

A STUDY ON INTERACTION OF Cd(II) AND DIATOMACEOUS EARTH IN ADSORPTION PROCESS

Kajian Interaksi Cd(II) Dengan Adsorben Tanah Diatomit Pada Proses Adsorpsi

Nuryono, Suyanta

Chemistry Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Gadjah Mada University, Yogyakarta

Received 20 May 2004; Accepted 3 June 2004

ABSTRACT

In this research, interaction occurring in adsorption process between Cd(II) and active site of diatomaceous earth has been studied. The study was carried out by evaluating Cd(II) adsorption on diatomaceous earth at various pHs, either for the earths without treatment, those after being heated or those treated with sulfuric acid and hydrogen chloride. Adsorption was performed by mixing diatomaceous earth, without and with treatments, and Cd(II) solution for one hour at various pHs (2 – 7), and un-adsorbed metallic ion was analyzed by atomic absorption spectroscopy (AAS). The treatments of diatomaceous earth included heating at temperatures of 300, 500, and 900°C for four hours, treatments with acids (3, 8, and 12 M of H₂SO₄, and 3, 15, and 18 M of HCl solutions for two hours at 150-200°C). Results showed that the increasing of pH from 2.0 to 3.0 and from 6.0 to 7.0 inclined adsorption of Cd(II) from 13.2 to 23.3 mg/g and from 24.0 to 26.4 mg/g, respectively. At a pH range of 3.0 – 6.0 the adsorption slightly increase from 23.3 to 24.0 mg/g. Heating of diatomaceous earth higher than 500°C caused the adsorption capability to be independence of the pH of solution. On the other hand, treatments with acids (H₂SO₄ and HCl) caused adsorption capability increased significantly with the increase in pH from 3.0 to 6.0. Adsorption evaluation at the pH range investigated showed that adsorption of Cd(II) on diatomaceous earth may be through interaction between Cd²⁺ and functional groups of T-OH (T = Si/Al).

Keywords: adsorption, adsorbent, cadmium, diatomaceous earth.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya akan sumber daya alam berupa tanah diatomit [1]. Komponen utama tanah diatomit adalah silika amorf (55 - 70%) yang strukturnya mirip dengan silika kristal tetapi tidak terulang secara periodik [2]. Menurut sifatnya, tanah diatomit dikenal sebagai bahan alam yang memiliki sifat khusus seperti berpori kecil, massa jenis rendah, mempunyai daya serap air tinggi dan tidak mudah larut dalam asam [3]. Oleh karena itu, tanah diatomit sering dimanfaatkan untuk berbagai keperluan antara lain sebagai bahan penyaring (*filter*), pengisi (*filler*), isolasi, pendukung, katalis, dan adsorben [4]. Kajian pemanfaatan tanah diatomit sebagai adsorben untuk berbagai senyawa telah banyak dilakukan seperti Priatna et al [5] secara khusus telah mengkaji penggunaan tanah sebagai bahan adsorpsi zat warna *malachite green* dan untuk pemurnian air nira tebu.

Untuk meningkatkan efektivitas dan selektivitas, Mahdian [3] telah mencoba memodifikasi tanah diatomit yang telah diaktifkan dengan senyawa 2-merkaptobenzotiasol (MBT) untuk adsorpsi logam transisi Zn(II), Co(II), dan Ni(II), sedangkan Purwanto [6] untuk adsorpsi Hg(II). Selain dengan menambahkan situs aktif, perlakuan juga dilakukan dengan mengefektifkan gugus yang telah ada melalui perlakuan tertentu. Nuryono et al mengkaji pengaruh pemanasan [7] dan asam (HCl dan H₂SO₄) [8] terhadap kemampuan tanah dalam mengadsorpsi ion logam Cr(III) dan Cd(II). Hasil menunjukkan bahwa pemanasan sampai 500°C tidak mempengaruhi kemampuan tanah dalam mengadsorpsi logam yang dikaji, sedangkan pemanasan di atas 500°C menurunkan kemampuan karena diduga adanya pengurangan gugus silanol yang sangat berperan sebagai situs aktif.

