

Kinetika Adsorpsi Logam Berat Cr (VI) dengan Menggunakan Serbuk Daun Mimba (*Azadirachta indica*)

Silvia Rachmy^{1,*}

¹Program Studi Pengolahan Limbah Industri, Politeknik AKA Bogor, Jalan Pangeran Sogiri No. 283 Bogor 16154 Indonesia

*E-mail: silviarachmy@gmail.com

(Received: 10 Mei 2023; Accepted: 31 Juli 2023; Published: 31 Juli 2023)

Abstrak

Adsorben alternatif dikembangkan dari daun Mimba (*Azadirachta indica*) untuk menghilangkan ion logam Cr (VI) dari air limbah. Adsorpsi terjadi dengan proses yang menggunakan parameter yang bervariasi - waktu agitasi, konsentrasi ion Cr (VI), dosis adsorben, dan temperatur. Sifat adsorpsi dalam penelitian ini mengikuti Isoterm Freundlich dan reaksi orde satu semu. Serbuk daun mimba sebesar 1 gram dapat menghilangkan sebanyak 100 % Cr (VI) dalam waktu 180 menit dari larutan dengan konsentrasi 200 mg/L pada 29°C tanpa penambahan asam atau basa. Koefisien adsorpsi sebesar 2,9164 mengindikasikan bahwa serbuk daun mimba sangat potensial untuk digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan Cr (VI) dari air limbah.

Kata kunci : Serbuk daun mimba, kromium (VI), Isoterm Freundlich, Adsorpsi

Abstract

*Alternative adsorbent developed from the leaves of Neem (*Azadirachta indica*) to remove metal ions Cr (VI) from wastewater. Adsorption occurs with various parameters - agitation time, the concentration of ions of Cr (VI), adsorbent dosage, and temperature. Adsorption properties in this study followed the Freundlich isotherm and pseudo-first-order reaction. About 1 gram of Neem leaf powder can remove as much as 100% Cr (VI) within 180 minutes of a solution with a concentration of 200 mg / L at 29°C without acid or base added. The adsorption coefficient indicates the potential of Neem leaf powder for use as an adsorbent to remove Cr (VI) from wastewater.*

Keywords: Neem leaf powder, kromium (VI), Freundlich Isotherm, Adsorption

PENDAHULUAN

Air limbah dapat tercemar oleh logam berat seperti kromium, timbal, tembaga, dan lain sebagainya yang akan memberikan bahaya yang serius bagi lingkungan. Logam-logam tersebut tidak dapat didegradasi atau didetoksifikasi

secara biologis dan memiliki kecenderungan untuk terakumulasi dalam tubuh makhluk hidup. Kromium dan senyawa turunannya banyak digunakan pada industri kertas, tekstil, penyamak kulit, keramik, dan sebagainya. Pada lingkungan perairan, kromium kebanyakan

terdapat dalam dua bentuk, trivalent [Cr^{3+} dan $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$] dan heksavalen [HCrO_4^- , CrO_4^{2-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, dsb]. Sebagian besar senyawa heksavalen bersifat toksik, karsinogenik, dan mutagenik (Sharma *et al.* 2004).

Kromium (III) dan (VI) sangat signifikan keberadaannya di lingkungan karena sifatnya yang stabil. Cr (VI) juga diketahui seratus kali lebih toksik dibandingkan dengan Cr (III) karena solubilitas dan mobilitasnya yang tinggi. Cr (VI) juga telah ditetapkan sebagai zat karsinogenik pada manusia (Gibb, 2000). Efek toksikologis dari Cr (VI) berasal dari oksidasi alami dan pembentukan radikal bebas selama proses reduksi dari Cr (VI) ke Cr (III) yang terjadi di dalam sel dan membentuk kompleks makromolekul. Selain itu struktur kimianya juga dapat menembus membran sel dengan cepat dan mengalami reaksi dalam sel. Oleh sebab itu, World Health Organization (WHO) merekomendasikan ambang batas Cr (VI) pada air limbah sebesar 0,05 mg/L, sedangkan konsentrasi kromium total yang mengandung Cr (III), Cr (VI) dan spesies kromium lainnya harus dibawah 2 mg/L (Gupta, *et al.*, 2014).

