

KINETIKA DAN DIFUSI PENUKARAN ION Cs KE DALAM ZEOLIT BAYAH, LAMPUNG DAN TASIKMALAYA

Dian Anggraini, Noviarty, Arif Nugroho

Bidang Pengembangan Radio Metalurgi-Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir
Badan Tenaga Nuklir Nasional
Kawasan PUSPITEK Gedung No. 20, Serpong 15314
Telp. (021)7560915, Fax: (021)7560909
Emails: ad_09@ymail.com

ABSTRAK

Penukaran ion Cs ke dalam NH₄-Zeolit yang telah diaktifasi menjadi monokation zeolit telah dilakukan terhadap zeolit alam yang berasal dari daerah Bayah, Lampung dan Tasikmalaya. Terhadap ketiga jenis zeolit tersebut, proses penukaran ion Cs dengan ion ammonium dilakukan pada berbagai variasi waktu (dari 1 jam sampai dengan 24 jam) dan suhu (303 K dan 323 K). Kinetika penukaran kation dan proses difusi pada masing-masing jenis zeolit diamati dan dihitung besaran parameternya meliputi koefisien difusi dan energi aktivasi menggunakan rumusan persamaan Arrhenius. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa koefisien difusi dari ion Cs ke dalam zeolite Bayah, Lampung dan Tasikmalaya hampir sama yaitu masing-masing sebesar $2,3 \cdot 10^{-13}$, $2,3 \cdot 10^{-13}$ dan $2,1 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2 \cdot \text{det.}^{-1}$ pada suhu 303 K, serta $9,3 \cdot 10^{-14}$, $9,6 \cdot 10^{-14}$, dan $9,6 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2 \cdot \text{det.}^{-1}$ pada suhu 323 K. Sedangkan hasil perhitungan parameter kinetika reaksi penukaran ion berupa energi aktivasi, E_a (kJ/mol) ke dalam ketiga jenis zeolit tersebut juga hampir sama nilainya yaitu sebesar 36.61, 36.61, dan 31.09 untuk masing-masing zeolit Bayah, Lampung dan Tasikmalaya. Hasil dari penelitian ini menunjukkan nilai E_a lebih besar daripada hasil penelitian terdahulu yang menggunakan zeolit buatan (zeolit-A dengan $E_a = 9,96 \text{ kJ/mol}$), sehingga dapat disimpulkan bahwa penukaran ion Cs ke dalam zeolit alam mempunyai hambatan yang lebih besar karena kandungan komposisi zeolit alam lebih kompleks yang dimungkinkan dapat mengandung lebih dari satu jenis struktur zeolite.

Kata Kunci : Kinetika Penukar Kation, Difusi, Ion Cs, Zeolit Alam

ABSTRACT

THE KINETIC AND DIFFUSION ION EXCHANGE OF Cs ON ZEOLITE BAYAH, LAMPUNG, AND TASIKMALAYA. The ion exchange of Cs on NH₄-Zeolite which has been activated become a zeolite monocation has been conducted on natural zeolite from Bayah, Lampung, and Tasikmalaya. On these three types of zeolite, the process of ion exchange of Cs with ammonium ion was conducted at various time (from 1 hour up to 24 hours) and temperature (303 K and 323 K). Cation exchange kinetics and diffusion process on each type of zeolite was observed and calculated the parameters included diffusion coefficient and activation energy using Arrhenius formula. The study showed that diffusion coefficient from Cs-ions into zeolite of Bayah, Lampung, and Tasikmalaya almost same, which is about $2,3 \cdot 10^{-13}$, $2,3 \cdot 10^{-13}$ and $2,1 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2 \cdot \text{det.}^{-1}$ at temperature 303 K, and $9,3 \cdot 10^{-14}$, $9,6 \cdot 10^{-14}$, and $9,6 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2 \cdot \text{det.}^{-1}$ at temperature 323 K. The parameter calculation result of ion exchange reaction is activation energy E_a (kJ/mol) on that types of zeolite are almost same value, which is 36.61, 36.61, and 31.09 for each zeolite of Bayah, Lampung, and Tasikmalaya. The study showed that E_a value was greater than the previous study by using artificial zeolite (zeolit-A with $E_a = 9,96 \text{ kJ/mol}$), so it can be concluded that Cs-ions exchange into natural zeolite has a greater barrier because the composition of natural zeolite more complex which was might contain more than one types of zeolite structure.

