

**BIOSORPSI ION LOGAM BERAT KROMIUM (Cr^{6+})
MENGUNAKAN BIOMASSA ALGA HIJAU
(*Spirogyra setiformis*)**

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar sarjana sains (S.Si)*



**VERA PURNAMA
16036103-2016**

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

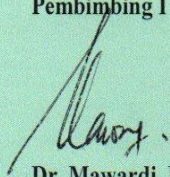
PERSETUJUAN SKRIPSI

**BIOSORPSI ION LOGAM BERAT KROMIUM (Cr^{6+}) MENGGUNAKAN
BIOMASSA ALGA HIJAU (*Spirogyra setiformis*)**

Nama : Vera Purnama
NIM : 16036103
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

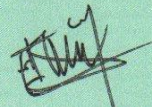
Padang, Juli 2018

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 Berat Kromium (Cr^{6+}) Menggunakan
Biomassa Alga Hijau (*Spirogyra setiformis*)
Nama : Vera Purnama
NIM : 16036103
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Juli 2018

Tim Penguji

Nama

Tanda Tangan

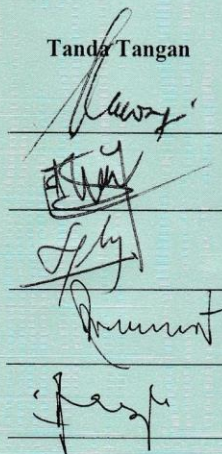
1. Ketua : Dr. Mawardi, M.Si

2. Sekretaris : Drs. Bahrizal, M.Si

3. Anggota : Dra. Sri Benti Etika, M.Si

4. Anggota : Dr. Indang Dewata, M.Si

5. Anggota : Edi Nasra, S.Si, M.Si



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Vera Purnama
TM/NIM : 2016/16036103
Tempat/Tanggal Lahir : Tanah Renah / 25 Februari 1996
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : MIPA
Alamat : Jl. Kurnia RT. 036/RW. 005 Kel. Pematang Kandis,
Kec. Bangko Kab. Merangin Provinsi Jambi
No.HP/Telepon : 082175229325
Judul Skripsi : Biosorpsi Ion Logam Berat Kromium (Cr^{6+})
Menggunakan Biomassa Alga Hijau (*Spirogyra*
setiformis)

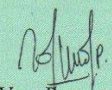
Dengan ini saya menyatakan bahwa :

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, Juli 2018

Yang membuat pernyataan,


Vera Purnama
NIM : 16036103

ABSTRAK

Vera Purnama (2018) : Biosorpsi Ion Logam Berat Kromium (Cr^{6+}) Menggunakan Biomassa Alga Hijau (*Spirogyra setiformis*)

Adanya bahan sisa industri baik berupa bahan padat maupun bahan cair dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan berupa pencemaran ion logam berat seperti ion logam kromium (Cr^{6+}) yang mengakibatkan gangguan kesehatan bagi masyarakat sekitar kegiatan industri. Oleh karena itu, dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui kapasitas biosorpsi dari alga hijau (*Spirogyra setiformis*) terhadap ion Cr^{6+} serta mengetahui pengaruh pH awal, konsentrasi awal, dan waktu kontak larutan ion Cr^{6+} terhadap kapasitas biosorpsi alga hijau (*Spirogyra setiformis*). Metoda yang digunakan untuk menentukan kapasitas serapan adalah metoda *batch*, dengan pengontakan larutan logam dengan biosorben kemudian disaring, filtrat yang didapatkan di analisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa pengaruh pH, konsentrasi dan waktu kontak terlihat cukup signifikan terhadap penyerapan ion Cr^{6+} . Penyerapan optimum berlangsung pada pH 2 dengan konsentrasi 250 mg/L selama 30 menit. Kapasitas serapan maksimum (q_m) yang diperoleh adalah sebesar 11,4025 mg/g dengan efisiensi penyerapan sebesar 91,05%. Selanjutnya karakterisasi menggunakan FTIR menunjukkan bahwa gugus fungsi pada biomassa yang berperan aktif dalam penyerapan ion logam adalah gugus karboksil, karbonil dan amina. Biosorpsi ion logam berat kromium (Cr^{6+}) menggunakan biomassa alga hijau (*Spirogyra setiformis*) memenuhi persamaan adsorpsi Isoterm Langmuir dengan nilai koefisien regresi (R^2) sebesar 0,8142.

Kata Kunci : Biosorpsi, Ion logam berat Cr^{6+} , Alga Hijau (*Spirogyra setiformis*), Isoterm Langmuir

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian yang berjudul **“Biosorpsi Ion Logam Berat Kromium (Cr^{6+}) Menggunakan Biomassa Alga Hijau (*Spirogyra setiformis*)”**. Shalawat dan salam untuk nabi akhir zaman, nabi Muhammad SAW. Sosok yang mulia, suri teladan dalam segala sisi kehidupan.

Skripsi ini diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan kelulusan mata kuliah Tugas Akhir 2 guna memperoleh gelar sarjana sains (S-1) pada Program Studi Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, petunjuk, arahan, masukan, dan dukungan yang berharga dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Mawardi, M.Si selaku pembimbing I dan penasehat akademik (PA) sekaligus Ketua Jurusan Kimia yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan hingga selesainya penulisan skripsi ini.
2. Bapak Drs. Bahrizal, M.Si selaku pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan hingga selesainya penulisan skripsi ini.
3. Ibu Sri Benti Etika, M.Si, Bapak Dr. Indang Dewata, M.Si, dan Bapak Edi Nasra, S.Si selaku pembahas skripsi yang memberikan saran-sarannya agar skripsi ini menjadi lebih baik.
4. Bapak Hary Sanjaya, M.Si selaku Ketua Program Studi Kimia Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.

