



Kinetika Adsorpsi Anion Nitrat dan Fosfat pada Zeolit Alam Termodifikasi Surfaktan Hexadesiltrimetilammonium Klorida

Fahmi Syafaat ^a, Ahmad Suseno ^{a*}, Arnelli ^a

^a Physical Chemistry Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang

* Corresponding author: suseno@live.undip.ac.id

Article Info

Keywords:
Kinetic Adsorption,
Zeolite Modified
Surfactants, Nitrate,
Phosphate

Kata Kunci:
Kinetika Adsorpsi,
Zeolit Modifikasi
Surfaktan, Nitrat,
fosfat

Abstract

The kinetic adsorption natural zeolite with surfactant hexadecyl trimethyl ammonium – chlorida as adsorbent ions nitrate and phosphate has been studied. The purpose of this study was to determine the maximum adsorption rate constant (k) of nitrate anion and phosphate anions on ZMS. This study was conducted by modification process and adsorption. Modification processes were carried out in two stages, i.e. the activation of natural zeolite which carried out by adding pf 1% HF solution for 10 minutes, and addition of 2 M NH_4Cl for 4 hours The second stage was the modification of active zeolite with HDTMA-Cl using column. Nitrate and phosphate ions adsorption on ZMS was carried out with time variation of 5, 10, 15; 20; 24 hours and concentration variation of 350; 400; 450; 500 ppm. FTIR spectra for nitrate appeared in the wavenumber 1473.62 cm^{-1} and for phosphate appeared at wavenumbers of 462.92 cm^{-1} which showed bending vibration (ν_2) PO_4^{3-} with weak intensity. This proved that nitrate and phosphate anions absorbed by a ZMS successfully. Optimum adsorption rate constant for phosphate ion was $0.1154 \text{ g / mg.min}$ and nitrate ion was $0.00293 \text{ g / mg.min}$ respectively. Adsorption results of nitrate and phosphate ions showed a tendency that the ZMS matched on pseudo-order 2 of adsorption rate equation for both nitrate and phosphate anions.

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang kinetika adsorpsi zeolit alam dengan surfaktan heksadesiltrimetilammonium klorida sebagai adsorben ion nitrat dan fosfat. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konstanta laju adsorpsi (k) optimum pada anion nitrat dan fosfat. Penelitian ini dilakukan dengan proses modifikasi, dan adsorpsi. Proses modifikasi dilakukan dua tahap, yaitu tahap aktivasi zeolit alam yang dilakukan dengan menambahkan larutan HF 1% selama 10 menit dan penambahan larutan NH_4Cl 2M selama 4 jam, selanjutnya zeolit aktif dimodifikasi dengan HDTMA-Cl menggunakan kolom. Proses adsorpsi ion nitrat dan fosfat pada ZMS dilakukan pada variasi waktu 5;10;15;20;24 jam dan dengan variasi konsentrasi 350;400;450;500 ppm. Hasil spektra FTIR untuk nitrat muncul pada bilangan gelombang $1473,62 \text{ cm}^{-1}$ dan untuk fosfat muncul pada bilangan gelombang $462,92 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi bending (ν_2) PO_4^{3-} dengan intensitas lemah, hal ini membuktikan bahwa anion nitrat dan fosfat berhasil teradsorpsi oleh ZMS. Konstanta laju adsorpsi optimum untuk ion fosfat adalah $0,1154 \text{ g/mg.min}$ besarnya konstanta laju adsorpsi optimum untuk ion nitrat adalah $0,00293 \text{ g/mg.min}$. Hasil adsorpsi pada nitrat dan fosfat menunjukkan kecenderungan bahwa ZMS mengikuti persamaan laju adsorpsi orde 2 semu untuk anion nitrat dan fosfat.

1. Pendahuluan

Fosfor dalam bentuk ion Fosfat dan Nitrogen dalam bentuk Nitrat- merupakan bagian penting dari mekanisme pertumbuhan tanaman khususnya pada bidang pertanian. Sekitar 40-70% dari nitrogen yang diaplikasikan ke pupuk normal, Nitrogen hilang ke lingkungan dan tidak dapat diserap oleh tanaman, sehingga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan yang serius [1]. Langkah yang telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut dilakukan dengan menggunakan Slow Release Material. Penggunaan Slow Release Material telah dilakukan dengan menggunakan material padatan, salah satunya adalah menggunakan zeolite [2].

