

Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Penyerapan Ion Logam Cr⁺⁶ Menggunakan Biomassa Alga Hijau (*Mougeotia sp*)

Diah Febriani Saputri, Mawardi*

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang, Indonesia Telp. 0751 7057420

*mawardianwar@fmipa.unp.ac.id

Abstract — Chromium(VI) is a dangerous pollutant that the United States Environmental Protection Agency (US EPA) has identified as disturbing humans because of its toxicity. Even Cr (VI) is one of the most common pollutants is at number three in waters near industries. For this reason it is necessary to limit and overcome Cr (VI) in the waters. Biosorption is present as an alternative that can remove pollutants in waters by utilizing abundant natural materials. Green alga is one the natural materials used for biosorption. This is because the functional groups that exist on the surface of the cell walls play an important role in binding metals such as amides, amines, hydroxyl, carbonyl and carboxyl. This research was conducted using the Batch method with variations in contact time. The result showed that the optimum condition of contact time was 60 minutes with adsorption of 4,122 mg/ g. The characterization of green algae (*Mougeotia sp*) using FTIR was carried out to see the functional groups that play a role in adsorption Cr⁺⁶.

Keywords — Biosorption, Green Algae (*Mougeotia sp*), metal ion Cr⁺⁶, contact time.

I. PENGANTAR

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat, memberikan kemakmuran dalam perkembangan industri. Namun perkembangan dari industri ini tidak hanya memberikan dampak positif bagi masyarakat dalam memenuhi kebutuhan yang semakin meningkat, namun juga memberikan dampak negatif berupa terjadinya pencemaran perairan.

Pencemaran perairan dapat terjadi disebabkan karena limbah organik dan anorganik dibuang ke perairan tanpa ada pengolahan yang baik dari industri atau diolah tetapi kadar polutan dibuang ke perairan masih diatas mutu. Penyebab lainnya yang dapat menyebabkan pencemaran perairan yaitu adanya kebocoran dari pengolahan pabrik industri yang berada didekat perairan, limbah rumah tangga yang dibuang ke perairan dan proses alam (sedimentasi). Hal inilah yang dapat memicu terjadi pencemaran perairan sehingga mengakibatkan terganggunya ekosistem perairan.

Salah satu contoh pencemaran yang sering ditemukan di perairan yaitu polutan logam. Polutan logam merupakan salah satu masalah isu global yang sangat serius, dikarenakan sifat dari logam itu sendiri bersifat non-biodegradable dan memiliki kemampuan terakumulasi dalam tubuh organisme, karena tidak bisa dicerna didalam tubuh sehingga diteruskan dalam sistem pencernaan makan dan menyebabkan terakumulasi dalam tubuh.

Kromium merupakan salah satu polutan logam yang sering ditemukan di perairan dalam bentuk dua valensi yaitu Cr⁺⁶ dan Cr⁺³ yang memiliki sifat fisik kimia, ketersediaan dan toksitas yang berbeda. Ion logam Cr⁺⁶ 100 kali lipat lebih toksik dibandingkan Cr⁺³ [1]; [2]; [3]. Hal ini dikarenakan Cr⁺⁶ merupakan pengoksidasi kuat [1]; [4], sehingga dapat mengoksidasi protein dan DNA dan menyebabkan DNA mengalami mutasi. Ion logam Cr⁺⁶ tidak hanya menyebabkan mutasi DNA tetapi juga dapat mempengaruhi kesehatan reproduksi dan dapat memicu bayi yang lahir cacat [1].

