

PENENTUAN DAYA JERAP BENTONIT DAN KESETIMBANGAN ADSORPSI BENTONIT TERHADAP ION Cu(II)

Yusnimar Sahan^{1*}, kiki Despramita¹ dan Yulfiana Sultana¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Riau Pekanbaru

ABSTRAK

Sahan dkk., 2012. Penentuan daya jerap bentonit dan kesetimbangan adsorpsi bentonit terhadap ion Cu (II)

Bentonit alam asal Riau secara kualitas tidak bisa dimanfaatkan sebagai adsorben karena daya jerapnya rendah dibandingkan dengan bentonit komersial. Pada prinsipnya, daya jerap bentonit tersebut akan meningkat jika diaktivasi baik secara fisika maupun kimia. Bentonit yang telah diaktivasi dapat digunakan sebagai penjerap logam berat yang ada dalam cairan. Pada penelitian ini, proses aktivasi bentonit alam dilakukan dengan cara pemanasan pada suhu 400°C sampai beratnya konstan. Setelah diaktivasi ditentukan daya jerapnya terhadap ion Cu(II). Optimalisasi daya jerap bentonit dilakukan dengan perlakuan kondisi yang berbeda yaitu variasi waktu adsorpsi (20, 40, 60, 80, 100, 120, 180 & 240 menit), variasi berat bentonit (0,5, 1,0, 1,5, 2,0 & 2,5 g) dan konsentrasi ion Cu(II) yaitu 20, 40, 60, 80, 100 dan 120 ppm. Berdasarkan data yang diperoleh ditentukan waktu dan model keseimbangan adsorpsi. Pada penelitian ini diperoleh daya jerap bentonit yang diaktivasi paling maksimal adalah 32,75 mg Cu(II)/g bentonit pada kondisi perlakuan berat bentonit 2,5 g, waktu adsorpsi 180 menit dan konsentrasi ion Cu(II) 60 ppm. Pada kondisi tersebut bentonit menyebabkan kadar ion Cu(II) dalam cairan turun dari 60 ppm menjadi 32,75 ppm, penurunannya sekitar 54,58%. Sedangkan daya jerap bentonit pada waktu adsorpsi 240 menit lebih rendah dibandingkan dengan daya jerapnya pada waktu adsorpsi 180 menit. Keseimbangan adsorpsi ion Cu(II) oleh bentonit tercapai pada waktu 180 menit, dan model kesetimbangan adsorpsinya sesuai dengan Isotherm Langmuir, artinya adsorpsi ion Cu(II) oleh bentonit terjadi secara kimia yaitu mungkin terjadi reaksi pertukaran ion dengan panas reaksi 21,038 kcal/mol.°K.

Kata kunci : bentonit, daya jerap, Cu(II), kesetimbangan adsorpsi.

ABSTRACT

Sahan et al., 2012. Determination of bentonit adsorption power and equilibrium adsorption on Cu (II) ion

Natural bentonite from Riau is not utilized as an adsorbent because its adsorption capacity is lower than that of commercial bentonite. Principally, its adsorption capacity can be increased by physical and chemical activation. Activated bentonite can be applied to adsorb heavy metals in the liquid. In this research, the natural bentonite is activated under temperature 400°C until its weight is constant. Then its adsorption capacity is determined using Cu(II). Optimization of adsorption capacity was done under different treatment conditions which were adsorption time variations (20, 40, 60, 80, 100, 120, 180 & 240 minutes), bentonite's weight variations (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 & 2.5 g) and concentration variation of Cu(II); 20, 40, 60, 80, 100 dan 120 ppm. Adsorption equilibrium model is calculated based on data gained in this research. The adsorption capacity of activated bentonite is approximately 32,75 mg Cu(II)/g bentonite under the condition treatment of bentonite weight 2,5 g, adsorption time 180 minutes and Cu(II) concentration initial of 60 ppm. In this condition, bentonite can reduce Cu(II) concentration from 600 ppm to 32,75 ppm, the reduction is around 54,58%. In addition, the adsorption capacity of bentonite under 240 minutes adsorption time is lower than that under 180 minutes. The adsorption equilibrium for Cu(II) by this bentonite is reached around 180 minutes, and the adsorption equilibrium model is fitted to Langmuir Isotherm model. This means that the adsorption is a chemical one and exchange reactions maybe occurred with a heat reaction 21.038 kcal/mol.°K.

