



Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi H_3PO_4 sebagai Adsorben Ion Logam Cd(II) dalam Larutan

Sigit Wahyu Pratomo ✉, F. Widhi Mahatmanti, dan Triastuti Sulistyaningsih

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Diterima: Juli 2017

Disetujui: Agustus 2017

Dipublikasikan: Agustus 2017

Keywords:

natural zeolite
activated phosphoric acid
adsorption
Cd(II) ion

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi optimum adsorpsi pada waktu kontak (15, 30, 45, 60 dan 75 menit), pH (3, 4, 5, 6 dan 7), dan konsentrasi awal ion logam Cd(II) (10, 30, 50, 70 dan 90 mg/L) menggunakan zeolit alam dan zeolit teraktivasi H_3PO_4 5 M terhadap adsorpsi ion logam Cd(II). Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu kontak optimum 60 menit, pH larutan optimum dicapai pada pH 5 untuk zeolit alam dan zeolit teraktivasi dan konsentrasi awal optimum 30 mg/L dengan ion logam Cd(II) yang teradsorpsi sebesar 1,387 mg/gram pada zeolit alam dan konsentrasi awal optimum 50 mg/L dengan ion logam Cd(II) yang teradsorpsi sebesar 2,414 mg/gram pada zeolit teraktivasi. Adsorpsi ion Cd(II) lebih mengikuti model isoterm Langmuir dengan kapasitas adsorpsi sebesar 1,164 mg/g untuk zeolit alam sedangkan kapasitas adsorpsi zeolit teraktivasi sebesar 2,016 mg/g dan mengikuti model kinetika orde dua semu dengan konstanta laju adsorpsi sebesar 0,104 g/mg menit untuk zeolit alam sedangkan konstanta laju adsorpsi zeolit teraktivasi sebesar 0,026 g/mg menit.

Abstract

This research was conducted to determine the optimum condition of adsorption on contact time (15, 30, 45, 60 and 75 minutes), pH (3, 4, 5, 6 and 7), and the concentration of Cd(II) ion (10, 30, 50, 70 and 90 mg/L) using natural zeolites and zeolite activated H_3PO_4 5 M to the adsorption of Cd(II) ion. The results showed that the optimum contact time of 60 minutes, the optimum pH of the aqueous solution is achieved at pH 5 for natural zeolite and zeolite activated and the optimum concentration of 30 mg/L with a Cd(II) ion adsorbed at 1.3874 mg/g on the natural zeolite and optimum concentration of 50 mg/L with a Cd(II) ions adsorbed at 2.4144 mg/g on the activated zeolite. Adsorption of Cd(II) ion is better followed Langmuir isotherm model with adsorption capacity of 1.1641 mg/g for natural zeolite while the adsorption capacity of the activated zeolite of 2.0161 mg/g and followed models the pseudo second order with rate constant of 0.104 g/mg minute for natural zeolite while the adsorption rate constant activated zeolite 0.026 g/mg minute.

© 2017 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229

E-mail: sigitwp93@gmail.com

p-ISSN 2252-6951

e-ISSN 2502-6844

Pendahuluan

Meningkatnya aktivitas industri saat ini menimbulkan dilema bagi masyarakat umum. Di satu sisi, pembangunan akan meningkatkan kualitas hidup manusia dengan meningkatnya pendapatan masyarakat. Di sisi lain, pembangunan juga dapat menurunkan kesehatan masyarakat disebabkan pencemaran yang berasal dari limbah industri. Kehadiran ion-ion logam berat dalam air limbah menimbulkan masalah yang sangat besar bagi organisme dan lingkungan hidup karena memiliki tingkat toksisitas yang tinggi dan bersifat *non-biodegradability*. Sumber ion-ion logam berat dalam air limbah mencakup pertambangan dan industri-industri seperti kertas, tekstil, dan sebagainya (Suherni; 2010).