5. Seluruh staf pengajar dan tenaga Administrasi Jurusan Kimia beserta karyawan/wati Laboratorium Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.
6. Seluruh staf Kopertis Wilayah X yang telah memberikan bantuan dalam penelitian.
7. Orang Tua tercinta dan keluarga yang telah memberikan semangat serta dorongan kepada penulis dalam melakukan setiap aktivitas penelitian dan dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Teman-teman kimia tahun 2014 dan 2016 yang telah memberikan semangat, masukan dan dorongan kepada penulis selama penulisan skripsi ini.
9. Semua pihak yang telah memberikan masukan dan dorongan kepada penulis dalam penulisan skripsi ini.

Semoga bantuan dan bimbingan yang telah diberikan menjadi amal shaleh bagi Bapak/Ibu dan teman-teman serta mendapatkan balasan yang berlipat ganda dari Allah SWT. Untuk kesempurnaan skripsi ini penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak yang bersifat membangun demi penyempurnaan skripsi ini kedepannya. Atas kritik dan saran yang diberikan penulis ucapkan terima kasih.

Padang, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	5
1.3. Batasan Masalah	5
1.4. Rumusan Masalah	6
1.5. Tujuan Penelitian	6
1.6. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Alga Hijau (<i>Spirogyra setiformis</i>)	8
2.2. Kromium (Cr^{6+})	9
2.3. Biosorpsi	12
2.4. Spektroskopi <i>Fourier Transform-Infra Red</i> (FTIR)	16
2.5. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2. Objek Penelitian	20
3.3. Variabel Penelitian	20
3.4. Alat dan Bahan	20
3.5. Karakterisasi Biomassa Alga Hijau (<i>Spirogyra setiformis</i>) menggunakan FTIR	21
3.6. Metoda Penelitian Secara Umum	21
3.6.1. Persiapan Biosorben	21

3.6.2. Penentuan pH optimum	22
3.6.3. Penentuan Konsentrasi Optimum	22
3.6.4. Penentuan Waktu Kontak Optimum	23
3.6.5. Perlakuan Pada Kondisi Optimum	23
3.6.6. Aplikasi Pada Sampel Limbah	23
3.7. Teknik Analisa Data	24
3.8. Desain Penelitian Secara Umum	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Karakteristik Gugus Fungsi Dalam Biomassa Alga Hijau (<i>Spirogyra setiformis</i>)	26
4.2. Pengaruh pH awal larutan terhadap penyerapan kromium (Cr^{6+}) oleh biomassa alga hijau (<i>Spirogyra setiformis</i>)	28
4.3. Pengaruh konsentrasi awal larutan terhadap penyerapan kromium (Cr^{6+}) oleh biomassa alga hijau (<i>Spirogyra</i> <i>setiformis</i>).....	29
4.4. Pengaruh waktu kontak larutan terhadap penyerapan kromium (Cr^{6+}) oleh biomassa alga hijau (<i>Spirogyra setiformis</i>)	32
4.5. Perlakuan Pada Kondisi Optimum	34
4.6. Aplikasi pada limbah laboratorium dan faktor pemekatan	35
BAB V PENUTUP	
5.1. Kesimpulan	37
5.2. Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN	43

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Keuntungan dan Kerugian Biosorpsi	15
2.2. Bilangan Gelombang dan Interpretasi Spektrum Infra Red	17
4.1. Hasil Penyerapan Alga Hijau (<i>Spirogyra setiformis</i>) terhadap ion logam Cr ⁶⁺ di dalam limbah laboratorium	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Alga hijau <i>Spirogyra setiformis</i>	9
2.2. Logam kromium	10
2.3. Skema kerja instrumen FTIR	16
2.4. Skema kerja instrumen SSA	18
4.1. Spektra FTIR biomassa alga hijau (<i>Spirogyra setiformis</i>)	26
4.2. Grafik pengaruh pH awal larutan ion Cr^{6+} terhadap serapan biomassa alga hijau (<i>Spirogyra setiformis</i>)	28
4.3. Grafik pengaruh konsentrasi awal larutan ion Cr^{6+} terhadap serapan biomassa alga hijau (<i>Spirogyra setiformis</i>)	30
4.4. Kurva Linieritas Isoterm Langmuir penyerapan ion Cr^{6+}	31
4.5. Grafik pengaruh waktu kontak larutan ion Cr^{6+} terhadap serapan biomassa alga hijau (<i>Spirogyra setiformis</i>)	33
4.6. Perlakuan pada kondisi optimum biosorpsi ion Cr^{6+} oleh biomassa alga hijau (<i>Spirogyra setiformis</i>)	34
4.7. Grafik aplikasi penyerapan ion Cr^{6+} oleh biomassa alga hijau (<i>Spirogyra setiformis</i>) dari limbah dan faktor pemekatan	37

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Skema Kerja Persiapan Biosorben	43
2. Skema Kerja Penentuan pH Optimum	44
3. Skema Kerja Penentuan Konsentrasi Optimum.....	45
4. Skema Kerja Penentuan Waktu Kontak Optimum	46
5. Skema Kerja Perlakuan Pada Kondisi Optimum	47
6. Skema Kerja Aplikasi Pada Sampel Limbah	48
7. Perhitungan Pembuatan Reagen	49
8. Perhitungan Pengaruh pH Awal Larutan Cr^{6+} Terhadap Serapan Biomassa Alga Hijau (<i>Spirogyra setiformis</i>)	52
9. Perhitungan Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan Cr^{6+} Terhadap Serapan Biomassa Alga Hijau (<i>Spirogyra setiformis</i>)	53
10. Perhitungan Data Linearitas Isoterm Langmuir larutan ion Cr^{6+} terhadap Serapan Biomassa Alga Hijau (<i>Spirogyra setiformis</i>)..	54
11. Perhitungan Waktu Kontak Larutan Cr^{6+} Terhadap Serapan Biomassa Alga Hijau (<i>Spirogyra setiformis</i>)	55
12. Perhitungan Perlakuan Pada Kondisi Optimum	56
13. Perhitungan Aplikasi Pada Limbah Laboratorium dan Faktor Pemekatan .	57
14. Spektrum FTIR Alga Hijau (<i>Spirogyra setiformis</i>) sebelum dan sesudah dikontak dengan ion logam Cr^{6+}	58
15. Dokumentasi Penelitian	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Negara Indonesia merupakan salah satu negara berkembang dengan perkembangan industri yang juga semakin meningkat. Tumbuh pesatnya industri-industri ini tidak terlepas dari efek negatif yang ditimbulkannya. Adanya bahan sisa industri baik berupa bahan padat maupun bahan cair dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan berupa pencemaran ion logam berat yang mengakibatkan gangguan kesehatan bagi masyarakat sekitar kegiatan industri (Cvijovic *et al.*, 2010). Pencemaran ion logam berat ini telah menjadi isu global yang tingkat toksisitasnya tinggi diantaranya pencemaran logam berat Cr, Pb, Cd, Hg, Cu dan As pada perairan seperti air tanah, air limbah industri dan lain-lain (Kumari *et al.*, 2017).