Pengaruh perlakuan asam sangat bervariasi bergantung pada jenis asam dan ion logam yang diteliti. Terhadap adsorpsi Cd(II), perlakuan dengan

HCl (8 M) dapat meningkatkan kapasitas dari 23,0 mg/g menjadi 38,5 mg/g, sedangkan dengan H₂SO₄ (12 M) menurunkan kapasitas sampai 10,1 mg/g. Terhadap adsorpsi Cr(III), perlakuan dengan HCl (8 M) menurunkan kapasitas dari 30,6 mg/g menjadi 6,1 mg/g, sedangkan perlakuan dengan H₂SO₄ (3 M) kapasitas menurun menjadi 5,6 mg/g. Pengaruh perlakuan asam baik dengan HCl maupun dengan H₂SO₄ tidak secara signifikan mempengaruhi energi adsorpsi. Energi adsorpsi untuk Cd(II) berkisar antara 21,6 – 26,9 kJ/mol, sedangkan untuk adsorpsi Cr(III) berkisar antara 15,9 – 22,1 kJ/mol. Di samping pemanasan dan dengan asam, pengaruh perlakuan dengan natrium etilendiamintetraasetat (Na₂EDTA) terhadap Cr(III) [9] dan Cd(II) [10] juga telah dilaporkan. Hasil menunjukkan bahwa perlakuan dengan Na₂EDTA 0,01 M dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi Cr(III) dari 64,47 mg/g menjadi 94,10 mg/g dan meningkatkan adsorpsi Cd(II) dari 17,45 mg/g menjadi 21,79 mg/g. Krom dalam larutan air stabil dalam bentuk trivalen Cr(III) dan heksavalen Cr(VI). Spesies Cr(III) berubah bergantung pada pH larutan, yaitu Cr³⁺, CrOH²⁺, Cr(OH)₂⁺, Cr(OH)₃, dan Cr(OH)₄⁻ [11]. Spesies ini akan mempunyai kekuatan interaksi dengan situs aktif dari senyawa organik. Dengan asam humat [12] disimpulkan bahwa pada pH 3,2 – 4,3 teramati adanya interaksi antara Cr³⁺ dengan gugus karboksilat. Nuryono et al [13] melaporkan bahwa adsorpsi Cr(III) pada tanah diatomit meningkat secara perlahan-lahan pada kenaikan pH dari 2 ke 5 dan terjadi peningkatan tajam pada kenaikan pH dari 5,0 ke 6,0. Proses adsorpsi diperkirakan hasil interaksi antara Cr³⁺ dan Cr(OH)₂⁺ dengan situs Al-OH dan Si-OH.

Dalam artikel ini dilaporkan kajian untuk mengevaluasi interaksi yang terjadi antara Cd(II) dengan situs aktif yang terdapat dalam tanah diatomit pada proses adsorpsi. Di samping itu, pengaruh perlakuan pada tanah diatomit terhadap jenis interaksi juga dievaluasi.

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Bahan berupa larutan standar Cd(II) diperoleh dari melarutkan masing-masing garam CdI₂ (Merck). Larutan HCl dan H₂SO₄ dibuat dengan mengencerkan larutan HCl 37% dan H₂SO₄ 98% massa (Merck). Tanah diatomit dari daerah Sangiran, Sragen, Jawa Tengah dipersiapkan dengan menggiling dan mengayaknya sehingga butiran yang dihasilkan lolos pada ukuran ayakan 250 mesh.

Peralatan

Peralatan yang digunakan antara lain alat pembuat adsorben, yaitu pemanas yang dilengkapi dengan pengaduk (*stirring hotplate*), lumpang agat, dan pengayak ukuran 250 mesh. Peralatan untuk adsorpsi berupa alat sentrifus (Model 228 maksimum 3400 rpm, Fischer Scientific, USA), Untuk analisis digunakan peralatan berupa spektrofotometer serapan atom (SSA) (Perkin Elmer 3110, USA).

Prosedur Kerja

Pemanasan Tanah Diatomit

Perlakuan ini dikerjakan dengan menggunakan prosedur seperti yang dilakukan oleh Nuryono et al [7]. Tanah diatomit digerus dan diayak dengan pengayak ukuran 250 mesh. Hasil pengayakan selanjutnya dibagi menjadi empat bagian yang kemudian diperlakukan secara berbeda, yaitu 1 bagian tanpa pemanasan, 3 bagian lainnya dipanaskan masing-masing pada 120°C, 300°C, 500°C, dan 900°C selama 4 jam.

