

Adsorpsi Senyawa Fosfat Total (PO_4) dalam Air Buangan Laundry dengan Zeolit Termodifikasi

Adsorption of Total Phosphate (PO_4) in Laundry's Wastewater Using Modified Zeolit

Ruslan Wirosoedarmo ^{1*}, Evi Kurniati ¹, dan Adriel Juan Ardika²

¹Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran Malang 65145

²Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Brawijaya, Jl Veteran Malang 65145

*Email Korespondensi : ruslanwirosoedarmo@yahoo.co.id

ABSTRAK

Permasalahan kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh limbah yang dihasilkan oleh industri *laundry* adalah buangan cair yang mengandung senyawa fosfat. Kelebihan fosfat dalam air menyebabkan eutrofikasi. Wiranas adalah salah satu penyedia jasa *laundry* di kota Malang dan berdasar hasil uji laboratorium, air buangannya mengandung fosfat total sebesar 1,011 mg/L, dimana melebihi dari baku mutu yang telah ditetapkan dalam PP no.82 tahun 2001. Salah satu teknik yang dapat mengurangi kadar fosfat dalam air yaitu adsorpsi dengan zeolit. Zeolit alam memiliki beberapa kelemahan sehingga perlu dimodifikasi. Modifikasi zeolit pada penelitian ini menggunakan pencucian dengan larutan asam klorida dan air suling. Pencucian ini bertujuan untuk menghilangkan ion kalsium dan klor pada permukaan zeolit yang dapat menurunkan kemampuannya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kapasitas adsorpsi fosfat total dari zeolit termodifikasi, model adsorpsi dan efeknya berdasarkan variasi massa adsorben dan kecepatan pengadukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa zeolit termodifikasi mampu menyerap fosfat dengan efisiensi sebesar 47,56 - 71,93% dan model adsorpsinya mengikuti model Freundlich. Efek dari variasi massa adsorben dan kecepatan pengadukan tidak berpengaruh nyata berdasar uji ANOVA dengan alfa 5%.

Kata Kunci : bioremediasi, *Chlorella sp.*, kepadatan sel, krom total

ABSTRACT

Environmental harm problem caused by the laundry industry as a result of wastewater that produced containing phosphate. Excess phosphate content in water body causes eutrophication. Wiranas is one of laundry service in Malang city and according to laboratory, the wastewater contain 1,011 mg/L phosphate, which is exceed standard quality of Law no.82 year 2001. One of the methods that can be applied to eliminate phosphate on the wastewater is adsorption using zeolit. Natural zeolit have some weakness to adsorb pollutant so it needs to be modified. Modification of natural zeolit in this research using acid chloride and aquades washing. This washing is for reduce calcium and chloride ions on the zeolit's surface who can decrease zeolit's potential. The aim of this research is to know the capacity of phosphate adsorption by modified zeolit, adsorption isotherm's model and its relation with the adsorbent's dose and mixing velocity. The results show that modified zeolit could adsorb phosphate with efficiency 47,56 - 71,93% and its adsorption isotherm conformed to Freundlich model. Effect of adsorbent's dose and mixing velocity to the adsorption of phosphate was not significantly different by ANOVA test with alpha 5%

Keyword : bioremediation, cells density, *Chlorella sp.*, total chromium

PENDAHULUAN

Jasa *laundry* telah menjadi bisnis yang berkembang pesat terutama di kota - kota besar. Jasa *laundry* memberi dampak yang positif bagi pelaku dan pengguna jasa. Di samping memiliki dampak positif, jasa *laundry* juga memiliki dampak negatif yaitu salah satunya berupa kerusakan lingkungan akibat buangan langsung dari limbah cair *laundry* ke badan air. Menurut Yunarsih (2013), air buangan *laundry* mengandung fosfat yang berasal dari deterjen. Menurut Reynolds (1993), fosfat bersama dengan nitrogen dapat menyebabkan proses eutrofikasi dimana badan air menjadi kaya akan nutrisi terlarut dan akan mengakibatkan menurunnya kandungan oksigen terlarut.