Zeolit alam yang sering digunakan dalam industri pertanian adalah klinoptilolit. Zeolit alam ini memiliki kapasitas pengubah kation yang tinggi dan afinitas besar terhadap ion NH_4^+ [3]. Salah satu cara untuk meningkatkan fungsi zeolit alam melalui peningkatan kereaktifan yaitu dengan memodifikasi permukaan zeolit alam [4].

Modifikasi zeolit dilakukan dengan penambahan surfaktan kationik pada permukaan zeolit, karena adanya sifat penukar kation pada zeolite alam. Salah satu surfaktan kationik yang dapat digunakan untuk memodifikasi zeolit alam adalah hexadecyltrimetilammonium chlorida [5].

Modifikasi zeolite dengan surfaktan kationik dapat membentuk bilayer pada permukaan zeolite karena terjadi interaksi elektrostatis antara permukaan zeolite yang bermuatan negatif dengan bagian ujung surfaktan yang bermuatan [4]. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya, yaitu modifikasi zeolit alam dengan surfaktan HDTMA⁺ untuk mengadsorpsi ion bikromat [6].

Penelitian ini akan mengkaji aspek kinetika adsorpsi pada zeolit termodifikasi surfaktan untuk menyerap anion nitrat dan fosfat. Penentuan kinetika adsorpsi menggunakan pendekatan 2 model kinetika yaitu model kinetika orde 1 semu dan model kinetika orde 2 semu dengan menghitung konstanta laju adsorpsi dari masing-masing model tersebut.

2. Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah zeolit alam, HF 1% (p.a, 40%), NH_4Cl 2M (p.a, Merck), KNO_3 (p.a, Merck), Hexadecyltrimethylammonium chloride (Merck 50% dalam 2-propanol-air 3:2), 2-propanol (p.a, Merck). Peralatan yang digunakan adalah ayakan -60/+100 mesh, furnace, kertas saring watchmen 42, Spektrofotometer FTIR (Shimadzu Prestige 21) dan Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV- 1601).

Modifikasi Zeolit dengan Surfaktan Heksadesiltrimetilammonium Klorida

Modifikasi dilakukan pada zeolit aktif. Kolom diisi dengan 5 gram zeolit aktif. Zeolit aktif tersebut kemudian

ditambah larutan surfaktan heksadesil-trimetilammonium klorida dengan konsentrasi 0,2 M. Selanjutnya ditambah 25 mL larutan surfaktan heksadesiltrimetil-ammonium klorida dengan laju aliran 0,5 mL/menit.

Uji Adsorpsi terhadap Ion Nitrat dan Fosfat

Uji adsorpsi ion nitrat dilakukan dengan massa adsorben 1 gram zeolit zeolit modifikasi surfaktan (ZMS) pada variasi konsentrasi nitrat (350; 400; 450; 500 mg/L) ke dalam labu erlenmeyer ditambahkan 10 mL larutan KNO_3 dan didiamkan dengan variasi waktu 5; 10; 15; 20; 24 jam. Kemudian disaring dan filtratnya dilakukan analisis konsentrasi ion nitrat dengan spektrofotometer UV/Vis pada panjang gelombang 220 nm. Uji Adsorpsi ion fosfat dilakukan dengan cara yang sama dengan penambahan larutan KH_2PO_4 .