Keywords : bentonite, adsorption power, Cu(II), the equilibrium adsorption

PENDAHULUAN

Riau memiliki potensi bahan galian bentonit yang cukup besar yang belum dieksploitasi dan dimanfaatkan secara maksimal (Dept. Pertambangan Riau, 2010). Bentonit tersebut secara kualitas tidak bisa dimanfaatkan sebagai adsorben karena daya jerapnya rendah, nilai kandungan dan unsur yang mengambang (Na-bentonit) terlalu kecil (Yusnimar

dkk., 2005). Daya jerap bentonit akan meningkat jika diaktivasi baik secara fisika dan kimia. Aktivasi bentonit dengan cara memanaskan bentonit pada suhu 400°C selama 6 jam ternyata dapat meningkatkan daya jerapnya (Adel, 2003). Pada umumnya bahan alam yang telah diaktivasi dapat digunakan sebagai penjerap logam berat, seperti bentonit (Bereket, 1997),

zeolit (Suardana, 2008; Amri, 2004). Daya jerap bentonit yang diaktivasi secara kimia terhadap ion Cr(III) adalah 14,921 mg Cr³⁺/g bentonit, dibawah kondisi proses 150°C suhu aktivasi, waktu aktivasi selama 1 jam, dengan konsentrasi ion Cr(III) 15 ppm dan berat bentonit 5 g, campuran ion Cr(III) dan bentonit didiamkan selama 24 jam (Irmayani dan Fitriani, 1998).

Pada penelitian ini, proses pengaktifan bentonit dilakukan dengan cara aktivasi secara fisika dan daya jerapnya terhadap ion Cu(II) dilakukan dengan kondisi variasi waktu adsorpsi, berat bentonit dan variasi konsentrasi ion Cu(II). Berdasarkan data yang diperoleh dilakukan penentuan model keseimbangan adsorpsi. Model keseimbangan adsorpsi yang umum digunakan adalah model Freundlich, Langmuir dan Brunauer, Emmet & Teller (BET).

Menurut Freundlich setiap benda padat yang berpori-pori mempunyai potensi sebagai adsorben, dan adsorben tersebut mengadsorpsi molekul/adsorbat dalam bentuk monolayer dan peristiwa adsorpsinya adalah adsorpsi fisika. Persamaan isotherm Freundlich sebagai berikut ; $Q_e = K C_e^{1/n}$, atau $\log Q_e = \log K + 1/n \log C_e$.

Kurva $\log Q_e$ terhadap $\log C_e$, menunjukkan persamaan garis lurus dengan slope = $1/n$ dan intercept = K , dan K merupakan konstanta Freundlich.

Pada teori isotherm Langmuir, diasumsikan bahwa adsorben memiliki permukaan yang homogen dan dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat dan tidak ada interaksi antara molekul-molekul yang terjerap. Adsorpsinya berbentuk monolayer, persamaan umum isotherm Langmuir yaitu; $Q_e = \frac{Q_o K C_e}{1 + K C_e}$

Kurva antara $1/Q_e$ vs $1/C_e$, merupakan persamaan garis lurus dengan slope = $1/Q_o K$, dan Intercept = $1/Q_o$. Konstanta Langmuir (K) adalah rasio intercept/slope.

