



LAPORAN PENELITIAN

MILIK PERPUSTAKAAN UNIV. NEGERI PADANG
DI TERIMA TGL. : 14-11-2002
SUMBER/HARGA. : Hld. 1
KOLEKSI : K1
NO. DAFTAR : 375/K/2002-k2/25
KLASIFIKASI : 574.19

## KAJIAN KINETIKA BIOSORPSI ION KADMIUM OLEH BIOMASSA ALGA MAT

Oleh :

**Drs. Mawardi, M.Si**

Penelitian ini dibiayai oleh  
**Proyek Peningkatan Kualitas Sumberdaya Manusia**  
Dengan Surat Perjanjian Kontrak No. 006 LIT/BPPK-SDM/IV/2002  
Tanggal 9 April 2002  
Direktorat Pembinaan Sarana Akademis  
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi  
Departemen Pendidikan Nasional

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
Oktober, 2002

MILIK PERPUSTAKAAN  
UNIV. NEGERI PADANG

## LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR

1. a. Judul Penelitian : Kajian Kinetika Biomassa Ion Kadmium Oleh Biomassa *Alga Mat*
- b. Kategori Penelitian : I / II / III
- 
2. Ketua Peneliti
- a. Nama Lengkap dan Gelar : **Mawardi, Drs, M.Si**
- b. Jenis Kelamin : Laki-laki
- c. Pangkat/Gol. dan NIP : Penata / II/c / 131 851 510
- d. Jabatan Fungsional : Lektor
- e. Fakultas / Jurusan : FMIPA / Kimia
- f. Universitas : Universitas Negeri Padang
- g. Bidang Ilmu yang Diteliti : Kimia Lingkungan
- 
3. Jumlah Tim Peneliti : 1 (satu) orang
- 
4. Lokasi Penelitian : Laboratorium Kimia FMIPA UNP Padang
- 
5. Jangka Waktu Penelitian : 6 (enam) bulan
- 
6. Biaya yang dibelanjakan : Rp. 6.000.000,- ( Enam juta rupiah)
- 


Padang, 04 November 2002

Ketua Peneliti,

Mengetahui :  
 Dekan FMIPA UNP Padang



Drs. Idrus Ramli  
 NIP. 130 232 221

  
 Drs. Mawardi, M.Si  
 NIP. 131 851 510

Menyetujui :  
 Ketua Lembaga Penelitian UNP Padang



Prof. Dr. H. Agus Irianto  
 NIP. 130 879 791

MILIK PERPUSTAKAAN  
 UNIV. NEGERI PADANG

## RINGKASAN

**Kajian Kinetika Biosorpsi Ion Kadmium Oleh Biomassa Alga Mat.<sup>\*</sup>**  
( Mawardi, 2001; 41 Halaman )

Biosorpsi dapat didefinisikan sebagai proses penyerapan ion logam, metaloid, senyawa dan partikel, yang tidak bergantung pada metabolisme oleh bahan biologi (biomaterial) yang terutama terjadi melalui mekanisme kimia-fisika seperti pertukaran ion, pembentukan kompleks dan adsorpsi. Mikroorganisme, termasuk bakteri alga, jamur, dan ragi dapat secara efisien mengakumulasi logam-logam berat dan radionuklida dari lingkungan luarnya.

Penangkapan logam oleh biomaterial terjadi melalui proses penyerapan yang melibatkan gugus fungsi yang terdapat dalam biopolimer diantaranya protein, asam nukleat, polisakarida, lignin dan polimer lainnya yang dalam sel atau di dinding sel, yang mengandung pusat aktif untuk mengikat logam. Gugus fungsional yang bermuatan negatif seperti karboksilat dan tiolat atau fosfat dan gugus fungsi lain seperti amina, hidroksida, imidazol, yang berkoordinasi dengan logam (atom) pusat melalui psangan elektro bebas

Pembentukan kompleks tergantung pada kemampuan beberapa gugus dalam makromolekul yang berperan dalam kemampuan stereospesifik dalam berinteraksi membentuk kelat. Ion logam harus berkompetisi dengan proton dari ligan, sehingga logam terikat akan berkurang pada nilai pH yang lebih rendah, karena gugus yang berpotensi sebagai donor lebih lanjut akan terprotonasi. Kemampuan ion logam dalam membentuk kompleks juga tergantung pada daya mempolarisasi, yang ditentukan oleh perbandingan antara muatan ion dan jari-jari ion logam. Suatu kation dengan daya polarisasi yang tinggi akan 'dipandang' oleh ligan sebagai pusat muatan positif berkepadatan tinggi, sehingga interaksi yang terjadi lebih kuat. Ligan (gugus fungsi) yang mempunyai atom donor dengan keelektronegatifan tinggi adalah basa keras, sedangkan ligan dengan atom donor yang mudah terpolarisasi adalah basa lunak.

Dalam penelitian ini dipelajari biosorpsi logam kadmium dalam larutan menggunakan biomassa alga mat, khususnya spesies *Spirogyra subsalsa* yang diperoleh dari Sungai Air Dingin, Lubuk Minturun Kodya Padang dan

diidentifikasi di Laboratorium Taksonomi FMIPA Universitas Andalas. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari kemungkinan penggunaan biomassa tersebut untuk memisahkan logam timbal dari limbah cair yang mengandung logam tersebut.

Dalam pelaksanaannya dipelajari faktor yang mempengaruhi penyerapan yaitu : pengaruh pH awal larutan, waktu kontak biomassa dengan larutan (laju penyerapan), konsentrasi awal larutan, laju penyerapan (waktu kontak). Energi aktivasi dihitung dengan persamaan Arrhenius. Konsentrasi logam dalam larutan ditentukan dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Jumlah ion logam yang diserap oleh biomassa ditentukan dengan menghitung selisih antara jumlah kadmium yang terdapat dalam larutan sebelum dan sesudah larutan berinteraksi dengan biosorben.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektifitas biosorpsi sangat dipengaruhi oleh pH awal dan konsentrasi awal larutan timbal. Penyerapan ion kadmium meningkat dengan tajam pada jangkai pH antara 2,0 dan 3,0 kemudian relatif konstan pada pH yang lebih tinggi. Penyerapan logam meningkat secara linier sebagai fungsi dari konsentrasi ion kadmium awal dalam larutan sampai konsentrasi sekitar 75 mg/L setara dengan serapan 6.6 mg logam kadmium per gram biomassa biosorben. Perhitungan dengan persamaan Isoterm Langmuir menunjukkan bahwa kapasitas serapan maksimum biomassa alga mat 7, 278 mg kadmium per gram biomassa kering. Proses biosorpsi logam kadmium dalam larutan merupakan proses yang berlangsung cepat, dimana kira-kira 95% dari nilai total serapan terjadi pada sekitar 5 menit pertama waktu kontak. Plot  $\ln K$  terhadap  $1/T$ , dimana  $K$  adalah konstanta kesetimbangan dan  $T$  suhu, dalam Kelvin, diperoleh energi aktivasi sebesar 54,0667 kJ/mol

---

\* Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Padang

\*\* Dibiayai oleh Proyek PKSM dengan SPK. No. 006/LIT/BPPK-SDM/IV/2002  
Tanggal 9 Maret 2002 Ditbinsarak-Ditjen Dikti Depdiknas.

## SUMMARY

### **Study of Biosorption Kinetic of Cadmium Ion by Mat Algae Biomass ( Mawardi, 2001; 48 pages)**

**Chemistry Department  
Faculty of Science, Padang State University**

Biosorption may be defined as the process of metabolism-independent binding or adsorption of metal ion or metalloid species, compounds and particulates from solution by biological material (biomass), which occurs mainly by physico-chemical mechanisms such as ion exchange, complexation and adsorption. Microorganisms including bacteria, algae, fungi and yeast can efficiently accumulated heavy metals and radionuclides from their external environment.

Metals uptake by biological materials are believed to occur through sorption process involving the functional groups associated with biopolymers protein, nucleic acids, polysaccharides, lignin and other biopolymers found in the cell or cell walls, all provide sites at which metal ions will bind. The functional group as well as negatively charged groups such as carboxylate, thiolate or phosphate and groups such as amine, hydroxide, imidazole function which coordinate to the metal centre through lone pairs of electrons.

Complex formation is dependent on the ability of several groups within a ligand macromolecule contributing in a stereospecific way to the interaction as in chelation. Metal ion must compete with protons for ligand, and so metals bind less well at lower pH values as the potential donor group will be protonated to an increasing extent. The complexing power of a metal ion depends upon its polarizing power that is, on the charge/radius ratio of the ion. A cation of high polarizing power is "seen" by the ligand as a centre of high density of positive charge with resulting strong interaction. Ligands with highly electronegative donor atoms are hard bases, while ligands with polarizable donor atoms are soft.

As a general rule, hard cations (or acids) form most stable complexes with hard ligands (or base) while soft acids form most stable complexes with soft bases.

In this research was studied of biosorption kinetic of cadmium ion from solution using mat algae, specially *Spirogyra subsalsa* species biomass that was take from Air Dingin River, Lubuk Minturun, Padang City that was identified in The Taxonomy Laboratorium Faculty of Science Andalas University Padang. The works were conducted to study the possibility of the using of biomass to remove toxic metals, specially cadmium, from liquid industrial wastes.

In this work, several variables affecting the degree of cadmium biosorption by mat algae biomass, i.e: initial pH of the solution, contact time (rate sorption) initial lead concentration, were evaluated. The activation energy was calculated by Arrhenius equation. Metal concentration in solution was measured by Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). Moreover, the degree of biosorption in biomass were calculated by the difference between the cadmium concentration in the solution before and after the interaction.

The effectiveness of biosorption was influenced by several variables. The biosorption of cadmium increased rapidly with pH in the range of 2,0 to 3,0 and the maximum sorption was seen at pH 5,0 and than constant at the higher pH. Biosorption of cadmium by mat algae biomass was a rapid process reaching 95 % of the final uptake value within the first 5 min of the contact time. The biosorption of cadmium was found to increase linearly as a function of initial lead concentration up to 75 mg/L. Using Langmuir isotherm equation, maximum biosorption capacity was calculated. It was found that 7,278 mg cadmium can be bound by one gram of dry biomass. Plot  $\ln K$  to  $1/T$ , where  $K$  is constant equilibrium and  $T$  is temperature in Kelvin, activation energy was found 54,0667 kj/mol

---

\* Dibiayai oleh Proyek PKSM dengan SPK. No. 006/LIT/BPPK-SDM/IV/2002  
Tanggal 9 April 2002 Ditbinsarak-Ditjen Dikti Depdiknas.

## KATA PENGANTAR

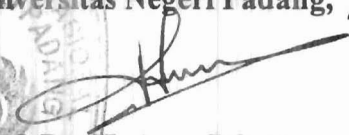
Kegiatan penelitian mendukung pengembangan ilmu serta terapannya. Dalam hal ini, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang berusaha mendorong dosen untuk melakukan penelitian sebagai bagian integral dari kegiatan mengajarnya, baik yang secara langsung dibiayai oleh dana Universitas Negeri Padang maupun dana dari sumber lain yang relevan atau bekerja sama dengan instansi terkait.


Sehubungan dengan itu, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang bekerjasama dengan Proyek Peningkatan Kualitas Sumberdaya Manusia, Direktorat Pembinaan Sarana Akademis, Ditjen Dikti Depdiknas dengan surat perjanjian kontrak No.006/LIT/BPPK-SDM/IV /2002 tanggal 9 April 2002 untuk melakukan penelitian ilmu pengetahuan terapan dengan judul *Kajian Kinetika Biosorpsi Ion Kadmium oleh Biomassa Alga Mat*.

