

**BIOSORPSI ION LOGAM TIMBAL (II) MENGGUNAKAN BIOMASSA  
ALGA HIJAU (*Spirogyra setiformis*)**

**SKRIPSI**

*Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan  
memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)*



**AGUSTINA FAUZIAH  
14036020/ 2014**

**PROGRAM STUDI KIMIA  
JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2018**

**PERSETUJUAN SKRIPSI**

**BIOSORPSI ION LOGAM TIMBAL(II) MENGGUNAKAN BIOMASSA  
ALGA HIJAU *Spirogyra setiformis***

**Nama** : Agustina Fauziah  
**Nim** : 14036020  
**Program Studi** : Kimia  
**Jurusan** : Kimia  
**Fakultas** : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**Padang, Agustus 2018**

**Pembimbing I**



**Dr. Mawardi, M.Si**

**NIP.19611123 198903 1 002**

**Pembimbing II**



**Drs. Bahrizal, M.Si**

**NIP. 19551231 198903 1 009**

**HALAMAN PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI**

**Dinyatakan lulus setelah dipertahankan didepan Tim Penguji Skripsi  
Program Studi Kimia  
Jurusan Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Padang**

**Judul : Biosorpsi Ion Logam Timbal(II) Menggunakan Biomassa  
Alga Hijau *Spirogyra Setiformis***

**Nama : Agustina Fauziah**

**NIM : 14036020**

**Program Studi : Kimia**

**Jurusan : Kimia**

**Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

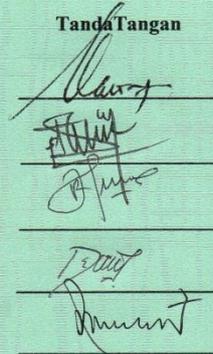
**Padang, Agustus 2018**

**Tim Penguji**

**Nama**

**Tanda Tangan**

- 1. Ketua : Dr. Mawardi, M.Si**
- 2. Sekretaris : Drs. Bahrizal, M.Si**
- 3. Anggota : Dra. Iryani, MS**
- 4. Anggota : Dr. Desy Kurniawati S.Pd, M.Si**
- 5. Anggota : Dr. Indang Dewata, M.Si**



## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

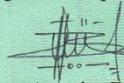
Nama : Agustina Fauziah  
TM/NIM : 14036006/2014  
Tempat/Tanggal Lahir : Duri/ 11 Agustus 1995  
Program Studi : Kimia  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : MIPA  
Alamat : Jl. Bandes, RT/03 RW/03, Kel. Duri Barat  
No.HP/Telepon : 081364785640  
Judul Skripsi : Biosorpsi Ion Logam Timbal(II) Menggunakan  
Biomassa Alga Hijau *Spirogyra setiformis*

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis/ skripsi ini adalah hasil dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademi (sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis/ skripsi ini murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan tim pembimbing.
3. Pada karya tulis/ skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada daftar pustaka.
4. Karya tulis/ skripsi ini sah apabila telah ditandatangan **Asli** oleh tim pembimbing dan tim penguji

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/ skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi..

Padang, Agustus 2018  
Yang membuat pernyataan,



Agustina Fauziah  
NIM : 14036020

## ABSTRAK

### **Agustina Fauziah (2018) : Biosorpsi Ion Timbal (II) Menggunakan Biomassa Alga Hijau (*Spirogyra Setiformis*)**

Penelitian mengenai biosorpsi ion Timbal(II) menggunakan biomassa alga hijau (*Spirogyra setiformis*) dan aplikasinya telah dilakukan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kondisi optimum jumlah ion Timbal(II) yang terserap oleh biomassa *Spirogyra setiformis* pada variasi pH, konsentrasi, dan waktu kontak. Metode penyerapan ion Timbal(II) dengan biomassa alga hijau *Spirogyra setiformis* menggunakan metoda batch. Filtrat yang diperoleh dari hasil penyaringan dianalisa menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Berdasarkan hasil penelitian, penyerapan ion Timbal(II) oleh biomassa alga hijau *Spirogyra setiformis* diperoleh kondisi optimum pada pH 4 dengan kapasitas penyerapan sebesar 7,98541 mg/g, konsentrasi 200 mg/L kapasitas penyerapan sebesar 6,008 mg/L, dan waktu kontak 30 menit kapasitas penyerapan sebesar 8,15525 mg/g. Biosorpsi ion Timbal(II) menggunakan biomassa alga hijau *Spirogyra setiformis* memenuhi persamaan isoterm langmuir ( $R^2 = 0,969$ ). Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan bahwa biomassa *Spirogyra setiformis* sebelum dan sesudah dikontakkan dengan ion Timbal(II) diperoleh gugus fungsi karboksil (-COOH), karbonil (-C=O), alkohol (-OH) dan amina (N-H).

**Kata kunci:** Biosorpsi, Ion Timbal(II), Alga Hijau *Spirogyra setiformis*, Isoterm Langmuir

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya serta sholawat dan salam kepada nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Biosorpsi Ion Logam Timbal (II) Menggunakan Biomassa Alga Hijau (*Spirogyra setiformis*)”**. Skripsi ini diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan mata kuliah Tugas Akhir 2 sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada program studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, petunjuk, arahan, masukan dan motivasi yang berharga dari beberapa pihak. Berdasarkan hal ini, dengan kerendahan hati penulis mengucapkan terimakasih kepada.

1. Bapak Dr. Mawardi, M.Si selaku dosen pembimbing I sebagai Pembimbing Akademik dan sekaligus Ketua Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang
2. Bapak Drs. Bahrizal, M.Si selaku pembimbing II.
3. Bapak Dr. Indang Dewata M.Si; Ibu Dra. Iryani M.S dan ibu Dr. Desi Kurniawati S.Pd, M.Si selaku pembahas skripsi
4. Bapak Hary Sanjaya, M.Si selaku Ketua Program Studi Kimia Jurusan Kimia FMIPA UNP.
5. Seluruh Staf Pengajar dan tenaga Administrasi di Jurusan Kimia FMIPA UNP.

6. Pranata Labor Pendidikan (PLP) Kimia FMIPA, Universitas Negeri Padang.
7. Seluruh Staf Kopertis Wilayah X.
8. Orang Tua penulis dan keluarga tercinta.
9. Teman-teman kimia tahun 2014.