Badan Pelindungan Lingkungan Amerika Serikat (US EPA) mengidentifikasi Cr⁺⁶ merupakan salah satu dari delapan bahan kimia yang berbahaya dapat menimbulkan ancaman bagi kesehatan manusia dan ekosistem perairan mengingat ketoksikannya yang tinggi [5]. Sedangkan Badan Internasional Penelitian Kanker menempatkan Cr⁺⁶ sebagai grup I yang dapat menyebabkan karsinogen bagi manusia. Cr (VI) merupakan polutan logam terbanyak yang berada di nomor tiga yang umumnya ditemukan di lokasi pembuangan limbah dari industri [1]. Industri yang umumnya menggunakan kromium sebagai baku adalah industri metalurgi, elektroplating, penyamakan kulit, pengawetan kayu, pembuatan baja tahan karat, cat, pulp dan kertas [5]. Berdasarkan dampak negatif dari Cr⁺⁶ telah dipaparkan maka perlunya penanggulangan ion logam Cr⁺⁶ di perairan.

Proses penanggulangan logam diperairan telah banyak dikembangkan, salah satu contohnya penanggulangan dengan cara kimia yaitu pertukaran ion [6], teknologi membran, osmosis terbalik [7], pengendapan logam dengan ion hidroksida [8], elektrokimia [9] dan adsorpsi [10]. Proses penanggulangan logam yang banyak mendapat perhatian dan banyak dikembangkan adalah biosorpsi.

Biosorpsi adalah memanfaatkan material organik untuk menyerap logam diperairan. Secara umum keuntungan dari biosorpsi yaitu biaya rendah, kapasitas pengikatan logam tinggi dan penanganan sampel mudah / tidak ribet [11]. Biomassa yang dapat digunakan sebagai biosorpsi yaitu alga (Mawardi, 2011), ragi, jamur [12], dan baketri [13]. Beberapa biomassa yang telah dipaparkan memang dapat digunakan untuk menghilangkan polutan logam berat diperairan, tetapi ketersediaan biomassa adalah faktor utama yang harus diperhatikan dalam biosorpsi. Untuk itu, biomassa tepat digunakan adalah alga hijau. Karena Alga merupakan salah satu biomassa ideal. Syarat biomassa dikategorikan sebagai biomassa ideal adalah ketersediaan melimpah.

Alga hijau (Chlorophyta) adalah merupakan spesies yang melimpah di air tawar dan air laut [14]. Selain ketersediaan melimpah alga juga preparasi sampel (penanganan sampel) mudah, tidak menimbulkan limbah beracun, lebih murah dan memiliki kapasitas serapan luar biasa. Kapasitas serapan alga luar biasa ini disebabkan karena makromolekul penyusun dinding terdiri dari selulosa, pektin dan glikoprotein pada permukaan dinding sel. Makromolekul penyusun dinding sel ini mengandung gugus fungsi yang berperan penting dalam pengikatan logam seperti amida, amina, hidroksil, karboksil, karbonil dan sulfat yang bertindak sebagai situs aktif dalam pengikatan logam [15]; [16] [17].

Alga hijau tidak hanya digunakan untuk menghilangkan polutan logam [18], namun juga dapat digunakan dalam menghilangkan limbah obat-obatan [19] dan zat warna [20].

II. METODE PENELITIAN

A. Alat

Peralatan yang digunakan adalah neraca analitik (kapasitas 220 g, resolusi 0,0001 g), kertas saring whatman 41, ayakan (ukuran 150 μm dan 250 μm), shaker (Gemmy Orbit Shaker mode VRN-480 616899), magnetic stirrer, blender, kapas, peralatan glass, botol semprot, oven, 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, Kayu Tanam yang telah diidentifikasi di Laboratorium Botani Jurusan Biologi Universitas Negeri Padang, aquades, ion logam Cr^{+6} dalam K_2CrO_4 , HNO_3 1 % (Merck KGaA), NH_3 25% (Merck KGaA), asam klorida (HCl pa) 36 %, dan metanol (CH_3OH).