Perlakuan Tanah Diatomit dengan Asam

Perlakuan tanah dikerjakan dengan menggunakan prosedur seperti yang lakukan oleh Nuryono dkk [8]. Tanah yang lolos pada pengayak ukuran 250 mesh seberat 2 g dicampur dengan larutan asam volume 50 mL. Campuran dipanaskan sambil diaduk selama 1 jam (dihitung mulai waktu mendidih) dengan temperatur berkisar 150 – 250°C bergantung pada konsentrasi asam. Setelah itu campuran didinginkan, disaring dengan kertas saring Whatman 42 dan dicuci dengan akuades sampai pH filtrat 6-7. Residu dikeringkan pada temperatur 70°C selama 5 jam dan kemudian digunakan sebagai adsorben. Perlakuan di atas diulangi untuk jenis dan konsentrasi asam yang berbeda.

Adsorpsi Cd(II)

Seberat 0,05 g adsorben tanah diatomit ditambah 50 mL larutan Cd(II) dengan konsentrasi 50 ppm pada pH bervariasi (2,0 – 7,0). Campuran diaduk dengan pengaduk magnet selama 1 jam dan setelah itu disentrifus. Ion Cd(II) yang tidak teradsorpsi ditentukan dengan menganalisis supernatan menggunakan SSA. Jumlah logam teradsorpsi dihitung selisih jumlah logam mula-mula dengan logam yang tidak teradsorpsi. Pekerjaan ini diulangi untuk tanah diatomit yang telah mengalami berbagai perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

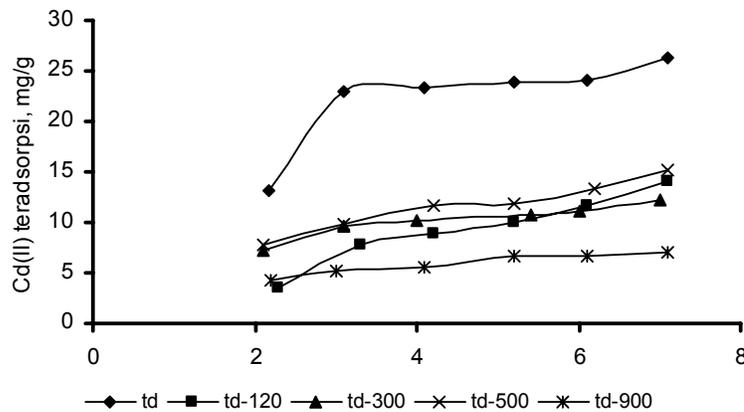
Adsorpsi Cd(II) pada Tanah Diatomit setelah Pemanasan

Kajian interaksi Cd(II) dengan situs aktif dalam tanah diatomit dilakukan dengan mengevaluasi data pengamatan pengaruh pH larutan terhadap jumlah ion Cd(II) yang teradsorpsi. Keberadaan spesies situs aktif dalam tanah diatomit, terutama Si-OH dan Al-OH, dan spesies Cd(II) sangat bergantung pada kondisi pH larutan. Oleh karena itu, dari data adsorpsi pada pH tertentu, interaksi yang berperan dalam adsorpsi dapat diprediksikan. Kurva hubungan antara Cd(II) teradsorpsi dengan pH larutan pada adsorben tanah diatomit setelah pemanasan pada berbagai temperatur disajikan dalam Gambar 1.

