

Pengaruh Massa Biosorben Kulit Batang Kayu Jawa (*Lannea coromandelica*) terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion Cd(II)

Effect of Biosorbent Mass of Java Bark (*Lannea coromandelica*) to The Adsorption Capacity of Cd(II) Ion

Niken Cahyaning Wulandari¹, Hanandayu Widwiastuti^{2*}, Riska Yudhistia Asworo³

^{1,2,3} Program Studi D3 Analisis Farmasi dan Makanan, Politeknik Kesehatan Kemenkes Malang

Jalan Besar Ijen 77C, Malang 65119, Indonesia

*Corresponding author : hanandayu_widwiastuti@poltekkes-malang.ac.id

Received: 09 Juli 2023, Accepted: 10 Agustus 2023

ABSTRACT

Cadmium is one of the heavy metals that can contaminate bottled drinking water (AMDK) and cause health problems if its concentration more than the maximum limit. According to SNI 01-3553-2006, the maximum concentration of cadmium in AMDK is 0.003 mg/L. An effective method to reduce Cd levels is adsorption. In this research, use material diversification by utilizing Java Bark as biosorbent. This is because the Java Bark contains tannin compounds that can bind heavy metals. One of the factor that can affect adsorption is biosorbent mass. The aims of study is determine the effect of Java Bark biosorbent mass to the adsorption capacity of Cd(II) by Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). Java Bark biosorbent mass used were 0.1; 0.5; 1; 1.5; and 2 g. The results showed that the biosorbent mass of 0.1 g had the largest adsorption capacity of 9.47 mg/g. Meanwhile, the adsorption capacity of the biosorbent mass of 0.5-2 g tends to decrease because the surface of the biosorbent has been saturated and particle aggregation so that Cd(II) desorption. From the results of the study, it can be concluded that the Java Bark biosorbent with a mass of 0.1 g has the largest adsorption capacity for adsorption Cd(II).

Keywords—*Cadmium, Adsorption, Biosorbent, Java Bark*

PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang dibutuhkan seluruh makhluk hidup. Apabila makhluk hidup kekurangan air, maka dapat menimbulkan masalah kesehatan. Dengan demikian, kualitas air untuk asupan tubuh harus diperhatikan. Seiring dengan kebutuhan air minum yang terus meningkat sehingga memotivasi munculnya berbagai industri air minum, salah satunya yaitu Air Minum Dalam Kemasan (AMDK).

AMDK adalah air mineral yang telah melewati sistem pengolahan dan dikemas dengan sistem tertentu sehingga dapat dikonsumsi secara langsung [1]. Pada umumnya AMDK yang dijual perusahaan telah memenuhi syarat mutu AMDK berdasarkan SNI 01-3553-2006. Salah satu syarat mutu AMDK menurut SNI 01-3553-2006 [2] yaitu cemaran logam tidak melebihi batas maksimum. Salah satu cemaran yang dapat menurunkan kualitas AMDK apabila keberadaanya melebihi batas maksimum yaitu logam berat.

Kadmium (Cd) merupakan salah satu logam berat yang dapat ditemukan di AMDK. Namun, keberadaan Cd di AMDK tidak boleh melebihi batas maksimum. Menurut SNI 01-3553-2006 [2], batas maksimum Cd di AMDK sebesar 0,003 mg/L. Keberadaan Cd di AMDK kemungkinan disebabkan oleh kualitas air baku yang digunakan tidak sesuai dengan persyaratan kualitas air bersih untuk pengolahan air minum [3]. Hal ini dibuktikan oleh penelitian Amelia dan Rahmi [3] yaitu analisis logam berat Cd pada AMDK di Kota Batam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 1 dari 8 sampel AMDK mengandung Cd dengan kadar melebihi batas maksimum yaitu sebesar 0,0065-0,0098 mg/L.

