

Adsorption Isotherm of Cr(VI) Using Mg/Al Hydrotalcite with Molar Ratio 2:1

Bayu Wiyantoko, Puji Kurniawati, Tri Esti Purbaningtias
DIII Analis Kimia UII, Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584

ABSTRAK

Hidrotalsit merupakan material yang digunakan pada beragam aplikasi salah satunya sebagai adsorben logam Cr(VI). Material hidrotalsit disintesis menggunakan metode kopresipitasi dengan bahan dasar garam $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi awal logam Cr(VI) serta isoterma adsorpsi yang sesuai untuk adsorpsi logam Cr(VI) oleh Mg/Al hidrotalsit dengan waktu kontak 180 menit. Konsentrasi awal logam Cr(VI) yaitu 675 mg/L dengan kapasitas adsorpsi sebesar 55,57 mg/g. Studi isoterma adsorpsi dianalisis menggunakan model isoterma Langmuir dan Freundlich. Berdasarkan hasil analisis adsorpsi logam Cr(VI) oleh Mg/Al hidrotalsit mengikuti model isoterma Langmuir dengan koefisien determinasi adalah 0,997.

Kata-kataKunci : adsorpsi, Mg/Al hidrotalsit, isoterma adsorpsi

ABSTRACT

Hydrotalcite is a material which is used in various application and one of them as an adsorbent of Cr(VI). Hydrotalcite was synthesized using co-precipitation method with $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ as raw materials. This research aim to study the initial concentration and adsorption isotherm of Cr(VI) by using Mg/Al hydrotalcite in 180 minutes contact time. The Optimum initial concentration of Cr(VI) was 675 mg/L with 55,57 mg/g adsorption capacity. Isotherm adsorption was studied using Langmuir and Freundlich model. Based on the result, the adsorption of Cr(VI) fitted well with Langmuir isotherm model by 0,997 coefficient of determination.

Keywords : adsorption, Mg/Al hydrotalcite, adsorption isotherm

Pendahuluan

Pertumbuhan industri yang pesat menimbulkan beragam efek salah satunya pencemaran lingkungan. Paparan logam berat hasil aktivitas industri menjadi salah satu perhatian serius yang dapat membahayakan ekosistem di sekitarnya karena tingkat keracunan yang tinggi dan kecenderungan terjadi akumulasi pada rantai makanan makhluk hidup bahkan pada konsentrasi rendah (Akar dkk., 2009). Salah satu limbah berbahaya adalah logam krom

karena memiliki dampak negatif pada manusia yang dapat dilihat melalui LD50. LD50 untuk CrO_3 (oral, tikus) adalah 80 mg/Kg, Na_2CrO_4 adalah 130 mg/Kg, $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ adalah 50 mg/Kg, CrCl_3 adalah 1800 mg/Kg dan $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ adalah 3000 mg/Kg (ATSDR, 2008). Berdasarkan data tersebut, dapat dikatakan bahwa logam Cr(VI) lebih toksik dibandingkan dengan logam Cr(III). Limbah logam berat Cr(VI) biasanya berasal dari industri pelapisan logam

(*electroplating*), industri cat/pigmen dan industri penyamakan kulit (*leathertanning*).

Beragam metode telah digunakan untuk mengurangi dampak logam Cr(VI) antara lain presipitasi kimia, membran filtrasi, pertukaran ion, ekstraksi pelarut, *dialysis/electrodialysis*, *reverse osmosis*, *cementation*, dan adsorpsi. Namun upaya-upaya tersebut memiliki kelemahan yaitu memerlukan energi yang sangat tinggi dan atau bahan kimia yang sangat banyak (Slamet dkk., 2003). Salah satu metode yang paling efektif adalah adsorpsi karena metode ini mudah untuk diaplikasikan, ramah lingkungan, murah, serta sesuai untuk konsentrasi polutan yang rendah (Manohar dkk., 2006).

