

Penyerapan Timbal(II) dan Cadmium(II) di dalam Larutan Menggunakan Limbah Kulit Buah Kapuk

Rahmiana Zein^{1,*}, Dewi Nofita¹, Refilda², Hermansyah Aziz³

¹Laboratory of Analytical Environmental Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Andalas University, Padang Indonesia

²Laboratory of Applied Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Andalas University, Padang Indonesia

³Laboratory of Physical Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Andalas University, Padang Indonesia

*Penulis korespondensi: rzein@sci.unand.ac.id dan mimiedison@yahoo.co.id

DOI: <https://doi.org/10.24198/cna.v7.n1.20813>

Abstrak: Kulit buah kapuk (*Ceiba pentandra* L) merupakan limbah pertanian yang belum dioptimalkan sampai sekarang. Penelitian biosorpsi Pb(II) dan Cd(II) menggunakan biosorben kulit buah kapuk telah dilakukan dengan metoda batch. Parameter yang dipelajari untuk penentuan kondisi optimum yaitu pH, konsentrasi awal, waktu kontak, massa biosorben dan ukuran partikel. Biosorben terlebih dahulu diaktivasi dengan HNO₃ 0,01 M. Kondisi optimum biosorpsi diperoleh pada pH 4, waktu kontak 15 menit, massa biosorben 0,025 g dan ukuran partikel ≤25 μm kedua ion logam, sedangkan konsentrasi awal larutan 1200 mg/L untuk Pb(II) dan 1000 mg/L untuk Cd(II). Studi isotherm adsorpsi mengikuti model isotherm Langmuir dengan koefisien determinasi (R²) 0,9983 untuk Pb(II) dan 0,9892 untuk Cd(II). Kinetika adsorpsi mengikuti model pseudo orde dua yang menunjukkan bahwa adsorpsi terjadi secara kimia. Karakterisasi menggunakan FTIR menunjukkan bahwa biosorben mengandung gugus fungsi seperti -OH, dan -C=O yang berperan dalam proses biosorpsi, sedangkan karakterisasi menggunakan SEM menunjukkan adanya pori - pori biosorben sebelum menyerap ion logam dan pori - pori akan tertutup setelah menyerap ion logam. Kapasitas adsorpsi Pb(II) sebesar 223,72 mg/g dan Cd(II) 88,7 mg/g. Hal ini menunjukkan bahwa kulit buah kapuk merupakan biosorben potensial dengan biaya rendah dalam menyerap Pb(II) dan Cd(II).

Kata kunci: Kulit buah kapuk, biosorpsi, Pb(II), Cd(II)

Abstract: Kapok husk (*Ceiba pentandra* L) is an agricultural waste that has not been optimized currently. Biosorption of Pb(II) and Cd(II) using Kapok husk was studied by batch method. Biosorbent was activated by HNO₃ 0.01 M. The parameters studied for determining optimum conditions were pH, initial concentration, contact time, biosorbent mass and particle size. The optimum conditions for biosorption were obtained at pH 4, contact time 15 minutes, biosorbent dosage 0.025 g and particle size ≤25 μm for both metal ions, while initial concentration for Pb(II) was 1200 mg/L and Cd(II) was 1000 mg/L. The study of adsorption isotherm followed the Langmuir isotherm model with a determination coefficient (R²) 0.9983 for Pb(II) and 0.9892 for Cd(II). Adsorption kinetics followed second order pseudo model which showed that adsorption occurs chemically. Characterization using FTIR showed that biosorbent contained the -OH and -C=O functional group which played a role in the biosorption process, while SEM characterization showed biosorbent pores before absorbing metal ions and the pores would be closed after absorbing. The adsorption capacity of Pb(II) was 223.72 mg / g and Cd(II) was 88.7 mg/g. This shows that Kapok husk is a potential biosorbent with low cost in absorb Pb(II) and Cd(II).

Keywords: Kapok husk, biosorption, Pb(II), Cd(II)

PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh logam berat menjadi salah satu perhatian utama dunia. Keberadaan logam berat memberikan efek bagi tanaman, hewan, dan manusia. Logam berat dapat masuk ke lingkungan air melalui aktivitas industri maupun non industri. Beberapa diantara

logam tersebut bersifat karsinogenik, teratogenik, menghambat pertumbuhan dan mempengaruhi sistem organ seperti kerusakan paru - paru dan ginjal (Lee *et al.* 2012).

Beberapa teknik untuk pengolahan limbah logam berat telah banyak dikembangkan oleh para ahli lingkungan diantaranya pengendapan kimia (Ghosh

et al. 2011), adsorpsi menggunakan kaolin (Thillainatarajan & Thenkulazhi 2016), adsorpsi menggunakan karbon aktif, pertukaran ion dan ekstraksi pelarut (Machida *et al.* 2012). Akan tetapi, metode ini membutuhkan biaya yang mahal untuk aplikasinya terutama untuk konsentrasi logam yang kecil, dan menghasilkan lumpur kimia (limbah sekunder) yang harus diolah lagi sebelum dibuang ke lingkungan (Kumar *et al.* 2006). Salah satu metode alternatif yang digunakan untuk penanganan limbah logam berat yaitu menggunakan material biologis sebagai biosorben yang disebut biosorpsi.

Biosorpsi merupakan metode yang paling berkembang dan digunakan secara luas karena efektif, biaya murah, cocok untuk logam berat dengan konsentrasi yang kecil dan ramah lingkungan (Ramalingam *et al.* 2013). Beberapa biosorben yang telah digunakan dalam menyerap logam berat diantaranya penggunaan *Garcinia mangostana* L (Zein *et al.* 2010), kulit buah *Arenga pinnata* Merr (Zein *et al.* 2014), kulit buah jengkol (Chaidir *et al.* 2015), biji dan kulit *Dimocarpus longan* (Florenly *et al.* 2015), kulit *Annona squamosa* (Isaac & Sivakumar 2013), kulit *Terminalia catappa* (Jadav *et al.* 2015), kulit jeruk (Adebayo *et al.* 2016), kulit Sorgum (Tatah *et al.* 2017), kulit salak (Zein *et al.* 2018).

