

Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan Terhadap Penyerapan Ion Logam Berat Cr^{3+} Menggunakan Biomassa Alga Hijau *Mougeotia* sp. yang Dimodifikasi dengan Metanol

Hilmi Rahmadina, Mawardi*

Chemistry Departement, Faculty of Mathematics And Science, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang, Indonesia Telp. 0751 7057420

* mawardianwar@fmipa.ac.id

Abstract – Biosorption is an alternative method that can be used to overcome the presence of heavy metal chromium (III) in water. Green algae *Mougeotia* sp. Can be used as a biosorbent, because it has functional groups such as carboxyl, carbonyl, amine and hidroxy. To find out how big the role of each functional group is modified. Where the functional group to be modified is the carboxyl group using methanol solution. In this research, the rebellion was carried out with a batch system, carried out by stirring the heavy metal solution with biosorbent then filtered, the resulting filtrate was analyzed using an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The variables to be tested is concentration. Based on the research results, the optimum absorption of green algae biomass *Mougeotia* sp. Against heavy metal ions Cr^{3+} took place at concentration of 250 mg/L with a maximum absorption capacity (qm) of 5.3050 mg/g. This biosorption process follows the Langmuir adsorption isotherm equation with an R^2 value of 0.9412.

Keywords — Biosorption, heavy metal ion Cr^{3+} , green algae *Mougeotia* sp., Methanol, Langmuir isotherm

I. PENDAHULUAN

Limbah merupakan masalah besar yang sedang dihadapi oleh Indonesia. Dimana, limbah hasil samping produksi industri-industri kebanyakan dibuang langsung ke lingkungan tanpa melewati proses penyaringan terlebih dahulu. Akibatnya, lingkungan menjadi tercemar akan keberadaannya. Salah satu kandungan limbah yang berbahaya adalah logam berat. Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh logam berat merupakan masalah penting yang dihadapi oleh Negara-negara besar, karena bersifat toksik dan tidak terdegradasi secara biologis (*non biodegradable*), Salah satu jenis logam berat yang berbahaya tersebut adalah Kromium [1].

Kromium (III) dan (VI) adalah jenis dari logam kromium yang paling sering ditemui, karena terdapat pada industri electroplating (industri pelapisan logam), industri baterai, industri tinta dan industri cat. Limbah yang mengandung kromium (VI) biasanya dalam bentuk anion $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ dan kromium (III) dalam bentuk kation Cr^{3+} [2]. Kromium (III) memiliki bentuk yang lebih stabil dari kromium (VI) [3] dan kromium (VI) lebih bersifat toksik daripada kromium (III) [4][5]. Kromium dapat masuk kedalam tanaman, hewan, dan manusia. Walaupun Kromium (III) kurang toksik, apabila tubuh terpapar oleh kromium (III) dalam jangka waktu panjang dapat menyebabkan alergi kulit dan kanker [6]. Nilai ambang batas kromium di lingkungan adalah 0,05 mg/L.

Berbagai cara dapat dilakukan untuk mengurangi kandungan Kromium (III) pada limbah hasil produksi industri, seperti oksidasi dan reduksi, koagulasi dan sedimentasi, filtrasi, presipitasi kimia, elektrodeposisi, pertukaran ion, dan karbon aktif [7]. Cara ini dinilai kurang efektif dalam menanggulangi masalah ini, karena biaya instalasi dan operasional yang tinggi, banyak membutuhkan bahan kimia, dan biaya pengerjaan yang tinggi [8]. Oleh karena itu diperlukan alternative lain yang lebih efektif dalam penanganan masalah ini [9].