Keberadaan Cd yang melebihi batas maksimum pada air minum dapat menimbulkan berbagai masalah kesehatan. Hal ini karena Cd merupakan logam yang memiliki tingkat toksisitas tinggi, bahkan lebih tinggi daripada Pb, Cr, Ni, Mn, Cu, Fe, dan Zn [4]. Menurut Badan Internasional untuk Penelitian Kanker dalam Henson dan Chedrese

[5], Cd merupakan logam berat yang bersifat karsinogen bagi manusia. Dengan demikian, diperlukannya metode tertentu untuk mengurangi kadar Cd pada air minum. Metode yang pada umumnya digunakan untuk mengurangi kadar logam berat yaitu metode pengendapan, metode penukar ion, metode filtrasi membran, dan metode reduksi elektrokimia. Namun, metode tersebut memerlukan peralatan yang khusus, pereaksi kimia, sistem monitoring yang relatif mahal, dan tidak ramah lingkungan, serta menghasilkan lumpur yang mengandung logam berat atau produk limbah lain yang beracun. Oleh karena itu, diperlukannya metode lain yang lebih efektif dan efisien untuk mengurangi kadar logam berat, salah satunya yaitu adsorpsi.

Adsorpsi merupakan proses pemisahan dimana komponen suatu cairan akan berpindah ke permukaan zat padat [6]. Zat padat yang menyerap disebut adsorben. Adsorpsi menjadi metode yang efektif dalam mengurangi logam berat pada volume besar dan konsentrasi rendah. Metode ini mencakup berbagai proses, diantaranya adsorpsi kimia dan fisika, pertukaran ion, interaksi koordinasi, pembentukan senyawa kompleks, pembentukan kelat, dan mikropresipitasi [7].

Modifikasi metode adsorpsi sudah banyak dilakukan, khususnya pada adsorben. Adsorben yang pada umumnya digunakan yaitu karbon, zeolit aktif, dan silika gel [8]. Oleh karena itu, diperlukan alternatif lain yaitu dengan memanfaatkan bahan alam sebagai biosorben. Adsorpsi menggunakan biosorben (biosorpsi) merupakan metode yang efektif dan efisien dalam mengurangi logam berat karena mudah dilakukan, reaksinya cepat, biosorben mudah diperoleh, biaya relatif murah karena biosorben dapat dipakai secara berulang, dan ramah lingkungan karena logam berat yang terikat dapat diperoleh kembali dan dipisahkan sehingga tidak dihasilkan limbah baru yang beracun [9]. Salah satu bahan alam yang berpotensi sebagai biosorben yaitu kulit batang Kayu Jawa.

Pada umumnya, Kayu Jawa hanya dimanfaatkan sebagai obat tradisional karena mengandung senyawa metabolit sekunder, seperti alkohol, steroid, triterpenoid, fenolik, flavonoid, saponin, dan tanin. Namun, selain digunakan sebagai pengobatan, ternyata kulit batang Kayu Jawa berpotensi sebagai biosorben logam berat. Hal ini karena kulit batang Kayu Jawa mengandung senyawa tanin. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Calsum dkk. [10], hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak kulit batang Kayu Jawa mengandung senyawa

tanin yang ditunjukkan dengan perubahan warna menjadi hijau gelap.

Tanin merupakan senyawa metabolit sekunder yang dapat dijadikan adsorben karena memiliki gugus hidroksil (-OH) yang dapat berinteraksi dengan komponen adsorbat [11]. Berdasarkan penelitian Charter dkk. dalam Nurkaromah dan Sukandar [11], dapat diketahui bahwa tanin dan flavonoid memiliki gugus -OH yang dapat mengikat logam berat. Hal tersebut dibuktikan oleh penelitian Bugis dkk. [12] yaitu memanfaatkan tanin dari serbuk kulit Jeruk Bali untuk mereduksi kadar Cd(II) pada limbah cair artifisial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanin dapat mengadsorpsi Cd(II) dengan konsentrasi Cd sisa sebesar 13,44 ppm.