Teknik pengolahan yang dapat dilakukan untuk menurunkan kadar senyawa fosfat dalam air buangan adalah adsorpsi. Menurut Rini dan Lingga (2010), adsorpsi adalah peristiwa menyentuh dan melekatnya molekul - molekul gas atau cair dengan permukaan padatan. Fosfat dan senyawa - senyawa lainnya dapat terjebak dalam pori - pori pada permukaan adsorben. Proses adsorpsi terhadap suatu senyawa dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain suhu & pH lingkungan, karakteristik unsur yang diadsorpsi, jenis & jumlah adsorben, dan perlakuan selama adsorpsi seperti waktu kontak dan kecepatan pengadukan.

Adsorben yang sering digunakan dalam proses adsorpsi adalah batuan zeolit. Menurut Suryawan (2004), Zeolit adalah kelompok mineral berkerangka alumina - silika yang pada umumnya dijumpai dalam batuan tufa yang terbentuk dari hasil sedimentasi debu vulkanik. Dalam penelitian oleh Kewei (2014), zeolit alam mampu menyerap senyawa fosfat, akan tetapi zeolit alam memiliki beberapa kelemahan yaitu diantaranya masih mengandung kadar pengotor seperti air yang dapat menutupi pori - pori permukaan dan ion - ion pengganggu seperti Ca^{2+} dan Mg^{2+} . Kemampuan adsorpsi zeolit dapat dimaksimalkan dengan cara pencucian oleh larutan asam klorida dan air suling. Fungsi pencucian ini adalah untuk menghilangkan ion - ion

pengotor pada permukaan zeolit yaitu ion Ca^{2+} dan Cl^- .

Proses adsorpsi pada suatu perlakuan dapat dijelaskan melalui model isoterm adsorpsi. Isoterm adsorpsi menunjukkan hubungan kesetimbangan antara konsentrasi adsorbat dalam fluida dan dalam permukaan adsorben pada suhu tetap. Persamaan yang dapat digunakan untuk menjelaskan isoterm adsorpsi adalah Langmuir, Freundlich, dan Dubinin - Radushkevich. Model isoterm Langmuir. Menurut Shahbeig *et al.* (2013) model isoterm adsorpsi Langmuir didasarkan pada beberapa asumsi yaitu proses adsorpsi terjadi pada lapisan tunggal (*monolayer*), hanya mengambil tempat pada situs homogen yang spesifik, adsorben mempunyai batas kapasitas adsorpsi yaitu saat mencapai kesetimbangan, tidak ada interaksi molekul antar situs - situs aktif, dan semua sisi aktif hanya dapat menyerap satu jenis atom atau molekul. Menurut Srivastava dan Hasan (2011), model isoterm adsorpsi Freundlich menyatakan bahwa pori - pori yang terbentuk pada adsorben bersifat heterogen sehingga ion - ion yang teradsorpsi membentuk lapisan *multilayer* pada lapisan permukaan adsorben. Model ini juga menyatakan bahwa situs - situs aktif mempunyai energi adsorpsi yang berbeda - beda, situs yang memiliki energi adsorpsi terbesar akan terisi penuh dahulu. Menurut Dada *et al.* (2012), persamaan Dubinin - Radushkevich berdasarkan teori pengisian lubang mikropori dengan gas untuk menentukan volume lubang mikropori pada adsorben. Menurut Itodo dan Itodo (2010), isoterm Dubinin - Radushkevich berasumsi bahwa perbedaan energi adsorpsi pada permukaan adsorben berkaitan dengan karakteristik dari porositas adsorben.

BAHAN DAN METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian yaitu metode eksperimental. Metode pengambilan sampel limbah cair yang digunakan yaitu metode *grab sample*. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap 2 faktorial yaitu faktor massa adsorben dengan variasi 0,5 ; 1 ; 1,5 g dan kecepatan pengadukan dengan variasi 80 ;

160 ; 240 rpm. Hasil penelitian diuji secara statistika menggunakan ANOVA untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan pada tiap perlakuan. Adapun zeolit yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari daerah Malang selatan.