Kapuk (*Ceiba pentandra* L.) merupakan tanaman tropis dan banyak dijumpai di Indonesia. Selama ini bagian dari tanaman kapuk yang telah dimanfaatkan secara intensif yaitu seratnya, terutama untuk pengisi kasur, bantal, dan isolator suara. Setelah serat diambil maka akan menyisakan limbah berupa kulit buah yang akan dibuang begitu saja atau kadang – kadang dibakar. Beberapa penelitian berupaya untuk meningkatkan kegunaan kulit buah kapuk, salah satunya adalah biosorpsi logam berat. Ditinjau dari kandungan kimianya, kulit buah kapuk mengandung selulosa dan lignin yang cukup tinggi, dimana komponen ini mengandung gugus aktif seperti gugus hidroksil, karbonil dan karboksilat yang berperan dalam menyerap logam berat.

Belum ada dilaporkan bagaimana kemampuan kulit buah kapuk dalam menyerap logam berat. Oleh karena itu, pada penelitian ini dipelajari kemampuan kulit buah kapuk sebagai biosorben ion Pb(II) dan Cd(II) menggunakan metoda *batch*.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Semua bahan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan grade analitis: Pb(NO₃)₂, Cd(CH₃COO)₂, HNO₃, NaOH, NaNO₃, CH₃COOH, CH₃COONa, Na₂HPO₄, NaH₂PO₄, dan KCl.

Persiapan Biosorben

Kulit buah kapuk diperoleh dari daerah Tikalak, Singkarak, Sumatera Barat. Kulit buah kapuk dicuci bersih dan dikeringkan di ruang terbuka tanpa terkena cahaya matahari langsung, dihaluskan dan diayak

dengan ukuran partikel bervariasi. Serbuk direndam dalam HNO₃ 0,01 M selama 2 jam. Disaring dan dicuci dengan aquadest sampai pH netral, dikeringkan pada suhu kamar.

Penentuan Point of Zero Charge (pHpzc)

Larutan NaNO₃ 0,01 M yang telah diatur pHnya dari 2-8, dengan menambahkan HNO₃ 0,1 M dan NaOH 0,1 M, kemudian ditambahkan larutan buffer dengan pH yang sesuai. Larutan dipipet masing-masing 20 mL kedalam gelas piala 50 mL, ditambah 0,1 g biosorben kulit buah kapuk kemudian diaduk selama 24 jam. Larutan ini diukur pH nya masing-masing, lalu dibuat kurva yang menghubungkan antara pHo (pH awal) versus ΔpH (perubahan pH), nilai pHpzc diperoleh saat ΔpH = 0 (Cardenas-Peña *et al.* 2012).

Mekanisme Biosorpsi

Sebanyak 10 mL larutan logam dimasukkan ke dalam erlenmeyer 50 mL, ditambah 0,1 g biosorben kulit buah kapuk, diaduk selama 60 menit dengan kecepatan pengadukan 100 rpm. Larutan disaring dan konsentrasi ion logam pada filtrat dianalisis dengan AAS.

Karakterisasi Biosorben

Biosorben kulit buah kapuk dikarakterisasi gugus fungsinya menggunakan FTIR dan permukaan biosorben dikarakterisasi menggunakan SEM

Analisis Data

Kapasitas penyerapan biosorben kulit buah kapuk terhadap Pb(II) dan Cd(II) dihitung menggunakan persamaan (1).

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{m} \times v \dots (1)$$

dengan

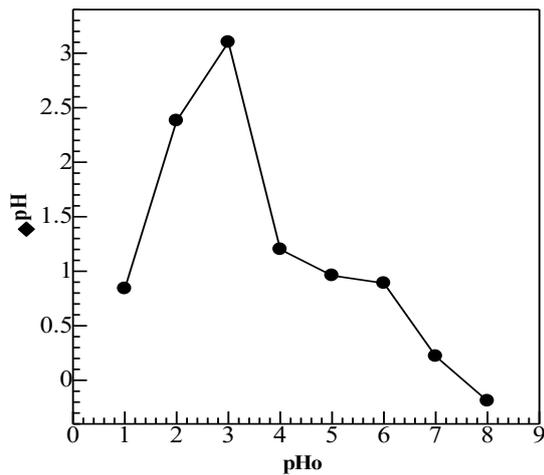
- q_e = kapasitas penyerapan (mg/g)
- C₀ = konsentrasi ion logam sebelum diserap
- C_e = konsentrasi ion logam setelah diserap
- m = massa biosorben
- v = volume larutan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Point Zero of Charge (pHpzc)

pHpzc merupakan salah satu parameter yang berperan untuk mengetahui pada pH rentang pH berapa biosorben memberikan hasil optimal dalam menyerap ion logam. Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa pHpzc biosorben kulit buah kapuk berada pada pH 7,4.

Hal ini menunjukkan bahwa pada pH tersebut biosorben kulit buah kapuk bermuatan netral dan memiliki jumlah situs adsorpsi positif dan negatif yang sama sehingga mampu menyerap ion logam dengan baik (Cardenas-Peña *et al.* 2012).