C. Persiapan Biomassa

Alga hijau (*Mougeotia* sp) digunakan sebagai biomassa dibersihkan terlebih dahulu dengan aquades dan dikeringkan di udara terbuka tanpa terkena cahaya matahari. Biomassa yang telah dikeringkan dihaluskan dengan blender. Kemudian diayak dengan ukuran 250 μm dan 150 μm . setelah diayak, biomassa direndam dengan menggunakan HNO_3 1 % selama 2 jam. Kemudian disaring dan dicuci dengan aquades sampai pH biomassa netral. Biomassa yang telah netral, selanjutnya dikeringkan dengan oven dengan antara suhu 60 - 80 $^\circ\text{C}$ selama 24 jam hingga diperoleh biomassa kering. Biomassa yang telah kering disimpan didesikator dan siap digunakan sebagai biosorben dalam penelitian.

D. Penentuan Waktu Kontak

Disiapkan 25 ml larutan Cr^{+6} dengan pH 2 dan konsentrasi 250 mg/L. Kemudian ditambahkan 0.5 gram biomassa dan diheker dengan kecepatan 200 rpm dengan variasi pengadukan 10, 30, 60, 90 dan 120 menit. Kemudian disaring untuk mendapatkan filtrat dan diukur menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

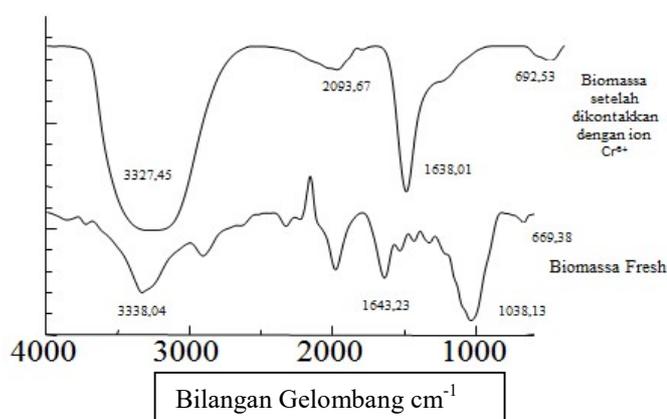
III. PEMBAHASAN

Pearson(1963) menyatakan bahwa permukaan padatan pada situs aktif (biosorben) dapat mengikat logam secara selektif. Dimana Pearson beranggapan bahwa situs aktif (Biosorben) dapat dianggap sebagai ligan dan logam sebagai atom pusat [21]. Hal inilah yang dapat menyebabkan terjadinya biosorpsi dengan menggunakan material alam. Dimana material alam yang digunakan adalah alga hijau (*Mougeotia* sp). Alga hijau memiliki pasangan elektron bebas ada pada gugus fungsi terdapat dalam makromolekul penyusun dinding sel. Dimana nantinya gugus fungsi ini yang berperan sebagai biosorben [22]. Dinding sel alga hijau terdiri dari makromolekul seperti selulosa, pektin dan glikoprotein pada ada permukaan dinding sel alga. Gugus fungsi yang terdapat pada makromolekul penyusun dinding sel alga seperti amida, amina, hidroksil, karboksil, karbonil dan sulfat yang

berperan penting dalam pengikatan logam [15] [16]. Untuk melihat peranan gugus fungsi maka dalam percobaan dilakukan krakterisasi alga hijau (*Mougeotia sp*) dengan menggunakan instrument FTIR. Kemudian dilakukan variasi waktu kontak untuk melihat penyerapan Cr^{+6} dari pengaruh waktu kontak.