Pengambilan dan pengujian kadar awal fosfat limbah cair industri laundry

Pengambilan sampel limbah cair dilakukan pada outlet industri laundry Wiranas. Pengambilan sampel dilakukan pada tanggal 6 Maret 2017 pada jam 10.10 Setelah limbah cair diambil lalu dilakukan pengujian kadar krom total pada Laboratorium Lingkungan PJT 1 Malang. Pengujian fosfat total berdasarkan SNI 19-2483-1991.

Modifikasi zeolit

Zeolit yang digunakan merupakan zeolit yang berasal dari daerah Malang selatan dengan diameter 1 - 3 mm. Zeolit dihaluskan hingga ukuran 60 mesh. Diambil 100 g untuk dimodifikasi. Zeolit kemudian dicuci dengan larutan HCl 5% yang berfungsi untuk membebaskan permukaan zeolit dari ion Ca^{2+} . Zeolit harus bebas dari ion Ca^{2+} , sehingga perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui masih ada tidaknya ion Ca^{2+} . Berikut langkah - langkah pengujian ion Ca^{2+} menurut Wilson (2010):

1. Dicuci zeolit alam dengan 40 ml larutan HCl 5%
2. Diambil 1 gram zeolit yang telah dicuci HCl dan dimasukkan ke dalam gelas ukur 50 ml. Ditambahkan 10 ml air suling dan diaduk hingga larut lalu ditambahkan lagi hingga tanda tera.
3. Ditambahkan larutan NaOH 0,1 M hingga mencapai pH 10.
4. Ditambahkan 3 tetes larutan indikator EBT 5%.
5. Dititrasi dengan 10 ml larutan EDTA 0,01 M.
6. Dilakukan pengulangan dengan pencucian kembali 40 ml larutan HCl 5% hingga larutan tidak mengalami perubahan warna setelah dititrasi 10 ml larutan EDTA 0,01 M.

Zeolit yang telah terbebas dari ion Ca^{2+} dicuci dengan air suling dengan tujuan untuk menghilangkan ion Cl^- pada

permukaan zeolit Zeolit harus bebas dari ion Cl^- , sehingga perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui masih ada tidaknya ion Cl^- . Berikut langkah - langkah pengujian ion Cl^- menurut Skoog (1996). Pe

1. Dicuci zeolit yang telah lolos uji Ca dengan 50 ml air suling
2. Diambil 1 gram zeolit yang telah dicuci air suling dan dimasukkan ke dalam gelas ukur 50 ml. Ditambahkan 10 ml air suling dan diaduk hingga larut lalu ditambahkan lagi hingga tanda tera.
3. Ditambahkan larutan NaOH 0,1 M hingga mencapai pH 7
4. Ditambahkan 1 ml larutan indikator K_2CrO_4 0,2 M.
5. Dititrasi dengan 10 ml larutan AgNO_3 0,1 mol/liter
6. Dilakukan pengulangan dengan pencucian kembali 50 ml air suling hingga larutan tidak mengalami perubahan warna setelah dititrasi 10 ml larutan AgNO_3 0,1 mol/liter.

Zeolit yang telah terbebas dari ion Cl^- dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 6 jam untuk menghilangkan kadar air dalam pori - pori permukaan

Perlakuan adsorpsi sistem batch

Zeolit termodifikasi dengan variansi massa sebesar 0,5; 1; dan 1,5 gr ke dalam botol kaca 140 ml. Dilanjutkan dengan dimasukkannya 50 ml sampel ke dalam botol dan dicampur dengan cara diaduk dengan menggunakan *shaker* selama 3 jam dengan kecepatan 80; 160; dan 240 rpm, dibiarkan hingga setimbang dalam 48 jam pada suhu $25 \pm 3^\circ\text{C}$ dan dilanjutkan dengan diberi gaya sentrifugal menggunakan alat *sentrifuge* selama 9 menit dengan kecepatan putaran 4.500 rpm. Setiap perlakuan dilakukan secara triplo.

