

KAPASITAS ADSORPSI BENTONIT TEKNIS SEBAGAI ADSORBEN ION Cd^{2+} CAPACITY OF ADSORPTION TECHNICAL BENTONITE AS ADSORBENT Cd^{2+} IONS

Yuni Prasetiowati dan Toeti Koestiari*

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences

State University of Surabaya

Jl. Ketintang Surabaya (60231), Telp. 031-8298761

*Corresponding author, email: nie_zyu@yahoo.com

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kimia bentonit teknis sebelum dan sesudah diaktivasi serta untuk mengetahui kemampuan adsorpsinya terhadap ion Cd^{2+} . Aktivasi bentonit teknis dilakukan dengan menggunakan larutan HCl 0,5 M dan memvariasi suhu pemanasan 100, 140, 200 dan 400 °C. Parameter adsorpsi meliputi konsentrasi sampel, massa adsorben, waktu kontak serta bentonit teknis sebelum dan sesudah aktivasi dengan HCl/suhu dengan sistem "batch shaker". Karakteristik kimia bentonit teknis sebelum dan sesudah diaktivasi menunjukkan terjadinya pergeseran bilangan gelombang dan perubahan puncak yaitu pada vibrasi ulur OH, tekuk H-O-H dari air yang teradsorpsi, ulur Si-O, tekuk Al-Al-OH dan tekuk Si-O-Al yang menunjukkan kandungan terbesar bentonit yaitu montmorillonit. Hasil adsorpsi menunjukkan bahwa konsentrasi sampel optimum yaitu 25 ppm, massa adsorben optimum pada 0,3 gram, waktu kontak optimum selama 80 menit. Adsorpsi bentonit teknis terhadap ion Cd^{2+} mengikuti pola adsorpsi isoterm Langmuir dengan nilai R^2 sebesar 0,997 dengan nilai kapasitas adsorpsi 2,3148 mg/g.

Kata-kata kunci: Bentonit teknis, karakteristik kimia, aktivasi, dan kapasitas adsorpsi

Abstract. This research aimed to investigate the characteristic of chemistry technical bentonite before and after activated and to investigate the adsorption ability of ion Cd^{2+} . Activation of technical bentonite performed using solution of HCl 0,5 M and varying the heating temperature of 100, 140, 200 and 400 °C. Parameters of adsorption include sample concentration, adsorbent mass, contact time and technical bentonite before and after activated with HCl/temperature with a "batch shaker". Characteristics of chemistry technical bentonite before and after activated showed the movement of wavelength number and the friction of peak, that were stretching OH, bending HOH of water adsorbed, stretching Si-O, bending Al-Al-OH and bending Si-O showed the largest content of bentonite is montmorillonit. The results of adsorption showed that sample concentration optimum was 25 ppm, adsorbent mass optimum at 0.3 grams, contact time optimum for 80 minutes. Adsorption of technical bentonite for ion Cd^{2+} fitted well to Langmuir isotherm model was $R^2 = 0.997$ with capacity of adsorption was 2,3148 mg/g.

Keywords: Technical bentonite, characteristic of chemistry, activation, and capacity of adsorption

PENDAHULUAN

Bentonit teknis adalah bentonit alam yang telah diproduksi oleh industri dan telah distandarisasi yang saat ini telah banyak diperdagangkan. Bentonit adalah lempung (*clay*) yang struktur kristalnya terdiri atas montmorillonit dengan tipe 2:1 yaitu $2SiO_2:Al_2O_3$ [1]. Bentonit dapat diaplikasikan sebagai adsorben karena sifat permukaannya yaitu memiliki luas permukaan, berpori dan memiliki situs aktif sehingga bentonit mempunyai sifat sebagai adsorben dan banyak diaplikasikan dalam proses adsorpsi.

