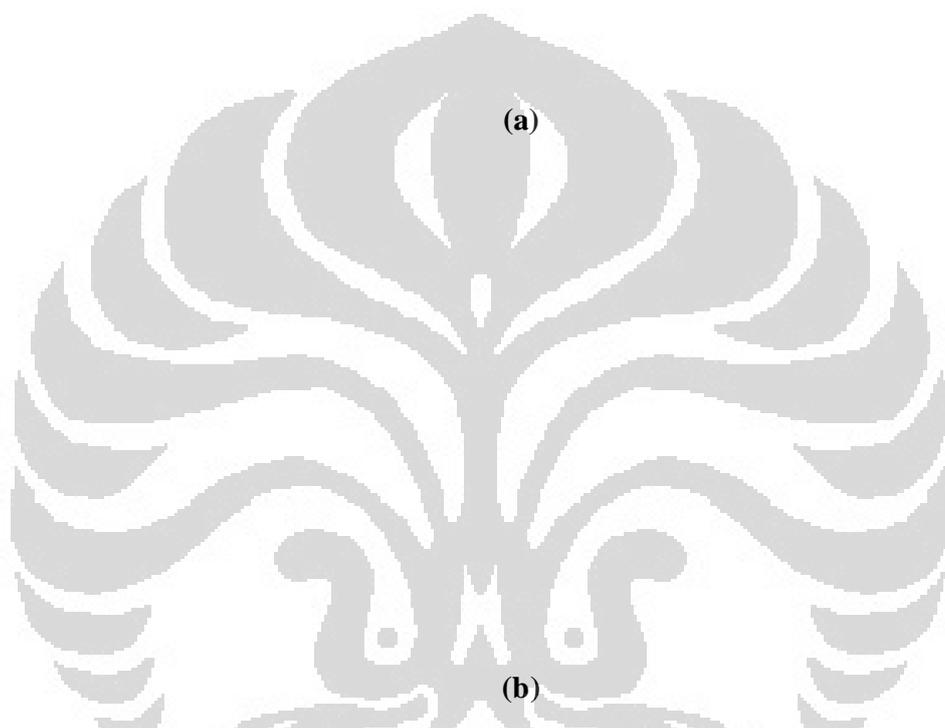
Percobaan temu balik biomassa ini dilakukan dengan cara mengontakkan adsorben yang sudah mengadsorpsi ion logam dengan larutan yang dapat mendesorpsi ion logam tersebut. Larutan pendesorpsi yang digunakan pada percobaan ini adalah larutan asam nitrat dengan konsentrasi 0,5 M, 1 M, 2 M dan 3 M dan waktu kontak 30, 60, 90 dan 120 menit.

Tabel 4.7% Temu balik ion logam Cd^{2+} pada alga hijau yang terimmobilisasi pada polisulfon.

Waktu	0,5 M HNO_3	1 M HNO_3	2 M HNO_3	3 M HNO_3
30	45,05	51,83	59,07	62,57
60	50,11	52,79	59,66	66,76
90	51,55	53,55	53,90	66,81
120	52,40	51,35	59,38	70,45

Tabel 4.8% Temu balik ion logam Cd^{2+} pada polisulfon.

Waktu	0,5 M HNO_3	1 M HNO_3	2 M HNO_3	3 M HNO_3
30	47,67	48,32	61,96	54,51
60	51,73	53,62	59,41	59,00
90	52,61	55,54	55,34	66,49
120	53,36	59,83	66,35	75,02



Gambar 4.13 Diagram % temu balik (a) biomassa alga yang terimmobilisasi dan (b) polisulfon dengan variasi waktu kontak dan konsentrasi asam yang digunakan untuk pendesorpsi.

Hasil persen temu balik biomassa alga hijau yang terimmobilisasi pada polisulfon menggunakan asam nitrat menunjukkan bahwa persen temu balik tertinggi dicapai pada waktu kontak 120 menit dengan konsentrasi asam nitrat sebesar 3 M yaitu 70,45%. Sedangkan untuk polisulfon bead tanpa alga diperoleh *temu balik* maksimum adalah 75,02 % pada konsentrasi asam nitrat 3 M dan waktu kontak 120 menit.

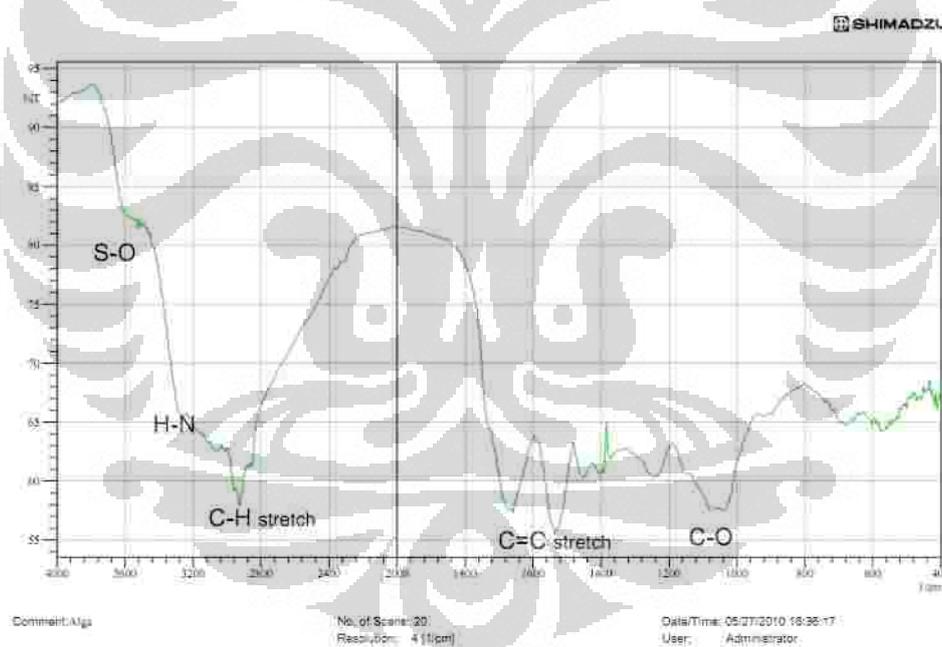
Pada data tersebut terlihat bahwa semakin besar konsentrasi asam yang digunakan serta semakin lama waktu kontakannya maka akan semakin besar pula persen temu baliknya. Penggunaan asam pada percobaan penentuan persen temu

balik ini bertujuan agar ion-ion logam yang telah terikat pada permukaan biosorben akan mudah terlepas kembali dan terlarut dalam larutan asam, karena pada pH asam gugus-gugus fungsi akan cenderung bermuatan positif sehingga ion logam Cd^{2+} akan mudah terlepas dari ikatannya.

