



## OPTIMALISASI ZEOLIT ALAM WONOSARI DENGAN PROSES AKTIVASI SECARA FISIS DAN KIMIA

**Pri Andi Anggara\*), Sri Wahyuni dan Agung Tri Prasetya**

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang

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

### Info Artikel

Sejarah Artikel:  
Diterima April 2013  
Disetujui April 2013  
Dipublikasikan Mei 2013

Kata kunci:  
zeolit alam aktif  
adsorpsi  
isoterm adsorpsi  
ion logam Pb(II)

### Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang optimalisasi kapasitas adsorpsi zeolit alam dalam menyerap ion logam Pb(II) dengan aktivasi zeolit alam secara fisis dan kimia. Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh temperatur aktivasi zeolit terhadap kapasitas adsorpsi zeolit, bagaimana isoterm adsorpsi pada optimalisasi kapasitas adsorpsi zeolit, dan berapa kapasitas adsorpsi maksimum zeolit alam terhadap ion Pb(II). Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh temperatur aktivasi zeolit alam, mempelajari isoterm adsorpsi zeolit alam, serta mengetahui kapasitas adsorpsi zeolit alam dalam menyerap ion Pb(II). Aktivasi zeolit secara kimia dilakukan dengan mencampurkan zeolit dengan HCl 1, 2 dan 3 M dan aktivasi fisis dengan dikalsinasi pada suhu 200, 400, 600°C. Pengukuran konsentrasi ion Pb(II) dilakukan dengan AAS pada panjang gelombang 283,3 nm. Identifikasi jenis mineral zeolit dilakukan menggunakan alat XRD merk shimadzu, sedangkan uji keasaman zeolit dilakukan menggunakan metode penyerapan basa amoniak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada temperatur 600°C zeolit menyerap ion Pb(II) paling banyak dengan persentase sebesar 96,7 %. Studi isoterm adsorpsi langmuir memberikan harga kapasitas adsorpsi maksimum zeolit alam aktif dalam menyerap ion logam Pb(II) sebesar 27,027 mg/g adsorben dan harga konstanta kesetimbangan sebesar 0,06055 dengan koefisien regresi ( $r^2$ ) sebesar 0,975.

### Abstract

A research of the optimization of the adsorption capacity of neutral zeolite by physically and chemically activation to absorb metal ion Pb(II) has been done. The problem in this research are how the influence of the activation temperature on the optimization of adsorption capacity of zeolite, how the adsorption isotherms on the optimization of adsorption capacity of zeolite, and how much the maximum adsorption capacity of natural zeolite for ion Pb(II). The purpose of this research are to know how the influence of the activation temperature on the optimization of adsorption capacity of zeolite, to know how the adsorption isotherms on the optimization of adsorption capacity of zeolite, and to know how much the maximum adsorption capacity of natural zeolite for ion Pb(II). The chemically activation of zeolite was done by mixing zeolite with HCl 1, 2 and 3 M and physically activation of zeolite was done by calcination on 200, 400, 600°C. Measurement of the concentration of ion Pb(II) conducted by AAS at a wavelength of 283.3 nm. Identify the type of mineral zeolite performed using XRD tool brands shimadzu, while the zeolite acidity test performed using alkaline ammonia absorption method. The results showed that at a temperature of 600°C zeolite absorbing ions Pb(II) at most with a percentage of 96.7%. Langmuir adsorption isotherm study is showed the maximum adsorption capacity of natural zeolite active to adsorb metal ions adsorb Pb (II) is 27.027 mg/g adsorbent and the equilibrium constant price is 0.06055 with a regression coefficient ( $r^2$ ) of 0.975.

© 2013 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:  
E-mail: frankga87@gmail.com

## Pendahuluan

Perkembangan dunia industri banyak memberikan dampak terhadap kehidupan manusia, baik yang positif maupun negatif. Dampak negatifnya adalah dihasilkannya bahan-bahan pencemar yang mengganggu lingkungan. Bahan pencemar yang sering menjadi perhatian adalah ion-ion logam berat. Hal ini disebabkan ion-ion ini bersifat toksik meskipun pada konsentrasi yang rendah (ppm) dan umumnya sebagai polutan utama bagi lingkungan. Ion-ion logam berat seperti ion-ion Pb(II) dapat menyebabkan kanker paru-paru, kerusakan hati dan ginjal. Usaha-usaha penanganan limbah yang mengandung ion-ion logam berat khususnya ion-ion Pb(II) telah banyak dilakukan dan perlu dikembangkan. Pendekatan yang telah banyak dilakukan untuk mengatasi hal tersebut adalah melalui imobilisasi dengan teknik pengendapan, pertukaran ion maupun menggunakan adsorben (zat penyerap). Metode-metode yang telah dikembangkan pada umumnya mempunyai efektivitas yang masih rendah. Penelitian untuk menemukan metode penanganan limbah ion-ion logam berat khususnya ion-ion Pb(II) yang memiliki efektivitas tinggi perlu dikembangkan.