Kami menyambut gembira usaha yang dilakukan peneliti untuk menjawab berbagai permasalahan pembangunan, khususnya yang berkaitan dengan permasalahan penelitian tersebut di atas. Dengan selesainya penelitian ini, maka Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang telah dapat memberikan informasi yang dapat dipakai sebagai bagian upaya penting dan kompleks dalam peningkatan mutu pendidikan pada umumnya. Di samping itu, hasil penelitian ini juga diharapkan sebagai bahan masukan bagi instansi terkait dalam rangka penyusunan kebijakan pengelolaan program peningkatan kualitas Sumber Daya Manusia.

Pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini. Secara khusus, kami sampaikan terima kasih kepada Pimpinan Proyek Pengkajian dan Penelitian Ilmu Pengetahuan Terapan, Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat, Ditjen Dikti Depdiknas yang telah memberikan dana untuk pelaksanaan penelitian ini. Kami yakin tanpa dedikasi dan kerjasama yang terjalin selama ini, penelitian ini tidak dapat diselesaikan sebagaimana yang diharapkan. Semoga kerjasama yang baik ini dapat dilanjutkan untuk masa yang akan datang.

Terima kasih.

Padang, November 2002  
Ketua Lembaga Penelitian  
Universitas Negeri Padang,  
  
Prof. Dr. H. Agus Irianto  
NIP. 130879791



**DAFTAR ISI**

	<b>Halaman</b>
LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN .....	ii
RINGKASAN .....	iii
SUMMARY .....	v
PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR LAMPIRAN .....	xi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
<b>A. Latar Belakang Masalah</b> .....	1
B. Perumusan Masalah .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN ..	26
<b>A. Tujuan Penelitian</b> .....	26
B. Manfaat Penelitian .....	26
BAB IV METODE PENELITIAN .....	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	41
DAFTAR PUSTAKA .....	43
LAMPIRAN .....	45



**DAFTAR TABEL**

	<b>Halaman</b>
Tabel 1. Jenis Interaksi Logam-Biomolekul .....	15
Tabel 2. Klasifikasi Asam-Basa Keras dan Lunak .....	18

**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
Gambar 2.1. Grafik Kurva Adsorpsi Isoterm Langmuir .....	22
Gambar 5.1. Grafik Pengaruh pH Awal Larutan Terhadap Serapan... ..	34
Gambar 5.2. Pengaruh Waktu Kontak (Laju Serapan) .....	36
Gambar 5.3. Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan .. ..	37
Gambar 5.4. Kurva Linieritas Langmuir.....	38
Gambar 4.3. Kurva Linieritas $\ln k$ Terhadap $1/T$ .. ..	39

**DAFTAR TABEL**

Halaman

**DAFTAR LAMPIRAN**

	<b>Halaman</b>
Lampiran 1. Diagram Kerja .....	45
Lampiran 2. Data Pengaruh pH awal larutan Terhadap Serapan .....	46
Lampiran 3. Data Pengaruh Waktu Kontak (Laju Serapan) .....	46
Lampiran 4 Data Pengaruh Konsentrasi Awal larutan Terhadap Serapan ...	47
Lampiran 5. Data Perhitungan Kurva Linieritas Langmuir .....	47
Lampiran 6. Data Perhitungan Energi Aktivasi .....	48

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang Masalah**

Salah satu kandungan limbah industri yang dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan adalah limbah yang mengandung logam berat (Wisjnuprpto, 1996). Pencemaran oleh logam-logam berat seperti kadmium, timbal, mangan, kromium, tembaga, merkuri dan arsen, antara lain disebabkan oleh beberapa jenis industri, yang dalam proses produksinya menggunakan bahan-bahan atau senyawa-senyawa yang mengandung logam-logam berat tersebut.

Pada dasarnya logam berat dalam air buangan dapat dipisahkan dengan berbagai cara, yaitu cara fisika, kimia dan biologi (Wisjnuprpto, 1996). Pengolahan air buangan secara biologi memanfaatkan kemampuan akumulasi logam berat di dalam tubuh organisme. Cara pemisahan logam berat yang banyak diterapkan selama ini adalah cara kimia, yaitu dengan menambahkan bahan kimia yang dapat mengendapkan logam berat sebagai hidroksidanya, diikuti dengan proses fisika, yaitu proses pengendapan. Menurut Harris dan Ramelow (1990), cara tersebut tidak dapat mengendapkan logam-logam berat seperti timbal, kadmium dan merkuri secara sempurna. Pengolahan secara fisika yang umum dilakukan adalah adsorpsi, misalnya dengan menggunakan karbon aktif dan penyaringan menggunakan membran.

Meskipun teknik pengendapan dapat memisahkan logam dalam jumlah yang relatif besar, tetapi cara tersebut tidak ekonomis dan konsentrasi logam yang tertinggal di dalam air buangan masih melebihi konsentrasi yang diperbolehkan.

Oleh sebab itu perlu dikembangkan alternatif lain penangan limbah cair yang lebih ekonomis, diantaranya kemungkinan memanfaatkan kemampuan beberapa mikroorganisme dan beberapa biomaterial lainnya dalam menyerap logam-logam berat. Salah satu diantaranya adalah biomassa alga yang relatif banyak ditemukan di perairan Indonesia. Menurut Gadd (1990), mikroorganisme, diantaranya ragi, jamur, bakteri dan alga dapat menyerap logam-logam berat dan radionuklida dari lingkungan eksternalnya secara efisien.

Penyerapan logam berat oleh mikroorganisme, dapat terjadi melalui proses penyerapan yang tidak bergantung pada metabolisme (*metabolism-independent*) dan penyerapan yang bergantung pada metabolisme (*metabolism-dependent*) (Hughes dan Pool, 1990). Proses penyerapan logam tidak bergantung metabolisme terutama terjadi pada permukaan dinding sel dan permukaan eksternal lain, melalui mekanisme kimia dan fisika, seperti pertukaran ion, pembentukan kompleks dan adsorpsi, yang secara keseluruhan disebut *biosorpsi* (Gadd dan White, 1993; Gadd, 1992; Hancock, 1996a).

Biosorpsi terjadi dengan melibatkan interaksi ionik, polar atau kovalen, interaksi gabungan dan mineralisasi, antara logam dengan biopolimer, diantaranya: protein dan polisakarida, sebagai sumber gugus fungsional yang berperan penting dalam mengikat ion logam. Gugus ligan yang tersedia merupakan gugus bermuatan negatif seperti karboksilat, fosfodiester, fosfat dan tiolat atau gugus amida, yang berkoordinasi dengan atom pusat logam melalui pasangan elektron bebas (Gadd, 1990a; Hughes dan Poole, 1990).

Proses yang bergantung pada metabolisme banya terjadi pada sel mikroorganisme hidup. Proses ini menyebabkan terakumulasinya logam di dalam dan di bagian pinggir intraselular sel. Proses ini berlangsung lambat dan secara kritis sangat tergantung pada nutrien dan kondisi lingkungan seperti pH larutan dan suhu (Gadd, 1990a; dan Brierley dkk. dalam Hancock, 1996b).

Kemampuan ion logam membentuk kompleks tergantung pada daya mempolarisasi, yang ditentukan oleh perbandingan antara muatan dan jari-jari ion logam yang bersangkutan. Suatu kation dengan daya mempolarisasi tinggi “disenangi” oleh ligan sebagai pusat muatan positif berkeperanan tinggi, sehingga menghasilkan interaksi yang kuat (Wood dan Wang, 1993).

Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dipelajari kondisi karakteristik (kondisi optimum) biosorpsi logam tertentu dengan suatu biomassa tertentu dan perlu dipelajari kinetika penyerapan, sehingga kondisi yang diperoleh dapat dijadikan titik tolak dalam pengembangan penelitian selanjutnya. Dalam penelitian ini dipelajari biosorpsi ion kadmium menggunakan biomassa alga mat spesies *Spyrogira subsalsa*.

## **B. PERUMUSAN MASALAH:**

Proses penyerapan logam tidak bergantung metabolisme terutama terjadi pada permukaan dinding sel dan permukaan eksternal lain, melalui mekanisme kimia dan fisika, seperti pertukaran ion, pembentukan kompleks dan adsorpsi, yang proses secara secara keseluruhan disebut *biosorpsi*.

Pada proses biosorpsi interaksi antara kation logam dengan biomassa mikroorganisme merupakan interaksi ionik, polar, interaksi gabungan dan mineralisasi, yang melibatkan makromolekul permukaan sel, seperti protein, polisakarida, fosfolipid, chitin dan chitosan yang mengandung gugus fungsional yang berperan penting dalam mengikat logam merupakan gugus bermuatan negatif seperti karboksilat, gugus amida, fosfat, fosfoester dan tiol. Gugus-gugus fungsional tersebut berkoordinasi membentuk kompleks dengan atom pusat logam melalui pasangan elektron bebas.

Kinetika sorpsi dinding sel biomassa dapat dikaji dengan menggunakan persamaan Adsorpsi Isoterm Langmuir. Langmuir menggambarkan bahwa pada permukaan biosorben terdapat sejumlah tertentu pusat aktif (*active site*) yang sebanding dengan luas biosorben. Pada setiap pusat aktif hanya satu molekul yang dapat diserap. Penyerapan secara kimia, terjadi apabila terbentuk ikatan kimia antara molekul terserap dengan pusat aktif penyerap, membentuk lapisan tunggal pada permukaan penyerap (*monolayer adsorption*).

Persamaan Adsorpsi Isoterm Langmuir di atas dapat ditulis dalam bentuk persamaan linier, yaitu

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

$a$  adalah miligram logam yang terserap pergram biomassa kering,  $k$  adalah konstanta keseimbangan (afinitas serapan).  $c$  adalah konsentrasi ion bebas saat seimbang (mg/l), sedangkan  $a_m$  adalah miligram logam terserap pada keadaan jenuh (kapasitas serapan maksimum), biasa juga ditulis dengan notasi  $b$ .

Apabila persamaan Adsorpsi Isoterm Langmuir dapat berlaku maka plot  $c/a$  terhadap  $c$  atau  $1/a$  terhadap  $1/c$  akan diperoleh garis linier, sehingga konstanta afinitas serapan ( $k$ ) dan kapasitas serapan maksimum ( $c_m$ ) dapat ditentukan dari slope dan intersep. Apabila  $\ln k$  diplot terhadap  $1/T$ , dimana T adalah suhu, maka energi aktifitas ( $E_a$ ), dapat dihitung dari slope.

Berdasarkan uraian yang dikemukakan di atas, maka dikemukakan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Karena proses biosorpsi kation logam oleh biomassa mikroorganisme merupakan interaksi ionik, polar, dan interaksi gabungan maka proses tersebut diduga dipengaruhi oleh kondisi-kondisi larutan antara lain pH awal larutan, konsentrasi awal larutan logam dan waktu kontak antara biosorben dan larutan.
2. Apabila plot ( $c/a$ ) terhadap  $c$  menghasilkan suatu garis linier, maka dugaan bahwa penyerapan ion kadmium dalam larutan oleh biomassa alga mat terutama terjadi pada permukaan dinding sel dapat dibuktikan, sehingga memenuhi teori Adsorpsi Isoterm Langmuir.
3. Apabila proses biosorpsi logam kadmium oleh biomassa alga mat memenuhi teori Adsorpsi Isoterm Langmuir maka konstanta afinitas serapan ( $k$ ) dan kapasitas serapan maksimum ( $a_m$ ) dapat ditentukan dari slope dan intersep. dan energi aktifitas ( $E_a$ ) dapat dihitung dari plot  $\ln k$  terhadap  $1/T$ , dimana T adalah suhu.