Teori BET mengasumsikan bahwa adsorpsi zat oleh adsorben berbentuk multilayer, dan persamaan isotherm BET sebagai berikut;

$$Q_e = \frac{Q_o \cdot K \frac{C_e}{C_o}}{\left(1 - \frac{C_e}{C_o}\right) \left[1 + (K-1) \frac{C_e}{C_o}\right]}$$

Jika dibuat kurva $\frac{\frac{C_e}{C_o}}{Q_e \left(1 - \frac{C_e}{C_o}\right)}$ vs C_e/C_o ,

maka diperoleh persamaan garis lurus dengan slope = $k - 1/Q_o.K$ dan intercept = $1/Q_o.K$, dimana

konstanta BET (K), $K = (\text{slope/intercept}) + 1$.

Dimana Q_e = jumlah ion Cu(II) yang terjerap pada permukaan bentonit pada kondisi kesetimbangan (mg adsorbat/g adsorben), K = kesetimbangan adsorpsi, C_e = konsentrasi ion Cu(II) di cairan pada kesetimbangan adsorpsi (mg/L atau ppm), n = faktor heterogenitas, dan Q_o = Kapasitas jerap maksimum adsorben terhadap adsorbat (mg adsorbat/g adsorben).

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bentonit alam yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Desa Gema Kecamatan Kampar Kiri-Hulu, Riau dengan ciri-ciri berwarna abu-abu, bila dipegang terasa seperti sabun, dan bila direndam dalam air akan mengembang. Sebelum bentonit diaktivasi, bentonit dicuci dengan air untuk menghilangkan kotoran yang menempel pada permukaannya, setelah itu dikeringkan didalam oven. Selanjutnya bentonit di-screening ukuran partikelnya menjadi 80 mesh, kemudian diaktivasi pada temperatur 400°C sampai beratnya konstan.

Sebagai sumber ion Cu(II) digunakan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Merck), serta aquades sebagai pelarut. Penentuan daya jerap bentonit teraktivasi terhadap ion Cu(II) dilakukan dengan perlakuan variasi waktu adsorpsi (20, 40, 60, 80,100, 120,160 dan 240 menit), variasi berat bentonit (0.5 g, 1.0 g, 1.5 g, 2 g, dan 2,5 g) dan variasi konsentrasi larutan ion Cu(II) (1= 40 ppm, 2= 60 ppm, 3= 80 ppm, 4= 100 ppm, dan 5= 120 ppm). Proses penentuan daya jerap bentonit terhadap ion Cu(II) dilakukan secara *batch*, yaitu dengan cara mencampurkan sejumlah adsorben bentonit teraktivasi dengan 500 ml larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Campuran tersebut diaduk dengan pengaduk selama 1 jam dengan kecepatan 100 rpm. Kadar ion Cu(II) ditentukan pada variasi waktu (20, 40, 60, 80,100, 120,160 dan 240 menit) sampai keadaan kesetimbangan tercapai. Kadar ion Cu(II) sebelum dan setelah proses penentuan daya jerap diukur dengan alat AAS, dan berdasarkan data yang diperoleh ditentukan daya jerap bentonit, dan model keseimbangan adsorpsi ditentukan dengan data tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penentuan daya jerap bentonit yang diaktivasi secara fisika terhadap ion Cu(II) dapat dilihat pada Tabel 1 – 5.

Tabel 1. Daya Jerap bentonit terhadap ion Cu(II) dengan menggunakan 2,5 g adsorben.

Waktu Adsorpsi (menit)	Jumlah mg Cu(II)/g bentonit				
	Pada larutan Cu(II) 1	Pada larutan Cu(II) 2	Pada larutan Cu(II) 3	Pada larutan Cu(II) 4	Pada larutan Cu(II) 5
20	2.4	6.08	8	4.36	7.04
40	6.48	11.76	13.25	11.88	22.6
60	9.87	17.87	18.32	22.14	30.06
80	14.38	25.87	27.88	30.35	34.98
100	16.88	32.74	36.26	38.81	37.19
120	17.2	32.72	36.62	40.11	41.06
180	17.85	32.75	36.64	40.16	41.09
240	17.79	32.63	36.60	40.12	41.03

Tabel 2. Daya Jerap bentonit terhadap ion Cu(II) dengan menggunakan 2,0 g adsorben.