3. Hasil Dan Pembahasan

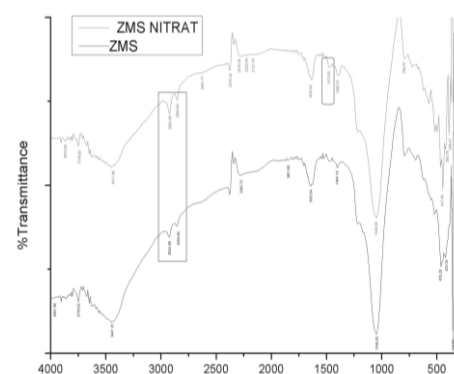
Analisis Spektra FTIR

Pada umumnya rentang bilangan gelombang 300-1300 cm^{-1} berbentuk ikatan tetrahedral yaitu $(\text{SiO}_4)^{4-}$ dan $(\text{AlO}_4)^{5-}$. Pada pita 900-1250 cm^{-1} merupakan rentangan asimtris, rentangan simetris ditunjukkan pada pita 650-850 cm^{-1} , tekukan Si-O/Al-O (T-O) pada internal muncul pada daerah 420-500 cm^{-1} sedangkan untuk eksternal akan muncul pada 700-780 cm^{-1} [3].

Pada zeolit modifikasi HDTMA muncul pita 2800-3000 cm^{-1} menunjukkan rentangan simetris dan asimtris CH_2 dari amina.

Pada zeolit aktif yang dimodifikasi dengan surfaktan menunjukkan bahwa zeolit telah berhasil dimodifikasi dengan HDTMA⁺ yaitu dengan munculnya pita 2854,65 cm^{-1} dan 2924,09 cm^{-1} . frekuensi dan lebar pita simetris dan asimtris CH_2 untuk amina tergantung pada konsentrasi amina. Munculnya pita 2854,65 cm^{-1} dan 2924,09 cm^{-1} merupakan rentangan simetris dan asimtris uluran CH_2 amina dari surfaktan HDTMA, dengan adanya bilangan gelombang tersebut menunjukkan bahwa zeolit tersebut telah berhasil dimodifikasi.

Untuk mengetahui proses adsorpsi anion nitrat berhasil terserap oleh ZMS dapat diketahui dari analisa spektra FTIR. Hasil Spektra FTIR dapat dilihat dari gambar 1 berikut:

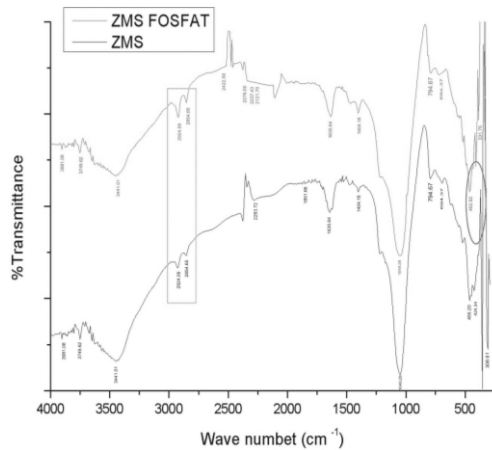


Gambar 1. Spektra FTIR Adsorpsi ZMS-NITRAT dengan ZMS.

Perbandingan hasil FTIR ZMS yang sudah mengadsorpsi anion nitrat dan belum mengadsorpsi nitrat terdapat perbedaan spektra yang dihasilkan pada ZMS-NITRAT terlihat muncul spektra pada panjang gelombang 1473,62 cm⁻¹ sedangkan pada spektra ZMS tidak ada spektra muncul pada bilangan gelombang tersebut, selain itu pada spektra ZMS-NITRAT terjadi pergeseran pada bilangan gelombang 1388,75 cm⁻¹ yang sebelumnya pada spektra ZMS pada bilangan gelombang 1404,35 cm⁻¹, pergeseran ini disebabkan karena adanya efek elektronik dari NO₂.

Spektra FTIR akan muncul pada bilangan gelombang 1500–1300 cm⁻¹ dengan intensitas kuat, 1070–1010 cm⁻¹ dengan intensitas lemah, 850–800 cm⁻¹ dengan intensitas sedang, dan 770–710 cm⁻¹ dengan intensitas sangat lemah [7]. Pada penelitian ini muncul spektra pada rentang 1500–1300 cm⁻¹ yaitu pada bilangan gelombang 1473,62 cm⁻¹, Ini menandakan bahwa anion nitrat berhasil diserap oleh ZMS.