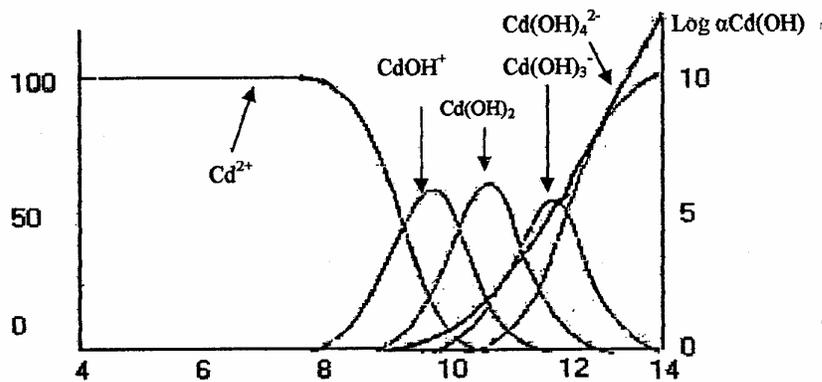
Dari Gambar 1 terlihat bahwa untuk adsorben tanah diatomit tanpa perlakuan (td) adsorpsi Cd(II)

meningkat pada kenaikan pH dari 2,0 ke 3,0 sedangkan pada kenaikan dari 3,0 sampai 6,0 adsorpsi cenderung sedikit meningkat dan pada kenaikan pH dari 6,0 ke 7,0 terjadi peningkatan cukup tajam. Fenomena ini dapat dijelaskan melalui pendekatan keberadaan situs aktif dalam tanah diatomit dan spesies Cd(II) yang ada dalam larutan.

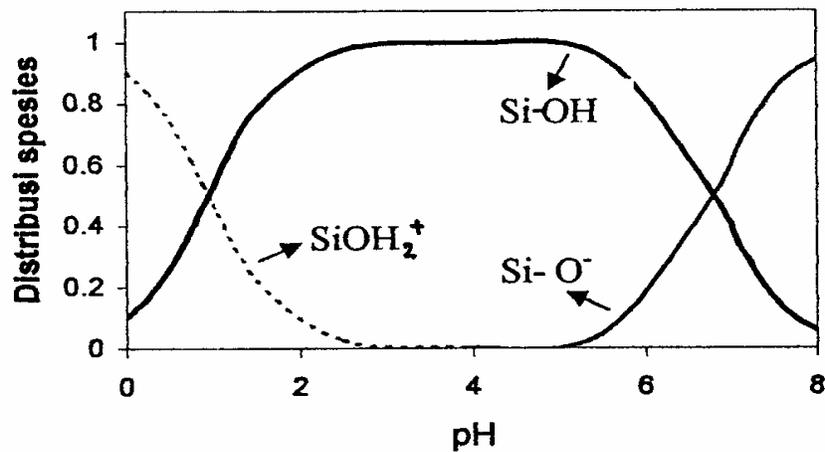
Spesies Cd(II) yang ada dapat dilihat dari korelasi antara distribusi spesies Cd(II) dengan pH larutan (Gambar 2) [14], yang menunjukkan bahwa pada pH di bawah 7,0 semua Cd(II) berada sebagai ion Cd^{2+} . Dengan demikian, bila hanya didasarkan pada besarnya muatan spesies Cd(II) yang ada, peningkatan pH berakibat pada peningkatan adsorpsi sebanding dengan penurunan kompetisi antara Cd^{2+} dengan H^+ . Hal ini berbeda dengan hasil eksperimen, yang menunjukkan bahwa ada tiga pola peningkatan adsorpsi pada kenaikan pH dari 2,0 sampai 7,0.



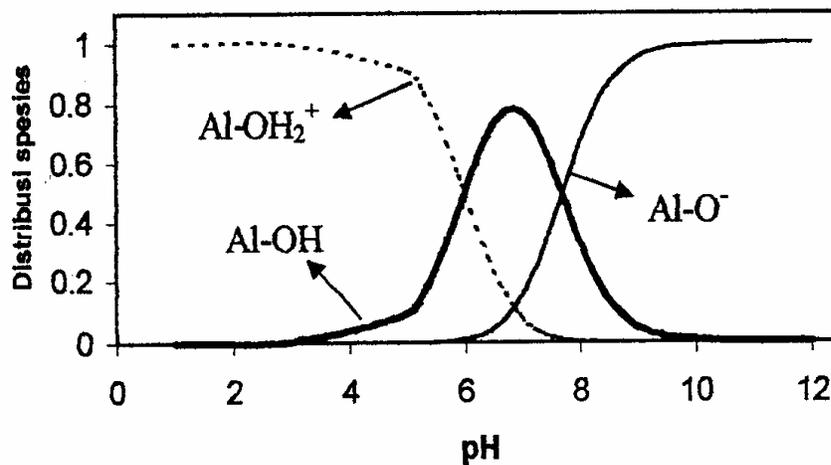
Gambar 1 Hubungan antara Cd(II) teradsorpsi dengan pH larutan pada tanah diatomit setelah mengalami pemanasan pada berbagai temperatur (Keterangan: td = tanah diatomit, td-120 = tanah diatomit setelah pemanasan 120°C, dan seterusnya)



