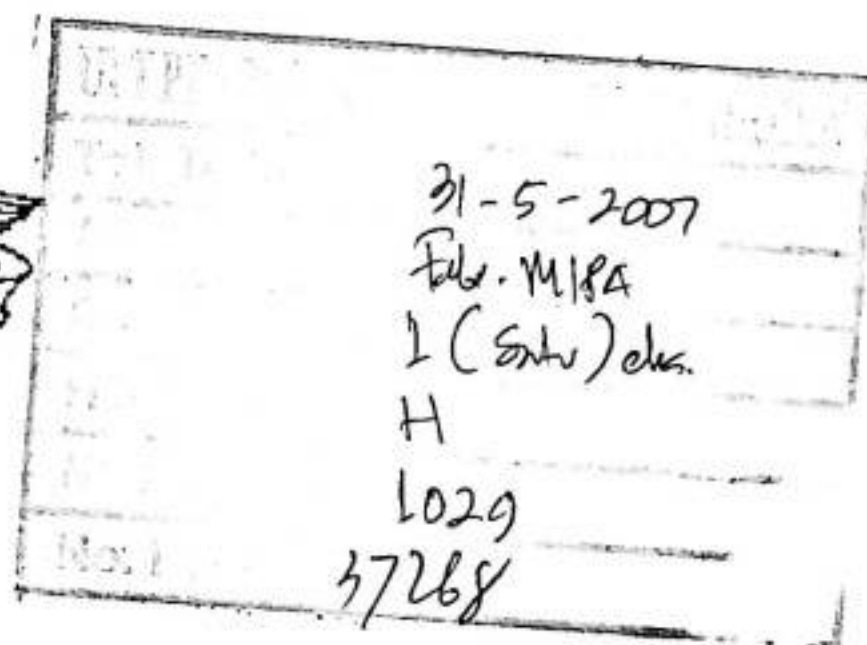


**PEMANFAATAN BIOMASSA LAMUN *Enhalus acoroides* YANG  
TERDAPAT DI KEPULAUAN SPERMONDE SEBAGAI  
BIOSORBEN ION LOGAM Cd(II)**

**GULAM HADIASMAN**

**H 311 01 040**



**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2007**

**PEMANFAATAN BIOMASSA LAMUN *Enhalus acoroides* YANG  
TERDAPAT DI KEPULAUAN SPERMONDE SEBAGAI  
BIOSORBEN ION LOGAM Cd(II)**

*Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat*

*Untuk memperoleh gelar sarjana sains*

Oleh

**GULAM HADIASMAN  
H31101040**



**MAKASSAR  
2007**

*SKRIPSI*

**PEMANFAATAN BIOMASSA LAMUN *Enhalus acoroides* YANG  
TERDAPAT DI KEPULAUAN SPERMONDE SEBAGAI  
BIOSORBEN ION LOGAM Cd(II)**

**Disusun dan diajukan oleh**

**GULAM HADIASMAN  
H31101040**

**skripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh:**

**Pembimbing Utama**



**Dr. Hj. Nursiah La Nafie, M.Sc.**  
NIP. 131 755 159

**Pembimbing Pertama**



**Dr. Paulina Taba, M.Phill.**  
NIP. 131 802 897

Bilakah dunia akan terasa benar-benar jernih olehmu  
jika engkau tidak suka dengan penampilannya?

-----

Bukankah engkau lihat mutiara yang jernih di dunia  
ternyata dikeluarkan dari laut yang asin?

-----

Berapa banyak hal yang menakutkan yang mengundang  
rasa ngeri ternyata pada akhirnya mendatangkan  
kesenangan dan kecerahan bagimu

-----

Dan berapa banyak keselamatan yang dihasilkan sesudah  
terhalang darinya dan berapa banyak terbentuk sikap yang  
lurus sesudah kebengkokannya

Karya ini untuk semua yang kucintai

## KATA PENGANTAR

Segala puji hanya milik Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* atas nikmat demi nikmat yang dicurahkan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Salawat serta salam kepada junjungan Nabi Muhammad *Shallallahu 'alaihi Wasallam* beserta seluruh keluarga, sahabat dan orang-orang yang senantiasa berada di atas Sunnahnya.

Terima kasih penulis ucapkan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses penulisan skripsi ini terutama kepada Orang Tua tersayang Ayah (Mustakim) dan Ibu (St Saderiah) atas kesabaran dan doa yang tulus untuk anak-anaknya, mudah-mudahan Allah *Subhanahu wata'ala* menghendaki kebaikan-Nya.

Juga kepada :

1. Dr. Hj. Nursiah La Nafie, M.Sc. dan Dr. Paulina Taba, M.Phill. yang telah berkenan meluangkan waktu dan tenaganya dalam membimbing dan memberikan petunjuk yang begitu berharga dari awal persiapan penelitian hingga selesainya penyusunan skripsi ini.
2. Seluruh Dosen yang telah membagi ilmunya dan staf Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin terima kasih atas bantuan dan kerja samanya.
3. Tim Pembimbing Ujian Sarjana Kimia, yaitu: Prof. DR.Ahyar Ahmad (ketua), DR. Hanapi Usman, MS. (Sekretaris), DR.Hj. Nursiah La Nafie, M.Sc. dan DR. Paulina Taba, M.Phil (Ex Officio) dan Drs. Yusafir Hala, MS. (Anggota) terimakasih atas bimbingan dan saran-sarannya.
4. Teman-teman Peneliti Biosorpsi Lamun (Arjuna, Saidah, Dachlia dan Mulyadi) di Laboratorium Kimia Analitik dan rekan-rekan peneliti di

laboratorium Kimia Fisika (Ode' dan Fitriyana) terima kasih untuk sharing pendapat dan kerjasamanya. Tidak lupa untuk K'Fiby terima kasih telah banyak meluangkan waktu untuk penelitian ini serta atas bantuan Analisa SSA, pelayanan bahan dan alat-alatnya.

5. Saudara-saudaraku Mahasiswa Kimia Angkatan 2001 terimakasih atas kebersamaannya, bantuan dan kasih sayangnya, semoga persaudaraan kita tetap terjalin.
6. Saudara-saudaraku kimiawan lain (Mahasiswa Kimia Angkatan 1999, 2000 2002, 2003, 2004 dan 2005) yang tidak sempat disebutkan dalam kesempatan ini. Terima kasih atas bantuannya.
7. Serta terimakasih kepada pihak-pihak lain yang telah memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis sadar akan kekurangan dalam skripsi ini baik materi maupun teknik penulisannya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dalam penulisan artikel selanjutnya.

Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dalam pengembangan wawasan bidang ilmu kimia secara umum dan sumbangan ilmu dalam memecahkan masalah pencemaran lingkungan oleh logam berat Cd.

Penulis

2007



## ABSTRAK

Metode konvensional merupakan teknik umum yang digunakan untuk mengatasi pencemaran logam berat, namun metode ini memerlukan biaya yang besar dan tidak efisien. Biosorpsi merupakan salah satu metode alternatif yang efektif untuk mengatasi pencemaran logam berat. Biosorpsi ion logam Cd(II) dengan menggunakan biomassa lamun *Enhalus acoroides* dilakukan dengan variasi waktu kontak, pH dan konsentrasi. Konsentrasi ion logam Cd(II) sebelum dan setelah adsorpsi ditentukan dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu optimum adalah 20 menit dan pH optimum adalah 5. Model isotermal adsorpsi yang digunakan adalah isotermal Freundlich dan isotermal Langmuir. Biosorpsi ion logam Cd(II) oleh biomassa lamun *Enhalus acoroides* memenuhi isotermal Freundlich dan isotermal Langmuir dengan nilai kapasitas adsorpsi menurut Freundlich = 3,7844 mg/g atau 0,608 g/m<sup>2</sup>. dan menurut Langmuir = 17.0358 mg/g atau 2,736 g/m<sup>2</sup>.

**Kata kunci :** Biosorpsi, Biomassa, Lamun, *Enhalus acoroides*, Isotermal Adsorpsi, Kadmium, Logam berat.

## ABSTRACT

Conventional methods are common techniques used to control heavy metals contamination, but they are expensive and inefficient. Biosorption is one of the alternative methods, which is effective to manage heavy metal contamination. Biosorption of Cd(II) ion by biomass of seagrass *Enhalus acoroides* was conducted with variation of contact time, pH and concentration. The concentrations of Cd(II) ion before and after adsorption were determined by atomic absorption spectrophotometer (AAS). The results showed that the optimum contact time was 20 min and the optimum pH was 5. Models of adsorption isotherms used were Freundlich and Langmuir isotherms. Biosorption of Cd(II) ion by biomass of *Enhalus acoroides* obeyed the Freundlich and Langmuir isotherms with the adsorption capacity of 3.7844 mg/g (0,608 g/m<sup>2</sup>) and of 17.0358 mg/g (2.741 g/m<sup>2</sup>), respectively.

**Keywords :** Adsorption isotherm, Biosorption, Biomass, Cadmium, *E. acoroides*, Heavy Metal.



## DAFTAR ISI

	halaman
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian .....	3
1.3.1 Maksud Penelitian.....	3
1.3.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Pencemaran Lingkungan .....	5
2.2 Logam Berat .....	6
2.3 Logam dalam Air Limbah dan Toksisitasnya .....	7
2.4 Metode Konvensional untuk Penghilangan Logam Berat dari Efluen Industri .....	8

2.5	Kadmium (Cd) .....	9
2.5.1	Penyebaran, Sifat dan Penggunaan Logam Cd .....	10
2.5.2	Logam Cd dalam Lingkungan .....	11
2.6	Biosorpsi .....	11
2.6.1	Biosorpsi sebagai Teknologi Alternatif .....	12
2.6.2	Biosorben .....	13
2.6.3	Keuntungan dan Kekurangan Biosorpsi .....	13
2.7	Penghilangan Logam oleh Biomassa yang Tidak Hidup dari Mikroba dan Tumbuhan .....	15
2.7.1	Penghilangan Logam dengan Biomassa Alga .....	15
2.7.2	Penghilangan Logam oleh Biomassa yang Dihasilkan oleh Tumbuhan .....	16
2.8	Lamun (Seagrass) .....	17
2.8.1	Ekosistem Lamun .....	17
2.8.2	Lamun <i>Enhalus acoroides</i> .....	18
2.9	Biomassa .....	20
BAB III METODE PENELITIAN .....		21
3.1	Bahan Penelitian .....	21
3.2	Alat .....	21
3.3	Tempat dan Waktu Pengambilan Sampel .....	21
3.4	Metode Kerja .....	21
3.4.1	Penyiapan Biosorben <i>E. acoroides</i> .....	21
3.4.2	Penentuan Waktu Optimum Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa <i>E. acoroides</i> .....	22

3.4.3 Penentuan pH optimum Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa Lamun <i>E. acoroides</i> .....	23
3.4.4 Penentuan Kapasitas Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa Lamun <i>E. acoroides</i> .....	23
3.4.4 Analisis FT-IR .....	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	25
4.1 Waktu Optimum Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa <i>E. acoroides</i> .....	25
4.2 pH Optimum Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa Lamun <i>E. Acoroides</i> .....	27
4.3 Kapasitas Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa <i>E.</i> <i>Acoroides</i> .....	29
4.4 Interaksi Biosorpsi.....	31
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	33
5.1 Kesimpulan .....	33
5.2 Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA .....	34
LAMPIRAN .....	37

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1. Lamun <i>E. acoroides</i> .....	18
2. Serumpun kecil <i>E.acoroides</i> dan Bunganya .....	19
3. Grafik Hubungan antara Waktu Adsorpsi (menit) dengan Efektifitas Biosorpsi (mg/g) Biomassa Lamun <i>E. acoroides</i> dengan Konsentrasi Ion Cd(II) 10 ppm .....	26
4. Grafik Hubungan antara pH dengan Efektifitas Biosorpsi (mg/g) Biomassa Lamun <i>E. acoroides</i> dengan Konsentrasi Ion Cd(II) 10 ppm.	28
5. Kurva Isotermal Langmuir dengan Variasi Konsentrasi 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm dan 100 ppm pada pH .....	30
6. Kurva Isotermal Freundlich dengan Variasi Konsentrasi 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm dan 100 ppm pada pH .....	30
7. Spektrum Hasil Analisa FT-IR Biomassa Lamun <i>E. acoroides</i> (a).Sebelum Kontak dengan Logam Cd(II) dan (b). Setelah kontak dengan logam Cd(II) .....	31

## DAFTAR TABEL

Gambar	halaman
1. Daftar elemen pencemar utama dari logam berat dan sumbernya di alam (Suhendrayatna, 2001).....	6
2. Kandungan Cd dalam beberapa jenis air buangan (Palar, 1994).....	11
3. Studi banding biosorpsi dan adsorpsi ion logam berat antara immobilized non-living cells dengan immobilized living cells .....	14
4. Data Penentuan Waktu Optimum Biosorpsi Ion Cd(II) pada Biomassa Lamun <i>E. acoroides</i> dengan Konsentrasi Awal 10 ppm pada pH 5.....	26
5. Efektivitas Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa Lamun <i>E. acoroides</i> sebagai Fungsi pH dengan Konsentrasi Awal Ion Cd 10 mg/L dan Waktu Kontak 20 menit .....	27
6. Hasil Penentuan Kapasitas Biosorpsi Ion Cd(II) pada Biomassa Lamun <i>E. acoroides</i> pada Waktu Optimum dan pH 5 .....	29



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	halaman
1. Penyiapan Biomassa <i>Enhalus acoroides</i> .....	37
2. Penentuan Waktu Optimum Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa <i>Enhalus acoroides</i> .....	38
3. Penentuan pH Optimum Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa <i>Enhalus acoroides</i> .....	39
4. Penentuan Kapasitas Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa <i>Enhalus acoroides</i> .....	40
5. Perlakuan dan Rancangan Percobaan.....	41
6. Lokasi Pengambilan sampel Di Pulau Spermonde (Barranglombo).....	43
7. Proses Sampling Lamun <i>Enhalus acoroides</i> .....	44
8. Lamun <i>Enhalus acoroides</i> yang tumbuh di sekitar pulau Barang Lombo (Spermonde).....	45
9. Biomassa lamun <i>Enhalus acoroides</i> .....	46
10. Data-Data Hasil Analisis Penentuan Waktu Optimum Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa <i>Enhalus acoroides</i> dengan menggunakan Buck Model 205 VGP AAS .....	47
11. Data-data Hasil Analisis Penentuan pH Optimum Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa <i>Enhalus acoroides</i> dengan Menggunakan Buck Model 205 VGP AAS .....	49
12. Data-data Hasil Analisis Penentuan Kapasitas Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa <i>Enhalus acoroides</i> dengan menggunakan Buck Model 205 VGP AAS .....	51
13. Hasil Perhitungan Kapasitas Biosorpsi Ion Logam Cd(II) pada Biomassa Lamun <i>Enhalus acoroides</i> untuk Isothermal Langmuir .....	53
14. Hasil Perhitungan Kapasitas Biosorpsi Ion Logam Cd(II) pada Biomassa Lamun <i>Enhalus acoroides</i> untuk Isothermal Freundlich .....	54



## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

$^{\circ}\text{C}$	=	Derajat celcius
$\mu\text{g}$	=	Mikrogram
%	=	Persen
$\lambda$	=	Panjang gelombang
$\pm$	=	Kurang lebih
$A_{\text{abs}}$	=	Absorbans
$b$	=	Energi adsorpsi (L/mg)
cm	=	Centimeter
$\text{cm}^{-1}$	=	Satu per centimeter
$C_0$	=	Konsentrasi awal
$C_o$	=	Konsentrasi ion logam sebelum adsorpsi (mg/L)
$C_e$	=	Konsentrasi ion logam setelah adsorpsi (mg/L)
FT-IR	=	Fourier Transform Infra Red
g	=	Gram
$k$	=	Kapasitas adsorpsi isothermal Freundlich (mg/g)
L	=	Liter
M	=	Molar
mm	=	Milimeter
m	=	Meter
mesh	=	Satuan untuk ukuran ayakan
$\text{m}^2$	=	Meter persegi
mg	=	Miligram

mL	=	Mililiter
n	=	Intensitas adsorpsi Isotermal Freundlich (L/g)
ppb	=	Part per billion
ppm	=	Part per million
$q_e$	=	Jumlah zat yang diadsorpsi per gram adsorben (mg/g)
$Q_0$	=	Kapasitas adsorpsi (mg/g)
$R^2$	=	Nilai garis persamaan kuadrat
Sp	=	Spektrum
t	=	Waktu
t.l.	=	Titik leleh
V	=	Volume larutan ion logam (L)
Wa	=	Jumlah biosorben, biomassa lamun <i>Enhalus acoroides</i> (g)
x	=	Jumlah zat terlarut yang diserap (mg)

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Beberapa ion logam berat, seperti arsen, timbal, kadmium dan merkuri pada kenyataannya berbahaya bagi kesehatan manusia dan kelangsungan kehidupan di lingkungan. Bahkan pada konsentrasi yang sedemikian rendah efek ion logam berat dapat berpengaruh langsung karena dapat terakumulasi pada rantai makanan. Seperti halnya sumber-sumber polusi lingkungan lainnya, logam berat tersebut dapat ditransfer dalam jangkauan yang sangat jauh di lingkungan, selanjutnya berpotensi mengganggu kehidupan biota lingkungan dan akhirnya berpengaruh terhadap kesehatan manusia walaupun dalam jangka waktu yang lama dan jauh dari sumber polusi utamanya (Suhendrayatna, 2001). Perhatian yang serius telah dilakukan untuk menemukan metode yang efektif dan efisien untuk menghilangkan ion logam berat dari air limbah industri.

Metode konvensional seperti pengendapan, oksidasi/reduksi, penukaran ion, filtrasi, penguapan, osmosis balik dan ekstraksi pelarut merupakan teknik yang umum digunakan untuk menghilangkan ion logam dari limbah. Tetapi, teknik-teknik atau metode ini memiliki kekurangan seperti pengikatan logam tidak sempurna, banyak bahan kimia dan energi dibutuhkan, dan produk endapan dan air beracun dihasilkan sebagai hasil sampingan. Selain itu, metode-metode ini mahal dan juga tidak efisien untuk itu proses biosorpsi menjadi alternatif untuk digunakan karena proses biosorpsi ini murah, efisien dan sangat ramah lingkungan.

Biosorpsi merupakan istilah yang digunakan untuk menjelaskan penghilangan logam berat melalui pengikatan pasif pada biomassa tumbuhan atau mikroorganisme yang tidak hidup dari larutannya dalam air. Proses ini menunjukkan bahwa mekanisme penghilangan tidak dikontrol secara metabolik (Davis, dkk., 2003). Berbagai biosorben telah digunakan untuk menghilangkan logam berat dari larutannya. Veglio dan Beolchini (1997) melaporkan bahwa fungi, bakteri dan ragi telah digunakan sebagai biosorben logam-logam berat seperti Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ag, Au, Pb, Th dan U dengan kapasitas adsorpsi bervariasi dari 0,4 – 450 mg/g. Peneliti-peneliti yang lain menggunakan rumput laut (Volesky dan Holan, 1995; Figuera, dkk., 2000), algae (Kratochvil dan Volesky, 1998; Pavasant, dkk., 2005), kulit jeruk (Ajmal, dkk., 2000), dan kulit padi (Wang dan Qin, 2005).

Biomassa yang hidup atau mati dapat digunakan untuk menghilangkan logam-logam, tetapi menjaga biomassa tetap hidup selama adsorpsi logam sulit karena suplai nutrisi yang terus menerus diperlukan dan toksisitas logam terhadap biomassa dapat terjadi (Yan dan Viraraghavan, 2003). Oleh karena itu biomassa yang digunakan dalam penelitian ini adalah biomassa yang telah mati yakni biomassa lamun. Lamun termasuk dalam golongan tumbuhan *macrophyte*. Miretzky dkk., (2004) melaporkan bahwa tiga tumbuhan *macrophyte*; *Pista stratiotes*, *Spirodela intermedia* dan *Lemna minor* efektif dalam menghilangkan ion logam-logam Fe, Cu, Zn, Mn, Cr dan Pb. Oleh karena itu, lamun juga berpotensi untuk menghilangkan ion logam-logam berat dari larutannya. Dalam penelitian ini digunakan logam Cd karena logam ini merupakan salah satu sumber pencemar utama logam berat dan sifatnya yang sangat toksik pada kesehatan manusia. *Enhalus acoroides* merupakan

spesies lamun yang akan digunakan karena jenis lamun ini banyak ditemukan di kepulauan Spermonde.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun yang menjadi permasalahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapakah waktu kontak optimum biosorpsi ion Cd(II) oleh Biomassa *E. acoroides*
2. Berapakah pH optimum biosorpsi ion Cd(II) oleh Biomassa *E. acoroides*
3. Berapakah kapasitas biosorpsi ion Cd(II) oleh Biomassa *E. acoroides*

## **1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian**

### **1.3.1 Maksud Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mencari kondisi optimum biosorpsi ion Cd(II) oleh biomassa *E. acoroides* dan mengetahui kemampuan biomassa lamun tersebut dalam mengurangi konsentrasi ion Cd(II) dari larutannya.

### **1.3.2 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan waktu kontak optimum biosorpsi ion Cd(II) oleh biomassa *E. acoroides*
2. Menentukan pH optimum biosorpsi ion Cd(II) oleh biomassa *E. acoroides*
3. Menentukan kapasitas biosorpsi ion Cd(II) oleh biomassa *E. acoroides*.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah membantu upaya untuk menemukan biosorben yang efektif dengan memberikan informasi tentang kondisi



optimum dan kapasitas biosorpsi dari biomassa *E. acoroides* terhadap ion Cd(II) dan dibandingkan dengan kapasitas adsorben lainnya dalam upaya untuk mendapatkan adsorben yang efektif terhadap ion logam-logam berat, khususnya ion Cd(II). Data yang diperoleh dapat dijadikan dasar pertimbangan dalam pengelolaan air buangan yang terkontaminasi oleh logam berat.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Secara garis besar, sumber pencemar utama lingkungan laut ada 5 (lima) yaitu hidrokarbon minyak bumi, hidrokarbon terhalogenasi, bahan-bahan padatan yang stabil, bahan-bahan radioaktif dan logam-logam berat (Achmad, 2004).

Pada saat ini pencemaran berlangsung dimana-mana dengan laju begitu cepat. Kecenderungan pencemaran akhir-akhir ini mengarah kepada dua hal yaitu: (1) Ke arah pembuangan senyawa-senyawa kimia tertentu yang semakin meningkat, terutama pembakaran minyak bumi secara nyata saat ini sudah merubah sistem alami pada skala global. (2) Ke arah meningkatnya penggunaan bahan berbahaya beracun (B3) oleh berbagai kegiatan industri dengan pembuangan limbahnya ke lingkungan (Achmad, 2004).

#### **2.1 Pencemaran Lingkungan**

Sejak kasus kecelakaan merkuri di Minamata, Jepang tahun 1953 yang secara intensif dilaporkan, isu pencemaran logam berat meningkat sejalan dengan pengembangan berbagai penelitian yang mulai diarahkan pada berbagai aplikasi teknologi untuk menangani polusi lingkungan yang disebabkan oleh logam berat. Kecemasan yang berlebihan terhadap hadirnya logam berat di lingkungan disebabkan oleh tingkat keracunannya yang sangat tinggi dalam seluruh aspek kehidupan makhluk hidup. USEPA (U.S. Environmental Agency) melaporkan bahwa ada 13 elemen logam berat yang merupakan elemen utama polusi yang berbahaya seperti dirangkumkan pada Tabel 1 (Suhendrayatna, 2001).

Tabel 1. Daftar elemen pencemar utama dari logam berat dan sumbernya di alam (Suhendrayatna, 2001)

Elemen	Sumber Logam di Alam
Stibium	<i>Stibnite</i> ( $Sb_2S_3$ ), <i>geothermal springs</i> , Limbah Tambang.
Arsenik	Logam arsenida and arsenat, Bijih Sulfida ( <i>arsenopyrite</i> ), <i>arsenite</i> ( $HAsO_2$ ), gas-gas vulkanik, <i>geothermal springs</i> .
Berillium	<i>Beryl</i> ( $Be_3Al_2Si_6O_{16}$ ), <i>Phenacite</i> ( $Be_2SiO_4$ ).
Kadmium	Seng karbonat dan bijih sulfat, Tembaga karbonat dan bijih sulfida.
Kromium	<i>Chromite</i> ( $FeCr_2O$ ), krom oksida ( $Cr_2O_3$ ).
Tembaga	Logam bebas(Cu), Tembaga sulfida ( $CuS_2$ ), <i>Chalcopyrite</i> ( $CuFeS_2$ ), limbah tambang.
Timah	<i>Galena</i> (PbS)
Merkuri	Merkuri bebas (Hg), <i>Cinnabar</i> (HgS).
Nikel	Mineral-mineral Ferromagnesium, bijih ferro sulfida, nikel oksida ( $NiO_2$ ), nikel hidroksida [ $Ni(OH)_3$ ].
Selenium	Element bebas (Se), <i>Ferroselite</i> ( $FeSe_2$ ), sumber uranium, <i>black shales</i> , Sumber <i>Chalcopyrite-Pantladite-Pyrrhotite</i> .
Perak	Logam bebas (Ag), Perak klorida ( $AgCl_2$ ), <i>Argentide</i> ( $AgS_2$ ), bijih perak, timah, dan seng.
Talium	Residu tembaga, timah dan perak.
Seng	Seng sulfida ( $ZnS$ ), <i>Willemite</i> ( $ZnSiO_4$ ), <i>Calamite</i> ( $ZnCO_3$ ), limbah tambang

Jika melewati ambang batas, keberadaan jenis-jenis polutan tersebut diketahui bersifat racun dan teratogenik, juga bersifat karsinogenik, yaitu dapat menimbulkan penyakit kanker (Rismana, 2005).

## 2.2 Logam Berat

Logam berat merupakan komponen alami tanah dan tidak dapat didegradasi maupun dihancurkan. Logam-logam berat tersebut berpotensi menjadi racun jika konsentrasinya dalam tubuh tinggi. Dapat dikatakan bahwa semua logam berat dapat

menjadi bahan racun yang akan meracuni tubuh makhluk hidup seperti logam merkuri, kadmium, timbal, dan krom (Palar, 1994).

Logam-logam berat yang ada dalam badan perairan akan mengalami proses pengendapan dan terakumulasi dalam sedimen, kemudian terakumulasi dalam tubuh biota laut yang ada dalam perairan (termasuk kerang laut) baik melalui insang maupun melalui rantai makanan dan akhirnya akan sampai pada manusia (Dahuri dalam Umar, dkk., 1996).

### **2.3 Logam dalam Air Limbah dan Toksisitasnya**

Efluen dari industri tekstil, kulit, pengulitan, penyepuhan, galvanisasi, pigmen dan zat warna, metalurgi dan cat, pemrosesan logam lainnya dan operasi penyulingan pada sektor skala kecil dan besar mengandung jumlah ion logam yang harus dipertimbangkan. Ion-ion logam toksik ini tidak hanya berpotensi pada resiko kesehatan manusia tetapi juga untuk bentuk kehidupan lainnya. Ion-ion logam toksik menyebabkan ketidaknyamanan fisik dan kadang menimbulkan penyakit yang mengancam kehidupan termasuk kerusakan irreversibel terhadap sistem tubuh yang vital (Malik, 2004). Dari sudut pandang eko-toksikologi, logam yang paling berbahaya adalah merkuri, timbal, kadmium dan krom (VI). Dalam beberapa hal, efek logam berat pada manusia tidak diketahui dengan baik. Ion-ion logam dalam lingkungan terakumulasi dan disebarkan melalui rantai makanan. Jadi, efek toksiknya lebih nyata terhadap hewan tingkat tinggi.



## 2.4 Metode Konvensional untuk Penghilangan Logam Berat dari Efluen Industri

Untuk mengurangi polusi logam berat, banyak proses seperti adsorpsi, pengendapan, koagulasi, penukaran ion, elektrodialisis, elektrokoagulasi dan osmosis balik telah dikembangkan (Ahluwalia dan Goyal, 2006).

1. Pengendapan merupakan metode untuk menghilangkan logam berat toksik sampai tingkat bagian per sejuta (ppm) dari air karena beberapa logam tidak larut dalam air dan dapat diendapkan jika ditambahkan anion yang cocok. Meskipun proses efektif dalam hal biaya, efisiensinya dipengaruhi oleh pH rendah dan adanya ion-ion (garam-garam) lain dan tidak efektif dalam menghilangkan ion-ion logam pada konsentrasi rendah.
2. Penukaran ion merupakan metode lain yang digunakan dengan sukses dalam industri untuk menghilangkan logam-logam berat dari efluen. Metode ini mahal dan mempunyai kemampuan untuk mencapai tingkat bagian per semilyar (ppb). Kelemahan penukaran ion adalah bahwa metode ini tidak dapat menangani larutan logam pekat karena matriks mudah dikotori oleh bahan organik atau padatan lain dalam air limbah. Selain itu, penukaran ion tidak selektif dan sangat sensitif terhadap pH larutan.
3. Elektro-*winning* digunakan secara luas dalam operasi industri penambangan dan metalurgi. Proses ini juga digunakan dalam industri transformasi logam, industri elektronik dan elektrik. Logam-logam seperti Ag, Au, Cd, Co, Cr, Ni, Pb, Sn dan Zn yang ada dalam efluen dapat diperoleh kembali melalui elektrodposisi dengan menggunakan anoda yang tidak larut.