Bahan adsorben yang sering digunakan adalah karbon aktif, silika gel dan zeolit. Pada dasarnya adsorben terbagi menjadi dua yaitu adsorben yang bersifat polar (hidrofilik) dan adsorben yang bersifat non polar (hidrofobik) [2]. Peningkatan performance permukaan adsorben, dapat dilakukan dengan cara aktivasi. Aktivasi bertujuan menghilangkan pengotor/impurities yang menyertai clay alam. Proses aktivasi clay merujuk pada aktivasi zeolit dan prosesnya terdiri dari dua jenis yakni aktivasi kimia dan aktivasi fisik. Aktivasi kimia merupakan proses yang menyertakan reaksi atau reagen kimia sedangkan

aktivasi fisik dilakukan dengan cara pemanasan [3].

Adsorpsi adalah suatu proses pemusatan dari molekul gas/cairan pada permukaan padat. Pada proses adsorpsi terdapat tipe isoterm adsorpsi yang umum digunakan untuk menggambarkan fenomena adsorpsi padat-cair yaitu tipe isoterm Langmuir dan Freundlich [4]. Isoterm Langmuir terdiri dari lapisan monolayer sedangkan isoterm Freundlich terdiri dari multilayer dari molekul-molekul adsorbat pada permukaan adsorben. Proses adsorpsi dipengaruhi oleh karakteristik adsorben, karakteristik adsorbat, waktu pengocokan dan pH [5].

Dewasa ini makin banyak pencemaran yang disebabkan oleh limbah rumah tangga dan bahkan limbah industri. Kebanyakan limbah industri mengandung logam-logam berat yang bersifat toksik. Limbah logam berat tadi merupakan buangan pabrik dan dapat digolongkan sebagai limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) yang dibuang ke media lingkungan perairan.

Salah satu logam berat yang bersifat toksik adalah kadmium. Sebagian besar kadmium berasal dari hasil aktivitas manusia, terutama hasil produksi logam, pembakaran bahan bakar dan transportasi. Tetapi kadmium juga dapat terbentuk dari proses kebakaran hutan [6]. Kandungan logam kadmium tidak boleh melebihi 0,01 ppm pada suatu perairan [7]. Sedangkan kandungan logam kadmium tidak boleh melebihi 0,003 mg/L untuk kualitas air minum [8].

Gejala umum keracunan logam berat kadmium adalah sakit di dada, nafas sesak (pendek), batuk-batuk dan lemah [9]. Adanya logam berat yang semakin banyak di lingkungan harus segera diatasi dengan salah satu metode penyerapan terhadap logam berat tersebut yaitu adsorpsi.

METODE PENELITIAN

Alat:

Gelas kimia (100 dan 250 mL), cawan petri, spatula, labu ukur (100 dan 1000 mL), pipet ukur 25 mL, ayakan 100 mesh, pipet tetes, botol plastik, nampan, oven, tanur, shaker, kertas saring, neraca digital, spektrofotometer spektrofotometer inframerah (FTIR) Perkin Elmer USA dan

spektrofotometer AAS Perkin Elmer Analyst 100.

Bahan:

Bentonit teknis (PT. Brataco), serbuk $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ Merck, HCl 0,5 M Merck dan akuademineral.

PROSEDUR PENELITIAN

Aktivasi Bentonit Teknis

Sebanyak 50 gr bentonit teknis dengan ukuran 100 mesh dan direndam dalam 100 mL akuademin selama 24 jam. Kemudian diaduk selama 1 jam dengan kecepatan 100 rpm dan disaring. Residu yang diperoleh direndam dalam 200 mL HCl 0,5 M sambil diaduk selama 1 jam dengan kecepatan 100 rpm kemudian disaring dan dicuci dengan akuademineral. Residu yang dihasilkan dipanaskan dengan suhu 100, 140, 200, dan 400 °C selama 1 jam. Setelah kering, digerus sampai halus dan diayak dengan ayakan 100 mesh [10].

Karakterisasi Gugus Fungsional Bentonit Teknis Sebelum dan Sesudah Diaktivasi

Karakterisasi gugus fungsional Bentonit Teknis Sebelum dan Sesudah Diaktivasi menggunakan spektrofotometer inframerah (FTIR) pada panjang gelombang 4000-400 cm^{-1} [11].