Kromium (Cr) merupakan salah satu logam berat yang bersifat toksik yang stabil dalam bentuk Cr^{3+} dan Cr^{6+} . Bentuk trivalen (Cr^{3+}), relatif tidak terlalu berbahaya karena merupakan ion logam yang dibutuhkan untuk metabolisme lemak dan glukosa pada mamalia, sedangkan dalam bentuk heksavalen (Cr^{6+}), bersifat beracun dan karsinogenik, yang mudah larut dalam tanah dan air. Kromium banyak digunakan di berbagai industri seperti industri penyamakan kulit, pemurnian minyak, pelapisan logam, dan produksi pulp (Wang *et al.*, 2010).

Kromium heksavalen (Cr^{6+}) dalam larutan terdapat dalam bentuk spesies asam kromik (H_2CrO_4), anion kromat (CrO_4^{2-}) dan dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$). Ion kromat merupakan spesies yang lazim terdapat dalam limbah cair industri. Kromium dalam

bentuk Cr^{6+} sangat berbahaya karena bersifat sangat toksik dan karsinogenik yang menyebabkan keracunan akut bahkan kronis, kanker paru-paru, serta dapat menghambat kerja enzim benzopiren hidroksilase dalam proses metabolisme tubuh (Palar, 2008). *Lethal dose* (LD_{50}) untuk ion Cr^{6+} dengan oral yang dikonsumsi pada biota uji berupa tikus, bervariasi dari 50 hingga 100 mg/kg, nilai ini sangat kecil jika dibandingkan dengan LD_{50} untuk ion Cr^{3+} antara 1900 dan 3300 mg/kg (Vendruscolo *et al.*, 2016). Selain itu, pada industri pelapisan logam jumlah ion Cr^{6+} dapat mencapai 100 mg/L, nilai ini jauh lebih besar dari nilai ambang batas yang diperbolehkan untuk ion Cr^{6+} hanya 0,05 mg/L (Hlihor *et al.*, 2016). Karena sangat kecilnya batas konsentrasi yang diperbolehkan dan besarnya bahaya yang ditimbulkan, maka perlunya penanganan terhadap limbah cair logam berat tersebut sebelum disalurkan pada pembuangan yang akhirnya ke lingkungan.

Pada dasarnya cara pemisahan logam berat yang banyak diterapkan adalah cara kimia, yaitu dengan teknik pengendapan logam berat sebagai hidroksidanya, diikuti dengan proses fisika seperti adsorpsi menggunakan karbon aktif dan lain sebagainya (Mawardi, 2008). Meskipun teknik pengendapan dapat memisahkan logam dalam jumlah yang relatif besar, akan tetapi cara tersebut tidak ekonomis dan konsentrasi logam yang tertinggal di dalam air buangan masih melebihi konsentrasi yang diperbolehkan. Selain cara kimia dan fisika tersebut, saat ini banyak dikembangkan teknik-teknik lain yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan, diantaranya memanfaatkan kemampuan beberapa mikroorganisme dan biomaterial yang dapat menyerap ion-ion logam berat (Qi *et al.*, 2015).

Proses pemanfaatan mikroorganisme dan biomaterial untuk menghilangkan zat pencemar dari air limbah ini dikenal dengan biosorpsi. Biosorpsi ialah proses penyerapan ion logam, metaloid, partikel dan senyawa yang tidak bergantung pada proses metabolisme oleh bahan biosorpsi (biomaterial) yang terjadi melalui mekanisme kimia fisika seperti penukar ion, pembentukan senyawa kompleks, dan adsorpsi. Biosorpsi terjadi dengan melibatkan interaksi ionik, polar atau kovalen, interaksi gabungan dan mineralisasi, antara logam dengan biopolimer, diantaranya protein dan polisakarida sebagai sumber gugus fungsional yang berperan penting dalam mengikat ion logam (Mawardi *et al.*, 2014).

Biosorpsi menggunakan biomassa ataupun biosorben sebagai media penyerap logam. Walaupun beragam adsorben telah banyak digunakan untuk mengurangi ion logam berat dalam air, seperti lumpur pabrik kertas (Gorzin & Bahri, 2017), lumpur industri *crumb rubber* (Mawardi *et al.*, 2016), lumpur kompos (Chen *et al.*, 2017), tanah napa (Mawardi & Rahmi, 2013) dan lain sebagainya, tetapi masih terdapat kelemahan, yakni 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), jamur (Manorama *et al.*, 2016), dan mikroalga (Kwak *et al.*, 2015) yang dilaporkan sangat efisien untuk mengurangi kadar ion logam berat.

Dari hasil studi literatur, biosorben atau yang dikenal sebagai biomassa yang tidak hidup lebih efektif dalam menyerap ion logam dibanding sel yang masih hidup. Pada biomassa sel yang masih hidup proses penyerapan logam berlangsung

lambat dan sangat tergantung pada nutrisi dan kondisi lingkungan seperti pH larutan dan suhu sedangkan biomassa yang tidak hidup seperti penggunaan biomassa alga hijau kering, proses penyerapan logam tidak bergantung pada metabolisme karena biomassa alga hijau mengandung gugus aktif seperti gugus karboksil, hidroksil, dan amina serta efisiensi dalam mengurangi kadar ion logam yang cukup tinggi, bernilai ekonomis, ramah lingkungan, dan tidak memerlukan tambahan nutrisi (Mawardi, 2011).