Penulisan skripsi ini telah dilakukan sebaik-baiknya, namun untuk kesempurnaan skripsi ini, diharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak. Atas kritik dan saran penulis mengucapkan terima kasih.

Padang, Juli 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

### Halaman

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Rumusan Masalah.....	4
1.5 Tujuan Penelitian .....	4
1.6 Manfaat Penelitian .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Biosorpsi .....	6
2.2 HSAB.....	8
2.3 Alga Hijau ( <i>Spirogyra setiformis</i> ) .....	9
2.4 Logam Timbal (Pb).....	12
2.5 Metoda Batch.....	15
2.6 Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).....	16
2.7 Spektrofotometer <i>fourier Transform Infa red</i> (FTIR) .....	18
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	21
3.2 Objek Penelitian.....	21
3.3 Variabel Penelitian.....	21
3.4 Alat Dan Bahan	
3.4.1 Alat yang Digunakan .....	21

3.4.2 Bahan yang Digunakan .....	22
3.5 Karakterisasi Biomassa <i>Ulothrix zonata</i> menggunakan FTIR...	22
3.6 Metoda Penelitian Secara Umum	
3.6.1 Persiapan Biosorben .....	22
3.6.2 Penentuan pH Optimum.....	23
3.6.3 Penentuan konsentrasi Optimum .....	23
3.6.4 Penentuan waktu kontak Optimum.....	24
3.6.5 Aplikasi Pada Sampel Limbah.....	25
3.7 Teknik Analisa Data .....	25
3.8 Desain Penelitian Secara Umum.....	26
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Karakteristik Gugus Fungsi Biomassa <i>Spirogyra setiformis</i> .....	27
4.2 Pengaruh pH Awal Terhadap Penyerapan Pb(II) Oleh Biomassa <i>Spirogyra setiformis</i> .....	29
4.3 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Penyerapan Pb(II) Oleh Biomassa <i>Spirogyra setiformis</i> .....	30
4.4 Pengaruh waktu kontak Terhadap Penyerapan Pb(II) Oleh Biomassa <i>Spirogyra setiformis</i> .....	33
4.5 Perlakuan Kondisi Optimum Berulang Dengan Daya Serap Ion Timbal (II) Biomassa Alga Hijau <i>Spirogyra</i> <i>setiformis</i> .....	34
4.6 Aplikasi Pada Sampel Limbah dan Pemekatan .....	35
<b>BAB V SIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Simpulan .....	38
5.2 Saran .....	39
<b>KEPUSTAKAAN .....</b>	<b>40</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>44</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
2.1 Alga Hijau <i>Spirogyra Setiformis</i> .....	12
2.2 Skema Peralata SSA.....	18
2.3 Spektrum FTIR .....	19
4.1 Karakterisasi IR Pada Biomassa Alga Hijau <i>Spirogyra setiformis</i> .....	27
4.2 Pengaruh pH Awal Larutan Pb .....	29
Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan Pb .....	31
4.4 Kurva Linearitas Isoterm Langmuir .....	32
4.5 Pengaruh Waktu Kontak .....	33
4.6 Grafik perlakuan Kondisi Optimum Berulang Dengan Daya Serap Ion Logam Pb Biomassa Alga Hijau <i>Spirogyra setiformis</i> .....	34
4.7 Grafik Hubungan Konsentrasi Dengan Pemekatan .....	36

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
2.1 Klasifikasi Asam-Basa Keras Dan Lunak.....	9
2.2 Tabel Gugus Fungsi IR .....	21

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Skema Kerja Persiapan Biosorben .....	44
2. Skema Kerja Penentuan pH Optimum .....	45
3. Skema Kerja Penentuan Konsentrasi Optimum .....	46
4. Skema kerja Penentuan Waktu Kontak Optimum .....	47
5. Skema Kerja Aplikasi Pada Sampel Limbah .....	48
6. Perhitungan Pembuatan Reagen .....	49
7. Tabel Pengaruh pH Awal $Pb^{2+}$ Terhadap Serapan Biomassa <i>spirogyra setiformis</i> .....	52
8. Tabel Pengaruh Konsentrasi Larutan $Pb^{2+}$ Terhadap Serapan Biomassa <i>Ulothrix zonata</i> .....	53
9. Tabel Pengaruh Waktu Kontak Larutan $Pb^{2+}$ Terhadap Serapan Biomassa <i>Spirogyra setiformis</i> .....	54
10. Tabel Aplikasi Pada Limbah dan Proses Pemekatan .....	55
11. Data Untuk Perhitungan Kurva Linear Langmuir .....	56
12. Perlakuan Kondisi Optimum Berulang .....	58
13. Spektrum FTIR .....	59
13. Dokumentasi Penelitian .....	60

# **BAB I PENDAHULUAN**

## **1.1 Latar Belakang**

Pencemaran logam berat pada perairan limbah industri merupakan limbah yang bersifat toksik seperti, timbal, kadmium, arsenik, seng, tembaga dan nikel (asnaoui *et al.*, 2016). Hal ini disebabkan logam-logam yang bersifat toksik meskipun konsentrasinya rendah dan umumnya sebagai polutan utama bagi lingkungan (Mawardi *et al.*, 2013)

Timbal merupakan salah satu jenis logam berat yang mengalami peningkatan atau penggunaan pada industri. Timbal berasal dari kerak bumi, karena proses alam dan penambangan menyebabkan timbal dapat dijumpai pada ekosistem makhluk hidup. Logam timbal banyak digunakan pada kehidupan sehari-hari dari kosmetik sampai bahan bakar kendaraan bermotor. Jalur masuknya timbal kedalam tubuh manusia dapat melalui saluran pencernaan lewat makan dan minuman (Abdul,2012). Bahayanya logam timbal yang ada pada lingkungan seperti asap motor, cat, baterai dan lain-lainya dapat merusak jaringan tubuh manusia, seperti gangguan ginjal, sistem reproduksi, hati, otak, sistem saraf, dan menyebabkan kematian (Ismael *et al.*, 2012). Untuk mengurangi kadar limbah dari logam-logam berat dapat dilakukan melalui proses biosorpsi.

Biosorpsi merupakan proses penyerapan ion logam, metalloid, senyawa, dan partikel yang tidak bergantung pada metabolisme oleh bahan biosorpsi (biomassa) yang terutama terjadi melalui mekanisme kimia fisika seperti penukar ion, pembentukan kompleks, dan adsorpsi (Mawardi *et al.*, 2014) metode adsorpsi

menggunakan biomassa disebut juga biosorpsi, yaitu menggunakan adsorben dari biomassa sebagai penyerapan ion logam yang terkandung dalam limbah hingga menjadi turun (L. Johansson *et al.*, 2015).