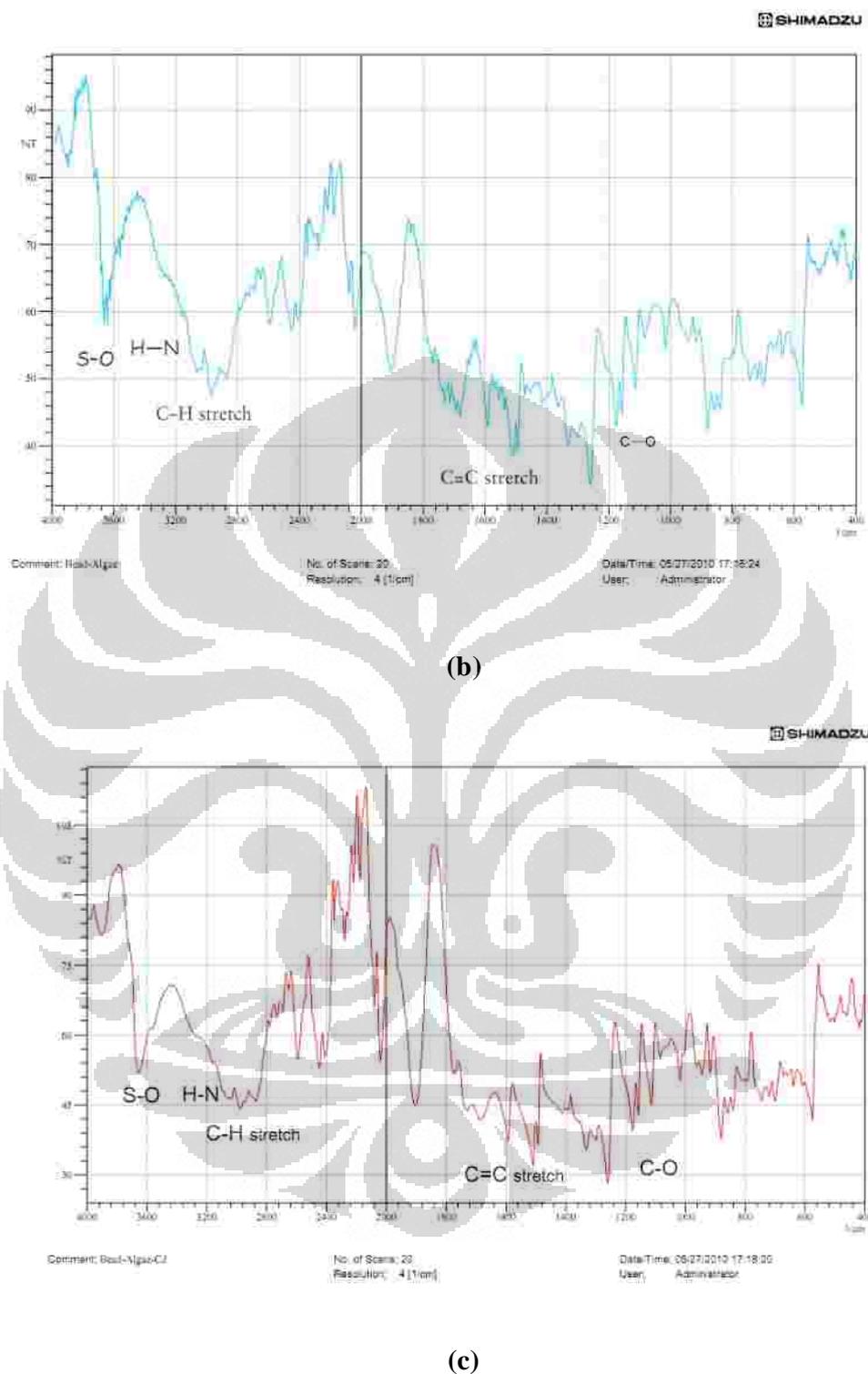
4.8 Pengujian FTIR

Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada biomassa alga hijau serta biomassa alga hijau yang diimmobilisasi pada polisulfon, sehingga dapat diperkirakan kemungkinan interaksi adsorben melakukan proses pengikatan dengan ion logam tersebut.

Berikut adalah spektrum hasil pengukuran FTIR terhadap biomassa alga hijau dan biomassa alga hijau yang terimmobilisasi pada polisulfon.



(a)



Gambar 4.14 Spektrum FTIR biomassa alga hijau sebelum (a) dan sesudah (b) immobilisasi pada polisulfon serta biomassa alga hijau yang terimmobilisasi yang sudah dikontakkan dengan larutan logam (c).

Dari pengujian FTIR, diketahui sebagian gugus fungsi yang terkandung pada biomassa alga dan biomassa alga terimmobilisasi, diantaranya adalah -

SO dari SO_2 pada bilangan gelombang sekitar 3700 cm^{-1} , kemudian gugus $-\text{OH}$ pada bilangan gelombang sekitar 3600 cm^{-1} , kemudian sangat terlihat sekali serapan yang kuat pada bilangan gelombang 2900 cm^{-1} hingga bilangan gelombang 3000 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya gugus $-\text{CH}$, pada bilangan gelombang sekitar 1650 cm^{-1} tampak terlihat adanya ikatan rangkap $\text{C}=\text{C}$ dari gugus fenil, dan $\text{C}-\text{O}$ dari gugus ester pada bilangan gelombang sekitar 1000 cm^{-1} hingga 1200 cm^{-1} .