Pengujian kadar akhir fosfat

Sampel cair yang telah terpisah dari endapan kemudian diuji kandungan fosfat total. Pengujian kadar fosfat total dalam sampel setelah proses adsorpsi dilakukan di Laboratorium Lingkungan PJT 1 Malang. Pengujian fosfat total berdasarkan SNI 19-2483-1991.

Analisa Data

Data hasil penelitian dihitung nilai persen *removal* dengan persamaan:

$$\% \text{ teradsorpsi} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Dimana C_0 adalah Konsentrasi Awal fosfat (mg/L) dan C_e adalah konsentrasi akhir fosfat (mg/L). Jumlah adsorbat terserap per massa padatan saat setimbang/ Q_e (mg/g) dicari dengan persamaan:

$$Q_e = (C_0 - C_e) \times V / m \dots\dots\dots(2)$$

Dimana V adalah volume limbah cair yang diberi perlakuan (l) dan m adalah massa adsorben (g). Konstanta isotherm model Dubinin-Radushkevich/ ϵ dicari dengan persamaan:

$$\epsilon = R T \ln \left[1 + \frac{1}{C_e} \right] \dots\dots\dots(3)$$

Dimana R adalah tetapan gas universal yaitu sebesar 8.314 J/mol K dan T adalah suhu selama adsorpsi (K). Dibuat 3 grafik dengan menggunakan program Ms. Excel 2010 yaitu grafik hubungan C_e/Q_e Vs. Q_e untuk menentukan persamaan isotherm adsorpsi Langmuir, grafik hubungan $\ln Q_e$ Vs. $\ln C_e$ untuk menentukan persamaan isotherm adsorpsi Freundlich, dan grafik hubungan $\ln Q_e$ Vs. ϵ^2 untuk menentukan persamaan isotherm adsorpsi Dubinin - Radushkevich. Dari persamaan yang telah didapat dipilih persamaan dengan nilai koefisien korelasi (R^2) paling mendekati "1" untuk menentukan apakah proses adsorpsi yang telah terjadi lebih cenderung ke model isotherm adsorpsi Langmuir, Freundlich, atau Dubinin - Radushkevich

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan Fosfat Total Awal Limbah Cair Laundry

Sampel air mengandung konsentrasi fosfat total sebesar 1,011 mg/L yang melebihi dari batas baku mutu dalam Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 yaitu sebesar 0,2 mg/L. Menurut Yunarsih (2013), limbah cair *laundry* mengandung deterjen sisa pencucian. Deterjen mengandung fosfat yang berfungsi sebagai builder untuk menghilangkan mineral kesadahan dalam air sehingga deterjen dapat bekerja secara optimal. Menurut

Widiyani (2010), keberadaan fosfat yang berlebihan di badan air mengakibatkan eutrofikasi. Kondisi eutrofik ini mengakibatkan alga dapat berkembang - biak dengan pesat dan tentunya membutuhkan kadar oksigen yang lebih besar untuk kebutuhan energinya. Pasokan oksigen untuk makhluk hidup akuatik lainnya pun berkurang akibat ledakan populasi alga tersebut dan dapat mengganggu keseimbangan ekosistem.