Alga mat yang digunakan dalam penelitian ini adalah devisi Chlorophyta, spesies *Spirogyra subsalsa*, yang diperoleh dari perairan Sungai Air Dingin,



Lubuk Minturun Padang yang telah diidentifikasi di laboratorium Taksonomi Tumbuhan Universitas Andalas Padang. Yang dimaksud dengan biomassa alga adalah sel alga hijau (Chlorophyta) yang telah dimatikan dengan cara dikeringkan udara terbuka, pada suhu kamar, sampai diperoleh berat tetap.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### A. Kadmium

Logam kadmium banyak digunakan dan terdapat dalam buangan industri cat, penyulingan minyak, penyalutan logam. Disamping itu, senyawa kadmium sulfat digunakan dalam industri baterai, senyawa kadmium bromida dan kadmium iodida digunakan dalam dunia fotografi. Senyawa dietil kadmium digunakan dalam proses pembuatan tetraetil timbal, senyawa kadmium stearat banyak digunakan dalam perindustrian manufaktur PVC. Selain itu kadmium banyak digunakan dalam industri-industri ringan seperti pada proses pengolahan roti, ikan, minuman, industri tekstil.

Kontaminasi oleh kadmium, baik yang ditimbulkan oleh proses alami maupun akibat aktivitas manusia seperti dari limbah cair industri, menjadi masalah yang serius, antara lain karena yang menjadi sasaran adalah daerah perairan seperti sungai. Masalah tersebut timbul antara lain karena: (1) resistensinya dalam lingkungan dan kemungkinan transformasinya menjadi senyawa yang lebih beracun, (2) akumulasi oleh organisme perairan, seperti plankton, (3) efek kronik bagi organisme pada konsentrasi rendah, (4) kemungkinan masuknya ke dalam tubuh manusia melalui makanan yang berasal dari organisme perairan seperti ikan atau melalui air minum, (5) kemungkinan akumulasinya dalam tubuh manusia, yang makin lama semakin meningkat sampai mencapai tingkat meracuni.

Sama halnya dengan logam-logam berat lain, logam kadmium membawa sifat racun yang merugikan semua organisme hidup, bahkan manusia, dimana keracunan yang disebabkan kadmium dapat bersifat akut dan kronis. Keracunan akut diantaranya berupa penyakit paru-paru akut, bahkan kematian. Sedangkan keracunan yang bersifat kronis disebabkan oleh daya racun yang dibawa oleh logam kadmium, terjadi dalam rentang waktu yang sangat panjang, umumnya berupa kerusakan-kerusakan pada banyak sistem fisiologis tubuh. Sistem-sistem tubuh yang dapat dirusak oleh keracunan kronis logam kadmium ini adalah sistem urinaria (ginjal), sistem respirasi (pernafasan/paru-paru), sistem sirkulasi (darah) dan jantung. Disamping itu, keracunan kronis juga merusak kelenjar reproduksi, sistem penciuman, kerapuhan tulang, bahkan kanker prostat dan kanker paru-paru.

Jumlah normal kadmium di tanah berada di bawah 1 ppm, tetapi angka tertinggi (1700 ppm) dijumpai pada permukaan sampel tanah yang diambil dekat pertambangan bijih seng (Zn). Kadmium lebih mudah diakumulasi oleh tanaman dibandingkan dengan ion logam berat lainnya seperti timbal. Logam berat ini bergabung bersama timbal dan merkuri sebagai *the big three heavy metal* yang memiliki tingkat bahaya tertinggi pada kesehatan manusia. Menurut badan dunia FAO/WHO, konsumsi per minggu yang ditoleransikan bagi manusia adalah 400-500 µgr per orang atau 7µgr per kg berat badan (Suhendrayatna,2001), sedangkan menurut PP RI Nomor 20 tahun 1990 tentang kriteria kualitas air golongan A (air yang dapat dikonsumsi langsung), kadar maksimum ion kadmium dalam air adalah 0,005 mg/L.

## B. Alga Mat

Alga mat merupakan salah sekelompok mikroalga perifiton berfilamen, yang hidup melekat pada berbagai substratum baik dalam air mengalir maupun dalam air tergenang, dan dapat membentuk hamparan massa alga yang menutupi dasar dan permukaan sungai (Afrizal, dkk., 1999). Umumnya alga ini berasal dari kelompok Cyanophyta (alga biru), Chlorophyta (alga hijau), dan jarang sekali berasal dari kelompok Pheophyta (alga coklat) dan Rhodophyta (alga merah).

Afrizal, dkk. (1999), telah meneliti tentang alga mat pada tiga sungai di Kota Madya Padang Sumatera Barat. Ditemukan 13 jenis alga mat yang berasal dari kelompok Chlorophyta. Adapun klasifikasi *Spirogyra subsalsa* adalah sebagai berikut :

- Dunia : *Protista*
- Divisi : *Chlorophyta*
- Klas : *Chlorophyceae*
- Ordo : *Zygnematales*
- Famili : *Zygnemataceae*
- Genus : *Spirogyra*
- Spesies : *Spirogyra subsalsa*

*Spirogyra subsalsa* mempunyai ukuran yang besar, mudah diidentifikasi dan mempunyai daerah penyebaran yang luas. *Spirogyra subsalsa* membentuk massa berwarna hijau cerah di permukaan kolam dan sungai beraliran tenang (Tjitrosomo, dkk, 1983).

Dinding sel *Spirogyra subsalsa* terutama tersusun dari selulosa dan sel-sel tersebut mengandung vakuola pusat yang besar diliputi oleh selapis sitoplasma. Di dalam sitoplasma terdapat kloroplas yang mengandung massa protein cadangan yang merupakan pusat pembentukan pati (Tjitrosoma,dkk,1983). Sedangkan menurut Pritchard dan Bradt (1984), dinding sel Chorophyta disusun oleh lapisan selulosa yang mengandung polimer linier dari molekul-molekul glukosa, glikoprotein dan lapisan terluar yang mengandung pektin. Selubung sel disusun oleh polimer-polimer manosa atau ksilosa serta asam-asam amino, khususnya hidroksiprolin.

Beberapa penelitian terdahulu tentang penyerapan logam oleh mikro-organisme, termasuk alga telah banyak dilakukan, baik oleh mikroorganisme hidup maupun mikroorganisme mati.

Mahan dkk (1989), telah melaporkan dalam sistem multikomponen, tiga spesies alga *Chlorella pyrenoidosa*, *Stichococcus baccularis* dan *Chlamydomonas rainharti* mempunyai affinitas serapan tertinggi terhadap logam-logam Cu, Fe dan Pb, yaitu antara 70% sampai 98% pada konsentrasi 4 mg/L.

Ramelow dkk (1990), telah meneliti penyerapan beberapa logam berat seperti Ag, Cu, Cd dan Zn oleh biomassa *Chlorella vulgaris* dan *Scenedesmus quadricauda*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyerapan tembaga dan perak terjadi pada pH optimum 5 dengan konsentrasi 5 mg/L. Penyerapan tembaga berlangsung cepat, terjadi pada saat 15 menit pertama waktu kontak.

Mahan dan Holcombe (1992), telah meneliti serapan timbal oleh sel alga *Stichoccus bacillaris* yang diamobilisasi pada substrat silika. Hasil penelitian menunjukkan bahwa cara amobilisasi mengurangi efisiensi serapan sebesar 40%, jika dibandingkan dengan sel-sel biomassa bebas.

Zhao dkk. (1994), telah meneliti pengaruh beberapa perlakuan pada serapan ion-ion logam dalam larutan oleh beberapa biomassa alga. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa pada umumnya dalam 15 atau 30 menit sudah tercapai serapan maksimum. Perlakuan pada suhu sampai 60°C hanya sedikit mempengaruhi serapan. Penambahan NaOH pada 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

Volesky dan Holan (1995), telah meneliti penyerapan beberapa biomassa terhadap beberapa logam berat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Pb dan Cd berhasil dipisahkan dari larutan yang sangat encer menggunakan biomassa alga *Ascophyllum* dan *Sargassum mati*, yang mengakumulasi logam lebih dari 30% dari berat kering biomassa. Demikian juga miselia jamur *Rhizopus* dan *Abisidia* merupakan bahan penyerap yang baik untuk Pb, Cd, Cu, Zn dan U, dengan serapan sampai 25% dari berat kering.

Volesky dan May Phillips (1995), telah meneliti penyerapan beberapa logam berat dan radionuklida oleh biomassa *Saccharomyces cerevisiae*. Hasil penelitian mereka memperlihatkan bahwa penyerapan uranium, seng dan tembaga terjadi pada pH optimum 4-5. Biomassa ragi industri fermentasi mati menyerap 0,58 mmol U/g, sedangkan biomassa ragi industri roti mati menyerap kira-kira

0,56 mmol U/g. Penyerapan uranium berlangsung cepat, dimana kira-kira 60% dari nilai penyerapan akhir terjadi saat 15 menit pertama waktu kontak.

Ramelow dkk. (1995), mempelajari kinetika ikatan logam dengan biomassa *Sargassum* mati yang diamobilisasi dalam suatu matriks polimer. Hasil penelitian mereka memperlihatkan bahwa ion tembaga dan timbal terserap sepuluh kali lebih besar pada sistem polisulfona-biomassa dibandingkan sistem polisulfona saja.

Madrid dkk (1995) telah meneliti penyerapan metil merkuri dan merkuri (II) oleh biomassa *Saccharomyces cerevisiae*. Hasil penelitian mereka memperlihatkan bahwa penyerapan metilmerkuri dan merkuri (II) terjadi pada pH optimum 7, suhu optimum 37 °C dan waktu inkubasi 30 menit.

Torresdey dkk (1996), telah meneliti penyerapan beberapa logam berat seperti kadmium (II), khrom (III), khrom (VI), timbal (II) dan seng (II) oleh biomassa *Medicago sativa* (alfalfa). Hasil penelitian memperlihatkan bahwa pH optimum 5, waktu kontak 5 menit dan jumlah ion logam yang terserap per gram biomassa yaitu : 7,1 mg Cd, 7,7 mg Cr (III), 43 mg Pb (II) dan 4,9 mg Zn (II), sedangkan pada khrom (VI) tidak terjadi serapan. Afinitas serapan untuk khrom (III), timbal (II) dan seng (II) melebihi 90% dan lebih dari 70 % untuk afinitas serapan kadmium (II).

Mawardi dkk., (1997), telah meneliti penyerapan biomassa *Saccharomyces cerevisiae* terhadap logam timbal(II). Hasil penelitian memperlihatkan bahwa proses penyerapan berlangsung cepat, dimana kira-kira 86% dari total serapan terjadi pada 10 menit pertama waktu kontak. Penyerapan meningkat dengan tajam

pada jangkang pH 3,0 dan 4,0 dan penyerapan meningkat secara linier sebagai fungsi dari konsentrasi awal ion timbal(Pb) sampai 40 mg/L. Kapasitas serapan maksimum yang diperoleh adalah 33,04 mg Pb/g.

Lee dan Volesky (1999) telah meneliti pengaruh penyerapan tembaga oleh aluminium dengan biomassa *Sargassum fuitans* melalui metode kesetimbangan. Tembaga dan aluminium yang terserap maksimum dihitung dari Isotherm Langmuir dimana diperoleh 1,54 mmol/gr tembaga dan 3,75 mmol/gr aluminium pada pH 4,5 . Pada pH 3,5 tembaga yang terserap 1,35 mmol/gr dan 1,58 mmol/gram aluminium.

Mawardi (2001) telah meneliti biosorpsi logam timbal oleh biomassa kelompok alga hijau (Chlorophyta) yang merupakan gabungan dari spesies *Oedogonium gigantium* dan *Cladophora glomerata*. Hasil yang diperoleh memperlihatkan bahwa penyerapan meningkat dengan tajam pada pH antara 2,0 dan 3,0, kemudian relatif konstan pada pH yang lebih tinggi sedangkan dari perhitungan dengan teori Isotherm Langmuir menunjukkan bahwa kapasitas serapan maksimum biomassa alga adalah 21,0042 mg Pb/gram biomassa kering.

### C. Penyerapan Logam Oleh Biomassa.

Mikroorganisme, diantaranya khamir, jamur, bakteri dan alga secara efisien dapat menyerap logam-logam berat dan radionuklida dari lingkungan eksternalnya (Gadd, 1990). Secara umum, terdapat dua jenis penyerapan logam berat oleh mikroorganisme, yaitu penyerapan logam yang tidak bergantung pada metabolisme (*metabolism-independent*) dan penyerapan logam yang bergantung



pada metabolisme (*metabolism-dependent*). (Hughes dan Poole, 1990; Gadd, 1990b).