Metode-metode yang telah diuji coba untuk pengambilan Cr (VI) yang terdapat di dalam air limbah diantaranya adalah reduksi, presipitasi, pertukaran ion, ekstraksi larutan, pemisahan membran, dan adsorpsi. Sejauh ini, adsorpsi merupakan metode yang paling efektif dan paling banyak digunakan karena lebih ekonomis. Adsorben yang umum digunakan dalam proses adsorpsi adalah alumina, karbon aktif, gel silika, dan zeolit. Adsorben tersebut memiliki kemampuan adsorpsi yang baik namun tidak ekonomis dan cenderung sulit untuk didapatkan, sehingga penelitian mengenai penggunaan adsorben alternatif yang berasal dari bahan alam banyak dilakukan. Proses tersebut melibatkan penggunaan materi biologis yang dapat membentuk kompleks dengan ion logam menggunakan ligand atau grup fungsional mereka. Material biologis ini disebut dengan

biosorbent dan pengikatan logam oleh biomasa disebut sebagai biosorpsi (Danarto, 2007).

Adsorpsi pada permukaan atau antar-muka sebagian besar merupakan hasil dari ikatan antara masing-masing atom, ion, atau molekul dari adsorbat dan permukaan yang memiliki gaya elektromagnetik. Karakteristik adsorbat menentukan kapasitas dan laju kesetimbangan, area permukaan, sifat kimia-fisik dari permukaan, ketersediaan permukaan untuk mengadsorp molekul atau ion, ukuran fisik dan bentuk dari partikel adsorben.

Pohon Mimba (*Azadirachta indica*) tumbuh sepanjang tahun dan dapat ditemukan hampir di seluruh dunia. Pohon Mimba sudah dikenal sebagai pembersih udara alami dan menanam pohon Mimba di jalan raya sangat dianjurkan sebagai cara yang efektif untuk mengurangi polusi.

Maksud dari studi ini adalah untuk mengetahui kemampuan serbuk daun mimba sebagai media adsorpsi alternatif untuk logam berat kromium. Tujuan dari studi ini yaitu menghitung efisiensi removal parameter warna pada variasi konsentrasi air limbah serta menghitung kapasitas adsorban dan konstanta n dengan Freundlich isotherm.

Tabel 1. Variasi Parameter yang Digunakan dalam Penelitian

Waktu agitasi (menit)	C*) awal (mg/L)	Dosis adsorben (g)	T*) (°C)
30	100	0,25 1,75	29
60	150	0,5 2	35
90	200	0,75 2,25	40
120	250	1 2,75	45
150	300	1,25 3	50
180	350	1,5	

*) C = Konsentrasi

T = Temperatur

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan dengan menggunakan serbuk daun mimba dengan dibuat

menggunakan oven setelah sebelumnya dicuci dan dikeringkan terlebih dahulu. Serbuk daun mimba yang dipilih untuk penelitian ini berukuran 0,4 dan 0,5 mm. Variabel yang diteliti dalam penelitian ini ada empat parameter untuk mengetahui kapasitas adsorpsi optimum daun mimba terhadap kromium yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Analisis Logam

Konsentrasi logam akhir setelah adsorpsi diukur pada penelitian dengan menggunakan metode titrasi. Untuk memperkirakan persentase *removal* dari Cr (VI) dari solusi cair dapat digunakan persamaan berikut.

$$\% Cr_{Removal} (VI) = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \quad (1)$$

Pada proses adsorpsi sistem *batch*, jumlah logam yang terjerap dalam adsorben pada saat setimbang dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (2)$$

dengan: q_e = jumlah kromium yang diadsorb per unit berat adsorben (mg/g); C_0 = konsentrasi awal (mg/L); C_e = konsentrasi saat setimbang (mg/L); V = volume larutan (mL); m = berat adsorben (g)

