

Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan Terhadap Penyerapan Ion Logam Cr^{+6} Menggunakan Biomassa Alga Hijau *Mougeotia Sp* yang Diimobilisasi Dengan Natrium Silika

Mulya Dwi Arif, 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— Green Algae Biomass *Mougeotia Sp* was biosorbent used in absorption of heavy metal contained in industrial waste, because there was functional group bonded with heavy metal ions. However, there were drawbacks, namely: easily damaged by other microorganism. To improve the physical properties and algal chemistry it was need to immobilization on sodium silica. The aim of this study was to know about absorption and the maximum absorption capacity of metal ion Cr^{6+} by green algae *Mougeotia Sp* that immobilized using sodium silika with column contact technique and measured by atomic absorption spectrophotometer. The data obtained show the interaction between metal ions and algal biomass *Mougeotia Sp* which is mobilized on sodium silica obtained maximum concentration at 250 mg/L. The maximum absorption capacity at 7,5815 mg/g with absorption efficiency at 52,0653%. Next about the characterization using FTIR indicated the active functional group were silanol and siloxane banded carboxylates, carbonyl and amina. The metal ion biosorption Cr^{6+} used green algae biomass *Mougeotia Sp* that mobilized with sodium silica to satisfy the equation of isotherm langmuir with regression coefficient value (R^2) equal 0,9294.

Keywords: Biosorption, Metal Cr (VI), Green Algae *Mougeotia Sp*, Immobilization

I. PENDAHULUAN

Limbah industri, menjadi masalah menjadi masalah utama terhadap lingkungan. Salah satunya pencemaran ion logam yang disebabkan oleh ion kromium. Penggunaan kromium dalam berbagai industri seperti industri tekstil, cat dan lain-sebagainya. Namun efek yang ditimbulkan juga sangat berbahaya bagi kesehatan seperti mual, muntah dan bahkan dapat menyebabkan kanker pada makhluk hidup karena sifatnya yang toksik [1].

Ion kromium bersifat toksik dalam bentuk Cr^{+3} dan Cr^{+6} . Pada Cr^{+6} lebih berbahaya dari Cr^{+3} , karena Cr^{+3} digunakan dalam proses metabolisme pada mamalia seperti metabolisme lemak dan glukosa. Sedangkan Cr^{+6} bersifat beracun dan karsinogenik yang mudah larut dalam air [2]. Nilai ambang batas yang di perbolehkan untuk ion Cr^{6+} hanya 0,05 mg/L [3], karena sangat kecilnya batas konsentrasi yang diperbolehkan dan besarnya bahaya yang ditimbulkan, maka perlunya penanganan terhadap limbah cair logam tersebut sebelum disalurkan pada pembuangan yang akhirnya ke lingkungan.

Dalam larutan kromium dapat ditemukan Cr^{+3} dalam bentuk kationik, sedangkan Cr^{+6} berbentuk anion seperti : HCrO_4^- , CrO_4^{2-} dan $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ yang dapat membentuk ikatan

dengan gugus fungsi. Pada pH rendah gugus fungsi pada biomassa akan terprotonasi dan sebagian ion Cr^{6+} tereduksi membentuk kation Cr^{3+} . Senyawa yang terbentuk tergantung dari pH dan konsentrasi yang ada di dalam larutan sehingga dapat berinteraksi secara kimia [4].

Untuk menghilangkan pencemaran tersebut dapat dilakukan dengan berbagai metode yaitu pengendapan secara kimia, adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif dan proses penyaringan menggunakan membran merupakan metode konvensional yang mahal dan menghasilkan lumpur beracun. Oleh karena itu dilakukan suatu metode alternatif yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan karena menggunakan kemampuan mikroorganisme seperti alga, bakteri, ragi dan jamur serta beberapa biomaterial lainnya dalam menyerap logam berat adalah biosorpsi [5].