A. Hasil Spktrum FTIR biomassa alga hijau (*Mougeotia sp*) sebelum dikontakkan dan setal dikontakkan dengan Cr^{+6}

FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang berperan penting dalam penyerapan, kemudian melihat perbandingan alga sebelum dikontakkan dengan logam dengan alga setelah yang telah dikontakkan dengan ion logam $Cr(VI)$ dalam kondisi optimum penyerapan. Hasil seprtrum FTIR yang diperoleh adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Spektra FTIR alga hijau (*Mougeotia sp*) fresh dan setelah dikontakkan dengan ion logam Cr^{+6}

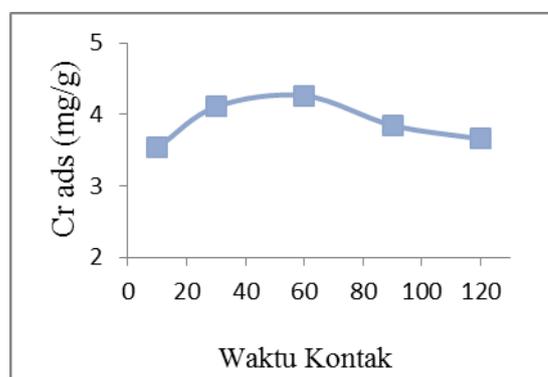
Hasil sepktrum yang diperoleh pada alga (*Mougeotia sp*) sebelum dikontakkan dengan Cr^{+6} yaitu terlihat pada panjang gelombang 3860,48 dan 3730,27 cm^{-1} intensitas IR yang didapatkan dinyatakan puncak peregangan dari getaran N-H amida. Pita perluasan IR yang diamati pada panjang gelombang 3336,04 cm^{-1} dikenali vibrasi ulur dari O – H (karbosilat) dan N – H . Puncak disekitar panjang gelombang 2911,92 cm^{-1} merupakan peregangan getaran C–H. Pada panjang gelombang 2331,24 cm^{-1} merupakan peregangan dari getaran $C\equiv N$, sedangkan pada panjang gelombang 1643,23 cm^{-1} dan 1536,45 cm^{-1} merupakan peregangan yang menunjukkan dari peregangan getaran C = O dan C – N. Puncak sepektra IR yang diamati pada 1038,13 cm^{-1} merupakan peregangan getaran dari C– O. Krakterisasi dari biomassa dari filum yang sama dilaporkan oleh [23]; [24].

Hasil spektrum FTIR biomssa *Mougeotia sp.* yang telah dikontakkan Cr^{+6} jika dibandingkan dengan biomassa sebelum dikontakkan kation logam Cr^{+6} , terlihat ada perubahan dimana intensitas puncak yang dihasilkan menurun yaitu dapat

dilihat pada panjang gelombang 3338,04 cm^{-1} mengalami pergeseran 3227,45 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur dari O–H (karbosil). Pada panjang gelombang 2331,24 cm^{-1} bergeser ke 2093,67 cm^{-1} merupakan intesitas puncak dari vibrasi ulur $C\equiv N$. Pita IR serapan C=O pada panjang gelombang 1643,23 cm^{-1} bergeser ke 1638,01. Berdasarkan riset [19] mengemukakan bahwa spektra IR yang mengalami penurunan intensitas puncak dan gugus fungsi yang menghilang dari spektra IR merupakan gugus fungsi yang berperan penting dalam penyerapan ion logam. Dimana data spekta IR yang diperoleh dari percobaan yaitu gugus fungsi yang mengalami penurunan intensitas puncak adalah O-H, $C\equiv N$ dan C=O. Sedangkan gugus yang menghilang seperti N-H, C-N dan C-O.

B. Pengaruh waktu kontak terhadap peneyerapan Cr^{+6} menggunakan biomassa alga hijau (*Mougeotia sp*)

Waktu kontak dapat mempengaruhi efensiensi bisorpsi dimana waktu kontak merupakan salah satu parameter penting yang mempengaruhi dalam biosorpsi [25]; [26]. Waktu kontak digunakan untuk melihat berapa lama waktu yang dibutuhkan oleh situs aktif (biosorben) untuk dapat berikatan secara maksimum dengan kation logam [27] [28]. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan ion logam Cr^{+6} oleh biomassa dari *Mougeotia sp.* dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini :



Gambar 2. Spektra FTIR alga hijau (*Mougeotia sp*) fresh dan setelah dikontakkan dengan ion logam Cr^{+6}