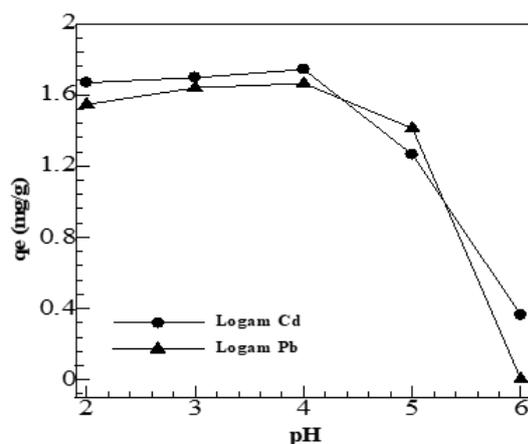


Gambar 1. Kurva pH_{pzc} kulit buah kapuk

Penentuan Kondisi Optimum Penyerapan

Pengaruh pH

Pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 2. Kapasitas adsorpsi ion Pb(II) dan Cd(II) oleh biosorben kulit kapuk meningkat sampai mencapai pH optimum larutan yaitu pH 4 untuk ion Pb(II) dan Cd(II). Pada pH lebih dari 4 kapasitas adsorpsi mulai menurun. Hal ini disebabkan karena ion logam akan cenderung mengendap pada pH yang lebih tinggi. Hasil yang sama juga ditunjukkan oleh penelitian yang dilakukan menggunakan serbuk kulit pisang kepok (Nengsih *et al.* 2015) dan menggunakan kulit biji bunga matahari (Bozecka *et al.* 2016). Pada pH rendah penyerapan logam dihambat oleh muatan positif biosorben dan persaingan antara ion logam dengan ion hidrogen dalam larutan. Apabila pH larutan ditingkatkan maka permukaan biosorben semakin bermuatan negatif dan penyerapan ion logam semakin meningkat hingga kesetimbangan tercapai (Amboga *et al.* 2014).

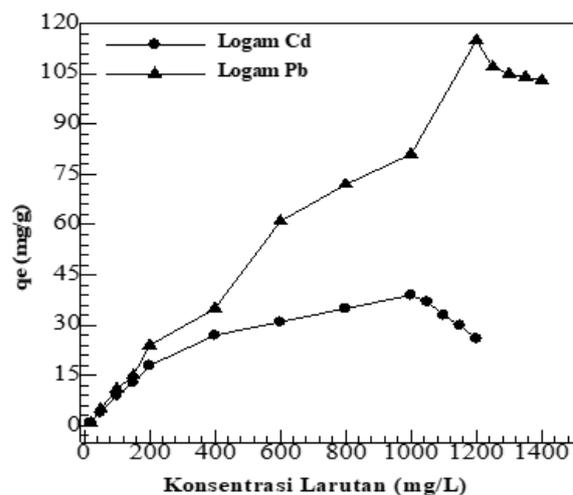


Gambar 2. Pengaruh pH terhadap penyerapan Pb(II) dan Cd(II) menggunakan kulit buah kapuk: konsentrasi 20 mg/L; massa biosorben 0,1 g; waktu kontak 60 menit; ukuran partikel $\leq 36 \mu\text{m}$; kecepatan pengadukan 100 rpm.

Konsentrasi ion hidrogen (pH) adalah salah satu faktor penting yang mempengaruhi perilaku adsorpsi ion logam dalam larutan. Hal ini mempengaruhi kelarutan ion logam dalam larutan, menggantikan beberapa ion positif yang berada pada sisi aktif dan mempengaruhi tingkat ionisasi dari adsorbat selama proses biosorpsi. pH mempengaruhi sifat kimia larutan dan juga spesiasi ion-ion logam. pH awal larutan menentukan bentuk ion logam dalam larutan. Peningkatan pH secara bertahap mengacu pada pembentukan ion kompleks, diikuti oleh pengendapan $\text{Pb}(\text{OH})_2$ dan $\text{Cd}(\text{OH})_2$ (Bozecka *et al.* 2016).

Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan

Kapasitas penyerapan Pb(II) dan Cd(II) oleh biosorben kulit buah kapuk dipelajari pada konsentrasi yang berbeda (20-1400 mg/L) seperti yang terlihat pada Gambar 3, yang menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi ion Pb(II) meningkat dengan meningkatnya konsentrasi larutan ion logam sampai mencapai kesetimbangan yaitu pada konsentrasi 1200 mg/L dan ion Cd(II) memiliki kapasitas penyerapan maksimum pada konsentrasi 1000 mg/L. Peningkatan konsentrasi ion logam lebih dari 1200 mg/L dan 1000 mg/L menyebabkan kapasitas adsorpsi cenderung menurun. Penurunan kapasitas penyerapan disebabkan karena telah jenuhnya sisi aktif biosorben oleh adsorbat. Kecepatan adsorpsi dan kapasitas adsorpsi dipengaruhi oleh konsentrasi ion logam dalam limbah cair. Semakin semakin besar konsentrasi menyebabkan penurunan kapasitas adsorpsi pada adsorben.

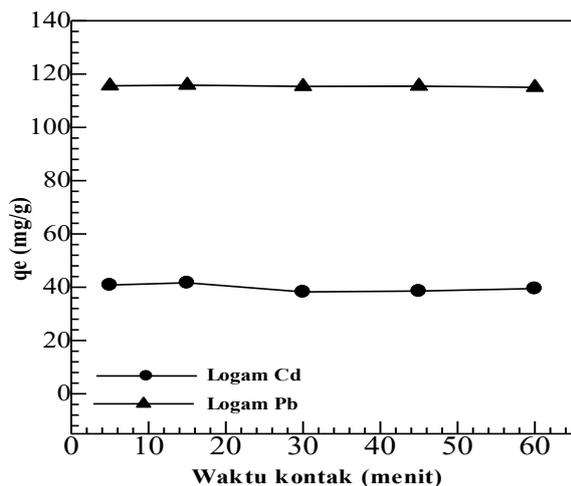


Gambar 3. Pengaruh konsentrasi terhadap penyerapan Pb(II) dan Cd(II) menggunakan kulit buah kapuk: pH 4; waktu kontak 60 menit, massa biosorben 0,1 g; ukuran partikel $\leq 36 \mu\text{m}$; kecepatan pengadukan 100 rpm.

Meningkatnya konsentrasi ion logam juga dapat menyebabkan efisiensi penyerapan menjadi berkurang karena kemampuan serapannya telah mencapai keadaan optimum (Prasetyowati & Koestiari 2014).

