

## PENENTUAN KECEPATAN ADSORPSI BORON DALAM LARUTAN ZIRKONIUM DENGAN ZEOLIT

SITI UMI SHOLIKHATI<sup>(1)</sup>, PRAYITNO<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir <sup>(2)</sup>Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan  
Jl. Babarsari Kotak Pos 1008 Yogyakarta Indonesia, 55010

### Abstrak

**PENENTUAN KECEPATAN ADSORPSI BORON DALAM LARUTAN ZIRKONIUM DENGAN ZEOLIT.** Proses penentuan dilakukan tanpa pengadukan dengan mengamati kandungan boron dalam larutan umpan campuran zirkonium – boron, sebelum dan sesudah pemasukan zeolit. Variabel yang dipelajari adalah suhu operasi ( $T$ ), diameter butir zeolit ( $d$ ), dan rasio massa zeolit terhadap massa larutan ( $r$ ). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kenaikan rasio massa zeolit terhadap massa larutan menyebabkan kenaikan jumlah boron yang terserap. Sedangkan kenaikan suhu operasi dan diameter butir zeolit menyebabkan penurunan jumlah boron yang terserap. Perhitungan dari hasil penelitian memperoleh persamaan empiris kecepatan adsorpsi boron dalam zirkonium untuk kisaran nilai suhu ( $T$ ) 303 - 343 °K, diameter butir zeolit ( $d$ ) 225,27 – 661,88  $\mu\text{m}$ , ratio massa zeolit/massa larutan ( $r$ ) 0,0836 – 0,3346 adalah:

$$\ln \frac{C}{C_0} = - \left[ 0,0007 \cdot e^{\left( \frac{-21092,62}{RT} \right)} \right] \cdot d^{-0,757} \cdot r^{0,465}$$

**Kata Kunci :** Kecepatan adsorpsi, Zirkonium, Boron, Zeolit

### Abstract

**DETERMINATION OF ADSORPTION RATE OF BORON IN ZIRCONIUM SOLUTION BY ZEOLITE.** A research on the determination of adsorption rate of Boron in Zirconium by zeolite has been carried out. The determination process was done by observing boron contains in solution before and after the addition of zeolite. The studied variables were operating temperature ( $T$ ), particle size of zeolite (diameter,  $d$ ), mass ratio of zeolite to solution ( $r$ ). The result shows that increasing the mass ratio of zeolit to solution causes the increase in the amount of boron adsorbed. On the other hand the increase of the operating temperature and particle size of zeolite the lower the amount of boron adsorbed. The calculation of the research obtained in empirically equation of adsorption rate of boron in zirconium solution for the ranges operating temperature ( $T$ ) of 303 - 345°K, zeolite particle size ( $d$ ) of 225.27 - 661.88  $\mu\text{m}$ , and mass ratio of zeolite to solution ( $r$ ) of 0.0836 – 0.3346, that is :

$$\ln \frac{C}{C_0} = - \left[ 0,0007 \cdot e^{\left( \frac{-21092,62}{RT} \right)} \right] \cdot d^{-0,757} \cdot r^{0,465}$$

**Keywords :** adsorption rate, zircon, boron, zeolit

### PENDAHULUAN

Di alam, unsur zirkonium terdapat pada lapisan-lapisan bumi dan tidak pernah ditemukan dalam keadaan bebas tetapi dalam

bentuk silikat pada mineral zirkon dan sebagai oksida pada mineral *baddeleyite*<sup>[1]</sup>. Zirkonium merupakan bahan yang mempunyai peranan strategis dalam berbagai industri. Dalam industri nuklir, bahan ini dapat dimanfaatkan

sebagai bahan kelongsong bahan bakar nuklir karena mempunyai sifat yang unggul, antara lain tahan terhadap korosi, mempunyai serapan neutron yang kecil (0,18-0,2 barn) dan dapat menaikkan sifat fisik terhadap logam paduannya. Dalam industri non nuklir, zirkonium dimanfaatkan sebagai bahan logam refraktori.