Waktu Adsorpsi (menit)	Jumlah mg Cu(II)/g bentonit				
	Pada larutan Cu(II) 1	Pada larutan Cu(II) 2	Pada larutan Cu(II) 3	Pada larutan Cu(II) 4	Pada larutan Cu(II) 5
20	2.84	4.38	4.69	3.90	4.54
40	4.56	7.09	9.24	7.61	13.44
60	6.38	10.57	11.53	11.41	17.02
80	8.88	14.04	16.16	15.51	20.39
100	9.89	17.22	18.69	19.53	24.78
120	10.00	17.28	20.01	19.84	25.10
180	10.01	17.3	20.02	19.85	25.06
240	9.88	17.23	19.90	19.74	24.89

Tabel 3. Daya Jerap bentonit terhadap ion Cu(II) dengan menggunakan 1,5 g adsorben.

Waktu Adsorpsi (menit)	Jumlah mg Cu(II)/g bentonit				
	Pada larutan Cu(II) 1	Pada larutan Cu(II) 2	Pada larutan Cu(II) 3	Pada larutan Cu(II) 4	Pada larutan Cu(II) 5
20	2.07	3.51	4.68	3.67	8.17
40	3.39	5.97	7.08	6.22	9.54
60	5.49	8.01	10.01	8.15	12.57
80	6.72	9.86	12.21	11.63	14.69
100	7.39	12.39	14.03	14.20	17.12
120	7.52	12.41	14.23	14.25	17.18
180	7.52	12.41	14.24	14.26	17.19
240	7.41	12.32	14.15	14.14	17.08

Tabel 4. Daya Jerap bentonit terhadap ion Cu(II) dengan menggunakan 1,0 g adsorben.

Waktu Adsorpsi (menit)	Jumlah mg Cu(II)/g bentonit				
	Pada larutan Cu(II) 1	Pada larutan Cu(II) 2	Pada larutan Cu(II) 3	Pada larutan Cu(II) 4	Pada larutan Cu(II) 5
20	2.13	3.82	4.79	4.51	7.00
40	3.15	5.93	5.54	6.16	8.05
60	4.55	7.21	8.40	8.11	10.26
80	5.64	8.24	9.79	9.97	12.20
100	6.05	9.76	10.90	11.9	13.75
120	6.11	9.99	11.29	12.09	13.78
180	6.12	10.00	11.31	12.08	13.78
240	6.03	9.86	11.20	12.01	13.67

Tabel 5. Daya Jerap bentonit terhadap ion Cu(II) dengan menggunakan 0,5 g adsorben.

Waktu Adsorpsi	Jumlah mg Cu(II)/g bentonit				
----------------	-----------------------------	--	--	--	--

(menit)	Pada larutan Cu(II) 1	Pada larutan Cu(II) 2	Pada larutan Cu(II) 3	Pada larutan Cu(II) 4	Pada larutan Cu(II) 5
20	2.04	3.53	3.81	4.69	6.31
40	3.31	5.34	6.05	7.50	7.78
60	4.24	6.20	7.61	9.70	10.09
80	5.09	7.71	8.73	11.31	12.29
100	5.18	8.52	9.62	11.62	14.11
120	5.20	8.54	9.72	11.72	14.23
180	5.30	8.56	9.80	11.75	14.37
240	5.21	8.47	9.70	11.66	14.24

Pada Tabel 1 - 5 dapat dilihat bahwa ada kecenderungan jumlah mg Cu(II)/g bentonit yang teradsorpsi semakin meningkat pada proses adsorpsi dari 20 menit sampai dengan 120 menit. Pada semua variasi ion Cu(II) awal yang digunakan kecenderungan tersebut sama. Hal ini menunjukkan daya jerap bentonit terhadap ion Cu(II) semakin meningkat karena kemungkinan terjadi reaksi pertukaran ion, dimana sejumlah massa ion Cu(II) dari cairan berpindah posisinya ke permukaan bentonit. Reaksi pertukaran ion merupakan bentuk khusus dari adsorpsi kimia. Pertukaran ion dapat terjadi jika sebagian ion Cu(II) adsorbat mengganti posisi ion positif yang ada pada adsorben bentonit, sehingga ion positif tersebut berpindah ke dalam cairan. Hal ini disebabkan karena ada gaya Coulomb antara ion yang bermuatan negatif yang terdapat pada adsorben dengan ion positif seperti Cu(II) sebagai adsorbat, ikatan ini dapat terjadi secara ikatan elektrostatik (Saad A., 2010).