Ion logam berat merupakan jenis pencemar yang sangat berbahaya dalam sistem lingkungan hidup karena bersifat tak dapat terbiodegradasi, toksik, serta mampu mengalami bioakumulasi dalam rantai makanan (Anis, *et al.*; 2006). Ion logam berat mempunyai nomor atom 22-92 dan terletak pada periode III dan IV dalam sistem periodik unsur kimia. Salah satu contoh ion logam berat yang sangat berbahaya adalah logam kadmium (Cd). Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.492/Menkes/Per/2010 ambang batas kandungan kadmium dalam air minum adalah 0,003 mg/L. Ion-ion logam berat telah diketahui menyebabkan penyakit keras seperti kerusakan sistem saraf dan bahkan kanker. Oleh karena itu, berbagai penelitian telah banyak dilakukan untuk menangani masalah tersebut. Beberapa metode penghilangan logam berat dapat dilakukan dengan teknik pertukaran ion, pengendapan, *phytoextraction*, ultrafiltrasi, *reverse osmosis*, elektrodialisis, dan adsorpsi (Mier, *et al.*; 2000).

Proses adsorpsi lebih banyak dipakai dalam industri karena mempunyai beberapa keuntungan, yaitu lebih ekonomis dan juga tidak menimbulkan efek samping yang beracun serta mampu menghilangkan bahan-bahan organik. Adsorpsi adalah sebuah proses yang terjadi ketika molekul dari zat cair atau gas terakumulasi pada suatu permukaan padatan/cairan, sehingga membentuk suatu lapisan tipis yang terbentuk dari molekul-molekul atau atom. Hal yang paling penting di dalam proses adsorpsi adalah pemilihan jenis adsorben yang baik. Salah satu adsorben yang paling potensial adalah zeolit. Zeolit memiliki beberapa sifat seperti memiliki sifat dehidrasi, pertukaran kation yang cukup tinggi, katalisator yang baik, dan sebagai penjerap senyawa lain (Kundari, *et al.*; 2010).

Peningkatan daya guna atau optimalisasi zeolit sebagai adsorben dapat dilakukan melalui aktivasi. Proses aktivasi bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengganggu dan luas permukaan spesifiknya bertambah (Emelda, *et al.*; 2013). Pada tahap aktivasi, terlebih dahulu adsorben direndam menggunakan bahan pengaktif antara lain HCl, HNO₃, H₂SO₄ dan H₃PO₄ (Heraldry, *et al.*; 2003).

Metode

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Surface Area Analyzer (SAA)* merek *Nova Quantachrome Instrument 1200e*, dan *Atomic Absorption Spectrofotometer (AAS)* merek *Perkin Elmer Analyst-900F*. Sedangkan bahan yang digunakan yaitu zeolit alam, H₃PO₄, Cd(NO₃)₂·4H₂O, HNO₃, NaOH dengan *grade pro analyst* yang diperoleh dari *Merck* dan aquades.

Prosedur kerja yang dilakukan meliputi preparasi zeolit, aktivasi zeolit, tahap optimasi adsorben meliputi optimasi waktu kontak, pH, dan konsentrasi awal larutan ion logam Cd(II) serta uji isoterm dan kinetika adsorpsi. Zeolit alam yang telah dihaluskan sebanyak 500 g diayak dengan ukuran 100 mesh. Zeolit hasil ayakan dicuci dengan aquades kemudian disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 3 jam. Zeolit yang diperoleh kemudian direndam dalam larutan H₃PO₄ 5 M sebanyak 500 mL sebagai aktivator dan waktu aktivasi 24 jam. Zeolit yang dihasilkan lalu dicuci dengan aquades sampai pH air netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 3 jam. Setelah diperoleh zeolit alam teraktivasi, selanjutnya dilakukan optimasi waktu kontak, pH, dan konsentrasi awal ion logam Cd(II). Zeolit teraktivasi asam fosfat dan zeolit alam dimasukkan ke dalam dua erlenmeyer, kemudian masing-masing erlenmeyer ditambahkan 10 mL larutan ion logam Cd(II) dengan konsentrasi awal ion logam Cd(II) yaitu 50 mg/L untuk zeolit teraktivasi asam fosfat, sedangkan zeolit alam yaitu 30 mg/L dengan masing pH 5 selama 60 menit. Filtrat yang diperoleh dianalisis dengan alat AAS.