Terdapat perbedaan yang sangat jelas jika kedua spektrum dibandingkan antara spektrum dari biomassa alga hijau dengan spektrum dari biomassa alga yang terimmobilisasi pada polisulfon dimana pada bilangan gelombang sekitar 3700 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya gugus $-\text{SO}$ terjadi peningkatan intensitas absorpsi yang sangat jelas. Hal ini menunjukkan bahwa meningkatnya gugus $-\text{SO}$ tersebut karena penggunaan polisulfon yang kaya akan gugus $-\text{SO}_2$ sebagai pengimmobilisasi dari biomassa alga hijau tersebut.

Pada spektrum FTIR biomassa alga hijau yang telah dikontakkan dengan larutan logam terdapat perbedaan profil spektrum ataupun pergeseran bilangan gelombang, hal ini mengindikasikan bahwa gugus-gugus tersebut mungkin berperan dalam proses adsorpsi ion logam Cd^{2+} .

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai modifikasi alga hijau dengan immobilisasi pada polisulfon sebagai penyerap ion logam Cd^{2+} , maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Biosorpsi sangat dipengaruhi oleh pH awal larutan, waktu kontak dan konsentrasi larutan. Kondisi maksimum adsorpsi ion logam Cd^{2+} biomassa alga terimmobilisasi yang diperoleh terjadi pada pH antara pH 7 hingga pH 10 dengan waktu kontak 180 menit, atau semakin lama semakin baik.
2. Adsorpsi efektif biomassa alga terimmobilisasi pada polisulfon terjadi pada konsentrasi hingga 20 ppm dengan perbandingan massa logam terhadap massa biosorbern adalah 4,47 mg/g. Hal ini ditunjukkan dengan % adsorpsi yang semakin menurun pada konsentrasi logam 20 ppm.
3. Dari percobaan isoterm adsorpsi Langmuir dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan afinitas serapan (k) pada alga yang telah terimmobilisasi sebesar 18,722 dibandingkan dengan alga tanpa terimmobilisasi dengan nilai afinitas serapan 4,771, hal ini menunjukkan bahwa alga hijau yang terimmobilisasi pada polisulfon memiliki daya serap lebih besar daripada alga hijau yang tidak terimmobilisasi.
4. Dari percobaan isoterm adsorpsi Freundlich diperoleh nilai konstanta adsorpsi (k) untuk adsorpsi ion logam Cd^{2+} pada alga hijau adalah 1,415 mg/g dan 1,399 mg/g pada alga hijau yang terimmobilisasi pada polisulfon. Nilai ketetapan (n) untuk alga hijau adalah 3,332 dan untuk alga hijau yang terimmobilisasi pada polisulfon adalah 1,572. Nilai n yang menunjukkan antara 1 – 10 menandakan bahwa proses adsorpsi tersebut dipengaruhi oleh konsentrasi dan jumlah adsorbennya, serta adsorpsi terjadi pada situs aktif yang bersifat heterogen.

5. Biomassa alga hijau dan biomassa alga hijau yang terimmobilisasi pada polisulfon pada percobaan variasi suhu menunjukkan bahwa pengaruh suhu yang efektif untuk keduanya adalah pada suhu 40 °C hingga 50 °C, suhu lebih tinggi dapat mengakibatkan perubahan struktur gugus fungsi yang berpengaruh pada proses adsorpsi.
6. Hasil temu balik dari alga hijau terimmobilisasi dengan polisulfon dengan menggunakan asam nitrat 3 M selama 120 menit adalah sebesar 70,45% sedangkan untuk polisulfon itu sendiri adalah 75,02%.
7. Spektrum FTIR biomassa alga hijau dan alga hijau terimmobilisasi memperlihatkan bahwa keduanya memiliki gugus fungsi OH, SO₂, CH, fenil, dan gugus fungsi CO eter yang berperan pada proses adsorpsi logam Cd²⁺ ditandai dengan perubahan profil dan pergeseran bilangan gelombang pada spektrum FTIR alga hijau terimmobilisasi yang telah dikontakkan dengan larutan logam Cd²⁺.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat dikemukakan saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian menggunakan sistem yang kontinu saat proses kontak antara alga dengan larutan logam.
2. Perlu dipelajari lebih dalam mengenai mekanisme adsorpsi yang terjadi antara gugus-gugus fungsional dengan logam Cd²⁺ tersebut.
3. Perlu dipelajari lebih lanjut tentang pengimmobilisasian biomassa alga hijau sebagai adsorben logam berat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Abu Al-Rub, F. A., El-Naas, M. H., Ashour, I., & Al-Marzouqi, M. (2006). *Biosorption of copper on Chlorella vulgaris from single, binary and ternary metal aqueous solutions*. *Process Biochemistry*, 41, 457–464.
2. Ahalya, N., Ramachandra, T.V. and Kanamadi, R.D. (2003). *Biosorption of Heavy Metals*. *Research Journal Of Chemistry And Environment*, Vol.7. Bangalore: Indian Institute of Science.
3. Alluri, Hima Karnika., et. al. (2007). *Biosorption: An Eco-Friendly Alternative for Heavy Metal Removal*. *African Journal of Biotechnology* Vol. 6 (25), pp. 2924-2931
4. Atkins, P.W. (1997). *Kimia Fisika, Jilid 2. Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga
5. Buhani., Suharso., & Sumadi. (2008). *Peningkatan Kapasitas dan Selektifitas Adsorpsi Biomassa Alga Terhadap Logam Berat dengan Teknik Sol Gel*. Lampung: Penelitian Hibah Bersaing 2008, Universitas Lampung.
6. *Chlorophyta diversity slides*. July 21, 2011.
http://plantphys.info/plant_biology/labaid/chlorophyta.shtml
7. Doaa, A. R. Mahmoud., & Wafaa, A. Helmy. (2009). *Potential Application of Immobilization Technology in Enzyme and Biomass Production (Review Article)*. *Chemistry of Natural and Microbial Products Department National Research Centre*. Cairo: *Journal of Applied Sciences Research*.
8. Donmez, G., Z. Aksu and A. Ozturk, A. (1999). *Comparative Study on Heavy metal Biosorption Characteristics of Some Algae*. *Process biochemistry*, 34: 885-892.

