

EFEKTIVITAS BENTONIT TERAKTIVASI SEBAGAI PENURUN KADAR ION FOSFAT DALAM PERAIRAN

Indah Puji Lestari*), Fransiska Widhi Mahatmanti dan Sri Haryani

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Juni 2016
Disetujui Juli 2016
Dipublikasikan Agustus 2016

Kata kunci:
adsorpsi
bentonit aktif
kapasitas adsorpsi

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas bentonit teraktivasi dalam menurunkan kadar ion fosfat dalam perairan menggunakan metode adsorpsi. Bentonit yang digunakan diaktivasi menggunakan asam sulfat 2 M, dan bentonit alam sebagai pembandingan. Kondisi optimum adsorpsi dicari dengan menentukan waktu kontak serta konsentrasi awal optimum. Kondisi optimum proses adsorpsi bentonit aktif yaitu pada waktu kontak 180 menit pada konsentrasi ion fosfat 110 ppm, sedangkan bentonit alam pada waktu kontak 120 menit pada konsentrasi ion fosfat 100 ppm. Pada kondisi optimum bentonit aktif memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 7,0323 mg/g, sedangkan kapasitas adsorpsi bentonit alam sebesar 0,6566 mg/g. Proses adsorpsi pada bentonit ini termasuk adsorpsi kimia dan mengikuti pola isoterm adsorpsi *Langmuir*. Hasil aplikasi bentonit aktif secara langsung pada perairan (sawah) yaitu bentonit aktif mampu menurunkan kadar ion fosfat dalam perairan sebesar 3,2043 ppm atau sebesar 9,06%.

Abstract

This research aims to determine the effectiveness of activated bentonite to reduce of phosphate ions in water using adsorption method. Bentonite was used in this research are activated using sulfuric acid 2 M, and natural bentonite as a comparison. The optimum adsorption conditions sought to determine the optimum contact time and optimum initial concentration. The optimum conditions of active bentonite adsorption process at the contact time of 180 minutes at a concentration of 110 ppm, while the contact time of natural bentonite at 120 minutes at a concentration of 100 ppm. At the optimum conditions, bentonite active has 7.0323 mg/g of adsorption capacity, while the adsorption capacity of bentonite nature of 0.6566 mg/g. The process of adsorption on bentonite including chemical adsorption and follow the pattern of Langmuir adsorption isotherm. Results application active bentonite directly on the water (rice field) that is active bentonite able to reduce phosphate ions in the waters of 3.2043 ppm or by 9.06%.

Pendahuluan

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang perannya tidak dapat dipisahkan dari kehidupan sehari-hari. Beberapa peranan air dalam kehidupan diantaranya digunakan dalam bidang pertanian, perkebunan, perikanan dan yang terpenting adalah untuk dikonsumsi. Air yang digunakan untuk konsumsi tentunya memiliki kriteria tertentu sebelum dapat dikategorikan sebagai air untuk dikonsumsi. Kriteria dari air yang dapat dikonsumsi diantaranya baik secara fisik, kimia dan biologis. Dewasa ini air dalam perairan dapat mengandung unsur-unsur berbahaya baik berupa polutan biologis maupun polutan kimia.

Salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui adanya pencemaran air adalah adanya senyawa fosfat. Sumber utama pencemaran fosfat yaitu 10% dari proses alamiah, 7% industri, 11% detergen, 17% pupuk pertanian, 23% limbah manusia, dan 32% dari limbah peternakan. Salah satu cara yang banyak diterapkan untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan perairan adalah melalui proses adsorpsi. Proses adsorpsi dapat menggunakan adsorben seperti karbon aktif, zeolit, kitin, kitosan, asam humat, *fly ash* juga bentonit (Hartanti; 2012). Adsorpsi adalah peristiwa penyerapan suatu zat pada permukaan zat lain. Zat yang diserap disebut adsorbat, sedangkan zat yang menyerap disebut adsorben (Auliah; 2009).