Biosorpsi menggunakan biomassa ataupun biosorben sebagai media penyerapan logam. Beberapa adsorben banyak digunakan untuk mengurangi ion logam berat dalam air, seperti lumpur pabrik kertas mengurangi (Gorzin & Bahri, 2017), lumpur kompos (Chen *et al.*, 2017), lumpur industri *Crumb rubber* (Mawardi, 2013) dan lain sebagainya, tetapi masih terdapat kelemahan, seperti proses pembuatan yang cukup rumit dan memerlukan aktivator untuk kontak dengan ion logam berat. Alternatif biosorben lain yang dapat digunakan adalah biosorben berbasis biomaterial berupa mikroorganisme seperti bakteri (Hlihor *et al.*, 2016) dan mikroalga (Kwak *et al.*, 2015)

Alga hijau banyak digunakan sebagai biomassa, disebabkan karena dapat mengurangi kadar ion logam yang cukup tinggi, selain itu alga cenderung mudah diperoleh dan ramah lingkungan. Biomassa yang digunakan pada penelitian ini adalah *spirogyra setiformis*. *Spirogyra setiformis* adalah kelompok alga hijau (Chlorophyta), yang merupakan mikroalga perfiton berfilamen, yang hidup melekat pada berbagai substratum baik dalam air yang mengalir maupun dalam air tergenang dan dapat membentuk hamparan biomassa yang menutupi dasar dan permukaan sungai (Abuzer Celekli *et al.*, 2016).

Biomassa alga hijau *Spirogyra setiformis* sebagai biosorben logam berat seperti kation  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$  dan  $\text{Zn}^{2+}$  dan kation logam lainnya yang telah dilakukan beberapa peneliti. Biomassa alga hijau *Spirogyra setiformis* dapat menghilangkan

ion logam dengan konsentrasi yang sangat rendah dan mengumpulkan sejumlah unsur-unsur yang beracun dipengaruhi oleh pH larutan, konsentrasi awal dan waktu kontak masing-masing kation (Khataee *et al.*, 2013)

Berdasarkan uraian di atas dalam penelitian ini akan dipelajari penentuan pH, konsentrasi dan waktu kontak optimum terhadap daya serap ion timbal(Pb) menggunakan biomassa *spirogyra setiformis* serta aplikasi pada sampel limbah laboratorium. Metode yang digunakan yaitu metoda sistem *batch*. Proses ini dilakukan dengan memasukkan biosorben ke dalam larutan kemudian diaduk dengan larutan beberapa saat. Selanjutnya dipisahkan antara biosorben dan larutan dengan penyaringan. Sedangkan untuk pengukuran konsentrasi ion logam yang terserap diukur dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dan karakterisasi biomassa menggunakan FTIR.

## **1.2. Identifikasi Masalah**

Salah satu metoda yang digunakan untuk mengatasi pencemaran yang disebabkan oleh logam  $Pb^{2+}$  yaitu biosorpsi oleh biomaterial alga hijau (*Spirogyra setiformis*). *Spirogyra setiformis* adalah kelompok alga hijau (Clorophyta), yang merupakan mikroalga perifiton berfilamen, yang hidup melekat pada berbagai substratum baik dalam air mengalir maupundalam air tenang, dan dapat membentk hamparan biomassa alga yang menutupi dasar dan permukaan sungai. Adapun parameteranya yaitu pengaruh pH awal larutan, konsentrasi awal larutan, dan waktu kontak awal larutan. sehingga diharapkan dapat digunakan sebagai biosorben pada limbah yang mengandung ion logam  $Pb^{2+}$

### 1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah diatas, maka masalah dalam penelitian ini dibatasi pada:

1. Biomassa yang digunakan adalah alga hijau (*spirogyra setiformis*) yang berasal dari Sungai lubuk minturun, Kota padang
2. penentuan kapasitas serapan biomassa alga hijau (*Spirogyra setiformis*) terhadap ion Timbal(II) menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA)
3. Karakterisasi biomassa menggunakan FTIR

### 1.4. Rumusan masalah

Berdasarkan dari uraian diatas, maka penulis merumuskan suatu masalah yaitu:

1. Bagaimana karakteristik dari biomassa *spirogyra setiformis* menggunakan FTIR?
2. Bagaimana pengaruh pH, konsentrasi dan waktu kontak optimum terhadap daya serap biomassa *spirogyra setiformis* terhadap ion  $Pb^{2+}$ ?
3. Berapa kapasitas serapan maksimum biomassa *spirogyra setiformis* terhadap ion logam  $Pb^{2+}$  lain

### 1.5. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui jumlah serapan ion logam Timbal(II) menggunakan biomassa alga hijau *Spirogyra seiformis* pada kondisi optimum pH, konsentrasi dan waktu.
2. Mengetahui karakteristik spektrum FTIR dari biomassa *Spirogyra setiformis*

3. mengaplikasikan penggunaan biomassa *Spirogyra setiformis* pada limbah cair laboratorium yang mengandung ion logam Timbal(II)

### **1.6. Manfaat Penelitian**

Dengan mengetahui proses biosorpsi oleh biomassa alga hijau (*spirogyra setiformis*) maka:

1. Diharapkan dapat memberi informasi yang dijadikan sebagai dasar dalam pemilihan biomaterial yang dapat digunakan sebagai biosorben dalam proses biosorpsi.
2. Memberikan manfaat bagi perkembangan penelitian kimia, khususnya dalam bidang biosorpsi dan penanganan logam berat dari limbah cair.
3. Menjadi landasan dalam pemilihan biomaterial yang dapat digunakan sebagai biomassa logam berat.
4. Biomassa dapat digunakan penanganan limbah yang mengandung logam berat yang memberikan beberapa keuntungan yaitu; efektif dan ekonomis.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Biosorpsi**

Biosorpsi merupakan proses pemisahan logam berat beracun digunakan untuk pemindahan kontaminan dari limbah industri. Proses biosorpsi sangat cocok untuk diperlukan pada air limbah yang mengandung logam yang beracun dengan konsentrasi yang rendah. Mekanisme pemindahan logam dengan biosorpsi dapat diklasifikasikan yaitu pengendapan ekstraseluler, penyerapan pada permukaan sel dan pengendapan intraseluler. Mekanisme ini dihasilkan dari kompleksasi, pengelompokan logam, ion logam, adsorpsi dan pengendapan mikro (Irina *et al.*, 2016).