Proses penyerapan logam yang tidak bergantung pada metabolisme terutama terjadi pada permukaan dinding sel dan permukaan eksternal lain. Penyerapan terjadi melalui mekanisme kimia dan fisika, misalnya pertukaran ion, pembentukan kompleks dan adsorpsi. Proses ini secara keseluruhan disebut *biosorpsi* (Gadd dan White, 1993; Gadd, 1992; 1996; Hancock, 1996a). Biosorpsi merupakan proses yang dominan dari semua proses yang terlibat dalam penyerapan logam, terutama untuk timbal, aluminium, uranium dan thorium (Gadd, 1993). Proses ini berlangsung cepat dan terjadi baiknya pada mikroorganisme hidup maupun mati (Gadd dalam Edward, 1990; Hancock, 1996c). Penyerapan logam melibatkan ikatan ion dan kovalen dengan bio-polimer. Protein dan polisakarida berfungsi sebagai sumber gugus fungsional yang berperan penting dalam mengikat ion logam. Gugus ligan yang tersedia merupakan gugus bermuatan negatif seperti karboksilat, fosfat, fosfodiester dan tiolat atau gugus amida yang berkoordinasi dengan atom pusat logam melalui pasangan elektron bebas (Gadd, 1990a; Hughes dan Poole, 1990).

Proses penyerapan logam yang bergantung pada metabolisme hanya terjadi pada sel mikroorganisme hidup. Proses ini menyebabkan terakumulasi-nya logam di dalam dan di bagian pinggir bagian intraselular. Proses ini berlangsung lambat dan secara kritis sangat tergantung pada nutrisi dan kondisi lingkungan seperti pH larutan dan suhu (Gadd, 1990a dan Brierley dkk.; dalam Hancock, 1996b).

#### D. Jenis Interaksi Pada Biosorpsi Logam Oleh Mikroorganisme

Interaksi antara kation logam dengan biomassa mikroorganisme yang melibatkan makromolekul permukaan sel, terjadi dengan kuat dan relatif tidak spesifik. Jenis interaksi, khususnya pada jamur dan khamir disimpulkan dalam tabel 1 (Hancock, 1996c).

**Interaksi Ionik.** Interaksi yang terjadi antara kation logam dengan gugus anion dari makromolekul pada permukaan dinding sel. Interaksi dimaksud mirip dengan interaksi dalam resin penukar kation, kekuatan dan ke-spesifikannya tergantung pada jari-jari ion dan muatan ion logam, derajat ionisasi anion makromolekul pada pH operasional dan persaingan dari muatan positif tertentu dalam polimer (Hancock, 1996c).

Tabel 1. Jenis Interaksi Logam-Makromolekul Pada Permukaan Sel Jamur dan Khamir

Jenis Interaksi	Jenis Makromolekul	Gugus Fungsional
Ionik	fosfomanan	fosfat
Polar (dipol-dipol)	polisakarida chitin dan chitosan	hidroksil, amino, hidroksil
Gabungan	protein	amino, hidroksil, amida, karboksil, tiol
Mineralisasi	polimer anion mikro-organisme	fosfat, karboksilat

Makromolekul fosfomanan yang merupakan komponen utama dinding sel khamir dan jamur, merupakan poliionik karena mengandung fosfodiester.

**Interaksi Polar.** Polisakarida penyusun dinding sel mikroorganisme dapat membentuk kompleks dengan ion ligan transisi melalui interaksi dipol-dipol antara kation logam dengan gugus polar seperti  $-OH$ ,  $-NH_2$  dan  $\text{>C=O}$ . Pembentukan kompleks tergantung pada kemampuan berinteraksi beberapa gugus dalam makromolekul yang berfungsi sebagai ligan untuk membentuk khelat. Chitin dan Chitosan yang banyak terkandung dalam sel merupakan zat penyerap yang efektif untuk logam dan radionuklida

**Interaksi Gabungan dan Berganda.** Logam-logam berat terikat pada sebagian besar protein dan mengubah sifat protein tersebut. Karena protein mengandung bermacam-macam gugus ionik dan gugus polar lainnya, maka interaksi dengan kation-kation logam menjadi sangat kuat dan tidak spesifik. Beberapa protein permukaan sel atau protein yang merembes dari membran atau cytoplasma sel-sel mati dapat mengikat kation dengan cara ini. Suatu ikatan logam yang lebih spesifik oleh protein terjadi karena adanya gugus tiol ( $-SH$ ) dalam residu sistein. Kerumunan  $-SH$  yang terdapat dalam metal-lothionin, membentuk kompleks lebih kuat dan spesifik dengan beberapa logam toksik, diantaranya  $Cu$ ,  $Cd$  dan  $Zn$  (Butt dan Ecker, 1937).

**Mineralisasi.** Bioakumulasi logam-logam oleh mikroorganisme dan terikatnya logam-logam membentuk senyawa yang tidak larut akibat reaksi kimia, diketahui sebagai suatu proses yang penting dalam pembentukan mineral dalam proses biogeokimia di permukaan bumi. Beberapa proses ini dapat diamati selama interaksi logam tertentu dengan dinding sel bakteri, di laboratorium. (Beveridge dan Fyfe dalam Hancock, 1996c)

### E. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Interaksi Logam-Ligan.

Kemampuan ion logam membentuk kompleks tergantung pada daya mempolarisasi. Daya mempolarisasi ditentukan oleh perbandingan antara muatan dan jari-jari ion logam dimaksud. Suatu kation dengan daya mempolarisasi tinggi "disenangi" oleh ligan sebagai pusat muatan positif berkepadatan tinggi, sehingga menghasilkan interaksi yang kuat.

Ukuran ion yang semakin kecil dari kiri ke kanan, dalam Sistem Periodik, menyebabkan peningkatan muatan inti. Hal demikian menyebabkan kation logam alkali ber-interaksi sangat lemah dengan ligan, tetapi kation alkali tanah  $Mg^{2+}$  dan  $Ca^{2+}$  berinteraksi lebih kuat,

Pearson dalam Wood dan Wang (1983), menyimpulkan urutan pembentukan kompleks dari ion-ion anorganik atas asam dan basa keras serta asam dan basa lunak. Dalam tabel 2 ditunjukkan klasifikasi secara biologis dari logam-logam dan ligan-ligan penting yang bereaksi sebagai asam atau basa keras atau lunak. Ligan yang mempunyai atom donor dengan keelektronegatifan tinggi adalah basa keras, sedangkan ligan dengan atom donor yang mudah terpolarisasi adalah basa lunak.

Secara umum, kation-kation keras (asam Lewis) dengan ligan-ligan keras (basa Lewis) akan membentuk kompleks yang stabil, sedangkan asam-asam lunak membentuk kompleks yang sangat stabil dengan basa-basa lunak. Dari Tabel 2, terlihat bahwa logam-logam berat yang toksik seperti  $Cd^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  dan  $Co^{2+}$  adalah asam yang bersifat lunak atau antara (*intermediate*).

Tabel 2. Klasifikasi Asam-Basa Keras dan Lunak

Asam keras	Antara	Asam lunak
$H^+$ , $Na^+$ , $K^+$ , $Be^{+2}$ , $Mg^{+2}$ , $Ca^{+2}$ , $Mn^{+2}$ , $Li^{+2}$ , $Al^{+3}$ , $Cr^{+3}$ , $Co^{+3}$ , $Fe^{+3}$ , $As^{+3}$	$Fe^{+2}$ , $Co^{+2}$ , $Ni^{+2}$ , $Cu^{+2}$ , $Zn^{+2}$ , $Pb^{+2}$ , $Sn^{+2}$	$Cu^+$ , $Ag^+$ , $Au^+$ , $Ti^+$ , $Hg^{+2}$ , $CH_3Hg^+$ , $Cd^{+2}$ , $Pt^{+2}$ , $Pd^{+2}$
Basa keras	Antara	Basa lunak
$H_2O$ , $OH^-$ , $F^-$ , $Cl^-$ , $PO_4^{-3}$ , $SO_4^{-2}$ , $CO_3^{-2}$ , $ROH$ , $RO^-$ , $NO_3^-$ , $NH_3$ , $RNH_2$ , $CH_3COO^-$ , $R_2O$ , $ClO_4^-$	$Br^-$ , $NO_2^-$ , $SO_3^{-2}$ , $N_3$ , $C_6H_5NH_2$ , $C_6H_5N$ , $N_2$	$RSH$ , $SCN^-$ , $RS^-$ , $S_2O_3^{-2}$ , $C_2H_4$ , $C_6H_6$ , $H^-$ , $CO$ , $H_2S$ , $CN^-$ , $R_3O$ , $I^-$ , $(RO)_3P$ , $R_3As$

(Pearson, Frostner dan Wittman, dalam Wood dan wangi, 1983)

Secara umum kation-kation keras (asam Lewis) dengan ligan-ligan keras (basa Lewis) akan membentuk kompleks stabil, sedangkan asam-asam lunak membentuk kompleks yang stabil dengan basa-basa lunak seperti gugus karboksilat, karbonil, amino dan sulfida.

#### F. Adsorpsi Isoterm

Penyerapan ion-ion logam pada permukaan sel mikroorganisme dapat digambarkan dengan *Kurva Freundlich* atau *Langmuir*, menggunakan data konsentrasi logam yang terikat dan yang masih terdapat dalam larutan, namun pendekatan *Isoterm Langmuir* merupakan pendekatan yang paling umum digunakan (Hughes dan Poole, 1990).

**Adsorpsi Isoterm Freundlich**, merupakan persamaan yang menunjukkan hubungan antara jumlah zat yang terserap dengan konsentrasi zat dalam larutan, dan dinyatakan dengan persamaan :

$$m = kC^{1/n} \dots \quad (1)$$

dengan  $m$  adalah jumlah miligram zat yang terserap pergram zat penyerap,  $C$  adalah konsentrasi zat terserap saat seimbang,  $k$  dan  $n$  adalah tetapan (Oscik,1982). Dengan mengukur  $m$  sebagai fungsi  $C$  dan memplot  $\log m$  terhadap  $\log C$ , maka nilai  $n$  dan  $k$  dapat ditentukan dari slope dan intersepnya. Isoterm Freundlich tidak berlaku jika konsentrasi (atau tekanan) zat terserap terlalu tinggi.

**Adsorpsi Isoterm Langmuir**. Langmuir menggambarkan bahwa pada permukaan penyerap terdapat sejumlah tertentu pusat aktif (*active sites*) yang sebanding dengan luas permukaan penyerap. Pada setiap pusat 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 antar molekul-molekul yang terserap dalam lapisan hasil serapan diabaikan.