Biomassa yang digunakan pada penelitian ini adalah alga hijau (*Spirogyra setiformis*). Alga hijau (*Spirogyra setiformis*) termasuk kelompok alga hijau (*Chlorophyta*), yang merupakan mikroalga perfiton berfilamen yang hidup melekat pada berbagai substratum baik dalam air mengalir maupun dalam air tergenang, dan dapat membentuk hamparan biomassa alga hingga menutupi dasar maupun permukaan sungai. Penelitian penggunaan biomassa alga hijau (*Spirogyra setiformis*) sebagai biosorben logam berat seperti kation Cd^{2+} dalam larutan telah dilakukan oleh Elekli *et al.* (2015) yang melaporkan bahwa biomassa alga hijau (*Spirogyra setiformis*) memiliki potensi besar untuk mengurangi ion logam berat.

Berdasarkan uraian diatas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai penentuan pH, konsentrasi, dan waktu kontak optimum terhadap daya serap ion logam Cr^{6+} menggunakan biomassa alga hijau (*Spirogyra setiformis*) dengan metode *batch* serta aplikasi pada sampel limbah laboratorium dan faktor pemekatan dengan metode kolom, yang akan diuji menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) serta karakterisasi biomassa menggunakan Fourier Transform Infra Red (FTIR).

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan diatas, maka masalah dalam penelitian ini dapat diidentifikasi berupa:

Ion logam berat Cr^{6+} termasuk kedalam ion logam berat berbahaya yang dapat mencemari lingkungan dan mengganggu kesehatan masyarakat. Alga hijau (*Spirogyra setiformis*) merupakan biomaterial yang hidup di air tawar yang diharapkan dapat digunakan sebagai biosorben pada air limbah yang mengandung ion-ion logam berat seperti ion logam Cr^{6+} .

1.3. Batasan Masalah

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

1. Biosorben yang digunakan adalah alga hijau (*Spirogyra setiformis*) yang berasal dari Sungai Batang Air Dingin, Lori Lubuk Minturun, Padang.
2. Material yang akan diadsorpsi adalah ion logam kromium (Cr^{6+}).
3. Penentuan kapasitas serapan biomassa alga hijau (*Spirogyra setiformis*) terhadap ion logam kromium (Cr^{6+}) menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).
4. Karakterisasi biomassa menggunakan Fourier Transform Infra Red (FTIR).
5. Variabel yang akan diteliti adalah pengaruh pH, konsentrasi, dan waktu kontak terhadap daya serap alga hijau (*Spirogyra setiformis*) terhadap ion Cr^{6+} .

1.4. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana karakteristik dari biomassa alga hijau (*Spirogyra setiformis*) menggunakan FTIR?
2. Bagaimana pengaruh pH, konsentrasi, dan waktu kontak terhadap daya serap biomassa alga hijau (*Spirogyra setiformis*) terhadap ion logam Cr^{6+} ?
3. Berapa kapasitas serapan maksimum biomassa alga hijau (*Spirogyra setiformis*) terhadap ion logam Cr^{6+} ?

1.5. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik spektrum FTIR dari biomassa alga hijau (*Spirogyra setiformis*).
2. Mengetahui jumlah serapan ion Cr^{6+} pada biosorpsi ion Cr^{6+} menggunakan biomassa alga hijau (*Spirogyra setiformis*) pada pH, konsentrasi, dan waktu kontak optimum.
3. Mengaplikasikan penggunaan biomassa alga hijau (*Spirogyra setiformis*) pada limbah cair laboratorium yang mengandung ion logam Cr^{6+} dan faktor pemekatan.

1.6. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini, diharapkan dapat:

1. Memberikan informasi yang dapat dijadikan sebagai dasar 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 biosorben logam berat.
4. Biomassa dapat digunakan untuk penanganan limbah yang mengandung logam berat dengan beberapa keuntungan berupa efektif dan bernilai ekonomis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Alga Hijau (*Spirogyra setiformis*)

Alga hijau merupakan suatu bahan pengembangan biosorben baru karena memiliki kapasitas penyerapan yang tinggi dan ketersediaan dalam kuantitas praktis tak terbatas. Menurut tinjauan statistik pada biosorpsi, alga telah digunakan sebagai bahan biosorben 15,3% lebih dari jenis lain biomassa serta 84,6% lebih dari jamur dan bakteri (Kanchana & Jeyanthi, 2014).

Dinding sel alga hijau disusun oleh lapisan selulosa yang mengandung molekul-molekul glukosa, glikoprotein dan lapisan terluar yang mengandung pektin. Selubung sel tersusun dari polimer-polimer manosa dan asam-asam amino, khususnya hidroksipirrolin (Pritchard & Bradt, 1984). Mawardi (2008) juga melaporkan bahwa unsur utama penyusun biomassa alga hijau adalah karbon, nitrogen, oksigen, masing-masing sekitar 8,76%, 30,09% dan 55,83%. Disamping itu juga terdapat unsur-unsur fosfor, belerang, silikon dan kalium masing-masing 1,21%, 1,26%, 0,73% dan 1,73%.

Alga *Spirogyra setiformis* termasuk kelompok alga hijau (*Clorophyta*), 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 maupun permukaan sungai. Alga hijau *Spirogyra setiformis* adalah mikroorganisme uniseluler, dimana sel saling terhubung dari ujung ke ujung berbentuk filamen. Dinding sel *Spirogyra* dilapisi dengan lapisan lendir yang memberikan tekstur licin dan memiliki

kloroplas berbentuk spiral. Sepanjang garis rata-rata dalam kloroplas terdapat pyrenoids yang merupakan tempat pengendapan pati (Elekli *et al.*, 2015).