Berdasarkan gambar 2. Menunjukkan bahwa Laju biosorpsi meningkat sejalan dengan meningkatnya waktu kontak hingga mencapai optimum. Dalam riset [29] mengemukakan bahwa laju biosorpsi meningkat dengan sejalan meningkatnya waktu disebabkan karena permukaan biosorben masih memiliki penyerapan yang besar dalam mengikat kation logam hingga mencapai waktu optimum. Waktu optimum yang didapatkan dari percobaan yaitu 60 menit terhadap logam Cr^{+6} dengan penyerapan yang diperoleh

yaitu 4,261 mg/g. Setelah mencapai penyerapan optimum, penyerapan dari biomassa mengalami penurunan. Berdasarkan riset [30] mengemukakan penyebab menurunnya penyerapan ion logam karena situs aktif telah mengalami kejenuhan, dimana terjadinya peristiwa desorpsi yaitu terlepasnya sebagian kecil kation logam yang telah diserap dari biosorben, sehingga menyebabkan turunnya kapasitas penyerapan dengan bertambah waktu pengkontakannya.

Pada [31] waktu optimum yang didapatkan adalah 60 menit dengan kapasitas penyerapan yang diperoleh adalah 98,1 %. Selain itu [29] juga melaporkan waktu optimum yang didapatkan adalah 60 menit dengan kapasitas penyerapan 60 %.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian pengaruh waktu kontak terhadap ion logam Cr⁺⁶ menggunakan biomassa alga hijau *Mougeotia sp* dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan kondisi optimum yang didapatkan dari variasi waktu kontak yaitu 60 menit dengan kapasitas penyerapan 4.261 mg/g.
- 2) Dalam biosorpsi gugus fungsi yang ada pada permukaan dinding sel biomassa berperan penting dalam penyerapan ion logam Cr⁺⁶ dimana dapat dilihat dari hasil spektra FTIR setelah dikontakkan dengan ion logam Cr⁺⁶ terjadi penurunan intensitas puncak dan ada beberapa gugus yang menghilang dari spektrum FTIR.

UCAPAN TERIMA KASIH

- Bapak Dr. Mawardi, M. Si sebagai pembimbing penelitian.
- Ibuk Fitri Amelia, S. Si, M. Si sebagai Ketua Jurusan Jurusan Kimia UNP.
- Umar Kalmar Nizar, S. Si, M. Si, Ph. D sebagai Ketua Program Studi Kimia FMIPA UNP.