Freundlich Isotherm

Freundlich isotherm dibuat berdasarkan adsorpsi multilayer dengan interaksi antara molekul yang teradsorpsi. Model ini berlaku pada adsorpsi pada permukaan heterogen dengan distribusi energi yang seragam dan adsorpsi reversibel. Hubungan ini dapat berlaku terhadap rentang konsentrasi yang rendah atau intermediet. Persamaan untuk Freundlich isotherm adalah:

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (3)$$

Dalam persamaan tersebut, K_f adalah konstanta Freundlich atau kapasitas Freundlich dan n merupakan intensitas adsorpsi. Persamaan Freundlich secara linier dapat dinyatakan sebagai:

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

Nilai dari K_f dan n bisa didapatkan dari perpotongan garis dan kemiringan dari plot $\log q_e$ terhadap $\log C_e$. Adsorpsi pada umumnya adalah proses eksoterm dan seiring meningkatnya temperatur, jumlah yang teradsorpsi pada konsentrasi tertentu akan menurun sesuai dengan prinsip Le Chatelier.

Kinetika Adsorpsi

Beberapa model kinetika dapat digunakan untuk menjelaskan mekanisme proses adsorpsi. Persamaan laju reaksi orde satu semu Lagergen digunakan oleh Ho dan McKay (1998, 1999):

$$dq_t/dt = k_{ad} (q_e - q_t) \quad (5)$$

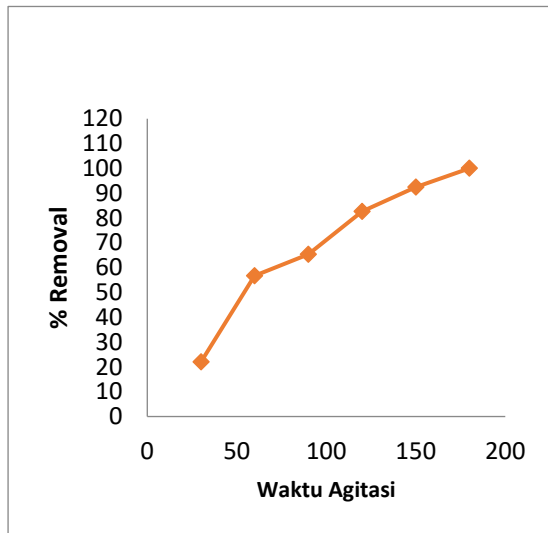
q_e dan q_t adalah jumlah adsorpsi pada saat ekuilibrium dan pada saat t , dan k_{ad} adalah konstanta dari proses adsorpsi orde satu. Aplikasi hukum laju reaksi yang terintegrasi dari kondisi awal $q_t = 0$ pada saat $t = 0$ adalah $\log (q_e - q_t) = \log q_e - k_{ad}/2,303 \cdot t$ (6)

Plot dari $\log (q_e - q_t)$ vs. t akan memberikan garis lurus untuk kinetika adsorpsi orde satu, sehingga konstanta laju adsorpsi dapat dihitung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efisiensi Removal Logam Cr (VI)

Pengaruh waktu agitasi. Waktu agitasi ekuilibrium didapatkan dengan cara membuat plot persentase kromium removal dengan waktu agitasi yang diberikan. Pengaruh dari waktu agitasi terhadap persentase removal kromium dapat dilihat pada Gambar 1. Dari grafik pada Gambar 1, dapat diketahui bahwa semakin banyak waktu yang diberikan untuk agitasi, persentase *removal* kromium semakin meningkat dan mencapai titik maksimum (removal 100%) pada waktu agitasi 180 menit.



Gambar 1. Pengaruh waktu agitasi terhadap *removal* kromium dengan menggunakan daun mimba