Biosorpsi adalah proses penyerapan dengan menggunakan biomassa sebagai biosorben untuk media penyerap, tidak bergantung pada metabolisme dan terjadi pada permukaan dinding sel dan permukaan eksternal lainnya dengan cara seperti: pertukaran ion, pembentukan kompleks, dan adsorpsi. Biosorpsi melibatkan berbagai interaksi seperti: interaksi ionik, polar atau kovalen, serta interaksi gabungan dan mineralisasi, antara logam dengan gugus fungsi yang terdapat pada permukaan biomassa seperti: hidroksil (-OH);

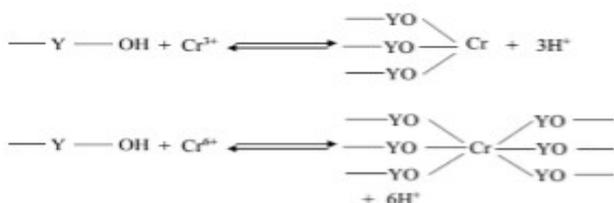
karboksil (-COOH); karbonil (-C=O), yang akan berikatan dengan ion logam [6] dan [7].

Biomassa yang digunakan adalah alga hijau karena memiliki kapasitas penyerapan yang tinggi, tersedia dalam jumlah banyak di alam dan ramah lingkungan serta tidak memerlukan tambahan nutrisi. Alga hijau memiliki dinding sel yang mengandung gugus fungsi seperti karboksil, hidroksil, amina, imidazole dan kelompok sulfat yang akan berikatan dengan ion logam [8] dan [9].

Alga hijau memiliki unsur-unsur penyusun yaitu unsur karbon 8,76%, nitrogen 30,09%, dan oksigen 55,83%. Disamping itu juga terdapat unsur-unsur berupa fosfor 1,21%, belerang 1,26%, silikon 0,73 % dan kalium 1,73 % yang merupakan unsur yang dapat diaplikasikan sebagai biosorben dari makhluk hidup [6].

Menurut hasil yang telah dilaporkan menggunakan *Spirogyra Sp* untuk mengadsorpsi logam Cr (VI) dan (III), penyerapan optimum pada Cr (VI) didapatkan pada pH 2 dengan konsentrasi 250 mg/L selama 30 menit dengan efisiensi penyerapan sebesar 91,05%, dan karakterisasi menggunakan FTIR menunjukkan bahwa adanya gugus fungsi seperti karboksil, karbonil dan amina pada biomassa yang berperan aktif dalam penyerapan ion logam adalah gugus fungsi [6] dan menggunakan 3 biomassa alga hijau (*Cladophora Glomerata*, *Enteromorpha Intestinalis* dan *Microspora Amoena*) yang mengadsorpsi ion logam Cr(VI) dengan menggunakan metode batch pada pH 2 dan suhu 45°C. dan didapatkan biomassa *Cladophora Glomerata* merupakan adsorben yang paling cocok mengadsorpsi ion logam Cr(VI) dengan penyerapan maksimum 66,6% menggunakan 1 gram alga, 100 mL larutan yang konsentrasi 20 mg/L [10].

Alga yang digunakan adalah *Mougeotia Sp* yang termasuk alga hijau. Namun, alga memiliki keterbatasan tidak tahan dan mudah terdekomposisi oleh mikroorganisme [11]. Oleh karena itu digunakan alga hijau yang terimobilisasi. Imobilisasi merupakan suatu metode mengikat sel ke suatu matriks pendukung guna untuk menaikkan atau menurunkan kapasitas penyerapan ion logam dan memperkuat ketahanan dari biomassa alga hijau, yang akan diguna dalam proses penanganan limbah industri sebelum dibuang ke perairan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan membuktikan imobilisasi mampu meningkatkan daya serap dan dapat dipakai berulang [12] dan [11].



Gambar 1 Ikatan kimia antara logam dan biomassa

Ikatan yang terbentuk dari gambar adalah pembentukan kompleks dari gugus hidroksil (-OH) yang memiliki atom O yang mempunyai elektron bebas yang terikat pada matriks -Y

dengan ion logam Cr⁺⁶ yang memiliki orbital kosong, yang mana nantinya pasangan elektron bebas akan menempati orbital kosong tersebut [13] dan [8].