Berdasarkan penelitian Simbolon tentang penentuan unsur-unsur takmurnian di dalam zirkonium oksida, didapatkan hasil bahwa zirkonium oksida mengandung unsur Kadmium (Cd) dengan konsentrasi kurang dari 0,5 ppm, unsur Boron (B) dengan konsentrasi 3,8-7,44 ppm, unsur Silikat (Si) antara 74,38-150,33 ppm, dan Krom (Cr) antara 19,90-45,76 ppm<sup>[2]</sup>. Keberadaan unsur B dan Cd dalam logam zirkonium yang dimanfaatkan sebagai kelongsong bahan bakar nuklir dapat menyebabkan reaksi inti antara uranium dengan neutron menjadi berkurang. Hal ini disebabkan oleh B dan Cd memiliki tampang lintang serapan neutron yang besar. Tampang lintang serapan neutron boron = 755 barn.

Boron mempunyai titik leleh tinggi dan konduktivitas elektrikalnya rendah, sehingga B menjadi bahan yang penting dalam refraktori<sup>[3]</sup>. Hal ini menyebabkan keberadaan boron dalam zirkonium yang dimanfaatkan sebagai bahan refraktori tidak akan memberikan pengaruh negatif.

Dalam penelitian ini akan ditentukan kecepatan adsorpsi boron dalam larutan campuran Zr-B dengan bahan penyerap zeolit. Tujuan penentuan kecepatan adsorpsi boron ini pada akhirnya adalah untuk menentukan kondisi pemisahan unsur Zr dengan B menggunakan media zeolit. Diharapkan hasil penelitian ini dapat diaplikasikan dalam proses pemisahan unsur Zr terhadap B pada bahan kelongsong bahan bakar nuklir, karena pada bahan kelongsong ini unsur B merupakan racun terhadap neutron pada reaksi inti.

Zeolit merupakan material berpori yang penggunaannya 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). Unit pembentuk utama yang membangun zeolit adalah  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang membentuk sistem kristal tetrahedral sehingga setiap atom oksigen menempati/berada pada keempat sudutnya dan digunakan bersama oleh dua tetrahedral<sup>[4]</sup>. Zeolit biasanya ditulis dengan rumus kimia  $M_{2/n}O \cdot a \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot b \text{SiO}_2 \cdot c \text{H}_2\text{O}$  atau  $M_{c/n} \{(\text{AlO}_2)_c(\text{SiO}_2)_d\} \cdot b \text{H}_2\text{O}$  dengan n adalah valensi logam, a dan b adalah molekul silikat dan air, c dan d adalah jumlah tetrahedral alumina dan silika. Rasio d/c atau  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  bervariasi dari 1-5. Struktur rangka utama zeolit yang ditempati oleh atom silikon dan aluminium dengan empat atom oksigen di setiap sudutnya. Hal ini merupakan sisi aktif zeolit yang menyebabkan zeolit memiliki kemampuan sebagai penukar ion, adsorben, dan katalis. Atom oksigen yang terdapat dalam struktur zeolit tersebut terbagi antara dua tetrahedral, sehingga membentuk suatu rangka yang bersambung. Penggantian  $\text{Si}^{4+}$  dengan  $\text{Al}^{3+}$  dalam kerangka zeolit menyebabkan kerangka bermuatan negatif. Karena zeolit bermuatan negatif maka perlu diaktifkan terlebih dahulu dengan kation untuk menyeimbangkan muatan. Proses pengaktifan zeolit dapat menggunakan asam seperti HCl atau garam seperti NaCl dan  $\text{NH}_4\text{Cl}$ <sup>[5]</sup>.

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 : (1) jenis adsorben, (2) jenis adsorbat atau zat yang teradsorpsi, (3) luas permukaan adsorben, (4) konsentrasi zat terlarut, dan (5) temperatur.

Pemisahan boron dari zirkonium dengan metode adsorpsi untuk menentukan kecepatan adsorpsi ini dilakukan dengan melihat aspek kinetika adsorpsinya. Model kinetika sorpsi yang digunakan untuk menganalisis mekanisme adsorpsi boron ke permukaan adsorben adalah dengan model persamaan yang diajukan oleh Chen dkk (2003), serta Lee dan Lin (2004)<sup>[6]</sup>.