9. Elrod, S.L. & Stansfield, W.D. (2002). *Scahum'c Outlines. Teori dan Soal-soal Genetika Ed. IV*. Terjemah oleh Damaring Tyas W. Jakarta: Erlangga.
10. Ferguson, C.R., M.R. Peterson & T.H. Jeffers. (1989). *Removal of heavy metal contaminants from wastewater using biomass immobilized in polisulfon beads*. In: Scheiner, B.J., F.M. Doyle and S.K. Kawatras (eds.), *Biotechnology in Minerals and Metal Processin*. (page: 193). Littleton: Society of mining engineers Colo.
11. Gadd, G. M. (1990). *Biosorption, Chemistry & Industry*. *Society of Chemical Industry A13*, 421 – 426
12. Hameed, Sayed Abdel., & Ola, Hammouda Ebrahim. (2006). *Biotechnological Potential Uses of Immobilized Algae*. (International Journal of Agriculture & Biology). <http://www.fspublishers.org>
13. Hariono, Bambang. (1998). *Berbagai Masalah Pencemaran Logam Berat di Lingkungan Kita*. Bagian Patologi Klinik, Fakultas Kedokteran Hewan. UGM. Yogyakarta.
14. Harris, R.O., & Ramelow, G.J, (1990). *Binding of Metal Ions by Particulate Biomassa Derivate From Chlorella Vulgaris and Scenedesmu quaadri-cauda*. *Environ. Sci. Tech.* 24, 220-227.
15. Horváthová, H. Kaduková, J. Štofko, M. (2009). *Biosorption of Cu²⁺ and Zn²⁺ by Immobilized Algae Biomass of Chlorella Kessleri*. Department of Non-ferrous Metals and Waste Treatment, Faculty of Metallurgy. Letná Košice: Technical University of Košice
16. IUPAC Compendium of Chemical Terminology IUPAC 2nd Edition. (1997). *Immobilization*. New York: IUPAC
17. Jeffers, T. H. Ferguson, C. R. & Bennett P. G. (1991). *Biosorption of Metal Contaminants Using Immobilized Biomass-A Laboratory Study*. United States Department of The Interior

18. Jianlong, Wang & Can, Chen. (2008). *Biosorbents for heavy metals removal and their future*. (Research review paper. Laboratory of Environmental Technology, INET). Beijing: Tsinghua University
19. Matweb (May 13, 2010). *Material Property Data. Overview of materials for Polisulfon*.
<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?bassnum=O5300&group=General&ckck=1>
20. Mawardi. (1997). *Biosorpsi Timbal oleh Biomassa S. Cerevisiae*. (Tesis magister Sains) Yogyakarta :Universitas Gadjah Mada.
21. Morse., et al. (1993). *The Economic and Environment Impact of Phosphorus Removal from Wastewater in the European Community*. Wetzel, R.G.
22. Ocik, J. (1982). *Adsorption*. New York: John Willey and Son.
23. Pallar, H. (1994). *Pencemaran dan Toksisitas Logam Berat*. Jakarta: Renika Cipta.
24. Parker, David., et al. (2002). *"Polymers, High-Temperature" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley-VCH: Weinheim
25. Puriyati. (2008). *Studi Biosorpsi Ion Logam Cr (III) dan Cr(VI) Terhadap Biomassa Alga Hijau dan Alga Hijau Terprotonasi*. (Laporan Penelitian). Depok : FMIPA, Universitas Indonesia
26. Putra, Sinly Evan. (2006). *Tinjauan Kinetika dan Termodinamika Proses Adsorpsi Ion Logam Pb, Cd, dan Cu oleh biomassa Alga Nannochloropsis. Sp yang Diimmobilisasi Polietilamina-Glutaraldehyd*. (Laporan Penelitian). Bandar Lampung: Universitas Lampung.
27. S, E.G. Giwangkara. (2007). *Spektrofotometri Infra Merah*. <http://chem-istry.org/artikel/spektrofotometriinframerah>(11 January, 2009)

28. Saefumillah, A. (2008). *Studi Biosorpsi Ion Logam Berat Menggunakan Biomassa Alga Hijau dari Danau di Lingkungan Universitas Indonesia*. Depok: Universitas Indonesia.
29. Suhendrayatna. (2001). *Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Mikroorganisme*. (Suatu Kajian Kepustakaan). Tokyo: Sinergy Forum – PPI Tokyo Institute of Technology.
30. Susanti, Tri. (2009). *Studi Biosorpsi Ion Logam Cr(VI) Oleh Biomassa Alga Hijau yang Diimmobilisasi Pada Kalsium Alginat*. Depok: FMIPA, Universitas Indonesia.
31. Triani, Lies. (2006). *Desorpsi Ion Logam Tembaga (II) dari Biomassa Chlorella sp yang Terimmobilisasi dalam Silika Gel*. Semarang: FMIPA, Universitas Negeri Semarang.
32. Jorge L. Gardea-Torresdey, Michelle K. Becker-Hapak, James M. Hosea, Dennis W. Darnall. (1990). *Effect of Chemical Modification of Algal Carboxyl Groups on Metal Ion Binding*. *Environ. Sci. Technol.* (pp: 1372-1378) New Mexico: New Mexico State University.
33. Triantoro, Koko. (2008). *Alga Mikro Scenedesmus Sp. Sebagai Salah Satu Alternatif Bahan Baku Biodiesel di Indonesia*. (Lomba Karya Tulis Ilmiah (LKTI) tingkat umum). Yogyakarta.
34. Vashishta, B R., A K Sinha., & V P Singh. (2004). *Botany for Degree Students- Algae*. New Delhi: S. Chand Group
35. Vijayaraghavan, K. & Yeung, Sang Yun. (2006). *Chemical Modification and Immobilization of Corynebacterium glutamicum for Adsorption of Reactive Black 5 from Aqueous Solution*. (Division of Environmental and Chemical Engineering, Research Institute of Industrial Technology.) Chonbuk: , Chonbuk National University
36. Wikipedia. (May 13, 2010). *Polysulfone*.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Polysulfone>