Proses biosorpsi merupakan suatu peristiwa fisik pada permukaan suatu bahan yang tergantung dari *specific affinity* (gaya gabungan). Peristiwa adsorpsi dapat terjadi pada adsorben yang ada pada umumnya beberapa zat padat. biosorpsi oleh zat padat dibedakan menjadi dua, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika disebabkan oleh gaya *van der waals*. Pada adsorpsi fisika, molekul-molekul teradsorpsi pada permukaan dengan ikatan yang lemah. Adsorpsi fisika umumnya terjadi pada temperatur rendah dan dengan bertambahnya temperatur jumlah adsorpsi berkurang dengan drastis (Mawardi., *et al* 2013)

Biosorpsi merupakan suatu proses penyerapan menggunakan potensi materi biologis (biomolekul atau biomaterial untuk mengasingkan logam dan polutan lainnya dari larutan secara metabolik (Fomina *et al.*, 2014) untuk mempertahankan

spesies logam, bentuk ionik atau ligan dari cairan dalam molekul struktur dinding sel. Mekanisme biosorpsi termasuk ekstraseluler dan obligasi intraseluler, serta kompleks interaksi yang bergantung pada jenis logam dan struktur biosorben (Michalak *et al.*, 2013).

Dalam hal ini, proses biosorpsi menggunakan biomaterial yang memiliki tiga keuntungan penting sebagai berikut:

1. Proses biosorpsi ini dilakukan menggunakan bahan limbah alami, yang tidak memerlukan bahan apapun.
2. Biosorpsi umumnya lebih bersifat ramah lingkungan dan metode dengan biaya yang rendah, karena prosesnya tidak memerlukan sintesis kimia.
3. Biosorpsi memiliki kelebihan menjadi sederhana, mudah dioperasikan dan ditangani sekaligus menjadi proses bebas lumpur dan pengulangan (Bagda *et al.*, 2017).

Proses biosorpsi melibatkan interaksi ionik, polar dan interaksi gabungan antara kation logam dengan biopolimer (makromolekul) sebagai sumber gugus fungsional seperti gugus karboksilat, amina, tiolat, karbonil dan gugus fosfat dapat berkoordinasi dengan atom pusat logam melalui pasangan elektron bebas (Mawardi, 2011).

Kapasitas suatu biomassa sebagai biosorben dapat digambarkan dengan kesetimbangan adsorpsi isoterm, yang dicirikan oleh konstantayang memperlihatkan sifat permukaan dan afinitas adsorben (Mawardi, 2011)

Isoterm langmuir merupakan adsorpsi isoterm yang paling luas diterapkan. Menurut langmuir, pada permukaan adsorbenterdapat sejumlah tertentu pusat aktif

(*active site*) yang sebanding dengan luas permukaan adsorben. Pada setiap pusat aktif hanya satu molekul atau satu ion yang dapat diserap. Penyerapan secara kimia, terjadi apabila terbentuk ikatan kimia antara zat terserap dengan pusat aktif adsorben, membentuk lapisan tunggal pada permukaan adsorben (*monolayer adsorption*). Dengan persamaan adsorpsi isoterm langmuir dapat ditentukan konstanta afinitas serapan ( $K_L$ ) dan kapasitas serapan maksimum ( $q_{maks}$ ) dari suatu adsorben (Mawardi dkk,2014)

## 2.2 Hard and Soft Acid Base (HSAB)

Pearson mengemukakan suatu prinsip yang disebabkan *Hard and Soft Acid Base* (HSAB). Menurut sisi aktif pada permukaan biosorben dapat dianggap sebagai ligan yang dapat mengikat logam secara selektif. Ligan-ligan dengan atom yang sangat elektronegatif dan berukuran kecil merupakan basa kuat sedangkan ligan-ligan dengan elektron terluarnya mudah terpolarisasi merupakan basa lemah. Sedangkan ion-ion logam yang berukuran kecil namun bermuatan positif besar, elektron terluarnya tidak mudah terpengaruh oleh ion dari luar, termasuk asam kuat, sedangkan ion-ion logam yang berukuran besar dan bermuatan kecil, elektron terluarnya mudah terpengaruh oleh ion lain, dikelompokkan ke dalam asam lemah.

Menurut prinsip HSAB Pearson, asam keras akan berinteraksi dengan basa keras akan berinteraksi dengan basa keras membentuk kompleks yang stabil, demikian juga asam lunak akan membentuk kompleks yang stabil dengan basa lunak. Interaksi asam kuat dengan basa kuat merupakan interaksi ionik, sedangkan interaksi asam lemah dengan basa lemah merupakan interaksi yang bersifat

kovalen. Pengelompokan asam-basa lewis menurut prinsip HSAB Pearson diuraikan pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Klasifikasi Asam-Basa Keras Dan Lunak

Asam keras	Antara	Asam lunak
$H^+$ , $Na^+$ , $K^+$ , $Be^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , $Ca^{2+}$ , $Mn^{2+}$ , $Li^{2+}$ , $Al^{3+}$ , $Cr^{3+}$ , $Co^{3+}$ , $Fe^{3+}$	$Fe^{2+}$ , $Co^{2+}$ , $Ni^{2+}$ , $Cu^{2+}$ , $Zn^{2+}$ , $Pb^{2+}$ , $Sn^{2+}$	$Cu^+$ , $Ag^+$ , $Au^+$ , $Ti^+$ , $Hg^{2+}$ , $CH_3Hg^+$ , $Cd^{2+}$ , $Pt^{2+}$ , $Pd^{2+}$
Basa keras	Antara	Basa lunak
$H_2O$ , $OH^-$ , $F^-$ , $Cl^-$ , $PO_4^{3-}$ , $SO_4^{2-}$ , $CO_3^{2-}$ , $ROH$ , $RO^-$ , $NO_3^-$ , $NH_3$ , $RNH_2$ , $CH_3COO^-$ , $R_2O$ , $CLO_4^-$	$Br^-$ , $NO_2^-$ , $SO_3^{2-}$ , $N_3^-$ , $C_6H_5NH_2$ , $C_6H_5N$ , $N_2$	$RSH$ , $SCN^-$ , $RS^-$ , $S_2O_3^{2-}$ , $C_2H_4$ , $C_6H_6$ , $H^-$ , $CO$ , $H_2S$ , $CN^-$ , $R_3O$ , $I$ , $(RO)_3P$ , $R_3As$

