



INTERKALASI BENZALKONIUM KLORIDA KE DALAM BENTONIT TERAKTIVASI ASAM SULFAT SEBAGAI ADSORBEN Cr(VI)

Yulianti*), Agung Tri Prasetya dan Woro Sumarni

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang

Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Desember 2016
Disetujui Januari 2017
Dipublikasikan Mei 2017

Kata Kunci:
Adsorpsi
bentonit
Cr(VI)
interkalasi

Abstrak

Telah dilakukan penelitian mengenai interkalasi surfaktan ke dalam lempung bentonit teraktivasi asam dan aplikasinya sebagai adsorben anion Cr(VI). Asam yang digunakan untuk aktivasi adalah asam sulfat 3 M dan surfaktan untuk interkalasi adalah benzalkonium klorida 1% (v/v). Hasil penelitian menunjukkan bahwa interkalasi surfaktan ke dalam antar lapis lempung bentonit menghasilkan peningkatan *d-spacing* dari 4,5532 menjadi 5,1702 Å dan munculnya serapan baru pada bilangan gelombang 2927,72 dan 2854,91 cm⁻¹ yang menunjukkan vibrasi simetrik dan asimetrik dari C-H pada metilen (-CH₂) dan C-H aromatik pada bilangan gelombang 1459,49 cm⁻¹, dan peningkatan kapasitas adsorpsi dari 0,5032 mg/g (B0) dan 1,2251 mg/g (BA) menjadi 20,1758 mg/g. Kajian terhadap adsorben BA-BKC untuk adsorpsi kation Cr(III) dan anion Cr(VI) menunjukkan bahwa BA-BKC lebih optimal untuk adsorpsi anion Cr(VI), sedangkan BA untuk adsorpsi kation Cr(III).

Abstract

This research was conducted to observe the surfactant intercalation into acid-activated bentonite clay. This clay was applied as adsorbent for Cr(VI). The acid used as an activation was 3 M sulphuric acid and the surfactant for intercalation was 1% benzalkonium chloride. It was found that the intercalation of bentonite clay with surfactant increased the *d-spacing* bentonite clay of 4.5532 to 5.1702 Å and the emergence of new absorption at wave number 2927.72 and 2891.91 cm⁻¹ which indicates the symmetric and asymmetric vibration of CH in methylene (-CH₂) and aromatic CH stretching vibration at 1459.49 cm⁻¹, and increase the adsorption capacity of 0.5032 mg/g (B0) and 1.2251 mg/g (BA) to 20.1758 mg/g. The study on the adsorbent BA-BKC for adsorption cation Cr (III) and anion Cr (VI) indicates that BA-BKC more optimal for adsorption of Cr(VI) anionic, while BA for adsorption of Cr(III) cationic.

Pendahuluan

Lempung bentonit merupakan bahan alam yang keberadaannya cukup berlimpah hampir di seluruh wilayah Indonesia namun pemanfaatannya masih perlu dikembangkan secara berkelanjutan. Lempung bentonit memiliki sifat mudah mengembang (*swelling*) dan mempunyai kation-kation yang mudah dipertukarkan serta luas permukaan yang cukup besar sehingga cocok dimanfaatkan sebagai adsorben (Suarya & Simpen; 2009). Namun, lempung tanpa dimodifikasi terlebih dahulu apabila diaplikasikan sebagai adsorben memberikan hasil yang kurang maksimal. Hal ini disebabkan oleh sifatnya yang mudah menyerap air, sehingga kurang stabil jika digunakan sebagai bahan penjerap. Selain itu, pori-pori yang dimilikinya sering tidak seragam (Wijaya, *et al.*; 2003). Kelemahan tersebut dapat diatasi melalui proses aktivasi menggunakan asam sehingga diperoleh lempung dengan volume pori dan luas permukaan yang lebih besar yang mengakibatkan kemampuan adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan sebelum diaktivasi (Bhattacharyya & Gupta; 2007).