Klasifikasi dari *Spirogyra setiformis* adalah :

Divisi : Chlorophyta

Kelas : Chlorophyceae

Ordo : Zygnematales

Family : Zygnemataceae

Genus : Spirogyra

Species : *Spirogyra setiformis* (Roth. kützing, 1845)

(Laboratorium Taksonomi Tumbuh-Tumbuhan UNAND, 2017).



Gambar 2.1. Alga Hijau *Spirogyra setiformis* (Mihriyany, 2010; Algaebase, 2017)

2.2. Kromium (Cr^{6+})

Dalam kimia, sebuah logam (bahasa Yunani: *Metallon*) adalah sebuah unsur kimia yang siap membentuk ion kation atau anion dan memiliki ikatan logam. Logam terbagi menjadi dua yakni logam ringan dan logam berat. Logam ringan adalah logam yang massa jenisnya kurang dari 5 gram dan logam berat (*heavy*

metal) ialah benda padat atau cair yang mempunyai massa jenis 5 gram atau lebih untuk setiap cm^3 dengan nomor atom 22 sampai dengan 92 (Palar, 2004).

Menurut Esmaeili *et al.* (2010), Logam kromium adalah salah satu logam berat berwarna putih dengan massa jenis 7,19 g/mL, mempunyai nomor atom 24 dan massa atom 51,996. Pada tabel periodik kromium terletak pada golongan VI B dan periode ke empat. Sumber utama kromium di alam yaitu senyawa kromit (FeCr_2O) dan kromium oksida (Cr_2O_3).



Gambar 2.2. Logam kromium (wikipedia.com)

Logam kromium memiliki sifat fisika dan kimia yakni sebagai berikut:

1. Sifat fisiknya merupakan logam yang berbentuk serbuk putih perak. Logam kromium ini bereaksi dengan O_2 menghasilkan Cr_2O_3 yang bersifat nonpori untuk mencegah korosi, mengalami *melting point* pada 1900°C dan pada 2690°C tercapainya titik didih kromium, serta mempunyai berat jenis sebesar $7,19 \text{ g/cm}^3$. Kromium memiliki beberapa bentuk oksida dengan tingkat oksidasi Cr^{+2} , Cr^{+3} , Cr^{+6} , dan CrO_2 sebagai konduktor.
2. Sifat kimianya berupa unsur yang mudah larut dalam H_2SO_4 encer dan HCl . Saat kromium dipanaskan akan membentuk oksida CrO_4 berwarna hijau, serta menghasilkan lapisan oksida tipis di udara dalam keadaan tidak stabil. Selain itu,

logam kromium secara langsung dapat bereaksi dengan nitrogen, karbon, silika dan boron.

Sesuai dengan tingkat valensi yang dimilikinya, logam atau ion kromium yang telah membentuk senyawa mempunyai sifat yang berbeda sesuai dengan tingkat ionitasnya. Senyawa yang terbentuk dari ion Cr^{2+} akan bersifat basa dan senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr^{3+} bersifat ampoter, serta senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr^{6+} akan bersifat asam. Logam kromium paling stabil berada di alam dalam bentuk ion Cr^{3+} dan Cr^{6+} . Namun ion Cr^{6+} dikategorikan sebagai ion logam berbahaya bersifat racun yang dapat mengakibatkan terjadinya keracunan akut dan keracunan kronis pada dosis tertentu serta bersifat karsinogenik yang menyebabkan timbulnya kanker paru-paru. Selain itu, ion Cr^{6+} mudah larut di dalam tanah dan air yang menyebabkan pencemaran lingkungan dan gangguan kesehatan (Palar, 2008). Ion Cr^{6+} dalam larutan berbentuk asam kromat (HCrO_4^-), anion kromat (CrO_4^{2-}) dan dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) yang diharapkan dapat membentuk ikatan melalui interaksi ionik dengan semua gugus fungsi yang terprotonasi pada pH rendah dan pada pH rendah ini, sebagian ion Cr^{6+} tereduksi membentuk kation Cr^{3+} (Pearson, 1963; Mondal *et al.*, 2017).

Kromium (Cr^{6+}) banyak digunakan pada industri penyamakan kulit (industri tekstil), pemurnian minyak, produksi pulp, dan pelapisan logam (elektroplanting). Dari proses elektroplanting dihasilkan Cr^{6+} mendekati angka 100 mg/L, nilai ini jauh lebih besar dari ambang batas Cr^{6+} yaitu sekitar 0,05 mg/L dan Cr total sebesar 2,00 mg/L. Kadar ion logam berat Cr^{6+} yang tinggi dalam perairan dapat diturunkan

atau diasingkan serta dihilangkan dengan proses biosorpsi (Nag *et al.*, 2017; Hlihor *et al.*, 2016).

2.3. Biosorpsi

Menurut Fomina (2014) biosorpsi merupakan suatu proses penyerapan menggunakan potensi materi biologis (biomaterial) untuk mengasingkan logam dan polutan lainnya dari larutan secara metabolik.

Mekanisme biosorpsi ini melibatkan interaksi fisika dan kimia dengan kadar analisis pada 50 dan 100 mg/L untuk menentukan dan mengevaluasi dibawah kondisi yang dinamik (Morosanu *et al.*, 2016). Kanchana & Jeyanthi (2014) melaporkan bahwa mikroalga dapat digunakan sebagai biosorben 15,3% lebih dari jenis biomassa dan 84,6% lebih dari jamur dan bakteri. Kemampuan mereka terfokus pada komposisi dinding sel yang meliputi kitin, lipid, polisakarida, dan protein.

Proses biosorpsi terutama terjadi pada permukaan dinding sel melalui mekanisme kimia dan fisika, seperti gugus aktif pada biomassa yang dapat berinteraksi dengan ion logam. Selain itu, proses biosorpsi juga terjadi melibatkan beberapa jenis interaksi antara logam dengan biomassa seperti interaksi ionik, interaksi polar, interaksi gabungan dan berganda, serta mineralisasi antara logam dengan biopolimer (makromolekul). Makromolekul ini berkontribusi pada kelompok fungsional yang berbeda seperti karboksil, hidroksil, karbonil, amina, dan gugus fungsional lain yang dapat berkoordinasi dengan atom pusat logam melalui pasangan elektron bebas (Hancock, 1996; Mawardi *et al.*, 2015).