Bentonit merupakan adsorben yang mempunyai sifat dapat mengadsorpsi karena ukuran partikel sangat kecil dan memiliki kapasitas permukaan ion yang tinggi (Teplitskiy, 2005). Jika bentonit dikontakkan dengan air, maka bahan ini akan mengembang karena kisi-kisi kristalnya yang mula-mula berada dalam posisi yang rapat akan merenggang atau tidak saling merapat, tetapi kisi-kisi kristal tersebut tidak akan terlepas atau putus karena kisi-kisi terikat dengan gaya elektrostatis pada jarak $4,5 \text{ \AA}$ dan gaya ini cukup kuat untuk mempertahankan unit-unitnya. Pada bentonit yang mengembang tersebut, jarak antara setiap unit kisi kristalnya makin melebar dan lapisannya menjadi bentuk serpihan, akibatnya luas permukaannya semakin meningkat (Sneanabrezovska, *et al.*, 2004).

Pada waktu adsorpsi 180 menit, jumlah mg Cu(II)/g bentonit paling maksimal teradsorpsi dibandingkan dengan waktu adsorpsi yang lain. Pada

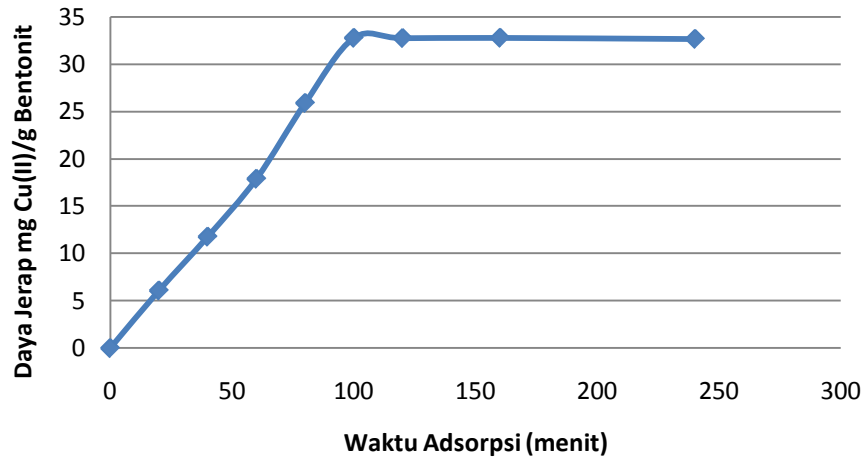
waktu adsorpsi 180 menit keadaan kesetimbangan adsorpsi ion Cu(II) oleh bentonit telah tercapai, karena pada waktu adsorpsi 240 menit jumlah mg Cu(II)/g bentonit cenderung lebih rendah dibandingkan dengan waktu adsorpsi 180 menit. Hal ini mungkin saja terjadi karena sifat reaksi pertukaran ion adalah reversible.

Peningkatan daya jerap bentonit terhadap ion Cu(II) juga dipengaruhi oleh jumlah adsorben yang digunakan. Semakin besar jumlah adsorben yang digunakan (0,5 g - 2,5 g) maka daya jerapnya semakin meningkat. Hal ini sesuai dengan prediksi bahwa pada adsorben seberat 2,5 g mempunyai pori-pori dan luas permukaan paling tinggi dibandingkan dengan lainnya (bentonit seberat 0,5 g, 1,0 g, 1,5 g dan 2,0 g) sehingga daya jerapnya terhadap ion Cu(II) paling tinggi.