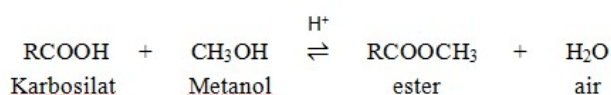
Alternatif lain yang dapat digunakan adalah biosorpsi. Biosorpsi biasanya menggunakan mikroorganisme sel hidup atau mati [10]. Proses penyerapan terjadi pada permukaan dinding sel dan permukaan eksternal lainnya. Mekanisme kerja yang terjadi selama proses biosorpsi adalah mekanisme secara kimia dan fisika. Pertukaran ion dan pembentukan kompleks adalah mekanisme kimia sedangkan adsorpsi adalah mekanis fisika [11]. Cara ini dinilai efektif dan efisien, karena sorben yang digunakan bersifat organik, murah didapat, ramah lingkungan, dan dapat digunakan berulang. Alga, ragi, jamur, bakteri, kulit jeruk, dan dedak padi merupakan contoh dari biosorben yang paling banyak digunakan sebagai biosorpsi [12].

Alga adalah suatu material atau biomassa yang menarik untuk dikembangkan sebagai biosorben, karena kapasitas penyerapannya yang tinggi dan ketersediaannya yang

melimpah di alam [13]. Salah satu alga yang dapat digunakan adalah *Maogeotia* sp. Biomassa ini termasuk ke dalam alga hijau (*Clorophyta*). Biasanya, Alga hijau *Maogeotia* sp. hidup menempel di bebatuan sungai dengan arus tenang. Ia dapat menutupi dasar dan permukaan sungai sehingga dapat membentuk hamparan hijau yang luas [14]. Biosorben alami mengandung komponen kimia seperti selulosa, lignin dan beberapa senyawa lain yang memiliki fungsi potensial, seperti pada dinding selnya biomassa mengandung gugus fungsi karboksil, karbonil, hidroksil, alcohol, dan amina yang memiliki afinitas yang besar dalam penyerapan ion logam berat [15].

Sorben adalah suatu zat yang bersifat sebagai pengikat atau penjerap suatu senyawa. Senyawa disini adalah logam berat [16]. Sorben terbagi atas dua, yaitu adsorben dan absorben. Adsorben jelas berbeda dari absorben. Adsorben adalah proses penyerapan ion logam berat yang terjadi hanya pada permukaan dinding sel sorben sedangkan pada absorben, proses penyerapan ion logam berat terjadi sampai ke dalam partikel suatu sorben [17]. Sebaiknya, sorben yang akan digunakan haruslah padatan yang berpori [18]. Ada beberapa syarat biomassa yang akan dijadikan adsorben, diantaranya mempunyai daya ikat terhadap ion logam yang besar, merupakan suatu padatan yang mempunyai luas permukaan yang besar, tidak mudah larut dalam zat yang akan diserap, mudah didapat, dan dapat dipakai berulang [19].

Gugus fungsi yang ada pada biomassa dapat dipelajari lebih jauh peranannya dengan cara memodifikasi gugus fungsi yang ada menggunakan pereaksi yang sesuai, seperti Gugus fungsi karboksil [20]. Gugus karboksilat dapat dimodifikasi menggunakan senyawa methanol untuk menghasilkan ester dalam suasana asam. Reaksi yang terjadi adalah reaksi esterifikasi [21].



Gambar 1. reaksi esterifikasi antara karboksilat direaksikan dengan metanol [22][23].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari biomassa alga hijau *Mougeotia* sp. yang telah dimodifikasi dengan methanol terhadap penyerapan ion logam Cr^{3+} pada konsentrasi optimum serta mengetahui kapasitas serapan maksimum dari biomassa.

II. METODE PENELITIAN

A. Alat

Peralatan yang digunakan adalah neraca analitik (kapasitas 220 g, resolusi 0.0001 g), ayakan (ukuran 150 μm dan 250 μm), *shaker* (Gemmy Orbit *Shaker* mode VRN-480 616899), kertas saring, magnetic stirer, oven, blender, lumpang alu, corong bucher, seperangkat alat kaca, bola hisap, pipet

gondok, desikator, pH meter (Schott Instrument Lab 850), Spektrofotometer Serapan Atom (Merk Shimadzu tipe AA 600), dan *Spektrofotometer Fourier Transform Infrared* (FTIR) (Merk PerkinElmer Frontier).

B. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah biomassa alga hijau *Mougeotia* sp. yang diperoleh dari Sungai Anduring, Kecamatan Kayu Tanam, Kabupaten Padang Pariaman, Sumatera Barat yang telah diidentifikasi di Laboratorium Botani Jurusan Biologi Universitas Negeri Padang. Aguades, aguabidest, logam Cr^{3+} yang didapatkan dengan melarutkan $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, HNO_3 6% (Merck KGaA), CH_3OH p.a, HCl p.a, HNO_3 1%, dan NH_3 25% (Merck KGaA).

C. Persiapan Biomassa

Biomassa alga hijau (*Mougeotia* sp.) yang sudah didapatkan sebagian kecil dipisahkan untuk diidentifikasi dan sisanya dibilas menggunakan aquades bebas ion. Setelah semuanya bersih, kemudian dikeringkan di udara terbuka (tanpa paparan sinar matahari secara langsung). Biomassa kering lanjut diblender lalu diayak. Hasil ayakan yang telah didapatkan direndam menggunakan larutan HNO_3 encer 1%. Perendaman dilakukan selama kurang lebih dua jam. Setelah itu dicuci dan dibilas menggunakan aquadest sampai air hasil pencucian kembali netral. Biomassa selanjutnya dikeringkan dengan oven (suhu 60°C selama 24 jam) hingga diperoleh berat tetap. Kemudian simpan dalam desikator. Biomassa kering yang digunakan dengan ukuran partikel antara 150 dan 250 μm .

D. Perlakuan Modifikasi Biomassa

Timbang sebanyak 20 gram biomassa, masukkan ke dalam 200 mL metanol (CH_3OH p.a), kemudian tambahkan larutan asam klorida (HCl p.a) sedikit demi sedikit sampai konsentrasi akhir sebesar 0,1 M. Setelah itu, campuran biomassa dengan larutan tadi di *shaker* (selama 6 jam). Biomassa yang telah termodifikasi gugus fungsi dibilas dengan aquades bebas ion, kemudian dikeringkan dan disimpan dalam desikator. Biomassa alga hijau *Mougeotia* sp. termodifikasi dengan metanol siap digunakan untuk proses biosorpsi ion logam berat. Terlebih dahulu biomassa yang telah termodifikasi ini di uji dengan *Spektrofotometer Fourier Transform Infrared* (FTIR).

E. Prosedur Percobaan

Proses pengontakan dilakukan dengan menggunakan system *Batch*. Timbang 0,5 gram biomassa yang telah termodifikasi oleh methanol. Siapkan 25 ml larutan logam Cr^{3+} dalam berbagai variasi konsentrasi (100, 150, 200, 250, dan 300 mg/L pada pH 5). Kemudian di *shaker* (60 menit dengan kecepatan 200 rpm). Setelah tercampur kemudian dilakukan proses penyaringan dengan kertas saring. filtrat yang diperoleh diukur dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) yang digunakan pada penelitian ini dengan λ 283,3 nm. Perhitung konsentrasi ion logam berat yang teradsorpsi dapat dilakukan dengan cara mencari selisih konsentrasi ion logam mula-mula dengan konsentrasi ion logam dalam keadaan setimbang. Jumlah logam yang terserap dinyatakan dengan rumus sebagai berikut ini:

$$Q = (C_0 - C_e) v/w \quad (1)$$

Keterangan:

Q = ion logam terserap (mg/g)

C₀ = konsentrasi ion logam berat mula-mula (mg/L)

C_e = konsentrasi ion logam berat setelah biosorpsi (mg/L)

V = volume larutan

W = massa biosorben (g) [24][6].