Berbagai penelitian mengenai peranan bentonit sebagai adsorben dalam perairan telah banyak dilakukan, berikut dijelaskan beberapa penelitian diantaranya, Auliah (2009), melakukan penelitian adsorpsi ion fosfat dalam perairan dengan menggunakan lempung teraktivasi. Sahan *et al.* (2012), melakukan penelitian mengenai penentuan daya jerap bentonit dan kesetimbangan adsorpsi bentonit terhadap ion Cu (II). Kuroki *et al.* (2014), melakukan penelitian mengenai penggunaan bentonit terinterkalasi La (III) sebagai penurun kadar ion fosfat dalam perairan. Sahara (2011), melakukan penelitian mengenai regenerasi lempung bentonit dengan NH_4^+ jenuh yang diaktivasi panas dan daya adsorpsinya terhadap Cr (III).

Berdasarkan beberapa uraian yang telah dipaparkan perlu dilakukan penelitian mengenai uji efektifitas aktivasi bentonit secara kimia dalam menurunkan kadar ion fosfat melalui metode adsorpsi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan bentonit yang diaktivasi dan yang belum diaktivasi dalam menurunkan kadar fosfat dalam perairan.

Hasil penelitian ini kemudian diaplikasikan langsung ke perairan yang mengandung fosfat, dengan kondisi optimum yang didapatkan dari penelitian.

Metode Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya spektrofotometer UV-Vis *Photo Lab 6600*, XRD *Shimadzu XRD-6000*, SAA (*Surface Area Analyzer*) *Quantachrome NOVA-1000*, *orbital shaker yellow line OS 10 basic*, neraca analitik *AND GR-2000*, *furnace Brannstead Thermolyne*, oven *Memmert*, ayakan 100 dan 50 *mesh*. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya bentonit alam yang berasal dari Boyolali, Jateng, bahan buatan *Merck* dengan kualitas *pro analyst* yaitu H_2SO_4 , potassium dihidrogen phosphate, amonium molibdat, asam askorbat, kalium antimonil tartarat, indikator fenolftalein.

Bentonit alam sebanyak 300 g dilarutkan ke dalam 1 L aquades dan diaduk selama 2 jam, setelah itu didiamkan selama 24 jam. Suspensi disaring dan dikeringkan dalam oven hingga beratnya konstan, kemudian digerus dan diayak dengan ayakan 100 *mesh* untuk menghasilkan bentonit berukuran 100 *mesh* (A) (Nurhayati; 2010), yang dimodifikasi). Proses aktivasi secara kimia dilakukan dengan merendam 100 g bentonit alam (100 *mesh*) ke dalam 250 mL H_2SO_4 2 M, diaduk dengan magnetik stirer selama 6 jam dan didiamkan selama 24 jam. Suspensi bentonit yang terbentuk disaring dan dicuci dengan aquades panas (diuji negatif terhadap BaCl_2). Suspensi dioven hingga beratnya konstan. Bentonit kering yang dihasilkan digerus dan diayak kembali dengan ayakan 100 *mesh* (B). (Sahara (2011), yang dimodifikasi). Selanjutnya dilakukan karakterisasi dengan menggunakan XRD dan SAA.

Isoterm adsorpsi dapat ditentukan pada saat kondisi optimum adsorpsi. Kondisi optimum adsorpsi dalam penelitian ini dicari dengan menentukan waktu kontak dan konsentrasi awal optimum. Proses adsorpsi dilakukan pada waktu kontak 120 menit untuk bentonit alam dan 180 menit untuk bentonit aktif. Konsentrasi optimum pada proses adsorpsi ini terjadi pada konsentrasi 100 ppm untuk bentonit alam dan 120 ppm untuk bentonit aktif. Pada kondisi optimum tersebut proses adsorpsi ion fosfat dalam perairan (sawah) dilakukan.

Analisis ion fosfat dilakukan dengan memipet sebanyak 8,4 mL larutan yang akan

diukur absorbansinya ke dalam labu takar 10 mL. Ke dalam larutan tersebut ditambahkan 1 tetes indikator fenolftalein (jika terbentuk warna merah muda, ditambahkan tetes demi tetes H_2SO_4 2,5 M sampai warnanya hilang), ditambah 1,3 mL pereaksi kombinasi, kemudian didiamkan selama 15 menit. Larutan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 880 nm.