Zeolit merupakan material berpori yang penguannya sangat luas. Kegunaan zeolit didasarkan atas kemampuannya melakukan pertukaran ion (*ion exchanger*), adsorpsi (*adsorption*) dan katalisator (*catalyst*). Zeolit memiliki bentuk kristal yang sangat teratur dengan rongga yang saling berhubungan ke segala arah yang menyebabkan luas permukaan zeolit sangat besar sehingga sangat baik digunakan sebagai adsorben (Sutarti dan Rachmawati, 1994).

Peningkatan daya guna atau optimalisasi zeolit sebagai adsorben dapat dilakukan melalui aktivasi secara fisis maupun kimia. Proses aktivasi secara fisis dilakukan dengan pemanasan (kalsinasi). Pemanasan ini bertujuan untuk menguapkan air yang terparangkap dalam pori-pori kristal zeolit sehingga jumlah pori dan luas permukaan spesifiknya bertambah (Suyartono dan Husaini, 1991). Aktivasi secara kimia dapat dilakukan dengan menggunakan larutan asam klorida atau asam sulfat yang bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengganggu dan menata kembali letak atom yang dapat dipertukarkan (Suyartono dan Husaini, 1991).

Adsorpsi suatu zat pada permukaan adsorben bergantung pada beberapa faktor dan

memiliki pola isoterm adsorpsi tertentu. Untuk proses adsorpsi yang terjadi dalam larutan, jumlah zat yang teradsorpsi bergantung pada jenis adsorben, jenis adsorbat atau zat yang teradsorpsi, luas permukaan adsorben, konsentrasi zat terlarut, dan temperatur.

Menurut Langmuir, pada permukaan adsorben terdapat situs-situs aktif bersifat homogen yang proporsional dengan luas permukaan. Masing-masing situs aktif hanya dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat saja sehingga adsorpsi hanya akan terbatas pada pembentukan lapisan tunggal (Amri dkk., 2004). Selain itu ada Isoterm Freundlich yang dapat diambil dengan mengubah anggapan Langmuir bahwa pengikatan adsorbat dapat terjadi pada berbagai macam tempat adsorpsi pada permukaan padatan. Setiap tempat adsorpsi mempunyai energi adsorpsi yang berbeda (Levine, 2003).

Dalam penelitian ini dipelajari pengaruh temperatur aktivasi terhadap optimalisasi adsorpsi zeolit pada ion Pb(II), isoterm adsorpsi pada optimalisasi kapasitas adsorpsi zeolit pada ion Pb(II), dan kapasitas adsorpsi maksimum dari zeolit terhadap ion Pb(II). Dari penelitian yang dilakukan diharapkan bahwa optimalisasi zeolit yang teraktivasi secara fisis maupun kimia dapat diperoleh zeolit yang memiliki daya adsorpsi yang tinggi, sehingga nantinya dapat dikembangkan lebih lanjut dalam upaya penyediaan adsorben untuk menanggulangi ion-ion logam berat khususnya ion-ion Pb(II) baik dalam skala laboratorium maupun dalam skala industri.

## Metode Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat gelas (Pyrex), oven, pH-meter, neraca analitik, pemanas listrik, pengaduk magnet, desikator, *furnace*, *X-ray diffraction* (Siemens D-5000), spektrofotometer serapan atom (Perkin Elmer Analyst-100). Bahan yang digunakan adalah zeolit alam Wonosari, aquades, HCl pekat, Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, amonia.

Zeolit alam sebanyak 100 gram diayak hingga lolos 100 mesh. Zeolit hasil ayakan dicuci dengan aquades kemudian disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 4 jam. Lima puluh gram zeolit alam direndam dengan 100 mL HCl 1, 2 dan 3 M. Campuran selanjutnya disaring dan dicuci dengan aquades sehingga filtrat menunjukkan pH sama dengan pH aquades. Selanjutnya zeolit

dikalsinasi pada suhu 200, 400 dan 600°C selama 3 jam, kemudian endapan dikeringkan pada suhu 120°C selama 3 jam.