Adapun beberapa faktor yang dapat mempengaruhi adsorpsi, salah satunya yaitu massa biosorben. Massa biosorben yang digunakan dapat mempengaruhi jumlah logam berat yang diserap. Semakin tinggi massa biosorben, maka semakin banyak logam berat yang diserap. Namun, apabila terlalu tinggi massa biosorben, maka kapasitas adsorpsinya akan semakin menurun [13]. Menurut Reyra dkk. dalam Takarani dkk. [13], hal ini disebabkan oleh adanya sisi aktif biosorben yang belum sepenuhnya berkaitan dengan adsorbat karena permukaan biosorben telah jenuh sehingga adsorbat terlepas dari permukaan biosorben. Maka dari itu, perlu dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui massa optimum biosorben kulit batang Kayu Jawa dalam menyerap logam Cd(II) menggunakan SSA (Spektrofotometri Serapan Atom). Penelitian ini dilakukan pada larutan Cd(II) yang bertujuan untuk mengetahui potensi biosorben kulit batang Kayu Jawa dalam adsorpsi Cd(II) dengan harapan dapat diaplikasikan pada sampel AMDK.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu instrumen SSA (Spektrofotometer Serapan Atom) varian AA240; sieves 200 mesh; grinder Getra Multi Function Disintegrator IC-06B; neraca analitik Ohaus; *shaker* Gerhardt Bonn type R0 15; pH meter Thermo Scientific CON 700; labu ukur 500 mL, 100 mL, dan 10 mL *Pyrex*; *beaker glass* 50 mL, 100 mL, 250 mL, dan 500 mL *Pyrex*; erlenmeyer 100 mL *Pyrex*; gelas ukur 100 mL *Pyrex*; pipet tetes; pipet ukur 10 mL *Pyrex*; mikropipet 20-200 μ L; bola hisap; corong; spatula; batang pengaduk; pisau; talenan; dan botol sampel.

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu kulit batang Kayu Jawa, $Cd(NO_3)_2$ (s) p.a Merck, aquadest, kertas whatman No.42, dan aluminium foil.

Prosedur Penelitian

1) Pembuatan Biosorben

Mengambil kulit batang Kayu Jawa (korteks) dengan cara mengupas batang hingga terlihat kambiumnya menggunakan parang atau pemotong kayu. Kulit batang Kayu Jawa yang diperoleh dipotong kecil-kecil dan diangin-anginkan hingga kering. Kemudian dihaluskan menggunakan grinder hingga menjadi serbuk yang halus. Serbuk yang diperoleh diayak menggunakan sieves 200 mesh. Kemudian ditimbang dengan variasi massa 0,1; 0,5; 1; 1,5; dan 2 gram.

2) Pembuatan Larutan Cd(II) Awal (sebelum adsorpsi)

Buat larutan $Cd(NO_3)_2$ 100 ppm dan atur pH-nya pada pH 6,1. Kemudian, buat larutan Cd(II) awal dengan cara mengencerkan larutan $Cd(NO_3)_2$ 100 ppm sebanyak 25 kali dan diencerkan kembali sebanyak 3 kali. Larutan yang terbentuk dimasukkan ke dalam botol sampel. Setelah itu, dianalisis kadar Cd(II)nya menggunakan SSA (Spektrofotometer Serapan Atom) pada panjang gelombang 228,8 nm. Apabila larutan tidak dianalisis secara langsung, maka simpan di lemari pendingin.

3) Pembuatan Larutan Cd(II) Akhir (setelah adsorpsi)

Buat larutan $Cd(NO_3)_2$ 100 ppm dan atur pH-nya pada pH 6,1. Kemudian, buat larutan Cd(II) akhir dengan cara memasukkan masing-masing biosorben dengan variasi massa 0,1; 0,5; 1; 1,5; dan 2 gram ke dalam Erlenmeyer dan tambahkan larutan $Cd(NO_3)_2$ 100 ppm sebanyak 25 ml. Setelah itu, aduk menggunakan *shaker* dengan kecepatan 100 rpm selama 1 jam. Lalu saring dengan kertas whatman No.42 sebanyak dua kali. Filtrat yang diperoleh diencerkan 25 kali dan dimasukkan ke dalam botol sampel. Setelah itu, filtrat dapat dianalisis kadar Cd(II)nya menggunakan SSA (Spektrofotometer Serapan Atom) pada panjang gelombang 228,8 nm. Apabila filtrat tidak dianalisis secara langsung, maka simpan di lemari pendingin. Prosedur ini dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Biosorben Kulit Batang Kayu Jawa

Biosorben yang digunakan adalah kulit batang Kayu Jawa karena mengandung senyawa tanin. Dimana senyawa tanin memiliki gugus -OH yang dapat mengikat logam berat. Penelitian ini menggunakan biosorben dengan ukuran partikel 200 mesh karena memiliki luas permukaan yang besar sehingga kapasitas adsorpsi yang dihasilkan akan semakin besar. Dimana luas permukaan biosorben yang besar dapat menyerap logam lebih optimal. Variasi massa biosorben yang digunakan yaitu 0,1; 0,5; 1; 1,5; dan 2 gram. Hal ini berdasarkan pada penelitian Bugis dkk. [12] yaitu menggunakan massa biosorben 0,5; 1,0; 1,5; dan 2,0 gram. Hasil penelitian menunjukkan bahwa massa optimum biosorben yaitu massa 1,5 gram dengan konsentrasi Cd(II) sisa sebesar 13,44 ppm. Sedangkan konsentrasi Cd(II) sisa pada massa 0,5; 1,0; dan 2,0 gram secara berurutan yaitu sebesar 33,61; 20,26; dan 16,82 ppm.