Penyerapan secara kimia, terjadi apabila terjadi ikatan kimia antara molekul terserap dengan pusat 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 terserap adalah suatu gas, persamaan reaksi keseimbangan dapat ditulis



dengan M adalah gas terserap, B adalah pusat aktif pada permukaan penyerap dan MB adalah molekul M yang terikat pada pusat aktif atau pusat aktif permukaan penyerap yang ditempati oleh molekul M. Konstanta kesetimbangan dapat ditulis sebagai

$$k = \frac{\alpha}{P\alpha_0} = \frac{\theta}{P\theta_0} \quad (3)$$

$\alpha$  = adalah konsentrasi pusat aktif permukaan yang ditempati, yaitu konsentrasi zat terserap di permukaan penyerap,  $\alpha_0$  adalah konsentrasi pusat aktif permukaan yang tidak ditempati,  $\theta_0 = \alpha_0/\alpha_m$  adalah fraksi pusat aktif permukaan yang tidak ditempati,  $\theta = \alpha/\alpha_m = a/a_m$  adalah fraksi pusat aktif permukaan yang ditempati, maka

$$\alpha + \alpha_0 = \alpha_m \quad (4)$$

$$\theta + \theta_0 = 1 \quad (5)$$

Substitusi pada persamaan (3), maka  $\alpha_0$  dari persamaan (4) atau  $\theta_0$  dari persamaan (5) dapat ditulis :

$$k = \frac{\alpha}{p(\alpha_m - \alpha)} = \frac{\theta}{p(1 - \theta)} \quad (6)$$

Penyelesaian persamaan (6) diperoleh :

$$\theta = \frac{kp}{1 + kp} \quad (7)$$

atau

$$\theta = \frac{\alpha_m kp}{1 + kp} \quad (8)$$

karena  $\theta = a/a_m$ , maka

$$\theta = \frac{a_m kp}{1 + kp} \quad (9)$$

$a$  adalah jumlah total zat yang terserap

Isoterm Langmuir dalam persamaan (7), (8) dan (9) di atas umumnya lebih berhasil dalam menginterpretasikan data jika hanya lapisan tunggal yang terbentuk, diband-ingkan dengan isoterm Freundlich. Selama tekanan rendah dalam fasa gas,  $kp \ll 1$  dan

$$\theta \approx kp \quad (10)$$

$$\alpha = \alpha_m kp \quad (11)$$

$$a = a_m kp \quad (12)$$

sehingga penyerapan sebanding dengan tekanan.

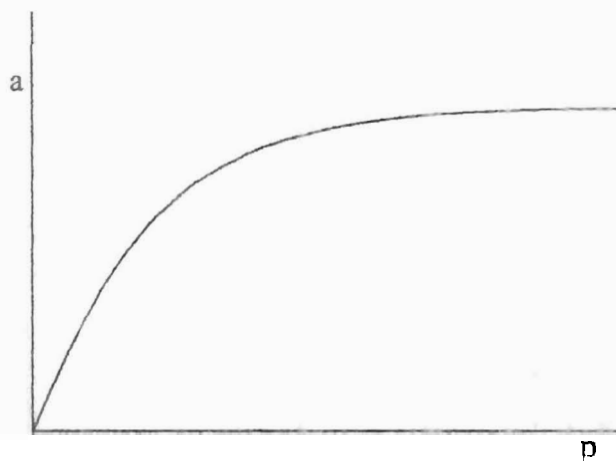
Apabila tekanan fasa zat terserap cukup tinggi, maka di-peroleh  $kp \gg 1$ , sehingga penyebut dalam persamaan (7), (8) dan (9) dapat diabaikan, menghasilkan :

$$\theta \approx 1, \quad \alpha \approx \alpha_m \quad \text{dan} \quad a \approx a_m$$

Oleh karena itu penyerapan mula-mula meningkat secara linier sesuai dengan tekanan, kemudian penyerapan berangsur-angsur berkurang dan pada tekanan gas



yang cukup tinggi penyerapan dianggap mempunyai nilai yang konstan serta permukaan penyerap jenuh dengan zat terserap, membentuk lapisan bermolekul tunggal. Adsorpsi Isoterm Langmuir, suatu plot  $a$  terhadap  $p$  diperlihatkan pada gambar 2.1 (Oscik, 1982).



Gambar 2.1 Kurva Adsorpsi Isoterm Langmuir

Untuk penyerapan setiap ion logam dari larutan, persamaan (9) dikoreksi, dengan tekanan diganti menjadi konsentrasi  $c$ , yaitu konsentrasi ion logam bebas saat seimbang (Ramelow dkk.,1996), sehingga diperoleh

$$a = \frac{a_m kc}{1 + kc} \quad (13)$$

Persamaan Adsorpsi Isoterm Langmuir di atas dapat ditulis dalam bentuk persamaan linier, yaitu

$$\frac{c}{a} = \frac{1}{a_m k} + \frac{1}{a_m} c \quad (14)$$

atau

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{a_m} + \frac{1}{a_m k} \cdot \frac{1}{c} \quad (15)$$

$a$  adalah miligram logam yang terserap pergram biomassa kering,  $k$  adalah konstanta keseimbangan (afinitas serapan),  $c$  adalah konsentrasi ion bebas saat seimbang (mg/l), sedangkan  $a_m$  adalah miligram logam terserap pada keadaan jenuh (kapasitas serapan maksimum), biasa juga ditulis dengan notasi  $b$ .

Jika proses biosorpsi memenuhi persamaan Adsorpsi Isoterm Langmuir, maka plot  $c/a$  terhadap  $c$  atau  $1/a$  terhadap  $1/c$  akan diperoleh garis linier, sehingga konstanta afinitas serapan ( $k$ ) dan kapasitas serapan maksimum ( $a_m$ ) dapat ditentukan dari slope dan intersep dan energi aktifitas ( $E_a$ ) dapat dihitung dari plot  $\ln k$  terhadap  $1/T$ , dimana  $T$  adalah suhu.

Penyerapan secara fisika terjadi karena zat yang terserap mempunyai jarak yang panjang dan berikatan lemah dengan permukaan penyerap. Gaya yang paling berperan dalam penyerapan fisika adalah gaya van der Waals dan panas penyerapan kecil dari 35 kJ/mol ( $-\Delta H_{\text{physisorption}}^0 < 35 \text{ kJmol}^{-1}$ ). Sementara penyerapan secara kimia terjadi apabila terbentuk ikatan kimia antara molekul terserap dengan pusat aktif penyerap. Penyerapan secara kimia bisa dikarakteristik dengan perubahan elektron antara zat yang terserap dan zat penyerap. Karena terjadi pemutusan dan pembentukan ikatan maka panas penyerapan yang dihasilkan besar dari 35 kJ/mol ( $-\Delta H_{\text{chemisorption}}^0 > 35 \text{ kJmol}^{-1}$ ) (Attard dan Colin, 1998).

### G. Energi Aktifasi ( $E_a$ )

Energi aktifasi merupakan energi minimum yang dibutuhkan untuk menyebabkan terjadinya reaksi antara molekul yang bertumbukan (Bahl, dkk, 1997). Suatu reaksi yang mempunyai energi aktifasi tinggi akan berlangsung lambat, sehingga jumlah produk yang dihasilkan sedikit, demikian sebaliknya.

Arrhenius merumuskan hubungan antara konstanta laju dan suhu sistem dengan rumus :

$$k = Ae^{-E_a/RT} \dots \quad (16)$$

$k$  = konstanta laju,  $E_a$  adalah energi aktifasi,  $R$  adalah konstanta gas dan  $T$  adalah suhu. Persamaan Arrhenius dapat ditulis dalam bentuk persamaan linier :

$$\ln k = \frac{-E_a}{R} \left( \frac{1}{T} \right) + \ln A \quad (17)$$

$A$  adalah faktor preeksponensial. Dengan merplot  $\ln k$  terhadap  $1/T$  akan diperoleh suatu garis lurus. Dari *slope* dapat diketahui energi aktifitas ( $E_a$ ).

### H. Spektrofotometer Serapan Atom

Spektrofotometer serapan atom merupakan instrumen yang digunakan secara luas dalam analisis logam karena sensitifitas dan batas deteksinya yang tinggi. Analit harus berupa larutan dan penyiapannya relatif sederhana dan analisis sebagian besar logam dapat dilakukan dalam bentuk campuran (multikomponen) sehingga tidak memerlukan pemisahan.

Prinsip dasar metoda analisis dengan AAS adalah interaksi energi radiasi elektromagnetik dengan atom yang berada pada tingkat energi dasar (*ground state*). Apabila seberkas energi radiasi dikenakan pada sekelompok atom-atom

yang berada pada tingkat energi dasar, dan bila energi yang dimaksud sesuai, maka energi tersebut akan diserap (adsorps), dan atom dimaksud akan tereksitasi ke tingkat energi tertentu.

Menurut Bourguer Lambert-Beer, banyaknya sinar yang diserap sebanding dengan banyaknya atom yang menyerap. Pengamatan besarnya sinar yang diserap tersebut dilakukan dengan membandingkan intensitas sinar sebelum dengan setelah diserap oleh atom-atom pada tingkat energi dasar, dapat ditulis sebagai :

$$A = \log \frac{I_0}{I_t} \quad (17)$$

dengan penurunan dan integrasi akan diperoleh rumus

$$A = abc \quad (18)$$

dimana : A = absorbansi

$I_0$  = intensitas sinar mula-mula

$I_t$  = intensitas sinar yang diteruskan

a = absorpsivitas

b = tebal medium penyerap

c = konsentrasi

## BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

### A. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mempelajari kinetika penyerapan ion kadmium oleh biomassa alga mat, yang dalam pelaksanaannya dilakukan dengan menentukan kondisi optimum penyerapan, yaitu optimasi pH awal larutan logam, waktu kontak biosorben dengan larutan, dan optimasi konsentrasi awal logam pada suhu kamar kemudian diikuti dengan penentuan energi aktivasi. Apabila data yang diperoleh memenuhi persamaan *Adsorpsi Isoterm Langmuir*, yang diperlihatkan dengan diperolehnya garis linier pada *plot*  $c/a$  terhadap  $c$ , maka dugaan bahwa penyerapan ion logam lebih dominan terjadi melalui mekanisme kimia dan terbentuknya lapisan tunggal pada permukaan penyerap (*monolayer adsorption*) dapat dibuktikan, sehingga konstanta afinitas serapan ( $k$ ) dan kapasitas serapan maksimum ( $a_m$ ) dapat ditentukan dari slope dan intersep dan energi aktivitas ( $E_a$ ) dapat dihitung dari *plot*  $\ln k$  terhadap  $1/T$ , dimana  $T$  adalah suhu.

### B. MANFAAT PENELITIAN

Dengan mengetahui kondisi optimum penyerapan (pH awal larutan, waktu kontak biosorben dengan larutan, konsentrasi awal logam), dan energi aktivasi, maka informasi tersebut dapat dijadikan dasar untuk penelitian lebih lanjut, antara lain dalam perancangan model dan penentuan kondisi lain, seperti sistem kontak dan sistem *packing* biosorben dalam skala laboratorium sebelum dicobakan pada

sampel riil berupa limbah cair yang mengandung logam-logam yang diteliti.

Disamping itu perlu dipelajari dan diidentifikasi gugus fungsi yang peran dominan dalam proses biosorpsi, sehingga mekanisme reaksi yang berlangsung berpeluang untuk dipelajari. Hasil penelitian yang diperoleh diharapkan dapat memberi manfaat bagi pengembangan penelitian lebih lanjut, baik bagi ilmu kimia dasar maupun bagi kimia lingkungan, khususnya dalam bidang penanganan limbah cair logam berat.

## **BAB IV**

### **METODA PENELITIAN**

Metoda yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metoda eksperimen laboratorium, dan cara kontak biosorben dengan larutan dilakukan secara *batch*. Prosedur penelitian secara keseluruhan dibagi atas lima tahap, yaitu : (1) penyiapan biosorben, (2) perlakuan untuk menentukan kondisi optimum, (3) perlakuan untuk menentukan energi aktifas (Bagan Kerja terlampir).

#### **A. Bahan dan Alat Penelitian**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: Biomassa Alga Mat, yang diperoleh dari alam kemudian diidentifikasi; logam kadmium; Asam nitrat, HNO<sub>3</sub> 65%; Ammoniak, NH<sub>3</sub> 25%. Semua bahan kimia berkualitas p.a produksi Merck. dan akuades bebas ion.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : peralatan gelas, *Shaker*, pH meter, Ayakan, Timbangan anal tis (Metler), Spektrofotometer Serapan Atom (PERKIN ELMER, model A Analyst 100)

#### **B. Penyiapan Biosorben Untuk Keperluan Percobaan**

Alga mat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kelompok *Chlorophyta* dari spesies *Spyrogira subsalsa* yang diperoleh dari perairan Sungai Air Dingin, Lubuk Minturun Padang, yang telah diidentifikasi di laboratorium Taksonomi Tumbuhan FMIPA Universitas Andalas Padang. Alga dipisahkan dari media tumbuhnya, kemudian sebagian kecil dipisahkan untuk diidentifikasi dan

sisanya dicuci dengan akuades, setelah bersih kemudian dikeringkan di udara terbuka (tanpa kena cahaya matahari langsung). Sampel yang telah kering dihaluskan, kemudian diayak dengan ukuran yang sama yaitu kira-kira 250  $\mu\text{m}$ . Hasil ayakan dicuci dengan larutan asam nitrat encer (1%) sebanyak tiga kali, kemudian dibilas dengan akuades sampel akuades hasil pencucian kembali netral. Setelah itu biomassa kembali dikeringkan dengan cara yang sama. Biomassa yang kering disimpan dalam desikator dan siap digunakan sebagai biosorben. Yang dimaksud dengan biomassa alga adalah sel alga hijau (Chlorophyta) yang telah dimatikan dengan cara dikeringkan di udara terbuka, pada suhu kamar, sampai diperoleh berat tetap.