Lempung (*clay*) bersifat karakteristik karena struktur lapisnya. Lempung diklasifikasikan menjadi dua yaitu lempung kationik dan anionik. Struktur lempung anionik adalah pencerminan dari lempung kationik dan mempunyai muatan positif pada lapisan dan anion antarlapis (Roto dkk., 2008). Lempung anionik seperti hidrotalsit tidak begitu populer dan jarang terdapat di alam daripada lempung kationik seperti smektit. Hidrotalsit yang masih jarang ditemukan di alam mempunyai potensi untuk diteliti dan dikembangkan lebih lanjut. Seperti penelitian yang pernah dilakukan

oleh Wijayadi (2008) yang mengaplikasikan hidrotalsit untuk adsorpsi logam Cr(III), dan logam Cr(VI) Ramos (2009). Pemanfaatan material Mg/Al hidrotalsit sebagai adsorben logam berbahaya seperti Cu, Zn, dan Cd juga pernah dilakukan oleh Anirudhan *et al.* (2010) dengan memodifikasi menggunakan tannin. Setshedi *et al.* (2012) juga menggunakan material Mg/Al hidrotalsit sebagai adsorben untuk logam Pb(II) dalam sistem *batch*. Berdasarkan hal tersebut maka penggunaan hidrotalsit sebagai adsorben logam berat khususnya Cr(VI) menjadi sangat menjanjikan.

Tujuan Penelitian/Tujuan Penulisan

Tujuan penelitian mengenai adsorpsi logam Cr(VI) oleh Mg/Al hidrotalsit adalah :

1. Mengetahui pengaruh konsentrasi awal logam Cr(VI)
2. Mengetahui model isoterm adsorpsi yang sesuai untuk menggambarkan distribusi adsorpsi saat titik kesetimbangan.

Metode Penelitian

Sintesis Mg/Al hidrotalsit dengan ratio Molar 2 : 1

Sintesis material Mg/Al hidrotalsit pada penelitian ini menggunakan metode kopresipitasi mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Zhao *et al.* (2003) dengan

rasio Mg/Al yaitu 2:1. Magnesium nitrat heksahidrat dan aluminium nitrat nonahidrat dilarutkan dalam akuabides dengan rasio Mg/Al sebesar 2:1, larutan ini disebut larutan A. Selanjutnya dibuat larutan B yang terdiri dari campuran antara NaOH dan Na₂CO₃. Setelah itu endapan disaring dan dicuci dengan aquabides serta dikeringkan pada suhu 120°C selama 1 malam.

Pengaruh variasi konsentrasi terhadap adsorpsi logam Cr(VI)

Sebanyak 50 mg material adsorben dikontakkan dengan larutan Cr(VI) dengan konsentrasi 20, 40, 150, 300, 450, dan 675 ppm yang dibuat pada pH optimum. Konsentrasi Cr(VI) yang masih tertinggal dalam filtrat dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis.

Analisis Data

Data yang diperoleh setelah melakukan kontak antara logam Cr(VI) dengan Mg/Al hidrotalsit (2:1) adalah konsentrasi awal dan konsentrasi akhir. Kapasitas adsorpsi dan persen adsorpsi dapat dicari dengan rumus : $q = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{m}$

Dimana q adalah kapasitas adsorpsi (mg/g), C₀ adalah konsentrasi awal (mg/L), C_t adalah konsentrasi pada waktu t (mg/L), V adalah volume yang dikontakkan (mL) dan m adalah massa adsorben (mg).

Model Isoterm Adsorpsi

Model isoterm adsorpsi yang digunakan pada penelitian ini adalah isoterm adsorpsi Langmuir dan isoterm adsorpsi Freundlich. Persamaan matematis model isoterm adsorpsi seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Persamaan Model Isoterm Adsorpsi

Model	Persamaan
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Kq_{maks}} + \frac{C_e}{q_{maks}}$
Freundlich	$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e$

Pembahasan

Adsorpsi merupakan teknik yang telah banyak dikembangkan untuk menghilangkan logam berat seperti Cr(VI) dalam volume besar air limbah. Adsorpsi ion-ion Cr(VI) oleh material hidrotalsit dilakukan pada variasi konsentrasi awal dalam range 20-700 mg/L. Hasil yang diperoleh diperlihatkan pada Gambar 1.

Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa jumlah ion Cr(VI) yang teradsorpsi mengalami peningkatan seiring naiknya konsentrasi awal logam Cr(VI). Selanjutnya jumlah ion Cr(VI) teradsorpsi tidak berubah karena telah mencapai titik jenuhnya. Hal ini dapat dijelaskan karena bertambahnya jumlah ion Cr(VI) yang berikatan dengan

permukaan hidrotalsit, sehingga permukaan adsorben mengalami titik jenuh dengan ion-ion Cr(VI).

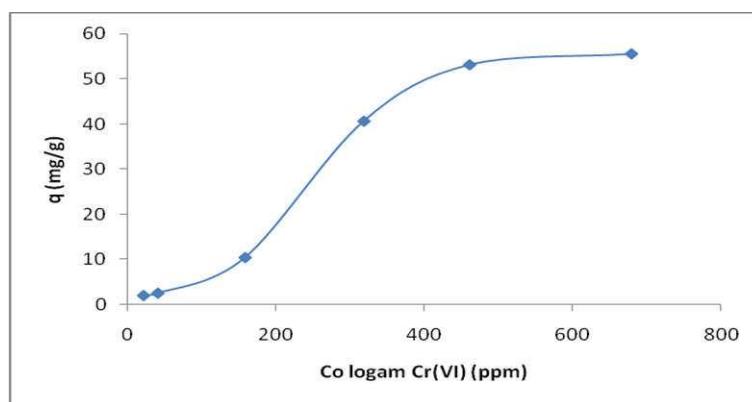
Saat konsentrasi awal Cr(VI) rendah maka rasio jumlah ion-ion Cr(VI) terhadap ketersediaan situs adsorpsi adalah kecil sehingga adsorpsi yang terjadi tidak tergantung pada konsentrasi awal Cr(VI), namun kompetisi antar ion-ion adsorbat untuk menempati situs adsorpsi terjadi saat konsentrasi mengalami peningkatan (Fan dkk., 2006). Selain itu asumsi yang lain karena proses adsorpsi berlangsung pada pH = 2±0,5 dimana logam Cr(VI) dalam bentuk spesies molekul HCrO_4^- yang berukuran relatif besar.

Kapasitas adsorpsi maksimum yaitu sebesar 55,57 mg/g pada konsentrasi awal logam Cr(VI) 675 mg/L. Hasil serupa dilaporkan oleh Fandkk (2006) yang menggunakan montmorillonit terlapisi kitosan, Akardkk (2009) menggunakan montmorillonit teraktivasi dan termodifikasi

HDTMA untuk mengadsorpsi logam Cr(VI). Jumlah Cr(VI) teradsorpsi meningkat seiring naiknya konsentrasi konsentrasi Cr(VI).

Sementara itu model isoterm adsorpsi digunakan untuk melihat distribusi adsorpsi saat titik kesetimbangan. Parameter ini menjadi penting untuk diketahui pada penelitian ini agar dapat menggambarkan hubungan antara jumlah Cr(VI) teradsorpsi dengan konsentrasi kesetimbangannya dalam larutan. Pada penelitian ini digunakan dua jenis model isoterm yaitu Langmuir dan Freundlich yang banyak diaplikasikan untuk menggambarkan data hasil adsorpsi.