Asumsi yang dipakai pada penurunan persamaan matematis untuk menghubungkan konsentrasi adsorbat sebagai fungsi waktu mengikuti *power law rate equation* untuk kinetika reaksi kimia sebagai berikut :

$$\frac{dC}{dt} = -k'C^n \quad (1)$$

Persamaan (1) diintegrasikan menghasilkan persamaan (2) untuk  $n = 1$  dan persamaan (3) untuk  $n \neq 1$ .

$$\ln \frac{C}{C_0} = -k't \quad (2)$$

$$C^{1-n} - C_0^{1-n} = (n-1)k't \quad (3)$$

Disamping persamaan (2) dan (3), digunakan juga persamaan kecepatan adsorpsi yang dapat dipakai untuk menginterpretasikan data adsorpsi dan dinyatakan pada persamaan (4) ;

$$\ln \frac{C}{C_0} = -kt^n \quad (4)$$

Berdasarkan penelitian adsorpsi zat warna dan  $\beta$ -carotene dari edible oil menggunakan clay, diperoleh nilai  $n = 1/2$ . Jadi akhirnya diperoleh persamaan berikut<sup>[8]</sup>:

$$\ln \frac{C}{C_0} = -k't^{1/2} \quad (5)$$

Kecepatan adsorpsi yang berhubungan dengan suhu, ukuran zat penyerap, dan perbandingan massa zat penyerap/massa larutan menurut Chen (2003), Lee dan Lin (2004) mengikuti model persamaan (6).

$$\ln \frac{C}{C_0} = - \left[ k_0 \cdot e^{-\left(\frac{\Delta E}{RT}\right)} \cdot d^{n_1} \cdot r^{n_2} \right] \cdot t^{1/2} \quad (6)$$

dengan :

$$k = -k_0 \cdot e^{-\left(\frac{\Delta E}{RT}\right)} \cdot d^{n_1} \cdot r^{n_2} \quad (7)$$

atau

$$-k = k_0 \cdot e^{-\left(\frac{\Delta E}{RT}\right)} \cdot d^{n_1} \cdot r^{n_2} \quad (8)$$

Penentuan nilai  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $k_0$ , dan  $\Delta E$  pada persamaan (1) dilakukan secara grafis dengan prosedur sebagai berikut, dilakukan pengukuran kecepatan adsorpsi yang dinyatakan dengan perbandingan antara konsentrasi adsorbat setiap saat (sebagai fungsi waktu) terhadap konsentrasi adsorbat mula-mula pada suhu operasi, ukuran butir zat penyerap, dan ratio massa zat penyerap/massa larutan<sup>[6]</sup>.

Jika diameter adsorben (d) diubah-ubah, sedangkan variabel lain dibuat tetap dan

persamaan (8) ditulis dalam bentuk logaritma maka didapat persamaan (9). Hubungan antara  $\ln(-k)$  dengan  $\ln d$  merupakan garis lurus dengan kemiringan ( $n_1$ ).

$$\ln(-k) = \ln \left[ k_0 \cdot e^{-\left(\frac{\Delta E}{RT}\right)} \cdot r^{n_2} \right] + n_1 \ln d \quad (9)$$

Dengan cara yang sama nilai  $n_2$  ditentukan dengan mengubah-ubah nilai  $r$  sedangkan variabel lain (T dan d) dibuat tetap. Persamaan (5), jika dibuat grafik hubungan nilai  $\ln(C/C_0)$  dengan  $t^{1/2}$  sebagai fungsi waktu maka akan diperoleh garis lurus dengan slope (k). Nilai  $t^{1/2}$  diperoleh dengan mengkonversi waktu proses dalam satuan detik kemudian diakar.

Sedangkan jika ditulis dalam bentuk logaritma maka persamaan (8) akan berubah menjadi persamaan (10). Apabila yang diubah-ubah adalah suhu adsorpsi (T) dan variabel yang lain dibuat tetap maka persamaan (8) menjadi persamaan (11).

$$\ln(-k) = \ln \left[ k_0 \cdot e^{-\left(\frac{\Delta E}{RT}\right)} \cdot d^{n_1} \right] + n_2 \ln r \quad (10)$$

$$\ln(-k) = \ln \left( k_0 \cdot d^{n_1} \cdot r^{n_2} \right) + \left( -\frac{\Delta E}{RT} \right) \cdot \left( \frac{1}{r} \right) \quad (11)$$

Hubungan antara  $\ln(-k)$  dengan  $\ln r$  merupakan garis lurus dengan slope  $n_2$ , sedangkan jika dibuat grafik hubungan  $\ln(-k)$  dengan  $1/T$ , juga diperoleh garis lurus dengan slope  $(-\Delta E/R)$  dan  $\ln(k_0 \cdot d^{n_1} \cdot r^{n_2})$  sebagai intersep sehingga nilai  $\Delta E$  dan  $k_0$  bisa ditentukan.