Persamaan adsorpsi *Isoterm* Langmuir digunakan untuk mencari jumlah serapan maksimum dari biomassa *Mougeotia* sp. [25][26]. Model *Isoterm* Langmuir menunjukkan bahwa penyerapan polutan dari fase air terjadi pada permukaan yang homogen oleh penyerapan monolayer. Persamaan *Isoterm* Langmuir dapat ditulis dalam bentuk persamaan linier yaitu :

$$\frac{C}{a} = \frac{1}{a_m K} + \frac{1}{a_m} C \quad (2)$$

Keterangan:

a = milligram ion Cr³⁺ yang terserap per gram biomassa alga hijau *Mougeotia* sp. yang termodifikasi dengan metanol

K = konstanta *Isoterm* Langmuir (L/mg)

C = konsentrasi ion logam bebas saat seimbang (mg/L)

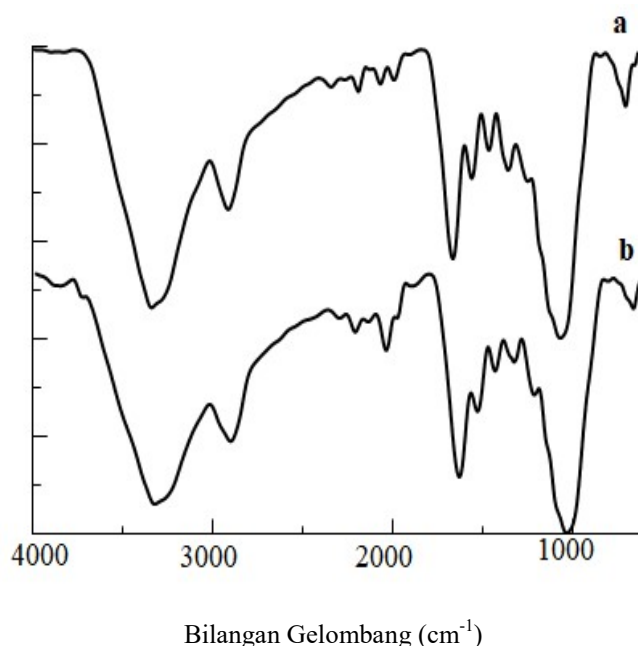
a_m = milligram logam terserap pada keadaan jenuh [12].

Apabila perbandingan plot C/a dengan C menghasilkan persamaan garis lurus, maka konstanta afinitas serapan (K) dan kapasitas serapan maksimum (a_m) dapat ditentukan dari *slope* dan *intercept*.

III. PEMBAHASAN

A. Karakterisasi Alga Hijau *Mougeotia* sp. dengan FTIR

Karakteristik FTIR dilakukan untuk menganalisis gugus fungsi yang ada pada biomassa *Mougeotia* sp.. Gugus fungsi sangat berperan pada saat proses penyerapan ion logam berat [27]. Biomassa alga hijau *Mougeotia* sp. yang diidentifikasi adalah biomassa modifikasi dengan metanol sebelum dan setelah kontak dengan logam berat kromium (III). Panjang gelombang FTIR yang digunakan adalah 4000-600 cm⁻¹. Hasil FTIR setiap biosorben dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2. Spektrum FTIR alga hijau *Mougeotia* sp. yang dimodifikasi dengan metanol (a) sebelum kontak (b) setelah kontak dengan larutan logam Cr³⁺

Berdasarkan spektrum FTIR pada gambar 5. Memperlihatkan beberapa puncak serapan terdeteksi pada biomassa alga hijau *Mougeotia* sp. yang dimodifikasi dengan metanol. Pada daerah bilangan gelombang 3335,34 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus O-H dari karboksilat yang didukung oleh pita serapan C=O karboksil pada bilangan gelombang 1640,98 cm⁻¹ dan gugus C-O dari ester pada bilangan gelombang 1034,34 cm⁻¹. Pita serapan pada daerah 3000- 3500 cm⁻¹ juga mengindikasikan adanya gugus N-H dari *stretching*. Selanjutnya pita serapan pada daerah 2904,37 cm⁻¹ memperlihatkan uluran C-H (*stretching vibrations*). Pada gambar juga dapat dilihat pada daerah 2325,13 cm⁻¹ menunjukkan serapan C≡N, pada bilangan gelombang 1534,64 cm⁻¹ memperlihatkan tekuk N-H dan serapan C-N (amina) pada bilangan gelombang 1331,10 cm⁻¹. Dari data diatas dapat diketahui bahwa di dalam biomassa alga hijau *Mougeotia* sp. terdapat gugus fungsi karboksil, karbonil, alkohol, ester, amina, dan amida.