REFERENSI

- [1] H. Haroon *et al.*, "Activated carbon from a specific plant precursor biomass for hazardous Cr(VI) adsorption and recovery studies in batch and column reactors: Isotherm and kinetic modeling," *J. Water Process Eng.*, vol. 38, no. July, p. 101577, 2020.
- [2] C. Liu, N. Fiol, I. Villaescusa, and J. Poch, "New approach in modeling Cr(VI) sorption onto biomass from metal binary mixtures solutions," *Sci. Total Environ.*, vol. 541, pp. 101–108, 2016.
- [3] Mawardi and R. K. Nisa, "Optimasi Tanah Napa sebagai Adsorben Ion Logam Kromium (IV)," *J. Period.*, vol. 2, no. 1, pp. 46–50, 2013.
- [4] I. Aharchaou, M. Rosabal, F. Liu, E. Battaglia, D. A. L. Vignati, and C. Fortin, "Bioaccumulation and subcellular partitioning of Cr(III) and Cr(VI) in the freshwater green alga *Chlamydomonas reinhardtii*," *Aquat. Toxicol.*, vol. 182, pp. 49–57, 2017.
- [5] R. Jobby, P. Jha, A. K. Yadav, and N. Desai, "Biosorption and biotransformation of hexavalent chromium [Cr(VI)]: A comprehensive review," *Chemosphere*, vol. 207. Elsevier Ltd, pp. 255–266, 2018.
- [6] A. Setyawan, D. Aji, and S. Purnomo, "Pengolahan limbah radioaktif cair menggunakan kolom penukar ion," *Bul. Limbah*, vol. 13, no. 2, pp. 1–9, 2016.
- [7] S. Agustina, "Teknologi Membran Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri," *Bull. Penelit.*, vol. 28, pp. 18–24, 2006.
- [8] R. K. Sanjaya Ayu, "Optimasi Kondisi Proses Pengendapan Hidroksida Logam - Logam Berat Kromium Dan Nikelsecara Bertingkat Dalam Limbah Cair Elektroplating Hayu," *J. Ilm. Tingang*, vol. 2, pp. 150–165, 2018.
- [9] A. Haris, A. D. Riyanti, and G. Gunawan, "Pengendapan Logam Tembaga dengan Metoda Elektrolisis Internal," *J. Kim. Sains dan Apl.*, vol. 8, no. 2, pp. 33–38, 2005.
- [10] I. Syaunqiah, M. Amalia, and H. A. Kartini, "Analisis Variasi Waktu Dan Kecepatan Pengaduk Pada Proses Adsorpsi Limbah Logam Berat Dengan Arang Aktif," *Info Tek.*, vol. 12, no. 1, pp. 11–20, 2011.
- [11] C. Lapik, "BIOSORPSI LOGAM BERAT Cr (VI) DENGAN MENGGUNAKAN BIOMASSA SACCHAROMYCES CEREVISIAE," *J. Tugas Akhir*, pp. 1–10, 2017.
- [12] F. Dimawartina, T. Panji, and S. Mulyoprawiro, "Biosorpsi ion merkuri menggunakan jamur pelapuk putih imobil [Biosorption of mercury ion using immobile white-rot fungi]," *E-Journal Menara Perkeb.*, vol. 85, no. 1, pp. 28–36, 2017.
- [13] A. M. Abdel -Aty, N. S. Ammar, H. H. Abdel Ghafar, and R. K. Ali, "Biosorption of cadmium and lead from aqueous solution by fresh water alga *Anabaena sphaerica* biomass," *J. Adv. Res.*, vol. 4, no. 4, pp. 367–374, 2013.
- [14] S. Y. Cheng, P. L. Show, B. F. Lau, J. S. Chang, and T. C. Ling, "New Prospects for Modified Algae in Heavy Metal Adsorption," *Trends in Biotechnology*, vol. 37, no. 11. Elsevier Ltd, pp. 1255–1268, 2019.
- [15] Y. C. Lee and S. P. Chang, "The biosorption of heavy metals from aqueous solution by *Spirogyra* and *Cladophora* filamentous macroalgae," *Bioresour. Technol.*, vol. 102, no. 9, pp. 5297–5304, 2011.
- [16] A. K. Zeraatkar, H. Ahmadzadeh, A. F. Talebi, N. R. Moheimani, and M. P. McHenry, "Potential use of algae for heavy metal bioremediation, a critical review," *J. Environ. Manage.*, vol. 181, pp. 817–831, 2016.