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah : bahan  $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$  sebagai bahan baku, bahan pendukung  $H_3BO_3$ , larutan standar EDTA, indikator xylenol orange, bahan adsorben zeolit, aquades, film dan fixer.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : Peralatan pokok : waterbath (shakerbath), kompor pemanasan, termometer, oven dan lampu pemanas, ayakan, neraca analitik Denver & Sartorius 2405. Peralatan pendukung yang dipakai adalah unit analyzer Spektrografi Emisi Jarrel\_ash tipe 3,4 M, Densitometer Jarrel-Ash atau

Mikrofotometer, pelindung telinga, lumpang porselen, pipet ukur, pipet volume dan pipet mikro.

### Cara Kerja

#### a. Aktivasi zeolit

1. Zeolit digerus dan diayak hingga memperoleh ukuran butir yang diinginkan kemudian ditimbang dengan jumlah tertentu.
2. Zeolit kemudian dicuci dengan aquades dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110-120°C selama 2 jam.
3. Setelah itu zeolit dimasukkan ke dalam larutan NH<sub>4</sub>Cl 1N dengan perbandingan 1 gram zeolit dalam 10 ml larutan dan direndam = 48 jam.
4. Zeolit tersebut kemudian disaring dan dicuci dengan aquades sampai netral, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 110-120°C selama 3 jam.
5. Zeolit ini telah aktif dan siap digunakan.

#### b. Variasi suhu operasi

1. Larutan Zr-B yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam erlenmeyer, lalu dipanaskan dalam waterbath pada suhu tertentu.
2. Setelah suhu larutan Zr-B yang diinginkan tercapai 2,5 gram zeolit dimasukkan ke dalamnya kemudian stopwatch dihidupkan.
3. Larutan Zr-B dalam waterbath diambil setiap 15, 30, 45, dan 75 menit.
4. Larutan sampel dianalisis kadar boronnya menggunakan spektrofotometri emisi.
5. Percobaan (1 - 4) diulangi dengan variasi T= 30°C, 50°C, 60°C, dan 70°C.

#### c. Variasi ukuran butir

Percobaan b. diulangi dengan kondisi operasi pada suhu 303 K dan ratio berat zeolit terhadap berat larutan 0,0836, sedangkan untuk parameter ukuran butir zeolit divariasi yaitu tipe A untuk ukuran -16+30 mesh (661,877 μm), tipe B untuk ukuran -30 + 50 mesh (572,963 μm), tipe C untuk ukuran -50+70 mesh (473,319 μm), dan tipe D ukuran -80+120 mesh (225,265 μm).

#### d. Variasi ratio berat adsorben terhadap berat larutan

Percobaan C diulangi dengan kondisi operasi pada suhu 303 K dan ukuran butir zeolit 572,963 μm, sedangkan ratio berat zeolit terhadap berat larutan divariasi yaitu 0,0836, 0,1669, 0,2509, dan 0,3346. Variasi ratio berat zeolit terhadap berat larutan Zr-B dilakukan dengan cara bervariasi jumlah zeolit yang digunakan, yaitu 2,5 gr, 5 gr, 7,5 gr, dan 10 gr.

#### e. Analisis Boron

Analisis boron dilakukan dengan menggunakan alat spektrofotometri emisi dengan membuat kurva standar unsur boron sbb:

1. Dibuat larutan H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> dengan konsentrasi 5, 10, 15, 20, dan 25 ppm
2. Dilakukan pengukuran % transmitansinya (T) dengan Spektrofotometri Emisi Jarrel\_ash tipe 3,4 M
3. Dibuat kurva standar sesuai persamaan  $y = ax+b$  antara intensitas boron ( $I_B$ ) yang dihitung dengan persamaan (12) terhadap konsentrasi boron standar dengan x adalah konsentrasi boron dan y adalah intensitas boron.

$$I_B = -\text{Log}\left(\frac{1}{T}\right) \quad (12)$$

Harga R<sup>2</sup> pada kurva standar yang dapat diterima adalah  $\geq 0,95$  atau  $\geq 95\%$ .

#### f. Analisis Zirkonium

Kadar Zirkonium dihitung dengan persamaan (13)

$$\begin{aligned} \text{Kadar Zr} &= \frac{x \cdot M_{\text{EDTA}} \cdot \text{BA}_{\text{Zr}}}{\text{Volume sampel}} = \frac{x \cdot 0,05 \cdot 91,22}{1} \\ &= 4,561x \end{aligned} \quad (13)$$

Dengan x adalah volume EDTA yang diperlukan (ml), M<sub>EDTA</sub> adalah molaritas larutan standar EDTA (mmol/ml), BA<sub>Zr</sub> adalah berat atom Zr (mgr/mmol), dan jumlah sampel dalam ml.