4. Elektrokoagulasi merupakan pendekatan elektrokimia yang menggunakan arus listrik untuk menghilangkan logam dari larutan, sistem elektrokoagulasi juga efektif dalam menghilangkan padatan tersuspensi, logam-logam terlarut, tannin dan zat warna.
5. Sedimentasi merupakan metode pengendapan lainnya yang memanfaatkan mekanisme elektrokimia dimana logam yang mempunyai potensial oksidasi lebih tinggi memasuki larutan misalnya oksidasi logam besi Fe, menjadi Fe(II) untuk menggantikan logam yang mempunyai potensial oksidasi lebih rendah. Cu paling sering dipisahkan melalui proses sementasi. Ag, Au, Pb, As, Cd, Ga, Pb, Sb dan Sn dapat diperoleh kembali dengan cara ini.
6. Osmosis balik dan elektrodialisis melibatkan penggunaan membran semipermeabel untuk memperoleh kembali ion-ion logam dari air limbah yang encer. Dalam elektrodialisis, membran selektif dipasang antara elektroda-elektroda dalam sel elektrolisis dan dengan arus listrik kontinyu ion-ion yang terasosiasi berpindah tempat yang menyebabkan perolehan kembali logam.

## 2.5 Kadmium (Cd).

Kadmium merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya karena elemen ini beresiko tinggi terhadap pembuluh darah dan dalam jangka waktu panjang terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal (Suhendrayatna, 2001).

Pengaruh Cd terhadap manusia sangat serius. Masalah yang dapat timbul akibat keracunan Cd antara lain adalah menyebabkan tekanan darah tinggi, kerusakan ginjal, kerusakan jaringan testikuler dan kerusakan dari sel-sel darah merah (Achmad, 2004)

### 2.5.1 Penyebaran, Sifat dan Penggunaan Logam Cd

Logam Cd atau cadmium (kadmium) mempunyai penyebaran yang sangat luas di alam. Hanya ada satu jenis mineral kadmium di alam yaitu *greenockite* (CdS) yang selalu ditemukan bersamaan dengan mineral *spalerite* (ZnS). Mineral *greenockite* sangat jarang ditemukan di alam, sehingga dalam eksploitasi logam Cd, biasanya merupakan produksi sampingan dari peristiwa peleburan dan *refining* bijih-bijih Zn (seng) (Palar, 1994).

Penggunaan Cd dan persenyawaannya ditemukan dalam industri pencelupan, fotografi dan lain-lain. Pemanfaatan Cd dan persenyawaannya dapat dilihat sebagai berikut (Palar 1994):

- a. Senyawa CdS dan CdSe, banyak digunakan sebagai zat warna.
- b. Senyawa kadmium sulfat ( $\text{CdSO}_4$ ) digunakan dalam industri baterai yang berfungsi untuk pembuatan sel Weston karena mempunyai potensial stabil yaitu sebesar 1,0186 volt.
- c. Senyawa kadmium bromida ( $\text{CdBr}_2$ ) dan kadmium iodida ( $\text{CdI}_2$ ) secara terbatas digunakan dalam dunia fotografi.
- d. Senyawa dietil kadmium  $\{(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cd}\}$  digunakan dalam proses pembuatan tetraetil-Pb.
- e. Senyawa Cd-stearat banyak digunakan dalam perindustrian manufaktur polivinil klorida (PVC) sebagai bahan yang berfungsi untuk stabilizer.

Dalam strata lingkungan, logam Cd dan persenyawaannya ditemukan dalam banyak lapisan. Sumber Cd yang penting berasal dari tanah pertanian yang tercemar, sampah-sampah pertambangan, penggunaan Cd dalam industri, pembakaran sampah-



sampah kota. Di sungai kemungkinan Cd terdapat pada sedimen atau partikel tersuspensi (Nasrun, 1980).

### 2.5.2 Logam Cd dalam Lingkungan

Logam Cd dan bermacam-macam bentuk persenyawaannya dapat masuk ke lingkungan, terutama sekali merupakan efek sampingan dari aktifitas yang dilakukan manusia. Boleh dikatakan bahwa semua bidang industri yang melibatkan Cd dalam proses operasional industrinya menjadi sumber pencemaran Cd. Penelitian yang pernah dilakukan Klein pada tahun 1974 menunjukkan bahwa kandungan rata-rata Cd dalam air buangan rumah tangga dan buangan industri ringan, seperti terlihat pada Tabel 2 (Palar, 1994):

Tabel 2. Kandungan Cd dalam Beberapa Jenis Air Buangan (Palar, 1994)

Jenis Industri	Konsentrasi Cd ( $\mu\text{g/L}$ )	Jenis Industri	Konsentrasi Cd ( $\mu\text{g/L}$ )
Pengolahan Roti	11	Bakery	2
Pengolahan Ikan	14	Minuman	5
Makanan Lain	6	Es krim	31
Minuman Ringan	3	Pengolahan dan Pencelupan	115
Pencelupan Tekstil	30	Bulu Binatang	134
Bahan Kimia	27	Pengolahan Lemak	6

### 2.6 Biosorpsi

Biosorpsi merupakan kemampuan material biologi untuk mengakumulasikan logam berat melalui media metabolisme atau jalur psiko-kimia. Proses biosorpsi ini dapat terjadi karena adanya material biologi yang disebut biosorben dan adanya larutan yang mengandung logam berat (dengan afinitas yang tinggi) sehingga mudah terikat pada biosorben (Fourest and Roux, 1992).

Proses ini terjadi ketika ion logam berat mengikat dinding sel dengan dua cara yang berbeda, pertama pertukaran ion dimana ion monovalensi dan divalensi seperti Na, Mg, dan Ca pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat; dan kedua adalah formasi kompleks antara ion-ion logam berat dengan gugus-gugus fungsional seperti karbonil, amino, tiol, hidroksil, fosfat, dan hidrosi-karboksil yang berada pada dinding sel (Suhendrayatna, 2001).

### **2.6.1 Biosorpsi sebagai Teknologi Alternatif**

Berbasis pada wawasan tentang resiko polusi lingkungan oleh ion logam berat, berbagai perhatian diberikan terhadap sistem pengolahan limbah logam-logam berat tersebut. Salah satu caranya adalah proses pengolahan dengan menggunakan mikroorganisme dengan tujuan untuk mengurangi tingkat keracunan elemen polusi terhadap lingkungan. Pendekatan ini dapat mengacu pada proses bioremediasi. Saat ini, pengolahan secara biologis untuk mengurangi ion logam berat dari air tercemar muncul sebagai teknologi alternatif yang berpotensi untuk dikembangkan dan dibandingkan dengan proses kimia, seperti menambahkan zat kimia tertentu untuk proses pemisahan ion logam berat atau dengan resin penukar ion (*exchange resins*), dan beberapa metode lainnya seperti penyerapan dengan menggunakan karbon aktif, elektrodialisis dan osmosis balik (Suhendrayatna, 2001).

Biomassa memiliki kemampuan seperti senyawa kimia, sebagai penukar ion biologi alami. Hal ini terdapat pada struktur dinding sel pada alga, fungi dan bakteri yang berperan pada peristiwa tersebut. Berbagai jenis mikroorganisme dapat mengakumulasi logam berat dalam jumlah besar.

### **2.6.2 Biosorben**

Biosorben merupakan bahan penyerap yang berasal dari mikroorganisme atau produk metaboliknya. Contoh-contoh biosorben yang berasal dari produk metabolik makhluk hidup antara lain : selulosa, alginat, karaginan, lignin, protein, kitin, dan kitosan (Schmuhl, 2001). Biosorben-biosorben ini mempunyai sejumlah gugus fungsional yang berbeda, seperti hidroksil dan amina, dimana ion logam dapat berikatan baik melalui adsorpsi kimia maupun adsorpsi fisika (Deans dalam Schmuhl, 2001).

Beberapa biosorben dapat mengikat dan menarik sebagian besar logam berat tanpa spesifikasi tertentu, dimana yang lainnya spesifik terhadap tipe logam tertentu. Pada pemilihan biomassa untuk penelitian biosorpsi logam, ada beberapa faktor utama yang harus diperhatikan diantaranya yaitu organisme tersebut terdapat dalam jumlah besar di alam (misal bakteri, ragi, alga) dan masa pertumbuhan organisme cepat yang mudah dikembangbiakkan dengan tujuan biosorpsi (Suhendrayatna, 2001).

### **2.6.3 Keuntungan dan Kekurangan Biosorpsi**

Biosorpsi merupakan metode berdasarkan adsorpsi menggunakan biomassa tidak hidup yang diimobilisasi yang memiliki keuntungan dan kerugian dalam penggunaannya seperti terlihat pada Tabel 3 (Mancaskie dan Robinson dalam Suhendrayatna, 2001).



Tabel 3. Studi Banding Biosorpsi dan Adsorpsi Ion Logam Berat antara Immobilisasi Sel Hidup dengan Immobilisasi Sel Tidak Hidup

Adsorpsi menggunakan immobilisasi sel tidak hidup	Biosorpsi menggunakan immobilisasi sel hidup
<p style="text-align: center;"><b>Keuntungan</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidak bergantung pada pertumbuhan sel, biomassa mati tidak berpengaruh pada terbatasnya sifat toksisitas dari ion logam berat serta tidak memerlukan nutrisi.</li> <li>• Proses tidak diatur oleh sifat fisik saja</li> <li>• Pemilihan teknik immobilisasi tidak tergantung oleh terbatasnya tingkat toksisitas dan thermal inactivation.</li> <li>• Sangat cepat dan efisien; biomassa memiliki sifat setara dengan penukar ion.</li> <li>• Logam dapat segera dipisahkan dari biomassa dan direkoveri kembali</li> <li>• Sistem mudah dirancang dengan perhitungan matematis.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Keuntungan</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Walaupun setiap sel dapat jenuh, namun sel memiliki kemampuan meregenerasikannya sendiri berdasarkan kemampuan pertumbuhannya.</li> <li>• Logam disimpan dalam kondisi kimia labil dan memiliki sensitivitas kecil pada desorpsi spontan</li> <li>• Aktivitas metabolisme dinilai ekonomis dalam upaya mencapai perubahan valensi atau degradasi senyawa organologam melalui tahapan multi-enzim.</li> <li>• Sangat berpotensi bagi isolasi mutan atau manipulasi genetik untuk pengembangan strain baru.</li> <li>• Dua atau lebih mikroorganisme dapat digunakan bersamaan.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Kerugian</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sangat cepat jenuh.</li> <li>• Proses adsorpsi sensitif terhadap pH dan spesifikasi logam.</li> <li>• Tidak berpotensi mendegradasi sampai ke bentuk spesies organologam.</li> <li>• Tidak berpotensi untuk pengembangan proses biologis sepanjang sel tidak dapat bermetabolisme.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Kerugian</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tergantung dengan tingkat toksisitas logam terhadap sel, bahkan ada sel yang tidak tahan pada konsentrasi logam yang rendah sekalipun.</li> <li>• Proses juga bergantung oleh sifat fisik.</li> <li>• Membutuhkan nutrisi bagi pertumbuhan sel.</li> <li>• Sel dapat berupa ikatan kompleks logam bila dikembalikan dalam bentuk cairan.</li> <li>• Logam tidak dapat segera dipisahkan dari biomassa karena ikatan intraselulernya.</li> <li>• Sistem sulit dirancang secara matematis</li> </ul>

Metode konvensional seperti pengendapan, oksidasi/reduksi, penukar ion, filtrasi, membran dan penguapan merupakan metode yang mahal atau tidak efisien untuk menghilangkan logam dari larutan yang mengandung 1 – 100 mg/L dari logam terlarut. Dalam hal ini, proses biosorpsi sudah harus dipertimbangkan untuk penghilangan tersebut (Volesky, 1990).

Biosorpsi merupakan fenomena cepat dari pengambilan logam secara pasif oleh biomassa yang tidak tumbuh. Volesky dan Holan (1995) telah mempelajari mikroba-mikroba secara mendalam dan kapasitas pengikatan logamnya. Kapasitas sorpsi selanjutnya dievaluasi dengan isothermal sorpsi yang diberikan oleh model Langmuir dan Freundlich.

## **2.7 Penghilangan Logam oleh Biomassa yang Tidak Hidup dari Mikroba dan Tumbuhan**

Penghilangan logam-logam berat dari larutannya dengan menggunakan biomassa mati dan tidak aktif merupakan teknologi inovatif dan alternatif untuk menghilangkan polutan-polutan tersebut. Biomassa dari alga, suplir air dan rumput laut telah dilaporkan sebagai biosorben yang berpotensi untuk menghilangkan logam-logam berat dari larutannya (Puranik dan Paknikar, 1999; Ahluwalia dan Goyal, 2005). Efisiensi biosorpsi bergantung pada kapasitas, afinitas dan spesifitas termasuk sifat fisiko-kimia. Biomassa yang berhubungan dengan proses penghilangan logam mungkin tidak perlu menggantikan pengolahan yang telah ada tetapi dapat melengkapi proses-proses tersebut.

### **2.7.1 Penghilangan Logam dengan Biomassa Alga**

Beberapa penelitian tentang biosorpsi logam berat oleh biomassa alga diberikan di bawah ini. Adanya logam kedua dalam larutan menurunkan pengikatan Fe(II), Ni(II) dan Zn(II) karena pemblokiran kimia gugus karboksil dari biomassa tetapi hal ini tidak mempengaruhi pengikatan Cu(II). Biosorpsi Cu(II), Ni(II) dan Cr(IV) dari larutannya oleh alga kering *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus obliquus* dan *Synechocysis* sp diuji pada kondisi laboratorium sebagai fungsi pH, konsentrasi ion

logam dan biomassa awal (Donmez dkk., 1999). Hasil menunjukkan bahwa pengaruh konsentrasi biomassa alga pada penghilangan logam oleh semua spesies kedua model adsorpsi Freundlich dan Langmuir menunjukkan biosorpsi jangka pendek. Lima rumput laut yang berbeda, *Bifurcaria bifurcata*, *Saccorhiza polyschides*, *Ascophyllum nodosum*, *Laminaria achroleuca* dan *Pelvetia cariculata* dipelajari kemampuannya untuk menghilangkan Cd dari larutannya (Lodeiro dkk., 2005). Kinetika adsorpsi Cd oleh alga relatif cepat dengan 90 % dari total adsorpsi terjadi kurang dari 1 jam.

### 2.7.2 Penghilangan Logam oleh Biomassa yang Dihasilkan oleh Tumbuhan

Serat pisang dievaluasi kemampuannya sebagai sorben ion logam dari limbah penyepuhan larutan sintesis pada kondisi *batch* dan aliran berkesinambungan. Sorpsi diamati sebagai fungsi pH dan konsentrasi dengan pH 4 – 5 sebagai pH optimum. Data kesetimbangan mengikuti model isotermal Langmuir dengan kapasitas maksimum adalah 8,55 dan 13,46 mg/g dari Cu berturut-turut dalam limbah penyepuhan dan larutan sintetik (Low dkk., 1995).