Penyerapan ion logam juga dapat terjadi secara aktif dengan sel hidup (*bioaccumulation*) atau secara pasif terjadi pada permukaan sel mati maupun hidup (*biosorption*). Proses biosorpsi lebih dapat diaplikasikan dari proses bioakumulasi, hal ini disebabkan sel hidup pada proses bioakumulasi membutuhkan tambahan nutrisi yang berlangsung lambat dan secara kritis sangat bergantung pada kondisi lingkungan seperti pH larutan dan suhu, selain itu pengendalian sel hidup lebih sulit dikarenakan pengaruh racun dari logam dan pengaruh lingkungan lainnya (Naja & Bohumil, 2011).

Proses biosorpsi ini dapat dilakukan dengan dua sistem, yakni pertama sistem statis (*batch*) dan yang kedua sistem kontinu (*column*) seperti yang dilakukan oleh Ungureanu *et al.* (2017).

a. Sistem *Batch*

Proses sistem ini dilakukan dengan memasukkan biosorben ke dalam larutan kemudian diaduk dengan larutan beberapa saat. Selanjutnya dipisahkan antara biosorben dan larutan dengan penyaringan. Komponen yang diserap dapat dilepaskan kembali dengan melarutkan kembali biosorben dengan pelarut tertentu dengan volume lebih kecil dari volume larutan awal. Tujuan dari sistem *batch* adalah untuk mengetahui karakteristik adsorbat dan adsorben (Santoso, 2012).

Kumar *et al.* (2016) mengemukakan sistem *batch* mengacu kepada penyerapan ion logam yang dapat didefinisikan sebagai biomassa alga kering yang ditambahkan ke dalam larutan ion logam dengan volume tertentu dengan kondisi tertentu seperti pH, konsentrasi ion logam, suhu dan kekuatan ionik. Keuntungan yang dapat diperoleh dari sistem *batch* ini adalah:

1. Pada sistem *batch* dilakukannya penyerapan dalam studi isoterm sampai tingkat kejenuhan dari semua situs aktif biosorben yang mengikat ion logam konstan. Hal ini sangat membantu dalam menilai kinerja biosorpsi beberapa biosorben untuk variasi larutan ion logam dalam waktu yang singkat.
2. Sistem *batch* dapat membantu menentukan urutan kinetika biosorpsi dan memahami reaksi penyerapan.
3. Dapat memaksimalkan kapasitas penyerapan pengikatan ion logam.
4. Menghasilkan informasi mengenai penyerapan ion logam oleh biomassa dalam sistem tunggal dan multi-logam.
5. Pengaruh beberapa faktor lingkungan seperti pH, biomassa, ketersediaan logam, dan suhu, dapat dinilai sangat efisien dengan sistem *batch*.

Adapun sistem *batch* ini merupakan sistem yang sulit jika digunakan dalam aplikasi pada skala yang lebih besar yaitu untuk skala industri karena membutuhkan penggunaan banyak energi dan memakan waktu yang lama serta dalam prosesnya terdapat pengocokan yang terlalu kuat dapat menyebabkan kerusakan pada lapisan permukaan adsorben (Ashadi *et al.*, 2013).

b. Sistem *Column*

Sistem *column* merupakan salah satu alternatif yang lain untuk aplikasi pada skala besar untuk pengolahan limbah industri karena proses penyerapan dilakukan dengan metoda aliran kontinu di dalam kolom massa tetap (*fixed bed column*). Metode aliran kontinu ini menggambarkan performa kolom aliran kontinu menggunakan variabel laju alir dan tinggi massa biosorben yang nantinya akan

digunakan pada *scala up* dalam aplikasi penyerapan ion logam (Acheampong *et al.*, 2012).

Banyak faktor yang mempengaruhi proses biosorpsi diantaranya pH, waktu kontak (laju serapan), konsentrasi, suhu, ukuran partikel, dan dosis biomassa. Faktor-faktor tersebut berpengaruh terhadap kelarutan kimia dari logam, aktivitas dari kelompok-kelompok fungsional yang terkandung dalam biomassa dan kompetisi diantara ion-ion logam (Mawardi, 2011).

Biosorpsi memiliki keuntungan dan kerugian utama dalam proses penyerapan ion-ion logam yang diilustrasikan pada tabel berikut:

Tabel 2.1. Keuntungan dan kerugian biosorpsi

Keuntungan	Kerugian
a. Konsentrasi logam rendah (<100 mg/L) b. Efisiensi tinggi c. Potensi pemulihan logam d. Biaya rendah e. Proses mudah f. Mengurangi kuantitas bahan kimia g. Penanganan limbah berkurang	a. Beberapa studi skala industri b. Kemungkinan meningkatkan biaya (limbah menjadi komoditas) c. Mekanisme prosesnya rumit d. Pembuangan biosorben pada akhir hidup

Sumber: (Morosanu *et al.*, 2016)

Kapasitas suatu biomassa sebagai biosorben dapat digambar dengan kesetimbangan adsorpsi isotherm, yang dicirikan oleh konstanta yang memperlihatkan sifat permukaan dan afinitas adsorben (Mawardi, 2011) dan laju adsorpsi molekul pada permukaan biosorben merupakan salah satu parameter esensial untuk menentukan variabel waktu pada sistem dengan kondisi suhu dan proses yang bervariasi (Susanti & Nofdianto, 2014).