Parameter-parameter isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich masing-masing disajikan pada Tabel 2 dan plot model diperlihatkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



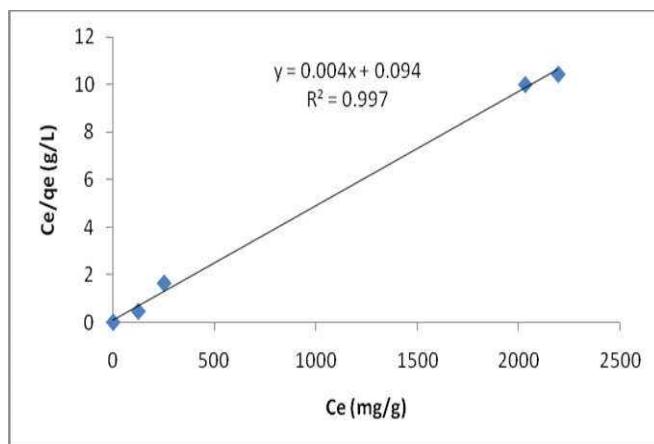
Gambar 1. Hasil adsorpsi variasi konsentrasi awal logam Cr(VI)

Tabel 2. Parameter-parameter model isoterm adsorpsi

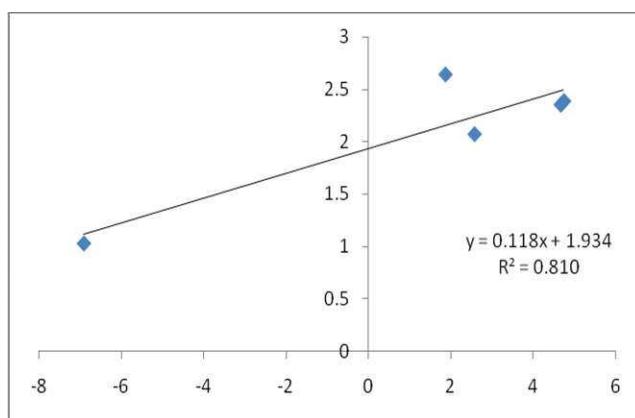
Langmuir			Freundlich		
R ²	Q maks (mg/g)	K (L/mol)	R ²	K _F (L/g)	n
0,997	10,82645	0,05064	0,810	6,9171	8,4745

Berdasarkan data pada Tabel 2 terlihat bahwa adsorpsi logam Cr(VI) menggunakan adsorben Mg/Al hidrotalsit cocok dengan model isoterm adsorpsi Langmuir daripada model isoterm Freundlich yang diindikasikan dari perbandingan nilai koefisien determinasi (R²). Model isoterm Langmuir menghubungkan jumlah ion teradsorpsi saat kesetimbangan dengan kapasitas adsorpsi maksimum melalui sebuah persamaan garis lurus. Dalam hal ini model isoterm adsorpsi Langmuir menggambarkan distribusi kesetimbangan ion-ion logam Cr(VI) diantara fasa solid (adsorben hidrotalsit) dan cairan (adsorbat). Model isoterm ini memberi informasi bahwa proses adsorpsi logam Cr(VI) membentuk lapisan tunggal (monolayer) pada permukaan adsorben Mg/Al hidrotalsit. Hal ini sesuai yang dipaparkan oleh Zhao dkk

(2011) dimana isoterm Langmuir didasarkan oleh tiga asumsi yaitu proses *sorpsi* terbatas pada satu lapisan (monolayer), seluruh situs-situs permukaan memiliki kemiripan dan hanya mampu mengakomodasi satu atom teradsorpsi, serta kemampuan sebuah molekul teradsorpsi pada situs yang sesuai tidak terpengaruh oleh kekosongan pada situs tetangganya. Nilai kapasitas adsorpsi monolayer yang dihasilkan sebesar 10,82645 mg/g, dan energi bebas adsorpsi (K_L) yaitu 0,05064 L/mol. Hasil yang sama dijelaskan oleh Setshedi dkk (2012) yang menggunakan material hidrotalsit untuk adsorpsi Pb(II), serta Akar (2009) menggunakan montmorillonit teraktivasi dan termodifikasi HDTMA dan Ramos dkk (2009) menggunakan material hidrotalsit untuk adsorpsi Cr(VI).