Biomassa limbah seperti batang gandum digunakan untuk menghilangkan nikel dari efluen industri penyepuhan (Verma dan Shukla, 2000). Penghilangan nikel dari efluen 2 – 10 % lebih kecil dibandingkan dari larutan sintetik pada kondisi yang sama. Karbon aktif jerami gandum dapat menghilangkan 100 % Ni(II) dari konsentrasi Ni(II) awal 25 mg/L pada pH 4 dalam waktu 4 jam pada  $36 \pm 2^\circ\text{C}$ . Kapasitas pengambilan logam-logam yang berbeda oleh fitomassa *Quercus ilex* (akar, batang dan daun) adalah  $\text{Ni} > \text{Cd} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cr}$  (akar),  $\text{Ni} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Cr}$  (batang),  $\text{Ni} > \text{Cd} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cr}$  (daun) (Prasad dan Freitas, 2000).



Penghilangan Cd dari larutannya oleh biji *Moringa oleifera* dipelajari dalam percobaan sorpsi *batch* sebagai fungsi jumlah biomassa, waktu kontak, konsentrasi logam, ukuran partikel dan pH (Sharma dkk., 2006). Spektroskopi infra merah transform Fourier menunjukkan bahwa interaksi Cd-amino memegang peranan penting dalam proses sorpsi ini.

## 2.8 Lamun (*Seagrass*)

Bagi yang belum pernah mengenal lamun, tanaman yang biasa disebut seagrass ini merupakan tumbuhan berbunga (*Angiospermae*) yang sudah sepenuhnya menyesuaikan diri hidup terbenam di dalam laut rhizoma, daun dan akar sejati hidup terendam di dalam laut (Husein, 2005).

### 2.8.1 Ekosistem Lamun

Lamun hidup di perairan dangkal agak berpasir, sering juga dijumpai di ekosistem terumbu karang dan biasanya hidup di perairan yang dangkal dan jernih pada kedalaman berkisar antara 2-12 meter, dengan sirkulasi air yang baik. Bagian atasnya selalu tertutup helai daun yang rapat dan tebal sehingga dapat mengikat sedimen (Hutomo dkk., 1992).

Di Indonesia hanya terdapat 7 genus dan sekitar 15 jenis yang termasuk ke dalam 2 famili yaitu : *Hydrocharitaceae* ( 9 marga, 35 jenis ) dan *Potamogetonaceae* (3 marga, 15 jenis). Jenis yang membentuk komunitas padang lamun tunggal, antara lain : *Thalassia hemprichii*, *E. acoroides*, *Halophila ovalis*, *Cymodocea serulata*, dan *Thalassiadendron ciliatum* (Askab, 1999).

Menurut Nybakken (1988), biomassa padang lamun secara kasar berjumlah 700 g bahan kering/m<sup>2</sup>, sedangkan produktifitasnya adalah 700 g karbon/m<sup>2</sup>/hari.

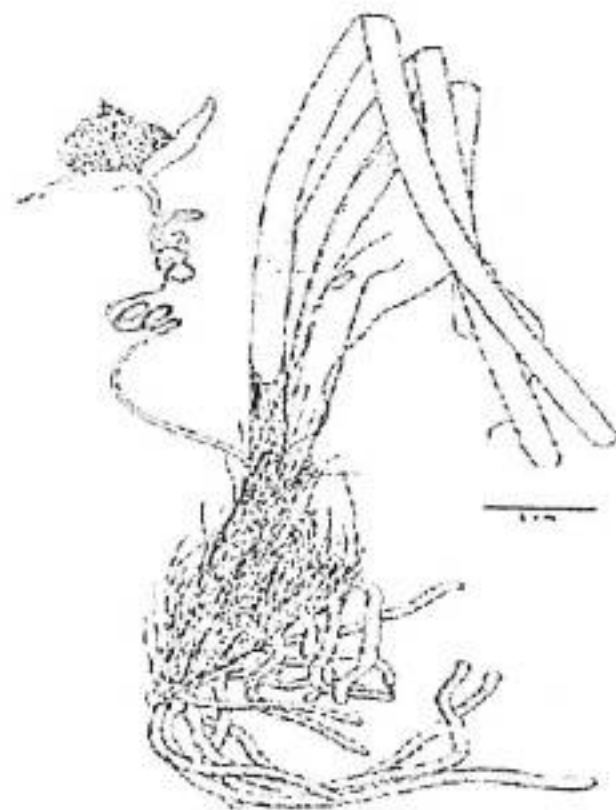
Oleh sebab itu padang lamun merupakan lingkungan laut dengan produktifitas tinggi (Supriharyono, 2000).

### 2.8.2 Lamun *E. acoroides*

Berikut adalah klasifikasi dari lamun *E. acoroides*.

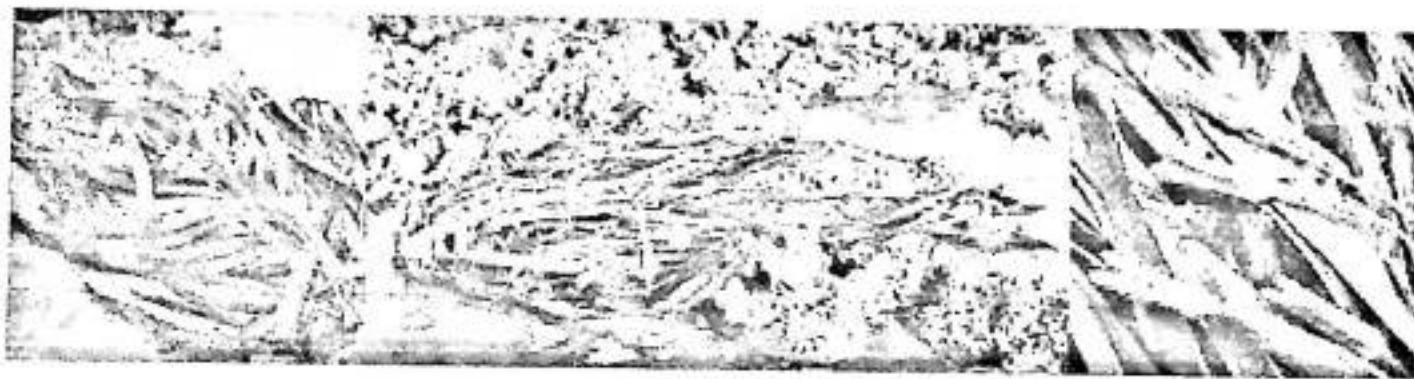
Regnum	=	Plantae
Divisi	=	Spermatophyta
Kelas	=	Monocotyledoneae
Bangsa	=	Helubiae
Suku	=	Hidrocharitaceae
Marga	=	<i>Enhalus</i>
Spesies	=	<i>E. acoroides</i>

Lamun merupakan tumbuhan berbiji tunggal (monokotil) dari kelas angiospermae. Keunikan tumbuhan lamun dari tumbuhan laut lainnya adalah adanya perakaran dan sistem rhizoma yang ekstensif (Supriharyono, 2000).



Gambar 1. Lamun *Enhalus acoroides*

Lamun *Enhalus acoroides* memiliki rhizoma dengan lebar hingga 1,5 cm yang secara penuh diselubungi dengan untaian/helaian serat (*fibrous*) yang tetap pada daun yang membusuk. Akar numerik, tidak berdahan dengan panjang 10 – 20 cm dan lebar 3 – 5 mm. Panjang daun 30 – 50 cm dengan lebar 1,25 – 1,75 cm. Bunga jantan yang putih mempunyai panjang sekitar 2 mm, serbuk sari berbentuk butir padi yang bulat dan bunga betina mempunyai panjang 40 – 50 cm. Buah *Enhalus acoroides* memiliki panjang 5 – 7 cm dan biji 1 – 1,5 cm (Phillips & Menez, 1988).



Gambar 2. Serumpun kecil *Enhalus acoroides* dan Bunganya

Bentuk adaptasi *E. acoroides* dapat dilihat pada 2 tipe populasi (Romimohtarto, 2001) yaitu :

- a. Tumbuh-tumbuhan yang pendek, berdaun tipis meliputi populasi yang tumbuh jarang pada terumbu yang dangkal.
- b. Tumbuh-tumbuhan panjang berdaun tebal terdiri dari populasi yang padat yang hidup di bagian dalam dan terlindungi dari suatu teluk kecil.

Pada zaman modern ini, lamun telah dimanfaatkan untuk penyaring limbah, stabilizator pantai, bahan untuk pabrik kertas, makanan, obat-obatan dan sumber bahan kimia (Philips & Menez 1988).

## 2.9 Biomassa

Dalam situs kementerian Lingkungan Hidup biomassa didefinisikan sebagai total berat kering (dry weight) satu spesies atau semua spesies makhluk hidup dalam suatu daerah yang diukur pada waktu tertentu.



## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan adalah Biomassa *E. acoroides* kering,  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HNO}_3$  1%,  $\text{HNO}_3$  pH 2,  $\text{NaOH}$  0,1 M, akuabides dan akuades.

#### 3.2 Alat

Alat-alat yang dibutuhkan antara lain: alat-alat gelas yang umum digunakan di laboratorium, *magnetic stirrer*, spektrofotometer serapan atom (SSA) Buck Scientific Model 205 VGP, FT-IR 8201PC Shimadzu, kertas pH universal, oven, ayakan (101,6 mesh dan 169,3 mesh), blender, lumpang dan stamfer (alat untuk menghaluskan sampel lamun kering sebelum pengayakan), botol reagen Polietilen, desikator dan kertas saring Whatman 42.

#### 3.3 Tempat dan Waktu Pengambilan Sampel

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kimia Analitik dan Kimia Fisika Universitas Hasanuddin pada bulan Desember 2006 sampai Maret 2007. Pengambilan lamun *E. acoroides* dilakukan di Pulau Barrang Lompo. Analisa FT-IR dilakukan di Laboratorium Organik Universitas Gajah Mada.

#### 3.4 Metode Kerja

##### 3.4.1 Penyiapan Biosorben *E. acoroides*

*E. acoroides* dikoleksi dari kepulauan Spermonde (Pulau Barrang Lompo), Sulawesi Selatan. Lamun segera dicuci dan dikeringkan pada temperatur 80 °C selama  $\pm$  12 jam kemudian dihaluskan. Partikel lamun kering diambil dengan ukuran

lolos saringan 101,6 mesh tetapi tidak lolos saringan 169,3 mesh kemudian disimpan pada tempat dingin dan kering. Biomassa lamun digunakan dalam eksperimen penentuan waktu dan eksperimen-eksperimen lainnya.

### 3.4.2 Penentuan Waktu Optimum Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa *E. acoroides*

Biomassa *E. Acoroides* sebanyak 200 mg ditambahkan ke dalam 50 mL larutan ion logam Cd(II) dengan konsentrasi 10 ppm dan pH 5. Tiap-tiap campuran dikocok dengan pengaduk magnet selama 10 menit dan disaring dengan kertas saring whatman 42. Absorbansi filtrat diukur dengan SSA pada panjang gelombang maksimum. Percobaan kemudian diulangi dengan variasi waktu pengocokan (20, 30, 40 dan 50 menit). Setiap percobaan dilakukan 2 kali pengulangan.

Konsentrasi yang diserap untuk tiap waktu dihitung dari:

Konsentrasi teradsorpsi = konsentrasi awal – konsentrasi akhir

$$C_{\text{adsorpsi}} = (C_{\text{awal}} - C_{\text{akhir}})$$

Banyaknya ion-ion logam yang teradsorpsi (mg) per gram adsorben (biomassa lamun) ditentukan menggunakan persamaan:

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{W_a}$$

Dimana :

$Q_e$  = jumlah ion logam yang teradsorpsi (mg/g)

$C_0$  = konsentrasi ion logam sebelum adsorpsi

$C_e$  = konsentrasi ion logam setelah adsorpsi

$V$  = volume larutan ion logam (L)

$W_a$  = jumlah adsorben, biomassa lamun (g)

Waktu optimum adalah waktu dimana konsentrasi teradsorpsi ( $C_{\text{adsorpsi}}$ ) terbesar.



### 3.4.3 Penentuan pH optimum Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa Lamun *E.*

#### *acoroides*

Biomassa *E. Acoroides* sebanyak 200 mg ditambahkan ke dalam 50 mL larutan ion logam Cd(II) dengan konsentrasi 10 ppm dan pH 2. Campuran dikocok selama waktu optimum pada suhu kamar dan disaring dengan kertas saring whatman 42. Absorbansi filtrat diukur dengan SSA.

Percobaan di atas diulangi pada pH yang berbeda masing-masing 3, 4, 5, 6, 7 dan 8. Setiap percobaan dilakukan 2 kali pengulangan. Banyaknya ion logam yang teradsorpsi (mg) per gram biosorben (biomassa *E. acoroides*) untuk tiap pH ditentukan menggunakan persamaan seperti pada percobaan 3.3.2 pH optimum adalah pH dimana konsentrasi teradsorpsi ( $C_{\text{adsorpsi}}$ ) terbesar.

### 3.4.4 Penentuan Kapasitas Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa Lamun

#### *E. acoroides*

Larutan ion logam Cd(II) dengan konsentrasi 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm, dan 100 ppm disiapkan. Ke dalam tiap-tiap 50 mL larutan tersebut ditambahkan 200 mg biomassa *E. acoroides*. Tiap-tiap campuran dikocok selama waktu optimum. Tiap-tiap campuran disaring dengan kertas saring whatman 42. Absorbansi tiap-tiap filtrat diukur dengan SSA. Setiap percobaan dilakukan 2 kali pengulangan.

Kapasitas biosorpsi dihitung dari persamaan Freundlich  $\{\log (x/m) = \log k + 1/n (\log C)\}$  atau persamaan Langmuir  $(C/q_e = 1/Q_0 b + C/Q_0)$  dengan mengalurkan  $\log (x/m)$  terhadap  $\log C$  untuk persamaan Freundlich atau  $C/q_e$  terhadap  $C_e$  untuk persamaan Langmuir. Dari *intercept* persamaan Freundlich diperoleh nilai  $k$  (kapasitas adsorpsi) dan dari *slope* persamaan Langmuir dapat diperoleh nilai  $Q_0$  yang berhubungan dengan kapasitas biosorpsi.

### 3.4.5 Analisis FT-IR

Biomassa lamun *E. acoroides* sebelum dan sesudah kontak dengan larutan Cd(II) (konsentrasi 10 ppm dengan pH 5 yang telah dikocok dengan *magnetic stirrer* selama 20 menit) dikeringkan pada suhu 80 °C lalu dianalisis dengan FT-IR (Fourier Transform Infra Red). Analisis ini dilakukan untuk mengetahui interaksi ion logam Cd(II) dengan gugus fungsi yang terdapat pada lamun *E. acoroides*.





## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas data-data hasil penelitian penentuan waktu optimum, penentuan pH optimum dan penentuan kapasitas adsorpsi logam Cd(II) oleh biomassa lamun *E. acoroides*.

Biomassa lamun *E. acoroides* merupakan berat total kering lamun *E. acoroides* per meter persegi area sampling. Sampel biomassa lamun *E. acoroides* yang diambil dari pulau Spermonde (Barranglompo) terdiri dari 6 kuadran dengan berat rata-rata 160,897 gram total berat kering per meter persegi.