Pengaruh Waktu Kontak

Pengaruh waktu kontak dipelajari mulai dari waktu 5 sampai 60 menit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



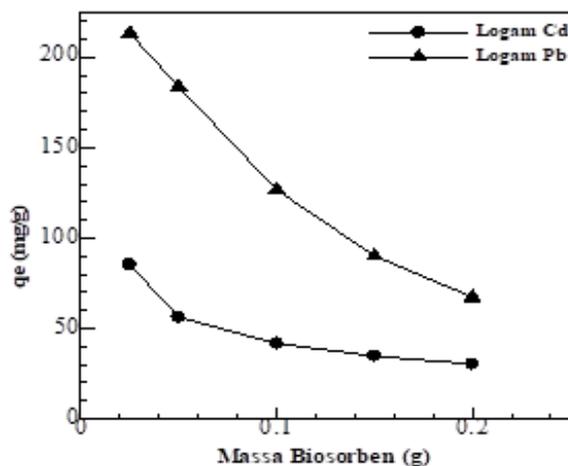
Gambar 4. Pengaruh waktu kontak terhadap penyerapan Pb(II) dan Cd(II) menggunakan kulit buah kapuk: pH 4; konsentrasi 1200 mg/L(Pb²⁺), 1000 mg/L (Cd²⁺); massa biosorben 0,1 g; ukuran partikel ≤36 µm; kecepatan pengadukan 100 rpm.

Gambar 4 menunjukkan bahwa waktu kontak optimum diperoleh pada waktu 15 menit untuk kedua ion logam. Nilai kapasitas adsorpsi sedikit naik hingga menit ke 15.

Setelah mencapai waktu adsorpsi maksimum ini, kapasitas adsorpsi sedikit menurun. Hal ini disebabkan oleh jumlah biosorben yang berikatan dengan adsorbat sudah dalam keadaan jenuhnya, sehingga apabila ditambahkan waktu adsorpsi yang berlebih akan menyebabkan terjadinya proses desorpsi atau pelepasan kembali biosorben dari adsorbat (Maslahat dkk. 2017). Pada awalnya serapan ion logam oleh permukaan biosorben akan lebih cepat, dan kemudian melambat sebagai akibat persaingan untuk mengurangi ketersediaan sisi aktif yang diperkuat oleh ion logam yang tersisa dalam larutan. Penurunan kapasitas adsorpsi juga disebabkan oleh tidak stabilnya ikatan ion Pb(II) sehingga sebagian kecil dari partikel Pb(II) ada yang terlepas kembali (Maslahat dkk. 2017).

Pengaruh Massa Biosorben

Pengaruh massa biosorben dipelajari pada massa 0,025; 0,050; 0,100; 0,150 dan 0,200 g dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh massa biosorben terhadap penyerapan Pb(II) dan Cd(II) menggunakan kulit buah kapuk: pH 4; konsentrasi 1200 mg/L(Pb²⁺), 1000 mg/L (Cd²⁺); waktu kontak 15 menit; ukuran partikel ≤36 µm; kecepatan pengadukan 100 rpm.

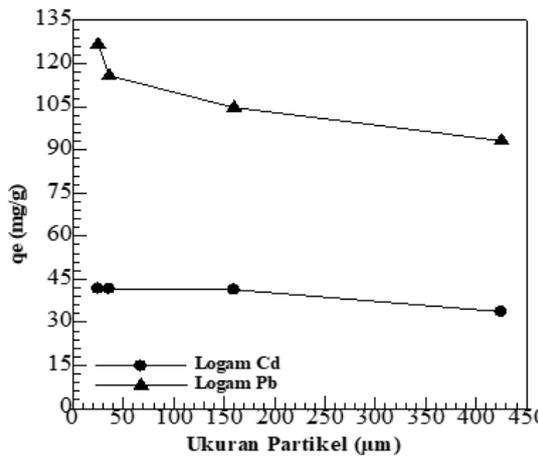
Gambar 5 menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum diperoleh pada massa 0,025 g dengan kapasitas adsorpsi 213,400 mg/g untuk Pb(II) dan 85,400 mg/g untuk Cd(II). Semakin kecil massa biosorben maka kapasitas penyerapan semakin besar. Pada saat massa biosorben kecil, jumlah ion yang teradsorpsi per satuan berat adsorben tinggi karena ion yang didistribusikan ke sisi aktif biosorben lebih besar. Kapasitas adsorpsi berkurang dengan meningkatnya massa biosorben. Menurut Demirbas *et al.* (2004), jika massa adsorben semakin besar, waktu kontak yang diperlukan untuk mencapai kesetimbangan juga semakin lama, sehingga kapasitas adsorpsinya semakin kecil.

Penelitian yang sama juga telah dilakukan oleh Adrian *et al.* (2015), Nasution *et al.* (2015) dan Nengsih *et al.* (2015) yang mempelajari bahwa semakin besar massa biosorben maka kapasitas adsorpsi semakin berkurang.

Pengaruh Ukuran Partikel

Parameter lain yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi adalah ukuran partikel. Gambar 6 menunjukkan pengaruh ukuran partikel pada biosorpsi Pb(II) dan Cd(II) menggunakan kulit buah kapuk. Berdasarkan gambar dapat diamati bahwa biosorben serbuk kulit buah kapuk dengan ukuran ≤25 µm memiliki kemampuan menyerap Pb(II) dan Cd(II) tertinggi dengan kapasitas penyerapan maksimum 126,7105 mg/g untuk Pb(II) dan 41,7750 mg/g untuk Cd(II).

Semakin besar ukuran partikel maka kapasitas adsorpsi semakin berkurang. Hasil penelitian yang sama juga dilaporkan oleh Zein *et al.* (2014) dan Nengsih *et al.* (2015).



Gambar 6. Pengaruh ukuran partikel terhadap penyerapan Pb(II) dan Cd(II) menggunakan kulit buah kapuk: pH 4; konsentrasi 1200 mg/L(Pb²⁺), 1000 mg/L (Cd²⁺); massa biosorben 0,025 g; waktu kontak 15 menit; kecepatan pengadukan 100 rpm.