Hasil spektra FTIR perbandingan ZMS-fosfat dan ZMS terjadi perbedaan:



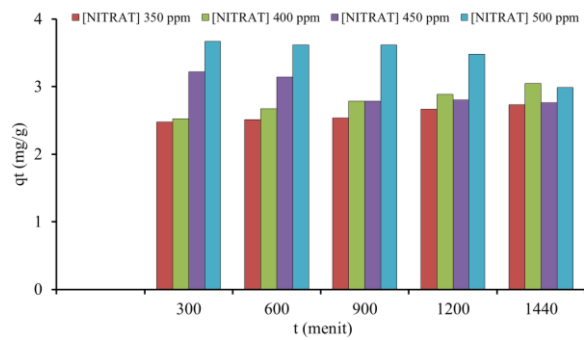
Gambar 2. Spektra FTIR Adsorpsi ZMS-Fosfat dengan ZMS.

Spektra FTIR anion fosfat muncul pada serapan bilangan gelombang 433,6 - 468,6 cm⁻¹ pada pH 7, pada penelitian kali ini muncul spektra pada bilangan gelombang 462,92 cm⁻¹ terdapat vibrasi bending (ν_2) PO₄³⁻ dengan intensitas lemah, lemahnya intensitas tersebut dikarenakan ikatan N⁺ pada HDTMA⁺ dengan H₂PO₄⁻ lemah, serta konsentrasi fosfat yang terserap pada ZMS sedikit, Munculnya spektra pada bilangan gelombang tersebut menandakan bahwa fosfat berhasil terserap pada zeolit termodifikasi surfaktan.

Uji Adsorpsi Ion Nitrat

Uji Adsorpsi ion Nitrat dilakukan dengan menggunakan variasi konsentrasi dan variasi waktu kontak, metode yang digunakan untuk mengadsorpsi adalah metode *batch*, penggunaan metode *batch* berfungsi agar terjadi proses adsorpsi menyeluruh ke bagian zeolit, filtrat yang dihasilkan dianalisis dengan spektrofotometri UV-VIS dengan panjang gelombang 220 nm, penggunaan panjang gelombang 220 nm dikarenakan ion nitrat berada dalam daerah ultra violet

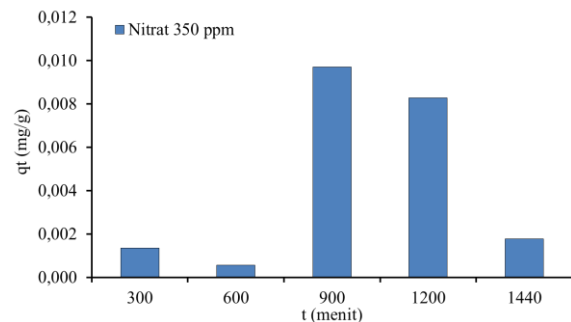
(UV). Hasil adsorpsi ion nitrat (NO₃⁻) oleh ZMS dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



Gambar 3. Adsorpsi Nitrat oleh ZMS

Pada Gambar 3, kapasitas adsorpsi cenderung meningkat dengan bertambahnya konsentrasi adsorbat karena terjadinya peningkatan kompetisi antar adsorbat dengan sisi aktif yang akan menggeser kesetimbangan kearah kompleks anion - sisi aktif [8]. Namun demikian pada konsentrasi 500 ppm setelah waktu perendaman 5 jam kapasitas adsorpsi menurun menjadi 3,619; 3,615; 3,4782 dan 3,2365 mg/g.

Penurunan nilai kapasitas pada konsentrasi tersebut dikarenakan semua permukaan zeolit termodifikasi telah berinteraksi dengan anion nitrat. Berdasarkan grafik tersebut menunjukkan bahwa pada konsentrasi 500 ppm mencapai titik optimum adsorpsi anion nitrat yang terserap sebesar 366,8 ppm dengan kapasitas adsorpsi 3,668 mg/g.