Kojima dan Lee (2001) mengatakan bahwa ada beberapa hal yang mempengaruhi proses adsorpsi yaitu sifat karakteristik logam dan faktor eksternal lainnya seperti pH, konsentrasi ion logam, temperatur, ion logam lainnya dan lain-lain. Pada proses adsorpsi, ukuran sampel akan berpengaruh pada kemampuan adsorpsi terhadap logam. Semakin kecil ukuran partikel maka akan semakin luas pula luas permukaan adsorben yang kontak terhadap logam dibandingkan dengan sampel yang ukuran partikelnya besar.

#### **4.1 Waktu Optimum Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa *E. acoroides***

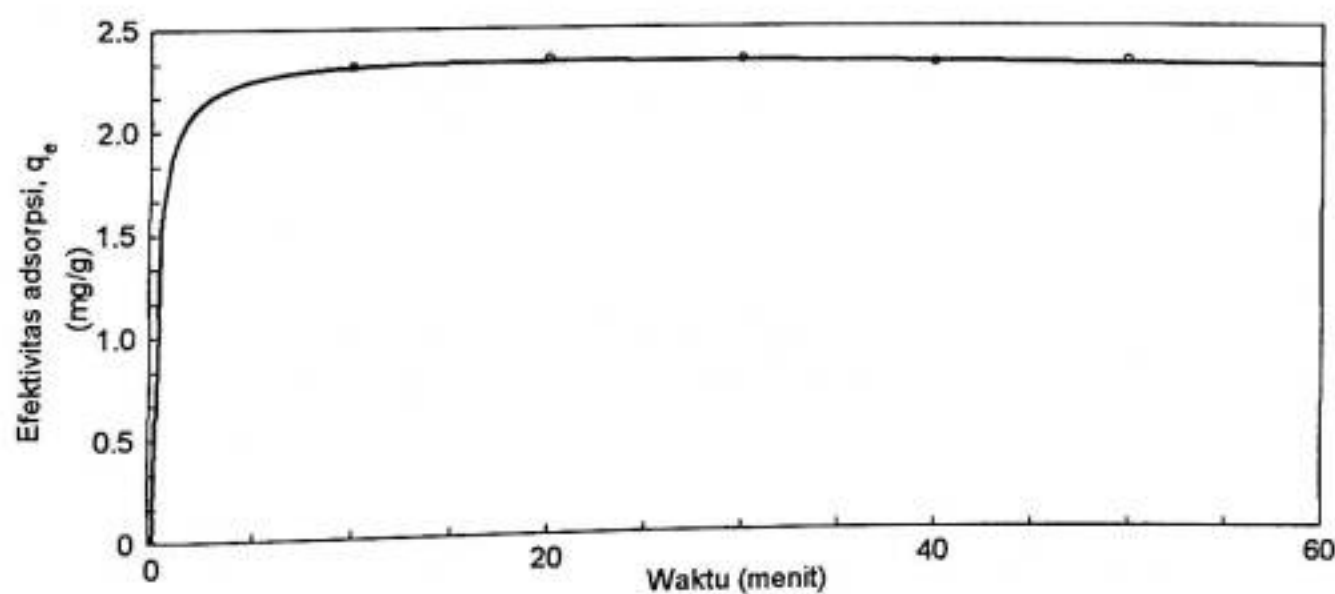
Waktu optimum merupakan suatu keadaan dimana adsorben mengadsorpsi ion logam maksimal. Waktu optimum tercapai pada kondisi dimana jumlah ion logam Cd(II) yang teradsorpsi oleh biomassa lamun *E. acoroides* konstan.

Waktu optimum adsorpsi logam Cd(II) oleh biomassa lamun *E. acoroides* ditentukan dengan menghitung efektifitas adsorpsi sebagai fungsi waktu. Hasil analisis yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 3.

Tabel 4. Efektivitas Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa Lamun *E. acoroides* sebagai Fungsi Waktu Biosorpsi (Konsentrasi Awal 10 ppm pada pH 5).

Waktu (menit)	$C_e$ (ppm)	$Q_e$ (mg/g)
0	10	0
10	0.7630	2.3092
20	0.6596	2.3351
30	0.6734	2.3316
40	0.6920	2.3270
50	0.7010	2.3248

Pada awalnya konsentrasi larutan Cd(II) yang teradsorpsi meningkat dengan bertambahnya waktu kontak larutan hingga pada menit ke 20, jumlah ion logam yang teradsorpsi oleh biomassa lamun *E. acoroides* cenderung konstan tidak terjadi perubahan adsorpsi yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa biomassa lamun *E. acoroides* telah jenuh sehingga tidak memungkinkan terjadi adsorpsi yang besar lagi terhadap logam Cd(II). Berdasarkan data ini, waktu kontak optimum adalah 20 menit.



Gambar 3. Grafik Hubungan antara Waktu Adsorpsi (menit) dengan Efektivitas Biosorpsi (mg/g) Biomassa Lamun *E. acoroides* (Konsentrasi Ion Cd(II) 10 ppm)



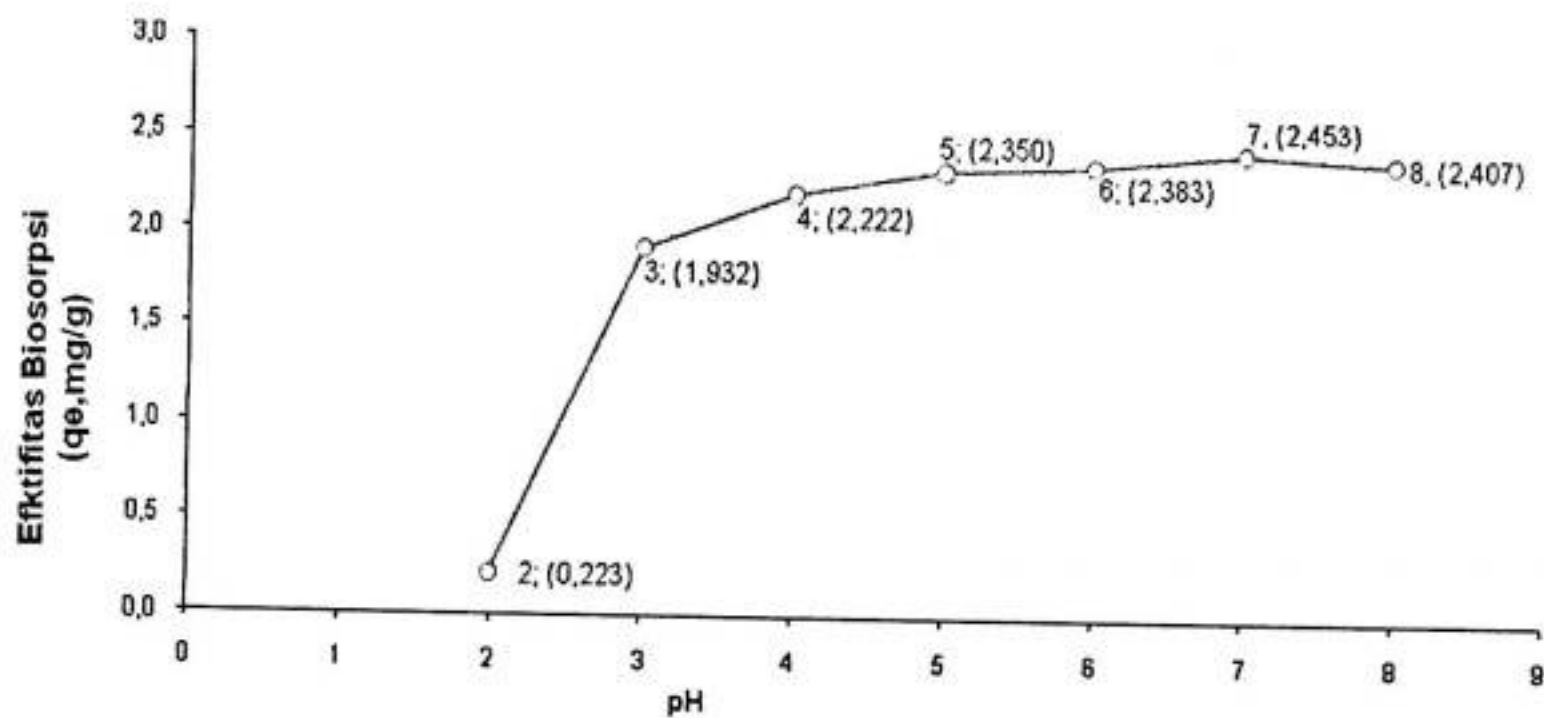
Penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan bahwa adsorpsi ion logam berat oleh alga terjadi melalui dua mekanisme yaitu penyerapan secara fisika/ kimia ke dalam permukaan alga sebelum penyerapan secara biologi ke dalam sel (Volesky, 1990; Kojima and Lee, 2001). Mekanisme secara fisika/kimia atau adsorpsi pasif terjadi sangat cepat sedangkan mekanisme secara biologi atau adsorpsi aktif terjadi sangat lambat. Pada proses adsorpsi ion logam Cd(II) ini biomassa lamun telah dikeringkan sehingga fungsi biologisnya tidak aktif lagi, jadi adsorpsi hanya terjadi pada permukaan sel saja. Oleh karena itu kesetimbangan adsorpsi terjadi sangat cepat, selain itu ukuran partikel yang kecil memungkinkan terjadi kontak yang cepat antara ion logam dan sisi aktif pada lamun.

#### 4.2 pH Optimum Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa Lamun *E. Acoroides*

Pada penentuan pH optimum ini harus diperhatikan pengaruh pH terhadap ion logam Cd(II) dan jarak skala pH yang digunakan agar tidak mengganggu proses analisis seperti pengendapan logam (sebagai logam hidroksida). pH optimum ditentukan berdasarkan jumlah adsorpsi tertinggi biomassa lamun *E. acoroides* terhadap ion logam Cd(II). Data hasil analisis penentuan pH optimum dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 4.

Tabel 5. Efektivitas Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa Lamun *E. acoroides* sebagai Fungsi pH (Konsentrasi Awal Ion Cd 10 mg/L dan Waktu Kontak 20 menit)

pH	$C_e$ (ppm)	$Q_e$ (mg/g)	Pengendapan
2	9.107	0.223	tidak ada
3	2.273	1.932	tidak ada
4	1.111	2.222	tidak ada
5	0.599	2.350	tidak ada
6	0.470	2.383	ada
7	0.190	2.453	ada
8	0.372	2.407	ada



Gambar 4. Grafik Hubungan antara pH dengan Efektifitas Biosorpsi (mg/g) Biomassa Lamun *E. acoroides* (Konsentrasi Ion Cd(II) 10 ppm)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektivitas adsorpsi meningkat sesuai dengan peningkatan pH. Adsorpsi pada pH rendah biasanya menghasilkan efektivitas adsorpsi rendah. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi proton tinggi dalam larutan dan proton ini bersaing dengan ion logam Cd pada pembentukan ikatan dengan sisi aktif (gugus fungsional) pada permukaan lamun. Sisi aktif kemudian menjadi jenuh sehingga tidak dapat mengikat kation-kation lain. Sedangkan pada pH yang tinggi kuantitas proton rendah sehingga menyebabkan kurangnya persaingan antara proton dan ion logam kadmium. Karena itu, terjadi peningkatan efektivitas adsorpsi.

Data menunjukkan bahwa pH optimum adalah 5 dengan efektivitas biosorpsi 2,350 mg/g biomassa lamun *Enhalus acoroides* (sekitar 85,94 % yang teradsorpsi). Efektivitas biosorpsi pada pH 6, 7 dan 8 lebih besar daripada pada pH 5 dan efektivitas terbesar diperoleh pada pH 7. Tetapi pada pengamatan visual terlihat



adanya pengendapan pada pH tersebut. Hal ini menyebabkan jumlah ion Cd(II) yang terdapat dalam larutan berkurang dan sebagian ion tersebut hilang pada penyaringan. Sehingga analisis dengan SSA memberikan konsentrasi ion yang lebih kecil daripada yang sebenarnya dalam larutan setelah proses biosorpsi. Akibatnya seakan-akan jumlah ion logam yang diadsorpsi oleh biomassa lamun *E. acoroides* lebih besar (efektivitas biosorpsi yang diperoleh lebih besar) pada pH 6, 7 dan 8 dibandingkan pada pH 5. Alasan ini yang digunakan dalam pemilihan pH optimum pada pH 5 agar pembentukan endapan ini tidak mengganggu pada proses penentuan kapasitas biosorpsi. Menurut Vogel (1990), Cd akan mulai mengendap dengan terbentuknya Cd(OH)<sub>2</sub> pada pH sekitar 6,5 dan mengendap sempurna pada pH 8. Pada penelitian ini, endapan Cd(OH)<sub>2</sub> mulai terbentuk pada pH 6.

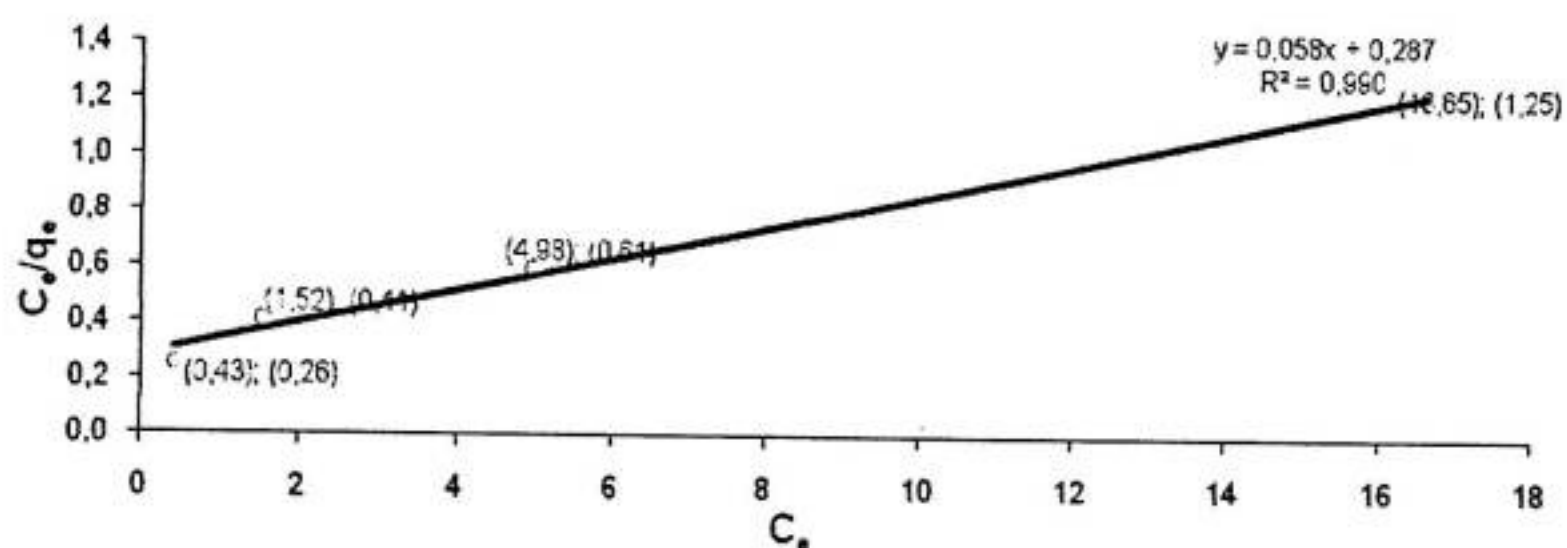
#### 4.3 Kapasitas Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa *E. Acoroides*

Isotermal biosorpsi merupakan hubungan antara kesetimbangan konsentrasi zat terlarut dalam larutan dan kesetimbangan zat terlarut dalam adsorben pada temperatur konstan. Kapasitas biosorpsi dapat ditentukan dari data efektifitas biosorpsi sebagai fungsi konsentrasi. Data lengkap dapat dilihat pada Lampiran 12, 13 dan 14. Tabel 6 menunjukkan efektifitas biosorpsi sebagai fungsi konsentrasi awal larutan ion Cd(II).