Hasil dan Pembahasan

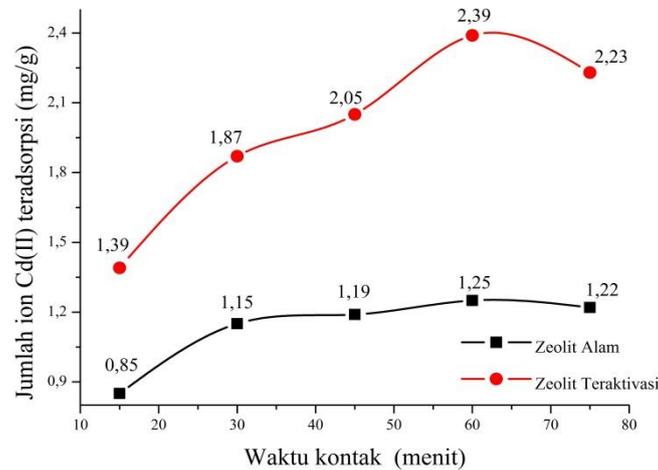
Untuk meningkatkan mutu zeolit alam diperlukan proses aktivasi. Proses aktivasi dilakukan pada suhu ruang selama 24 jam kemudian dikeringkan selama 3 jam dengan temperatur 120°C. Pemanasan ini dilakukan untuk meregangkan ruang antarpori sehingga aktivator dapat menembus pori-pori yang kecil dan mendesak kotoran-kotoran dan zat-zat organik sisa yang masih menempel untuk keluar dari pori (Anggara; 2013). Hasil analisis menggunakan metode *Brunauer Emmet Teller (BET)* dengan menggunakan gas nitrogen menghasilkan luas permukaan, yang disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis luas permukaan

Adsorben	Luas permukaan (m ² /g)
Zeolit alam	41,42
Zeolit alam teraktivasi	73,31

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa aktivasi zeolit alam dengan larutan H₃PO₄ menghasilkan luas permukaan yang lebih besar dari zeolit alam tanpa aktivasi, peningkatan luas permukaan dari sebelum diaktivasi dan sesudah aktivasi sebesar 43,49%. Hal ini menunjukkan bahwa aktivasi telah menghilangkan pengotor yang ada pada zeolit sehingga dapat memperbesar luas permukaan.

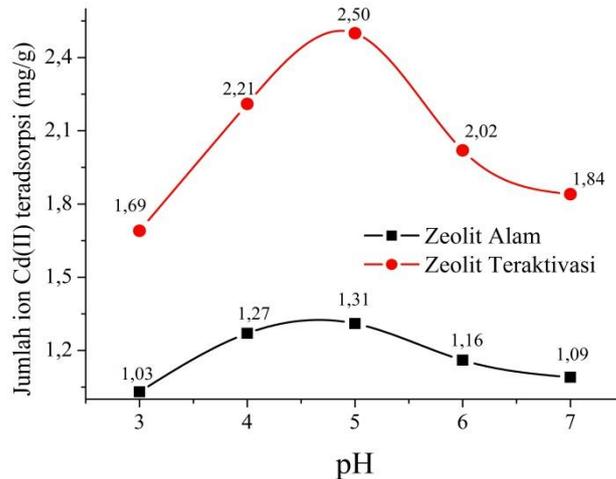
Setelah mendapatkan zeolit teraktivasi selanjutnya dilakukan uji penentuan waktu kontak, pH, dan konsentrasi awal optimum. Penentuan waktu kontak optimum dilakukan dengan mengkontakkan 0,05 gram adsorben kedalam larutan ion logam Cd(II) dengan konsentrasi awal 50 mg/L sebanyak 10 mL dengan variasi waktu 15, 30, 45, 60 dan 75 menit pada pH 4. Setelah dilakukan interaksi dan perhitungan didapatkan data penentuan waktu kontak optimum adsorpsi ion logam Cd(II) yang disajikan pada Gambar 1.