Pada kondisi perlakuan dengan menggunakan konsentrasi ion Cu(II) 60 ppm, berat bentonit 2,5 g dan waktu adsorpsi 180 menit didapatkan hasil adsorpsi ion Cu(II) oleh bentonit yang paling maksimal dibandingkan dengan kondisi lainnya. Pada kondisi ini bentonit dapat menurunkan kadar ion Cu(II) dari 60 ppm menjadi 32,75 ppm, yaitu terjadi penurunan kadar ion Cu(II) dalam cairan sebesar 54,58%.

Penentuan Waktu Kesetimbangan Adsorpsi ion Cu(II) pada Bentonit

Waktu keseimbangan adsorpsi ion Cu(II) oleh bentonit dapat dilihat pada Gambar 1. Waktu keseimbangan adsorpsi ion Cu(II) oleh bentonit tercapai pada waktu adsorpsi 180 menit atau 3 jam. Kadar adsorbat ion Cu(II) pada waktu adsorpsi 180 menit dan 240 menit tidak berbeda, dapat dikatakan kadar adsorbat ion Cu(II) pada kedua waktu adsorpsi tersebut jumlah ion Cu(II) yang teradsorpsi hampir sama dengan jumlah ion Cu(II) yang terdesorpsi (Gambar 1).



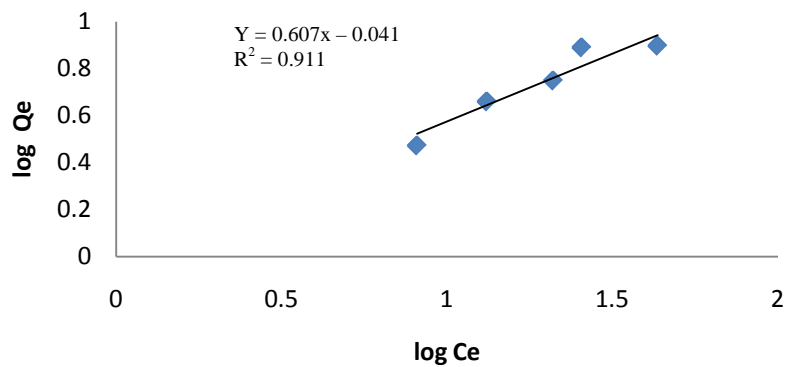
Gambar 1. Grafik hubungan antara waktu adsorpsi terhadap daya jerap bentonit pada kondisi proses adsorpsi dengan penggunaan adsorben 2,5 g dan konsentrasi larutan ion Cu(II) 60 ppm.

Data yang diperoleh pada penelitian ini diolah dengan menggunakan model kesetimbangan adsorpsi

Isoterm Freundlich, Isoterm Langmuir dan Isoterm BET. Kemudian hasilnya dibandingkan.

Tabel 6. Data Model Isoterm Freundlich

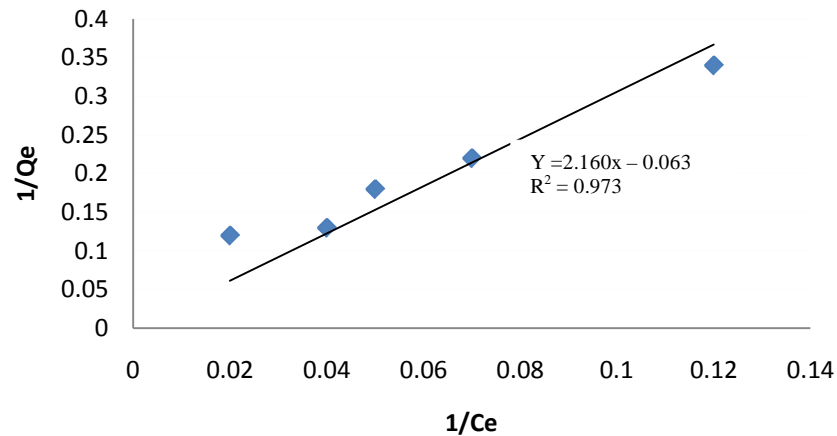
Co	Ce	Qe	Log Qe	Log Ce
37,92	8,11	2,98	0.474337	0.908844
59,06	13,18	4,59	0.661565	1.120087
77,23	20,93	5,63	0.750478	1.320748
103,40	25,52	7,89	0.891448	1.406813
122,45	43,31	7,91	0.898423	1.636538