Jika ukuran partikel biosorben menurun, maka proses *batch* akan menguntungkan karena luas permukaan biosorben yang lebih tinggi. Kapasitas adsorpsi ion Pb(II) dan Cd(II) berbanding terbalik dengan ukuran partikel adsorben. Semakin kecil ukuran partikel biosorben maka kapasitas adsorpsi Pb(II) dan Cd(II) semakin besar.

Model Isoterm Adsorpsi

Isoterm Langmuir

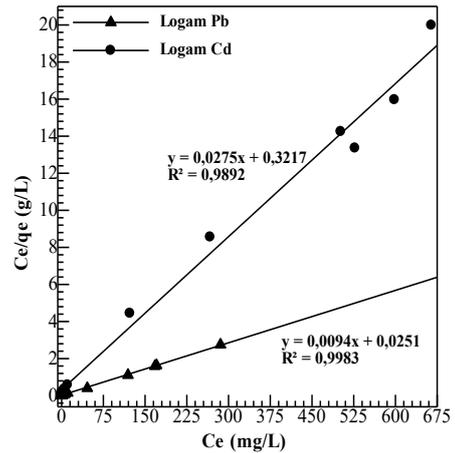
Persamaan Langmuir ditunjukkan pada persamaan (2) (Langmuir, 1918).

$$\frac{q_e}{C_e} = \frac{1}{q_m \cdot k_L} + \frac{1}{q_m} C_e \dots (2)$$

dengan:

- k_L = konstanta Langmuir (L/mg)
- C_e = konsentrasi ion logam setelah penyerapan
- q_m = kapasitas penyerapan maksimum (mg/g)

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7, model isoterm Langmuir ion Pb(II) dan Cd(II) oleh kulit buah kapuk diperoleh persamaan linier y = 0,0094x + 0,0251 untuk Pb(II) dengan koefisien determinasi (R²) 0,9983 dan konstanta Langmuir (k_L) sebesar 0,3745. Persamaan linier untuk Cd(II) y = 0,0275x + 0,3217 dengan R² 0,9892 dan k_L 0,0854 (Tabel 1). Nilai konstanta Langmuir (k_L) menunjukkan afinitas antara biosorben dengan logam berat, dimana semakin besar nilai konstanta kesetimbangan, maka semakin besar juga afinitas adsorben terhadap logam berat.



Gambar 7. Kurva model isoterm isoterm Langmuir

Karakteristik penting dari isoterm Langmuir dapat dicirikan oleh faktor pemisahan (R_L). Bentuk persamaannya ditunjukkan pada persamaan (3).

$$R_L = \frac{1}{1 + k_L \cdot C_o} \dots (3)$$

dengan

- k_L = konstanta Langmuir
- C_o = konsentrasi awal ion logam

Faktor pemisahan menunjukkan apakah adsorpsi menguntungkan atau tidak. Jika R_L = 0 maka adsorpsi bersifat irreversibel, (0 < R_L < 1) mengindikasikan adsorpsi menguntungkan (adsorpsi baik), R_L = 1 linier (adsorpsi tidak baik), R_L = 0 (irreversibel) dan R_L > 1 tidak menguntungkan (Ahmad *et al.* 2016). Dari hasil penelitian diperoleh R_L untuk Pb(II) dan Cd(II) 0,0022 dan 0,0150 berturut-turut. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi bersifat menguntungkan.

Isoterm Freundlich

Persamaan Freundlich ditunjukkan pada persamaan (4).

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \dots (4)$$

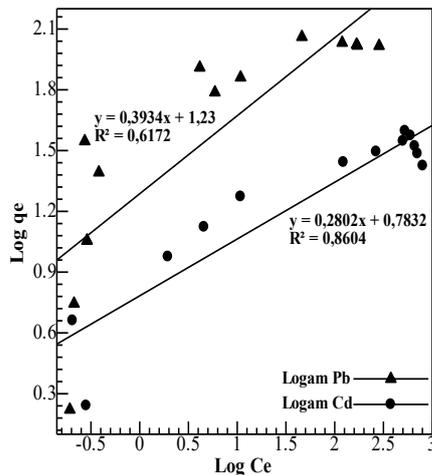
dengan

- K_f = konstanta Freundlich yang berkaitan dengan kapasitas penyerapan

Gambar 8 menunjukkan model isoterm Freundlich untuk Pb(II) diperoleh persamaan y = 0,3934x + 1,2300 dengan R² adalah 0,6172 konstanta kesetimbangan (K_f) sebesar 16,9824 dan nilai n 2,5419 (Tabel 1). Persamaan untuk Cd(II) y = 0,2802x + 0,7832 dengan R² adalah 0,8604 dengan K_f 6,0701 serta n sebesar 3,5688.

Tabel 1. Koefisien Isoterm Langmuir dan Freundlich Pada Penyerapan Pb(II) dan Cd(II) menggunakan kulit buah kapuk

Ion Logam	Langmuir				Freundlich		
	k_L	$q_m(\text{mg/g})$	R^2	R_L	k_f	n_f	R^2
Pb(II)	0,3745	106,3829	0,9983	0,0022	16,9824	2,5419	0,6172
Cd(II)	0,0854	36,3636	0,9892	0,0115	6,0701	3,5688	0,8604

**Gambar 8.** Kurva model isoterm Freundlich

Menurut Chantawong *et al.* (2003) jika nilai n yang diperoleh berada pada range 1-10 maka penyerapan menguntungkan. Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai R^2 Langmuir lebih besar dari Freundlich. Nilai R^2 yang besar (mendekati 1) menunjukkan kecocokan yang tinggi antara model dengan proses adsorpsi, sehingga dapat disimpulkan bahwa model isoterm Langmuir sesuai untuk proses adsorpsi Pb(II) dan Cd(II) menggunakan kulit buah kapuk.

Kinetika Adsorpsi

Persamaan Lagergren adalah model kinetika pertama untuk sistem liquid-solid yang berbasis kepada kapasitas solid (pseudo orde satu) dimana bentuk persamaannya ditunjukkan pada persamaan (5) (Lagergren, 1898).