Gambar 2 Hubungan antara distribusi spesies Cd(II) pada berbagai pH larutan

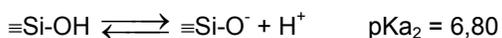
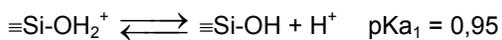


Gambar 3 Hubungan antara distribusi spesies silika gel pada berbagai pH larutan



Gambar 4 Hubungan antara distribusi spesies alumina pada berbagai pH larutan

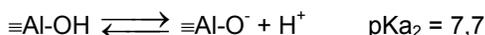
Perbedaan pola peningkatan adsorpsi ini nampak dipengaruhi oleh keberadaan situs aktif yang ada dalam tanah diatomit. Komponen utama tanah diatomit adalah silika amorf dan alumina [6] yang masing-masing mempunyai gugus silanol (Si-OH) dan aluminol (Al-OH) [7]. Pengaruh pH terhadap distribusi situs pada silika amorf dilaporkan oleh Zachara et al [15] (Gambar 3). Gambar itu didasarkan pada besarnya nilai keasamaan K_{a1} dari silanol terprotonasi dan K_{a2} dari silanol seperti reaksi berikut ini.



Dari Gambar 3 terlihat bahwa pada kisaran pH 2,0 sampai 3,0 distribusi spesies Si-OH meningkat, Si-OH₂⁺ menurun, dan dari pH 3,0 – 5,0

distribusi Si-OH konstan. Peningkatan jumlah situs Si-OH berakibat pada peningkatan kemampuan berinteraksi dengan ion logam dan hal ini sesuai dengan hasil eksperimen. Pergerakan pH dari 3,0 sampai 5,0 konsentrasi Si-OH tidak berubah dan memunculkan spesies Si-O⁻ pada pH di atas 5,0. Hal ini mendukung hasil eksperimen yang menunjukkan tidak terjadinya peningkatan adsorpsi yang signifikan pada kenaikan pH sampai 6,0 dan meningkat tajam pada kenaikan pH dari 6,0 ke 7,0.

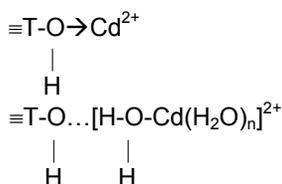
Faktor lain yang memberi kontribusi terhadap peningkatan adsorpsi pada kenaikan pH larutan adalah keberadaan spesies situs Al-OH pada perubahan pH. Seperti gugus silanol pada silika gel, gugus aluminol juga mengalami protonasi dan deprotonasi sebagaimana disajikan dalam reaksi berikut ini [16].



Distribusi spesies Al-OH pada berbagai pH disajikan dalam Gambar 4. Dari Gambar 4 itu terlihat bahwa terjadi peningkatan spesies Al-OH secara perlahan-lahan pada kenaikan pH dari 3,0 ke 6,0 dan secara tajam dari 6,0 sampai 7,0. Hal ini sesuai dengan hasil eksperimen yang menunjukkan bahwa terjadi peningkatan sedikit pada kenaikan pH dari 3,0 sampai 6,0 dan peningkatan yang tajam dari 6,0 ke 7,0.

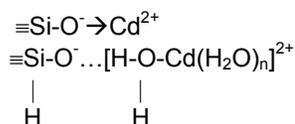
Dari uraian di atas dapat diusulkan beberapa model interaksi yang dominan antara Cd(II) dengan adsorben tanah diatomit adalah:

1. Interaksi antara situs T-OH (T = Si/Al) dengan ion Cd²⁺ membentuk ikatan kovalen koordinasi atau dengan Cd²⁺ terhidrat melalui ikatan hidrogen.