Zeolit yang telah diaktivasi dimasukkan ke dalam krus porselin, kemudian dipanaskan dalam oven pada temperatur 180°C selama 2 jam. Selanjutnya dimasukkan ke dalam desikator yang di dalamnya diberi uap amoniak. Desikator ditutup dan dibiarkan kontak dengan uap amoniak selama 24 jam, kemudian desikator dibuka dan amoniak yang ada dalam krus porselin dibiarkan menguap di udara selama 4 jam, selanjutnya zeolit ditimbang. Berat amoniak yang teradsorpsi dapat dihitung dari selisih berat sebelum dan setelah mengadsorpsi amoniak.

Zeolit teraktivasi dimasukkan ke dalam 4 buah labu Erlenmeyer, kemudian ditambahkan berturut-turut 50 mL larutan  $Pb^{2+}$  25, 50, 75 dan 100 ppm. Ke empat campuran kemudian dikocok selama 1 jam dan dibiarkan pada suhu kamar sampai 24 jam, lalu disaring. Filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA) pada panjang gelombang 283,3 nm.

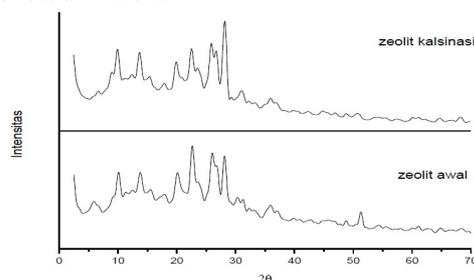
#### Hasil dan Pembahasan

Zeolit alam diaktivasi dengan cara direndam dan dicuci dengan larutan HCl 1, 2 dan 3 M selama 2 jam, kemudian dinetralkan hingga pH netral dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 120°C selama 3 jam sampai menjadi kering dan digerus menjadi serbuk halus. Variasi konsentrasi HCl dalam aktivasi zeolit bertujuan agar diperoleh zeolit alam yang paling optimal. Zeolit kemudian dikalsinasi pada suhu 200, 400 dan 600°C selama 3 jam. Pemanasan ini dilakukan untuk merenggangkan ruang antarpori sehingga gas dapat menembus pori-pori yang kecil dan mendesak kotoran-kotoran dan zat-zat organik sisa yang masih menempel dalam zeolit alam untuk keluar dari pori. Setelah kalsinasi selesai, maka sampel zeolit aktif siap untuk dianalisis dengan XRD sedangkan optimasi dan aplikasinya dianalisis dengan SSA.

Penentuan jenis mineral yang terkandung dalam zeolit alam dilakukan menggunakan alat XRD merk Shimadzu XD-160 dengan panjang gelombang 1,54060 Å menggunakan radiasi dari target Cu, tegangan 40,0 kV, arus 30,0 mA dan daerah pengamatan antara 2.5000 - 70.0000 derajat.

Mineral penyusun sampel ditunjukkan oleh daerah munculnya puncak ( $2\theta$ ). Spektra

hasil analisis difraksi sinar X dicocokkan dengan data *Joint Committee on Powder Diffraction Standards*, sehingga jenis mineral yang terkandung dalam zeolit alam dapat diketahui. Spektra difraksi sinar X hasil analisis menghasilkan beberapa puncak. Hasil perbandingan antara zeolit awal dengan zeolit hasil kalsinasi yang diperoleh menunjukkan 3 puncak yang tajam di antara puncak-puncak yang lain. Pada puncak daerah  $2\theta$ : 28,30370;  $2\theta$ : 25,98590 dan puncak daerah  $2\theta$ : 22,35130. Puncak tajam pada  $2\theta$ : 28,30370 menunjukkan adanya mineral *leucite* (JCPDS, kode: 38-1423), pada  $2\theta$ : 25,98590 menunjukkan adanya mineral *majasite* (JCPDS, kode: 38-0426), sedangkan pada  $2\theta$ : 22,35130 menunjukkan adanya mineral *calcite* (JCPDS, kode: 85-0869). Berdasarkan spektra hasil difraksi sinar X dan data *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* zeolit alam yang digunakan dalam penelitian ini memiliki pola difraktogram yang identik dengan *leucite* sehingga bisa disimpulkan bahwa zeolit alam Wonosari merupakan jenis zeolit alam *leucite*.