(Sumber: Wood and Wang, 1983)

### 2.3. Alga Hijau (*Spirogyra Setiformis*)

Alga adalah sesuatu yang menarik untuk bahan pengembangan biosorben baru karena memiliki kapasitas penyerapan yang tinggi dan ketersediaan siap dalam kuantitas praktis tak terbatas. Menurut tinjauan statistik pada biosorpsi, alga telah digunakan sebagai bahan biosorben 15,3% lebih dari jenis lain biomassa dan 84,6% lebih dari jamur dan bakteri (Brinza *et al.*, 2007). Biomassa alga dari berbagai sumber seperti, ragi, jamur dan tumbuhan telah digunakan sebagai biosorben ion logam dari lingkungan perairan (Abbas *et al.*, 2013)

Alga hijau tumbuh di tempat-tempat yang basah seperti danau, kolam dan sungai. Mereka juga dapat ditemukan pada tanah lembab dan disisi dinding serta

pohon-pohon yang basah. Sifat kimia air merupakan faktor yang sangat mempengaruhi pertumbuhan, kelimpahan dan distribusi alga. Alga menyukai beberapa kondisi seperti kondisi netral, dan kondisi yang bersifat alkali.

Hanya kira-kira 10% dari 7000 spesies alga hijau (Divisi Chlorophyta) ditemukan di laut, selebihnya di air tawar. Dikenali dengan warna hijau rumput yang dihasilkan adanya klorofil a dan b yang lebih dominan dibanding pigmen lain. Pigmen-pigmen terdapat dalam plastid dan sangat tahan terhadap cahaya panas. Dinding sel lapisan luar terbentuk dari bahan pektin sedangkan lapisan dalam dari selulosa (Bachtiar, 2007)

Alga *Spirogyra setiformis* termasuk kelompok alga hijau (Chlorophyta), yang merupakan mikroalga perifiton berfilamen yang hidup melekat pada berbagai substratum baik dalam air mengalir maupun dalam air tergenang dan dapat membentuk hamparan biomassa alga yang menutupi dasar pada permukaan sungai (Abuzer Celekli *et al.*, 2016).

Dinding sel alga hijau disusun oleh lapisan selulosa yang mengandung polimer linear 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 hidrokspirolin (Gadd, 1990). Alga ditemukan sebagai biosorben karena dikelompokkan di dinding sel dan afinitas pengikatannya yang tinggi, pertumbuhan alga sangat cepat dan kelimpahannya berada dialam menunjukkan bahwa alga *Spirogyra setiformis* secara efektif dapat menghilangkan nutrisi dan logam berat yang ada pada limbah industri berair (Khataee *et al.*, 2013).

Biosorpsi dapat didefinisikan sebagai proses pengikatan metabolisme-independen atau adsorpsi ion logam. Biomassa sebagai spesies metalloid, senyawa dan partikulat yang terjadi terutama oleh mekanisme fisikokimia, seperti pertukaran ion, kompleksasi dan adsorpsi. Serapan logam oleh biomassa adalah terjadi melalui proses penyerapan yang melibatkan gugus fungsi yang terkait dengan protein biopolimer, asam nukleat, polisakarida, lignin dan biopolimer berada di permukaan dinding sel (Mawardi *et al.*, 2015)

Penyerapan berbagai macam biomassa dapat digunakan sebagai biosorben seperti limbah pertanian dan biomassa alga. Di antara bahan biologisnya terutama, ganggang memiliki kapasitas pengikatan logam yang tinggi karena adanya polisakarida, protein atau lipid pada permukaan dinding sel yang mengandung kelompok fungsional seperti amino, hidroksil, karboksil dan sulfat, yang dapat bertindak sebagai situs pengikatan untuk logam (Bagda *et al.*, 2017).

Klasifikasi dari *Spirogyra setiformis* adalah :

Divisi	: Chlorophyta
Kelas	: Chlorophyceae
Ordo	: Zygnematales
Family	: Zygnemataceae
Genus	: Spirogyra
Species	: Spirogyra setiformis

(Laboratorium Taksonomi Tumbuh-Tumbuhan UNAND, 2017).

*Spesies Spirogyra* juga merupakan suatu alga hijau yang murah tersedia dari suatu kelompok Chlorophyceae yang digunakan sebagai sorben kapasitas serapan logam (Narsi R Bishnoi, Anju Pant and Garima, 2004).



Gambar 2.1. Alga Hijau (Albert Mihranyan, 2010).

Biomassa alga menurut Ali A. Al-Homaidan *et al.*, (2014) sebagian besar digunakan sebagai bahan biosorben karena ketersediaannya dalam jumlah yang besar, pengolahan relatif mudah dan kinerja baik serta biaya yang rendah. Sedangkan menurut (Ahalya *et al.*, 2004), secara umum keuntungan mikroorganisme sebagai biosorben adalah biaya operasional rendah, efisiensi dan kapasitas pengikatan logam yang tinggi, bahan bakunya mudah didapat dan tersedia dalam jumlah banyak serta tidak memerlukan tambahan nutrisi jika menggunakan mikroba yang sudah mati.

#### **2.4. Logam Timbal (Pb)**

Timbal merupakan logam mengkilat/berkilau ketika baru dipotong, tetapi segera menjadi buram ketika terjadi kontak dengan udara terbuka. Hal ini karena terjadi pembentukan lapisan timbal-oksida atau timbal karbonat yang melapisi secara kuat, sehingga dapat mencegah terjadinya reaksi lebih lanjut. Karena sifat

ini, timbal sering dipakai, misalnya sebagai bingkai-bingkai kaca berwarna yang dibentuk sebagai lukisan pada suatu jendela kaca (Sugiyarto, 2010).

Timbal (Pb) adalah salah satu jenis logam berat yang mengalami peningkatan atau penggunaan pada industri. Timbal berasal dari kerak bumi, karena proses alam dan penambangan menyebabkan timbal dapat dijumpai pada ekosistem makhluk hidup. Logam timbal banyak digunakan pada kehidupan sehari-hari dari kosmetik sampai bahan bakar kendaraan bermotor. Jalur masuknya timbal kedalam tubuh manusia dapat melalui saluran pencernaan lewat makanan dan minuman (Abdul, 2012).