Penentuan Daya Serap Bentonit Teknis dengan Variasi Konsentrasi Sampel

Penentuan daya serap bentonit terhadap ion Cd^{2+} dilakukan secara *batch*, yaitu dengan cara menambahkan 0,1 gr bentonit teknis kedalam 50 mL larutan Cd^{2+} dengan variasi konsentrasi 5, 10, 25, 50 dan 60 ppm sambil diaduk dengan kecepatan 200 rpm selama 60 menit. Selanjutnya disaring dan filtratnya diambil untuk dianalisa kadar Cd^{2+} sisa dengan spektrofotometer AAS. Diulangi untuk replikasi sebanyak 3 kali.

Penentuan Daya Serap Bentonit Teknis dengan Variasi Massa Bentonit Teknis

Penentuan daya serap bentonit terhadap ion Cd^{2+} dilakukan secara *batch*, yaitu dengan cara menambahkan bentonit teknis dengan variasi massa 0,1; 0,3; 0,5; dan 1 gr kedalam 50 mL

larutan Cd^{2+} dengan konsentrasi optimum sambil diaduk dengan kecepatan 200 rpm selama 60 menit. Selanjutnya disaring dan filtratnya diambil untuk dianalisa kadar Cd^{2+} sisa dengan spektrofotometer AAS. Diulangi untuk replikasi sebanyak 3 kali.

Penentuan Daya Serap Bentonit Teknis dengan Variasi Waktu Kontak

Penentuan daya serap bentonit terhadap ion Cd^{2+} dilakukan secara *batch*, yaitu dengan cara menambahkan bentonit teknis dengan massa optimum kedalam 50 mL larutan Cd^{2+} dengan konsentrasi optimum sambil diaduk dengan kecepatan 200 rpm selama variasi waktu kontak 20, 40, 60 dan 80 menit. Selanjutnya disaring dan filtratnya diambil untuk dianalisa kadar Cd^{2+} sisa dengan spektrofotometer AAS. Diulangi untuk replikasi sebanyak 3 kali

Penentuan Bentonit Teknis Sebelum dan Sesudah Aktivasi dengan HCl/Suhu terhadap Ion Cd^{2+}

Penentuan daya serap bentonit terhadap ion Cd^{2+} dilakukan secara *batch*, yaitu dengan cara menambahkan bentonit teknis sebelum dan sesudah aktivasi masing-masing dengan massa optimum kedalam 50 mL larutan Cd^{2+} dengan konsentrasi optimum sambil diaduk dengan kecepatan 200 rpm selama waktu kontak optimum. Selanjutnya disaring dan filtratnya diambil untuk dianalisa kadar Cd^{2+} sisa dengan spektrofotometer AAS. Diulangi untuk replikasi sebanyak 3 kali dan ditentukan kapasitas adsorpsinya.

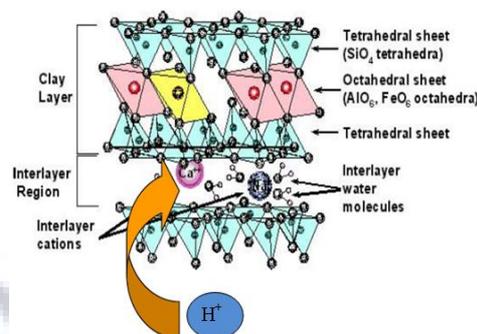
HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktivasi Bentonit Teknis

Pada penelitian ini aktivasi bentonit teknis dilakukan secara kimia. Bentonit teknis yang digunakan adalah bentonit tipe Ca-Mg-Bentonit. Tipe bentonit ini bersifat kurang mengembang apabila dicelupkan ke dalam air tetapi memiliki penyerapan yang lebih baik, baik secara alamiah ataupun dengan cara pengaktifan. Posisi pertukaran ionnya lebih banyak diduduki oleh ion Ca^{2+} dan ion Mg^{2+} [12].