37. Wisjuprpto. (1996). *Penyisihan Logam Berat dalam Buangan yang Diaplikasikan di Indonesia*. (Symposium and Workshop on Heavy Metal Bioaccumulation. IUC Biotechnology). Yogyakarta :Gadjah Mada University.
38. Wulandari, Diah. (2008). *Studi Biosorpsi Ion Logam Cd (III) oleh Biomassa Alga Hijau Termodifikasi*. (Laporan Penelitian). Depok: FMIPA, Universitas Indonesia.
39. Yin, P., Yu Q., Lin Z., &Kaewsarn P. (2001). *Biosorption and Desorption of Cadmium(II) by Biomass of Laminaria japonica*. Guangzhou: Department of Chemistry, Jinan University.
40. Zipora Sembiring, Suharso, Regina, Faradila Marta, & Murniyarti. (2008). *Studi Proses Adsorpsi – Desorpsi Logam Pb (II), Cu (II) dan Cd (II) Terhadap Pengaruh Waktu dan Konsentrasi Pada Biomassa Nannochloropsis sp. Yang Terenkapsulasi Aqua-Gel Silika dengan Metode Kontinyu*. Lampung: FMIPA, Universitas Lampung.
41. Zhao, Yanfu., Yanyan, Hao., & Gerald, J. Ramelow. (1994). *Evaluation of Treatment Techniques for Increasing The Uptake of Metal Ions from Solution by Nonliving Seaweed Algal Biomas*. Los Angles: McNeese State University

Lampiran 1. Cara perhitungan konsentrasi

Perhitungan kadar larutan logam dengan kurva kalibrasi

Berikut adalah data kurva kalibrasi yang

digunakan untuk perhitungan pada percobaan variasi pH

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi
0,000	-0,00020
0,025	0,01062
0,050	0,02058
0,200	0,06646
0,500	0,18585
2,000	0,53689

Data

tersebut kemudian diplotkan dalam grafik maka akan didapatkan persamaan regresi linier.

Dari grafik tersebut didapatkan persamaan regresi linier yaitu

$$y = 0,2665x + 0,0135$$

dimana y adalah absorbansi dan x adalah konsentrasi maka untuk mencari nilai konsentrasi x dari sampel, rumus yang digunakan adalah

$$x = \frac{y - 0,0135}{0,2665}$$

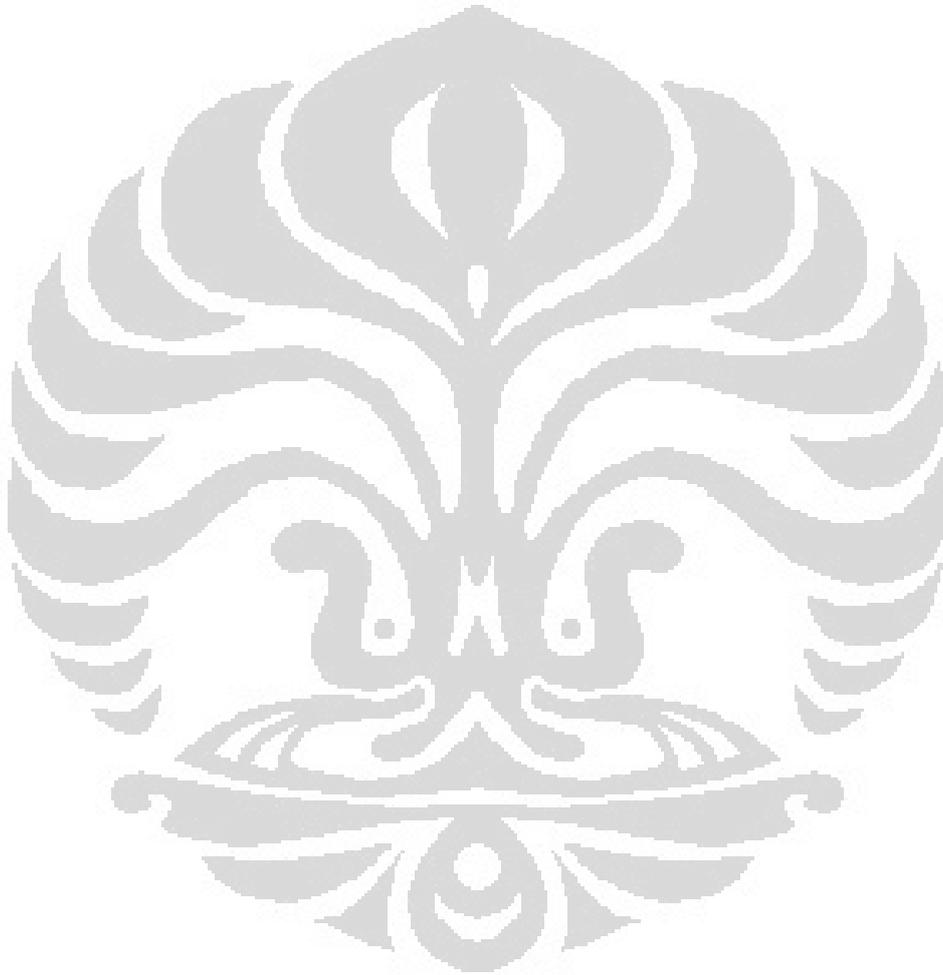
Contoh: Pada pengukuran larutan logam Cd^{2+} yang telah dilakukan sesuai pada percobaan variasi pH dengan nilai 7 didapatkan nilai absorbansi larutan logam adalah 0,2901 untuk biomassa alga, maka:

$$x = \frac{0,2901 - 0,0135}{0,2665}$$

$$x = 1,0378 \text{ mg/L}$$

$$x = 1,04 \text{ mg/L}$$

jadi konsentrasi larutan tersebut setelah dikondisikan adalah 1,04 mg/L



Lampiran 2. Cara perhitungan % Adsorpsi

Perhitungan persen adsorpsi dilakukan untuk mengetahui berapa banyak ion-ion logam Cd^{2+} yang teradsorpsi pada adsorben. Rumus yang digunakan adalah

$$\% \text{ Adsorpsi} = \frac{(\text{konsentrasi awal } (x_1) - \text{konsentrasi akhir } (x_2))}{\text{konsentrasi awal } (x_1)} \times 100\%$$