Zeolit Termodifikasi

Zeolit yang digunakan berasal dari daerah Malang selatan yang secara umum menurut Widayat *et al.* (2013) merupakan jenis *modernite*. Zeolit dihaluskan menjadi 60 mesh dengan tujuan memperluas permukaan bidang kontak adsorben sehingga mampu mempercepat proses adsorpsi. Zeolit yang telah dihaluskan dengan dimodifikasi dengan pencucian oleh larutan HCl 5% dan air suling hingga terbebas dari ion - ion pengotor, yaitu ion Ca^{2+} dan Cl^- . Kualitas zeolit yang ada menunjukkan bahwa untuk membuat 100 gram zeolit termodifikasi dibutuhkan pencucian larutan HCl 5% sebanyak 120 ml dan air suling sebanyak 200 ml. Menurut Eddy (2010), jenis kation yang dapat dipertukarkan pada tiap zeolit berbeda - beda tergantung jenisnya. Jenis kation yang dapat dipertukarkan oleh zeolit jenis *klipnotile* dan *modernite* adalah ion Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , dan Mg^{2+} . Kemampuan kation - kation tersebut dalam mengikat atau menarik anion polutan sangat rendah seperti ion Ca^{2+} , yang memiliki nilai keelektronegatifan hanya 1,00 dan ion Mg^{2+} sebesar 1,31. Untuk meningkatkan kemampuan menarik dan menyerapnya, maka kation - kation tersebut perlu disubstitusi dengan kation yang memiliki gaya tarik yang lebih kuat seperti ion H^+ yang memiliki nilai keelektronegatifan sebesar 2,20.

Pengamatan Suhu Limbah Selama Perlakuan

Hasil pengamatan suhu sampel limbah cair selama proses proses adsorpsi dengan zeolit termodifikasi berada pada rentang 26 - 26,4°C. Menurut Kewei (2014) menyatakan bahwa kondisi optimum

adsorpsi fosfat dengan zeolit termodifikasi harus berlangsung pada suhu $25 \pm 3^\circ\text{C}$.

Kemampuan Zeolit Termodifikasi dalam Mengurangi Fosfat Total dalam Limbah Cair Laundry

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan konsentrasi fosfat total

pada sampel air sebelum dan sesudah diberi perlakuan adsorpsi dengan menggunakan zeolit termodifikasi. Zeolit termodifikasi mampu menurunkan kadar fosfat total. Konsentrasi fosfat total setelah proses adsorpsi dan hasil uji ANOVA terlihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Rerata Konsentrasi Fosfat Total Sebelum dan Sesudah Adsorpsi

Massa (g)	Perlakuan		Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Persen Removal (%)
	Kecepatan Pengadukan (rpm)				
0.5	80		1,010	$0,526 \pm 0,03^a$	47,96
	160		1,010	$0,530 \pm 0,19^a$	47,56
	240		1,010	$0,485 \pm 0,16^a$	52,01
1	80		1,010	$0,351 \pm 0,06^a$	65,30
	160		1,010	$0,284 \pm 0,08^a$	71,93
	240		1,010	$0,494 \pm 0,08^a$	51,15
1.5	80		1,010	$0,374 \pm 0,05^a$	63,03
	160		1,010	$0,416 \pm 0,32^a$	58,81
	240		1,010	$0,305 \pm 0,18^a$	69,82

Tabel 2 Hasil Uji ANOVA

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F_{hitung}	$F_{tabel\ 0,05}$
M	2	0,124	0,061	2,569	3,55
V	2	0,001	0,001	0,031	3,55
M x V	4	0,090	0,023	0,938	2,93
Galat	18	0,433	0,024	-	-
Jumlah	26	0,648	-	-	-

Keterangan: M = Massa adsorben; V = Kecepatan pengadukan

Hasil uji ANOVA pada Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai konsentrasi akhir fosfat total di setiap perlakuan adsorpsi berdasarkan perbedaan massa adsorben dan kecepatan pengadukan tidak berbeda signifikan, hal ini terlihat dari nilai F_{hitung} pada setiap faktor lebih kecil dari nilai pada $F_{tabel\ 0,05}$. Menurut Rojikhi (2011) dalam penelitiannya menyatakan bahwa semakin banyak jumlah adsorben yang digunakan maka penyerapan adsorbat semakin banyak pula, hal ini terjadi karena banyak terdapat ruang -

ruang kosong pada permukaan adsorben serta gugus - gugus yang aktif mengikat ion. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan pada variansi massa adsorben, hal ini dikarenakan menurut Teka dan Enyew (2014), dan Dhillon *et al.* (2016) dosis adsorben yang diberikan terlalu besar dapat menyebabkan penurunan kadar zat yang mampu diadsorpsi. Penurunan ini disebabkan karena perbedaan jumlah gugus - gugus aktif yang mampu menyerap adsorbat terutama pada perlakuan dengan