Logam timbal mempunyai sifat-sifat yang khusus seperti:

1. Pb Merupakan logam yang lunak, sehingga dapat dipotong dengan menggunakan pisau atau dengan tangan dan dapat dibentuk dengan mudah.
2. Pb Merupakan logam yang tahan terhadap peristiwa korosi atau karat, sehingga logam timbal sering digunakan sebagai bahan *coating*.
3. Pb Mempunyai titik lebur rendah, hanya  $327,5^{\circ}\text{C}$
4. Kerapatan yang lebih besar dibandingkan dengan logam-logam biasa, kecuali emas dan merkuri.
5. Merupakan penghantar listrik yang tidak baik (Palar, 2004).

Timbal adalah logam lunak kebiruan atau kelabu keperakan yang lazim terdapat dalam kandungan sulfid yang tercampur mineral-mineral lain, terutama seng dan tembaga. Timbal merupakan logam yang amat beracun pada dasarnya tidak dapat dimusnahkan serta tidak terurai menjadi zat lain dan bila terakumulasi

dalam tanah relatif lama. Oleh karena itu, apabila timbal yang terlepas ke lingkungan akan menjadi kerusakan bagi makhluk hidup (Sunu, 2001).

Timbal adalah sebuah unsur yang biasanya ditemukan di dalam batu - batuan, tanah, tumbuhan dan hewan. Timbal 95% bersifat anorganik dan pada umumnya dalam bentuk garam anorganik yang umumnya kurang larut dalam air. Selebihnya berbentuk timbal organik. Timbal organik ditemukan dalam bentuk senyawa *Tetra Ethyl Lead* (TEL) dan *Tetra Methyl Lead* (TML). Jenis senyawa ini hampir tidak larut dalam air, namun dapat dengan mudah larut dalam pelarut organik misalnya dalam lipid. Waktu keberadaan timbal dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti arus angin dan curah hujan. Timbal tidak mengalami penguapan namun dapat ditemukan di udara sebagai partike, karena timbal merupakan sebuah unsur maka tidak mengalami degradasi (penguraian) dan tidak dapat dihancurkan.

Timbal banyak dimanfaatkan oleh manusia seperti sebagai bahan pembuat baterai, produk logam (logam lembaran, solder, dan pipa), perlengkapan medis (penangkal radiasi dan alat bedah), cat, keramik, peralatan kegiatan ilmiah/praktek (papan sirkuit/CB untuk komputer) untuk campuran minyak bahan-bahan untuk meningkatkan nilai oktan. Konsentrasi timbal di lingkungan tergantung pada tingkat aktivitas manusia, misalnya di daerah industri, di jalan raya, dan tempat pembuangan sampah. Karena timbal banyak ditemukan di berbagai lingkungan maka timbal dapat memasuki tubuh melalui udara, air minum, makanan yang dimakan dan tanah pertanian. Daya racun timbal yang akut pada perairan alami

menyebabkan kerusakan hebat pada ginjal, sistem reproduksi, hati dan otak, serta sistem syaraf sentral, dan bisa menyebabkan kematian (Achmad, 2004).

Senyawa Pb yang masuk ke dalam tubuh melalui makanan akan mengendap pada jaringan tubuh, dan sisanya akan terbuang bersama bahan sisa metabolisme. Sekali masuk ke dalam tubuh timbal didistribusikan terutama ke 3 (tiga) komponen yaitu darah, jaringan lunak (ginjal, sum-sum tulang, liver, otak), jaringan dengan mineral (tulang dan gigi). Tubuh menimbun timbal selama seumur hidup dan secara normal mengeluarkannya secara lambat. Efek yang ditimbulkan adalah gangguan syaraf, sel darah, gangguan metabolisme vitamin D dan kalsium sebagai unsur pembentuk tulang, gangguan ginjal secara kronis, dapat menembus plasenta sehingga menghambat pertumbuhan. Jalur masuknya timbal ke dalam tubuh manusia melalui saluran pernapasan (respirasi), juga melalui saluran pencernaan (gastrointestinal), kemudian didistribusikan ke dalam darah, dan terikat pada sel darah. Sebagian Pb disimpan dalam jaringan lunak dan tulang, sebagian diekskresikan lewat kulit, ginjal dan usus besar (Palar, 2004).

## **2.5 Metoda Batch**

Proses ini dilakukan dengan memasukkan biosorben kedalam larutan kemudian diaduk dengan larutan beberapa saat. Selanjutnya dipisahkan antara biosorben dan larutan dengan penyaring. Komponen yang diserap dapat dilepaskan kembali biosorben dengan pelarut tertentu dengan volume lebih kecil dari volume larutan awal.

Adsorpsi sistem batch dengan cara partikel adsorben ditempatkan dalam sebuah larutan adsorbat dan diaduk untuk mendapatkan kontak yang metara

sehingga terjadi proses adsorpsi (Rahayu dan Hardyanti, 2007). Konsentrasi larutan awal nantinya akan berkuang dan bergerak ke konsentrasi kesetimbangan setelah beberapa waktu tertentu. Tujuan dari sistem batch adalah untuk mengetahui karakterisasi adsorbat dan adsorben isotherm frendlich dan isotherm langmuir (santoso, 2012).

Sistem batch mengacu kepada penyerapan logam yang dapat didefenisikan sebagai biomassa alga kering ditambahkan kedalam ion logam dengan volume tertentu dengan kondisi tertentu seperti, pH, konsentrasi ion logam, suhu, dan kekuatan ion. Keuntungan yang dapat diperoleh dari sistem batch ini adalah:

1. Metoda batch dilakukan untuk penyerapan dalam studi isotherm sampai kejenuhan dari semua situs aktif biosorben yang mengikat ion logam tetap. Dan ini sangat membantu dalam menilai kinerja biosorpsi beberapa biosorben untuk variasi larutan ion logam dalam waktu yang singkat.
2. Sistem batch dapat membantu menentuka urutan kinetika biosorpsi dan memahami reaksi penyerapan.
3. Dapat memaksimalkan kapasitas penyerapan pengikatan ion logam.
4. Penghasilakan informasi tentang penyerapan ion logam ke biomassa dalam sistem tunggal mauoun multi logam.