Pada aktivasi ini menggunakan asam yaitu asam klorida. Mula-mula terjadi pertukaran kation

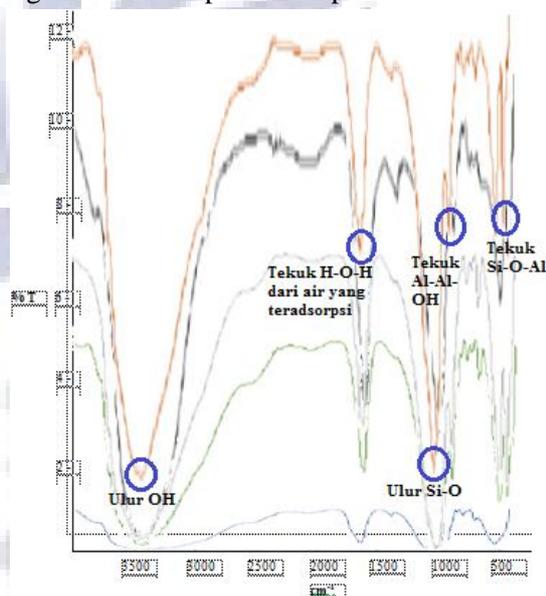
dari garam mineral (Ca^{2+} dan Mg^{2+}) pada lapisan interlayer bentonit dengan ion H^+ dari asam, kemudian diikuti dengan pelarutan ion Al^{3+} dan ion logam lainnya seperti Fe^{3+} dari lapisan *lattice* bentonit yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Reaksi aktivasi bentonit teknis dengan HCl

Karakterisasi Gugus Fungsional Bentonit Teknis Sebelum dan Sesudah Diaktivasi

Analisis gugus fungsional pada bentonit teknis dilakukan menggunakan alat FTIR. Spektra yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 2.



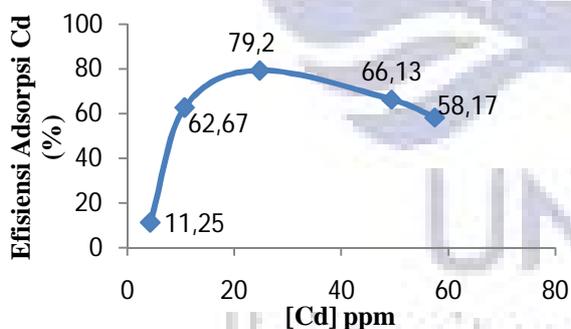
Gambar 2. Spektra FTIR bentonit teknis sebelum aktivasi (hitam), bentonit teknis teraktivasi pada suhu 100 °C (biru), bentonit teknis teraktivasi pada suhu 140 °C (orange), bentonit teknis teraktivasi pada suhu 200 °C (hijau), bentonit teknis teraktivasi pada suhu 400 °C (abu-abu)

Hasil pengukuran FTIR ini menunjukkan ada perubahan dalam peak yang muncul dan terjadi pergeseran kedudukan peak yang menandakan adanya interaksi. Bila dilihat dari data gambar (%T) untuk setiap aktivasi tadi dapat diketahui bahwa struktur dan massa atom dari sampel mempunyai perbedaan. Dari data spektra Gambar 2 terlihat adanya kesamaan dan beberapa perubahan pita serapan akibat proses aktivasi.

Hasil analisis ini dipadukan dengan spektrum FTIR bentonit alam yang dianalisis pada spektrum bentonit teraktivasi muncul pada serapan 3626,17; 3425,58; 1365,64; 1041,56; 794,67; 918,12; 524,64; dan 470,63 cm^{-1} . Yang menjadi ciri khas spektra bentonit yaitu muncul pada serapan 3620,1; 1636,4; 1035,7; 794,6; 530; dan 468 cm^{-1} , yang menunjukkan kandungan terbesar bentonit yaitu montmorillonit. Ciri khas kandungan bentonit ini terdapat pada bentonit teknis sebelum dan sesudah aktivasi yaitu terdapat vibrasi ulur OH, tekuk H-O-H, ulur Si-O, tekuk Al-Al-OH dan tekuk Si-O-Al [13].