Larutan Standar Cd(II)

Konsentrasi larutan standar Cd(II) yang dibuat berada pada rentang 0,2-0,8 mg/L karena menurut SNI 6989.16:2009 [14] konsentrasi larutan standar untuk pengujian Cd(II) dalam air yaitu berada pada rentang 0,05-2,0 mg/L. Selain itu, Cd(II) juga bersifat *trace metal* dimana keberadaan Cd(II) di air sangat kecil. Larutan standar tersebut diukur absorbansinya menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom pada panjang gelombang 228,8 nm sehingga diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Absorbansi Larutan Standar Cd(II)

Larutan	Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
Blanko	0,0	-0,0017
Standar 1	0,2	0,1344
Standar 2	0,4	0,2577
Standar 3	0,6	0,3776
Standar 4	0,8	0,5032

Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui bahwa absorbansi larutan blanko bernilai negatif yaitu sebesar -0,0017. Dimana nilai absorbansi larutan blanko yang bagus terbaca oleh SSA yaitu 0,000. Hal ini karena pada larutan blanko tidak terjadi atomisasi. Namun, hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai absorbansi larutan blanko bernilai negatif. Menurut Purnama dkk. [15], hal ini kemungkinan disebabkan oleh noise dari instrumen SSA yang digunakan. Dimana instrumen digunakan dalam keadaan panas karena telah digunakan secara terus menerus atau terdapat kebisingan dari alat-alat disekitarnya.

Berdasarkan data absorbansi larutan standar Cd(II) di atas, diperoleh persamaan regresi linier $y = 0,62653x + 0,00364$ dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,9998. Menurut SNI 6989.16:2009 [14], koefisien tersebut telah memenuhi batas keberterimaan yaitu $r \geq 0,995$. Dengan demikian, kurva dikatakan linear sehingga dapat digunakan untuk pengujian kadar Cd(II).

Larutan Cd (II) Akhir

Larutan Cd(II) akhir dibuat dengan konsentrasi 100 mg/L dengan pH 6,53. Nilai pH telah menunjukkan pH optimum karena Cd berada dalam bentuk Cd(II) sehingga adsorpsi dapat berjalan maksimal. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian Hasrianti [16] yaitu pH optimum adsorpsi Cd(II) menggunakan kulit singkong terjadi pada pH 6,1 dengan kapasitas adsorpsi 0,93 mg/g. Dengan demikian, adsorpsi Cd(II) akan berlangsung maksimal sehingga kapasitas adsorpsi akan besar.

Pada adsorpsi Cd(II) dilakukan pengadukan dengan kecepatan 100 rpm selama 1 jam. Hal ini berdasarkan penelitian Wijaya dan Ulfin [17] yaitu adsorpsi Cd(II) oleh karbon aktif biji trembesi dilakukan pengadukan selama 1 jam dengan kecepatan 100 rpm. Pengadukan dilakukan bertujuan agar adsorpsi dapat berjalan lebih efektif. Menurut Sirajuddin dkk. [18], semakin tinggi kecepatan pengadukan, maka bidang kontak antara adsorben dan adsorbat akan semakin luas sehingga proses adsorpsi dapat berlangsung optimal. Pada penelitian ini, pengadukan dilakukan dengan kecepatan 100 rpm karena tumbukan antara biosorben dengan Cd(II) akan semakin banyak sehingga luas permukaan bidang kontak antara biosorben dengan Cd(II) akan semakin terbuka. Dengan demikian, proses adsorpsi dapat berjalan optimal.