Gambar 2. Kurva hubungan log Qe terhadap Log Ce

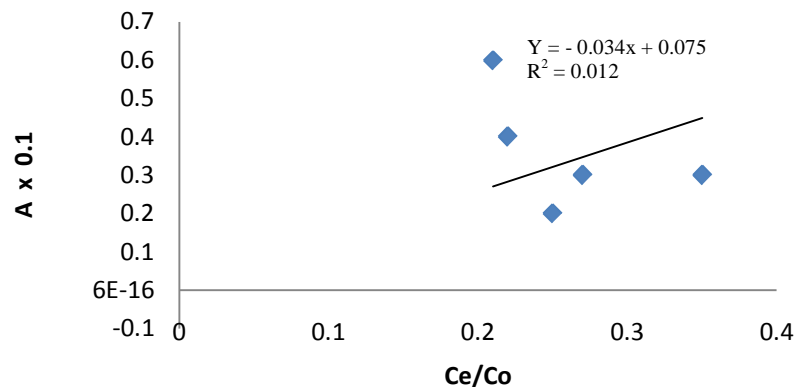
Tabel 7. Data Model Isoterm langmuir

Co	Ce	Qe	1/ Qe	1/ Ce
37,92	8,11	2,98	0,34	0,12
59,06	13,18	4,59	0,22	0,07
77,23	20,93	5,63	0,18	0,05
103,40	25,52	7,89	0,13	0,04
122,45	43,31	7,91	0,12	0,02

Gambar 3. Kurva hubungan $1/Q_e$ terhadap $1/C_e$

Tabel 8. Data Model Isoterm BET

Co	Ce	Qe	$[\{(Ce/Co)/Q_e\} \{1 - (Ce/Co)\}] = A$	$[Ce/Co]/Q_e$	Ce/Co
37,92	8,11	2,98	0,05609	0,071	0,21
59,06	13,18	4,59	0,03744	0,048	0,22
77,23	20,93	5,63	0,03504	0,048	0,27
103,40	25,52	7,89	0,0240	0,032	0,25
122,45	43,31	7,91	0,028795	0,044	0,35

Gambar 4. Kurva hubungan $[\{(Ce/Co)/Q_e\} \{1 - (Ce/Co)\}] = A$ terhadap Ce/Co

Pada Gambar 2 – 4 dapat dilihat nilai R^2 dari ketiga jenis Isoterm berbeda, sehingga nilai konstantanya juga berbeda. Berdasarkan nilai koefisien regresi linear (R^2) model persamaan kesetimbangan adsorpsi dapat diketahui. Pada penelitian ini nilai R^2 yang hampir mendekati nilai satu ada pada Isoterm Langmuir. Isoterm Langmuir mengasumsikan bahwa adsorpsi antara suatu cairan dengan permukaan terjadi secara kimia, dan bersifat monolayer. Adsorpsi kimia antara ion Cu(II) dengan bentonit terjadi secara kimia yaitu melalui reaksi pertukaran ion. Penelitian peneliti lain memperoleh hasil bahwa kesetimbangan adsorpsi antara Cu(II) dalam limbah pencuci PCB dengan zeolit sebagai adsorben mengikuti model kesetimbangan Langmuir (Kundari, 2008). Kesetimbangan adsorpsi Cu(II) dengan bentonit asal