Modifikasi lempung juga dapat dilakukan dengan cara menyisipi bahan lain ke dalam antar lapis lempung dengan metode interkalasi (Zohra, *et al.*; 2008). Interkalasi merupakan suatu proses penyisipan spesies kimia secara reversibel ke dalam antarlapis suatu struktur yang mudah mengembang tanpa merusak strukturnya. Interkalasi didasari oleh pertukaran kation yang terdapat pada antarlapis lempung seperti Na^+ , K^+ , dan Ca^{2+} . Interkalasi ke dalam struktur lempung ini mengakibatkan peningkatan luas permukaan dan *d-spacing* (jarak antar lapis) yang berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsinya. Adanya interkalasi surfaktan lempung yang mengisi ruang antar lapisan lempung akan mengakibatkan perubahan mendasar dari struktur lempung yang sebelumnya bersifat suka air (hidrofilik) menjadi tidak suka air (hidrofobik) pada permukaannya dan jarak antar lapisan lempung akan semakin besar (Widihati; 2009). Selain itu, modifikasi dengan surfaktan kationik juga dapat mengubah muatan negatif pada permukaan lempung bentonit menjadi bermuatan positif sehingga dapat mengikat polutan anion.

Motlagh *et al.* (2011) melakukan aktivasi lempung bentonit menggunakan asam sulfat. Perlakuan aktivasi menggunakan larutan asam dapat melarutkan pengotor pada material sehingga mulut pori menjadi lebih terbuka, akibatnya luas permukaan spesifik porinya

meningkat. Sedangkan Luo, *et al.* (2015) memodifikasi lempung dengan menginterkalasi surfaktan benziloktadesil-dimetilammonium klorida. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa lempung terinterkalasi surfaktan memiliki *d-spacing* yang lebih besar daripada yang tidak diinterkalasi. Lempung terinterkalasi juga mempunyai kemampuan adsorpsi yang lebih tinggi setelah diaplikasikan untuk adsorpsi polutan anion, salah satunya yaitu anion Cr(VI) .

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis melakukan penelitian mengenai metode interkalasi surfaktan benzalkonium klorida ke dalam struktur lempung bentonit yang telah teraktivasi asam sulfat 3 M dan uji adsorpsinya terhadap anion Cr(VI) dalam larutan. Kajian yang dilakukan meliputi karakterisasi adsorben dan optimasi adsorben pada variasi pH, waktu kontak, dan konsentrasi Cr(VI) , serta membandingkan kemampuan adsorben dalam menyerap kation logam Cr(III) dan anion logam Cr(VI) pada kondisi optimum.

Metode Penelitian

Alat yang diperlukan meliputi peralatan gelas dan peralatan pendukung lainnya. Adapun alat yang digunakan dalam analisis meliputi AAS model *AAAnalyst 900* buatan *Perkin-Elmer*, FT-IR *Spectrophotometer* model *Frontier* buatan *Perkin-Elmer*, dan XRD buatan *Shimadzu*. Bahan yang digunakan lempung bentonit dari *CV Indrasari*, benzalkonium klorida (BKC) 80% dari *PT. Brataco*, K_2CrO_4 , $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, HNO_3 , H_2SO_4 , NaOH , AgNO_3 , BaCl_2 dengan *grade pro analyst* buatan *Merck* dan aquades.

Lempung bentonit yang sudah bersih diayak dengan ayakan berukuran 100 *mesh* (B0). Sebanyak 200 g B0 dimasukkan ke dalam 1000 mL larutan H_2SO_4 3 M sambil diaduk dengan pengaduk magnet. Aktivasi dilakukan selama 2 jam pada suhu 80°C, kemudian disaring dan dicuci dengan aquades hingga bebas ion sulfat (uji negatif terhadap BaCl_2), dikeringkan dalam oven pada suhu 110-120°C selama 5 jam. Selanjutnya lempung tersebut digerus, diayak menggunakan ayakan ukuran 100 *mesh* (BA) (Motlagh, *et al.*; 2011).