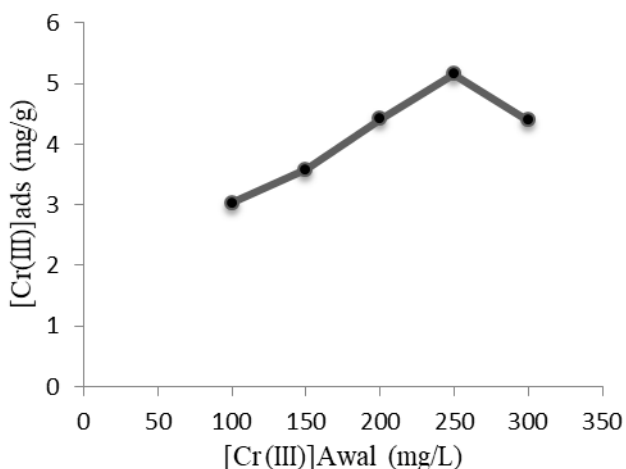
Berdasarkan gambar 2. Jika spectrum FTIR dari biomassa alga hijau *Mougeotia* sp. yang dimodifikasi sebelum kontak dibandingkan dengan setelah kontak logam berat Cr³⁺ pada kondisi optimum, terlihat pergeseran pita serapan dari masing-masing gugus fungsinya. Pergeseran bilangan gelombang terjadi pada gugus fungsi O-H, C=O, C-O, C-N, dan N-H. Pergeseran bilangan gelombang ini mengindikasikan gugus fungsi tersebut berperan penting dalam penyerapan ion kromium (III). Berikut ini adalah table gambaran pergeseran spectrum FTIR yang terjadi.

Tabel 1. Pergeseran spektrum bilangan gelombang biomassa yang telah dimodifikasi dengan methanol

sebelum kontak Cr ³⁺ (cm ⁻¹)	setelah kontak Cr ³⁺ (cm ⁻¹)	Pergeseran	Ket
3335,35	3333,93	1,42	O-H
1640,98	1638,72	2,26	C=O
1034,34	1039,77	5,43	C-O
1331,10	1333,90	2,8	C-N
1534,64	1537,55	2,91	N-H

B. Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan

Konsentrasi awal larutan logam merupakan faktor yang mempengaruhi kesetimbangan penyerapan ion logam. Semakin tinggi konsentrasi larutan ion logam maka peluang terjadinya biosorpsi juga semakin besar. Pengaruh konsentrasi awal larutan berguna untuk memperoleh informasi mengenai konsentrasi minimum yang dibutuhkan oleh biomassa dalam mengikat ion logam berat secara maksimal sampai dengan keadaan setimbang. Optimasi dilakukan dengan menggunakan 0,5 gram biomassa alga hijau *Mougeotia* sp. dengan variasi konsentrasi awal larutan (100, 150, 200, 250, dan 300 mg/L) pada pH 5 selama 60 menit pada kecepatan 200 rpm. Hasil yang diperoleh dimuat pada gambar berikut ini:



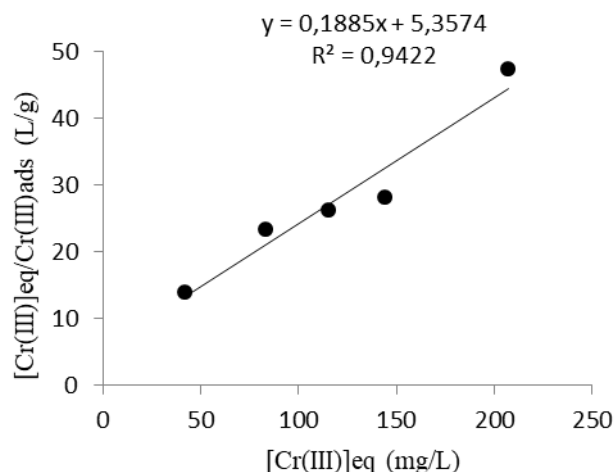
Gambar 3. Pengaruh konsentrasi awal larutan logam Cr³⁺ pada serapan biomassa alga hijau *Mougeotia* sp. (0,5 gram biomassa, 25 mL larutan logam Cr³⁺, 200 rpm selama 60 menit pada pH 5)