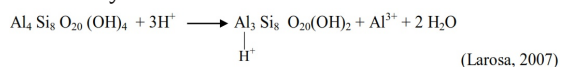
Hasil dan Pembahasan

Preparasi bentonit teraktivasi kimia diawali dengan preparasi terhadap bentonit alam meliputi pencucian, pengeringan dan pengayakan hingga bentonit berukuran 100 mesh. Bentonit hasil preparasi tersebut kemudian diaktivasi secara kimia. Secara visual terdapat perbedaan antara bentonit alam, bentonit teraktivasi kimia dan bentonit teraktivasi fisika, perbedaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisik bentonit hasil preparasi

Bentonit	Sifat fisik
Bentonit A	Warna kecoklatan
Bentonit B	Warna coklat pudar

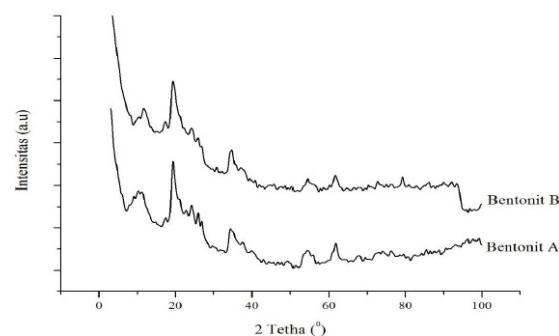
Pada proses aktivasi secara kimia dilakukan dengan menggunakan asam sulfat. Pemilihan asam sulfat sebagai aktivator asam untuk mengaktivasi bentonit didasarkan pada penelitian dari Sahara (2011) yang menggunakan asam sulfat dengan konsentrasi 2 M, karena dengan konsentrasi yang lebih tinggi dari 2 M memberikan keasaman permukaan yang lebih kecil. Hal ini karena kemungkinan terjadi pelarutan pada lapis oktahedral seperti Al, Mg, dan Fe menjadi Al^{3+} , Mg^{2+} dan Fe^{3+} . Berdasarkan pertimbangan tersebut peneliti memilih asam sulfat 2 M sebagai aktivator untuk mengaktivasi bentonit. Reaksi yang terjadi pada proses aktivasi kimia bentonit yaitu:



Pada kondisi di atas atom Al berpindah dari struktur bersama dengan gugus hidroksil, sehingga terjadi perubahan gugus oktahedral menjadi gugus tetrahedral. Atom Al yang tersisa masih terkoordinasi dalam rangkaian tetrahedral dengan empat atom oksigen tersisa (Thomas *et al.*, 1984 dalam Larosa, 2007). Perubahan dari gugus oktahedral menjadi tetrahedral membuat kisi kristal bermuatan negatif. Muatan negatif pada permukaan kristal dapat dinetralkan oleh logam-logam alkali dan alkali tanah yang terdapat pada bentonit. Ikatan antara ion Al dengan kation penetral tersebut adalah ikatan ion yang mudah diputuskan, karena kation-kation tersebut bukan bagian dari

kerangka bentonit sehingga dapat dengan mudah dipertukarkan. Selanjutnya, ion H^+ yang berasal dari asam akan menggantikan kation-kation logam alkali dan alkali tanah dari bentonit (Larosa; 2007).

Karakterisasi bentonit dilakukan dengan menggunakan XRD dan SAA. Analisis kualitatif bentonit dilakukan dengan menggunakan difraksi sinar-X (XRD).