## **2.6 Analisa Spektrofotometer Atom (SSA)**

Spektrofotometer serapan atom (SSA) merupakan salah satu instrumen digunakan untuk menganalis secara kuantitatif terhadap unsur-unsur logam yang pengukurannya berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas. Alat ini memiliki sensitivitas yang

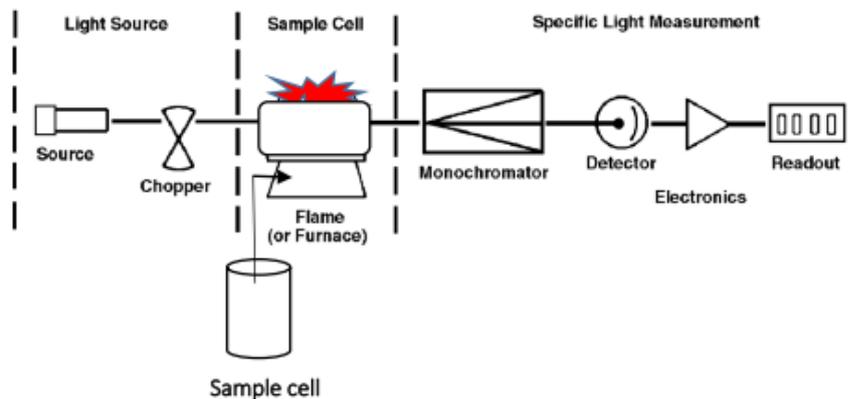
sangat tinggi sehingga sering dijadikan sebagai pilihan utama dalam menganalisis unsur logam yang konsentrasinya sangat kecil (ppm bahkan ppb) teknik ini mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode spektrokopi emisi konvensional. Selain metode serapan atom, unsur-unsur dengan energi eksitasi rendah dan dapat juga dianalisis dengan fotometri nyala, akan tetapi fotometri nyala tidak cocok untuk unsur-unsur dengan energi eksitasi tinggi. Fotometri nyala memiliki range ukur optimum pada panjang gelombang 400-800 nm, sedangkan SSA memiliki range ukuran optimum pada panjang gelombang 200-300 (Skoog *et al.*, 2007). Pada Spektrofotometri serapan atom, sampel diatomisasi, yaitu sampel diubah menjadi atom bebas yang berada dalam keadaan dasar. Sampel yang telah diatomisasi tersebut akan berubah menjadi fase gas. Sebuah sinar radiasi elektromagnetik kemudian dilewatkan melalui sampel yang telah diuapkan tersebut. Sebagian radiasi akan diserap oleh atom bebas yang ada dalam sampel tersebut (Levinson, 2001).

Intensitas penyerapan akan berbanding lurus dengan banyaknya atom yang berada pada sampel. Hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi diturunkan dari hukum Lambert-Beer. *Hukum Lambert* menyatakan bahwa bila suatu sumber sinar monokromatik melewati medium transparan, maka intensitas sinar yang diteruskan berkurang dengan bertambahnya ketebalan medium yang mengabsorpsi. Sedangkan *Hukum Beer* menyatakan bahwa intensitas sinar yang diteruskan berkurang secara eksponensial dengan bertambahnya konsentrasi spesi yang menyerap sinar tersebut. Dari kedua hukum tersebut diperoleh persamaan berikut ini.

$$A = \epsilon \cdot b \cdot c$$

Dimana: **A** = absorbansi,  $\epsilon$  = absorptivitas molar, **b** = panjang medium, **c** = konsentrasi atom-atom yang menyerap sinar. Dari persamaan di atas, dapat disimpulkan bahwa absorbansi cahaya berbanding lurus dengan konsentrasi atom (Day & Underwood, 1989).

Spektrofotometer serapan atom memiliki tiga komponen dasar yaitu sumber cahaya, sel sampel, dan sarana pengukuran cahaya tertentu (Beaty & Kerber, 1993). Tiga komponen tersebut dapat dilihat pada gambar.

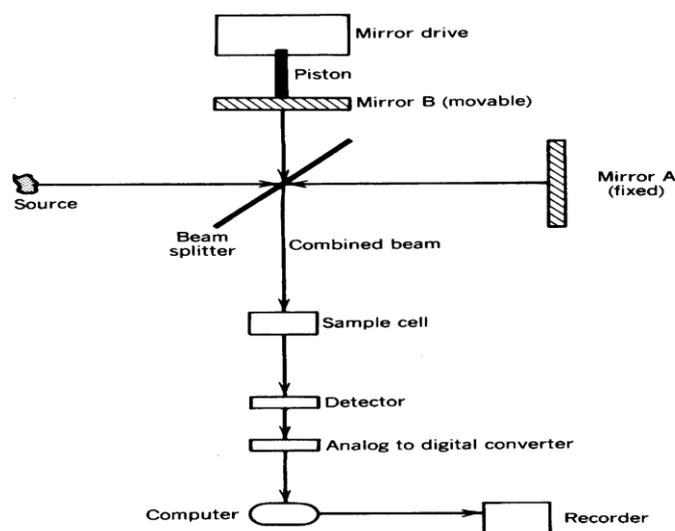


Gambar 2.2 Komponen dari spektrofotometer serapan atom (Beaty & Kerber,1993)

## 2.7. Fourier Transform InfraRed (FTIR)

Fourier Transform Infrared atau lebih dikenal dengan FT-IR merupakan suatu teknik yang digunakan untuk menganalisa gugus fungsi dari senyawa-senyawaorganik, polimer, coating atau pelapisan, material semi konduktor. FTIR menggunakan inforemeter pada monokromator.

FTIR merupakan salah satu alat instrumen yang menggunakan prinsip spektroskopi dengan menggunakan media inframerah. Jika berkas inframerah dilewatkan pada sampel, maka akan sebagian inframerah yang diserap dan sebagian lagi akan diteruskan. Spektrum yang dihasilkan pengujian dengan menggunakan FTIR akan menggambarkan transmisi dan absorpsi molekuler sidik jari dari sampel. FTIR akan menghasilkan puncak-puncak absorpsi yang berhubungan dengan frekuensi vibrasi dari ikatan-ikatan atom penyusun suatu material.