Berdasarkan gambar 3. dapat dilihat bahwa grafik terus meningkat sampai konsentrasi larutan ion logam Cr³⁺ 250 mg/L. Semakin tingginya konsentrasi larutan logam Cr³⁺ maka daya serapan dari biomassa alga hijau *Mougeotia* sp. juga semakin meningkat sampai keadaan setimbang. Hal ini dapat terjadi karena, situs aktif yang terdapat pada permukaan biosorben belum jenuh dengan ion logam Cr³⁺. Selanjutnya, pada konsentrasi 300 mg/L kapasitas serapan dari biosorben menurun karena situs aktif pada permukaan biosorben telah

jenuh oleh ion logam yang terserap, maka peningkatan konsentrasi tidak lagi meningkatkan penyerapan. ini semua terjadi karena pusat aktif (gugus fungsi) pada biosorben sudah tidak mampu lagi megikat ion logam berat [12].

Peningkatan konsentrasi biomassa umumnya meningkatkan jumlah ion logam yang terserap karena peningkatan luas permukaan biosorben akibatnya meningkatkan jumlah situs pengikatan yang tersedia. Penurunan kapasitas penyerapan pada konsentrasi tinggi terjadi akibat jumlah ion logam dalam larutan tidak sebanding dengan jumlah partikel sorben yang tersedia sehingga sorben akan mencapai titik jenuh dan kapasitas penyerapan berkurang [28]. Selain itu, besarnya konsentrasi akan meningkatkan jumlah molekul dari logam berat dalam larutan, sehingga semakin sering terjadinya tumbukan antara molekul [29].

Dari data yang yang diperoleh jumlah ion logam kromium (III) yang terserap maksimum oleh biomassa alga hijau *Mougeotia* sp. terjadi pada konsentrasi 250 mg/L sebesar 5,5130 mg/g. Bila data yang diperoleh diplotkan ke dalam persamaan Isoterm Langmuir akan menghasilkan kurva linear seperti yang terlihat pada gambar berikut ini:



Gambar 4. Kurva linieritas Isoterm Langmuir penyerapan Cr³⁺

Dalam teori Isoterm Langmuir menggambarkan bahwa pada permukaan biosorben terdapat sejumlah pusat aktif yang sebanding dengan luas permukaan biosorben. Pada setiap pusat aktif hanya satu molekul atau satu ion logam yang dapat terserap. Apabila terbentuk ikatan kimia antara zat terserap (ion logam berat Cr³⁺) dengan pusat aktif biosorben (biomassa alga hijau *Mougeotia* sp.) dan membentuk lapisan tunggal pada permukaan biosorben maka penyerapan akan terjadi [30]. Berdasarkan perhitungan teoritis Isoterm Langmuir, diperoleh kapasitas serapan maksimum (qm) 5, 3050 mg/g biomassa dan konstanta afinitas serapan 0,03518 L/g dengan nilai koefisien regresi (R²) sebesar 0,9422.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Karakterisasi menggunakan spectrum FTIR memperlihatkan terjadinya pergeseran bilangan gelombang dari gugus fungsi pada biomassa alga hijau *Mougeotia* sp. murni, dan alga modifikasi setelah dikontak dengan ion logam Cr^{3+} .
2. Kondisi penyerapan optimum biomassa alga hijau *Mougeotia* sp. yang dimodifikasi dengan methanol terjadi pada konsentrasi 250 mg/L dengan Kapasitas serapan maksimum (Qm) sebesar 5,3050 mg/g.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah ikut serta dalam penulisan ini dan para penulis artikel rujukan utama