Matriks pendukung yang biasa dipakai pada proses imobilisasi yaitu pelapisan dengan matriks polimer, seperti : kalsium alginat, polisulfon dan polietil amina. Ikatan kovalen dengan menggunakan silika gel dan natrium silika. dan *ross link-sel* (pengikatan silang) agen pengikat silang yang biasa digunakan adalah formaldehid, glutarat dealdehid, dan divinil sulfon [14].

Matriks pendukung yang digunakan disini untuk imobilisasi adalah natrium silika, karena natrium silika merupakan padatan anorganik yang dapat memperluas permukaan bisorben karena adanya gugus silanol (-Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) yang terdapat pada sisi aktif permukaan adsorben. Dari hasil yang didapatkan dengan mengimobilisasi menggunakan matriks Natrium silika didapatkan peningkatan penyerapan 15 menit dan optimum pada 60 menit pada Pb (II), Cu (II), dan Cd (II) [15].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyerapan dan kapasitas serapan maksimum ion logam Cr⁶⁺ oleh alga hijau *Mougeotia Sp* yang terimobilisasi menggunakan natrium silika dengan teknik kontak menggunakan kolom yang diukur dengan Spektrofotometer Serapan Atom Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) di gunakan untuk mengkarakterisasi.

II. METODOLOGI

2.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan adalah alat-alat gelas, neraca analitik (kapasitas 220 g, resolusi 0.0001 g), kertas saring Whatman 41, ayakan (ukuran 150 μm dan 250 μm), blender, kapas, kolom, 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)

Bahan yang digunakan adalah alga *Mougeotia sp* yang diperoleh dari Sungai Anduring, Kayu Tanam, akuades, limbah cair laboratorium, logam Cr⁶⁺ dalam K₂CrO₄, HNO₃ 65%, NH₃ 25%, Na₂SiO₃ 6%, BaCl₂ 0,2 M, dan H₂SO₄ 5%.

2.2 Persiapan Biosorben

Biomassa alga hijau yang sudah didapatkan dibilas dengan menggunakan *aquades*, setelah itu dikeringkan anginkan (tanpa sinar matahari langsung) kemudian diblender lalu diayak. Hasil ayakan yang telah didapatkan dicuci dengan menggunakan HNO_{3(s)} 1% ± selama 2 jam. Kemudian dibilas sampai pH netral menggunakan aquadest. Kemudian di keringkan dengan oven sampai di dapatkan berat tetap pada suhu 60°C selama 24 jam. Biomassa yang telah kering disimpan dalam desikator dan siap digunakan sebagai

biosorben. Biomassa yang digunakan dengan ukuran partikel antara 150 dan 250 μm .

2.3 Perlakuan Imobilisasi

asam sulfat 5% sebanyak 75 ml dicampurkan dengan 6% sodium silikat sampai diperoleh pH 2, kemudian ditambahkan biomassa sebanyak 5 gram, dalam campuran ini diaduk sekitar 15 menit. Setelah itu ditambahkan sodium silikat 6% sedikit demi sedikit sehingga dihasilkan pH 7. Setelah polimer terbentuk, dicuci dengan air secukupnya. Lalu ditambahkan 2 tetes larutan BaCl_2 0,2 M sampai tidak terbentuk endapan putih. Polimer yang terbentuk kemudian dikeringkan 24 jam pada suhu 60°C , setelah itu digerus dengan ukuran partikel 250 μm .

2.4 Perlakuan Pada Sistem Kontinu

Kolom dengan diameter 1 cm yang dilengkapi dengan peralatan lainnya. Kolom dibilas dengan HCl 0.5 mol/L dan dicuci dengan air sehingga bebas asam. Kolom diisi dengan 0,5 gram biosorben murni dan sudah diimmobilisasi. Pada setiap perlakuan optimasi, sebanyak 25 ml larutan logam dialirkan melalui kolom dengan pH, konsentrasi dan laju alir tertentu. Eluen yang keluar dari kolom ditampung dalam erlenmeyer kemudian akan ditentukan konsentrasi logamnya. Penentuan konsentrasi logam ini menggunakan instrumen Spektroskopi Serapan Atom (SSA). Variabel yang akan dioptimasi meliputi laju alir, pH awal dan konsentrasi awal larutan.