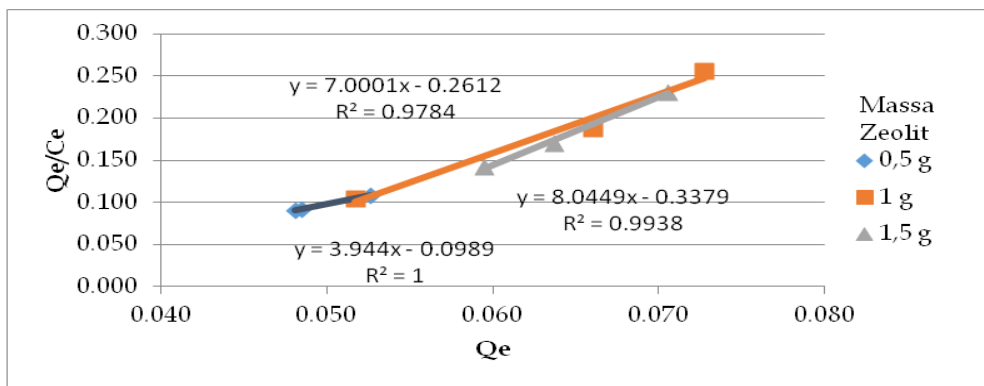
dosis adsorben yang tinggi. Adsorben yang memiliki jumlah gugus aktif yang lebih sedikit menyebabkan adsorben cenderung lebih cepat mencapai titik kesetimbangan apabila dibandingkan dengan adsorben yang memiliki jumlah gugus aktif yang lebih banyak.

Menurut Afrianita *et al.* (2012) menyatakan bahwa kecepatan pengadukan juga berperan penting dalam proses adsorpsi atom atau molekul. Semakin rendah kecepatan pengadukan maka proses adsorpsi berjalan semakin lambat akan tetapi jika kecepatan pengadukan terlalu tinggi akan mengakibatkan adsorbat akan terlepas kembali ke dalam larutan. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa kecepatan pengadukan tidak berpengaruh signifikan terhadap penurunan fosfat total. Hasil penelitian ini sama seperti hasil penelitian oleh Sanjaya dan Agustine (2015) yang menunjukkan bahwa perbedaan kecepatan pengadukan tidak memberi pengaruh yang signifikan terhadap penurunan kadar adsorben.

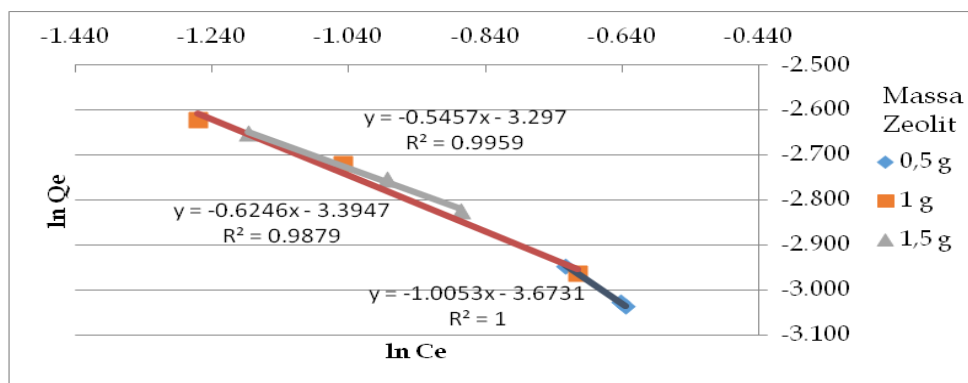
Ketidaksignifikan konsentrasi akhir fosfat total berdasarkan perbedaan massa adsorben dan kecepatan pengadukan setelah proses adsorpsi menurut He *et al.* (2016), dikarenakan banyaknya anion atau unsur - unsur pengganggu seperti ion CO_3^{2-} . konsentrasi ion CO_3^{2-} yang tinggi dalam sampel air dapat menurunkan kemampuan adsorpsi fosfat secara tajam dari 93% menjadi 14%. Ion pengganggu lainnya menurut Yang *et al.* (2006) yaitu SO_4^{2-} , dan Cl^- . Faktor pH juga sangat berpengaruh dalam penurunan fosfat menurut He *et al.* (2016), Alshameri *et al.* (2013), dan Kewei (2014). Zeolit dalam air dengan pH rendah memiliki ikatan positif sehingga mampu mengikat anion - anion fosfat seperti H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} .