Gambar 4. Adsorpsi Nitrat oleh ZA

Perbandingan kapasitas adsorpsi antara ZMS-Nitrat dan ZA-Nitrat terjadi perbedaan kapasitas yang cukup signifikan, pada ZMS-Nitrat ion nitrat lebih banyak terserap dibandingkan dengan ZA-Nitrat, pada ZMS-Nitrat kapasitas adsorpsi maksimum mencapai 3,668 mg/g sedangkan pada ZA-Nitrat ion nitrat yang terserap maksimum sebesar 0,00972 mg/g pada waktu 900 menit.

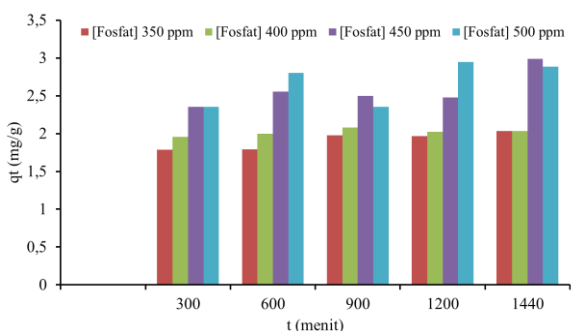
Proses terjadinya penyerapan anion nitrat pada ZMS disebabkan karena adanya interaksi antara surfaktan kationik HDTMA⁺ yang bermuatan positif pada permukaan zeolit dapat berinteraksi dengan anion nitrat yang bermuatan negatif, sehingga terjadi interaksi elektrostatis antar kedua muatan tersebut

Uji Adsorpsi Ion Fosfat

Uji Adsorpsi ion Fosfat dilakukan dengan menggunakan variasi konsentrasi dan variasi waktu

kontak, untuk mengetahui konsentrasi fosfat yang terserap filtrat ditambahkan dengan reagensia ammonium molibdat akan menghasilkan warna kuning ,karena membentuk kompleks $(NH_4)_3[P(Mo_3O_{10})_4]$,setelah itu direduksi dengan asam askorbat menghasilkan reagen berwarna biru.

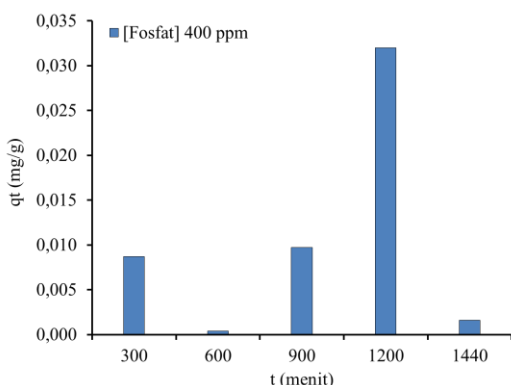
Filtrat dianalisis menggunakan Spektrofotometri UV-VIS dengan panjang gelombang 896,4 nm, penggunaan panjang gelombang tersebut karena fosfat berada dalam rentang panjang gelombang cahaya tampak yang berwarna biru setelah dikomplekskan reagensia ammonium molibdat dan direduksi dengan asam askorbat. Hasil dari penyerapan anion fosfat menggunakan ZMS dapat dilihat pada grafik berikut ini:



Gambar 5. Adsorpsi Fosfat oleh ZMS

Grafik tersebut menunjukkan bahwa ZMS dapat mengikat anion fosfat $H_2PO_4^-$, muatan negatif pada anion fosfat telah berikatan dengan muatan positif dari surfaktan kationik, ditandai dengan peningkatan kapasitas adsorpsi seiring dengan kenaikan konsentrasi.

Peningkatan kapasitas adsorpsi seiring dengan bertambahnya konsentrasi dan waktu adsorpsi, namun dari grafik tersebut pada konsentrasi 500 ppm mengalami penurunan kapasitas adsorpsi dari 2,99477 mg/g menjadi 2,887 mg/g , hal ini dikarenakan seluruh permukaan zeolit termodifikasi telah berinteraksi dengan anion fosfat. Hasil adsorpsi yang maksimal pada adsorpsi fosfat terjadi pada konsentrasi 500 ppm pada waktu 20 jam, hal ini dikarenakan pada konsentrasi tersebut masih ada permukaan ZMS yang belum berikatan dengan anion fosfat



