

PENENTUAN MODEL KESETIMBANGAN PROSES ADSORBSI LOGAM KROMIUM PADA LIMBAH CAIR MENGGUNAKAN LIMBAH CANGKANG TELUR

Mohammad Jihad Madiabu*, Joko Untung

Politeknik AKA Bogor, Jl. Pangeran Sogiri No.283, Tanah Baru, Bogor Utara, Jawa Barat, Indonesia

*E-mail: mjihad1991@gmail.com

(Received : 23 Juni 2019; Accepted: 30 Juni 2019; Published: 1 Juli 2019)

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses kesetimbangan yang terjadi pada proses adsorpsi logam kromium menggunakan cangkang telur sebagai adsorben. Serbuk cangkang telur dikarakterisasi menggunakan FT-IR untuk mengetahui gugus fungsi yang ada pada cangkang telur. Penelitian ini menggunakan metode batch dengan waktu kontak tetap (60 menit) dan konsentrasi awal larutan kromium yang berbeda-beda sebanyak 50 mL. Persentase efektifitas adsorpsi diperoleh ($98,57 \pm 0,23$) menunjukkan cangkang telur efektif digunakan sebagai adsorben logam kromium pada limbah cair. Model kesetimbangan proses adsorpsi Langmuir, Freundlich, dan Temkin diaplikasikan pada data penelitian. Masing-masing konstanta pada tiap model dihitung berdasarkan analisis plot regresi.

Kata kunci : kesetimbangan; adsorpsi; FTIR; cangkang telur; kromium

Abstract

The aim of this research is to study the equilibrium of adsorption chromium using eggshell as adsorbent. The eggshell powders were characterized by FT-IR to identify the functional group. In our experiment, batch sorption were carried out 50 mL of chromium solution with initial different chromium concentration at constant contact time (60 minutes). Percentage adsorbtion effectivity is ($98,57 \pm 0,23$) indicated eggshell has a highly potential used as adsorbent to remove chromium metal from water waste. Langmuir, Freundlich, and Temkin isotherm model were used to evaluate the equilibrium adsorption process. The constant was calculated by plot regression analysis.

Keywords : equilibrium; adsorption; FTIR; eggshell; chromium

PENDAHULUAN

Logam berat merupakan limbah hasil dari berbagai macam industri, seperti industri manufaktur, semen, cat. Banyak logam berat yang memiliki kelarutan tinggi di air, seperti logam tembaga, kromium, dan besi (Goyal dan Srivastava. 2017; Klatte et al. 2017). Polutan logam berat memiliki sifat karsinogenik yang tinggi dan dapat menimbulkan gangguan kesehatan yang serius lainnya seperti gangguan pernapasan dan gangguan sistem saraf (Chen et al. 2018; Jaishankar et al 2014). Beberapa metode pengolahan limbah logam berat pada air secara fisika dan kimia diantaranya penukar ion, elektrolisis, dan *reverse osmosis* (Francis dan Abdel Rahman. 2016; Fu dan Wang. 2011). Akan tetapi, beberapa dari metode tersebut membutuhkan biaya operasional yang cukup mahal dan kurang efektif. Metode adsorpsi dapat dijadikan alternatif dalam pengolahan limbah logam berat pada air karena memiliki keefektifan tinggi, murah, dan bahan adsorben yang mudah didapatkan.

Beberapa material yang sering digunakan sebagai adsorben adalah karbon aktif, zeolit, dan bentonite. Namun, beberapa adsorben tersebut harus melalui tahapan aktivasi terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai adsorben. Proses ini mengurangi keefisienan waktu dalam proses pengolahan limbah. Salah satu material lain yang dapat digunakan sebagai adsorben adalah cangkang telur yang dianggap hanya sebagai limbah rumah tangga. Cangkang telur tersusun dari kalsium karbonat (94%), kalsium fosfat (1%), magnesium karbonat (1%), dan zat organik (4%)⁶. Dengan komposisi tersebut dan morfologi permukaan cangkang telur yang berpori memiliki potensi untuk adsorben untuk menjerap logam-logam berat (Borhade dan Vale. 2017; Francis dan Abdel Rahman. 2016; Ho. 2006). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas cangkang telur sebagai adsorben untuk menjerap logam kromium dalam limbah cair, serta mengetahui model kesetimbangan adsorpsi logam kromium yang sesuai.

BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan diantaranya peralatan gelas, neraca, *blender*, penyaring ukuran 60 mesh, pengaduk, FT-IR Bruker tipe Platinum-ATR, spektrofotometer serapan atom (AAS) Shimadzu AA-6300.

Bahan yang digunakan padatan $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (Merck), kertas saring Whatmann No 42, aquabidest dan cangkang telur dari limbah industri rumah makan disekitar Politeknik AKA Bogor.

Pembuatan Adsorben Cangkang Telur

Cangkang telur dicuci dan dibilas menggunakan aquabidest. Kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C selama 6 jam. Tahap berikutnya, cangkang telur kering dihaluskan dan disaring menggunakan saringan berukuran 60 mesh. Serbuk cangkang telur yang sudah halus dikarakterisasi menggunakan FT-IR untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada cangkang telur.

Pembuatan Larutan Induk Logam Cr 2000 mg/L

Sejumlah Garam $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ yang sudah ditimbang dimasukkan kedalam labu ukur 100 mL, kemudian ditambahkan dengan aquabidest sampai tanda tera dan dihomogenkan. Larutan deret standar dan larutan kerjadibuat dengan mengencerkan larutan induk Cr sesuai dengan konsentrasi yang diinginkan.

Proses Adsorpsi Logam Cr

Proses adsorpsi logam Cr menggunakan cangkang telur dilakukan dengan metode batch. Variasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah variasi konsentrasi adsorbat dengan rentang konsentrasi 5-100 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Nilai efektifitas adsorpsi logam Cr dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini.

$$\text{Adsorpsi (\%)} = \frac{c_0 - c_e}{c_0} \times 100\%$$

Keterangan:

c_0 : Konsentrasi larutan logam Cr sebelum adsorpsi (mg/L)

c_e : Konsentrasi larutan logam Cr ketika kondisi kesetimbangan tercapai (mg/L)

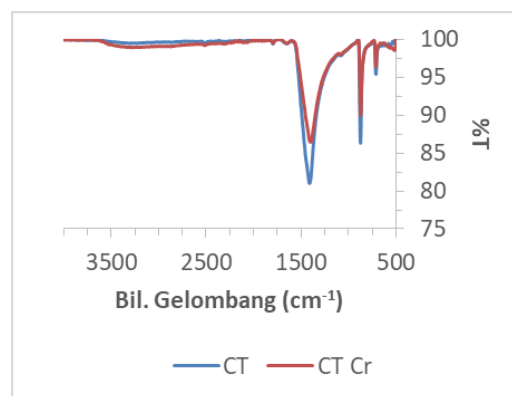
Variasi Konsentrasi

0,3 g serbuk cangkang telur dimasukkan kedalam gelas kimia 100 mL. Kemudian ditambahkan ke dalam beberapa erlenmeyer yang berisi larutan Cr dengan rentang konsentrasi 5-100 mg/L . pH awal Kemudian larutan diletakkan pada *shaker* dan diaduk dengan kecepatan agitasi sebesar 110 rpm dengan waktu kontak selama 60 menit. Larutan yang sudah diaduk kemudian di saring. Setelah itu, filtrat hasil penyaringan diukur kadar logam Cr menggunakan instrumen spektrofotometer serapan atomic ($\lambda = 357,9 \text{ nm}$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Adsorben Cangkang Telur

Pembuatan adsorben cangkang telur dilakukan melalui beberapa tahap, diantaranya proses pencucian, pengeringan, dan penghalusan. Tahap pencucian dilakukan untuk memastikan semua pengotor yang menempel pada cangkang telur hilang. Sedangkan pada tahap pengeringan bertujuan untuk menghilangkan air dan memperbesar pori-pori pada permukaan cangkang telur. Proses penghalusan dilakukan untuk memperbesar luas permukaan bidang sentuh adsorben sehingga meningkatkan sisi aktif untuk proses adsorpsi. Serbuk cangkang telur dikarakterisasi menggunakan FT-IR untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat serbuk cangkang telur. Hasil FT-IR ditunjukkan pada Gambar 1.