Penentuan Konsentrasi Optimum

Efisiensi adsorpsi menunjukkan bahwa kesetimbangan adsorpsi mulai tercapai pada konsentrasi 25 ppm.



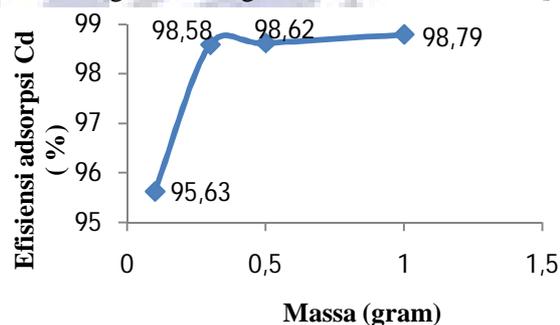
Gambar 3. Kurva Penentuan Konsentrasi Sampel Optimum Berdasarkan Efisiensi Adsorpsi.

Semakin besar konsentrasi adsorbat menyebabkan semakin banyak adsorbat yang teradsorpsi pada situs aktif adsorben. Akan tetapi, daya serap bentonit terhadap ion Cd^{2+} dapat mengalami kejenuhan yang mengakibatkan menurunnya daya serapnya yaitu akan mencapai kesetimbangan meskipun konsentrasi adsorbat semakin meningkat.

Penentuan Massa Adsorben Optimum

Efisiensi adsorpsi menunjukkan bahwa kesetimbangan adsorpsi mulai tercapai pada massa seberat 0,3 gr. Adsorpsi secara umum terjadi pada semua permukaan, namun besarnya ditentukan oleh luas permukaan adsorben yang kontak langsung dengan adsorbat. Besarnya adsorpsi sebanding dengan luas permukaan spesifik. Makin besar luas permukaan, semakin besar pula adsorpsi yang terjadi [5]. Pada adsorben seberat 1 gr mempunyai pori-pori dan luas permukaan paling tinggi dibandingkan dengan lainnya (0,1; 0,3 dan 0,5 gr) sehingga daya jerapnya terhadap ion Cd^{2+} paling tinggi.

Akan tetapi pada massa 0,5 dan 1 gr, adsorpsi dikatakan telah mendekati kesetimbangan karena penambahan jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi semakin sedikit. Jadi, adsorpsi bentonit menghasilkan berat adsorben yang teradsorpsi berbanding lurus dengan konsentrasi adsorbat [10].



Gambar 4. Kurva Penentuan Massa Adsorben Optimum Berdasarkan Efisiensi Adsorpsi.

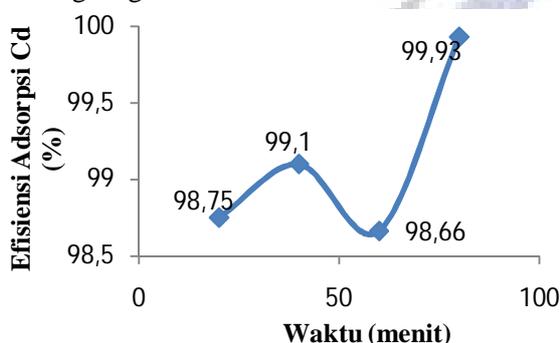
Penentuan Waktu Kontak Optimum

Waktu kontak ini merupakan waktu yang digunakan oleh adsorben dan adsorbat untuk melakukan interaksi secara langsung. Jika fase cairan yang berisi adsorben diam, maka difusi adsorbat melalui permukaan adsorben akan lambat. Oleh karena itu diperlukan pencocokan untuk mempercepat proses adsorpsi [5].