### C. Perlakuan Penelitian Secara Umum

Dilakukan dengan menggunakan larutan simulasi yang disiapkan dari larutan induk. Pada setiap perlakuan disiapkan masing-masing 0,5 gram biomassa, kemudian dikontakkan (direndam) dengan masing-masing 50 ml larutan kadmium simulasi, yang mempunyai pH dan konsentrasi tertentu, dalam tabung Erlenmeyer 100-ml. Campuran digoyang dengan *shaker* pada kecepatan 250 rpm, pada suhu kamar (sekitar 27°C), selama waktu tertentu. pH larutan diatur sebelum larutan dikontakkan dengan biomassa dengan menambahkan  $\text{HNO}_3$  atau larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  dalam jumlah seminimum mungkin. Setelah perlakuan dilakukan selama waktu tertentu, biomassa dipisahkan dengan disaring, filtrat yang diperoleh bersama-sama dengan larutan asal (yang telah diatur pHnya tetapi tidak diperlakukan) masing-masing ditentukan konsentrasinya dengan Spektrofotometer



Serapan Atom (SSA) nyala udara-asetilen pada panjang gelombang 228,8 nm, untuk menentukan konsentrasi logam timbal saat setimbang (yang tidak terserap) dan konsentrasi timbal mula-mula yang sesungguhnya. Selisih antara konsentrasi logam saat setimbang dengan konsentrasi mula-mula yang sesungguhnya merupakan jumlah ion logam yang diserap oleh biomassa (Hancock, 1996b).

### **1. Penentuan Kondisi Optimum.**

Penentuan kondisi optimum dilakukan dibatasi pada pengaruh variasi pH awal larutan, variasi waktu kontak antara biosorben dengan larutan, variasi konsentrasi awal larutan, yang dilakukan dengan memvariasikan salah satu kondisi yang akan diteliti (dioptimasi), sementara kondisi yang lain dikendalikan. Sebagai variabel terikat adalah jumlah logam kadmium yang terserap yang dinyatakan dengan berat kadmium (mg) yang terserap per berat (g) biosorben yang digunakan.

#### **a. Optimasi pH awal larutan**

Disiapkan 50 ml larutan kadmium masing-masing dengan pH 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7, dengan konsentrasi larutan ditetapkan 50 mg/L. Kemudian masing-masing larutan dikontak dengan biosorben selama 60 menit. Perlakuan dan penentuan jumlah logam yang terserap pada masing-masing larutan dilakukan seperti pada prosedur C.

#### **b. Optimasi waktu kontak**

Disiapkan larutan kadmium dengan konsentrasi logam 50 mg/L dan pH optimum yang diperoleh dari prosedur 1.a (pH 5) masing-masing dalam 8 buah gelas Erlenmeyer. Masing-masing larutan dikontakkan dengan biosorben dengan variasi waktu 1, 3, 5, 10, 15, 30, 45, dan 60 menit. Perlakuan dan penentuan masing-masing larutan seperti pada prosedur C.

#### **c. Optimasi konsentrasi larutan**

Disiapkan masing-masing 50 ml larutan timbal dengan konsentrasi masing-masing 25, 50, 75, 100, 150, dan 250 mg/L. Masing-masing larutan diatur pHnya sesuai dengan pH optimum yang diperoleh dari prosedur 2.a. Perlakuan dan penentuan logam yang terserap untuk masing-masing larutan seperti pada prosedur C, dengan waktu kontak selama 60 menit.

#### **d. Penentuan Energi Aktifasi**

Disiapkan masing-masing 50 ml larutan timbal dengan konsentrasi masing-masing 25, 50, 75, 100, 150, dan 250 mg/L. Masing-masing larutan diatur pHnya sesuai dengan pH optimum yang diperoleh dari prosedur C.. Kemudian masing-masing larutan dikontakkan dengan biosorben pada masing-masing suhu 10, 20, 30, 40, dan 50° C. Perlakuan dan penentuan logam yang terserap untuk masing-masing larutan seperti pada prosedur 2.a

### **D. Teknik Analisa Data**

Konsentrasi logam kadmium saat setimbang (yang masih tinggal dalam larutan) dan konsentrasi timbal mula-mula ditentukan secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Jumlah logam kadmium yang diserap oleh biomassa adalah selisih antara konsentrasi logam saat setimbang dengan konsentrasi logam mula-mula yang sebenarnya (Hancock, 1996b).

Jumlah serapan maksimum biomassa ditentukan dengan persamaan Adsorpsi Isoterm Langmuir. Persamaan *Adsorpsi isoterm Langmuir*, dapat ditulis dalam bentuk persamaan linier (Ocsik, 1982), yaitu :

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

dimana :  $a$  adalah miligram logam yang terserap per gram biomaterial kering;  $k$  adalah konstanta keseimbangan (afinitas serapan);  $c$  adalah konsentrasi ion bebas saat seimbang (mg/L);  $a_m$  adalah miligram logam terserap pada keadaan jenuh (kapasitas serapan maksimum), biasa juga ditulis dengan notasi  $b$ . Apabila plot  $c/a$  versus  $c$  menghasilkan garis lurus, maka konstanta afinitas serapan ( $k$ ) dan kapasitas serapan maksimum ( $a_m$ ) dapat ditentukan dari *slope* dan *intercep* dan menurut Crist, dkk (1992), dapat dikatakan bahwa data yang diperoleh memenuhi persamaan Adsorpsi Isoterm Langmuir.

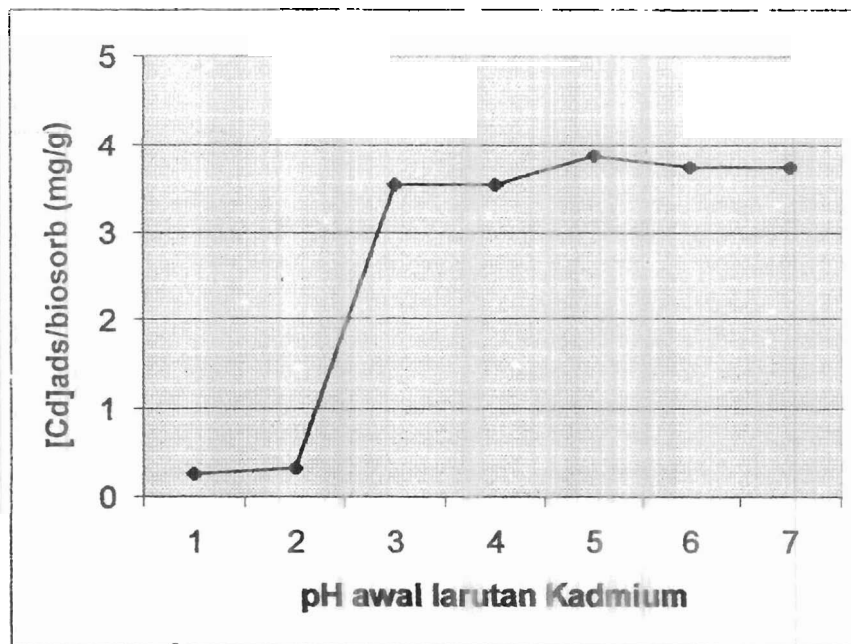
Energi aktivasi dihitung dengan persamaan Arrhenius, yang dapat ditulis dalam bentuk persamaan linier :

$$\ln k = \frac{-Ea}{R} \left( \frac{1}{T} \right) + \ln A$$

$k$  adalah konstanta laju,  $E_a$  adalah energi aktivasi,  $R$  adalah konstanta gas dan  $T$  adalah suhu.  $A$  adalah faktor preeksponensial. Dengan memplot  $\ln k$  terhadap  $1/T$  akan diperoleh suatu garis lurus. Dari *slope* dapat diketahui energi aktivasi ( $E_a$ ).

**BAB V****HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN****A. Pengaruh pH Larutan Terhadap Penyerapan Kadmium oleh Biomassa Alga Mat**

Pengaruh pH larutan kadmium terhadap serapan kadmium oleh biomassa alga mat dapat disajikan pada gambar 5.1, dengan data lengkap dapat dilihat pada lampiran 2.



Gambar 5.1 Pengaruh pH larutan awal kadmium terhadap serapan biomassa alga mat (untuk 0,5 g biomassa / 50 mL larutan kadmium 50 mg/L, waktu kontak 60 menit).

Dari gambar 5.1 terlihat bahwa penyerapan ion logam kadmium dipengaruhi oleh pH larutan awal. Penyerapan ion logam kadmium meningkat dengan tajam pada kisaran pH antara 2,0 dan 3,0 dan terus meningkat sampai pH 5,0 dengan jumlah kadmium yang terserap 3,8714 mg/g dan setelah itu

penyerapan logam cenderung mendekati konstan. Pada pH dibawah 2,0 serapan yang terjadi kecil, hal ini disebabkan karena permukaan biomassa dikelilingi oleh ion  $H^+$  dalam jumlah yang besar sehingga menghalangi ion logam kadmium untuk mencapai pusat aktif biomassa.

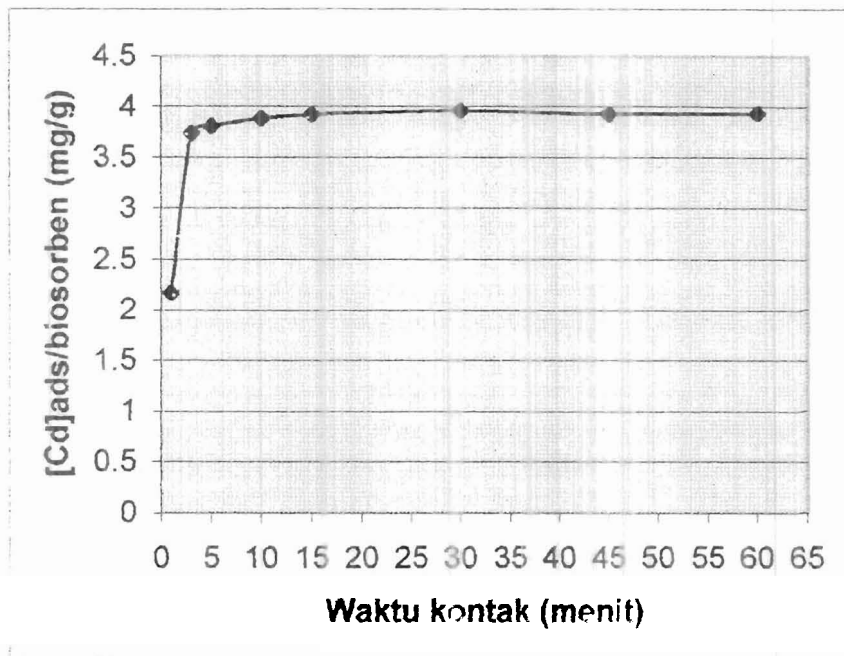
Menurut Standberg (1981) Biosorpsi logam terjadi karena kompleksasi ion logam yang bermuatan positif dengan pusat aktif yang bermuatan negatif pada permukaan dinding sel atau polimer-polimer bagian luar. Jose dan Qiming Yu (1999) menyatakan bahwa pH larutan pada proses serapan oleh biomassa juga dipengaruhi oleh gugus yang terdapat pada permukaan biomassa.