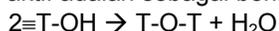


dengan T adalah Si atau Al.

2. Interaksi antara situs Si-O⁻ dengan ion Cd²⁺ membentuk ikatan kovalen koordinasi atau dengan Cd²⁺ terhidrat melalui ikatan hidrogen.



Gambar 1 juga menunjukkan bahwa perlakuan pemanasan pada tanah diatomit terjadi sedikit perubahan pola hubungan antara Cd(II) teradsorpsi dengan pH larutan. Pada kenaikan pH dari 2,0 sampai 7,0, adsorpsi meningkat secara konstan dan terjadi penurunan adsorpsi setelah tanah dipanaskan. Semakin tinggi temperatur pemanasan makin besar penurunan adsorpsinya. Terjadinya perbedaan kemampuan adsorpsi akibat pemanasan diduga disebabkan terjadinya penurunan situs aktif adsorben [7]. Pemanasan dapat mengakibatkan terjadinya penurunan gugus aktif melalui kondensasi dan menyebabkan terjadinya penurunan adsorpsi. Reaksi kondensasi situs aktif adalah sebagai berikut:

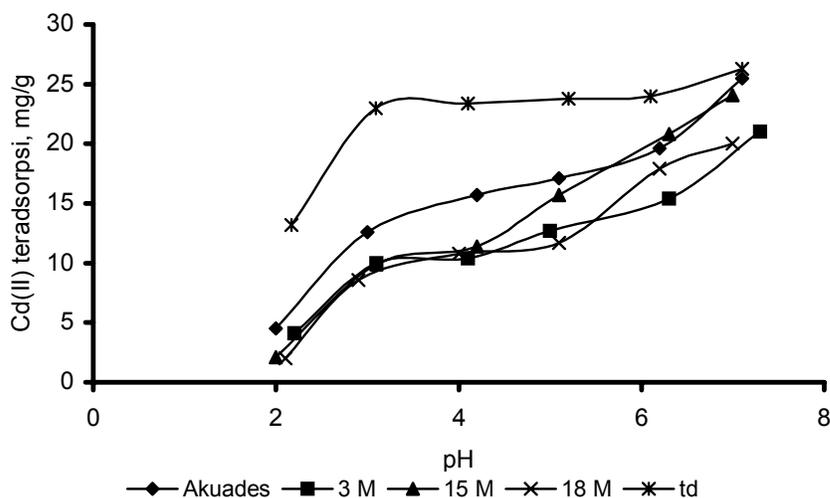


Interaksi Cd(II) diduga terjadi dengan atom O pada situs siloksan Si-O-Si yang kurang efektif menarik ion Cd²⁺ karena pasangan elektron pada atom O dapat terlibat pada pembentukan ikatan pi parsial dengan atom Si. Pada reaksi di atas nampak bahwa tidak ada keterlibatan proton, H⁺ sehingga pengaruh pH terhadap adsorpsi tidak dominan. Peningkatan adsorpsi pada kenaikan pH dari 2,0 sampai 7,0 disebabkan akibat berkurangnya kompetisi Cd(II) dengan H⁺ dalam berinteraksi dengan atom O tersebut.

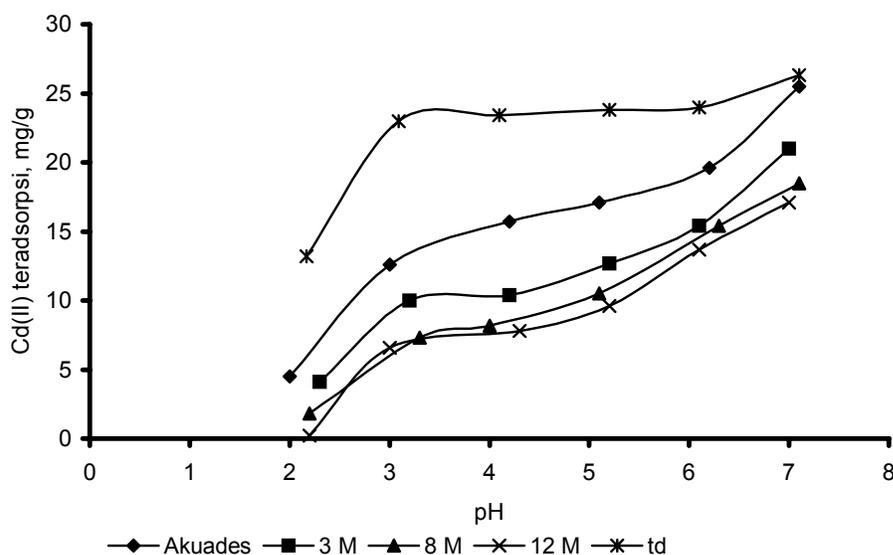
Adsorpsi Cd(II) pada Tanah Diatomit setelah Perlakuan dengan Asam