Gambar 2. Plot isotherm model Langmuir



Gambar 3. Plot isotherm model Freundlich

Sementara model isotherm adsorpsi Freundlich mengekspresikan adsorpsi pada sistem heterogen artinya membentuk lapisan multilayer. Berdasarkan hasil analisis, nilai n terkait pada distribusi ion-ion logam yang terikat pada permukaan adsorben, sementara kapasitas adsorpsi (K_F) adalah sebesar 6,9171 L/g. Model isotherm ini tidak sesuai untuk menggambarkan adsorpsi Cr(VI) menggunakan Mg/Al hidrotalsit karena pemukaan adsorben tidak bersifat heterogen atau proses adsorpsi Cr(VI) oleh Mg/Al

hidrotalsit tidak membentuk lapisan multilayer.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Konsentrasi awal logam Cr(VI) berpengaruh terhadap daya adsorpsi Mg/Al hidrotalsit rasio molar 2:1. Berdasarkan hasil uji, konsentrasi awal logam Cr(VI) sebesar 675 mg/L dengan kapasitas adsorpsi optimum yaitu 55,57 mg/g.

2. Isoterm adsorpsi Langmuir cocok untuk menggambarkan model distribusi adsorpsi logam Cr(VI) menggunakan adsorben Mg/Al hidrotalsit rasio molar 2:1.

Daftar Pustaka

- Akar, S.T., Yetimoglu, Y., dan Gedikbey, T., 2009, Removal of chromium (VI) ions from aqueous solutions by using Turkish montmorillonite clay: effect of activation and modification, *Desalination*, **244**, 97-108.
- Anirudhan, T.S. dan Suchithra, P.S., 2010, Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Modelling for The Adsorption of Heavy Metals Onto Chemically Modified Hydrotalcite, *Indian Journal of Chemical Technology*, **17**, 247-259.
- ATSDR, 2008, *Toxicological Profile for Chromium*. Georgia: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) Environmental Toxicological Branch.
- Fan, D., Zhu, X., Xu, M., dan Yan, J., 2006, Adsorption Properties of Chromium (VI) by Chitosan Coated Montmorillonite, *J. Biol. Sci.*, **6** (5), 941-945.
- Manohar, D.M., B.F. Noeline dan T.S. Anirudhan, 2006, Adsorption Performance of Al-pillared Bentonite Clay for the Removal of Cobalt(II) from Aqueous Phase, *Applied Clay Science*, **31**, 194-206.
- Ramos, E., Gutierrez, N., dan Contreras, C., 2009, Removal of chromium (VI) from aqueous solutions by hydrotalcite-like compounds: kinetic and equilibrium studies, *Rev. Mex. Fis. S* **55** (1), 135-138.
- Roto, Tahir, I., dan Sholikhah, U.N., 2008, Sintesis Hidrotalsit Zn-Al-SO₄ sebagai Agen Penukar Anion untuk Aplikasi Pengolahan Polutan *Heksasianoferrat* (II), *Indo. J. Chem.*, **8** (3), 307-313.
- Setshedi, K., Ren, J., Aoyi, O. dan Onyango, M.S., 2012, Removal of Pb(II) from Aqueous Solution Using Hydrotalcite-like Nanostructured Material, *International Journal of the Physical Sciences*, **7**(1), 63 - 72.
- Slamet, S.R., dan Danumulyo, W., 2003, Pengolahan Limbah Logam Berat Kromium (VI) dengan Fotokatalis, *Jurnal Makara Teknologi*, **7** (1).
- Wijayadi, E. N., 2008, *Sintesis Zn/Al Hydrotalcite Terinterkalasi Fosfat dan Aplikasinya pada Adsorbsi Ion Cr³⁺*, Skripsi, FMIPA UGM, Jogjakarta.
- Zhao, G., Wu, X., Tan, X., dan Wang, X., 2011, Sorption of Heavy Metal Ions from Aqueous Solution: A Review, *The Open Colloidal Science Journal*, **4**, 19-31.
- Zhao, R., Yin, C., Zhao, H. dan Liu, C., 2003, Synthesis, Characterization, and Application of Hydrotalcites in Hydrodesulfurization of FCC Gasoline, *Fuel Processing Technology*, **81**, 201-209.