Gambar 1. Difraktogram bentonit A (tanpa aktivasi) dan bentonit B (aktivasi kimia)

Analisis kualitatif terhadap bentonit alam menunjukkan bahwa bentonit alam yang digunakan dalam penelitian ini mengandung mineral *montmorillonit*, *kaolin* dan *kuarsa*. Difraktogram bentonit alam yang digunakan pada penelitian ini di tunjukkan pada difraktogram bentonit A pada Gambar 1. dan dicocokkan dengan JCPDS (*Joint Committee on Powder Defraction Standar*) menunjukkan mineral utama penyusun bentonit. Difraktogram yang disajikan pada Gambar 1. menunjukkan tidak adanya pergeseran yang cukup signifikan terhadap difraktogram bentonit akibat perbedaan perlakuan aktivasi. Pada Gambar 1. (Bentonit B) menunjukkan bahwa proses aktivasi kimia tidak terlihat perbedaan pada tinggi *peak* yang signifikan. Berdasarkan Gambar 1. struktur bentonit kristalinitasnya tinggi, sedangkan pada bentonit B strukturnya *amorf*. Hal ini menyebabkan bentonit B lebih optimal jika digunakan untuk adsorben karena struktur kristalnya *amorf*.

Berdasarkan jenisnya, proses adsorpsi terbagi menjadi adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika terjadi apabila gaya intermolekular lebih besar daripada gaya tarik antarmolekul atau gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Gaya ini disebut gaya *Van der Waals* sehingga adsorbat dapat bergerak dari satu bagian permukaan ke bagian permukaan lain dari adsorben. Data ukuran pori dan luas permukaan bentonit A dan bentonit B disajikan

dalam Tabel 2.

Tabel 2. Data ukuran pori dan luas permukaan masing-masing variasi bentonit

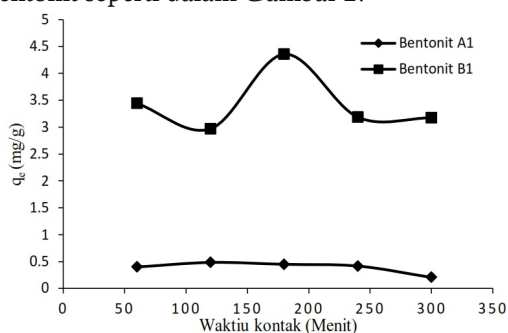
Bentonit	Luas Permukaan (m ² /g)	Rata-rata Ukuran pori (Å)
Bentonit A	73,896	37,717
Bentonit B	115,273	30,037

Berdasarkan Tabel 2. bentonit A memiliki luas permukaan yang cukup besar namun tidak terlalu menguntungkan dalam proses adsorpsinya. Hal ini dikarenakan masih adanya pengotor-pengotor dalam bentonit yang belum dibersihkan dari struktur bentonit, sehingga kurang maksimal dalam mengadsorpsi ion fosfat. Pada aplikasinya ukuran jari-jari ion fosfat $\pm 113,04 \text{ \AA}$ juga berpengaruh terhadap jumlah fosfat yang dapat terjerap dalam pori adsorben, karena ukuran ion fosfat jauh lebih besar dari pada pori bentonit maka tidak dapat masuk ke dalam pori-pori bentonit. Sehingga adsorpsi yang terjadi akibat adanya ikatan ionik antara situs aktif pada permukaan bentonit dengan ion fosfat dan mengakibatkan ion fosfat akan menempel pada permukaan bentonit. Proses terjadinya ikatan ionik seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Pada permukaan bentonit ini nantinya akan terbentuk lapisan baru (*monolayer*), pada kondisi optimum ion-ion fosfat itu akan memenuhi permukaan bentonit. Proses adsorpsi pada bentonit A dipengaruhi oleh luas permukaan bentonit dengan mengandalkan situs aktifnya, maka dari itu proses adsorpsi yang terjadi termasuk adsorpsi kimia.