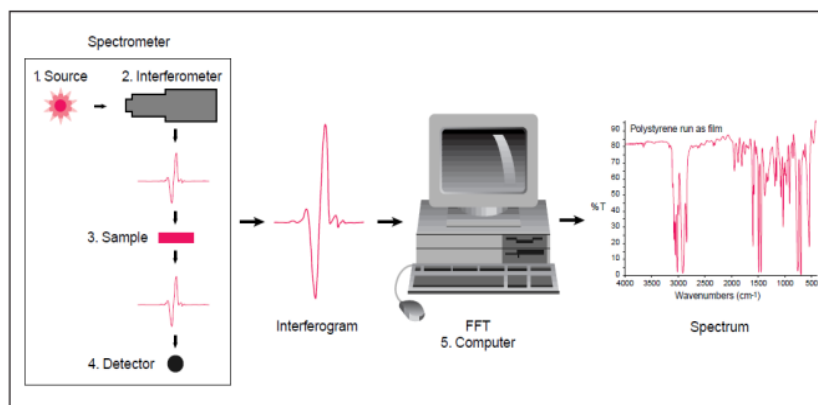
Isoterm Langmuir merupakan adsorpsi isotherm yang paling luas diterapkan. Menurut Langmuir, pada permukaan biosorben terdapat sejumlah tertentu pusat

aktif (*active site*) yang sebanding dengan luas permukaan biosorben. 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 biosorben, membentuk lapisan tunggal pada permukaan biosorben (*monolayer adsorption*). Dengan persamaan adsorpsi Isoterm Langmuir dapat ditentukan konstanta afinitas serapan (K_L) dan kapasitas serapan maksimum (q_{maks}) dari suatu biosorben (Hancock, 1996; Mawardi *et al.*, 2014).

2.4. Spektroskopi *Fourier Transform-Infra Red* (FTIR)

Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*) yaitu metode spektroskopi inframerah modern yang dilengkapi dengan teknik transformasi fourier untuk mendeteksi dan menganalisa hasil spektrumnya. Metode spektroskopi FTIR dapat digunakan untuk identifikasi senyawa, khususnya senyawa organik baik secara kualitatif dengan melihat puncak-puncak spesifik pada spektrum yang menunjukkan jenis gugus fungsional yang dimiliki oleh senyawa, maupun kuantitatif dengan menggunakan senyawa standar yang dibuat spektrumnya pada berbagai variasi konsentrasi (Puspitasari, 2012).

Skema kerja spektroskopi FTIR diilustrasikan pada gambar 2.3. berikut:



Prinsip kerja dari FTIR berdasarkan gambar 2.3. diatas adalah interferometer memiliki *beamsplitter* yang berfungsi sebagai pembagi sinar inframerah menjadi dua bagian sinar optik. Salah satu sinar optik akan dipantulkan menuju cermin yang digerakkan menjauh dan mendekat *beamsplitter*. Kedua sinar tersebut akan kembali ke *beamsplitter* dan dikeluarkan dari inferometer berbentuk interferogram yang merupakan hasil dari dua sinar yang saling menguatkan satu sama lain. Sinyal ini kemudian dilewatkan pada sampel yang ingin diuji sehingga sinyal yang ditransmisikan oleh sampel akan ditangkap oleh detektor. Sinyalnya akan diproses pada komputer melalui kalkulasi matematis yang disebut *fourier transformation* (Ningsih, 2016). Sedangkan menurut Puspitasari (2012) Prinsip kerja dari instrumen FTIR yakni berdasarkan jumlah penyerapan sinar oleh suatu sampel. Apabila suatu sampel dilewati oleh radiasi inframerah, maka molekul-molekulnya akan mengabsorpsi energi dan terjadi transisi antara tingkat vibrasi dasar (*ground state*) dan tingkat vibrasi tereksitasi (*exite state*) yang akan memberikan informasi mengenai gugus fungsional suatu molekul.

Untuk interpretasi spektrum FTIR dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut :

Tabel 2.2. Bilangan Gelombang dan Interpretasi Spektrum Infra Red

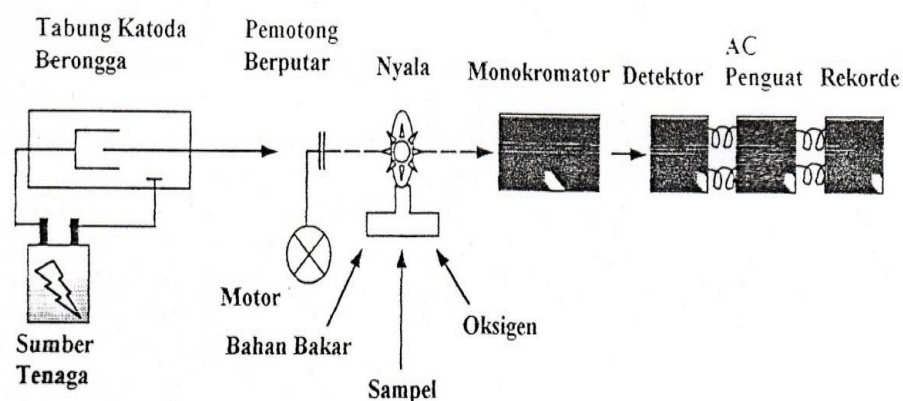
Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Gugus Fungsional
3750-3000	O-H, N-H stretching
3000-2700	C-H stretching (-CH ₃ , -CH ₂ , C-H)
2400-2100	-C≡C-, C≡N
1900-1650	C=O (aldehid, amida, ester)
1675-1500	C=C stretching (aromatik dan alifatik), C=N
1475-1300	C-H bonding vibration
1000-650	C=C-H, C-X (X= F, Cl, Br and I)

Sumber : Jhon Coates in Encyclopedia of Analytical Chemistry, 2003.

2.5. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Spektroskopi serapan atom (SSA) adalah metode analisis untuk penentuan unsur-unsur logam dan metaloid yang pengukurannya berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas. Metode ini sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah. Teknik ini mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode spektroskopi emisi konvensional. Selain dengan metode serapan atom, unsur-unsur dengan energi eksitasi rendah 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 ukur optimum pada panjang gelombang 200-300 nm (Skoog *et al.*, 2007).