Gambar.6 Adsorpsi Fosfat oleh ZA

Perbandingan antara ZMS-fosfat dengan ZA-fosfat pada grafik diatas menyatakan bahwa pada ZMS-fosfat

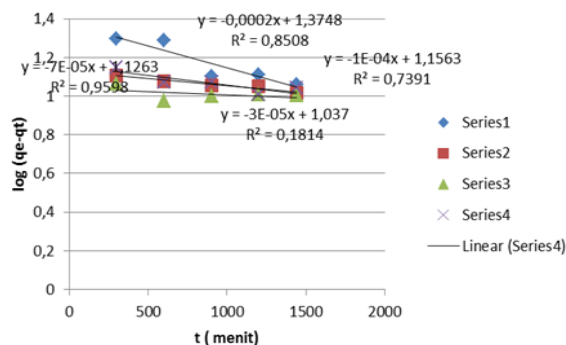
nilai kapasitas adsorpsi jauh lebih besar dibandingkan ZA-fosfat, pada ZA-fosfat adsorpsi maksimum dicapai sebesar 0,0385 mg/g sedangkan pada ZMS-fosfat adsorpsi maksimum yang dicapai sebesar 2,9947 mg/g.

Proses terjadinya adsorpsi pada ZA terjadi karena ion-ion hanya terjebak pada permukaan luar zeolit tanpa terbentuknya ikatan, hal ini yang menyebabkan bahwa kapasitas adsorpsi pada ZA jauh lebih sedikit, sedangkan pada ZMS proses adsorpsi anion-anion terjadi karena adanya ikatan elektrostatik antara ion positif surfaktan dipermukaan zeolit dengan ion fosfat yang bermuatan negatif.

Kinetika Adsorpsi Ion Nitrat dan Fosfat

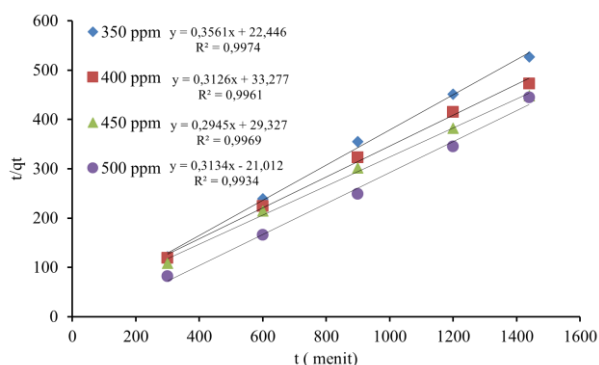
Model kinetika digunakan untuk mengetahui kecepatan proses adsorpsi dan tahapan yang mengontrol pada proses adsorpsi. Data kinetika yang didapat yang berupa kapasitas adsorpsi, yang dapat diperoleh melalui pemodelan dengan menggunakan model orde pertama semu dan orde kedua dua semu. Untuk mengetahui model kinetika yang sesuai untuk sistem adsorpsi ion nitrat dan fosfat pada gugus N^+ surfaktan pada permukaan aktif zeolit, maka perlu dilukiskan hubungan antara konsentrasi Nitrat dan Fosfat yang teradsorpsi dan setimbang terhadap waktu.

Grafik perbandingan model kinetika orde 1 semu dan orde 2 semu pada ZMS-fosfat dan ZMS-nitrat dilihat dari gambar Berikut ini:



Gambar 7. Hubungan kapasitas adsorpsi

ZMS-Fosfat terhadap waktu pada konsentrasi 350-500 ppm untuk model kinetika orde 1 semu



Gambar 8. Hubungan kapasitas adsorpsi ZMS-Fosfat terhadap waktu pada konsentrasi 350-500 ppm untuk model kinetika orde 2 semu

Model persamaan kinetika orde pertama dan orde kedua semu dilakukan dengan membuat grafik hubungan antara t dengan log (qe-qt) serta antara t dengan (t/qt) sebagai persamaan Lagergren. Hasil perhitungan grafik akan diperoleh nilai konstanta kecepatan adsorpsi (k) baik orde 1 semu ataupun orde 2 semu. Hasil perhitungan kinetika ZMS-Nitrat dan ZMS-fosfat ditampilkan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1: Hasil perhitungan kinetika ZMS-Nitrat dan ZMS-fosfat