Di samping pemanasan, tanah diatomit diperlakukan pula dengan asam sulfat dan asam klorida. Semula perlakuan ini diharapkan mampu meningkatkan kemampuan adsorpsi karena perlakuan ini dapat melarutkan logam yang diduga menghalangi ion Cd(II) teradsorpsi. Fakta menunjukkan bahwa perlakuan dengan asam justru menurunkan kemampuan adsorpsi terhadap Cd(II) dan Cr(III) [8]. Hal ini cukup beralasan karena perlakuan dapat mengakibatkan dealuminasi yang mengurangi gugus aluminol dan merusak pori-pori tanah [17]. Seberapa jauh pengaruh perlakuan dengan asam terhadap penurunan situs T-OH dievaluasi melalui kajian pengaruh pH terhadap adsorpsi Cd(II). Perlakuan dengan asam sulfat, kurva hubungan antara Cd(II) adsorpsi pada adsorben tanah diatomit dengan pH larutan disajikan dalam Gambar 5.

Dari Gambar 5 terlihat bahwa secara umum perlakuan dengan asam sulfat mengakibatkan pH larutan kurang berpengaruh pada adsorpsi Cd(II) dalam adsorben, terutama pada kisaran pH 2,0 – 5,0 dan untuk semua konsentrasi asam terjadinya penurunan kemampuan adsorpsi. Hal ini cukup beralasan karena asam sulfat dapat mengakibatkan dealuminasi dan penurunan kekristalan tanah [17]. Dealuminasi berakibat pada berkurangnya jumlah situs aktif dan penurunan kekristalan menyebabkan penurunan porositas tanah. Pada konsentrasi tinggi (18 M), kerusakan struktur akan diikuti oleh pemutusan gugus siloksan (T-O-T) menjadi silanol (T-OH) yang merupakan gugus aktif untuk berinteraksi dengan ion logam. Dengan tingginya jumlah gugus silanol maka berakibat pada peningkatan kemampuan tanah untuk mengadsorpsi ion logam. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilaporkan terdahulu [8] yang menunjukkan bahwa perlakuan dengan H₂SO₄ 18 M meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap Cd(II) sekitar 60%.



Gambar 5 Hubungan antara Cd(II) teradsorpsi pada tanah diatomit setelah perlakuan dengan H₂SO₄ pada berbagai konsentrasi dengan pH larutan



Gambar 6 Hubungan antara Cd(II) teradsorpsi pada tanah diatomit setelah perlakuan dengan HCl pada berbagai konsentrasi dengan pH larutan

Hal yang sama juga terjadi untuk adsorpsi Cd(II) pada adsorben tanah diatomit yang diperlakukan dengan HCl (Gambar 6). Sebagaimana H₂SO₄, perlakuan dengan HCl dapat mengakibatkan terjadinya dealuminasi sehingga pH menjadi kurang berpengaruh pada adsorpsi Cd(II). Perlakuan dengan 12 M HCl dapat melarutkan 82% kandungan Al dan 29% Si yang ada dalam tanah. Berkurangnya kedua unsur ini berakibat rendahnya situs aktif yang keberadaannya bergantung pada pH. Perlakuan