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} t \dots (5)$$

dengan:

- k_1 = konstanta laju reaksi pseudo orde satu (min^{-1})
- t = waktu (menit)
- q_e = jumlah ion logam yang teradsorpsi pada kesetimbangan (mg/g)
- q_t = jumlah ion logam yang teradsorpsi pada waktu tertentu (mg/g)

Dengan membuat plot $\log(q_e - q_t)$ terhadap t , akan diperoleh kurva linier dengan slope = $k_1/2,303$

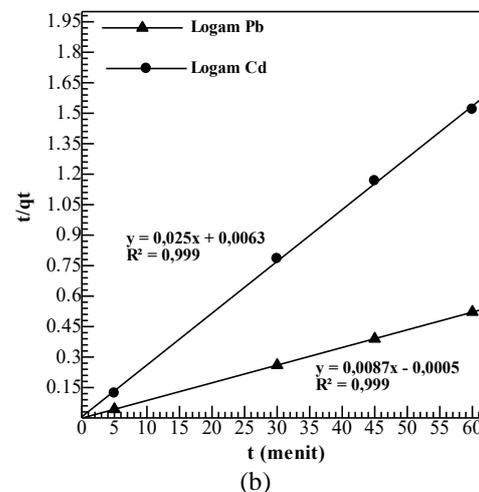
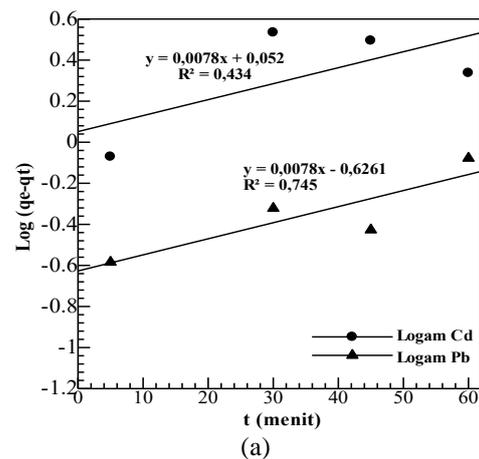
atau k , dan intersep = $\ln q_e$, sehingga parameter kinetika k_1 dan q_e dapat dihitung.

Pseudo orde dua adalah salah satu model yang mengasumsikan bahwa kapasitas penyerapan sebanding dengan jumlah sisi aktif yang terdapat pada adsorben. Persamaan liniernya ditunjukkan pada persamaan (6).

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \dots (6)$$

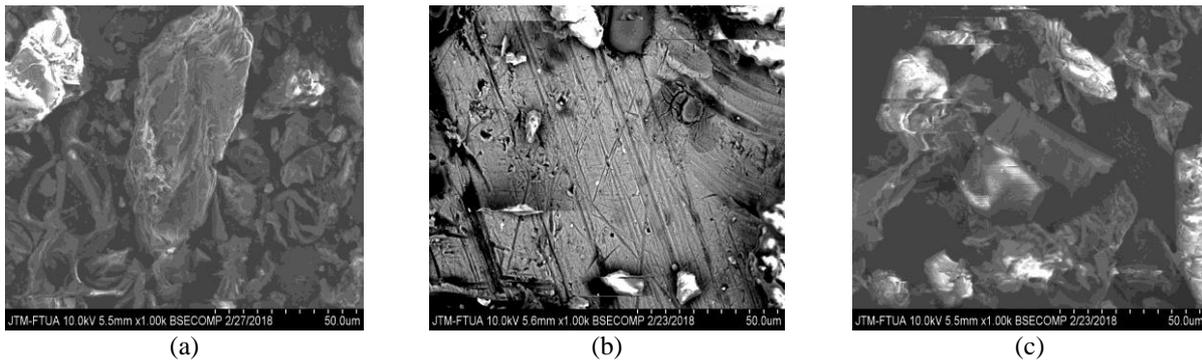
dengan

- k_2 = konstanta laju reaksi pseudo orde dua (g/mg.min)

**Gambar 9.** Kurva Kinetika adsorpsi (a) Kurva kinetika pseudo orde satu (b) kurva kinetika pseudo orde dua.

Tabel 2. Parameter kinetika pada penyerapan ion Pb(II) dan Cd(II) menggunakan kulit buah kapuk

Model kinetika	Parameter	Pb(II)	Cd(II)
Pseudo orde satu	q_e (mg/g)	0,2360	1,1270
	k_1 (min ⁻¹)	0,0179	0,0179
	R^2	0,7450	0,4340
Pseudo orde dua	q_e (mg/g)	114,9420	40
	k_2 (g m/g.min)	6,6000	10,0800
	R^2	0,9999	0,9999



Gambar 10. Gambar SEM Serbuk Kulit Buah Kapuk (a). Sebelum menyerap logam (1000×) (b). Kulit kapuk setelah menyerap Pb(II) (perbesaran 1000×) (c). Kulit kapuk setelah menyerap Cd(II) (perbesaran 1000×).

Dengan membuat plot t/q_t terhadap t , akan diperoleh kurva linier dengan slope = $1/q_e$ dan intersep = $1/k_2q_e^2$, sehingga parameter q_e dan k_2 dapat dihitung. Gambar 9(a) menunjukkan bahwa nilai R^2 kinetika pseudo orde satu untuk Pb(II) adalah 0,7450 dan Cd(II) adalah 0,4340. Pada kinetika pseudo orde dua ditunjukkan pada gambar 9(b) untuk Pb(II) dan Cd(II) adalah 0,9999. Nilai R^2 yang paling mendekati 1 yaitu pseudo orde dua. Berdasarkan Tabel 2. nilai q_e hitung pada pseudo orde dua mendekati q_e eksperimen, sehingga dapat disimpulkan bahwa penyerapan kedua ion logam menggunakan serbuk kulit buah kapuk mengikuti model pseudo orde dua dengan mekanisme adsorpsi yang didominasi oleh mekanisme secara kimia.