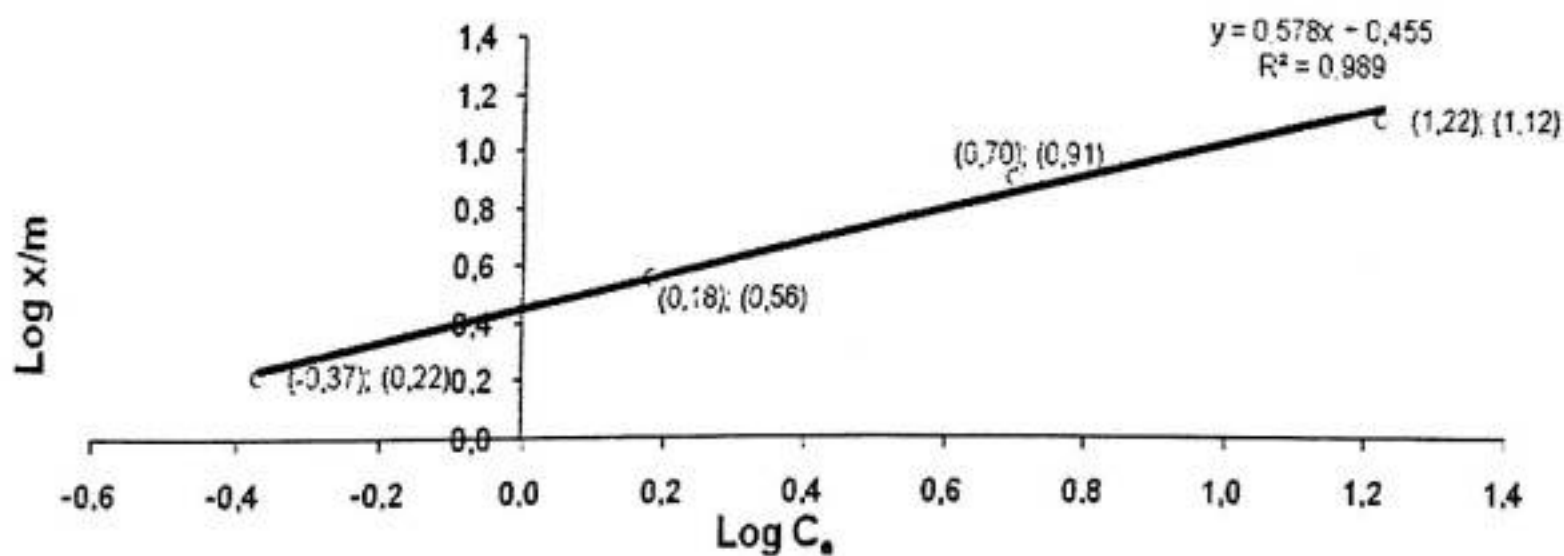
Tabel 6. Hasil Penentuan Kapasitas biosorpsi Ion Cd(II) pada Biomassa Lamun *E. acoroides* pada Waktu Optimum dan pH 5

$C_o$ (ppm)	$C_e$ (ppm)	$q_{e_i}$ $x/m$ (mg/g)	$C_e/q_e$	$\log C_e$	$\log q_e$
7.118	0.429	1.668	0.257	-0.368	0.222
16.242	1.517	3.667	0.414	0.181	0.564
37.799	4.981	8.200	0.607	0.697	0.914
69.771	16.648	13.281	1.254	1.221	1.123

Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi semakin banyak ion Cd(II) yang teradsorpsi oleh lamun *E. acoroides*. Persamaan Langmuir dan persamaan Freundlich digunakan untuk mempelajari isotermal adsorpsi dari ion Cd(II), hasilnya berturut-turut dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Kurva Isotermal Langmuir dari Biosorpsi Ion Cd(II) (Variasi Konsentrasi 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm dan 100 ppm pada pH 5).



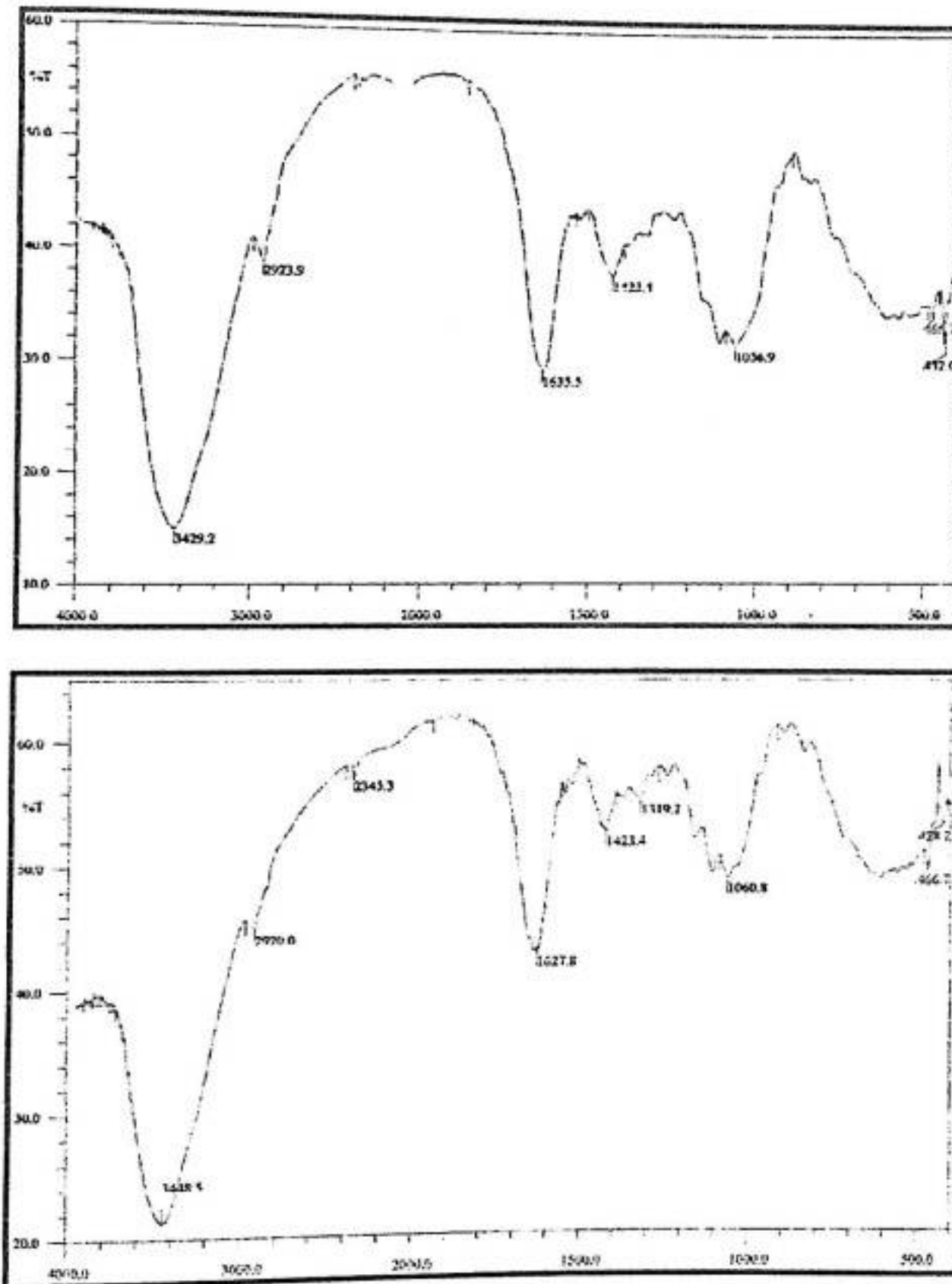
Gambar 6. Kurva Isotermal Freundlich dengan Variasi Konsentrasi 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm dan 100 ppm pada pH 5.

Berdasarkan grafik, adsorpsi Logam Cd oleh lamun *E. acoroides* memenuhi persamaan isotermal Langmuir dan Freundlich karena titik-titik yang diperoleh cenderung menunjukkan suatu hubungan garis lurus dengan nilai  $R^2$  berturut-turut adalah 0.9901 dan 0.9895.



Nilai tetapan Freundlich ( $k$  dan  $n$ ) dan tetapan Langmuir ( $Q_0$  dan  $b$ ) adalah sebagai berikut:  $k = 3,7844$  mg/g;  $n = 2.1944$  g/L;  $Q_0 = 17.0358$  mg/g;  $b = 0.0169$  L/mg (data untuk perhitungan lengkap pada Lampiran 12,13 dan 14).

#### 4.4 Interaksi Biosorpsi



Gambar 7. Spektrum Hasil Analisa FT-IR Biomassa Lamun *E. acoroides* (a) Sebelum Kontak dengan Logam Cd(II) dan (b) Setelah Kontak dengan Logam Cd(II)

Gugus fungsi merupakan bagian penting untuk diketahui pada proses biosorpsi logam oleh biomassa. Interaksi biosorpsi terjadi melalui pengikatan logam pada permukaan lamun. Untuk mengetahui adanya proses biosorpsi antara lamun dan ion logam maka digunakan instrumen FT-IR untuk mendeteksi terjadinya proses interaksi logam tersebut dengan membandingkan spektrum lamun kering sebelum dan sesudah kontak dengan ion Cd(II). Spektrum FT-IR dapat dilihat pada Gambar 7.

Pada Gambar 7a terlihat puncak pada bilangan gelombang  $1423,4\text{ cm}^{-1}$  (ulur -CH alifatik),  $2923,9$  (ulur -CH alifatik),  $1623\text{ cm}^{-1}$  (C=O) dan  $3429,2$  (ulur -OH). Puncak-puncak yang terdapat pada Gambar 7a terlihat juga pada gambar 7b kecuali puncak pada  $3429\text{ cm}^{-1}$  (ulur -OH) mengalami pergeseran ke  $3448,5\text{ cm}^{-1}$ . Pergeseran ini menunjukkan adanya proses interaksi ion logam dan gugus -OH pada permukaan lamun.



## Daftar Pustaka

- Achmad, R., 2004, *Kimia Lingkungan*, Penerbit Andi, Jakarta.
- Ahluwalia, S.S., and Goyal, D., 2005, *Removal of Heavy Metals by Waste Tealeaves from Aqueous Solution*, Eng. Life Sci. **5**, 158-162.
- Ajmal, M.A., Rao, R.A.K., Ahmad, R., and Ahmad, J., 2000, *Adsorption Studies on Citrus reticulata (Fruit Pel of Orange): Removal and Recovery of Ni(II) from Electroplating Wastewater*, J. Hazardous Mater, **B79**, 117-131.
- Azkab, M. H., 1999, *Pedoman Inventarisasi Lamun*, *Oseana*, **1**: 1-16.
- Dahuri, dkk., 2001, *Pengolahan Sumber Daya Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*, PT. Pradnya Pratama, Jakarta.
- Davis, T.A., Voleskya, B., and Mucci, A., 2003, *A Review of the Biochemistry of Heavy Metal Biosorption by Brown Algae*, Wat. Res., **37**, 4311-4330.
- Donmez, G.C., Aksu, Z., Ozturk, A., and Kutsal, T., 1999, *A Comparative Study on Heavy Metal Biosorption Characteristics of Some Algae*, Process Biochem, **34**, 885-892.
- Fourest, E., and Roux, J.C., 1992, *Heavy Metal Biosorption by Fungal Mycelial by Products: Mechanism and Influence of pH*, App. Microbial. Biotechnol., **37**, 399-403.
- Hutomo, M., Kiswara, 1992, *Status dan Khasanah Pengetahuan ekosistem Lamun di Indonesia*, Publishing Oseonologi-LIPI, Jakarta.
- Husein, A., 2005, *Menguak Misteri Lamun*, <http://duamata.blogspot.com/2005/12/menguak-misteri-lamun.html>, akses 18 november 2006.
- Kratochvil, D., and Voleksy, B., 1998, *Advances in the Biosorption of Heavy Metals*, Tib. tech., **16**, 291-300.
- Lodeiro, P., Cordero, B., Barriadh, J.L., Herrero, R., and deVicente, M.E.S., 2005, *Biosorption of Cadmium by Biomass of Brown Marine Macroalgae*, Bioresour. Technol., **96**, 1796-1803.
- Low, K.S., Lee, C.k., and Leo, A.C., 1995, *Removal of Metals from Electroplating Waste using Banana Pith*, Bioresour. Technol., **51**, 227-231.
- Malik, A., 2004, *Metal Bioremediation Through Growing Cells*, Environt. Int., **30**, 261-278.

- Miretzky, P., Saralegui, A., and Cirelli, A.F., 2004, *Aquatic Macrophytes Potential for the Simultaneous Removal of Heavy Metals (Buenos Aires, Argentina)*, *Chemosphere*, **57**, 997-1005.
- Nasrun, 1980, *Kimia Lingkungan*, Universitas Padjajaran, Bandung.
- Nybakken, J.W., 1988, *Biologi Laut suatu pendekatan ekologis*, Gramedia, Jakarta.
- Palar, H., 1994, *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, Bina Rupa Aksara, Yogyakarta, 97-98.
- Pavasant, P., Apiratikul, R., Sungkhum, V., Suthiparinyanont, P., Wattanachichira, S., and Marhaba, T.F., 2005, *Biosorption of Cu<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup> using Dried Marine Green Macroalgae Caulerpa lentillifera*, *Bioresour. Technol.*, In Press Corrected Proof, Available online 2 December 2005.
- Phillips, R. C. and E. Menez, 1988. *Seagrasses*, Smithsonian Contributions to the Marine Sciences, No. 34.
- Puranik, P., and Paknikar, K.M., 1997, *Biosorption of Lead and Zinc from Solutions using Streptovercillium cinnamoneum Waste Biomass*, *J. Biotechnol.*, **55**, 113-124.
- Prasad, M.N.V., and Freitas, H., 2000, *Removal of Toxic Metals from Solution by Leaf, Stem and Root Phytomass of Quercus ilex L. (Holly Oak)*, *Environ. Pollut.*, **110**, 277-283.
- Rismana, E., 2005, *Teknologi Pengolah Limbah Alternatif: Fitoremediasi*, (Online), ([http: www.kompas.com](http://www.kompas.com), 29 Mei 2006).
- Sharma, P., Kumari, P., Srivastava, M.M., and Srivastava, S., 2006, *Removal of Cadmium from Aqueous System by Shelled Moringa oleifera Lam. Seed Powder*, *Bioresour. Technol.*, **97**, 299-305.
- Schmuhl, R., Krieg, H. M., dan Keizer, K., 2001, *Adsorption Of Cu(II) And Cr(VI) Ions By Chitosan: Kinetics And Equilibrium Studies*, *Water SA*, **27**, 1-7.
- Suhendrayatna, 2001, *Bioremoval Logam Berat Dengan Menggunakan Microorganism: Suatu Kajian Kepustakaan (Heavy Metal Bioremoval by Microorganisms: A Literature Study)*, <http://wwwstd.ryu.titech.ac.jp/~indonesia/zoa/paper/pdf/makalahsuhendrayana.PDF>, akses 30 november 2006.
- Supriharyono, 2000, *Pelestarian dan Pengelolaan Sumberdaya Alam di Wilayah Pesisir Tropis*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Verma, B., and Shukla, N.P., 2000, *Removal of Nickel(II) from Electroplating Industry by Agrowaste Carbons*, *Indian J. Environ. Health*, **42**, 145-150.