2.5 Identifikasi Biomassa *Mougeotia Sp*

Identifikasi biomassa *Mougeotia sp* dilakukan di laboratorium Botani Jurusan Biologi FMIPA Universitas Negeri Padang dengan menggunakan mikroskop cahaya.

2.6 Teknik Analisis Data

Analisa data bertujuan untuk menentukan banyaknya adsorpsi maksimum pada adsorben, dapat menggunakan persamaan Isoterm Langmuir. Model Langmuir menunjukkan bahwa penyerapan polutan dari fase air terjadi pada permukaan yang homogen oleh penyerapan monolayer. Bentuk persamaan linier Isoterm Langmuir dapat ditulis :

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{kQ_m} + \left(\frac{1}{Q_m}\right)C_e \quad (1)$$

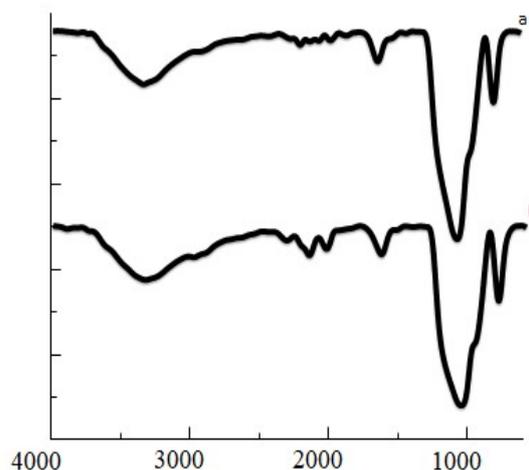
Keterangan :

- Q_e : jumlah polutan terlarut yang diadsorpsi oleh biosorben pada keadaan setimbangan (mg/g)
- k : konstanta kesetimbangan (konstanta afinitas serapan)
- C_e : konstanta adsorpsi saat seimbang (mg/L)
- Q_m : kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g).

Dari hasil plot C_e/q_e versus C_e akan di hasilkan garis linear, untuk menentukan konstanta kesetimbangan (k) dan kapasitas adsorpsi maksimum (q_m)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakterisasi Biomassa Alga Hijau *Mougeotia Sp*



Gambar 2 Spektrum FTIR biomassa alga *Mougeotia Sp* yang diimmobilisasi dengan Natrium Silika (a) sebelum dikontakkan dengan Cr^{+6} dan (b) sesudah dikontakkan dengan Cr^{+6}

Dari gambar diatas dapat dilihat biomassa yang diimmobilisasi dengan Natrium Silika (a) sebelum dikontakkan dengan Cr^{+6} menunjukkan adanya gugus O-H dan Si-OH pada pita serapan $3341,27\text{ cm}^{-1}$, C=O pada serapan $1640,39\text{ cm}^{-1}$ dan gugus Si-O-Si pada serapan $1062,73\text{ cm}^{-1}$. Selanjutnya adanya gugus Si-O pada $799,53\text{ cm}^{-1}$. Dari data diatas dapat dilihat pada biomassa yang diimmobilisasi pada natrium silika adanya gugus silanol dan siloksan yang berfungsi untuk memperluas permukaan dan memperkaya situs aktif yang terdapat pada biomassa dan merupakan tempat terikatnya berbagai gugus seperti karboksilat, karbonil, amina dan alkohol [15]. Sesuai dengan yang dilaporkan bahwa terdapatnya gugus siloksan dan silanol yang nantinya menjadi tempat berikatan gugus fungsi yang ada pada permukaan biomassa alga [16] dan analisis dari FTIR menunjukkan adanya gugus amin, karbosisil, dan hidroksil pada biomassa alga murni [17].

Sedangkan pada gambar 8 (b) sesudah kontak dengan Cr^{+6} terlihat adanya gugus OH dan Si-OH pada serapan $3336,03\text{ cm}^{-1}$ gugus C=O pada serapan $1640,03\text{ cm}^{-1}$ gugus Si-O-Si pada serapan $1087,87\text{ cm}^{-1}$ dan gugus Si-O pada serapan $798,90\text{ cm}^{-1}$.