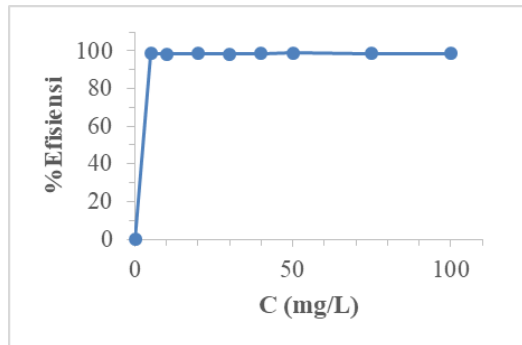
Gambar 1. Spektrum IR dari Cangkang Telur

Puncak tajam pada bilangan gelombang $1425,09 \text{ cm}^{-1}$ mengkonfirmasi adanya vibrasi regangan $\text{C}=\text{O}$ yang menunjukkan komponen terbesar penyusun cangkang telur adalah CaCO_3 (Ahmed et al, 2012). Puncak yang melebar pada rentang bilangan gelombang 3000-3500 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus hidroksil ($\text{O}-\text{H}$) bebasyang terdapat pada permukaan cangkang telur (Darei et al. 2013). Interaksi antara logam kromium dan gugus fungsi $\text{C}=\text{O}$ pada proses adsorpsi akan membatasi gerakan vibrasi dari gugus fungsi $\text{C}=\text{O}$. Hal tersebut dibuktikan dengan kenaikan nilai persentase transmittan regangan $\text{C}=\text{O}$ pada puncak $1425,09 \text{ cm}^{-1}$.

Pengukuran Konsentrasi Awal Logam pada Proses Adsorpsi Logam Kromium

Adsorpsi logam kromium dilakukan dengan bantuan *shaker* dengan kecepatan agitasi sebesar 110 rpm. Adapun proses pengadukan ini bertujuan untuk mempercepat difusi ion logam kromium ke permukaan serbuk cangkang telur, sehingga proses adsorpsi dapat cepat tercapai. Proses adsorpsi selalu diikuti dengan proses desorpsi. Namun, laju adsorpsi akan dominan pada awal proses dibandingkan laju desorpsi. Hal ini dikarenakan, pada awal proses masih banyak sisi aktif pada permukaan adsorben yang belum terisi oleh logam kromium (Borhade dan Kale,

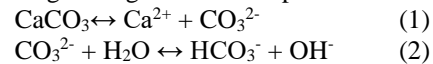
2017). Sedangkan pada saat kondisi setimbang, laju adsorpsi sama dengan laju desorpsi. Kesetimbangan proses adsorpsi logam kromium ini terjadi dalam selang waktu 60 menit yang dibuktikan dengan nilai persentase efisiensi adsorpsi yang relatif sama untuk masing-masing konsentrasi awal sesuai pada Gambar 2. Rerata nilai persentase efektifitas adsorpsi pada penelitian ini diperoleh sebesar $(98,57 \pm 0,23)\%$.



Gambar 2. Kurva Efektifitas Adsorpsi Logam Cr Menggunakan Kangkang Telur pada Rentang Konsentrasi Tertentu

Selama proses adsorpsi, terjadi kenaikan pH larutan sebesar $(34,5 \pm 1,6)\%$ dari pH awal. Hal ini disebabkan molekul CaCO_3 yang larut dalam

larutan menghasilkan ion OH^- pada permukaan cangkang telur sesuai dengan yang dituliskan pada reaksi 2 (Park et al. 2007). Keberadaan ion OH^- tersebut meningkatkan kemampuan permukaan cangkang telur dalam menyerap logam kromium yang berbetuk ion positif pada larutan. Fenomena ini menunjukkan cangkang telur memiliki potensi yang tinggi sebagai adsorben untuk menghilangkan logam kromium pada limbah cair.