Pada menit ke-20 dan 40 menit, jumlah ion Cd^{2+} yang teradsorpsi sedikit karena waktu interaksi antara ion Cd^{2+} dengan situs aktif pada adsorben relatif sebentar. Tetapi pada menit ke-60, jumlah ion logam yang teradsorpsi menurun karena Pada kondisi ini, ion Cd^{2+} belum masuk semuanya kedalam pori-pori bentonit karena dimungkinkan

masih ada yang terhambat untuk masuk. Dengan demikian dimungkinkan pada kondisi tersebut ion Cd^{2+} yang telah berikatan dengan situs aktif pada bentonit teknis ada yang terlepas dari pori-pori bentonit teknis pada saat proses adsorpsi karena ikatan yang terjadi pada ion Cd^{2+} dengan situs aktif pada bentonit teknis adalah ikatan Van der Waals. Sedangkan pada menit ke-80, jumlah ion logam yang teradsorpsi paling banyak dibandingkan pada waktu yang lainnya.

Efisiensi adsorpsi menunjukkan bahwa kesetimbangan adsorpsi mulai tercapai pada menit ke-80 karena secara umum adsorpsi ion Cd^{2+} berlangsung lambat sebelum menit ke-80.

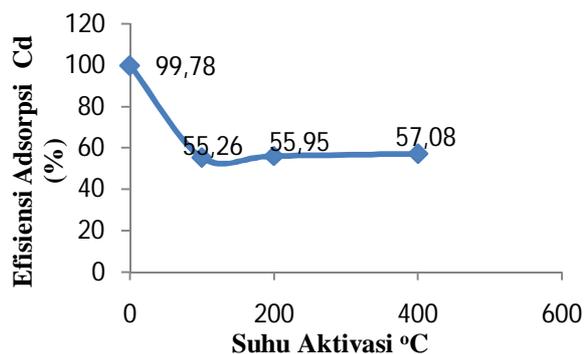


Gambar 5. Kurva Penentuan Waktu Kontak Optimum Berdasarkan Efisiensi Adsorpsi.

Penentuan Bentonit Teknis Sebelum dan Sesudah Aktivasi dengan HCl/Suhu terhadap Ion Cd^{2+}

Jumlah ion Cd^{2+} yang teradsorpsi pada bentonit teknis aktivasi $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ hampir sama dengan bentonit teknis yang diaktivasi menggunakan asam nitrat 1 M yang dikalsinasi pada suhu $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 1 jam dengan massa optimal dalam adsorpsi adalah 0,5 gram dengan daya adsorpsi terhadap ion Pb^{2+} adalah 2,9007 mg/g [14]. Ion Cd^{2+} merupakan asam lunak sedangkan ion Pb^{2+} merupakan asam madya [15]. Sisi aktif pada adsorben bentonit teknis paling dominan mengandung gugus fungsional $-OH$ yang merupakan jenis basa keras. Hal ini mengakibatkan interaksi antara gugus fungsional pada adsorben dengan ion Pb^{2+} lebih besar dibandingkan dengan ion Cd^{2+} karena menurut aturan Pearson bahwa ion Pb^{2+} merupakan asam madya sedangkan ion Cd^{2+} merupakan asam lunak, sehingga interaksi kuat terjadi antara asam madya dengan basa keras

dibandingkan dengan asam lunak dengan basa keras.



Gambar 6. Kurva Bentonit Teknis Sebelum dan Sesudah Aktivasi dengan HCl/Suhu terhadap Ion Cd^{2+} Berdasarkan Efisiensi Adsorpsi

Efisiensi adsorpsi menunjukkan bahwa kesetimbangan adsorpsi tercapai pada bentonit teknis tanpa aktivasi. daya adsorpsi bentonit teknis sesudah diaktivasi cenderung menurun dibanding bentonit teknis sebelum diaktivasi.

Berdasarkan jari-jari pori bentonit teknis adalah $<1013,9\text{ \AA}$ [16]. Sedangkan jari-jari pori bentonit-H yang diaktivasi pada suhu 100 dan $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 1 jam berturut-turut sebesar 3.3332 dan 3.3457 \AA [17]. Akan tetapi penyerapan bentonit teknis terhadap ion Cd^{2+} lebih besar dari pada bentonit teknis teraktivasi. Hal ini disebabkan karena pada bentonit sebelum aktivasi pori-pori dan situs aktif lebih banyak yang terbuka untuk adsorpsi dibandingkan dengan bentonit teknis teraktivasi.