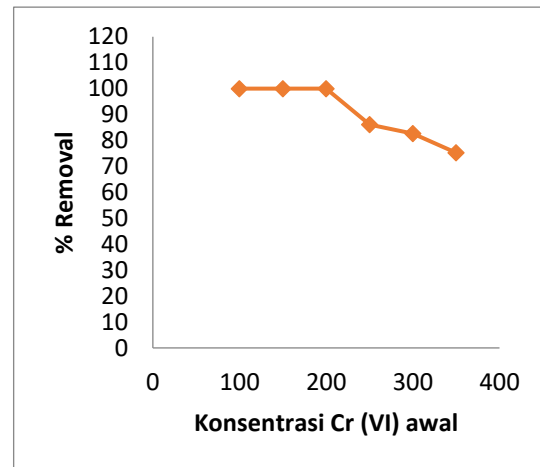
Kenaikan persentase *removal* seiring dengan makin lamanya waktu agitasi disebabkan karena semakin lama waktu kontak antara adsorbat dengan permukaan adsorben maka semakin besar kemungkinan adsorbat untuk masuk kedalam rongga pori akibat adanya tumbukan yang terjadi antara adsorbat dengan permukaan adsorben, sehingga mengakibatkan semakin besar Cr yang teradsorpsi pada permukaan adsorben.

Pengaruh konsentrasi awal kromium.

Konsentrasi awal yang semakin meningkat menyebabkan menurunnya persentase *removal* Cr (VI) pada saat waktu agitasi yang sama (180 menit) dan jumlah adsorben sebesar 1 gram pada suhu 29oC. Variasi konsentrasi ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas adsorpsi maksimum pada tiap gram biomassa daun mimba. Berdasarkan penelitian didapatkan bahwa data hasil analisa variasi konsentrasi Cr(VI) terhadap banyaknya Cr(VI) yang teradsorpsi dapat dilihat pada Gambar 2.

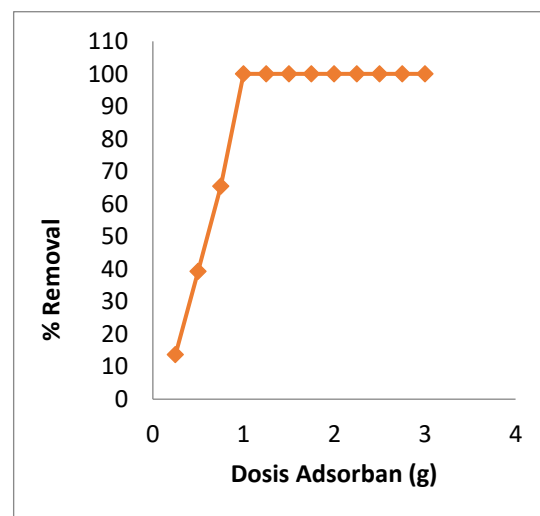
Pada konsentrasi Cr (VI) awal sebesar 100, 150, dan 200 mg/L, terjadi efisiensi *removal* sebesar 100%, artinya konsentrasi Cr (VI) yang teradsorp pada daun mimba semakin bertambah seiring dengan kenaikan konsentrasi Cr (VI) yang

terdapat pada larutan. Efisiensi kemudian menurun hingga pada nilai 75,26% saat konsentrasi awal Cr (VI) meningkat sampai pada konsentrasi 350 mg/L.



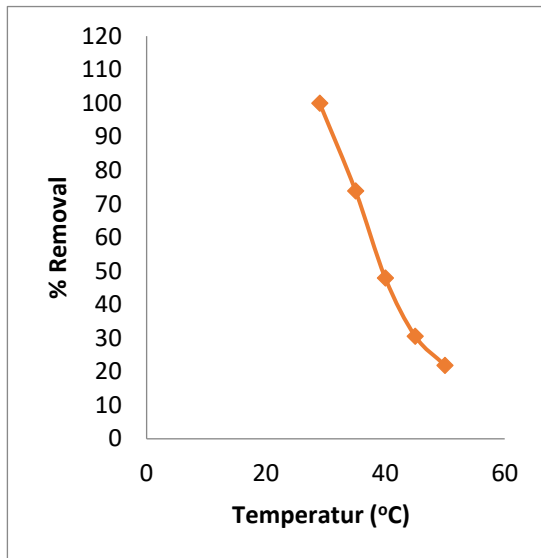
Gambar 2. Pengaruh konsentrasi awal terhadap *removal* kromium dengan menggunakan daun mimba

Pengaruh dosis adsorben. Adsorpsi Cr (VI) dipengaruhi oleh jumlah adsorben (serbuk daun nimba). Dengan konsentrasi Cr (VI) sebesar 200 mg/L, adsorpsi meningkat dari 13,73% menjadi 100% pada rentang kenaikan adsorben daun nimba sebesar 0,24 gram sampai 1 gram untuk waktu agitasi selama 180 menit pada suhu 29oC (Gambar 3).