Puranik dkk (1995) melaporkan bahwa laju penyerapan logam kadmium oleh biomassa *Streptomyces pimprina* meningkat dengan naiknya pH, dan kondisi optimum diperoleh pada pH 5,0. Torresdey dkk (1996) juga melaporkan bahwa pH optimum penyerapan logam kadmium (II), krom (III), krom (VI), timbal (II) dan seng (II) oleh biomassa *Medicago sativa* (alfalfa) terjadi pada pH 5,0.

#### **B. Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Penyerapan Kadmium oleh Biomassa Alga Mat**

Pengaruh waktu kontak terhadap penyerapan logam kadmium oleh biomassa alga mat seperti pada gambar 5.2, sedangkan data lengkap seperti pada lampiran 3.

Dari gambar 5.2 terlihat bahwa penyerapan kadmium oleh biomassa alga mat dipengaruhi oleh waktu kontak. Terlihat bahwa sampai pada waktu kontak 5 menit serapan biomassa meningkat dengan tajam, kemudian perpanjangan



Gambar 5.2. Pengaruh waktu kontak terhadap serapan biomassa Alga Mat (untuk 0,5 g biomassa / 50 mL larutan kadmium 50 mg/L dan pH 5.)

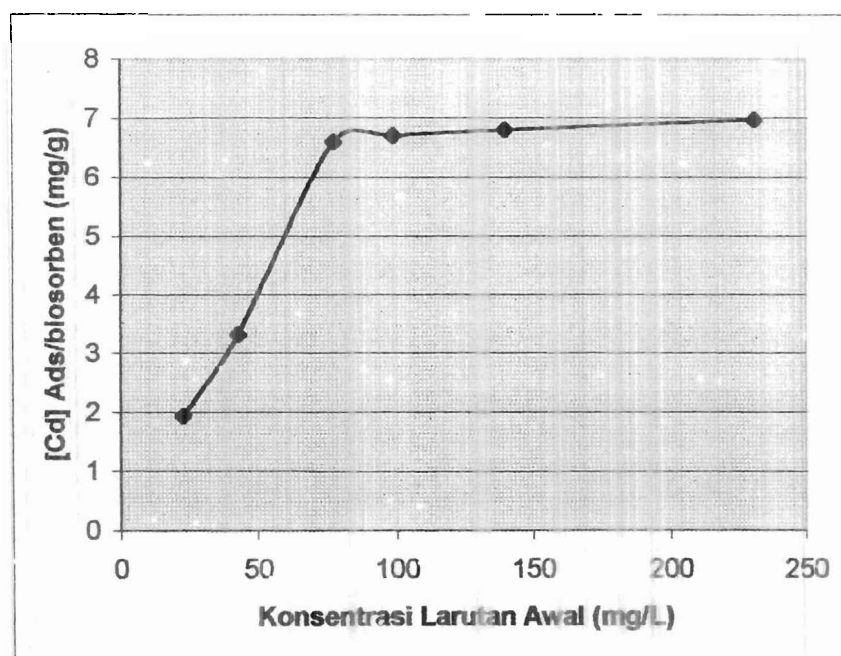
waktu kontak berikutnya memperlihatkan kecenderungan pola laju serapan yang relatif konstan setelah waktu kontak 30 menit. Hal ini menunjukkan bahwa sistem telah mencapai kesetimbangan. Data di atas memperlihatkan bahwa penyerapan logam kadmium oleh biomassa alga mat berlangsung cepat, dimana kira-kira 96 % ( $\approx 3,80$  mg/g) dari jumlah total logam kadmium yang terserap terjadi dalam selang waktu yang relatif pendek ( $\approx 5$  menit). Keadaan di atas diduga karena ukuran partikel biomassa yang digunakan relatif kecil sehingga permukaan bidang sentuh relatif luas. Kemungkinan terjadinya interaksi yang efektif antara ion logam dengan pusat aktif permukaan dinding sel biomassa lebih besar. Pada keadaan hampir semua permukaan pusat aktif telah jenuh dengan

logam kadmium, perpanjangan waktu kontak relatif tidak meningkatkan laju jumlah logam yang terserap.

Jinbai Yang dan Volesky (1998) melaporkan bahwa laju penyerapan kadmium oleh biomassa *Sargassum fluitans* cukup tinggi, dimana sekitar 75 % dari jumlah total kadmium terserap pada 15 menit pertama waktu kontak.

### C. Pengaruh Konsentrasi Larutan Awal Kadmium Terhadap Penyerapan Kadmium Oleh Biomassa Alga Mat

Hasil penelitian pengaruh konsentrasi awal larutan kadmium terhadap serapan biomassa alga mat disajikan pada gambar 5.3, sedangkan data lengkap terdapat pada lampiran 4.



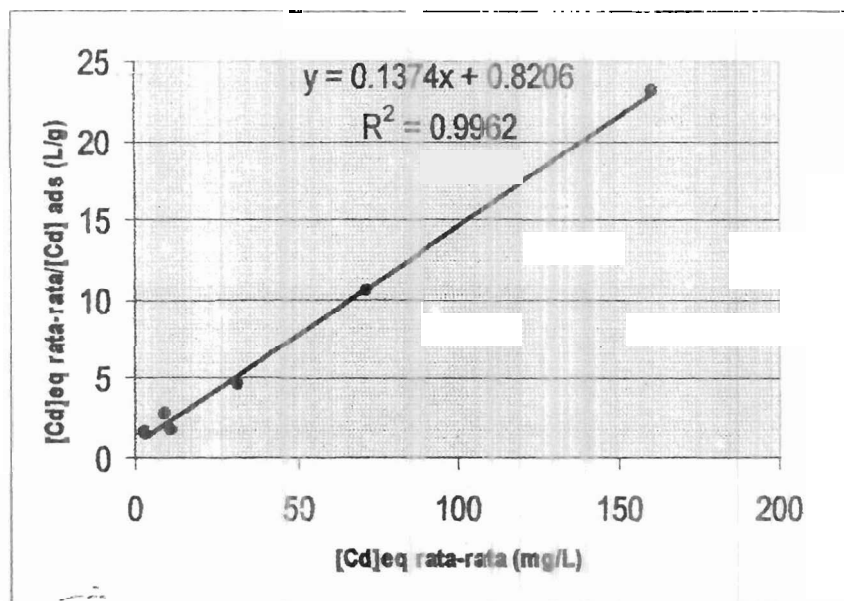
Gambar 5.3 Pengaruh konsentrasi larutan awal terhadap penyerapan kadmium oleh biomassa alga mat (untuk 0,5 g biomassa/ 50 mL larutan kadmium pH 5, waktu kontak 30 menit)

Dari data yang diperoleh terlihat bahwa jumlah logam kadmium yang terserap meningkat relatif tajam dengan bertambahnya konsentrasi awal larutan.



Setelah logam kadmium yang terserap mencapai kira-kira 6,6 mg logam per gram biomassa (konsentrasi awal logam 75 mg/L) peningkatan konsentrasi awal larutan kadmium selanjutnya relatif tidak lagi menaikkan nilai serapan. Hal ini disebabkan karena pusat aktif pada dinding sel biomassa telah jenuh oleh logam kadmium.

Apabila data yang diperoleh diplot kedalam persamaan Adsorpsi Isoterm Langmuir dihasilkan garis linear, seperti terlihat pada gambar 5.4, dengan koefisien regresi 0,9962.



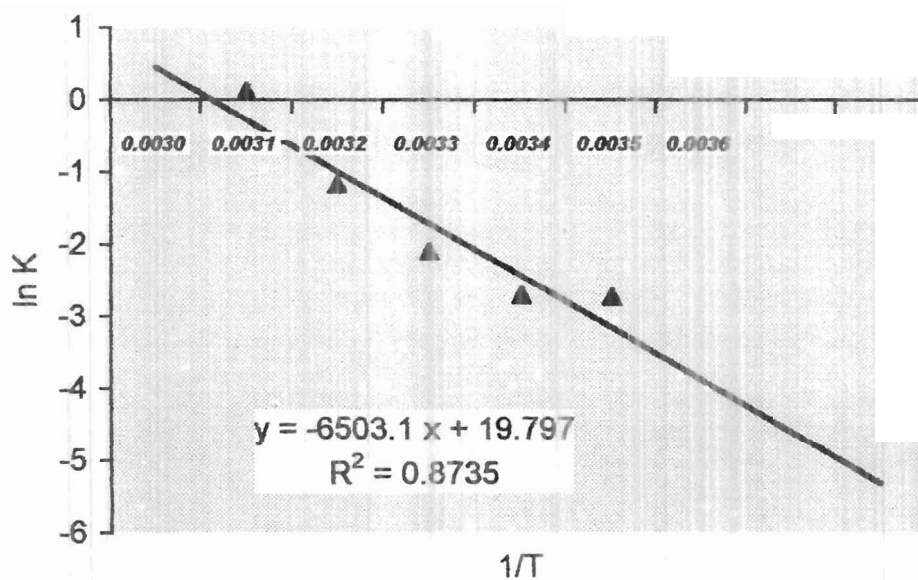
Gambar 5.4. Kurva Linearitas Langmuir Penyerapan Logam Kadmium oleh Biomassa Alga Mat.

Berdasarkan data tersebut, perhitungan dengan persamaan Isoterm Langmuir diperoleh kapasitas serapan maksimum ( $a_m$ ) sebesar 7,278 mg logam kadmium per gram biomassa alga mat kering dan konstanta (afinitas) serapan ( $K$ ) sebesar 0,1674 L/g.

Puranik dkk (1995) melaporkan bahwa penyerapan kadmium meningkat secara linear sebagai fungsi dari konsentrasi, dimana konsentrasi optimum diperoleh 500 mg/L. Sedangkan Torresdey dkk. 1996. melaporkan bahwa afinitas serapan krom (III), timbai (II) dan seng (II) terhadap biomassa *Medicago sativa* melebihi 90% , sedangkan untuk kadmium melebihi 70%.

#### D. Penentuan Energi Aktifasi.

Besarnya energi aktifasi pada penyerapan logam kadmium oleh biomassa alga mat seperti pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Kurva Linieritas ln K Terhadap 1/T

Dalam gambar di atas terlihat bahwa nilai konstanta kesetimbangan (K) meningkat dengan naiknya suhu. Dari plot antara ln K terhadap 1/T diperoleh energi aktifasi dari penyerapan logam kadmium oleh biomassa alga mat sebesar

54,0667 kJ/mol. Ini berarti bahwa untuk terjadinya proses penyerapan diperlukan energi minimum sebesar 54,0667 kJ/mol.

Ramelow (1995) melaporkan bahwa energi aktivasi penyerapan ion tembaga pada pH 5,5 lebih rendah dari pada pH 4,7. Juga dilaporkan, pada penyerapan tembaga, energi aktivasi biomassa yang tidak amobilisasi tiga kali lebih besar. apabila dibanding dengan biomassa yang diamobilisasi dengan polisulfon, menggunakan sistem kolom.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penyerapan ion kadmium oleh biomassa alga mat spesies *Spirogyra subsalsa* sangat dipengaruhi oleh pH awal larutan dan konsentrasi awal larutan.
2. Laju penyerapan ion kadmium oleh biomassa alga mat spesies *Spirogyra subsalsa* berlangsung relatif cepat dimana sekitar 96% dari total logam kadmium terserap terjadi dalam selang waktu relatif pendek (sekitar 5 menit)
3. Plot  $c/a$  terhadap  $c$  menghasilkan garis linear dengan koefisien regresi ( $r$ ) 0,9962, kenyataan ini menunjukkan bahwa biosorpsi logam kadmium melibatkan pusat penyerapan tunggal pada permukaan sel biomassa. Kapasitas serapan maksimum biomassa alga mat spesies *Spirogyra subsalsa* yang diperoleh adalah 7,278 mg logam kadmium per gram biomassa alga matb kering.
4. Dari plot  $\ln K$  terhadap  $1/T$ , pada proses biosorpsi logam kadmium oleh biomassa alga mat spesies *Spirogyra subsalsa*, diperoleh energi aktifitas sebesar 54,0667 kJ/mol.