Berdasarkan Tabel 2. bentonit B, memiliki luas permukaan yang paling luas, namun memiliki ukuran pori yang paling kecil, sehingga dimungkinkan dapat menyerap fosfat paling optimum. Hal ini didasarkan pada luas permukaan bentonit B yang besar dan terdapat ion H⁺ dari hasil aktivasi asam sehingga bentonit ini bermuatan positif, maka dari itu dapat dimungkinkan terjadinya ikatan ionik antara ion H⁺ dari asam sulfat dengan ion fosfat serta adanya ion H⁺ dari ikatan ionik situs aktif dari molekul H₂O dengan ion fosfat. Dengan memiliki luas permukaan yang besar, maka akan banyak ion H⁺ pada permukaan bentonit dan mengakibatkan proses adsorpsi semakin maksimal. Ukuran pori bentonit B tidak cukup besar untuk dapat mengadsorpsi ion fosfat, dikarenakan ukuran pori bentonit B lebih kecil daripada ukuran ion fosfat. Adsorpsi yang terjadi pada bentonit B seperti yang terjadi pada bentonit A, namun dengan jumlah ion H⁺ yang lebih banyak. Proses adsorpsi pada bentonit B dipengaruhi oleh luas permukaan bentonit

dengan mengandalkan situs aktifnya, maka dari itu proses adsorpsi yang terjadi termasuk adsorpsi kimia.

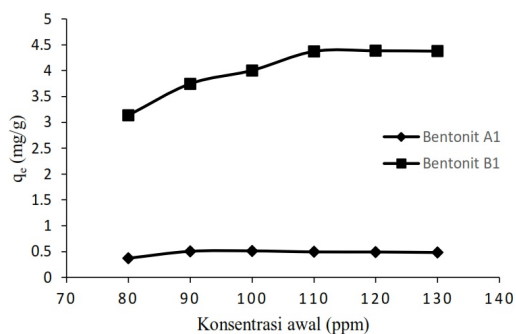
Kondisi optimum pada penelitian ini dicari pada variasi waktu kontak, konsentrasi awal larutan yang optimum sebelum bentonit digunakan untuk menurunkan kadar ion fosfat dalam perairan. Variasi waktu kontak yang digunakan dalam penelitian ini mengacu dari jurnal Auliah (2009), yaitu pada rentang waktu 60, 120, 180, 240 dan 300 menit. Hasil penentuan waktu kontak optimum untuk masing-masing variasi bentonit seperti dalam Gambar 2.



Gambar 2. Perbandingan penentuan waktu kontak optimum bentonit A versus bentonit B

Berdasarkan Gambar 2. terlihat bahwa waktu kontak optimum bentonit A1 tercapai pada menit ke-120 lebih cepat daripada waktu kontak bentonit B1 terjadi pada menit ke-180. Berdasarkan Gambar 2. dapat disimpulkan bahwa setelah melewati waktu kontak optimumnya, kapasitas adsorpsinya cenderung menurun. Hal ini menunjukkan semakin lama waktu kontak antara adsorben dan adsorbat (ion fosfat) memungkinkan untuk terjadinya peningkatan penyerapan adsorbat, namun jika terlalu lama waktu kontak adsorpsi dapat mengakibatkan terjadinya desorpsi. Hal ini sesuai dengan penelitian Khilya (2014), yang menunjukkan bahwa setelah adsorpsi mencapai keadaan setimbang pada waktu kontak optimum, penambahan waktu kontak antara adsorben dan adsorbat selanjutnya tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penyerapan adsorbat justru terjadi penurunan.

Penentuan kondisi optimum proses adsorpsi dilanjutkan dengan mencari konsentrasi awal optimum dari masing-masing variasi bentonit. Konsentrasi awal optimum dilihat dari nilai daya serap paling optimum dari beberapa konsentrasi awal oleh masing-masing variasi bentonit. Hasil penentuan konsentrasi awal optimum untuk masing-masing variasi bentonit tertera dalam Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan penentuan konsentrasi awal optimum bentonit A versus bentonit B

Gambar 3. menjelaskan bentonit A telah mencapai kondisi optimum pada konsentrasi 100 ppm yang mampu menyerap fosfat sebanyak 0,5143 mg/g adsorben, sedangkan bentonit B telah mencapai kondisi optimum pada konsentrasi 120 ppm yang mampu menyerap fosfat sebesar 4,3842 mg/g adsorben. Setelah mencapai kondisi maksimum daya serap bentonit tidak mengalami kenaikan lagi, namun cenderung stabil atau bahkan telah mengalami desorpsi. Jadi dengan penambahan konsentrasi berapapun tidak akan berpengaruh pada daya serap bentonit. Hal ini sesuai dengan pendapat Khilya (2014), yang menyebutkan bahwa setelah adsorpsi mencapai keadaan setimbang pada konsentrasi awal yang optimum, penambahan konsentrasi tidak akan memberikan pengaruh yang besar terhadap penyerapan adsorbat justru dapat terjadi penurunan (desorpsi).