Gambar 3. Pengaruh dosis adsorben terhadap *removal* kromium dengan menggunakan daun mimba

Pengaruh temperatur Pada Gambar 4 terlihat bahwa semakin tinggi temperatur (>29°C) maka persentase removal Cr (VI) akan semakin mengecil. Hal ini kemungkinan disebabkan karena pada temperatur tersebut kecepatan desorpsi meningkat dan mengakibatkan kecepatan adsorpsi secara keseluruhan berkurang.

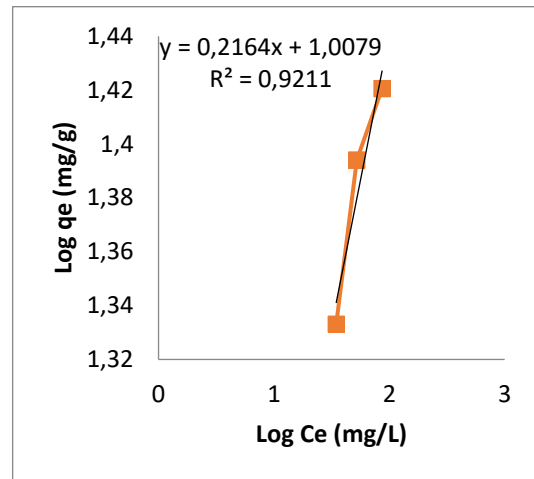


Gambar 4. Pengaruh temperatur terhadap removal kromium dengan menggunakan daun mimba

Isoterm Adsorpsi

Adsorpsi Cr (VI) mengikuti isoterm Freundlich pada Gambar 5, dengan menggunakan daun mimba pada temperatur 29°C, waktu agitasi 180 menit, jumlah serbuk daun mimba 1 gram, C_e adalah konsentrasi ekuilibrium pada konsentrasi Cr(VI) awal sebesar 250, 300, dan 350 mg/L. Koefisien dan korelasi adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 2. Plot Freundlich memberikan linearitas yang bagus ($R: 0,957$). Koefisien adsorpsi yang didapat adalah 2,9164, sedangkan afinitas adsorpsi, n , bernilai 4,623.

Pada Tabel 2. dapat dilihat Nilai K_f yang menunjukkan kapasitas adsorpsi suatu adsorban. Semakin besar harga K_f , maka kapasitas adsorpsinya semakin besar, semikian pula sebaliknya. Nilai n mengindikasikan tingkat linieritas antara konsentrasi larutan dan adsorpsi.



Gambar 5 Plot Freundlich untuk adsorpsi Cr (VI)

Bila $n = 1$ maka adsorpsi terjadi linier, bila $n < 1$ adsorpsi terjadi secara kimiawi sedangkan $n > 1$ maka adsorpsi yang terjadi adalah proses fisik. Keadaan dimana $n > 1$ dikarenakan terjadi distribusi pada permukaan atau faktor lain yang menyebabkan berkurangnya interaksi antara adsorban dan adsorbat yang meningkatkan densitas permukaan. Adsorpsi yang baik terjadi pada n dengan rentang nilai 1-10. Hasil studi ini menunjukkan adsorpsi pada kromium oleh daun mimba terjadi secara fisik.