Keywords: cation Exchange Kinetics, Diffusion, Cs-ions, Natural Zeolite

PENDAHULUAN

Zeolit alam adalah suatu senyawa alumina silikat yang mempunyai struktur rangka tiga dimensi dan mengandung pori-pori yang terisi molekul-molekul air dan kation-kation alkali atau alkali tanah. Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit tetrahedral AlO₂ dan SiO₂ yang saling berhubungan melalui

atom O, sehingga zeolit mempunyai rumus empiris $x/n \text{ M}^{n+} [(AlO_2)_x(SiO_2)_y \cdot zH_2O]$. Komponen pertama M^{n+} adalah sumber kation yang dapat bergerak bebas dan dapat dipertukarkan secara sebagian atau sempurna oleh kation lain. Struktur zeolit yang berpori dengan molekul air didalamnya, melalui pemanasan akan menyebabkan molekul air mudah lepas sehingga

menjadikan zeolit spesifik sebagai adsorben, *molecular sieving*, penukar ion dan katalisator. Karakteristik yang unik ini menyebabkan zeolit banyak digunakan dalam berbagai bidang industri (Siti Amini dkk., 2003) [1].

Dalam pemanfaatan zeolit alam pada suatu proses penukaran dan penyerapan ion, terlebih dahulu perlu diketahui karakteristik zeolit yang akan digunakan untuk mengetahui efektivitas kemampuan proses penukaran ion maupun sorpsi. Hal ini karena jenis zeolit alam umumnya berbeda antara sumber/deposit yang satu dengan yang lain dalam jumlah kandungan mineral, porositas serta KTK (kemampuan Tukar Kation) (Chemistry wordpress.com, 2009) [2]. Salah satu karakteristik yang perlu diketahui sebagai data awal dalam penggunaan zeolit adalah parameter proses difusi serta kinetiknya yang merupakan mekanisme proses pada penukaran ion dan sorpsi ion dalam zeolit. Proses difusi ion dalam struktur kristal dapat mengontrol proses penukaran ion. Tingkat penukaran dari partikel- partikel zeolit yang diperkirakan berbentuk spherikal yang dinyatakan dalam koefisien difusi dapat ditentukan mengikuti persamaan sbb;

$$F_i/F_{\infty} = 6/r \sqrt{D_i \cdot t / \pi} \dots\dots\dots(1)$$

dengan :

- F_i = nilai fraksi ion yang dipertukarkan pada waktu t
- F_{∞} = nilai fraksi ion yang dipertukarka pada waktu 24 jam
- r = Jari- jari partikel zeolit
- D_i = Koefisien difusi yang berkaitan dengan proses difusi internal antar dua ion yang dipertkarkan $10^{-10} / m^2s^{-1}$
- t = Waktu kontak, detik
- π = 22/7

Nilai koefisien difusi D_i selanjutnya digunakan dalam penentuan parameter kinetik yaitu energi aktivasi, E_a , melalui penggunaan rumus Arrhenius sbb (Siti Amini, 1988) [3];

$$D_i = D_o \exp(-E_a / RT) \dots\dots\dots(2)$$

- dengan : D_i = Koefisien difusi , (mes-1)
- R = Konstanta Bolzman
- E_a = Energi aktivasi, Jole/ mole
- T = Suhu, K

Besaran E_a diperoleh dari nilai slope yang didapat dari persamaan linieritas antara koefisien difusi (E_a) dan suhu (T). Besaran E_a merupakan energi yang diperlukan untuk sorpsi ion ke dalam zeolit dan bila nilainya

rendah menunjukkan bahwa ion tersebut dapat dengan mudah masuk ke dalam kerangka zeolit karena proses penukaran ion dalam zeolit tidak terhalangi oleh *ion sieve effects* (Hassan, 2005) [4].

Dalam bidang nuklir telah dilakukan penelitian selektifan zeolit lampung terhadap penukaran isotop- isotop radionuklida yang terdapat dalam bahan bakar nuklir bekas dan menunjukkan bahwa selektifan ion $Cs > Ba = Sr > Ce$ (Abd El Raman, 2006) [5]. Dari hasil ini terlihat bahwa ion Cs lebih mudah terserap oleh zeolit lampung dibanding dengan ion lainnya. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan proses penukaran ion Cs ke dalam zeolit, yang difokuskan pada mekanisme proses untuk menentukan parameter proses difusi dan kinetik sebagai data masukkan dalam perhitungan selanjutnya. Dalam upaya meningkatkan pemanfaatan zeolit maka pada penelitian ini selain menggunakan zeolit lampung juga digunakan zeolit dari Bayah dan Tasik yang merupakan sumber zeolit yang cukup potensial di Indonesia. Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi awal dalam pertimbangan penggunaan zeolit alam yang efektif untuk penyerapan ion Cs.