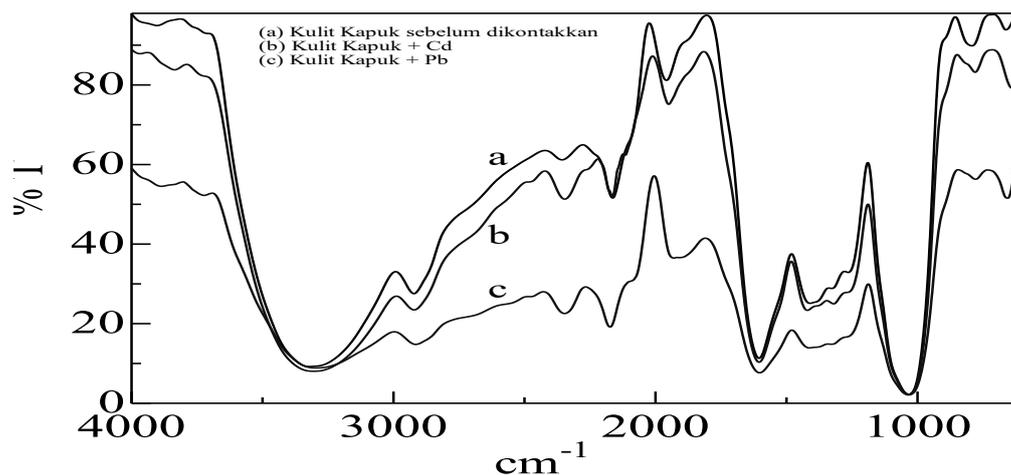
Analisis SEM

Gambar 10(a) menunjukkan biosorben kulit buah kapuk sebelum biosorpsi tidak beraturan dan memiliki rongga yang belum terisi yang memungkinkan sebagai tempat terjadinya proses penyerapan, dimana ion logam pada larutan akan memenuhi permukaan biosorben dan mengisi rongga kosong sehingga terjadi interaksi antara biosorben dengan ion logam tersebut. Setelah proses biosorpsi pori-pori tersebut terisi oleh kation logam, yang ditunjukkan pada Gambar 10(b) dan 10(c). Hal ini menunjukkan bahwa ion logam sudah terikat pada permukaan biosorben.

Analisis FTIR

Berdasarkan Gambar 11 pada puncak spektrum dengan angka gelombang $3320,97\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya *stretching* gugus -OH pada dalam alkohol dan fenol atau ikatan hidrogen intramolekul karbohidrat berada dalam senyawa organik (mungkin selulosa, hemiselulosa dan lignin). Puncak ini bergeser ke $3295,17\text{ cm}^{-1}$ setelah menyerap Pb(II) dan $3305,46\text{ cm}^{-1}$ setelah menyerap ion Cd(II). Pergeseran ini menunjukkan terbentuknya ikatan antara masing masing ion logam dengan -OH. Pada spektrum juga terlihat terjadi pergeseran angka gelombang pada range spesifik senyawa aromatis (C=C) antara $1400-1600\text{ cm}^{-1}$. Angka gelombang $1410,78\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya *stretching* gugus C-H. Angka gelombang $1604,60\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus karboksil dan $792,14\text{ cm}^{-1}$ memperlihatkan adanya gugus C=O. Puncak serapan lain yang muncul pada $1033,23\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan *stretching* gugus C-O. Berkurangnya nilai % transmittan setelah proses biosorpsi membuktikan telah terjadinya penyerapan ion logam oleh biosorben kulit buah kapuk.

Tabel 3 menunjukkan perbandingan kapasitas penyerapan beberapa biosorben. Berdasarkan Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa biosorben kulit buah kapuk memiliki kapasitas penyerapan paling tinggi untuk menyerap ion Pb(II) dan Cd(II) didalam larutan.



Gambar 11. Spektra FTIR serbuk kulit buah Kapuk (a) Sebelum dikontakkan dengan logam (b) Setelah Menyerap Pb (II) (c) Setelah Menyerap Cd (II).

Tabel 3. Perbandingan kapasitas penyerapan beberapa biosorben

Biosorben	Pb(II) (mg/g)	Cd(II) (mg/g)	Referensi
Kulit manggis	3,56	3,15	Zein <i>et al.</i> (2010)
Kulit <i>Annona squamosa</i>	90,93	71	Isaac & Sivakumar (2013)
Kulit petai	36,01	-	Suyono <i>et al.</i> (2015)
Kulit pisang kepok	10,92	2,82	Nengsih <i>et al.</i> (2015)
Kulit jeruk	-	83,33	Adebayo <i>et al.</i> (2016)
Serat kapuk	38,46	58,47	Chung <i>et al.</i> (2008)
Kulit salak	83,33	27,78	Zein <i>et al.</i> (2018)
Kulit buah kapuk	223,72	88,70	Penelitian ini

KESIMPULAN

Kulit buah kapuk merupakan biosorben potensial dengan biaya rendah dalam menyerap ion Pb(II) dan Cd(II) pada kondisi optimum pH 4 dan waktu kontak 15 menit. Konsentrasi larutan optimum diperoleh pada 1200 mg/L untuk Pb(II) dan 1000 mg/L untuk ion Cd(II). Model isoterm Langmuir sesuai untuk proses adsorpsi dan kinetika adsorpsi mengikuti mekanisme pseudo orde dua dengan kapasitas adsorpsinya 223,72 mg/g untuk Pb(II) dan 88,7 mg/g untuk Cd(II).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah mendanai penelitian ini sesuai dengan nomor penugasan surat: 050/SP2H/LT/DRPM/2018.