Studi Kesetimbangan Adsorpsi Logam Kromium

Jumlah logam Cr yang terjerap oleh cangkang telur dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini (Borhade dan Kale, 2017; Ho, 2006).

$$Q = \frac{C_0 - C_t}{m} \times V$$

Keterangan:

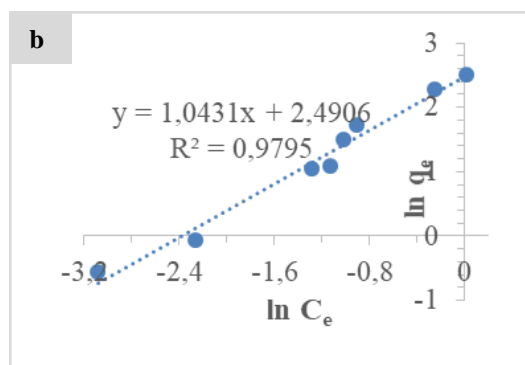
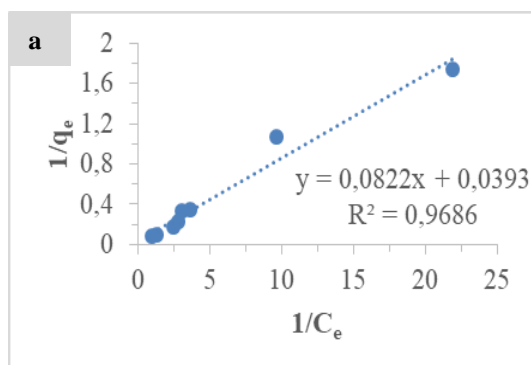
- Q = banyaknya logam Cr yang terjerap per gram cangkang telur (mg/g)
- C_0 = konsentrasi logam Cr awal (mg/L)
- C_t = konsentrasi logam Cr akhir (mg/L)
- m = massa cangkang telur yang digunakan (g)
- V = volume larutan logam Cr (L)

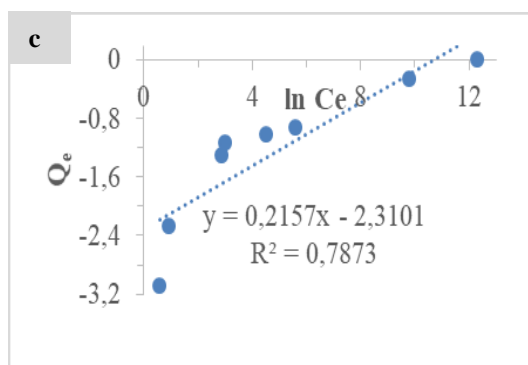
Tabel 1. Plot Analisis Regresi Linear (Ayawei et al, 2017; Yeddou dan Bensmaili, 2007).

Model Isoterm Adsorpsi	Bentuk persamaan linear	Plot
Langmuir	$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_M} + \frac{1}{K_L q_M C_e}$	$\frac{1}{q_e}$ vs $\frac{1}{C_e}$
Freundlich	$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e$	$\ln q_e$ vs $\ln C_e$
Temkin	$q_e = \frac{RT}{b} \ln K_T + \frac{RT}{b} \ln C_e$	q_e vs $\ln C_e$

Keterangan:

- q_e = Banyaknya logam kromium yang terjerap pada saat terjadinya kesetimbangan (mg.g^{-1})
- C_e = Konsentrasi logam kromium pada saat terjadinya kesetimbangan (mg.L^{-1})
- q_m = Jumlah maksimum logam kromium yang dibutuhkan untuk membuat lapisan monolayer pada permukaan cangkang telur (mg.g^{-1})
- K_L = Konstanta Langmuir, yang menyatakan afinitas sisi aktif cangkang telur (mg.L^{-1})
- K_f = Kapasitas adsorpsi (mg.g^{-1})
- n = Intensitas adsorpsi (mg.L^{-1})
- K_T = Konstanta Temkin (mg.L^{-1})
- b = Konstanta Temkin berhubungan dengan kalor (J.mol^{-1})





Gambar 3. Kurva Isoterm Adsorpsi; (a) Langmuir, (b) Freundlich, (c) Temkin

Tabel 2. Nilai konstanta model isoterm Freundlich untuk proses adsorpsi logam kromium menggunakan cangkang telur

Model Isoterm Adsorpsi Freundlich	
K_f (mg.g ⁻¹)	n (mg.L ⁻¹)
12,07	0,96

Proses adsorpsi logam kromium menggunakan cangkang telur pada penelitian ini cenderung mengikuti model isoterm Freundlich dikarenakan nilai koefisien korelasi model isoterm Freundlich lebih tinggi dibandingkan model isoterm yang lain. Berdasarkan pada gambar 3, nilai koefisien korelasi model isoterm Freundlich sebesar ($R^2 = 0,9795$), model isoterm Langmuir ($R^2 = 0,9686$), dan model isoterm Temkin ($R^2 = 0,7873$). Adapun data konstanta untuk masing-masing model isoterm ditunjukkan pada Tabel 2.