**Gambar 1.** Pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi ion logam Cd(II)

Gambar 1 menunjukkan bahwa kondisi optimum adsorpsi ion logam Cd(II) oleh zeolit alam dan zeolit alam teraktivasi terjadi pada waktu 60 menit dengan jumlah ion logam Cd(II) teradsorpsi sebesar 1,25 mg/g untuk zeolit alam dan 2,39 mg/g untuk zeolit alam teraktivasi. Hal ini menunjukkan proses aktivasi menyebabkan kemampuan adsorpsinya meningkat dibandingkan dengan zeolit tanpa aktivasi. Perlakuan pengasaman terhadap zeolit bertujuan untuk menghilangkan senyawa pengotor yang menutupi rongga dan permukaan pori-pori, sehingga permukaan menjadi lebih luas. Luas permukaan yang bertambah diharapkan meningkatkan kemampuan zeolit dalam proses penjerapan (Onen, *et al.*; 2010). Zeolit tanpa aktivasi memiliki kemampuan adsorpsi yang rendah karena sebelum diaktivasi luas permukaan lebih kecil. Luas permukaan yang kecil ini diakibatkan karena masih sedikitnya pori-pori yang terbentuk pada permukaan zeolit. Selain itu, pori-pori tersebut masih tertutup oleh zat pengotor.

Semakin lama waktu kontak antara adsorben dan adsorbat, maka jumlah adsorbat yang berinteraksi dengan situs aktif adsorben akan semakin banyak hingga mencapai kesetimbangan. Pada waktu kontak sampai 60 menit jumlah ion logam Cd(II) yang teradsorpsi semakin banyak dan mencapai optimum pada waktu kontak 60 menit. Hal ini terjadi karena semakin lama waktu interaksi antara adsorben dengan ion logam Cd(II), semakin banyak tumbukan yang terjadi, maka ion logam Cd(II) yang teradsorpsi juga semakin banyak. Pada waktu kontak kurang dari 60 menit situs aktif belum terisi oleh ion logam Cd(II) sehingga ion-ion logam Cd(II) bisa teradsorpsi dengan cepat dan setelah waktu kontak 60 menit grafik cenderung menurun. Penurunan adsorpsi ion logam Cd(II) diindikasikan karena mengalami desorpsi atau terlepas kembali dari adsorben yang disebabkan oleh lemahnya interaksi yang terjadi antar ion logam Cd(II) dengan adsorben untuk terikat pada permukaan adsorben.

Tingkat keasaman atau pH berpengaruh besar terhadap adsorpsi, karena perubahan keasaman dalam larutan dapat menyebabkan perubahan muatan permukaan adsorben ataupun spesies ion logam dalam larutan. Pada penentuan pH optimum, sebanyak 10 mL larutan logam 50 ppm pada pH 3, 4, 5, 6 dan 7 ke dalam dua erlenmeyer yang berisi 0,05 g zeolit alam teraktivasi dan zeolit alam tanpa aktivasi. Setelah dilakukan interaksi dan perhitungan didapatkan data penentuan pH optimum adsorpsi ion logam Cd(II) yang disajikan pada Gambar 2.

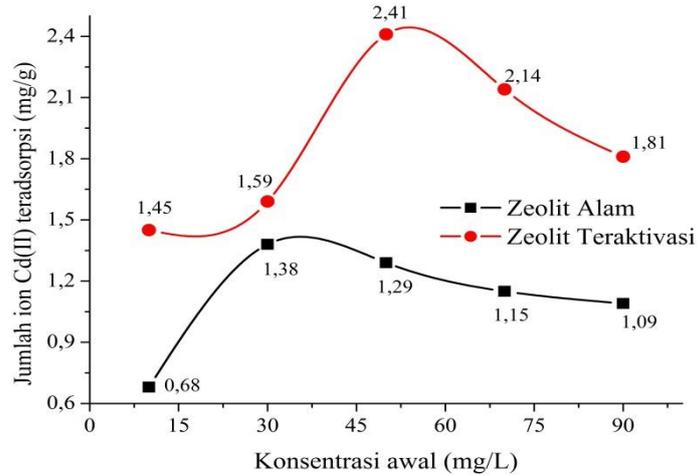


Gambar 2. Pengaruh pH terhadap adsorpsi ion logam Cd(II)