Isoterm Adsorpsi

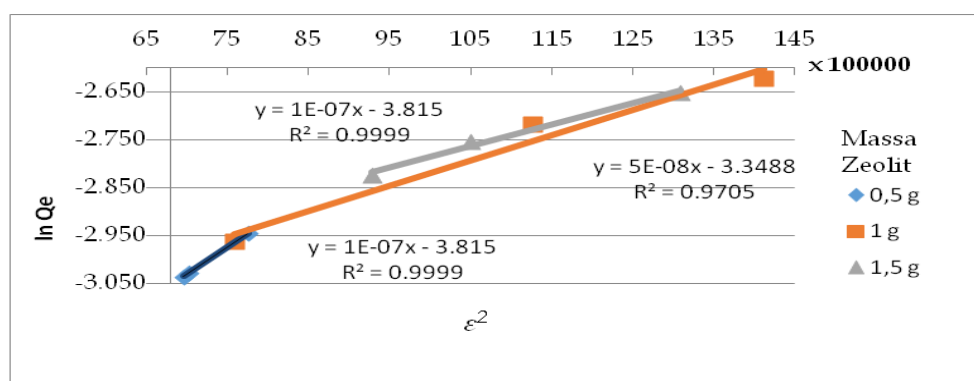
Isoterm adsorpsi menjelaskan mekanisme adsorpsi. Grafik model isoterm adsorpsi Langmuir, Freundlich, dan Dubnin - Radushkevich berdasarkan perbedaan massa adsorben tersaji pada Gambar 1 hingga Gambar 3.



Gambar 1 Grafik Persamaan Linier Langmuir



Gambar 2 Grafik persamaan linier Freundlich



Gambar 3 Grafik persamaan linier Dubinin - Radushkevich

Dari grafik pada Gambar 1 hingga Gambar 3, mekanisme adsorpsi yang terjadi cenderung mengikuti model Freundlich. Menurut Srivastava dan Hasan (2011), model isoterm adsorpsi Freundlich menyatakan bahwa pori - pori yang terbentuk pada adsorben bersifat heterogen sehingga ion - ion yang teradsorpsi membentuk lapisan *multilayer* pada lapisan permukaan adsorben. Hal ini menunjukkan bahwa tidak hanya fosfat yang terjerap dalam permukaan adsorben tetapi ada ion - ion lain sehingga zeolit membentuk lapisan *multilayer*