Larutan Cd(II) akhir disaring menggunakan kertas whatman No. 42 agar biosorben tidak lolos penyaringan. Hal ini karena kertas whatman No. 42 memiliki ukuran pori-pori yang lebih kecil yaitu sebesar 2,5 μm , sedangkan ukuran pori-pori biosorben <75 μm . Proses penyaringan dilakukan dua kali agar biosorben yang lolos pada penyaringan pertama tidak akan masuk ke dalam filtrat. Filtrat yang diperoleh dimasukkan ke dalam botol sampel dan disimpan di dalam pendingin sebelum dianalisis. Hal ini dilakukan agar filtrat tidak terkontaminasi oleh mikroba dan tidak terbentuk suspensi yang dapat mempengaruhi pembacaan serapan. Larutan sampel yang telah dibuat dianalisis kadar Cd(II)nya menggunakan instrumen SSA (Spektrofotometer Serapan Atom) pada panjang gelombang 228,8 nm.

Pengaruh Variasi Massa Biosorben terhadap Kapasitas Adsorpsi

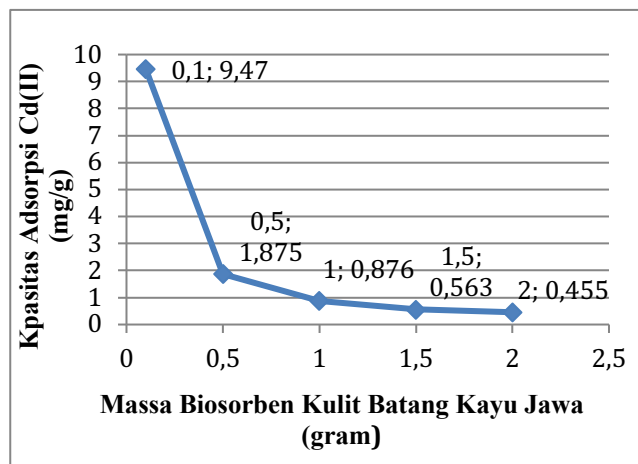
Pengaruh variasi massa biosorben kulit batang Kayu Jawa terhadap kapasitas adsorpsi Cd(II)

Jenis	Replikasi	Absorbansi (A)	Konsentrasi (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
MB. A	I	0,0872	3,325	0,866
	II	0,0738	2,8	0,879
	III	0,0704	2,675	0,882
MB. B	I	0,0938	3,6	0,573
	II	0,1057	4,075	0,565
	III	0,0989	3,8	0,569
MB. C	I	0,0531	1,975	0,45
	II	0,0334	1,175	0,46
	III	0,0444	1,625	0,454
MB. D	I	0,0136	0,4	1,877
	II	0,0156	0,475	1,874
	III	0,0147	0,45	1,875
MB. E	I	0,0049	0,05	9,475
	II	0,0051	0,05	9,475
	III	0,0059	0,1	9,462

ditentukan berdasarkan rerata kapasitas adsorpsi masing-masing biosorben. Konsentrasi Cd(II) awal sebelum adsorpsi yang terbaca pada instrumen SSA sebesar 37,95 mg/L. Sedangkan konsentrasi larutan Cd(II) awal yang dibuat sebesar 100 mg/L. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh noise dari instrumen SSA [15]. Hasil absorbansi, konsentrasi, dan kapasitas adsorpsi masing-masing biosorben dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Data Kapasitas Adsorpsi dari Cd(II)

Berdasarkan hasil pada tabel di atas, dapat diketahui bahwa kapasitas adsorpsi terbesar diperoleh dari massa biosorben 0,1 gram (MB.E) dengan rerata 9,47 mg/g. Sedangkan adsorpsi dengan massa biosorben 0,5 gram (MB.D); 1 gram (MB.A); 1,5 gram (MB.B), dan 2 gram (MB.C) memiliki rerata kapasitas adsorpsi berturut-turut sebesar 1,875 mg/g; 0,876 mg/g; 0,563 mg/g dan 0,455 mg/g. Berdasarkan hasil tersebut, dibuat kurva hubungan antara massa biosorben dengan kapasitas adsorpsi, seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Grafik Hubungan Massa Biosorben Kulit Batang Kayu Jawa dengan Kapasitas Adsorpsi Cd(II)