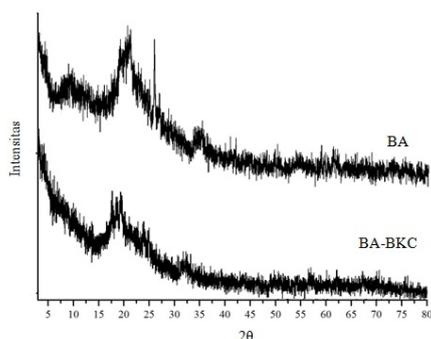
Sebanyak 100 g BA dilarutkan ke dalam 1000 mL aquades, diaduk dengan pengaduk magnet selama 5 jam untuk membuat suspensi lempung bentonit. Kemudian ke dalamnya ditambahkan surfaktan benzalkonium klorida 1% (v/v) dan diaduk selama 24 jam. Kemudian disaring dan dicuci dengan aquades hingga

bebas dari ion klorida (uji negatif terhadap AgNO_3) dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110-120°C selama 5 jam. Selanjutnya lempung tersebut digerus, diayak menggunakan ayakan ukuran 100 mesh (BA-BKC) (Suarya & Simpen; 2009). Karakterisasi adsorben BA dan BA-BKC dilakukan menggunakan XRD untuk menentukan perubahan *d-spacing* dan FT-IR untuk menentukan gugus fungsi hasil interkalasi.

Aplikasi hasil penelitian ini yaitu digunakan sebagai adsorben anion Cr(VI). Dicari pH larutan, waktu kontak, dan konsentrasi Cr(VI) yang dapat memberikan kapasitas adsorpsi optimum berdasarkan jumlah adsorbat yang dapat diserap yang dianalisis dengan spektrofotometer serapan atom. Dilakukan pula kajian terhadap adsorben BA dan BA-BKC untuk adsorpsi kation Cr(III) dan anion Cr(VI).

Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi dengan difraksi sinar-X (XRD) dilakukan untuk menentukan besarnya pergeseran jarak antar lapis (*d-spacing*) silikat bentonit. Jika terjadi interkalasi maka akan terlihat pergeseran jarak antar lapisnya ditandai dengan perubahan *d-spacing*. Jika jarak antar lapisnya meningkat maka luas permukaannya juga akan meningkat (Widihati; 2009). Difraktogram dan hasil pengukuran *d-spacing* berdasarkan difraktogram XRD untuk BA dan BA-BKC disajikan pada Gambar 1 dan Tabel 1.



Gambar 1. Difraktogram adsorben bentonit BA dan BA-BKC

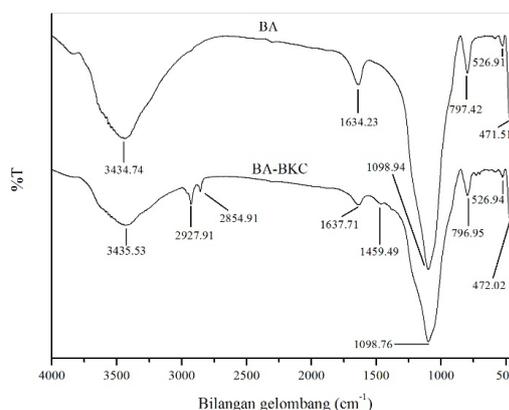
Tabel 1. Data *d-spacing* bentonit

Adsorben	2θ (°)	<i>d</i> (Å)
BA	19,48	4,5532
BA-BKC	17,13	5,1702

Dari Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai *d-spacing* tidak mengalami perubahan yang signifikan, BA-BKC hanya memiliki *d-spacing* yang sedikit lebih besar dari BA. Hal ini kemungkinan karena belum optimalnya konsentrasi BKC yang ditambahkan selama proses interkalasi.

Berdasarkan penelitian Luo, *et al.* (2015) dilaporkan bahwa semakin tinggi konsentrasi surfaktan yang digunakan maka jarak *d-spacing organoclay* akan semakin besar. Meskipun demikian, dari difraktogram dan peak list XRD dapat dinyatakan bahwa surfaktan benzalkonium klorida telah berhasil terinterkalasi ke dalam interlayer bentonit yang ditandai dengan pergeseran sudut 2θ ke arah yang lebih kecil dan terjadi peningkatan jarak antar lapis (*d-spacing*) sebesar 0,6170 Å.

Analisis struktur BA dan BA-BKC dilakukan menggunakan spektrofotometer inframerah. Analisis ini dilakukan untuk mengidentifikasi adanya gugus fungsi yang berasal dari surfaktan benzalkonium klorida yang terdapat dalam struktur bentonit. Hasil analisis FT-IR adsorben bentonit disajikan pada Gambar 2 dan interpretasinya pada Tabel 2.