METODOLOGI

Serbuk CsCl digunakan sebagai bahan sumber ion Cs dan bahan zeolit alam (Bayah, Lampung dan Tasik) sebagai bahan penukar kation atau penyerap ion Cs. Bahan pereaksi yang dipakai adalah larutan amonium Chlorida, asam perchlorat, alkohol. Alat yang digunakan untuk proses penukaran kation terdiri dai seperangkat alat gelas, *hot plate*.

Sebelum dikenakan proses penukaran kation, ketiga jenis bahan zeolit alam (Bayah, Lampung, Tasik) terlebih dahulu diaktivasi dengan cara mencampur sejumlah tertentu bahan zeolit tersebut dengan larutan NH_4Cl , diaduk dan dicuci sampai air cucuian bebas chlrorida. Kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu $100^{\circ}C$. Selanjutnya ke tiga bahan zeolit yang telah teraktivasi masing- masing ditimbang sebanyak 5 g dan dimasukkan ke dalam gelas beaker yang telah berisi larutan CsCl, yang dibuat dari 2 g serbuk CsCl dengan 100 mL aquades. Larutan suspensi ini kemudian di aduk pada suhu $30^{\circ}C$ menggunakan *hot plate* selama 5 jam. Setiap 1 jam proses dilakukan pengecekan keberadaan ion Cs dalam larutan supernatan

dengan cara memipet sekitar 2 ml dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Selanjutnya larutan ini dikenakan proses pengendapan sebagai $CsClO_4$ menggunakan asam perchlorat sebanyak 2mL pada suhu $0^{\circ}C$. Parameter kinetika yaitu koefisien difusi dan energi aktivasi dihitung melalui penggunaan persamaan 1 dan 2.

sorpsi ion Cs ke dalam zeolit tertuang pada Tabel.1 dan Gambar.1. dan Gambar.2

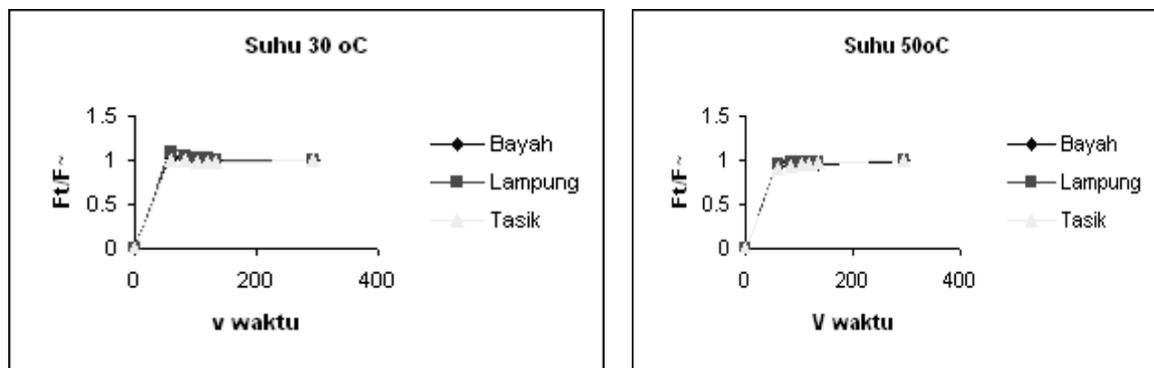
Dari Tabel.1 diatas terlihat bahwa proses penukaran ion Cs dalam zeolit Bayah, Lampung dan Tasik pada waktu kontak satu jam telah mencapai kesetimbangan terlihat pada nilai F_t/F_{∞} sekitar 1.00. Hal ini menunjukkan bahwa kemungkinan kecepatan proses difusi yang paling cepat terjadi sebelum waktu 1 jam. Nilai koefisien difusi diperoleh dari slope hubungan F_t/F_{∞} versus \sqrt{t} yang ditunjukkan pada Gambar 1. dan Gambar 2 untuk suhu $30^{\circ}C$ dan $50^{\circ}C$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai fraksi berat ion Cs (F_t/F_{∞}) dengan variasi waktu kontak dalam proses penukaran dan

Tabel 1. Data Fraksi Berat (F_t/F_{∞}) Ion Cs Variasi Waktu

Waktu (jam)	F_t/F_{∞} pada suhu $30^{\circ}C$			F_t/F_{∞} pada suhu $50^{\circ}C$		
	Bayah	Lampung	Tasikmalaya	Bayah	Lampung	Tasikmalaya
0	0	0	0	0	0	0
1	1.09	1.09	0.99	0.98	0.99	0.97
2	1.01	1.04	0.99	0.95	0.97	0.94
3	1.00	1.03	0.98	0.96	0.07	0.95
4	1.01	1.01	0.99	0.96	0.97	0.96
5	1.00	1.01	0.98	0.96	0.97	0.97
24	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00