Adsorbat	qe (ppm)	Orde 1 Semu		Orde 2 semu	
		ki (menit ⁻¹)	R ²	kz (g/mg.min)	R ²
ZA-Nitrat	400	6,909x10 ⁻⁴	0,9352	4 x 10 ⁻²	0,9995
ZMS-NITRAT	350	2,303 x 10 ⁻⁴	0,9383	0,00564	0,9974
	400	4,606 x 10 ⁻⁴	0,9894	0,00293	0,9961
	450	2,303 x 10 ⁻⁴	0,9682	0,00334	0,996
	500	16,121 x 10 ⁻⁵	0,7634	0,0046744	0,9934
ZA-fosfat	350	1,157x10 ⁻¹	0,8567	0,036	0,9934
ZMS-FOSFAT	350	4,606x10 ⁻⁴	0,8508	0,00604	0,9973
	400	16,121x10 ⁻⁵	0,9598	0,01572	0,9995
	450	6,909x10 ⁻⁵	0,1814	0,1154	0,9994
	500	2,303x10 ⁻⁴	0,7391	0,006935	0,9974

Analisis orde pertama semu, diperoleh kelinearan dengan koefisien korelasi (r) yang lebih kecil dibandingkan orde kedua, sehingga persamaan kinetika orde pertama semu kurang sesuai untuk diterapkan sebagai model kinetika adsorpsi untuk kedua senyawa tersebut, dengan rentang 0,7634-0,9894 untuk nitrat dan 0,1814-0,9598 untuk fosfat.

Peningkatan kecepatan adsorpsi pada ZMS-fosfat meningkat seiring dengan besarnya konsentrasi, tetapi pada konsentrasi 500 ppm kecepatan adsorpsi menurun dengan ditandai menurunnya konstanta laju adsorpsi dari 0,1154 g/mg.min menjadi 0,0066935 g/mg.min penurunan kecepatan adsorpsi dikarenakan semua sisi aktif telah berinteraksi dengan ion fosfat, sehingga kecepatan adsorpsi menurun. Dengan demikian konstanta laju adsorpsi pada konsentrasi diatas 450 ppm hanya bergantung dengan migrasi ion fosfat dalam fase cairan pada permukaan kompleks adsorben-adsorbat [9]. Hasil diatas dapat memperlihatkan bahwa kemampuan menyerap anion fosfat paling cepat adalah pada zeolit yang sudah termodifikasi (ZMS) yaitu pada konsentrasi 450 ppm dengan nilai konstanta laju adsorpsi semu 2 (k2) 0,115 g/mg.min, Hal tersebut disebabkan karena adanya interaksi elektrostatik antara fosfat dengan surfaktan pada ZMS.

Perbandingan kecepatan antara ZMS-fosfat dengan ZA-fosfat, terjadi perbedaan kecepatan adsorpsi, kecepatan adsorpsi pada ZA-fosfat lebih cepat dibandingkan dengan ZMS-fosfat, pada ZA-fosfat 350 ppm kecepatan adsorpsi sebesar 0,036 g/mg.min, sedangkan pada ZMS-fosfat konstanta laju adsorpsi sebesar 0,00604 g/mg.min, perbedaan konstanta laju adsorpsi ini disebabkan karena pada ZA-fosfat adsorpsi yang terjadi tidak membutuhkan proses pembentukan ikatan, melainkan adsorpsi hanya terjebak pada rongga-rongga zeolit sehingga tidak membutuhkan waktu yang lama untuk mengadsorpsi anion.

Konstanta laju adsorpsi ZMS-Nitrat menurun seiring dengan bertambahnya konsentrasi nitrat, pada ZMS-Nitrat konstanta laju adsorpsi menurun pada konsentrasi 450 ppm, dan 500 ppm sebesar 0,00334

g/mg.min dan 0,0046744 g/mg.min dari 0,00293 pada konsentrasi 400 ppm.