Gambar 2. Spektra IR bentonit teraktivasi (BA) dan bentonit teraktivasi dan terinterkalasi (BA-BKC)

Tabel 2. Interpretasi spektra IR sebelum dan sesudah interkalasi

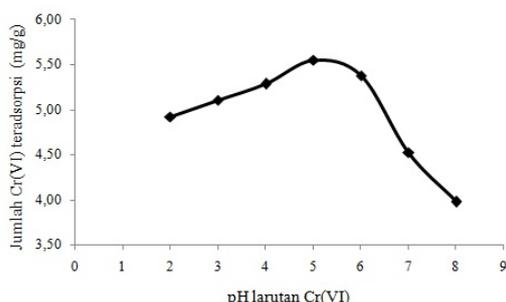
BA (cm ⁻¹)	BA-BKC (cm ⁻¹)	Intensitas	Gugus fungsi
3434,74	3435,53	Stretching	O-H
-	2927,72	Stretching	-CH ₂
-	2854,91	Stretching	-CH ₂
1634,23	1637,71	Bending	H-O-H
-	1459,49	Bending	C-H
1098,94	1098,76	Stretching	Si-O-Si, Si-O-Al
797,42	796,95	Bending	Si-OH
526,91	526,94	Bending	Al-O
471,51	472,02	Bending	Si-O

Interkalasi benzalkonium klorida menyebabkan munculnya serapan baru pada bilangan gelombang 2927,72 dan 2854,91 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya vibrasi simetrik dan asimetrik dari C-H pada metilen (-CH₂) dan vibrasi stretching C-H aromatik pada bilangan gelombang 1459,49 cm⁻¹.

Modifikasi bentonit teraktivasi surfaktan benzalkonium klorida tidak memberikan

pengaruh yang signifikan. Bentonit yang dimodifikasi dengan benzalkonium klorida mempunyai karakteristik XRD dan spektra inframerah yang mirip dengan bentonit yang tidak dimodifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa interkalasi surfaktan ke dalam interlayer bentonit tidak mengubah struktur asli bentonit.

Penentuan pH optimum dilakukan untuk mengetahui pH interaksi dimana adsorben menyerap logam berat secara optimal. Pemilihan nilai pH ini didasarkan pada distribusi Cr(VI) dalam berbagai pH. Menurut diagram spesiasi Cr(VI) terhadap fungsi pH, spesies Cr(VI) dalam larutan yang utama adalah HCrO_4^- (bikromat) dan CrO_4^{2-} (kromat). Pada pH dari 2 hingga 5, Cr(VI) sebagian besar membentuk anion HCrO_4^- dan pH diatas 8 membentuk CrO_4^{2-} . Sedangkan menurut Ramos, *et al.* (2008), pada pH 6 fraksi molar dari spesies Cr(VI) adalah 74% sebagai HCrO_4^- dan 26% sebagai CrO_4^{2-} . Sebaliknya pada pH 7, 26% sebagai HCrO_4^- dan 74% sebagai CrO_4^{2-} . Pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi Cr(VI) oleh BA-BKC disajikan pada Gambar 3.