Pada pH rendah yaitu pH 3 dan 4 adsorpsi ion logam Cd(II) rendah. Hal ini dikarenakan pada pH rendah permukaan adsorben dikelilingi oleh ion H^+ (karena gugus fungsi yang terdapat pada adsorben terprotonasi). Dalam kondisi asam permukaan adsorben juga bermuatan positif, yang akan menyebabkan terjadi tolakan antara permukaan adsorben dengan ion logam, sehingga adsorpsinya pun menjadi rendah. Pada pH 5 permukaan adsorben dikelilingi oleh OH^- sehingga permukaan bermuatan negatif. Hal ini menyebabkan terjadi tarik menarik antara permukaan adsorben dengan ion logam Cd(II) yang bermuatan positif. Di atas pH 5 terjadi penurunan penyerapan ion logam Cd(II) dikarenakan ion OH^- yang berlebih pada permukaan adsorben menyebabkan ion logam Cd(II) mengendap sebagai hidroksidanya. Ion logam Cd(II) mempunyai harga K_{sp} sebesar $2,5 \times 10^{-14}$ (Bodner, *et al.*; 1989), sehingga pada pH 6 dan 7 adsorpsi cenderung menurun dikarenakan ion logam Cd(II) sudah mulai mengalami pengendapan.

Setelah mendapatkan pH optimum, selanjutnya dilakukan penentuan konsentrasi awal optimum adsorpsi. Pada penentuan konsentrasi awal ion logam Cd(II) optimum, sebanyak 0,05 g zeolit alam teraktivasi dan zeolit alam tanpa aktivasi dimasukkan ke dalam dua erlenmeyer 100 mL, ditambahkan 10 mL ion logam Cd(II) dengan berbagai konsentrasi yaitu 10, 30, 50, 70 dan 90 mg/L dengan pH optimum. Setelah dilakukan interaksi dan perhitungan didapatkan data penentuan konsentrasi awal optimum adsorpsi ion logam Cd(II) yang disajikan pada Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan bahwa penyerapan larutan kadmium oleh zeolit alam terbesar terjadi pada konsentrasi awal 30 mg/L dengan kadmium yang terserap sebesar 1,38 mg/g dan zeolit teraktivasi terjadi pada konsentrasi awal 50 mg/L dengan kadmium yang terserap sebesar 2,41 mg/g. Pada konsentrasi 10 hingga 30 mg/L, adsorpsi ion logam Cd(II) menggunakan zeolit alam mengalami peningkatan. Hal ini terjadi karena tersedianya gugus aktif dari zeolit alam untuk berikatan dengan ion logam Cd(II). Pada konsentrasi di atas 30 mg/L terjadi penurunan kapasitas adsorpsi. Hal ini terjadikarena pada konsentrasi yang lebih tinggi, jumlah ion logam dalam larutan tidak sebanding dengan jumlah partikel zeolit alam sehingga kapasitas adsorpsi pun menjadi menurun.



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi awal terhadap adsorpsi ion logam Cd(II)

Pada zeolit alam teraktivasi, diketahui bahwa kondisi optimum adsorpsi ion logam Cd(II) terjadi pada konsentrasi larutan awal adsorbat 50 mg/L. Pada konsentrasi rendah, situs aktif zeolit teraktivasi hanya terisi sedikit ion logam Cd(II) sehingga proses adsorpsi masih terus mengalami kenaikan hingga konsentrasi 50 mg/L. Pada konsentrasi di atas 50 mg/L, mengalami penurunan karena permukaan zeolit aktivasi sudah mencapai kesetimbangan atau jenuh.