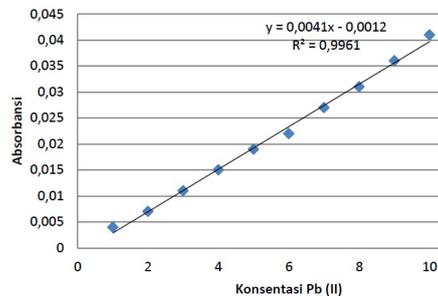


**Gambar 1.** Spektra difraksi sinar X

Keasaman sampel dalam penelitian ini yang ditentukan adalah keasaman total, yaitu situs asam Brownsted dan situs asam Lewis. Menurut (Herald, 2003) yang juga meneliti zeolit alam Wonosari nilai keasaman zeolit yang tidak diaktivasi sebesar 0,57 mmol/gram. Sedangkan menurut (Witanto, 2010) nilai keasaman zeolit alam Wonosari sebelum diaktivasi sebesar 0,449 mmol/gram. Dari hasil penelitian diperoleh nilai keasaman zeolit setelah diaktivasi sebesar 0,7789339 mmol/gram. Hasil ini menunjukkan bahwa pengaruh aktivasi akan meningkatkan keasaman dari zeolit alam. Semakin besar keasaman dari suatu adsorben maka akan meningkatkan situs aktif adsorben tersebut, sehingga permukaan adsorben menjadi lebih efektif dalam menyerap adsorbat.

Dari pengukuran dengan menggunakan SSA, diperoleh data absorbansi dan konsentrasi ion  $Pb(II)$  setimbang. Dalam setiap analisis

menggunakan SSA dibutuhkan kurva kalibrasi larutan standar. Kurva kalibrasi ini dibuat untuk menentukan kadar Pb(II) dalam sampel. Dari grafik hubungan antara konsentrasi Pb(II) dengan absorbansi akan diperoleh kurva linear. Kurva kalibrasi larutan standar Pb(II) disajikan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Kurva kalibrasi larutan Pb(II) standar

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, pada aktivasi zeolit dilakukan variasi konsentrasi HCl yang ditambahkan. Hal ini bertujuan agar diketahui kondisi zeolit alam yang optimal. Hasil yang diperoleh disajikan dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Pengaruh konsentrasi HCl aktivasi terhadap kapasitas adsorpsi zeolit pada ion Pb(II)

Konsentrasi HCl (M)	[Pb <sup>2+</sup> ] mula-mula (ppm)	[Pb <sup>2+</sup> ] setimbang (ppm)	[Pb <sup>2+</sup> ] teradsorpsi (ppm)	% Pb (II) teradsorpsi
1	25	1,5	23,5	94
	50	2,0	48	96
	75	2,75	72,75	97
	100	3,5	96,5	96,5
2	25	1,0	24	96
	50	2,5	47,5	95
	75	5,25	69,75	93
	100	6,5	93,5	93,5
3	25	2,5	22,5	90
	50	2,75	47,25	94,5
	75	5,0	70	93,3
	100	5,75	94,5	94,75

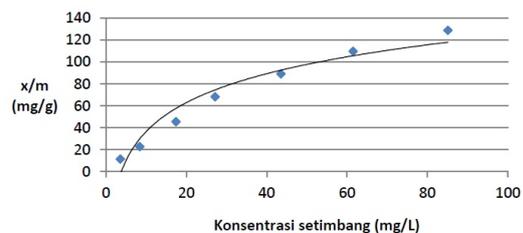
Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa kondisi zeolit yang optimal pada konsentrasi HCl 1 M. Jumlah ion Pb(II) yang teradsorpsi pada konsentrasi HCl 1 M lebih besar dibandingkan pada konsentrasi HCl 2 M dan 3 M. Zeolit alam yang diaktivasi dengan HCl 1 M kemudian dikalsinasi pada suhu 200, 400 dan 600°C. Pemanasan ini dilakukan untuk merenggangkan ruang antarpori sehingga gas dapat menembus pori-pori yang kecil dan mendesak kotoran-kotoran dan zat-zat organik sisa yang masih menempel dalam zeolit alam untuk keluar dari pori. Data hasil kalsinasi disajikan dalam Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan jumlah ion Pb<sup>2+</sup> yang teradsorpsi oleh zeolit yang teraktivasi pada temperatur 600°C, sehingga temperatur aktivasi zeolit yang efektif adalah 600°C.