Penurunan konstanta laju adsorpsi tersebut dikarenakan permukaan zeolit termodifikasi sudah mencapai batas maksimal menyerap anion nitrat, sehingga proses penyerapan adsorpsi diatas konsentrasi 400 ppm hanya bergantung pada migrasi ion nitrat dalam fase cairan kepada permukaan kompleks adsorben-adsorbat [9], dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa laju adsorpsi maksimum terdapat pada konsentrasi 400 ppm dengan konstanta laju adsorpsi sebesar 0,00294 g/mg.min

Konstanta laju adsorpsi pada ZA-Nitrat pada 400 ppm lebih besar dibandingkan dengan ZMS-Nitrat pada 400 ppm, pada ZA-Nitrat konstanta laju adsorpsi didapat 9 x 10⁻² g/mg.min, sedangkan pada ZMS-Nitrat 0,00294 g/mg.min, hal ini dikarenakan pada ZMS-Nitrat proses adsorpsi terjadi ikatan antara surfaktan dengan anion nitrat, ikatan yang terjadi yaitu ikatan elektrostatik, sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan ZA-Nitrat yang proses adsorpsinya hanya melalui proses terjebaknya anion tidak melalui pembentukan interaksi antar muatan.

4. Kesimpulan

Besarnya konstanta laju adsorpsi optimum untuk ion fosfat adalah 0,1154 g/mg.min. Besarnya konstanta laju adsorpsi optimum untuk ion nitrat adalah 0,00293g/mg.min. Persamaan Kinetika Adsorpsi Anion Nitrat dan Fosfat mengikuti Persamaan orde 2 semu

5. Daftar Pustaka

- [1] Lan Wu, Mingzhu Liu, Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention, *Carbohydrate Polymers*, 72, 2, (2008) 240-247 <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.08.020>
- [2] Zuohao Ma, Qian Li, Qinyan Yue, Baoyu Gao, Wenhong Li, Xing Xu, Qianqian Zhong, Adsorption removal of ammonium and phosphate from water by fertilizer controlled release agent prepared from wheat straw, *Chemical Engineering Journal*, 171, 3, (2011) 1209-1217 <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2011.05.027>
- [3] Vinay Kumar Jha, Shigeo Hayashi, Modification on natural clinoptilolite zeolite for its NH₄⁺ retention capacity, *Journal of Hazardous Materials*, 169, 1, (2009) 29-35 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.052>
- [4] Raheleh Malekian, Jahangir Abedi-Koupai, Sayed Saeid Eslamian, Sayed Farhad Mousavi, Karim C. Abbaspour, Majid Afyuni, Ion-exchange process for ammonium removal and release using natural Iranian zeolite, *Applied Clay Science*, 51, 3, (2011) 323-329 <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2010.12.020>
- [5] RS Bowman, Surfactant Modified Zeolite (SMZ)-A Versatile, Inexpensive Sorbent For Removing Contaminant From Water, *New Mexico Institute*, (2000)
- [6] M. Rubai, Modifikasi Zeolit Alam Dengan Surfaktan Hexadecyltrimethyl-ammonium (HDTMA⁺) Sebagai

Adsorben Bakteri Escherichia coli Dan Staphylococcus aureus, Departemen Kimia, Universitas Diponegoro, Semarang

- [7] Santosh Kumar Verma, Manas Kanti Deb, Direct and rapid determination of sulphate in environmental samples with diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy using KBr substrate, *Talanta*, 71, 4, (2007) 1546-1552 <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2006.07.056>
- [8] Susmita Sen Gupta, Krishna G. Bhattacharyya, Immobilization of Pb(II), Cd(II) and Ni(II) ions on kaolinite and montmorillonite surfaces from aqueous medium, *Journal of Environmental Management*, 87, 1, (2008) 46-58 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.048>
- [9] Bin Yu, Y. Zhang, Alka Shukla, Shyam S. Shukla, Kenneth L. Dorris, The removal of heavy metal from aqueous solutions by sawdust adsorption — removal of copper, *Journal of Hazardous Materials*, 80, 1, (2000) 33-42 [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3894\(00\)00278-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3894(00)00278-8)