Berdasarkan grafik diatas, dapat diketahui bahwa massa biosorben 0,1 gram memiliki kapasitas adsorpsi terbesar. Selain itu, keseluruhan kapasitas adsorpsi yang dihasilkan cenderung menurun seiring dengan bertambahnya massa biosorben. Menurut Mariadas dkk. [19], semakin besar massa biosorben, maka semakin besar kapasitas adsorpsinya. Hal tersebut terjadi karena seiring dengan bertambahnya massa biosorben, maka jumlah partikel dan luas permukaan semakin meningkat sehingga sisi aktif adsorpsi semakin bertambah. Dengan demikian, kapasitas adsorpsi akan meningkat. Namun, apabila massa biosorben terus ditambah setelah mencapai massa tertentu, maka kapasitas adsorpsinya akan menurun. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan, dimana kapasitas adsorpsi mulai menurun pada massa 0,5 gram. Ini terjadi karena biosorben sudah jenuh menyerap Cd(II) dalam larutan dan terjadi agregasi partikel adsorben yang menyebabkan turunnya luas permukaan total. Selain itu, agregasi partikel juga menyebabkan desorpsi adsorbat yang terikat lemah pada permukaan adsorben [20].

Selain faktor fisika, proses adsorpsi juga dipengaruhi oleh faktor kimia. Dalam hal ini yaitu kandungan senyawa tanin yang berada pada kulit batang Kayu Jawa. Senyawa tanin mengandung gugus fungsi -OH yang dapat mengikat Cd(II). Gugus -OH pada tanin membuat biosorben bersifat polar. Disamping itu, Cd(II) juga bersifat polar sehingga tanin dapat mengadsorpsi Cd(II). Dengan demikian, kemungkinan Cd(II) terjerap ke permukaan biosorben kulit batang Kayu Jawa disebabkan karena adanya gaya Van Der Waals sehingga interaksi elektrostatis terjadi ketika Cd(II) berdekatan dengan sisi aktif biosorben [21]. Dimana pada interaksi tersebut terjadi

ikatan semu antara -OH dengan Cd(II) sehingga hanya dapat menahan Cd(II) sesaat. Dengan demikian, dapat terjadi desorpsi yang ditunjukkan dengan menurunnya kapasitas adsorpsi Cd(II) mulai massa biosorben 0,5 gram.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa semakin besar massa biosorben kulit batang Kayu Jawa (*Lannea coromandelica*) yang digunakan untuk adsorpsi Cd(II), maka kapasitas adsorpsinya cenderung menurun dan massa biosorben kulit batang Kayu Jawa (*Lannea coromandelica*) yang memiliki kapasitas adsorpsi terbesar yaitu 0,1 gram dengan kapasitas sebesar 9,47 mg/g.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Khaira, K. (2014). Analisis Kadar Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) dalam Air Minum Isi Ulang Kemasan Galon di Kecamatan Lima Kaum Kabupaten Tanah Datar. *Jurnal Saintek*, 6(2), 116–123.
- [2] Badan Standarisasi Nasional. SNI 01-3553-2006. *Air Minum Dalam Kemasan (AMDK)*. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.
- [3] Amelia, F., & Rahmi. (2017). Analisa Logam Berat pada Air Minum dalam Kemasan (AMDK) yang Diproduksi di Kota Batam. *Jurnal Dimensi*, 6(3), 433–441. <https://doi.org/10.33373/dms.v6i3.1077>
- [4] Cotruvo, J. A. (2019). The Chemistry of Lanthanides in Biology: Recent Discoveries, Emerging Principles, and Technological Applications. *ACS Central Science*, 5(9), 1496–1506.
- [5] Henson, M. C., & Chedrese, P. J. (2004). Endocrine Disruption by Cadmium, a Common Environmental Toxicant with Paradoxical Effects on Reproduction. *Experimental Biology and Medicine*, 229(5), 383–392. <https://doi.org/10.1177/153537020422900506>
- [6] Kartikaningsih, D., Bachroni, M. A. A., & Danarto, Y. C. (2014). Pengambilan Tanin dari Kulit Kayu Bakau dan Pemanfaatannya Sebagai Adsorben Logam Berat Cuprum (Cu) dan Timbal (Pb), 13(1), 23–27.
- [7] Komari, N., Mujiyanti, D. R., & Suhartono, E. (2008). Biosorpsi Interaksi Biomassa Tumbuhan Lahan Basah dan Logam Berat. Banjarbaru: CV. Banyubening Cipta Sejahtera.