Penentuan model kinetika adsorpsi dalam penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan waktu penyerapan dari 15, 30, 45, 60 dan 75 menit. Proses adsorpsi dilakukan pada pH 4 dalam suhu ruang dan kecepatan pengadukan 200 rpm dengan konsentrasi awal ion logam Cd(II) 50 mg/L. Model kinetika yang digunakan yaitu, model kinetika *Lagergren* (model pseudo orde satu) dan *Ho* (model pseudo dua). Model kinetika *Lagergren* ditentukan dengan membuat kurva antara $\ln(q_e - q_t)$ vs t sedangkan kinetika *Ho* ditentukan dengan membuat kurva antara t/q_t vs t . Dari hasil perhitungan diperoleh hasil seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan kinetika adsorpsi ion logam Cd(II)

Adsorben	Model pseudo orde satu			Model pseudo orde dua			
	R^2	K (menit ⁻¹)	q_e (mg/g)	R^2	q_e (mg/g)	h (mg/g.menit)	k (g/mg.menit)
Zeolit alam	0,08	0,01	1,12	0,99	1,6	0,195	0,104
Zeolit teraktivasi	0,37	0,02	0,18	0,98	2,4	0,198	0,026

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa kinetika adsorpsi ion logam Cd(II) dengan zeolit alam dan zeolit teraktivasi mengikuti model kinetika *Ho* (model pseudo orde dua). Hal ini dikarenakan pada model kinetika *Ho* mempunyai faktor korelasi (R^2) sebesar 0,99 lebih besar daripada model kinetika *Lagergren* yang hanya sebesar 0,080 untuk zeolit alam dan zeolit alam teraktivasi mempunyai faktor korelasi (R^2) sebesar 0,98 lebih besar daripada model kinetika *Lagergren* yang hanya sebesar 0,37 dengan konstanta laju adsorpsi ion Cd(II) dengan zeolit alam sebesar 0,104 dan 0,026 g/mg menit pada zeolit teraktivasi. Setelah diperoleh konsentrasi optimum masing-masing adsorben, maka kapasitas adsorpsi dari masing-masing adsorben dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan *Langmuir* atau persamaan *Freundlich*. Hasil perhitungan parameter adsorpsi *Langmuir* yang diperoleh disajikan pada Tabel 3.

Proses adsorpsi ion logam Cd(II) oleh zeolit alam dan zeolit teraktivasi mengikuti model isoterm *Langmuir*. Hal ini dikarenakan pada isoterm *Langmuir* mempunyai faktor korelasi (R^2) sebesar 0,97 lebih besar daripada faktor korelasi (R^2) *Freundlich* yang hanya sebesar 0,36 untuk zeolit alam dan pada zeolit alam teraktivasi mempunyai faktor korelasi (R^2) sebesar 0,95 lebih besar daripada faktor korelasi (R^2) *Freundlich* yang hanya sebesar 0,54.

Tabel 3. Parameter adsorpsi *Langmuir* dan *Freundlich*

Adsorben	Langmuir				Freundlich		
	R ²	b (mg/g)	K _L (L/mg)	Energi Adsorpsi (kJ/mol)	R ²	n _F	K _F (L/mg)
Zeolit alam	0,97	1,16	173032	30,08	0,36	5,37	0,77
Zeolit teraktivasi	0,95	2,01	114713	29,05	0,54	6,94	1,05

Berdasarkan perhitungan kapasitas adsorpsi maksimum pada permukaan zeolit alam sebesar 1,16 mg/g dan zeolit teraktivasi sebesar 2,01 mg/g. Nilai kapasitas adsorpsi menunjukkan bahwa 1 g zeolit alam dapat mengadsorpsi ion logam Cd(II) sebesar 1,16 mg dan 2,01 mg untuk zeolit teraktivasi. Proses adsorpsi yang terjadi merupakan adsorpsi secara kimia. Menurut Adamson (1997), adsorpsi kimia terjadi apabila energi adsorpsi lebih dari 20,92 kJ/mol.