Prinsip dari spektrofotometri adalah terjadinya interaksi antara energi dan materi. Pada SSA terjadi penyerapan energi oleh atom sehingga atom mengalami transisi elektronik dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi. Dalam metode ini, analisa didasarkan pada pengukuran intensitas sinar yang diserap oleh atom sehingga terjadi eksitasi seperti ilustrasi pada gambar 2.4. berikut :



Gambar 2.4. Skema kerja instrumen SSA (Day & Underwood, 2002).

Apabila cahaya dengan panjang gelombang tertentu dilewatkan pada suatu sel yang mengandung atom-atom bebas yang bersangkutan maka sebagian cahaya tersebut akan diserap dan intensitas penyerapan akan berbanding lurus dengan banyaknya atom bebas logam yang berada dalam sel. Hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi diturunkan dari (Sari, 2010) :

Hukum *Lambert* : Bila suatu sumber sinar monokromatik melewati medium transparan, maka intensitas sinar yang diteruskan berkurang dengan bertambahnya ketebalan medium yang mengabsorpsi.

Hukum *Beer* : Intensitas sinar yang diteruskan berkurang secara eksponensial dengan bertambahnya konsentrasi spesi yang menyerap sinar tersebut. Hukum *Beer* dapat diterapkan hanya untuk radiasi monokromatis dan sifat dasar spesies pengabsorpsi tidak berubah selama konsentrasi diselidiki.

Dari kedua hukum tersebut diperoleh suatu persamaan:

$$A = -\log \frac{I_t}{I_0} = a.b.c$$

Dengan

A = absorban

I_0 = intensitas sinar datang

I = intensitas sinar yang diteruskan

a = tetapan absorptivitas

b = panjang jalan sinar

c = konsentrasi

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai biosorpsi ion Cr^{6+} menggunakan biomassa alga hijau (*Spirogyra setiformis*) dapat disimpulkan bahwa :

1. Karakterisasi menggunakan spektrum FTIR menunjukkan gugus fungsi yang berperan aktif pada biomassa alga hijau (*Spirogyra setiformis*) terhadap penyerapan ion logam Cr^{6+} adalah gugus fungsi karboksil, karbonil dan amina.
2. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh kondisi optimum penyerapan ion Cr^{6+} oleh biomassa alga hijau (*Spirogyra setiformis*) pada pH 2, konsentrasi 250 mg/L dan waktu kontak selama 30 menit. Kapasitas serapan maksimum ion Cr^{6+} adalah sebesar 11,4025 mg/g dengan efisiensi penyerapan sebesar 92,48%. Biosorpsi ion Cr^{6+} ini memenuhi persamaan adsorpsi Isoterm Langmuir dengan R^2 sebesar 0,8142.
3. Biomassa alga hijau dapat dimanfaatkan untuk menyerap ion Cr dari limbah cair laboratorium, meskipun daya serapan yang diperoleh sebesar 40,36% dan ion logam yang telah diserap oleh biomassa dapat di desorpsi kembali dengan tujuan pemekatan menggunakan HNO_3 0,1 M didapat efisiensi pemekatan sebesar 44,50%.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diharapkan adanya penelitian lebih lanjut mengenai biomassa alga hijau (*Spirogyra setiformis*) ini, misalnya digunakan untuk penelitian mengenai kinetika biosorpsi anion atau kation logam.

DAFTAR PUSTAKA

- Acheampong, Mike A. et al. 2012. "Removal of Cu(II) by Biosorption Onto Coconut Shell in Fixed-Bed Column Systems". *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19: p. 841-848.
- AlgaeBase. 2017. "Spirogyra setiformis Kutzing 1845 in GBIF Secretariat". www.algaebase.org, diakses 16 Desember 2017.
- Anastopoulos, Ioannis & George Z. Kyzas. 2015. "Progress in Batch Biosorption of Heavy Metals Onto Algae". *Journal of Molecular Liquids*. doi.org/10.1016/j.molliq.2015.05.023
- Ashadi, K.S.M, M. Masykuri & Nur Aliffah. 2013. "Adsorpsi Cr(III) Oleh Biosorben Sistem Kolom dengan Matriks Pengisi Kombinasi Limbah Aren (Arenca pinnata Merr) dan Zeolit Alam Teraktivasi". *Makalah* disajikan dalam Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia V di Surakarta. PMIPA FKIP UNS, Surakarta, 6 April 2013.
- Chen, Huaxia, Junfeng Dou, & Hongbin Xu. 2017. "Removal of Cr(VI) Ions by Sewage Sludge Compost Biomass From Aqueous Solutions: Reduction to Cr(III) and Biosorption". *Journal Applied Surface Science*. Doi.10.1016/j.apsusc.2017.07.053.
- Cvijovic, M. et al. 2010. "A Case Study of Industrial Water Polluted with Chromium (VI) and Its Impact to River Recipient in Western Serbia". *Environmental Engineering and Management Journal*, 9 (1): p. 45-49.
- Day, R.A & Underwood. 2002. *Analisis Kimia Kualitatif*. Jakarta : Erlangga.
- Elekli, C.A., Emine Gultekin, & Huseyin Bozkurt. 2015. "Morphological and Biochemical Responses of *Spirogyra setiformis* Exposed to Cadmium". *Journal Clean Soil Air Water*. Vol. 44. p. 256-262.
- Esmaili, A., Ghasemi, S., & Rustaiyan, A. 2010. "Removal of Hexavalent Chromium Using Activated Carbon Derived From Marine Algae *Gracilaria* and *Sargassum* sp". *Journal of Marine Science and Technology*, 18 (4) p. 587-592.
- Fathima et al. 2014. "Biomass of *Termitomyces clypeatus* for Chromium (III) Removal From Chrome Tanning Wastewater". *Journal Clean Technology Environment Policy*. Doi.10.1007/s10098-014-0799-3.
- Fomina, M. & Gadd G.M. 2014. "Biosorption: Current Perspectives on Concept, Definition and Application". *Journal Bioresour Technology*, 160: p. 3-14.