**Tabel 2.** Pengaruh temperatur aktivasi terhadap kapasitas adsorpsi zeolit pada ion Pb(II)

Temperatur aktivasi (°C)	[Pb <sup>2+</sup> ] mula-mula (ppm)	[Pb <sup>2+</sup> ] setimbang (ppm)	[Pb <sup>2+</sup> ] teradsorpsi (ppm)	% Pb (II) teradsorpsi
200	25	2,25	22,75	91
	50	2,37	47,63	95,2
	75	6,58	68,42	91,2
	100	6,46	93,54	93,5
400	25	1,53	23,47	93,9
	50	3,58	46,42	92,8
	75	5,76	69,24	92,3
	100	8,46	91,54	91,5
600	25	3,65	21,35	83,4
	50	2,2	47,8	95,6
	75	2,5	72,5	96,7
	100	5,65	94,35	94,4

Dalam kajian ini dibahas beberapa parameter yang mengontrol termodinamika adsorpsi, antara lain kapasitas adsorpsi, tetapan kesetimbangan dan energi adsorpsi. Dari data yang diperoleh dibuat grafik isoterm adsorpsi zeolit alam aktif pada ion logam Pb(II). Pola isoterm adsorpsi dan kapasitas adsorpsi maksimum zeolit terhadap ion Pb(II) dapat ditentukan melalui perhitungan  $\log(x/m)$ ,  $\log C$ , dan  $C/(x/m)$ . Grafik isoterm adsorpsi disajikan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Isoterm adsorpsi Langmuir

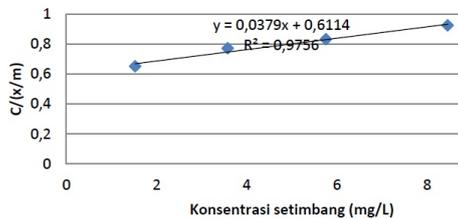
Gambar 3 menunjukkan bahwa jumlah Pb(II) yang terserap oleh zeolit alam aktif terus meningkat dengan meningkatnya konsentrasi Pb(II) sampai kapasitas adsorpsi maksimum tercapai. Distribusi ion logam antara fase cairan dan padatan biasanya dijelaskan menggunakan persamaan isoterm Langmuir. Berdasarkan kurva linear hubungan antara  $C/(x/m)$  dengan  $C$ , dapat ditentukan harga  $b$  dari *slope* dan harga  $K$  dari intersep kurva. Dari harga  $K$  yang diperoleh maka besarnya energi adsorpsi ( $E$ ) dapat dicari.

**Tabel 3.** Data jumlah ion Pb(II) yang teradsorpsi pada temperatur aktivasi dan konsentrasi ion Pb(II) bervariasi,  $\log(x/m)$ ,  $\log c$ , dan  $c/(x/m)$

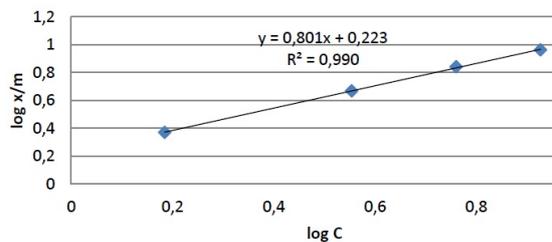
Pb(II) mula-mula	Pb(II) setimbang	Pb(II) teradsorpsi	$x/m$	$C/(x/m)$	$\log x/m$	$\log C$
25	1,53	23,47	2,347	0,651896	0,370513	0,184691
50	3,58	46,42	4,642	0,7712193	0,666705	0,553883
75	5,76	69,24	6,924	0,8318891	0,840357	0,760422
100	8,46	91,54	9,154	0,9241861	0,961611	0,92737

Hubungan antara banyaknya adsorben dan konsentrasi juga diungkapkan oleh Freundlich dengan isoterm adsorpsi. Oleh karena itu, kajian mengenai *isoterm Freundlich* juga dibahas sebagai

pembandingan untuk isoterm Langmuir. Dengan mengalurkan grafik antara  $\log(x/m)$  terhadap  $\log C$  maka harga  $n$  dan  $k$  dapat ditentukan dari *slope* dan intersep kurva.