Arab Saudi juga sesuai dengan model kesetimbangan Langmuir (Al-Qunaibit., et al., 2004). Oleh karena pada penelitian ini tidak dilakukan variasi suhu, maka panas reaksi dihitung dengan persamaan $E = -\Delta G^{\circ}_{ads} = -RT \ln K$, yaitu; $E = - (1,987 \text{ kcal/mol} \cdot ^{\circ}\text{K}) \times (300 \text{ }^{\circ}\text{K}) \times (\ln 0,02917) = 21,038 \text{ kcal/mol} \cdot ^{\circ}\text{K}$. Nilai ini menunjukkan bahwa adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi kimia dengan panas adsorpsi berkisar antara 20 – 100 kcal/mol.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa aktivasi secara fisika dapat meningkatkan daya jerap bentonit alam. Proses adsorpsi ion Cu(II) oleh bentonit dipengaruhi oleh waktu adsorpsi, konsentrasi

adsorbat dan berat adsorben. Daya jerap bentonit yang paling maksimum adalah 32.75 mg Cu(II)/g bentonit yang diperoleh pada kondisi konsentrasi ion Cu(II) awal 60 ppm, berat bentonit 2,5 g dan waktu adsorpsi 180 menit. Pada waktu adsorpsi 180 menit atau 3 jam kesetimbangan adsorpsi ion Cu(II) oleh bentonit telah tercapai. Adsorpsi Cu(II) oleh bentonit mengikuti model Isoterm Langmuir, dengan nilai koefisien regresi linear 0,973 dan panas reaksi 21,038 kcal/mol.^oK.

DAFTAR PUSTAKA

- Adel, F. dan Haerudin H., 2003, *Pembuatan Dan Karakterisasi Katalis Oksida Mangan Dengan Pendukung Bentonit Berpilar Alumina Untuk Oksidasi Gas CO*, Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan, BATAN.
- Amri, A., Fahrurrozi, M., dan Supranto, 2004, Keseimbangan Adsorpsi Optional Campuran Biner Cd(III) dan Cr(III) dengan Zeolit Alam Terimpregnasi 2-merkaptobenzotiazol, *Jurnal Natur Indonesia* 6(2): 111-117.
- Al-Qunaibit MH, et al., 2004. The Adsorption of Cu(II) Ions on Bentonite – a Kinetic Study, Chemistry Departement, College of Science, Women Student Medical Studies and Sciences Sections, *Journal of Colloid and Interface Science*, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia.
- Bereket G., Aroguz A.Z., and Azel M.Z., 1997., Removal of Pb(II), Cd(II) and Zn(II) from Aqueous Solution by Adsorption in Bentonite., *J. Colloid and Interface Sci.*, 187:338-343.i
- Dinas Pertambangan dan Energi Propinsi Riau, 2004, *Laporan Akhir Penyelidikan Bahan Galian Bentonit, Batu Gamping, Dan Timah Di Kabupaten Singingi dan Kampar Propinsi Riau*, PT. Riodila Bumi Persada Konsultan teknik, Pekanbaru.
- Irmayani dan Fitriani, 1998, *Pemanfaatan Bentonit Sebagai Adsorben Logam Berat Cr³⁺*, Skripsi, UNRI, Pekanbaru.
- Saad A., Al-Jlil., 2010., Heavy metal reduction of industry waste by using bentonite and roasty clay., *Sci, Technol*, 5: 138 – 145.,, DOI: 10.3923/tasr.2010.138.145., [http://scialert.net/abstract.\[5 April, 2010\]](http://scialert.net/abstract.[5 April, 2010]).
- Sneanabrezovska, Biljanamarina, Biljanapanova, and Burevski, D., 2004, *The Adsorption Characteristics and Porous Structure of Bentonite Adsorbents as Determined from the Adsorption Isotherms of Benzene Vapor*, *Journal Serbian Chem.Soic.*,69(2)145–155.
- Suardana, I., 2008., Optimalisasi daya adsorpsi zeolit terhadap ion kromium (III), *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Sains & Humaniora* 2(1): 17-33.
- Yusnimar, dan Drastinawati, 2005, *Pemanfaatan Bentonit Sebagai Adsorben pada Proses Bleaching Minyak Sawit*, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Petroleokimia Indonesia, Pekanbaru.