- [17] (2014) Mawardi et al., "Larutan Dengan Menggunakan Biomassa Alga," *Pemisahan Ion Krom(II) Dan Krom(IV) Dalam Larutan Dengan Menggunakan Biomassa Alga Hijau Spirogyra Subsalsa Sebagai Biosorben*, vol. 15, no. 1, pp. 27–36, 2014.
- [18] M. Mar, S. Hanela, J. Duran, and S. Afonso, "Biosorption of Cu (II), Zn (II), Cd (II) and Pb (II) by dead biomasses of green alga *Ulva lactuca* and the development of a sustainable matrix for adsorption implementation," *J. Hazard. Mater.*, vol. 213–214, pp. 123–132, 2012.
- [19] M. E. M. Ali, A. M. Abd El-Aty, M. I. Badawy, and R. K. Ali, "Removal of pharmaceutical pollutants from synthetic wastewater using chemically modified biomass of green alga *Scenedesmus obliquus*," *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 151, no. June 2017, pp. 144–152, 2018.
- [20] M. Kousha, E. Daneshvar, M. S. Sohrabi, M. Jokar, and A. Bhatnagar, "Adsorption of acid orange II dye by raw and chemically modified brown macroalga *Stoechospermum marginatum*," *Chem. Eng. J.*, vol. 192, pp. 67–76, 2012.
- [21] A. Amri, Supranto, and M. Fahrurrozi, "Keseimbangan Adsorpsi Optimal Campuran Biner Cd (II) dan Cr (III) dengan Zeolit Alam Terimpregnasi 2-merkaptobenzotiazol," *J. Natur Indonesia*, vol. 6, no. 2, pp. 111–117, 2004.
- [22] dan K. Mawardi, Nazulis. Z., "Kajian proses biosorpsi timbal(ii) oleh biomass alga," *Bionatura J. Ilmu Hayati dan Fis.*, vol. 16, no. 2, pp. 114–118, 2014.
- [23] Mawardi, "Biosorption of Cupper (II) and Zinc (II) Cations By Green Algae *Spirogyra subsalsa* Biosorpsi Kation Tembaga (II) dan Seng (II) oleh Biomassa Alga Hijau *Spirogyra subsalsa* Biosorption of Cupper (II) and Zinc (II) Cations By Green Algae *Spirogyr*," *J. Biota*, vol. 16, no. June 2011, pp. 269–277, 2011.
- [24] U. A. Guler and M. Sarioglu, "Single and binary biosorption of Cu(II), Ni(II) and methylene blue by raw and pretreated *Spirogyra* sp.: Equilibrium and kinetic modeling," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 1, no. 3, pp. 369–377, 2013.
- [25] H. T. Tran *et al.*, "Heavy metal biosorption from aqueous solutions by algae inhabiting rice paddies in Vietnam," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 2529–2535, 2016.
- [26] W. M. Ibrahim, A. F. Hassan, and Y. A. Azab, "Biosorption of toxic heavy metals from aqueous solution by *Ulva lactuca* activated carbon," *Egypt. J. Basic Appl. Sci.*, vol. 3, no. 3, pp. 241–249, 2016.
- [27] C. M. Bijang, J. Latupeirissa, and M. Ratuhanrasa, "Biosorption of Copper Metal Ions (Cu²⁺) On Brown Seaweed (*Padina australis*) Biosorbent," *Indo. J. Chem. Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 538–549, 2018.
- [28] R. Tabaraki, A. Nateghi, and S. Ahmady-Asbchin, "Biosorption of lead (II) ions on *Sargassum ilicifolium*: Application of response surface methodology," *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 93, pp. 145–152, 2014.
- [29] A. A. Al-Homaidan, H. S. Al-Qahtani, A. A. Al-Ghanayem, F. Ameen, and I. B. M. Ibraheem, "Potential use of green algae as a biosorbent for hexavalent chromium removal from aqueous solutions," *Saudi J. Biol. Sci.*, vol. 25, no. 8, pp. 1733–1738, 2018.
- [30] M. M. Montazer-Rahmati, P. Rabbani, A. Abdolali, and A. R. Keshtkar, "Kinetics and equilibrium studies on biosorption of cadmium, lead, and nickel ions from aqueous solutions by intact and chemically modified brown algae," *J. Hazard. Mater.*, vol. 185, no. 1, pp. 401–407, 2011.
- [31] A. H. Shobier, M. M. El-Sadaawy, and G. F. El-Said, "Removal of hexavalent chromium by ecofriendly raw marine green alga *Ulva fasciata*: Kinetic, thermodynamic and isotherm studies," *Egypt. J. Aquat. Res.*, no. xxxx, 2020.