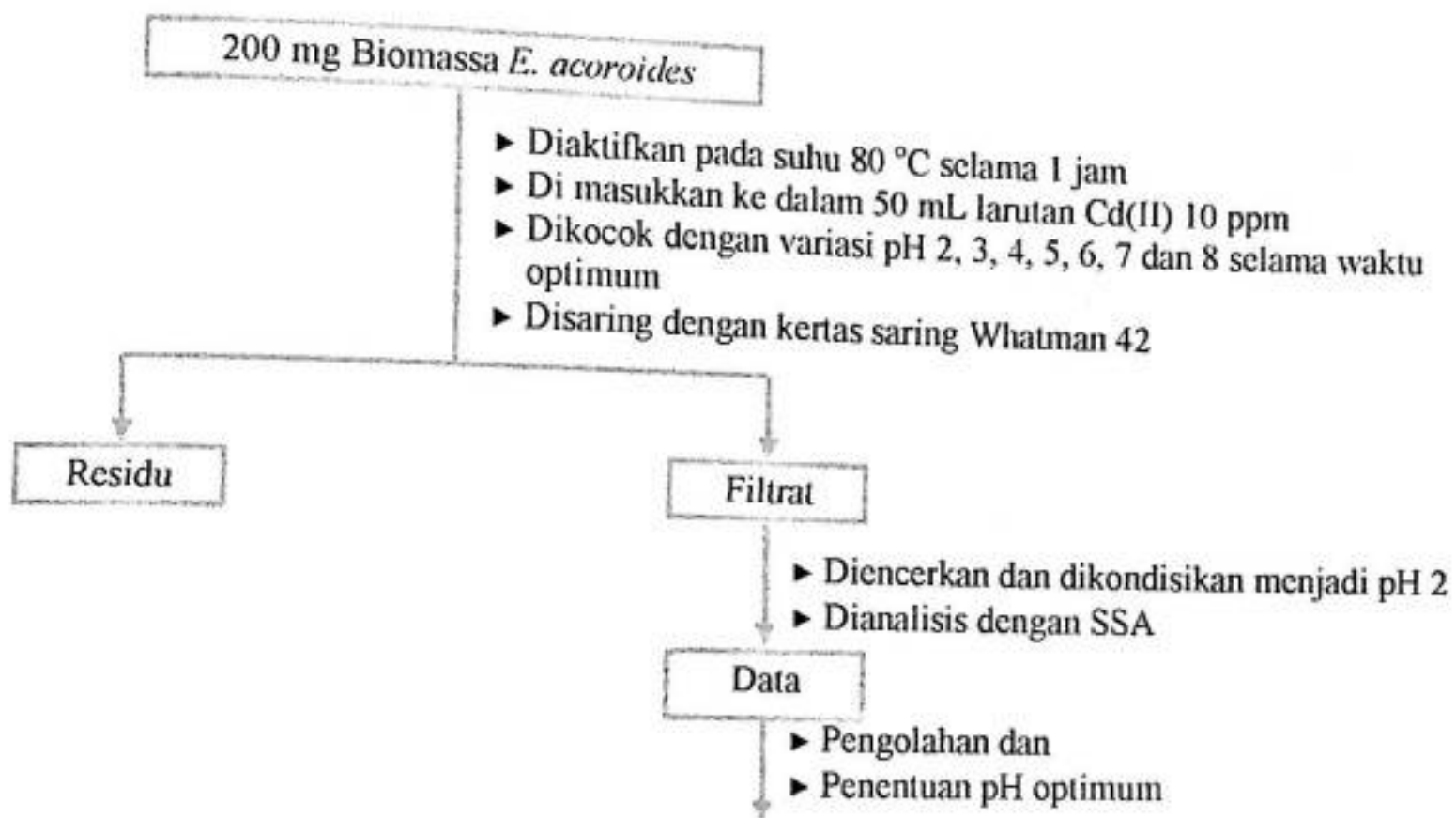


- Volesky, B., and Holan, Z.R., 1995, *Biosorption of Heavy Metals*, Biotechnol. Prog., **11**, 235-250.
- Veglio, f., Beolchini, F., 1997, *Removal of Metals by Biosorption: a Review*, Hydrometallurgy, **44**, 301-316.
- Wang, X-s., and Qin, Y., 2005, *Equilibrium Sorption Isotherms of Cu<sup>2+</sup> on Rice Bran*, Process Biochem., **40**, 677-680.
- Yan, G., and Viraraghavan, T., 2003, *Heavy-metal Removal from Aqueous Solution by Fungus Mucor rouxii*, Wat. Res., **37**, 4486-4496.

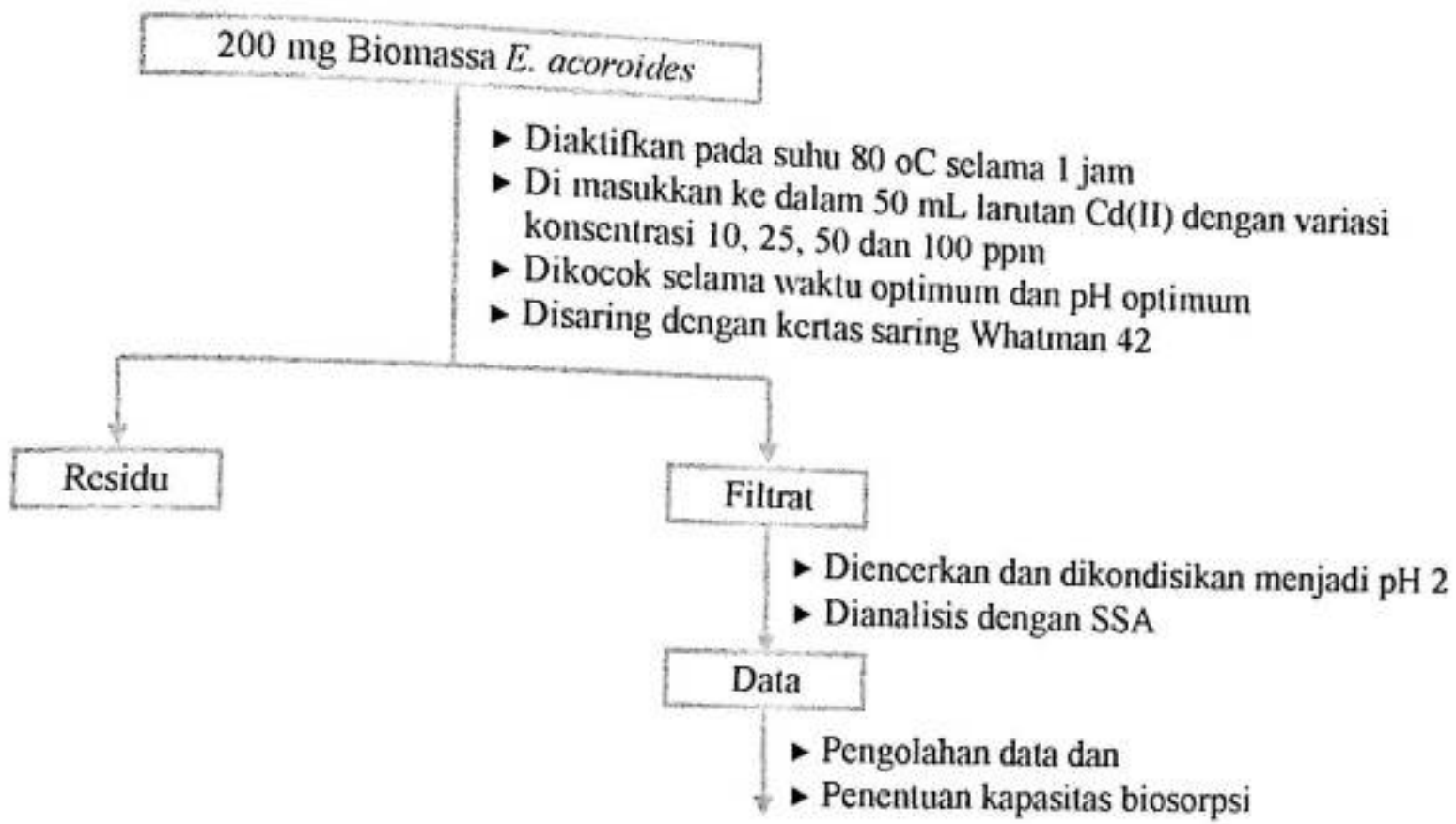
~~Handwritten text, mostly illegible due to blurring and fading.~~



Lampiran 3. Penentuan pH Optimum Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa *E. acoroides*



**Lampiran 4. Penentuan Kapasitas Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa *E. acoroides***



## Lampiran 5. Perlakuan dan Rancangan Percobaan

1. Pada penentuan waktu optimum digunakan 10 perlakuan untuk ion logam.

t = perlakuan variasi waktu kontak biomassa lamun *E. acoroides* dan ion logam :

\*t<sub>1</sub> = 10 menit

\*t<sub>2</sub> = 20 menit

\*t<sub>3</sub> = 30 menit

\*t<sub>4</sub> = 40 menit

\*t<sub>5</sub> = 50 menit

M = ion logam Cd (II)

Model matriksnya sebagai berikut:

Waktu	Ion Logam Berat Cu (M)
t <sub>1</sub>	t <sub>1</sub> M
t <sub>2</sub>	t <sub>2</sub> M
t <sub>3</sub>	t <sub>3</sub> M
t <sub>4</sub>	t <sub>4</sub> M
t <sub>5</sub>	t <sub>5</sub> M
Data yang diperoleh	t <sub>optimum</sub> M

2. Pada

\*pH<sub>2</sub> : pH = 2

\*pH<sub>3</sub> : pH = 3

\*pH<sub>4</sub> : pH = 4

\*pH<sub>5</sub> : pH = 5

\*pH<sub>6</sub> : pH = 6

\*pH<sub>7</sub> : pH = 7

\*pH<sub>8</sub> : pH = 8

M = ion logam Cd (II)

Model matriksnya sebagai berikut:

pH	Ion Logam Berat Cu (M)
pH <sub>2</sub>	pH <sub>2</sub> M
pH <sub>3</sub>	pH <sub>3</sub> M
pH <sub>4</sub>	pH <sub>4</sub> M
pH <sub>5</sub>	pH <sub>5</sub> M
pH <sub>6</sub>	pH <sub>6</sub> M
pH <sub>7</sub>	pH <sub>7</sub> M
pH <sub>8</sub>	pH <sub>8</sub> M
Data yang diperoleh	pH <sub>optimum</sub> M

3. Pada penentuan kapasitas sorpsi digunakan 5 konsentrasi yang berbeda untuk ion logam

C = konsentrasi ion logam

\*C<sub>1</sub> = 10 mg/L

\*C<sub>2</sub> = 20 mg/L

\*C<sub>3</sub> = 30 mg/L

\*C<sub>4</sub> = 40 mg/L

\*C<sub>5</sub> = 50 mg/L

M = ion logam Cd (II)

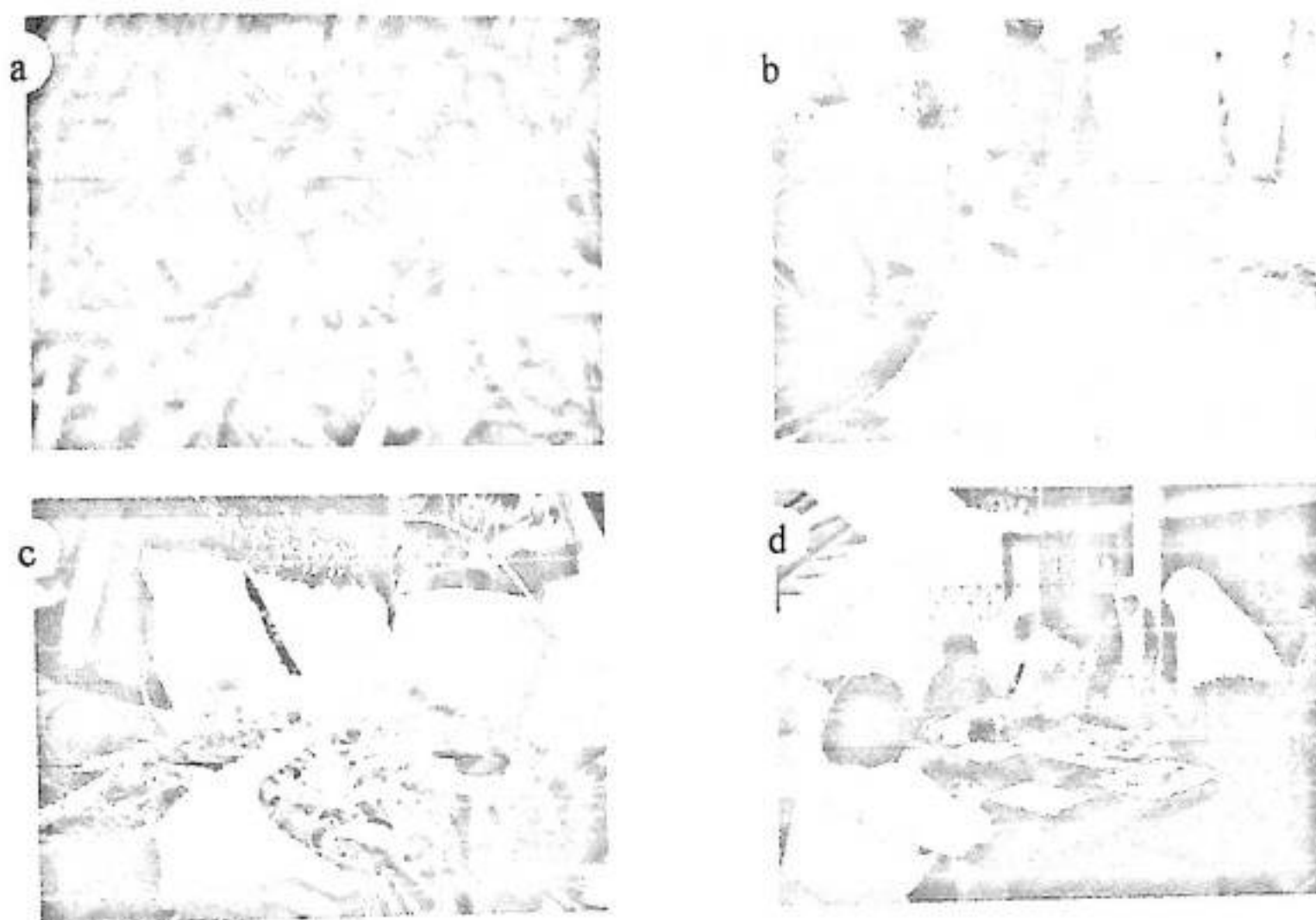
Model matriksnya sebagai berikut:

Konsentrasi	Ion Logam Berat Cu (M)
C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> M
C <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> M
C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> M
C <sub>4</sub>	C <sub>4</sub> M
C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub> M
Data yang diperoleh	Kapasitas Sorpsi M





Lampiran 7. Proses Sampling Lamun *E. acoroides*



(a) Pemilihan tempat dan pemasangan kuadran pada komunitas lamun, (b) Pengambilan lamun dari kuadran yang telah ditentukan (c) Lamun dibersihkan dengan pasir dan pengotor lainnya, (d) Lamun dibersihkan dan dibilas dengan aquadest dan dipisahkan berdasarkan akar, *rhizome*, *sheat* dan daun.