Gambar 1. Hubungan F_t/F_{∞} dengan waktu (t) pada Suhu $30^{\circ}C$ Dan $50^{\circ}C$

Tabel 2. Koefisien Difusi (D_i) Pada suhu 303 dan 323 K

Suhu, K	$D_i, m^2 s^{-1}$		
	Bayah	Lampung	Tasik
303	2.30E-13	2.35E-13	2.06E-13
323	9.34E-14	9.62E-14	9.62E-14

Pada Gambar 1 terlihat bahwa zeolit Lampung mempunyai daya sorpsi lebih tinggi dibanding Bayah dan Tasik, namun perbedaan itu tidak begitu besar. Koefisien difusi (D_i) ditentukan berdasarkan nilai slope dari hubungan antara F_t/F_{∞} dan \sqrt{t} dan diperoleh untuk ke tiga jenis zeolit pada suhu

$30^{\circ}C$ adalah $50^{\circ}C$ seperti yang tercantum pada Tabel.2.

Nilai koefisien difusi dari ke tiga jenis zeolit alam terlihat hampir sama, hal ini kemungkinan komposisi ke tiga jenis zeolit tersebut hampir sama. Nilai E_a , ditentukan

menggunakan persamaan (2) yaitu melalui perhitungan slope dari hubungan $\ln D_i$ dengan $1/T$, dan diperoleh masing-masing sebesar 36,61, 36,61 dan 31,09 kJ/mol untuk zeolit Bayah, Lampung dan Tasik. Nilai E_a tersebut lebih besar bila dibanding dengan zeolit buatan (zeolit A) dengan nilai E_a sebesar 9,06 kJ/mol (Abd El Raman, 2006). Hal ini karena zeolit alam memiliki komposisi yang kompleks dan dimungkinkan mengandung lebih dari satu jenis struktur kristal.

KESIMPULAN

Hasil pengamatan dan pengukuran besaran koefisien difusi dari ion Cs ke dalam zeolite Bayah, Lampung dan Tasikmalaya diperoleh hampir sama masing-masing sebesar $2,3 \cdot 10^{-13}$, $2,3 \cdot 10^{-13}$ dan $2,1 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2 \cdot \text{det}^{-1}$ pada suhu 303 K, serta $9,3 \cdot 10^{-14}$, $9,6 \cdot 10^{-14}$, dan $9,6 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2 \cdot \text{det}^{-1}$ pada suhu 323 K. Dan hasil perhitungan parameter kinetika reaksi penukaran ion berupa energi aktivasi, E_a (kJ/mol) ke dalam ketiga jenis zeolit tersebut juga hampir sama nilainya yaitu sebesar 36,61, 36,61, dan 31,09 untuk masing-masing zeolit Bayah, Lampung dan Tasikmalaya. Nilai E_a ini lebih besar dari nilai E_a bila menggunakan zeolit buatan (zeolit-A dengan $E_a = 9,96 \text{ kJ/mol}$), sehingga dapat

disimpulkan bahwa penukaran ion Cs ke dalam zeolit alam mempunyai hambatan yang lebih besar disebabkan kandungan komposisi zeolit alam lebih kompleks yang dimungkinkan dapat mengandung lebih dari satu jenis struktur zeolit.

DAFTAR PUSTAKA

1. Siti Amini dkk. 2003. "Kelektifan Zeolit Lampung Terhadap Kation- Kation Matrik Hasil Fisi Uranium", Jurnal Zeolit Indonesia, Vol.2. No.1 November 2003.
2. [http:// Chemistry wordpress.com 2009/04/18/zeolit](http://Chemistry.wordpress.com/2009/04/18/zeolit)
3. Siti Amini. November 1988. "A Study Of The Kinetics Of Ion Exchange Of Diffusion Product Into Mordenit And Zeolite-L. Departement of Chemibtry and applid Chemistry, University of Salvord.
4. N.M.Hassan. 2005. "Adsorption Of Crsium From Spent Nuclear Fuel Basin Water. Journal Of Radioanalytical And Nuclear Chemistry". September 2005.
5. K.M. Abd El Raman. 2006. "Modelling The Sorption Kinetics Of Cesium And Strontium Ions On Zeolite A". Journal Of Nuclear And Radiochemistry Science. Vol.7, No.2, 2006