Contoh: Pada pengukuran larutan logam Cd^{2+} yang

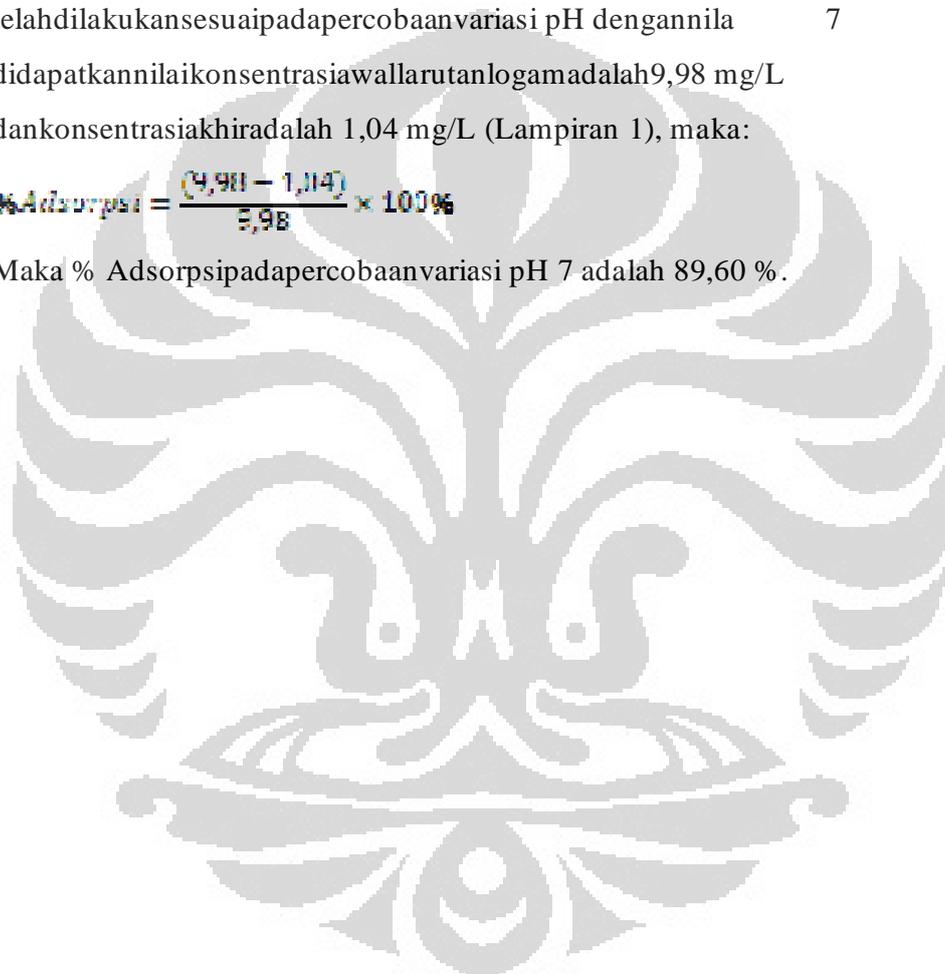
telah dilakukan sesuai pada percobaan variasi pH dengan nilai 7

didapatkan nilai konsentrasi awal larutan logam adalah 9,98 mg/L

dankonsentrasi akhir adalah 1,04 mg/L (Lampiran 1), maka:

$$\% \text{ Adsorpsi} = \frac{(9,98 - 1,04)}{9,98} \times 100\%$$

Maka % Adsorpsi pada percobaan variasi pH 7 adalah 89,60 %.



Lampiran 3. Cara perhitungan adsorpsi ion logam

Cd^{2+} Terhadap Bobot Biomassa Alga (mg/g)

Rumus yang digunakan adalah

$$\text{Adsorpsi } \left(\frac{\text{mg}}{\text{g}} \right) = \frac{(x_1 - x_2)}{1000} \times \frac{\text{volume labu}}{\text{gram biomassa}}$$

Contoh: konsentrasi logam kadmium pada variasi pH 7 untuk biomassa alga seperti yang disebutkan pada contoh lampiran 2. yaitu $x_1 = 9,98$ mg/L dan $x_2 = 1,04$ mg/L labu yang digunakan adalah labu dengan volume 25ml dan biomassa alga yang digunakan adalah 0,100 g. maka:

$$\text{Adsorpsi } \left(\frac{\text{mg}}{\text{g}} \right) = \frac{(9,98 - 1,04)}{1000} \times \frac{25}{0,100}$$

$$\text{Adsorpsi (mg/g)} = 2,235 \text{ mg/g}$$

Lampiran 4. Cara perhitungan isoterm adsorpsi Langmuir

Persamaan isoterm Langmuir:

$$\frac{1}{Q} - \frac{1}{Q_{max}} + \frac{1}{Q_{max} \cdot K \cdot C}$$

$$\frac{1}{Q} - \frac{1}{Q_{max}} + \frac{1}{Q_{max}} \times \frac{1}{K} \times \frac{1}{C}$$

$$x = \frac{1}{C} \quad y = \frac{1}{Q}$$

Berikut adalah tabel perhitungan isoterm adsorpsi untuk biomassa alga hijau terimobilisasi