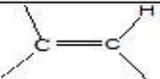
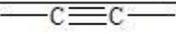


Gambar 2.3 Skema dari FTIR (Ningsih, SKW. 2016)

Prinsip kerja dari FTIR berdasarkan gambar diatas adalah interferometer memiliki *beamsplitter* yang berfungsi untuk membagi inframerah menjadi dua sinar optik. Salah satu sinar optik akan dipantulkan menuju cermin yang dapat digerakkan menjauh dan mendekat *beamsplitter*. Kedua sinar tersebut akan kembali bertemu pada *beamsplitter*, sehingga sinyal yang dikeluarkan dari inferometer merupakan hasil dari dua sinar yang saling menguatkan satu sama lain yang

disebut interferogram. Sinyal ini ini kemudian dilewatkan pada sampel yang ingin diuji. Sinyal yang ditransmisikan oleh sampel kemudian akan ditangkap oleh detektor. Sinyal ini akan diproses oleh komputer melalui kalkulasi matematis yang disebut *fourier transformation* (Ningsih, SKW., 2016)

Tabel 2.2 Tabel Gugus Fungsi pada FTIR

Ikatan	Tipe Senyawa	Daerah frekuensi (cm <sup>-1</sup> )	Intensitas
C - H	Alkana	2850 - 2970 1340 - 1470	Kuat Kuat
C - H	Alkena 	3010 - 3095 675 - 995	Sedang Kuat
C - H	Alkuna 	3300	Kuat
C - H	Cincin Aromatik	3010 - 3100 690 - 900	Sedang Kuat
O - H	Fenol, monomer alkohol, alkohol ikatan hidrogen, fenol	3590 - 3650 3200 - 3600	Berubah-ubah Berubah-ubah, terkadang melebar
	monomer asam karboksilat, ikatan hidrogen asam karboksilat	3500 - 3650 2500 - 2700	Sedang Melebar
N - H	Amina, Amida	3300 - 3500	Sedang
C=C	Alkena	1610 - 1680	Berubah-ubah
C=C	Cincin Aromatik	1500 - 1600	Berubah-ubah
C≡C	Alkuna	2100 - 2260	Berubah-ubah
C - N	Amina, Amida	1180 - 1360	Kuat
C≡N	Nitril	2210 - 2280	Kuat
C - O	Alkohol, Eter, Asam Karboksilat, Ester	1050 - 1300	Kuat
C=O	Aldehid, Keton, Asam Karboksilat, Ester	1690 - 1760	Kuat
NO <sub>2</sub>	Senyawa Nitro	1500 - 1570 1300 - 1370	Kuat Kuat

Sumber : *Principle of Instrumental Analysis*, Skoog, Holler, Nieman, 1998.

## **BAB V**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. Simpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Alga hijau *Spirogyra setiformis* karakterisasi menggunakan Spektrum FTIR terjadi pergeseran gugus fungsi dan intensitas serapan pada alga sebelum dikontak dengan ion logam Timbal (II) dan sesudah dikontakkan dengan ion logam Timbal (II) terdapat beberapa gugus fungsi yaitu karboksil, karbonil, alkohol dan amina.
2. penelitian yang telah dilakukan diperoleh kondisi optimum pH dengan serapan konsentrasi dan waktu kontak sebagai penyerapan ion Timbal (II) menggunakan biomassa alga hijau *Spirogyra setiformis* pada pH 4, konsentrasi 200 mg/L dan waktu kontak 30 menit. Nilai kapasitas sebagai penyerapan ion Timbal (II) menggunakan biomassa alga hijau *Spirogyra setiformis* pada pH, konsentrasi, dan waktu kontak dengan nilai sebesar 7,98541, 6,008 dan 8,155525 mg/g.
3. Biomassa alga hijau *Spirogyra setiformis* dapat dimanfaatkan untuk penyerapan ion Timbal (II) dari limbah cair laboratorium.

## **B. Saran**

Dari penelitian yang telah dilakukan. Disarankan untuk penelitian lebih lanjutnya menggunakan biomassa alga hijau *Spirogyra setiformis* atau spesies lainnya dengan logam yang berbeda dan melakukan penelitian tentang pemodifikasi gugus fungsi dan immobilisasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abuzer Celekli, Emine Gultekin, Huseyin Bozkurt. 2016. Morphological and Biochemical Responses of *Spirogyra setiformis* Exposed To Cadmium. *Clean Soil Air Water*. Vol. 44. 256-262.
- Abdul Malik Setiawan. 2012. Pengaruh Pemberian Timbal (Pb) Dosis Kronis Secara Oral Terhadap Peningkatan Penanda Kerusakan Organ Pada Mencit. Vol. 3, No.1
- Ali A. Al-Homaidan et al. 2014. Biosorption Of Copper From Aqueous Solutions By *Spirulina platensis* Biomass. *Arabian Journal Of Chemistry*. Vol. 7. 57-62.
- Albert. 2010. Cellulose From Cladophorales Green Algae : From Environmental Problem To High-Tech Composite Materials. *Journal of Applied Polymer Science*. Vol. 119. 2449-2460.
- Ahalya, N. T.V. Ramachandra & R. D. Kanamadi. 2004. Biosorption of Heavy Metals. India : Centre for Ecological Science, Indian Institute of Science.
- 2003. Biosorption of Heavy Metals. *Res. J. Chem. Environ*. Vol. 4. 71-79.
- Achmad, R. 2004. *Kimia Lingkungan, Edisi I*. Yogyakarta: Andi Offset
- Bachtiar, E. 2007. *Penelusuran Sumber Daya Hayati Laut (Alga) sebagai Biotarget Industri*. [Makalah]. Jatinangor: Universitas Padjadjaran Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Jatinangor.
- Bagda Esra, Mustafa Tuze & Ahmet Sarı. 2017. Equilibrium, thermodynamic and kinetic investigations for biosorption of uranium with green algae *Cladophora hutchinsiae*. *Journal of Environmental Radioactivity*. 175-176 (2017) 7-14.
- Brinza, L Dring MJ & Gavrilesco M. 2007. Marine micro- and macro-algal species as biosorbents for heavy metals. *Environ Eng Manage J*;6:237–51.
- Beaty dan Jack D. Kerber. 1993. *Concepts, Instrumentation and Techniques in Atomic Absorption Spectrophotometry*. USA : Perkin-Elmer Corporation.
- Chen, Huaxia, Junfeng Dou, & Hongbin Xu. 2017. Removal of Cr(VI) Ions by Sewage Sludge Compost Biomass From Aqueous Solution: Reduction To Cr(III) and Biosorption. *Journal Applied Surface Science*. Doi.10.1016/j.apsusc. 2017.07.053.