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianita, R., Dewilda, Y dan Fitri, R., 2012. Studi Penentuan Kondisi Optimum Fly Ash sebagai Adsorben dalam Menyisihkan Logam Berat Timbal (Pb). *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND* Vol. 9, No. 1.
- Alshameri, A., Yan, C., Lei, X. 2013. Enhancement of Phosphate Removal from Water by TiO₂ / Yemeni Natural Zeolite: Preparation, Characterization and Thermodynamic. *Microporous and Mesoporous Materials* Vol. 196.
- Dada, A.O., Olalekan, A.P., Olatunya, A.M., dan Dada, O. 2012. Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin-Radushkevich Isotherms Studies of Equilibrium Sorption of Zn²⁺ Unto Phosphoric Acid Modified Rice Husk. *IOSR Journal of Applied Chemistry (IOSR-JAC)* Vol. 3, No. 1.
- Dhilon, A., Sharma, T., Soni, S., dan Kumar, D. 2016. Fluoride adsorption on a cubical ceria nanoadsorbent: Function of surface properties. *RSC Advances Journal* Vol. 6, No. 92.
- Eddy, H. 2004. Potensi dan Pemanfaatan Zeolit di Propinsi Jawa Barat dan Banten. *Sumber Daya Mineral Republik Indonesia*.
- He, Y., Lin, H., Dong, Y., Liu, Q., Wang, L. 2016. Simultaneous removal of ammonium and phosphate by alkaline-activate and lanthanum-impregnated zeolite. *Chemosphere* Vol. 164.
- Itodo, A.U. dan Itodo, H.U. 2010. Sorption Energies Estimation Using Dubinin-Radushkevich and Temkin Adsorption Isotherms. *Life Science Journal*, Vol. 7, No. 4.
- Kewei, Hu. 2014. Effects of Modified Zeolit on Adsorption and Desorption of Phosphorus. *Journal of Meteorological and Enviromental Research* Vol. 5, No. 6.
- Rojikhi. 2011. *Pemanfaatan Hasil Pirolysis Bulu Ayam Sebagai Adsorben Ion Na dan Fe dalam Larutan Simulasi*. Tugas Akhir. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah
- Sanjaya, A. S. Dan Agustine, R. P. 2015. Studi Kinetika Adsorpsi Pb menggunakan Arang Aktif dari Kulit Pisang. *Jurnal Konversi* Vol. 4, No. 1. Samarinda: Universitas Mulawarman.
- Shahbeig, H., Bagheri, N., Ghorbanian, S. A., Hallajisani, A., Poorkarimi, S. 2013. A new adsorption isotherm model of aqueous solutions on

- granular activated carbon. *World Journal of Modelling and Simulation* Vol. 9, No. 4
- Skoog, D. A., West D. M., Holler F. J. 1996. *Fundamentals of Analytical Chemistry*, 7th Ed., Thompson Learning, USA.
- Srivastava, P. dan Hasan, S.H. 2011. Biomassa of *Mucor Heimalis* for The Biosorption of Cadmium from Aqueous Solutions: Equilibrium And Kinetic Studies. *Bioresources Journal* Vol. 6, No.4. .
- Suryawan, B. 2004. *Karakteristik Zeolit Indonesia sebagai Adsorben Uap Air*. Disertasi. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Teka, T. Dan Enyew, S. 2014. Study On Effect Of Different Parameter On Adsorption Efficiency Of Low Cost Activated Orange Peels For The Removal Of Methylene Blue Dye. *International Journal of Innovation and Scientific Research* Vol. 8, No. 1.
- Widayat, W. 2013 *Studi Pengaruh Metode Pembuatan dan Sumber Bahan Baku pada Proses Produksi Katalis dari Zeolit Alam*. <http://portalgaruda.org/article.php?article=174252&val=1275&title=STUDI%20PENGARUH%20METODE%20PEMBUATAN%20DAN%20SUMBER%20BAHAN%20BAKU%20PADA%20PROSES%20PRODUKSI%20KATALIS%20DARI%20ZEOLIT%20ALAM>. Diakses Pada tanggal 2 Mei 2017
- Widiyani, P. 2010. *Dampak dan Penanganan Limbah Deterjen*. Laporan Penelitian. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Wilson, P. Chris. 2010. *Water Quality Notes: Alkalinity and Hardness*. Artikel. <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/ss/ss54000.pdf>. Diakses Pada Tanggal 25 November 2016.
- Yunarsih, Made. 2013. *Efektivitas Membran Khitosan dari Kulit Udang untuk Menurunkan Posfat dalam Limbah Laundry*. Tesis. Denpasar: Universitas Udayana.