Isoterm adsorpsi yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu isoterm *Langmuir* dan isoterm *Freundlich*. Isotherm *Langmuir* menunjukkan bahwa proses adsorpsi yang terjadi antara adsorben dan adsorbat terjadi pada permukaan adsorben (*monolayer*) sedangkan isoterm *Freundlich* menunjukkan bahwa proses adsorpsi antara adsorben dan adsorbat terjadi dalam beberapa lapisan adsorben (*multilayer*). Isoterm adsorpsi digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi bentonit serta energi adsorpsi dari masing-masing bentonit. Hasil penentuan isoterm adsorpsi, jenis adsorpsi dan energi adsorpsi untuk masing-masing variasi bentonit adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Penentuan isoterm adsorpsi, kapasitas adsorpsi, energi adsorpsi dan jenis adsorpsi masing-masing variasi bentonit

Kode	<i>Freundlich</i>			<i>Langmuir</i>			E ads (kJ/mol)
	K _F	n _F	R ²	b (mg/g)	K (L/g)	R ²	
A ₁	0,0929	2,7863	0,5869	0,6566	28,2	0,8706	19,7378
B ₁	0,5214	2,1561	0,9694	7,0323	16,6	0,9783	24,1603

Tabel 3. memaparkan hasil perhitungan kapasitas adsorpsi berdasarkan isoterm adsorpsi *Langmuir* dan *Freundlich*. Nilai regresi linier (R²)

dari persamaan linier isoterm dapat digunakan sebagai parameter penentuan jenis isoterm adsorpsi bentonit. Terlihat bahwa pola isoterm untuk masing-masing variasi bentonit pada penelitian ini adalah isoterm *Langmuir* (nilai R² mendekati 1) yang artinya proses adsorpsi yang terjadi hanya sebatas di permukaan adsorben (*monolayer*). Menurut isoterm *Langmuir* kapasitas adsorpsi suatu adsorben adalah nilai *intersep* yang dihitung dari 1/*slope* dari persamaan garis pada grafik isoterm. Berdasarkan Tabel 3. bentonit B memiliki kapasitas adsorpsi lebih besar daripada bentonit A, hal ini menunjukkan bahwa aktivasi kimia mampu meningkatkan kinerja adsorpsi bentonit yang lebih baik daripada bentonit tanpa aktivasi.

Bentonit hasil optimasi dalam penelitian ini diaplikasikan langsung untuk menurunkan kadar fosfat dalam sampel perairan. Lokasi perairan yang digunakan sebagai sampel air limbah adalah di daerah persawahan di desa Tluwah kecamatan Juwana, kabupaten Pati, Jawa Tengah. Lokasi ini dipilih sebagai tempat pengambilan sampel, karena perairan di lokasi tersebut terindikasi mengandung fosfat yang berasal dari penggunaan pupuk oleh petani di lokasi tersebut. Aplikasi bentonit ini dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali untuk mendapatkan hasil yang akurat. Data penentuan kapasitas adsorpsi untuk menurunkan kadar fosfat dalam perairan disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Data penentuan kapasitas adsorpsi dalam aplikasi bentonit di perairan

Absorbansi	Ppm kurva	Penepatan	Konsentrasi (ppm)	Penurunan (ppm)	m (g)	Qe (mg/g)
0,18	0,740255		8,812554			
0,112	0,469769	25/22	5,592492	3,22	0,1008	0,798627
0,112	0,469769	25/22,5	5,592492	3,22	0,1002	0,803409
0,113	0,473747	25/22,5	5,639845	3,1727	0,1001	0,792385
				3,20427	Rata-rata	0,79814