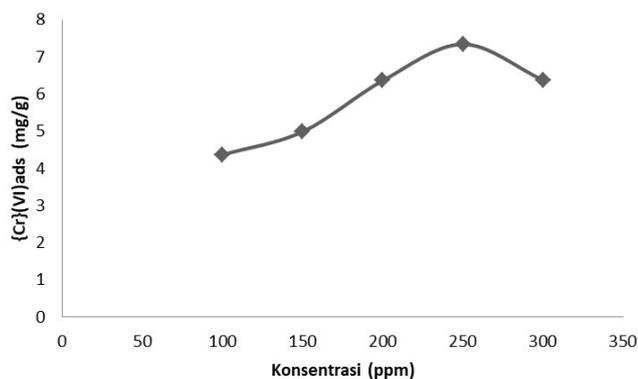
Dari data tersebut terlihat adanya pergeseran pita serapan pada panjang gelombang dan gugus fungsi tersebut. Pergeseran pita serapan tersebut diperkirakan adanya perana gugus fungsi dalam proses penyerapan ion logam Cr^{+6} oleh

Biomassa *Mougeotia Sp* adalah gugus -OH, -Si-OH, dan -Si-O-Si.

Sesuai dengan yang telah dilaporkan bahwa gugus yang berperan adalah gugus -C=O yang bersal dari karboksilat dan gugus -Si-OH dari silica gel [18].

3.2 Pengaruh Konsentrasi

Banyaknya jumlah logam terserap oleh makromolekul yang terdapat pada biomassa akan meningkat, sejalan dengan kenaikan konsentrasi awal ion logam. Pada konsentrasi biomassa atau banyaknya biomassa tertentu, serapan akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi awal [2]. Konsentrasi merupakan salah satu faktor utama yang dapat mempengaruhi proses penyerapan, dengan tujuan untuk menentukan jumlah maksimum ion logam yang dapat terikat pada sisi aktif yang terdapat pada permukaan biomassa [4]. Berikut pengaruh konsentrasi konsentrasi terhadap penyerapan oleh alga *Mougeotia sp*:



Gambar 3 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Daya Serap Biomassa yang Diimobilisasi pada Natrium Silika (0,5 g biomassa, 25mL larutan ion Cr⁺⁶, pH 2 laju alir 1 mL/ menit)

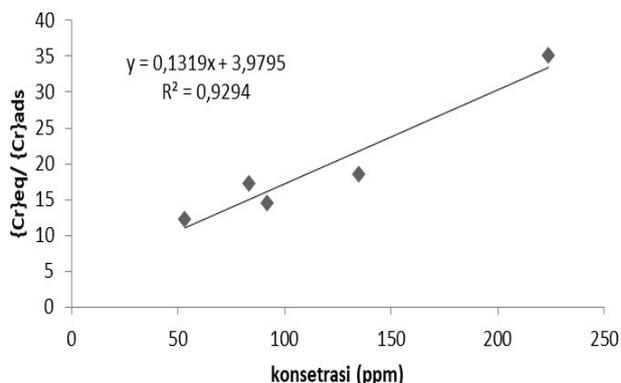
berdasarkan gambar diatas dapat dilihat semakin bertambah konsentrasi penyerapannya juga meningkat dan pada keadaan setimbang penyerapannya menurun karena penyerapan pada keadaan setimbang telah jenuh sehingga tidak ada peningkatan penyerapan [11]. Dari data yang diperoleh pada konsentrasi 100 mg/L sampai 250 mg/L terjadi kenaikan penyerapan, setelah pada 250 mg/L terdapat titik optimum dan terjadi penurunan pada 300mg/L, karena pada permukaan biomassa *Mougeotia Sp* telah jenuh berikatan antara situs aktif dengan ion logam sehingga tidak terjadi peningkatan penyerapan. Selain itu konsentrasi adsorbat meningkat maka efisiensi penyerapan smenjadi sedikit hal ini sebabkan, karena kemampuan adsorben sudah maksimum untuk menyerap ion logam. Oleh karena itu, pada konsentrasi tinggi terjadi penurunan efisiensi penyerapan. Akibatnya tidak sebandingnya jumlah adsorbat dalam larutan dengan jumlah partikel adsorben yang tersedia yang menyebabkan tercapainya kejenuhan dan berkurangnya efisiensi penyerapan

[19]. Jadi, pada konsentrasi tertentu, serapan logam meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi awal [2].