DAFTAR PUSTAKA

- Adebayo, G.B., Mohammed, A.A. & Sokoya, S.O. (2016). Biosorption of Fe (II) and Cd (II) ions from aqueous solution using a low cost adsorbent from orange peels. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. 20(3): 702-714.
- Adrian, Fachrial, E., Almahdy, Syaifullah, Munaf, E. & Zein, R. (2015). Biosorption of cadmium (II) ions from aqueous solution by cassava (*Manihot utilissima*) leaves. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 7(9S): 1-8
- Ahmad, A., Khatoon, A., Mohd-Setapar, S.H., Kumar, R. & Rafatullah, M. (2016). Chemically oxidized pineapple fruit peel for the biosorption of heavy metals from aqueous solutions. *Desalination and Water Treatment*. 57(14): 6432-6442.
- Amboga, A.D., Onyari, J.M., Shiundu, P.M. & Gichuki, J.W. (2014). Equilibrium and kinetics studies for the biosorption of aqueous Cd (II) ions

- onto *Eichhornia crassipes* biomass. *Journal of Applied Chemistry*. 11(1): 29-37.
- Bozecka, A., Bozecki, P. & Sanak-Rydlowska, S. (2016). Removal of Pb (II) and Cd (II) ions from aqueous solutions with selected organic wastes. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*. 52(1): 380-396
- Cardenas-Peña, A.M., Ibanez, J.G. & Vasquez-Medrano, R. (2012). Determination of the point of zero charge for electrocoagulation precipitates from an iron anode. *International Journal of Electrochemical Science*. 7(7): 6142-6153.
- Chaidir, Z., Zein, R., Hasanah, Q., Nurdin, H. & Aziz, H. (2015). Adsorption of Cr (III) and Cr (VI) metals in aqueous solution using Mangosteen Rind (*Pithecellobium jiringa* (jack) prain.). *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 7(8): 948-956.
- Chantawong, V., Harvey, N.W. & Bashkin, V.N. (2003). Comparison of heavy metal adsorptions by Thai kaolin and ballclay. *Water, Air, and Soil Pollution*. 148(1-4): 111-125.
- Demirbas, E., Kobya, M., Senturk, E. & Ozkan, T. (2004). Adsorption kinetics for the removal of chromium (VI) from aqueous solutions on the activated carbons prepared from agricultural wastes. *Water SA*. 30(4): 533-539.
- Florenly, Ikhtiari, R., Aziz, H., Syafrizayanti, Zein, R. (2015). The removal of Cr(VI) with *Dimocarpus longan* as a low cost biosorbent. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 7(9S): 81-88
- Ghosh, P., Samanta, A.N. & Ray, S. (2011). Reduction of COD and removal of Zn²⁺ from rayon industry wastewater by combined electro-Fenton treatment and chemical precipitation. *Desalination*. 266(1-3): 213-217.
- Isaac, C.P.J. & Sivakumar, A. (2013). Removal of lead and cadmium ions from water using *Annona squamosa* shell: kinetic and equilibrium studies. *Desalination and Water Treatment*. 51(40-42): 7700-7709.
- Jadav, J.N., Maind, S.D. & Bhalerao, S.A. (2015). Competitive biosorption of lead (II) ions from aqueous solutions onto *Terminalia catappa* L. leaves as a cost effective biosorbent. *Octa Journal of Environmental Research*. 3(1): 67-79.
- Lagergren, S.K., 1898. About the theory of so-called adsorption of soluble substances. *Sven Vetenskapsakad Handlingar*. 24: 1-39.
- Langmuir, I. (1918). The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *Journal of the American Chemical Society*. 40(9): 1361-1403.
- Lee, J.C., Son, Y.O., Pratheeshkumar, P. & Shi, X. (2012). Oxidative stress and metal carcinogenesis. *Free Radical Biology and Medicine*. 53(4): 742-757.
- Machida, M., Fotoohi, B., Amamo, Y. & Mercier, L. (2012). Cadmium (II) and lead (II) adsorption onto hetero-atom functional mesoporous silica and activated carbon. *Applied Surface Science*. 258(19): 7389-7394.
- Maslahat, M., Taufik, A. & Subagja, P.W. (2017). Pemanfaatan limbah cangkang telur sebagai biosorben untuk adsorpsi logam Pb dan Cd. *Jurnal Sains Natural*. 5(1): 92-100.
- Nasution, A.N., Amrina, Y., Zein, R., Aziz, H. & Munaf, E. (2015). Biosorption characteristics of Cd (II) ions using herbal plant of mahkota dewa (*Phaleria macrocarpa*). *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 7(7): 189-196.
- Nengsih, H., Zilfa & Suhaili, R. (2015). Characterization and utilization of kepok banana bark powder (*Musa balbisiana* Colla) as absorbent of metal ions Pb(II) & Cd(II) in aqueous solution. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 7(9S):89- 93
- Prasetiowati, Y. & Koestiari, T. (2014). Kapasitas adsorpsi bentonit teknis sebagai adsorben ion Cd²⁺. *UNESA Journal of Chemistry*. 3(3): 194-200.
- Ramalingam, S.J., Khan, T.H., Pugazhenth, M. & Thirumurugan, V. (2013). Removal of Pb (II) and Cd (II) ions from Industrial wastewater using *Calotropis procera* roots. *International Journal of Engineering Science Invention*. 2(4): 1-6.
- Tatah, V.S., Otitoju, O., Ezeonu, C.S., Onwurah, I.N.E. & Ibrahim, K.L.C. (2017). Characterization and adsorption isotherm studies of Cd (II) and Pb (II) ions bioremediation from aqueous solution using unmodified sorghum husk. *Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering*. 2(3): 34.
- Zein, R., Hidayat, D.A., Elfia, M., Nazarudin, N. & Munaf, E. (2014). Sugar palm *Arenga pinnata* Merr (Magnoliophyta) fruit shell as biomaterial to remove Cr (III), Cr (VI), Cd (II) and Zn (II) from aqueous solution. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*. 63(7): 553-559.
- Zein, R., Suhaili, R., Earnestly, F. & Munaf, E. (2010). Removal of Pb (II), Cd (II) and Co (II) from aqueous solution using *Garcinia mangostana* L. fruit shell. *Journal of Hazardous Materials*. 181(1-3): 52-56.
- Zein, R., Wardana, N., Refilda, R. & Aziz, H., (2018). Kulit salak sebagai biosorben potensial untuk pengolahan timbal (II) dan cadmium (II) dalam larutan. *Chimica et Natura Acta*. 6(2): 56-64.