Penentuan Kemampuan Adsorpsi Bentonit terhadap Ion Cd^{2+}

Tabel 1. Nilai Rata-Rata Parameter untuk Menentukan Kurva Isoterm Langmuir dan Freundlich.

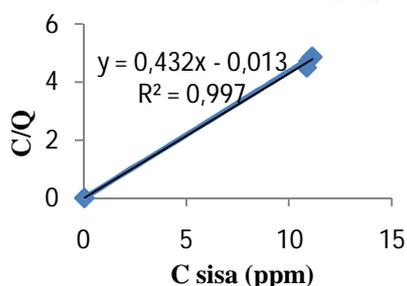
Aktivasi	C (mg/L)	Q (mg/g)	C/Q (g/L)	Log C	Log Q
HCl dan pemanasan ($^{\circ}\text{C}$)					
Bentonit teknis awal	0,0535	4,121	0,0129	-1,3604	0,6185

Aktivasi HCl dan pemanasan (°C)	C (mg/L)	Q (mg/g)	C/Q (g/L)	Log C	Log Q
100	11,0956	2,2828	4,8607	1,0451	0,3584
140	11,1214	2,2777	4,8829	1,0461	0,3575
200	10,9251	2,3109	4,7281	1,0384	0,3637
400	10,8569	2,4050	4,5161	1,0356	0,3811

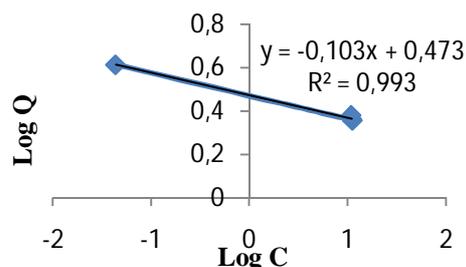
Keterangan: Bentonit teknis awal adalah bentonit teknis tanpa aktivasi HCl dan pemanasan. Pada 100, 140, 200 dan 400 °C adalah bentonit teknis yang diaktivasi dengan HCl dan pada pemanasan 100, 140, 200 dan 400 °C.

C adalah konsentrasi ion Cd^{2+} pada kesetimbangan (mg/L), Q adalah banyaknya ion Cd^{2+} yang teradsorpsi pada 1 g adsorben (mg/g), C/Q adalah perbandingan antara konsentrasi ion Cd^{2+} pada kesetimbangan dengan banyaknya ion Cd^{2+} yang teradsorpsi per massa adsorben (g/L). Log C merupakan nilai logaritma dari konsentrasi ion Cd^{2+} pada kesetimbangan dan Log Q merupakan nilai logaritma dari banyaknya ion Cd^{2+} yang teradsorpsi pada 1 g adsorben.

Pada bentonit teknis awal, aktivasi HCl dan pemanasan (100, 140, 200 dan 400 °C) masing-masing menunjukkan jumlah ion Cd^{2+} yang teradsorpsi (Q) rata-rata yaitu 4,121; 2,2828; 2,2777; 2,3109; dan 2,4050 mg/g. Data-data tersebut digunakan untuk mencari persamaan linier model adsorpsi isoterm Langmuir dan Freundlich pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Kurva Linier Isoterm Langmuir



Gambar 8. Kurva Linier Isoterm Freundlich

Ditinjau dari regresi kedua persamaan tersebut dapat dikatakan bahwa nilai R^2 dari isoterm Langmuir lebih besar dari pada isoterm Freundlich. Hal ini menunjukkan bahwa model yang sesuai dengan proses adsorpsi ion Cd^{2+} oleh bentonit teknis adalah isoterm Langmuir. Adsorpsi ion Cd^{2+} menggunakan bentonit teknis mengikuti pola adsorpsi monolayer yang mempunyai situs aktif yang homogen pada permukaan adsorben. Pada pola adsorpsi ini setiap situs aktif yang terdapat pada permukaan adsorben hanya bisa menampung satu atom teradsorpsi, sehingga setelah semua situs telah mengikat molekul adsorbat maka proses adsorpsi akan berhenti atau dikatakan telah mengalami kesetimbangan karena interaksi antara ion Cd^{2+} dengan permukaan adsorben terbatas pada permukaan lapisan monolayer.