REFERENCE

- [1] V. C. Srivastava, I. D. Mall, and I. M. Mishra, "Characterization of mesoporous rice husk ash (RHA) and adsorption kinetics of metal ions from aqueous solution onto RHA," *J. Hazard. Mater.*, vol. 134, no. 1–3, pp. 257–267, 2006, doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.11.052.
- [2] Suhendrayatna, "Bioremoval Logam Berat Dengan Menggunakan Microorganisme: Suatu Kajian Kepustakaan (Heavy Metal Bioremoval by Microorganisms: A Literature Study)," *Bioteknologi untuk Indones. Abad 21*, pp. 1–9, 2001.
- [3] Winarno. 1997. "Kimia Pangan dan Gizi." Jakarta: Gramedia.
- [4] M. Ur Rahman, S. Gul, and M. Z. Ul Haq, "Reduction of chromium (VI) by locally isolated *Pseudomonas* sp. C-171," *Turkish J. Biol.*, vol. 31, no. 3, pp. 161–166, 2007.
- [5] A. Sengupta and D. Clifford, "Chromate ion exchange mechanism for cooling water," *Ind. Eng. Chem.*, no. 1961, pp. 249–258, 1986, [Online]. Available: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/i100022a012>.
- [6] M. Mawardi, E. Munaf, S. Kosela, and W. Wibowo, "Pemisahan Ion Krom(III) Dan Krom(VI) Dalam Larutan Dengan Menggunakan Biomassa Alga Hijau *Spirogyra* Subsalsas Sebagai Biosorben," *Reaktor*, vol. 15, no. 1. p. 27, 2014, doi: 10.14710/reaktor.15.1.27-36.
- [7] M. Mawardi, E. Munaf, S. Kosela, W. Wibowo, and R. Zainul, "Study of Pb(II) biosorption from aqueous solution using immobilized *Spirogyra* subsalsas biomass," *J. Chem. Pharm. Res.*, vol. 7, no. 11, pp. 715–722, 2015.
- [8] E. Ratnawati, R. Ermawati, and S. Naimah, "Teknologi Biosorpsi oleh Mikroorganisme, Solusi Alternatif untuk Mengurangi Pencemaran Logam Berat," *J. Kim. dan Kemasan*, vol. 32, no. 1, p. 34, 2010, doi: 10.24817/jkk.v32i1.2739.
- [9] R. A. Anayurt, A. Sari, and M. Tuzen, "Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies on biosorption of Pb (II) and Cd (II) from aqueous solution by macrofungus (*Lactarius scrobiculatus*) biomass," *Chem. Eng. J.*, vol. 151, no. 1–3, pp. 255–261, 2009, doi: 10.1016/j.cej.2009.03.002.
- [10] M. Mawardi, E. Munaf, S. Kosela, W. Wibowo, and R. Zainul, "Research Article Study of Pb (II) biosorption from aqueous solution using immobilized *Spirogyra* subsalsas biomass," *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research.*, vol. 7, no. 11, pp. 715–722, 2015.
- [11] J. Wang and C. Chen, "Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: A review," *Biotechnol. Adv.*, vol. 24, no. 5, pp. 427–451, 2006, doi: 10.1016/j.biotechadv.2006.03.001.
- [12] M. Mawardi, "Biosorpsi Kation Tembaga (II) dan Seng (II) oleh Biomassa Alga Hijau *Spirogyra* subsalsas," *J. Biota*, vol. 16, no. 2, pp. 269–277, 2011, doi: 10.24002/biota.v16i2.109.
- [13] L. Brinza, M. J. Dring, and M. Gavrilescu, "Marine micro and macro algal species as biosorbents for heavy metals," *Environ. Eng. Manag. J.*, vol. 6, no. 3, pp. 237–251, 2007, doi: 10.30638/eemj.2007.029.
- [14] A. Çelekli, E. Gültekin, and H. Bozkurt, "Morphological and Biochemical Responses of *Spirogyra* setiformis Exposed to Cadmium," *Clean - Soil, Air, Water*, vol. 44, no. 3, pp. 256–262, 2016, doi: 10.1002/clen.201400434.
- [15] V. K. Gupta and A. Rastogi, "Biosorption of lead from aqueous solutions by green algae *Spirogyra* species: Kinetics and equilibrium studies," vol. 152, pp. 407–414, 2008, doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.07.028.
- [16] W. W. Purwanto and S. Nughoro, "Monoksida Menggunakan Model Adsorpsi Isotermis Langmuir," vol. 14, no. 3, 2013.
- [17] H. Zaini, "Penyisihan Pb (II) Dalam Air Limbah Laboratorium Kimia Sistem Kolom Dengan Bioadsorben Kulit Kacang Tanah," *ETHOS (Jurnal Penelit. dan Pengabdian)*, no. Ii, p. 8, 2017, doi: 10.29313/ethos.v0i0.2220.
- [18] T. A. Davis, B. Volesky, and A. Mucci, "A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae," *Water Res.*, vol. 37, no. 18, pp. 4311–4330, 2003, doi: 10.1016/S0043-1354(03)00293-8.
- [19] W. M. Ibrahim, "Biosorption of heavy metal ions from aqueous solution by red macroalgae," *J. Hazard. Mater.*, vol. 192, no. 3, pp. 1827–1835, 2011, doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.07.019.
- [20] E. T. Sulaksana, N., Sukiyah, E., Sjafrudin, A. dan Haryanto, "Bionatura-Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik ISSN 1411 - 0903," vol. 16, no. 2, pp. 95–102, 2014.
- [21] A. Kapoor and T. Viraraghavan, "Biosorption of