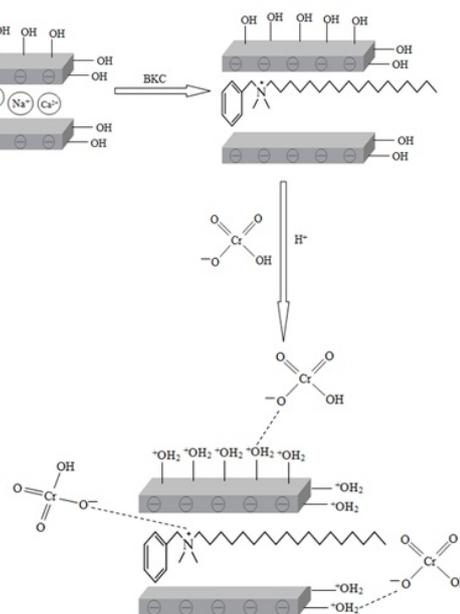


Gambar 3. Hubungan pH dengan jumlah Cr(VI) teradsorpsi

Pada Gambar 3 menunjukkan kapasitas adsorpsi ion logam Cr(VI) dari pH rendah semakin meningkat dan diperoleh hasil penyerapan optimum pada pH 5 sebesar 94,18% dengan kapasitas adsorpsi 5,5456 mg/g. Pada pH rendah 2-5, permukaan adsorben menjadi bermuatan positif karena terprotonasi, sehingga terjadi interaksi elektrostatis antara muatan positif pada permukaan adsorben dengan muatan negatif HCrO_4^- , maupun interaksi antara kation benzalkonium dengan HCrO_4^- dalam daerah antar lapis bentonit. Oleh karena itu, jumlah Cr(VI) teradsorpsi oleh BA-BKC lebih tinggi pada pH rendah. Interaksi antara anion HCrO_4^- dengan kation benzalkonium pada daerah antar lapis bentonit disajikan pada Gambar 4.

Pada pH diatas 5, terjadi penurunan terhadap penyerapan ion logam Cr(VI) oleh

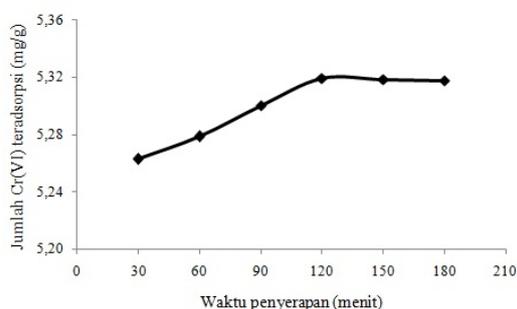
adsorben BA-BKC karena pada larutan alkali, konsentrasi ion hidroksida yang tinggi menyebabkan permukaan BA-BKC sebagian terdeprotonasi dan permukaan menjadi bermuatan negatif sehingga menghambat adsorpsi Cr(VI) karena persaingan antara ion logam Cr(VI) dan ion hidroksida, sehingga menurunkan kemampuan adsorpsi Cr(VI). Selain itu, dapat dijelaskan dengan mengingat kembali bahwa pada pH 5 spesies Cr(VI) yang paling dominan adalah HCrO_4^- (99%) sedangkan pada pH tinggi spesies Cr(VI) dominan sebagai CrO_4^{2-} . Hal ini menunjukkan bahwa BA-BKC kemungkinan lebih selektif terhadap anion HCrO_4^- daripada CrO_4^{2-} . Menurut Zeng *et al.* (2010), baik persaingan antara ion Cr(VI) dan ion hidroksida terhadap situs aktif pada permukaan BA-BKC maupun perubahan spesies Cr(VI) dalam larutan dengan pH tinggi merupakan alasan mengapa jumlah Cr(VI) teradsorpsi menurun dengan cepat dalam larutan alkali.



Gambar 4. Ilustrasi interaksi anion HCrO_4^- dengan kation benzalkonium pada daerah antar lapis bentonit

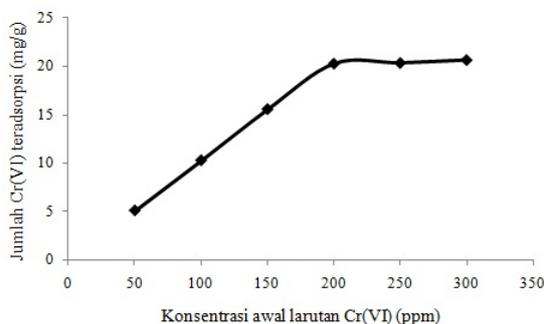
Waktu kontak merupakan waktu yang dibutuhkan adsorben untuk menyerap anion kromium. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi Cr(VI) oleh adsorben BA-BKC dapat dilihat pada Gambar 5. Pada waktu kontak 30-120 menit konsentrasi kromium yang terserap semakin meningkat mencapai 91,75% dengan kapasitas adsorpsi 5,3193 mg/g. Sedangkan pada waktu kontak 150 dan 180 menit konsentrasi kromium yang terserap sedikit menurun atau cenderung konstan. Menurunnya kapasitas adsorpsi ini dikarenakan

permukaan adsorben sudah terlalu jenuh dan ada kemungkinan terjadi desorpsi, yaitu lepasnya ion logam kromium yang sudah terikat situs aktif adsorben (Pambudi, *et al.*; 2014).