Konsentrasi	Konsentrasi akhir (c)	g algae	mg/g (a)	log (m)	1/a	log (c)	1/c
0,1	0,00	0,104	0,017	-1,77	59,43	0,00	0,00
0,5	0,01	0,099	0,146	-0,83	6,83	-2,00	100,00
1,0	0,06	0,093	0,290	-0,54	3,44	-1,22	16,67
2,0	0,18	0,100	0,438	-0,36	2,29	-0,74	5,56
5,0	1,18	0,101	1,050	0,02	0,95	0,07	0,85
10,0	1,07	0,099	2,457	0,39	0,41	0,03	0,93
20,0	2,28	0,099	4,712	0,67	0,21	0,36	0,44

$$\frac{1}{a_m} = 1,1177$$

$$a_m = 0,895$$

Maka :

$$\frac{1}{a_m} \times \frac{1}{k} = 0,0597$$

$$1,1177 \times \frac{1}{k} = 0,0597$$

$$k = \frac{1,1177}{0,0597} = 18,722$$



Lampiran 5. Cara perhitungan isoterm adsorpsi Freundlich

Persamaan isoterm Freundlich

$$\log(m) = \log k + \frac{1}{n} \log c$$

$$y = \log(m) \quad x = \log c$$

Contoh: dari tabel perhitungan isoterm adsorpsi pada lampiran 4, diperoleh grafik sebagai berikut

Dari grafik diperoleh persamaan. $y = 0,655x + 0,3355$ maka

$$\frac{1}{n} = 0,655$$

$$n = 1,527$$

$$\log k = 0,3355$$

$$k = 1,399$$

Lampiran 6. Data percobaan variasi pH

1. Biomassa alga

Konsentrasi awal larutan untuk semua titik pH adalah 9,98 mg/L

pH	Alga (g)	Abs	Konsentrasi (mg/L)	Ads (mg/g)	% Adsorb
3	0.100	0,7846	2,89	1.74	71.01
4	0.100	0,4075	1,48	2.28	85.19
5	0.100	0,3610	1,30	2.34	86.93
6	0.098	0,3680	1,33	2.36	86.67
7	0.100	0,2901	1,04	2.39	89.60
8	0.102	0,2703	0,96	2.36	90.34
9	0.099	0,3292	1,18	2.38	88.13
10	0.098	0,2647	0,94	2.46	90.56

2. Biomassa alga terimmobilisasi

Konsentrasi awal larutan untuk semua titik pH adalah 9,98 mg/L

pH	Alga (g)	Abs	Konsentrasi (mg/L)	Ads (mg/g)	% Adsorb
3	0.102	1,2783	4,75	1.45	52.45
4	0.107	0,9363	3,46	1.67	65.31
5	0.100	0,7861	2,90	1.94	70.96
6	0.099	0,5870	2,15	2.13	78.44
7	0.099	0,5427	1,99	2.19	80.10
8	0.100	0,6700	2,46	2.04	75.32
9	0.097	0,5232	1,91	2.24	80.84
10	0.093	0,3549	1,28	2.51	87.17

Lampiran 7. Data percobaanvariasiwaktu

Konsentrasiawallarutanadalah 9,75 mg/L

1. Biomassa alga

menit	Alga (g)	Abs	Konsentrasi (mg/L)	Ads (mg/g)	% Adsorb
15	0,100	0,8240	3,21	1,64	62,65
30	0,099	0,6173	2,39	1,86	71,03
45	0,101	0,5364	2,07	1,91	74,32
60	0,101	0,5188	2,00	1,92	75,03
90	0,099	0,4034	1,54	2,08	79,71
120	0,102	0,3491	1,33	2,06	81,91
180	0,101	0,2822	1,06	2,14	84,63

2. Biomassa alga terimmobilisasi

menit	Alga (g)	Abs	Konsentrasi (mg/L)	Ads (mg/g)	% Adsorb
15	0,102	0,8685	3,38	1,56	60,97
30	0,100	0,7043	2,73	1,75	67,63
45	0,100	0,5322	2,05	1,93	74,61
60	0,100	0,3802	1,45	2,07	80,77
90	0,093	0,2320	0,87	2,40	86,78
120	0,100	0,1561	0,57	2,29	89,86
180	0,100	0,1008	0,35	2,34	92,10

3. Polisulfon

menit	Alga (g)	Abs	Konsentrasi (mg/L)	Ads (mg/g)	% Adsorb
15	-	0,9456	3,69	-	62,18
30	-	0,8953	3,49	-	64,22
45	-	0,8004	3,11	-	68,07
60	-	0,7554	2,93	-	69,89
90	-	0,6919	2,68	-	72,47
120	-	0,7154	2,78	-	71,52
180	-	0,6597	2,56	-	73,77

Lampiran 8. Data percobaanvariasikonsentrasi

1. Biomassa alga

Konsentrasi	Alga (g)	Abs	Konsentrasi awal	Konsentrasi (mg/L)	Ads (mg/g)	% Adsorb
Blank	0,102	0,012				
0,1	0,100	0,002	0,07	-0,06	0,018	100,00
0,5	0,100	0,001	0,59	-0,06	0,148	100,00
1,0	0,101	0,003	1,14	-0,05	0,282	100,00
2,0	0,100	0,008	1,93	-0,04	0,483	100,00
5,0	0,100	0,055	5,42	0,15	1,318	97,28
10,0	0,100	0,484	10,80	1,79	2,253	83,40
20,0	0,100	1,293	20,94	4,89	4,013	76,63

2. Biomassa alga terimmobilisasi

Konsentrasi	Alga (g)	Abs	Konsentrasi awal	Konsentrasi (mg/L)	Ads (mg/g)	% Adsorb
Blank	0,102	0,001				
0,1	0,104	0,005	0,07	-0,06	0,017	100,00
0,5	0,099	0,019	0,59	-0,05	0,146	98,75
1,0	0,093	0,033	1,14	0,01	0,290	94,74
2,0	0,100	0,064	1,93	0,06	0,438	90,75
5,0	0,101	0,324	5,42	0,18	1,050	78,30
10,0	0,099	0,296	10,80	1,18	2,457	90,09
20,0	0,099	0,611	20,94	1,07	4,712	89,12