Dari hasil penelitian ini bentonit yang diaplikasikan untuk menurunkan kadar fosfat dalam perairan mampu menurunkan kadar fosfat rata-rata sebesar 3,2043 ppm. Massa bentonit yang digunakan adalah 0,1 g, dan daya serap rata-ratanya sebesar 0,7981 mg/g atau dapat menurunkan kadar fosfat sebesar 9,06%. Daya serap bentonit ini tidak hanya dapat menyerap fosfat dalam perairan sebesar 0,7981 mg/g adsorben, daya serap ini masih akan terus naik. Hal ini dikarenakan kapasitas adsorpsi maksimum bentonit ini mampu mencapai 7,0323 mg/g dan terjadi kesetimbangan pada konsentrasi 120 ppm, jadi kemampuan bentonit ini untuk menyerap fosfat masih dapat bertambah lagi.

Simpulan

Hasil difraktogram bentonit menunjukkan bentonit mengandung mineral *montmorillonit*, *quarsa* dan *kaolin*. Hasil aktivasi kimia tidak mengakibatkan perubahan struktur kristal bentonit alam. Aktivasi kimia mengakibatkan pergeseran difraktogram dari masing-masing mineral penyusun bentonit. Kondisi optimum untuk proses adsorpsi bentonit (waktu kontak; konsentrasi awal) adalah Bentonit A (120 menit; 100 ppm), Bentonit B (180 menit; 120 ppm). Bentonit teraktivasi kimia mampu menurunkan kadar fosfat rata-rata sebesar 3,2043 ppm atau sebesar 9,06%. Massa bentonit yang digunakan adalah 0,1 g, dan daya serap rata-ratanya sebesar 0,7981 mg/g.

Daftar Pustaka

- Auliah, A. 2009. Lempung Aktif sebagai Adsorben Ion Fosfat dalam Air. *Jurnal Chemica*, 10(2): 14-23
- Badan Standarisasi Nasional. 2005. *Air dan Air Limbah- Bagian 31: Cara Uji Kadar Fosfat dengan Spektrofotometer secara Asam Askorbat*. SNI 06-6989.31-2005
- Hartanti, E. F.W. Mahatmanti, E.B. Susatyo. 2012. Sintesis Kitosan-Bentonit serta Aplikasinya sebagai Penurun Kadar Insektisida Jenis Diazinon. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 1(2):110-115. Tersedia di <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs/article/view/748/756> [diakses 28-07-2015]
- Khilya, A. 2014. *Sintesis Arang Aktif Alang-Alang (Imperata cylindrica) dan Optimasi Aplikasinya dalam Menurunkan Kadar Cd²⁺ pada Larutan*. Skripsi. Semarang: FMIPA UNNES
- Kuroki, V., G.E. Bosco, P.S. Fadini, A.A. Mozeto, A.R. Cestari, & W.A. Carvalho. 2014. Use of a La(III)-modified Bentonite for Effective Phosphate Removal from Aqueous Media. *Journal of Hazardous Materials* 274. Maret 2014
- Larosa, Y.N. 2007. *Studi Pengetesan Bentonit Terpillar-Fe₂O₃*. Skripsi. Medan: Universitas Sumatra Utara
- Nurhayati, H. 2010. *Pemanfaatan Bentonit Teraktivasi dalam Pengolahan Limbah Cair Tahu*. Skripsi. Surakarta: FMIPA Universitas Sebelas Maret
- Sahan, Y., K. Despramita, & Y. Sultana. 2012. Penentuan Daya Jerap Bentonit dan Keseimbangan Adsorpsi Bentonit terhadap Ion Cu(II). *Jurnal Chem. Prog*, 5(2): 93-99
- Sahara, E. 2011. Regenerasi Lempung Bentonit dengan NH₄⁺ Jenuh yang Diaktivasi Panas dan Daya Adsorpsinya terhadap Cr(III). *Jurnal Kimia*, 5(1): 81-87
- Widihati, I.A.G. 2009. Adsorpsi Ion Pb²⁺ oleh Lempung Terinterkalasi Surfaktan. *Jurnal Kimia*, 3(1): 27-32