Gambar 5. Hubungan waktu kontak dengan jumlah Cr(VI) teradsorpsi

Konsentrasi ion logam yang diserap berhubungan dengan jumlah situs aktif yang terdapat pada permukaan adsorben, jika jumlah situs aktif pada adsorben lebih besar dari jumlah ion logam yang akan diserap maka efisiensi penyerapan akan tinggi. Namun pada kondisi tertentu efisiensi penyerapan akan konstan karena telah terjadi kejenuhan pada adsorben. Pengaruh konsentrasi terhadap kapasitas adsorpsi Cr(VI) oleh adsorben BA-BKC dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan konsentrasi awal larutan dengan jumlah Cr(VI) teradsorpsi

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya konsentrasi maka jumlah kromium yang terserap semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi BA-BKC akan terus meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi ion Cr(VI) hingga permukaan adsorben telah jenuh dengan ion Cr(VI) sehingga tercapai kesetimbangan antara konsentrasi Cr(VI) dalam adsorben dengan lingkungannya (Widihati, 2009) sehingga penyerapan pada konsentrasi diatas 200 ppm menjadi konstan atau hampir sama.

Penentuan kapasitas adsorpsi bentonit dilakukan untuk mengetahui kemampuan B0, BA, dan BA-BKC dalam menyerap anion

Cr(VI) pada kondisi optimum. Data penentuan kapasitas adsorpsi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Penentuan kapasitas adsorpsi

Adsorben	Q (mg/g)	% Adsorpsi
B0	0,5032	2,36
BA	1,2251	5,75
BA-BKC	20,1758	94,72

Berdasarkan Tabel 3, didapatkan bahwa bentonit terinterkalasi mempunyai kapasitas adsorpsi yang lebih besar dibandingkan bentonit yang tidak diinterkalasi. Kapasitas adsorpsi meningkat dari 0,5032 mg/g (B0) dan 1,2251 mg/g (BA) menjadi 20,1758 mg/g dengan persentase adsorpsi 94,61%. Peningkatan kapasitas adsorpsi ini disebabkan karena bentonit terinterkalasi telah membentuk senyawa kompleks dengan surfaktan kationik benzalkonium klorida yang menjadi interkalatnya sehingga permukaan bentonit yang awalnya bermuatan negatif menjadi bermuatan positif yang kemudian berikatan dengan anion Cr(VI).

Adsorben BA dan BA-BKC kemudian diaplikasikan untuk adsorpsi kation logam Cr(III) dan anion Cr(VI). Hal ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan adsorben BA dan BA-BKC dalam mengadsorpsi kation Cr(III) dan anion Cr(VI) pada kondisi optimal. Data kapasitas adsorpsi dan persen efisiensi adsorben terhadap Cr(III) dan Cr(VI) disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Adsorpsi Cr(III) dan Cr(VI)

Adsorben	Adsorbat	Q (mg/g)	% Adsorpsi
BA-BKC	Cr(III)	14,6242	69,24
	Cr(VI)	20,1987	94,83
BA	Cr(III)	18,0636	85,52
	Cr(VI)	1,2675	5,95

Berdasarkan Tabel 4, didapatkan bahwa adsorben BA-BKC dapat mengadsorpsi Cr (III) dan Cr(VI) mencapai 69,24% dan 94,83%. Hal ini menunjukkan bahwa organoclay yang dihasilkan dapat mengadsorpsi polutan yang bersifat anionik maupun kationik. Hasil ini sesuai dengan penelitian Fan *et al.* (2014) yang menyatakan bahwa modifikasi lempung menggunakan surfaktan dapat digunakan untuk adsorpsi anion, kation, maupun molekul non-ionik. Akan tetapi, pada adsorben BA diperoleh hasil yang lebih efektif untuk adsorpsi Cr(III) daripada BA-BKC. Adsorpsi BA terhadap ion logam Cr(III) mencapai 85,52%. Namun, BA kurang efektif digunakan untuk adsorpsi Cr(VI), adsorpsi BA terhadap Cr(VI) hanya mencapai 5,95%, hal ini disebabkan oleh permukaan

adsorben yang bermuatan negatif, sehingga sulit untuk mengadsorpsi muatan negatif dari Cr(VI) (Hu & Luo, 2010). Dengan demikian, BA-BKC lebih optimal untuk adsorpsi anion Cr(VI), sedangkan BA untuk adsorpsi kation Cr(III).