KESIMPULAN

Cangkang telur memiliki potensi tinggi sebagai adsorben ramah lingkungan untuk menghilangkan logam kromium pada limbah cair. Hal ini dibuktikan dalam penelitian ini, diperoleh nilai efektifitas adsorpsi rerata sebesar 98,57% pada semua rentang konsentrasi dengan waktu kontak selama 60 menit. Proses pengadukan dalam proses adsorpsi dilakukan untuk mempercepat proses difusi logam kromium menuju permukaan adsorben cangkang telur, sehingga kesetimbangan proses adsorpsi berlangsung lebih cepat. Berdasarkan data pengamatan, proses adsorpsi logam kromium mengikuti model isoterm adsorpsi Freundlich dengan nilai konstanta K_f sebesar 12,07 mg.g⁻¹.menit⁻¹ dan n sebesar 0,96.

DAFTAR PUSTAKA

Ayawayi, N., Ebelegi, A. N., Wankasi, D. Modelling and interpretation of adsorption isotherm. *Journal of Chemistry*. 2017

- Borhade, A. V., Kale, A. S. Calcined Eggshell as a Cost Effective Material for Removal of Dyes From Aqueous Solution. *Appl. Water. Sci.* 2017, 7, 4255-4268
- Chen, L., Zhou, S., Shi, Y., Wang, C., Li, B., Li, Y., Wu, S. Heavy Metals in Food Crops, Soil, and Water in the Lihe River Watershed of the Taihu Region and Their Potential Health Risks When Ingested. *Sci. Total Environ.* 2018, 615, 141-149
- Darei, H., Mittal, A., Noorisepehr, M., Mittal, J. Separation of chromium from water sample using eggshell powder as a low-cost sorbent: kinetic and thermodynamic studies. *Desalination and Water Treatment*. 2013, 1-7
- Francis, A. A., Abdel Rahman, M. K. The Environmental Sustainability of Calcined Calcium Phosphates Production From the Milling of Eggshell Wastes and Phosphoric Acid. *J. Clean. Prod.* 2016, 137, 1432-1438
- Fu, F., Wang, Q. Removal of Heavy Metal Ions From Wastewaters: A Review. *J. Environ. Manage.* 2011, 92, 407-418
- Goyal, A., Srivastava, V. C. Treatment of Highly Acidic Wastewater Containing High Energetic Compound Using Dimensionally Stable Anode. *Chem. Eng. J.* 2017, 325, 289-299
- Ho, Y. S. Review of Second-Order Models for Adsorption Systems. *J. Hazard. Mater.* 2006, 136, 681-689
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., Beeregowda, K. N. Toxicity, Mechanism and Health Effects of Some Heavy Metals. *Interdiscip. Toxicol.* 2014, 7, 60-72
- Klatte, S., Schaefer, H. C., Hempel, M. Pharmaceuticals in the Environment – A Short Review on Options to Minimize the Exposure of Humans, Animals and Ecosystems. *Sustain. Chem. Pharm.* 2017, 5, 61-66
- M. Ahmed, A.R.A. Usman, S.S. Lee, S.C. Kim, J.E. Yang, Y.S. Ok, Eggshell and coral wastes as low cost sorbents for

- theremoval of Pb^{2+} , Cd^{2+} , and Cu^{2+} from aqueous solutions, *J. Ind. Eng. Chem.* 2012, 18, 198–204.
- Park, H. J., Jeong, S. W., Yang, J. K., Kim, B. G., Lee, S. M. Removal of heavy metals using waste eggshell. *Journal of Environmental Sciences.* 2007, 19, 1436-1441
- Yeddou, N., Bensmaili, A. Equilibrium and kinetic modelling of iron adsorbtion by eggshells in a batch system: effect of temperature. *Desalination.* 2017, 206 127-134.