Jumlah unsur boron yang terserap oleh adsorben zeolit dihitung dengan persamaan (14)

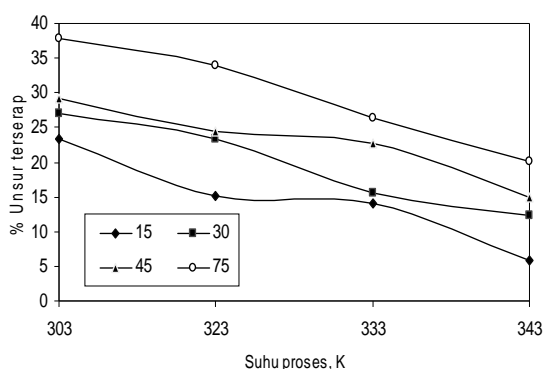
$$\%R = 100 \left( 1 - \frac{C}{C_0} \right) \quad (14)$$

dengan %R adalah unsur yang terserap adsorben zeolit,  $C$  = konsentrasi unsur setelah proses, dan  $C_0$  = konsentrasi unsur mula-mula.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Suhu Operasi dan Waktu Kontak

Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa dengan adanya kenaikan suhu operasi pada semua waktu kontak mengakibatkan jumlah unsur boron yang terserap oleh zeolit menjadi berkurang. Hal ini dimungkinkan oleh adanya kenaikan suhu di dalam sistem menyebabkan rongga-rongga zeolit bertambah besar sehingga unsur boron yang telah teradsorpsi oleh zeolit lolos kembali ke dalam larutan. Di samping itu dengan adanya kenaikan suhu larutan umpan menyebabkan bertambahnya gerak boron sehingga menyebabkan boron sulit teradsorpsi oleh zeolit dan lebih mudah lepas dari ikatannya.



Gambar 1. Pengaruh suhu operasi terhadap penyerapan boron oleh zeolit, diameter butir zeolit = 572,963  $\mu\text{m}$ , jumlah umpan larutan campuran = 30 ml, waktu perendaman 15, 30, 45 dan 75 menit

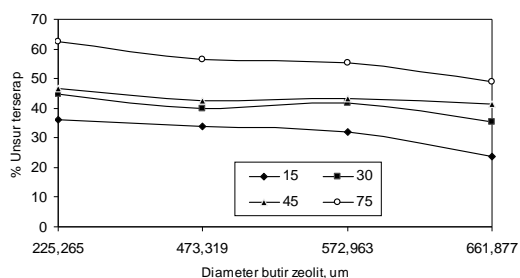
Penurunan jumlah boron yang teradsorpsi ketika suhu dinaikkan merupakan konsekuensi regangnya gaya-gaya antar molekul yang mengikat adsorbat di permukaan zeolit. Pada suhu rendah (303  $^{\circ}\text{K}$ ) terlihat semakin lama waktu kontak antara adsorbat dengan adsorben jumlah unsur boron yang terserap semakin bertambah. Dengan adanya penyerapan kimia ini merupakan kombinasi dari molekul gas dengan permukaan padatan. Karena dengan adanya panas yang tinggi maka adsorpsi tenaga memiliki oleh penyerapan kimia dari molekul-molekul dapat dibedakan secara mudah. Dengan energi aktivasi dipergunakan untuk reaksi

melingkupi penyerapan kimia, maka jumlah energi molekul-molekul dapat diperkirakan lebih rendah dari yang diperlukan untuk melingkupi molekul-molekul saja. Ini sebagai dasar bahwa kesetimbangan kimia merupakan penjelasan terjadinya kesetimbangan reaksi kimia pada permukaan suatu padatan. Pada penyerapan kimia terjadi pengaktifan yang berarti kecepatannya dipengaruhi dengan suhu yang ditunjukkan pada tenaga aktivasi yang terbatas dalam persamaan Arrhenius  $k = A \cdot e^{-E/RT}$ . Hal ini disebabkan oleh waktu kontak mempengaruhi daya adsorpsi molekul dari suatu adsorbat. Bertambahnya waktu kontak memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul adsorbat berlangsung lebih sempurna. Dalam proses adsorpsi, proses akan terus berlangsung selama belum terjadi kesetimbangan. Pada penelitian ini, kesetimbangan adsorpsi belum dapat diketahui karena hanya ditekankan pada aspek kinetika adsorpsinya untuk menentukan kecepatan adsorpsi. Dari hal di atas proses adsorpsi boron oleh zeolit akan berlangsung baik pada suhu rendah.