#### B. Saran

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

1. Melakukan studi regenerasi terhadap biomassa a'gat mat telah digunakan sehingga dapat digunakan kembali sebagai biosorben.
2. Melakukan penelitian lebih lanjut dengan mengamobilisasi biomassa menggunakan polimer tertentu.
3. Melakukan penelitian lebih lanjut yang lebih mendalam untuk mempelajari mekanisme reaksi antara kation dengan gugus fungsional tertentu pada proses biosorpsi.
4. Melakukan penelitian lebih lanjut untuk memperoleh model reaktor untuk skala laboratorium dan mengaplikasikan pada sampel riil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afrizal S., Chairul dan Suwirnen. 1999, *Alga Mat dan Beberapa Aspek Ekologinya Pada Beberapa Sungai Dalam Kota Padang*, Laporan Penelitian, FPMIPA UNAND, Padang.
- Bohl, H.C and Michael J.W, 1985, *Introduction to The Algae*, Second Edition, Prentice-Hall Inc, New Jersey
- Crist, R.H., Oberhonsel, K. dan McGarrity, J., 1992, Interaction of Metals and Protons with Algae.3. Marine Algae, with Emphasis on Lead and Aluminium, *Environ. Sci Technol*, 26, 496-502
- Gadd, G. M., 1990a, Biosorption, *Chemistry & Industry*, 13, 421-426.
- Gadd, G. M., 1990b, Metal Tolerance, in Edwards, C. *Microbial of Extremem Environments*, (eds), pp. 178-210. Milton Keynes: Open University Press, UK.
- Gadd, G. M. and White, C. 1993, Microbial Treatment of Metal Pollution-a Working Biotechnology?, *Tibtech*, 11, 353-359.
- Hancock, J.C, (1996a), Novel Concepts in Bioremediation of Metal Pollution and in Biotreatment of Industrial Waste, in *Symposium and Workshop on Heavy Metal Bioaccumulation*, IUC Biotechnology Gadjah Mada University, Yogyakarta, September 18-20, 1996
- Hancock, J.C, (1996b), Mechanisms of Passive Sorption of Heavy Metal by Biomassa and Biological Products, in *Symposium and Workshop on Heavy Metal Bioaccumulation*, IUC Biotechnology Gadjah Mada University, Yogyakarta, September 18-20, 1996.
- Hughes, M. N. and Poole, R. K., 1990, *Metals and Microorganism*, Chapman and Hill, London.
- Lee, H.S and Bohimil V., 1999, Interference of Aluminium in Copper Biosorption by an Alga Biosorption by an Alga Biosorbent, *Water Quality Research Journal of Canada*. 34(3) : 519-531
- Mahan, C. A, Majidi, V. and Holcombe, J. A, 1989, Evaluation of Metal Uptake of Several Algae Strain in A Multicomponent Matrix Utilizing Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometry, *Anal. Chem*, 61, 624-627.
- Mahan, C. A, and Holcombe, J. A., 1992, Immobilization of Algae Cells on Silica Gel and Their Characterization for Trace Metal Preconcentration, *Anal. Chem*, 64, 1933-1939.

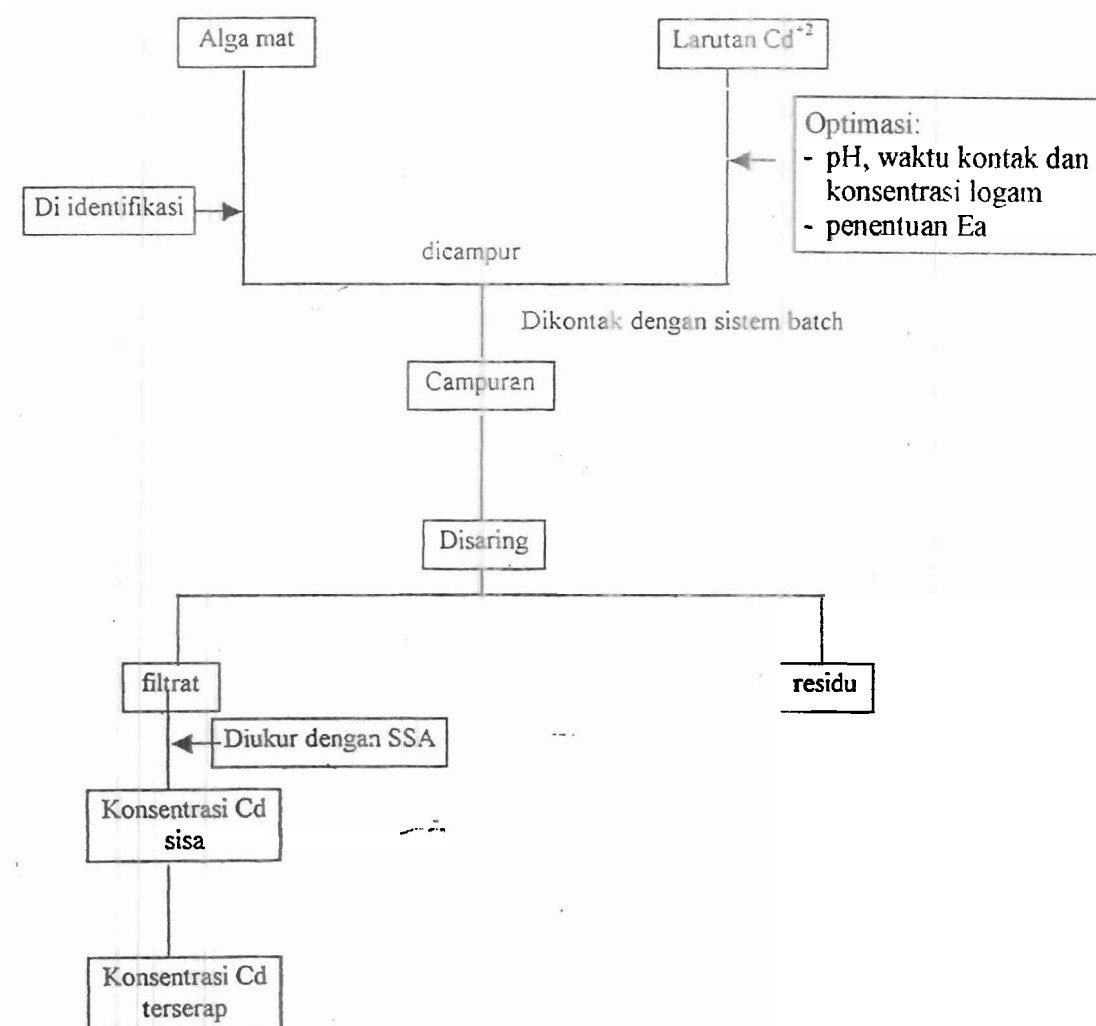
- Mawardi, 2001, Biosorpsi Logam Timbal Oleh Biomassa Alga Hijau (Chlorophyta), Laporan Penelitian. Lemlit Universitas Negeri Padang, Padang
- Ocsick, J., 1982, *Adsorption*, John Willey & Son, New York.
- Pritchard, H. N and Bradt, P.T., 1984, *Non-vascular Plants*, Times Mirror Mosby College Publishing, Toronto.
- Puranik, P.R, et al, 1995, Cadmium Biosorption by *Serpentomyces Pimprina* Waste Biomass, *Appl. Microbial Biotechnol.* 43: 1118 - 1121.
- Ramelow, U. J., Neil Guidry, C. and Fisk, S. D., 1996, A Kinetics Study of Metal Ion Binding by Biomass Immobilized in Polymers, *Journal of Hazardous Materials*, 46, 37-55.
- Torresdey, G et al., 1996, Biosorption of Cadmium, Chromium, lead, and Zinc by Biomass of *Medicago sativa* (alfalfa), *University of Texas at El Paso*, El Paso
- Volesky, B. and May Phillips, H. A., 1995, Biosorption of Heavy Metals by *S. cerevisiae*, *Appl Microbiol. Biotechnol.*, 42, 797-806.
- Volesky, B. and Holan, Z. R., 1995, Biosorption of Heavy Metals, *Biotechnol. Prog.*, 11, 253-250.
- Wisjnuaprpto (1996), Penyisihan Logam Berat Dalam Buangan Yang Diaplikasikan di Indonesia, dalam *Symposium and Workshop on Heavy Metal Bioaccumulation*, IUC Biotechnology Gadjah Mada University, Yogyakarta, September 18-20, 1996.
- Zhao, Y., Hao, Y and Ramelow, G.J., 1994, Evaluation of Treatment Techniques for Increasing the Upted of Metal Ion From Solution by Non-living seaweed Algal biomass, *Environmental monitoring and Assessment*; 33, 61-70.

Lampiran 1.

## DIAGRAM ALIR

Optimasi Biosorpsi Cadmium Oleh Biomassa *Spirogyra subsalsa*

## 1. Variasi pH larutan awal





**Lampiran 2.** Pengaruh pH larutan Kadmium terhadap Penyerapan Ion Kadmium oleh biomassa *Spirogyra subsalsa*

pH awal larutan	[Cd] <sub>awal</sub> (mg/L)	[Cd] <sub>eq</sub> rata-rata (mg/L)	[Cd] <sub>ads</sub> (mg/L)	[Cd] <sub>ads</sub> /biosorben (mg/g)
1	9,882	9,3385	2,7175	0,27175
2	10,138	9,4785	3,2975	0,32975
3	9,902	14,171	35,339	3,5339
4	9,238	10,8045	35,3855	3,53855
5	9,668	9,626	38,714	3,8714
6	9,334	9,324	37,346	3,7346
7	9,265	9,0275	37,2975	3,72975

**Lampiran 3.** Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Penyerapan Kadmium Oleh Biomassa *Spirogyra subsalsa*

Waktu (menit)	[Cd] <sub>eq</sub> rata-rata (mg/L)	Cd <sub>ads</sub> (mg/L)	[Cd] <sub>ads</sub> /biosorb (mg/g)
1	27,15	21,7	2,17
3	11,45	37,4	3,74
5	10,795	38,055	3,8055
10	10,01	38,84	3,884
15	9,61	39,24	3,924
30	9,22	39,63	3,963
	9,51	39,34	3,934
60	9,485	39,365	3,9365

**Lampiran 4. Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan Terhadap Penyerapan Kadmium Oleh Biomassa *Spirogyra subsalsa***

[Cd] <sub>awal</sub> (mg/L)	[Cd] <sub>eq</sub> rata-rata (mg/L)	[Cd] <sub>ads</sub> (mg/L)	[Cd] <sub>ads</sub> /biosorben (mg/g)
22,55	3,215	19,355	1,9355
42,625	9,355	33,27	3,327
77,375	11,375	66	6,6
98,5	31,375	67,125	6,7125
139,625	71,5625	68,0625	6,80625
230,75	161	69,75	6,975

**Lampiran 5. Data Linearitas Langmuir**

[Pb] <sub>eq</sub> rata-rata (mg/L)	[Pb] <sub>ads</sub> /biosorben (mg/g)	[Pb] <sub>eq</sub> /[Pb] <sub>ads</sub> (L/g)
3,215	1,9355	1,661
9,355	3,327	2,812
11,375	6,6	1,723
31,375	6,7125	4,674
71,5625	6,80625	10,514
161	6,975	23,082

## Lampiran 6. Data Untuk Perhitungan Energi Aktivasi

$1/T$ ( $K^{-1}$ )	$\ln K$
0,0035	-2,7200
0,0034	-2,7003
0,0033	-2,0925
0,0032	-1,1683
0,0031	0,1216