dengan HCl 3 M meningkatkan adsorpsi pada kisaran pH 2,0 sampai 5,0. Peningkatan ini diduga akibat Al yang terdealuminasi berasal dari luar kerangka tanah sehingga hilangnya Al ini justru dapat mengefektifkan situs aktif yang ada. Hasil ini bertentangan dengan penelitian yang terdahulu [8] yang menunjukkan bahwa perlakuan dengan HCl 3 M menurunkan kapasitas adsorpsi sekitar 60% dan alasan perbedaannya ini belum diketahui sampai saat ini.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa peningkatan pH larutan pada kisaran 2,0 sampai 7,0 dapat meningkatkan kemampuan tanah diatomit dalam mengadsorpsi Cd(II) dengan mengikuti tiga pola peningkatan, yaitu dari pH 2,0 ke 3,0 adsorpsi meningkat cukup tajam, sedangkan dari 3,0 ke 6,0 meningkat secara perlahan-lahan dan dari 6,0 ke 7,0 meningkat tajam lagi. Pemanasan dan perlakuan dengan asam (H_2SO_4 dan HCl) terhadap tanah diatomit dapat menurunkan kemampuan adsorpsi tanah dan menurunkan peningkatan adsorpsi pada kenaikan pH larutan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Hutabarat, S. and Evans, SM., 1986, *Pengantar Oseanografi*, UI Press, Jakarta
2. Kaim, W., and Schwederski, B., 1994, *Bioinorganic Chemistry: Inorganic Elements in the Chemistry of Life*, John Wiley and Sons Inc., New York.
3. Mahdian, 1997, *Studi tentang Adsorpsi Desorpsi Ni(II), Co(II), dan Mn(II) dalam Medium Air pada Adsorben Tanah Diatomeae Sangiran Sragen, Jawa Tengah*, Tesis S-2, Pascasarjana, UGM. Yogyakarta
4. Barron, J.A., 1987, *Diatomite: Enviromental and Geologic Factors Affecting Its Distribution*, dalam J.R. Hein (edt.), *Siliceous Sedi- mentaJy Rock-Hosted Ores and Petroleum*, Van Nostrand Reinhold, New York.
5. Priatna, K., Nugraha, Y., and Rukiah, 1990, *Bulletin PPTM*, 12, 7-22
6. Purwanto A., 1998, *Impregnasi 2-Merkaptobenzotiazol pada Tanah iatomeae dan Pemanfaatannya sebagai Adsorben Raksa(II) dalam Medium Air*, Tesis S-2, Pascasarjana, UGM. Yogyakarta.
7. Nuryono, E.S. Kunarti, and Narsito, 2000, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, III, 2, 41-51.
8. Nuryono, Suyanta, dan Narsito, 2002, *Jurnal MIPA*, 25, 40-49.
9. Nuryono, 2002, *Berkala Ilmiah MIPA*, 3(XII), K10-K24.
10. Nuryono, 2002, *Kajian Adsorpsi Cd(II) Pada Tanah Diatomit Hasil Perlakuan dengan Natrium Etilendiamintetraasetat (Na₂EDTA)*, Seminar Nasional MIPA FMIPA UNY, 26 Oktober 2002 di Yogyakarta.
11. Sperling, M., Xu, SX., and Welz, B., 1992, *Anal. Chem.*, 64, 3101.
12. Fukushima, M., Nakayasu, K., Tanaka, S., and Nakamura, H., 1995, *Anal. Chim. Acta*, 317, 195-206.
13. Nuryono, Purwanti, R., and Suyanta, 2003, *Kajian Pengaruh pH terhadap Adsorpsi Cr(III) pada Adsorben Tanah Diatomit*, Seminar Nasional Kimia Jurusan Kimia FMIPA UNNES, 28 September 2003 di Semarang.
14. Tremilton, B., 1993, *Electrochimie Analitique et Reactions en Solution*, Masson, Paris.
15. Zachara, MJ., Aisworth, CC., Cowan, EC., and Schmidt, LR., 1990, *J. Envir. Sci. Tech.*, 24, 118-126
16. Morel, FMM., and Hering, JG., 1993, *Principles and Applications of Aquatic Chemistry*, John Wiley & Sons, New York.
17. Nuryono and Suyanta, 2002, *Pengaruh Perlakuan Tanah Diatomit dengan HCl dan H₂SO₄ Terhadap Pelarutan Na, Ca, Mg, Fe, Si, dan Al*, Proseding Seminar Nasional Kimia XI, Jurusan Kimia FMIPA UGM, Yogyakarta