Lampiran 8. Lamun *E. acoroides* yang tumbuh di sekitar pulau Barang Lompo (Spermonde)





Lampiran 9. Biomassa lamun *E. acoroides*

Kuadran	Berat Basah (gram)	Berat Kering (gram)	Biomassa (g/m <sup>2</sup> )	Kadar H <sub>2</sub> O (%)
1	539.808	83.972	335.888	84.44
2	234.183	42.449	169.796	81.87
3	176.185	12.288	49.152	93.03
4	211.960	49.933	199.732	76.44
5	91.619	19.388	77.554	78.84
6	212.118	32.865	131.462	84.51
Rata-rata	244.312	40.149	160.597	83.19

Keterangan:

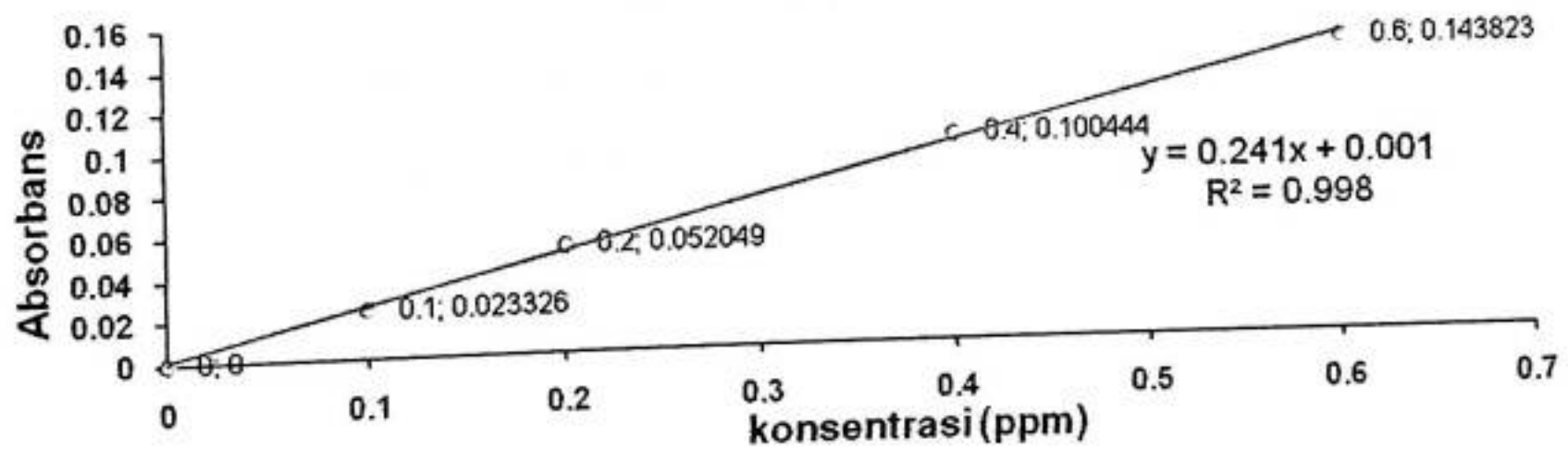
Ukuran tiap kuadran 0,25 m<sup>2</sup>

Lampiran 10. Data-Data Hasil Analisis Penentuan Waktu Optimum Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa *E. acoroides* dengan menggunakan SSA Buck Scientific Model 205 VGP

Tabel Data-data Hasil Analisis Blank dan Standart

Konst Standar (ppm)	Absorbans
0	0
0.1	0.023326
0.2	0.052049
0.4	0.100444
0.6	0.143823

Kurva Hasil Analisis Standar untuk Penentuan Waktu Optimum



**Tabel Data Kemampuan Adsorpsi Lamun *E. acoroides* terhadap Logam Cd(II)  
pada Penentuan Waktu Optimum**

Waktu (menit)	C <sub>0</sub> (ppm)	Absorbans Rata-Rata	Fp	C <sub>e</sub> (ppm)	q <sub>e</sub> (mg/g)
10	10	0.038	5	0.763	2.3095
20	10	0.033	5	0.6595	2.335
30	10	0.0335	5	0.6735	2.3315
40	10	0.038	5	0.763	2.3095
50	10	0.035	5	0.701	2.3245

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{W_a}$$

- dimana: q<sub>e</sub> = jumlah ion logam teradsorpsi (mg/g)  
 C<sub>0</sub> = konsentrasi ion logam sebelum adsorpsi (mg/L)  
 C<sub>e</sub> = konsentrasi ion logam setelah adsorpsi (mg/L)  
 V = volume larutan ion logam (L)  
 W<sub>a</sub> = jumlah biosorben, biomassa lamun *Enhalus acoroides*

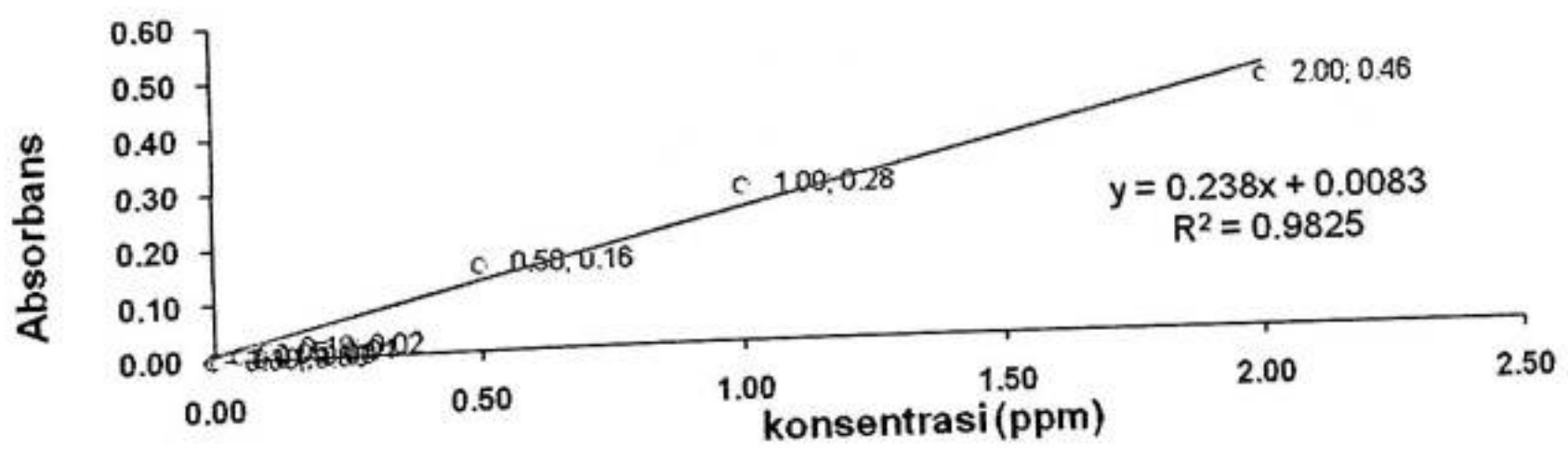
(g)

Lampiran 11. **Data-data Hasil Analisis Penentuan pH Optimum Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa *E. acoroides* dengan Menggunakan SSA Buck Scientific Model 205 VGP**

**Data-data Hasil Analisis Blank dan Standart**

Konst. Standar (ppm)	Absorbans
0.00	0.000000
0.01	0.001061
0.05	0.010390
0.10	0.017781
0.50	0.156796
1.00	0.283992
2.00	0.459122

**Kurva Hasil Analisis Standart untuk Penentuan pH Optimum**





**Data Kemampuan Adsorpsi Lamun *E. acoroides* terhadap Logam Cd(II) pada Penentuan pH Optimum**

pH	C <sub>0</sub> (ppm)	Absorbans Rata-Rata	Fp	C <sub>e</sub> (ppm)	q <sub>e</sub> (mg/g)
2	10	0.442	5	9.107	0.223
3	10	0.1165	5	2.2725	1.9315
4	10	0.061	5	1.1105	2.2225
5	10	0.037	5	0.5995	2.3505
6	10	0.031	5	0.470	2.383
7	10	0.017	5	0.190	2.453
8	10	0.026	5	0.372	2.407

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{W_a}$$

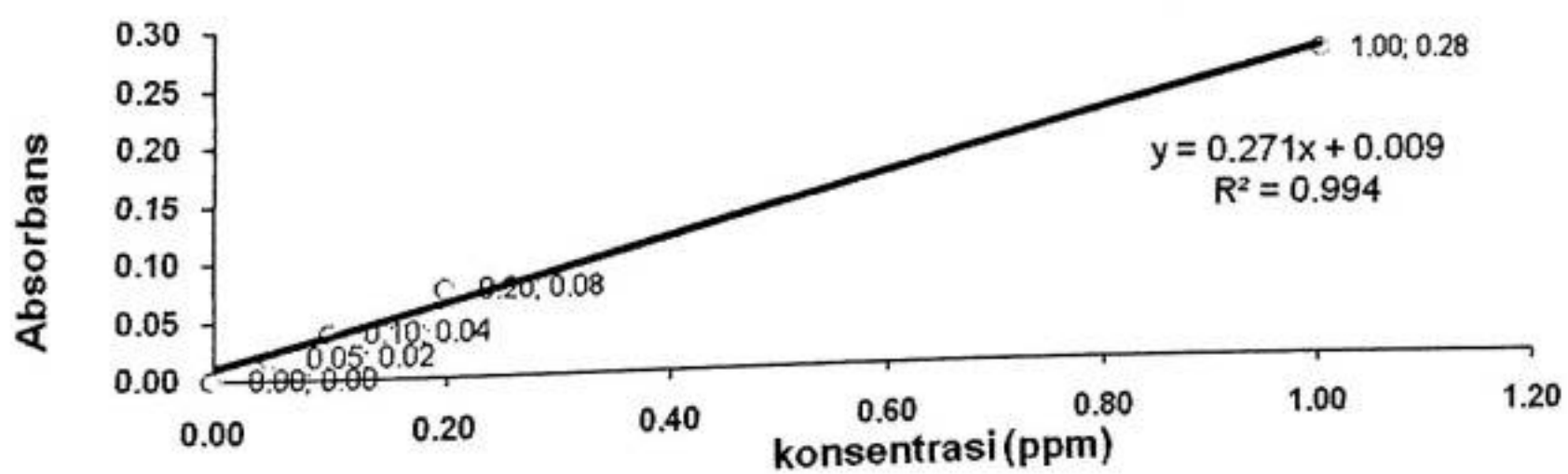
- dimana:
- q<sub>e</sub> = jumlah ion logam teradsorpsi (mg/g)
  - C<sub>0</sub> = konsentrasi ion logam sebelum adsorpsi (mg/L)
  - C<sub>e</sub> = konsentrasi ion logam setelah adsorpsi (mg/L)
  - V = volume larutan ion logam (L)
  - W<sub>a</sub> = jumlah biosorben, biomassa lamun *E. acoroides* (g)

Lampiran 12. Data-data Hasil Analisis Penentuan Kapasitas Biosorpsi Ion Cd(II) oleh Biomassa *E. acoroides* dengan menggunakan SSA Buck Scientific Model 205 VGP

Tabel Data-data Hasil Analisis Blank dan Standart

Konst. Standar (ppm)	Absorbans
0.00	0.000000
0.05	0.018824
0.10	0.039227
0.20	0.076387
1.00	0.278179
2.00	0.427618

Kurva Hasil Analisis Standar untuk Penentuan Kapasitas Biosorpsi



**Tabel Data Kemampuan Adsorpsi Lamun *E. acoroides* terhadap Logam Cd(II) pada Penentuan Kapasitas Biosorpsi**

Konsentrasi (ppm)	C <sub>0</sub> (ppm)	Absorbans Rata-Rata	Fp	C <sub>e</sub> (ppm)	q <sub>e</sub> (mg/g)
10	7.118	0.0325	5	0.429	1.6725
25	16.242	0.042	13	1.5165	3.681
50	37.799	0.0635	25	4.981	8.2045
100	69.771	0.0995	50	16.6485	13.2805

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{W_a}$$

- dimana:
- q<sub>e</sub> = jumlah ion logam teradsorpsi (mg/g)
  - C<sub>0</sub> = konsentrasi ion logam sebelum adsorpsi (mg/L)
  - C<sub>e</sub> = konsentrasi ion logam setelah adsorpsi (mg/L)
  - V = volume larutan ion logam (L)
  - W<sub>a</sub> = jumlah biosorben, biomassa lamun *E. acoroides* (g)

**Lampiran 14. Hasil Perhitungan Kapasitas Biosorpsi Ion Logam Cd(II) pada Biomassa Lamun *E. acoroides* untuk Isotermal Freundlich**

Persamaan:

$$\log (x/m) = \log k + \frac{1}{n} \log C_e$$

Dimana:

- x = jumlah zat terlarut yang diserap (mg)
- m = gram adsorben yang digunakan (g)
- C<sub>e</sub> = konsentrasi keseimbangan larutan (mg/L)
- k = kapasitas adsorpsi (mg/g)
- n = intensitas adsorpsi (L/g)

$$y = 0,578x + 0,455$$

$$y = \log(x/m) ; x = \log C_e$$

$$\text{Intersep} = \log k$$

$$\text{slope} = \frac{1}{n}$$

$$0,578 = \log k$$

$$0,455 = \frac{1}{n}$$

$$k = \text{inv log } 0,578$$

$$n = \frac{1}{0,455}$$

$$k = 3,7844 \text{ mg/g}$$

$$n = 2,1944 \text{ L/g}$$