Mekanisme penghilangan logam menggunakan zeolit termasuk reaksi pertukaran ion. Zeolit ini dapat digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan logam dalam larutan karena zeolit mempunyai muatan negatif akibat adanya perbedaan muatan antara Si⁴⁺ dengan Al³⁺. Muatan negatif ini muncul karena atom Al yang bervalensi 3 harus mengikat 4 atom oksigen yang lebih elektronegatif dalam kerangka zeolit. Dengan adanya muatan negatif ini, maka zeolit mampu mengikat kation dengan ikatan yang lemah seperti kation Na dan Ca. Karena lemahnya ikatan inilah, maka zeolit bersifat sebagai penukar kation yaitu kation Na atau Ca akan tergantikan posisinya dengan ion logam Cd(II). Adsorpsi kation logam berat terjadi pada permukaan dengan grup hidroksil pada zeolit dan kombinasi muatan positif dari kation logam dan muatan negatif pada permukaan zeolit.

Simpulan

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa aktivasi zeolit alam dengan larutan H₃PO₄ menghasilkan luas permukaan yang lebih besar dari zeolit yang tidak diaktivasi, peningkatan luas permukaan dari sebelum diaktivasi dan sesudah aktivasi sebesar 43,49%. Zeolit alam dan zeolit alam teraktivasi digunakan sebagai adsorben ion logam Cd(II) dengan waktu kontak 60 menit, pH optimum 5 dan konsentrasi optimum adsorbat pada adsorpsi ion logam Cd(II) menggunakan zeolit alam pada konsentrasi awal 30 mg/L dan ion logam Cd(II) yang terserap sebesar 1,38 mg/g dan zeolit teraktivasi pada konsentrasi awal 50 mg/L dan logam Cd(II) yang terserap sebesar 2,41 mg/g. Isoterm adsorpsi ion logam Cd(II) dengan zeolit alam dan zeolit teraktivasi lebih mengikuti model isoterm *Langmuir* dengan kapasitas adsorpsi 1,16 mg/g untuk zeolit alam dan 2,01 mg/g untuk zeolit teraktivasi sedangkan model kinetika adsorpsi ion logam Cd(II) dengan zeolit alam dan zeolit teraktivasi mengikuti kinetika pseudo orde dua *Ho*.

Daftar Pustaka

- Adamson, A.W. 1997. *Physical Chemistry of Surface*. New York: John Wiley & Sons
- Anggara, P.A., S. Wahyuni & A.T. Prasetya. 2013. Optimalisasi Zeolit Alam Wonosari dengan Proses Aktivasi secara Fisis dan Kimia. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 2(1): 73-77
- Anis, S. & Gusrizal. 2006. Pengaruh pH dan Penentuan Kapasitas Adsorpsi Logam Berat pada Biomassa Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). *Indonesian Journal of Chemistry*, 6(1): 56-60
- Bodner, G.M. & Pardue, H.L. 1989. *Chemistry an Experimental Science*. New York: John Wiley & Sons
- Emelda, L., Putri, S.M. & Ginting, S. 2013. Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi untuk Adsorpsi Logam Krom (Cr³⁺). *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 9(4): 166-172
- Herald, E., Hisyam S.W. & Sulistiyono. 2003. Characterization and Activation of Natural Zeolite from Ponorogo. *Indonesian Journal of Chemistry*, 3(2): 91-97
- Kundari, N.A., Susanto, A. & Prihatiningsih, M.A. 2010. Adsorpsi Fe dan Mn dalam Limbah Cair dengan Zeolit Alam, *Prosiding Seminar nasional VI SDM Teknologi nuklir* Yogyakarta, 18 November 2010
- Mier, M., Lopez, R., Gehr, B.E.J. & Alvares. 2001. Heavy Metal Removal with Mexican Clinoptilolite: Multi-Component Ionic Exchange. *Water Researchs*, 35: 373-378

Onen, V. & Tarlan-Yel, E. 2010. Performance of Natural Zeolite and Sepiolite in the Removal Cyanide And Copper-Complexed Cyanide ($[\text{Cu}(\text{CN})_3]^{2-}$). *Clays and Clay Minerals*, 58: 110-119

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.492/Menkes/Per/2010

Suherni. 2010. *Keracunan Timbal di Indonesia*. Masters of Environmental Science. Australia: Macquarie University