Persamaan Isoterm Langmuir menyatakan bahwa sebandingnya luas permukaan adsorben dengan jumlah situs aktif pada permukaan biosorben tersebut [4], sehingga jika permukaan biosorben telah jenuh berikatan dengan adsorbat maka kemampuan biosorben untuk mengadsorpsi tidak lagi meningkatkan [20]. Oleh karena itu terjadi penurunan setelah konsentrasi 250 mg/L.

3.3. Analisis Data

Dari data jumlah ion Cr⁺⁶ terserap maksimum pada konsentrasi 250 mg/L dengan kapasitas penyerapan 7,336 mg/g dan efisiensi penyerapan 52,06529 %. jika data yang dihasilkan diplot pada persamaan kurva linear maka dapat dilihat :



Gambar 4 Kurva linieritas Isoterm Langmuir penyerapan ion Cr⁶⁺

Isotherm Langmuir menunjukkan bahwa banyaknya situs aktif pada permukaan biosorben tersebut sama dengan luas permukaan pada biosorben. Dimana satu situs aktif akan menyerap satu ion logam, terjadinya Isotherm Langmuir, karena adanya inetraksi antara adsorbat dengan situs aktif pada adsorben membentuk lapisan monolayer [4].

Dari Persamaan Isotherm Langmuir akan di dapatkan tetapan afinitas adsorpsi dan kapasitas adsorpsi maksimum. berdasarkan perhitunga secara teoritis didapatkan Kapasitas Serapan maksimum adalah 7,5815 mg/g, Konstanta afinitas serapan (k) 0,0331 L/mg dan Nilai koefisien regresi (R²) =0,9294.

IV. KESIMPULAN

Biosorpsi ion Cr⁶⁺ menggunakan biomassa alga hijau *Mougeotia Sp* dapat disimpulkan bahwa :

- Karakterisasi menggunakan spektrum FTIR menunjukkan gugus fungsi yang berperan aktif pada biomassa alga hijau *Mougeotia Sp* yang diimmobilisasi pada natrium silika adalah gugus siloksan dan silanon berasal dari penambahan natrium silika yang merupakan tempat berikatannya gugus fungsi hidrosil, karbonil yang merupakan gugus yang berperan aktif berasal dari guus karboksilat.
- Berdasarkan hasil yang diperoleh kondisi optimum penyerapan ion Cr^{6+} oleh biomassa alga hijau *Mougeotia Sp* pada konsentrasi 250 mg/L . Kapasitas serapan maksimum ion Cr^{6+} adalah sebesar 7,5815 mg/g dengan efisiensi penyerapan sebesar 52,06529 %. Biosorpsi ion Cr^{6+} ini memenuhi persamaan adsorpsi Isoterm Langmuir dengan R^2 sebesar 0,9294.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Mawardi sebagai dosen pembimbing didalam pembuatan artikel riset ini. Penulis juga mengucapkan Direktorat Penelitian dan Pengabdian Universitas Negeri Padang, atas bantuan dana penelitiannya dan juga untuk Laboratorium Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang atas sarana dan dukungannya