Lampiran9. Data perhitunganisotermadsorpsi

1. Tabelperhitunganadsorpsiisotermdaribiomassa alga hijau

Konsentras i	Konsentrasiakh r (c)	g alga	mg/g (a)	log (m)	1/a	log (c)	1/c
0,1	0	0,100	0,018	-1,76	57,1 4	-	-
0,5	0	0,100	0,148	-0,83	6,78	-	-
1,0	0	0,101	0,282	-0,55	3,54	-	-
2,0	0	0,100	0,483	-0,32	2,07	-	-
5,0	0,15	0,100	1,318	0,12	0,76	-0,824	6,667
10,0	1,79	0,100	2,253	0,35	0,44	0,253	0,559
20,0	4,89	0,100	4,013	0,60	0,25	0,689	0,204

2. Tabelperhitunganadsorpsiisotermdaribiomassa alga hijau terimmobilisasi

Konsentra si	Konsentrasiakh ir (c)	g alga	mg/g (a)	log (m)	1/a	log (c)	1/c
0,1	0,00	0,104	0,017	-1,77	59,4 3	0,00	0,00
0,5	0,01	0,099	0,146	-0,83	6,83	-2,00	100,0 0
1,0	0,06	0,093	0,290	-0,54	3,44	-1,22	16,67
2,0	0,18	0,100	0,438	-0,36	2,29	-0,74	5,56
5,0	1,18	0,101	1,050	0,02	0,95	0,07	0,85
10,0	1,07	0,099	2,457	0,39	0,41	0,03	0,93
20,0	2,28	0,099	4,712	0,67	0,21	0,36	0,44

Lampiran10. Data percobaanvariasisuhu

Konsentrasiawallarutanadalahsamayaitu 5,221 mg/L

1. Tabelperhitungan % Adsorpsiterhadapvariasisuhupadabiomassa alga hijau

suhu	Alga (g)	Abs	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Ads (mg/g)	% Absorp
30	0,105	0,5382	2,005	4,774	61,60
40	0,104	0,4496	1.666	4,004	68,10
50	0,101	0,4900	1.820	4,506	65,14
60	0,101	0,4560	1.690	4,184	67,63
70	0,107	0,4487	1.662	3,884	68,16
80	0,103	0,3821	1.407	3,415	73,05
Blank	0,105	0,0276	0,043	0,103	

2. Tabelperhitungan % Adsorpsiterhadapvariasisuhupadabiomassa alga hijauterimmobilisasi

suhu	Alga (g)	Abs	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Ads (mg/g)	% Absorp
30	0.102	0,4789	1.778	4,358	65,949
40	0.104	0,4489	1.663	3,998	68,150
50	0.100	0,3947	1.456	3,639	72,124
60	0.100	0,5218	1.942	4,856	62,802
70	0.108	0,5480	2,043	4,728	60,879
80	0.104	0,5282	1.967	4,728	62,330
Blank	0.102	0,0084	0.000	0.000	

3. Tabelperhitungan % Adsorpsiterhadapvariasisuhupadabiomassa alga hijauterimmobilisasi

suhu	Alga (g)	Abs	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Ads (mg/g)	% Absorp
30	-	0,6056	2,262	-	56,688
40	-	0,5298	1.971	-	62,248
50	-	0,5530	2,060	-	60,550
60	-	0,6354	2,376	-	54,499
70	-	0,5904	2,203	-	57,806
80	-	0,4755	1.763	-	66,229
Blank	-	0,0152	0.000	-	

Lampiran 11.

Tabel perhitungan percobaan persentem balik dengan variasi konsentrasi asam dan lamanya waktu kontak.

1. Temu balik ion logam Cd^{2+} untuk konsentrasi asam 0.5 M

No	M HNO ₃		Waktu (menit)	Abs	Konsentrasi	% Temu balik
1	0.5 M	Alga Beads	30	0.24186	0.82	45.05
2			60	0.26725	0.92	50.11
3			90	0.27450	0.94	51.55
4			120	0.27878	0.96	52.40
5	0.5 M	P-Beads	30	0.24632	0.84	47.67
6			60	0.26595	0.91	51.73
7			90	0.27023	0.93	52.61
8			120	0.27388	0.94	53.36

2. Temu balik ion logam Cd^{2+} untuk konsentrasi asam 1 M

No	M HNO ₃		Waktu (menit)	Abs	Konsentrasi	% Temu balik
1	1 M	Alga Beads	30	0.2759	0.95	51.83
2			60	0.2808	0.97	52.79
3			90	0.2846	0.98	53.55
4			120	0.2735	0.94	51.35
5	1 M	P-Beads	30	0.2495	0.85	48.32
6			60	0.2751	0.95	53.62
7			90	0.2844	0.98	55.54
8			120	0.3052	1.05	59.83

3. Temu balik ion logam Cd^{2+} untuk konsentrasi asam 2 M

No	M HNO ₃		Waktu (menit)	Abs	Konsentrasi	% Temu balik
1	2 M	Alga Beads	30	0.3123	1.08	59.07
2			60	0.3153	1.09	59.66
3			90	0.2863	0.99	53.90
4			120	0.3139	1.09	59.38
5	2 M	P-Beads	30	0.3155	1.09	61.96
6			60	0.3031	1.05	59.41
7			90	0.2835	0.98	55.34
8			120	0.3368	1.17	66.35

4. Temu balik ion logam Cd^{2+} untuk konsentrasi asam 3 M

No	M HNO ₃		Waktu (menit)	Abs	Konsentrasi	% Temu balik
1	3 M	Alga Beads	30	0.3299	1.14	62.57
2			60	0.3509	1.22	66.76
3			90	0.3512	1.22	66.81
4			120	0.3695	1.29	70.45
5	3 M	P-Beads	30	0.2795	0.96	54.51
6			60	0.3012	1.04	59.00
7			90	0.3375	1.17	66.49
8			120	0.3787	1.32	75.02