**Gambar 4.** Kurva linearitas isoterm adsorpsi Langmuir



**Gambar 5.** Kurva linearitas isoterm adsorpsi Freundlich

Gambar 4 dan 5 menunjukkan bahwa nilai koefisien regresi linier,  $R^2$ , untuk pola isoterm adsorpsi Langmuir sebesar 0,975 dan nilai  $R^2$  untuk pola isoterm adsorpsi Freundlich sebesar 0,990. Jadi berdasarkan nilai  $R^2$ , adsorpsi ion Pb(II) oleh zeolit teraktivasi memenuhi pola isoterm adsorpsi Langmuir dengan persamaan garis lurus  $c/(x/m) = 0.037c + 0,611$ , yang memiliki gradien  $1/(x/m)_{\text{maks}} = 0,037$  dan garis memotong sumbu  $c/(x/m)$  pada 0,611. Dengan demikian harga  $(x/m)_{\text{maks}} = 27,027$  mg/g atau kapasitas adsorpsi maksimum zeolit teraktivasi terhadap ion Pb (II) adalah 27,027. Hasil perhitungan konstanta kesetimbangan dan energi adsorpsi menurut isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Parameter adsorpsi

Logam	Isoterm Langmuir				Isoterm Freundlich		
	$r^2$	b (mg/g)	K	E (kJ/mol)	$r^2$	n	k (kJ/mol)
Pb <sup>2+</sup>	0.975	27.027	0.061	-6.9942	0.990	0.801	1.6711

Bila dibandingkan antara persamaan isoterm Langmuir dengan Freundlich terdapat nilai konstanta kesetimbangan yang berbeda. Perbedaan ini jelas disebabkan karena asumsi-asumsi yang dikemukakan oleh Langmuir dan Freundlich juga berbeda. Menurut Langmuir semua situs dan permukaannya bersifat homogen, sedangkan Freundlich menyatakan bahwa situs-situs aktif pada permukaan adsorben bersifat heterogen (Esmaeili, 2008). Hal ini merupakan salah satu faktor yang menyebabkan adanya perbedaan harga

konstanta kesetimbangan pada kedua isoterm adsorpsi tersebut, sehingga energi adsorpsi untuk kedua isoterm juga berbeda.

Energi adsorpsi menggambarkan jumlah energi interaksi elektrostatis dan energi ikatan kimia antara ion logam dengan adsorben. Dalam hal ini, energi total adsorpsi sama dengan negatif energi bebas Gibbs dan harga K merupakan besaran termodinamika yang berkaitan dengan energi bebas Gibbs. Berdasarkan Tabel 4 ditunjukkan bahwa energi adsorpsi ion logam Pb(II) oleh zeolit alam aktif menurut isoterm Langmuir sebesar -6,9942 kJ/mol dan untuk Freundlich sebesar 1,2807 kJ/mol. Hal ini dapat membuktikan bahwa proses adsorpsi ion logam Pb(II) oleh zeolit alam aktif termasuk adsorpsi fisik.

### Simpulan

Hasil penelitian membawa kepada kesimpulan bahwa pada temperatur kalsinasi 600°C jumlah Pb(II) yang terserap lebih banyak dibandingkan temperatur kalsinasi 200 dan 400°C, hal ini dikarenakan pada temperatur 600°C jumlah pori yang tersedia untuk menyerap Pb(II) lebih banyak. Studi isoterm Langmuir memberikan harga kapasitas adsorpsi maksimum zeolit alam aktif dalam menyerap ion logam Pb(II) sebesar 27,027 mg/g adsorben dan harga konstanta kesetimbangan sebesar 0,06055 dengan koefisien regresi ( $r^2$ ) sebesar 0,975. Adsorpsi ion logam Pb(II) oleh zeolit alam aktif merupakan adsorpsi fisika dengan energi adsorpsi sebesar -6,9942 kJ/mol.