REFERENCE

- [1] R. Jobby, P. Jha, A. K. Yadav, and N. Desai, "Chemosphere Biosorption and biotransformation of hexavalent chromium [Cr (VI)]: A comprehensive review," *Chemosphere*, vol. 207, pp. 255–266, 2018.
- [2] S. H. Abbas, I. M. Ismail, T. M. Mostafa, and A. H. Sulaymon, "Biosorption of Heavy Metals : A Review," no. October, 2014.
- [3] P. Menteri *et al.*, "BERITA NEGARA," no. 1815, 2014.
- [4] U. Farooq, J. A. Kozinski, M. Ain, and M. Athar, "Bioresource Technology Biosorption of heavy metal ions using wheat based biosorbents – A review of the recent literature," *Bioresour. Technol.*, vol. 101, no. 14, pp. 5043–5053, 2010.
- [5] V. K. Gupta, A. K. Shrivastava, and N. Jain, "Biosorption of chromium(VI) from aqueous solutions by green algae *Spirogyra* species," *Water Res.*, vol. 35, no. 17, pp. 4079–4085, 2001.
- [6] S. Biosorben, "Pemisahan Ion Krom (III) dan Krom (IV) Dalam Larutan Dengan Menggunakan Biomassa Ganggang Hijau *Spirogyra subsalsa*," no. Iii, pp. 189–198.
- [7] O. Abdi and M. Kazemi, "A review study of biosorption of heavy metals and comparison between different biosorbents," vol. 6, no. 5, pp. 1386–1399, 2015.
- [8] J. He and J. P. Chen, "A comprehensive review on biosorption of heavy metals by algal biomass: Materials, performances, chemistry, and modeling simulation tools," *Bioresour. Technol.*, vol. 160, pp. 67–78, 2014.
- [9] C. Li, Z. Li, C. By, and G. Algae, "Biosorpsi Kation Tembaga (II) dan Seng (II) oleh Biomassa Alga Hijau *Spirogyra subsalsa* Pendahuluan Metode Penelitian," vol. 16, no. 2, pp. 269–277, 2011.
- [10] 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.
- [11] M. Mawardi *et al.*, "Study of Pb (II) biosorption from aqueous solution using immobilized *Spirogyra subsalsa* biomass Study of Pb (II) biosorption from aqueous solution using immobilized *Spirogyra subsalsa* biomass," no. December, 2015.
- [12] S. V. Gokhale, K. K. Jyoti, and S. S. Lele, "Modeling of chromium (VI) biosorption by immobilized *Spirulina platensis* in packed column," vol. 170, pp. 735–743, 2009.
- [13] N. Bagus, A. Suardika, B. T. Atmaja, and S. Deseliane, "Pemanfaatan Kappa -Karaginan dari Rumput Laut Merah (*Eucheuma cottonii*) sebagai Bahan Solidifikasi dan Stabilisasi Logam Berat Chromium pada Limbah Tekstil," pp. 9–16, 2017.
- [14] D. Kimia, F. Matematika, D. A. N. Ilmu, P. Alam, and U. Indonesia, "STUDI BIOSORPSI ION LOGAM Cd (II) OLEH BIOMASSA ALGA HIJAU YANG DIIMOBILISASI PADA SILIKA GEL," no. Ii, 2009.
- [15] N. Sciences, "Immobilization of *S. duplicatum* supported silica gel matrix and its application on adsorption – desorption of Cu (II), Cd (II) and Pb (II) ions," *DES*, vol. 263, no. 1–3, pp. 64–69, 2010.
- [16] Z. Sembiring, "BIOSORPTION OF METAL IONS Pb (II), Cu (II), AND Cd (II) ON *Sargassum duplicatum* IMMOBILIZED SILICA GEL MATRIX Biosorpsi Ion Logam Pb (II), Cu (II) dan Cd (II) pada Biomassa," vol. 6, no. 3, pp. 245–250, 2006.
- [17] V. K. Gupta and A. Rastogi, "Biosorption of lead from aqueous solutions by green algae *Spirogyra* species: Kinetics and equilibrium studies," *J. Hazard. Mater.*, vol. 152, no. 1, pp. 407–414, 2008.
- [18] Suharso, Buhani, and Sumadi, "Immobilization of *S. duplicatum* supported silica gel matrix and its application on adsorption-desorption of Cu (II), Cd (II) and Pb (II) ions," *Desalination*, vol. 263, no. 1–3, pp. 64–69, 2010.
- [19] M. A. Wahab, S. Jellali, and N. Jedidi, "Ammonium biosorption onto sawdust: FTIR analysis, kinetics and adsorption isotherms modeling," *Bioresour. Technol.*, vol. 101, no. 14, pp. 5070–5075, 2010.
- [20] H. Sanjaya and R. Zainul, "Research Article Characterization of napa soil and adsorption of Pb (II) from aqueous solutions using on column method," vol. 7, no. 12, pp. 905–912, 2015.