Simpulan

Interkalasi surfaktan ke dalam struktur lempung bentonit teraktivasi menyebabkan peningkatan d-spacing bentonit sebesar 0,6170 Å dan munculnya serapan baru pada bilangan gelombang 2927,72 dan 2854,91 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi simetrik dan asimetrik dari C-H pada metilen (-CH₂) dan vibrasi *stretching* C-H aromatik pada bilangan gelombang 1459,49 cm^{-1} . Selain itu, interkalasi juga meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap anion Cr(VI) dari 0,5032 mg/g (B0) dan 1,2251 mg/g (BA) menjadi 20,1758 mg/g. Kajian terhadap adsorben BA dan BA-BKC untuk adsorpsi kation Cr(III) dan anion Cr(VI) menunjukkan BA-BKC lebih optimal untuk adsorpsi anion Cr(VI), sedangkan BA untuk adsorpsi kation Cr(III).

Daftar Pustaka

- Bhattacharyya, K.G. & S.S. Gupta. 2007. Adsorptive Accumulation of Cd(II), Co (II), Pb(II), and Ni(II) from Water on Montmorillonite: Influence of Acid Activation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 310: 411-424
- Fan, H., L. Zhou, X. Jiang, Q. Huang, & W. Lang. 2014. Adsorption of Cu²⁺ and Methylene Blue on Dodecyl Sulfobetaine Surfactant-Modified Montmorillonite. *Applied Clay Science*, 95: 150-158
- Hu, B. & H. Luo. 2010. Adsorption of Hexavalent Chromium onto Montmorillonite Modified with Hydroxyaluminium and Cetyltrimethylammonium Bromide. *Applied Surface Science*, 257: 769-775
- Luo, W., K. Sasaki, & T. Hirajima. 2015. Surfactant-Modified Montmorillonite by Benzyloctadecyl Dimethyl Ammonium Chloride for Removal of Perchlorate. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 481: 616-625
- Motlagh, M.M.K., A.A. Youzbash, & Z.A. Rigi. 2011. Effect of Acid Activation on Structural and Bleaching Properties of a Bentonite. *Iranian Journal of Materials Science & Engineering*, 8: 50-56
- Pambudi, D.S., A.T. Prasetya, & W. Sumarni. 2014. Adsorpsi Ion Cu(II) Menggunakan Pasir Laut Teraktivasi H₂SO₄ dan Tersalut Fe₂O₃. *Jurnal MIPA*, 37(1): 53-61
- Ramos, R.L., A.J. Azuara, P.E.D. Flores, R.M.G. Coronado, J.M. Barron, & M.S.B. Mendoza. 2008. Adsorption of Chromium(VI) from an Aqueous Solution on a Surfactant-Modified Zeolite. *Colloid and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspect*, 330: 35-41
- Suarya, P. & I.N. Simpen. 2009. Interkalasi Benzalkonium Klorida ke dalam Montmorillonit Teraktivasi Asam dan Pemanfaatannya untuk Meningkatkan Kualitas Minyak Daun Cengkeh. *Jurnal Kimia*, 3(1): 41-46
- Widihati, I.A.G. 2009. Adsorpsi Ion Pb²⁺ oleh Lempung Terinterkalasi Surfaktan. *Jurnal Kimia*, 3(1): 27-32
- Wijaya, K., T.I. Mudasir, & F. Asean. 2003. Adsorpsi Pengotor Minyak Daun Cengkeh oleh Lempung Teraktivasi Asam. *Review Kimia*, 2(1): 19-24
- Zeng, Y., H.W. Woo, G. Lee, & J. Park. 2010. Adsorption of Cr(VI) on Hexadecyl Pyridinium Bromide (HDPB) Modified Natural Zeolites. *Microporous and Mesoporous Materials*, 130: 83-91
- Zohra, B., K. Aicha, S. Fatima, B. Nouredine, & D. Zoubir. 2008. Adsorption of Direct Red 2 on Bentonite Modified by Cetyltrimethylammonium Bromide. *Chemical Engineering Journal*, 136: 295-305