### Daftar Pustaka

- Alberty, R. A dan F. Daniels. 1983. Physical Chemistry. New York: John Willey & Sons
- Amri, A., Supranto., dan Fahrurrozi, M. 2004. Kesetimbangan Adsorpsi Optional Campuran Biner Cd(II) dan Cr(III) dengan Zeolit Alam Terimpregnasi 2-merkaptobenzotiazol. *Jurnal Natur Indonesia* 6(2): 111-117 (2004) ISSN 1410-9379
- Atkins, P.W. 1994. Kimia Fisika (Terjemahan oleh Irma I. Kartohadiprodjo). Jakarta: Erlangga
- Bahl, B. S, Tuli, G. D, dan A. Bahl. 2004. Essential of Physical Chemistry. New Dehli: Ram Nagar
- Esmaeili, A., Ghasemi, S., dan Rustaiyan, A. 2008. Evaluation of the Activated Carbon prepared of Algae Glacilaria for the Biosorption of Cu(II) from Aqueous Solutions. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 3 (6): 810-813, 2008, ISSN 1818-6769
- Flanigen, E. M, Khatami H, and Szimanski,

- H.A. 1991. American Society Advances In Chemistry Series, no 101, Washington DC
- Hamdan, H. 1992. Introduction To Zeolites Synthesis, Characterization, and Modification. University Teknologi Malaysia. Kuala Lumpur
- Hanafiah, M.A.K.M., Ibrahim, S.C., dan Yahya, M.Z.A. 2006. Equilibrium Adsorption Study of Lead Ions onto Sodium Hydroxide Modified Lalang (*Imperata cylindrica*) Leaf Powder. *Journal of Applied Sciences Research*, 2(12): 1169-1174, 2006 © 2006, INSInet Publication
- Hendayana, Sumar. 1994. Kimia Analisis Instrumen. Semarang: IKIP Semarang Press.
- Herald, E, Hisyam SW, dan Sulistiyono. 2003. Characterization and Activation of Natural Zeolite from Ponorogo Indonesian. *J. Chem* 3
- Las, Thamzil. 2005. Potensi Zeolit untuk Mengolah Limbah Industri dan Radioaktif. <http://www.batan.go.id/ptlr/08id/?q=node/14.24> Oktober 2009
- Levine, I.N. 2003. Physical Chemistry. New York: University of New York Brooklyn
- Oscik. 1982. Adsorption. England: Ellis Horwood Ltd
- Oudejans, J.S. 1984. Zeolites Catalyst in Some Organic Reactions. Netherland Foundation for Chemical Research, Holland
- Palar, Heryando. 1994. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Jakarta: Rineka Cipta
- Prasetya, Agung Tri. 2006. Analisis Spektroskopi. Semarang: UNNES
- Priatmoko, Sigit. 1999. Optimasi dan Studi Kinetika Reaksi Konversi 3 metil- 1 Butanol Menggunakan Katalis Pt/Zeolit Alam. Tesis. Yogyakarta: UGM
- Rahayu, Endah Fitiriani. 2009. Degradasi Zat Warna Azo Acid Orange 7 (AO-7) Menggunakan TiO<sub>2</sub>/Zeolit aa Alam Secara Fotokatalitik. (Skripsi, tidak diterbitkan). UNNES
- Suardana, I Nyoman. 2008. Optimalisasi Daya Adsorpsi Zeolit Terhadap Ion Kromium (III). Bali: JPPSH Undiksha
- Sutarti, Mursi & Minta Rachmawati. 1994. Zeolit: Tinjauan Literatur. Jakarta: Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
- Suyartono & Husaini. 1991. Tinjauan terhadap kegiatan penelitian karakterisasi dan pemanfaatan zeolit Indonesia yang dilakukan PPTM Bandung Periode 1890-1991. Buletin PPTM. Bandung.
- Trisunaryanti, Wega. Preparasi, Modifikasi, dan Karakterisasi Katalis Ni/Mo Zeolit Alam dan Mo-Ni Zeolit Alam. *Jurnal Ilmiah*. Universitas Gadjah Mada
- Wahyuni, Yuliana Tri. 2007. Pengaruh Penggunaan Feri Sulfat Sebagai Koagulan Untuk Pengolahan Limbah Industri Kulit Dengan Adsorben Zeolit Alam. (Skripsi, tidak diterbitkan). UNNES
- Wardani, Yuyun Eka. 2003. Analisis Kadar Pb Dalam Daun Singkong yang Ditanam Di Utara Jalan Raya Demak. Skripsi (tidak diterbitkan). UNNES Semarang
- Widihati, Gede. 2008. Adsorpsi Anion Cr (IV) Oleh Batu Pasir Teraktivasi Asam dan Tersulut Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Jimbaran: FMIPA Universitas Udayana
- Williams, Daniels. 1990. Experimental Physical Chemistry. Mc Graw-Hill Book Company