- heavy metals on *Aspergillus niger*: Effect of pretreatment,” *Bioresour. Technol.*, vol. 63, no. 2, pp. 109–113, 1998, doi: 10.1016/S0960-8524(97)00118-1.
- [22] M. Mawardi, “Review Process Biosorption Lead (II) By Algae *Spirogyra* Subsalsa Biomass Through Modification of Carboxyl and Carbonyl groups,” no. July 2014, 2015.
- [23] K. J. Tiemann *et al.*, “Use of X-ray absorption spectroscopy’ and esterification to investigate Cr(III) and Ni(II) ligands in alfalfa biomass,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 33, no. 1, pp. 150–154, 1999, doi: 10.1021/es9804722.
- [24] M. Mawardi, Nazulis. Z. Kurniawati, “Kajian Proses Biosorpsi Timbal (II) Oleh Biomass Alga *Spirogyra* Subsalsa,” no. 1. December, 2015.
- [25] R. H. Crist, O. Karl, M. Jane, J. K. Johnson, and M. Michael Brlttsan, “Interaction of Metals and Protons with Algae. 3. Marine Algae, with Emphasis on Lead and Aluminum,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 26, no. 3, pp. 496–502, 1992, doi: 10.1021/es00027a007.
- [26] U. S. Ramelow, C. N. Guidry, and S. D. Fisk, “A kinetic study of metal ion binding by biomass immobilized in polymers,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 46, no. 1, pp. 37–55, 1996, doi: 10.1016/0304-3894(95)00104-2.
- [27] A. R. Iftikhar, H. N. Bhatti, M. A. Hanif, and R. Nadeem, “Kinetic and thermodynamic aspects of Cu (II) and Cr (III) removal from aqueous solutions using rose waste biomass,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 161, no. 2–3, pp. 941–947, 2009, doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.04.040.
- [28] A. Wijayanti, E. B. Susatyo, C. Kurniawan, and Sukarjo, “Adsorpsi Logam Cr (VI) dan Cu (II) pada Tanah dan Pengaruh Penambahan Pupuk Organik,” *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 7, no. 3, 2018.
- [29] L. Overah, “Biosorption of Cr (III) from aqueous solution by the leaf biomass of *Calotropis procera* – ‘Bom bom,’” *J. Appl. Sci. Environ. Manag.*, vol. 15, no. 1, 2011, doi: 10.4314/jasem.v15i1.65681.
- [30] I. Ismail and T. Moustafa, “Biosorption of heavy metals,” *Heavy Met. Sources, Toxic. Remediat. Tech.*, no. November, pp. 131–174, 2016, doi: 10.1201/9781315364339-6.