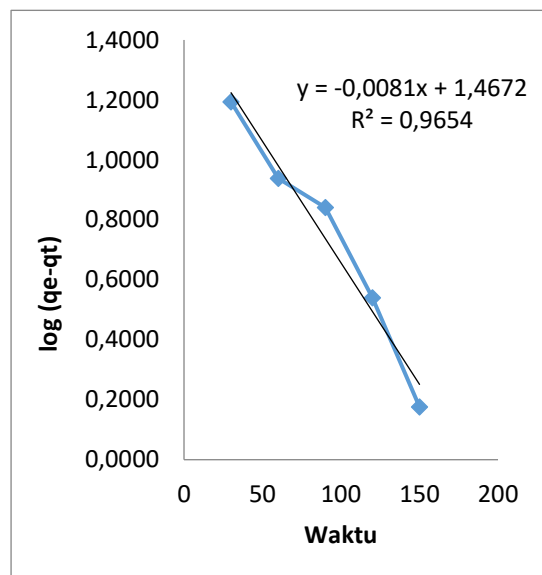
Tabel 2. Kapasitas dan intensitas daun mimba sebagai adsorban

Persamaan Freundlich	R	K_f	n
$y = 0,2164 x + 1,0079$	0,957	2,9164	4,62296

Adsorpsi Orde Satu Semu

Sifat adsorban mempengaruhi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai equilibrium. Dalam penelitian ini, diasumsikan bahwa equilibrium terjadi pada saat $t=180$ menit berdasarkan kinetika Lagergen orde satu semu. Linearitas dari plot Lagergen (Gambar 7, nilai R^2 berada diantara 0,89 sampai 0,99), didapat dengan membuat plot $\log (q_e - q_t)$ (mg/g) vs. waktu agitasi untuk adsorpsi Cr (VI) dari larutan

dengan konsentrasi 200 mg/L pada 29°C dengan menggunakan adsorban sebesar 1 gram, menunjukkan bahwa proses adsorpsi mengikuti kinetika reaksi orde satu semu.



Gambar 6. Plot Laergen reaksi orde satu semu

Konstanta laju reaksi, yang dihitung dari persamaan 6, berada pada rentang 7,45 sampai 210,28 menit-1 dengan nilai rata-rata 90,81 menit-1.

KESIMPULAN

Waktu agitasi ekuilibrium untuk adsorpsi Cr (VI) adalah 3 jam. Persentase removal dari Cr (VI) dari larutan meningkat seiring dengan meningkatnya dosis adsorben dan waktu. Persentase removal dari Cr (VI) dari larutan menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal dan temperatur. Data isoterm adsorpsi dapat dijelaskan dengan Isoterm Adsorpsi Freundlich dan mengikuti kinetika orde reaksi satu semu. Kapasitas sorpsi dari sorben ini mengindikasikan bahwa daun mimba dapat digunakan untuk mengolah efluen yang mengandung Cr (VI).

DAFTAR PUSTAKA

- Danarto, Y.C., 2007, Kinetika Adsorpsi Logam Berat Cr (VI) dengan Adsorben Pasir yang Dilapisi Besi Oksida, *Ekuilibrium*, Vol. 6 No. 2: 65-70
- Ho, Y.S., McKay, G. Sorption of dye from aqueous solution by peat, *Chemical Engineering Journal*, Volume 70, Issue 2, 1998, pages 115-124
- Gibb HJ, Lees PS, Pinsky PF, Rooney BC. Lung cancer among workers in chromium chemical production. *Am J Ind Med*. 2000 Aug;38(2):115-26.
- Gupta, A., Mote, S.R., 2014, A Comparative Study And Kinetics For The Removal Of Hexavalent Chromium From Aqueous Solution By Agricultural, Timber, And Fruit Wastes, *Chemical and Process Engineering Research*, Vol.19: 47-56
- Pandhare, G., Trivedi, N., Pathrabe, R. & Dawande, S. D. 2013. Adsorption of Cr (VI) using low-cost adsorbent as a neem leaves (*Azadirachta Indica*) powder. *Int. J. Eng. Res. Technol.* 2, 685–688
- Patel, Himanshu. 2020. Batch and continuous fixed bed adsorption of heavy metals removal using activated charcoal from neem (*Azadirachta indica*) leaf powder. *Sci Rep* 10 : 16895
- Sharma, A., G., Krishna, Bhattacharyya, 2004, Adsorption of Chromium (VI) on *Azadirachta Indica* (Neem) Leaf Powder, *Kluwer Academic Publishers, Adsorption* 10: 327-338