- [8] Larasati, A. I., Susanawati, L. D., & Suharto, B. (2015). Efektivitas Adsorpsi Logam Berat Pada Air Lindi Menggunakan Media Karbon Aktif, Zeolit, Dan Silika Gel Di Tpa Tlekung, Batu. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 2(1), 44–48.
- [9] Setiawan, A., Basyiruddin, F., & Dermawan, D. (2019). Biosorpsi Logam Berat Cu(II) Menggunakan Limbah. *Jurnal Presipitasi*, 16(1), 29–35.
- [10] Calsum, U., Khumaidi, A., & Khaerati, K. (2018). Aktivitas Ekstrak Etanol Kulit Batang Kayu Jawa (*Lanea coromandelica*) terhadap Penyembuhan Luka Sayat pada Tikus Putih (*Rattus Norvegicus L.*). *Jurnal Farmasi Galenika (Galenika Journal of Pharmacy) (e-Journal)*, 4(2), 113–118. <https://doi.org/10.22487/j24428744.2018.v4.i2.11078>
- [11] Nurkaromah, A., & Sukandar. (2017). Modifikasi Tanin dari Biomassa Daun Akasia (*Acacia mangium Wild*) dengan Cara Polimerisasi Sebagai Biosorben untuk Logam Pb (II). *Waste Management*, 2(2), 79–91.
- [12] Bugis, M. F. U., Hidayati, N., & Kresnadipayana, D. (2019). Pemanfaatan Ekstrak dan Serbuk Kulit Jeruk Bali (*Citrus Maxima Merr*) untuk Mereduksi Kadar Krom(VI) dan Kadmium(II) pada Limbah Cair Artifisial. *Biomedika*, 12(2), 251–258. <https://doi.org/10.31001/biomedika.v12i2.618>
- [13] Takarani, P., Novita, S. F., & Fathoni, R. (2019). Pengaruh Massa dan Waktu Adsorben Selulosa dari Kulit Jagung Terhadap Konsentrasi Penyerapan. In *Prosiding Seminar Nasional Teknologi V* (pp. 117–121). Samarinda.
- [14] Badan Standarisasi Nasional. SNI 06-6989.16-2009. *Air dan Air Limbah-Bagian 16: Cara Uji Kadmium (Cd) dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-Nyala*. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.
- [15] Purnama, R. C., Retnaningsih, A., & Putri, H. R. (2020). Penetapan Kadar Timah (Sn) pada Susu Kemasan Kaleng dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *Jurnal Analis Farmasi*, 5(1), 51–58. <https://doi.org/10.33024/jaf.v5i1.3979>
- [16] Hasrianti. (2013). Adsorpsi Ion Cd²⁺ pada Limbah Cair Menggunakan Kulit Singkong. *Jurnal Dinamika*, 4(2), 59-76.
- [17] Wijaya, V. C. & Ulfan, I. (2015). Pengaruh pH pada Adsorpsi Ion Cd²⁺ dalam Larutan Menggunakan Karbon Aktif dari Biji Trembesi (*Samanea saman*). *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(2), 86-89.
- [18] Sirajuddin, Syahrir, M., & Syahrir, I. (2017). Optimasi Kecepatan Pengadukan Pada Proses Adsorpsi Limbah Cair Laundry Untuk Menurunkan Kadar Surfaktan Menggunakan Batu Bara, *Seminar Nasional Sains dan Teknologi* (pp 1–8). Jakarta.
- [19] Mariadas, K., Kalyani, G., Rao, H. J., Kumar, Y. P., & King, P. (2012). The Removal and Equilibrium Studies of Cadmium by Natural Clay as Adsorbent. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 3(8).
- [20] Anwar, N. A. F., Meicahayanti, I., & Rahayu, D. ermawati. (2022). Pengaruh Variasi Waktu Kontak dan Massa Adsorben Kulit Jeruk Siam (*Citrus nobilis*) Terhadap Penyisihan Kadmium (Cd) dan Merkuri (Hg). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 6(1), 44–52.
- [21] Liu, L., Gao, Z. Y., Su, X. P., Chen, X., Jiang, L., & Yao, J. M. (2015). Adsorption Removal of Dyes from Single and Binary Solutions Using a Cellulose-based Bioadsorbent. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 3(3), 1–40. <https://doi.org/10.1021/sc500848m>