Tabel 2. Parameter Persamaan Langmuir dan Freundlich

Isoterm Langmuir			Isoterm Freundlich		
b (mg/g)	K (mg/L) ⁻¹	R ²	n	K _F	R ²
2,3148	33,23	0,997	9,71	2,9717	0,993

PENUTUP

Simpulan

Karakteristik gugus fungsional bentonit teknis sebelum dan sesudah diaktivasi adalah terdapat vibrasi ulur OH, tekuk H-O-H, ulur Si-O, tekuk Al-Al-OH dan tekuk Si-O-Al yang menunjukkan kandungan terbesar bentonit yaitu montmorillonit.

Hasil adsorpsi menunjukkan bahwa konsentrasi sampel optimum yaitu 25 ppm, massa adsorben optimum pada 0,3 gram, waktu kontak optimum selama 80 menit. Adsorpsi bentonit teknis terhadap ion Cd^{2+} mengikuti pola adsorpsi

isotherm Langmuir dengan nilai R^2 sebesar 0,997 dengan nilai kapaistas adsorpsi 2,3148 mg/g.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan menggunakan ion logam lain dalam larutan terhadap adsorpsi ion Cd^{2+} oleh bentonit teknis karena masih banyak ion logam lain yang berada lingkungan. Selain itu, aktivasi bentonit teknis bisa dilakukan dengan teknik interkalasi menggunakan basa atau asam yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

1. Grim, R. 1968. *Clay Minerology*. Newyork: Toronto, London, Sydney.
2. Puspaningrum, S. 2007. Pengaruh Jenis Adsorben Pada Pemurnian Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas L.*).
3. Fatimah, I. 2014. *Adsorpsi dan Katalisis Menggunakan Material Berbasis Clay*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
4. Bahl, B., Tuli, G., & Arun, B. 2002. *Essentials of Physical Chemistry*. New Delhi: Chand and Company Ltd.
5. Weber, W. J. 1972. *Physics Chemical Process for Water Quality Control*. New York: John Wiley & Sons.
6. Palar, H. 2008. *Toksikologi dan Pencemaran Lingkungan*. Jakarta: Rineka Cipta.
7. Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Presiden Republik Indonesia.
8. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 907/Menkes/SK/VII/2002 tentang Kualitas Air Minum.
9. Mukono. 2009. Dampak Pencemaran Terhadap Kesehatan Manusia dan Lingkungan: Dipublikasikan oleh <http://mukono.blog.unair.ac.id/2009/07/17/dampak-pencemaran-terhadap-kesehatan-manusia-dan-lingkungan/>.
10. Bath, D. S., Siregar, J. M., & Lubis, M. T. 2012. Penggunaan Tanah Bentonit Sebagai Adsorben Logam Cu. *Jurnal Teknik Kimia*, 1.
11. Holtzer, M. B. 2010. Montmorillonite: A Comparison of Methods. *Metalurgija*, 2 (50), 119-122.
12. Temkira, P. 2005. Bentonit. Dipublikasikan oleh <http://www.tekmira.esdm.go.id>.
13. Purwaningsih, E., Supartono, & Harjono. 2012. Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa dengan Metanol Menggunakan Katalis Bentonit. *Indonesian journal of chemical science*, II (1).
14. Kurniawan, D. A. 2010. Pola Adsorpsi Timbal(II) dengan Bentonit Teraktivasi.
15. Pearson, R. G. 1963. Hard and Soft Acids and Bases. *Journal of the American Chemical Society*, 85 (22).
16. Koestiari, T. 2012. Karakterisasi Bentonit Teknis Sebagai Adsorben Indigo Biru. *Jurnal manusia dan lingkungan*, 19 (3).
17. Koestiari, T., & Prawita, A. 2009. Aktivasi dan Karakterisasi Bentonit-H Pada Berbagai Suhu dan Waktu. *Jurnal Penelitian Matematika dan Sains*, 16 (1), 61-65.