### Pengaruh Ukuran Butir Zeolit

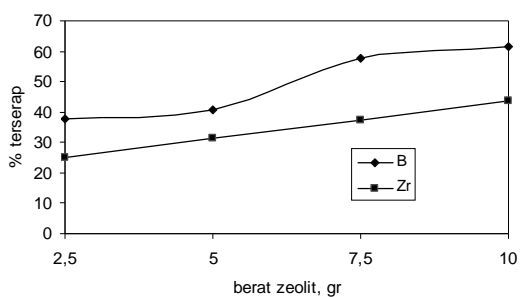
Dari Gambar 2 terlihat dengan adanya kenaikan ukuran butir zeolit pada semua waktu kontak menyebabkan jumlah unsur boron yang terserap oleh zeolit menjadi berkurang. Adanya tendensi penurunan adsorpsivitas jika diameter butir zeolit semakin besar dikarenakan semakin kecil ukuran diameter zeolit maka semakin luas permukaan zeolit. Semakin besar luas permukaan zeolit menyebabkan semakin banyak boron yang terserap, sehingga proses adsorpsi dapat semakin efektif. Selain itu, semakin kecil ukuran butir zeolit maka semakin besar kecepatan adsorpsinya. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi boron oleh zeolit akan berlangsung baik pada suhu rendah dengan ukuran butir 225,265  $\mu\text{m}$ . Pada waktu perendaman 75 menit jumlah unsur boron yang teradsorpsi oleh zeolit sebanyak 62,57%.

Dari Gambar 3. ditunjukkan bahwa jumlah unsur boron yang teradsorpsi oleh zeolit lebih besar dari pada unsur Zr. Dengan bertambahnya jumlah zeolit yang digunakan maka jumlah boron dan Zr yang teradsorpsipun juga meningkat.



Gambar 2. Pengaruh diameter butir adsorben zeolit terhadap penyerapan boron oleh zeolit, berat zeolit = 2,5 gr, jumlah umpan larutan campuran = 30 ml, waktu perendaman 15, 30, 45 dan 75 menit

### Pengaruh Berat Adsorben Zeolit



Gambar 3. Pengaruh berat adsorben zeolit terhadap penyerapan boron dan zirkon oleh zeolit, diameter butir = 473,319  $\mu$ m, jumlah umpan larutan campuran = 30 ml, waktu perendaman 75 menit

Hal ini disebabkan oleh semakin banyak jumlah adsorben yang digunakan, memberikan luas permukaan bidang kontak yang semakin besar juga sehingga molekul adsorbat yang teradsorpsi juga semakin banyak. Di samping itu molekul-molekul yang memiliki tingkat polaritas dan kelarutan rendah cenderung lebih mudah teradsorpsi. Karena tingkat kelarutan  $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$  lebih besar dari pada tingkat kelarutan asam borat, maka jumlah boron yang teradsorpsipun lebih besar dari pada zirkonium.

Umumnya, kenaikan jumlah adsorben menyebabkan kenaikan jumlah adsorbat yang terserap. Hal ini dikarenakan luas permukaan bidang kontak adsorben bertambah besar dengan semakin besarnya jumlah adsorben. Dengan kata lain semakin banyak *site* yang tersedia untuk permukaan adsorpsi maka semakin banyak juga adsorbat yang terserap dan kecepatan adsorpsinya juga semakin besar. Hasil penelitian menunjukkan hal yang sama,

dengan bertambahnya berat zeolit menyebabkan jumlah boron yang teradsorpsi semakin bertambah.

### Kinetika Adsorpsi

Proses terjadinya adsorpsi boron menggunakan zeolit dilakukan dengan model kinetika adsorpsi, sedangkan model adsorpsi isoterm tidak dilakukan sehingga kapasitas dan afinitas adsorpsi boron pada permukaan zeolit belum dapat diketahui. Studi kinetika adsorpsi dilakukan dengan tujuan untuk menyatakan tingkat kecepatan penyerapan yang terjadi pada adsorben terhadap boron. Model kinetika sorpsi yang digunakan untuk menganalisis mekanisme adsorpsi boron ke permukaan adsorben adalah model persamaan yang diajukan oleh Chen dkk (2003) serta Lee dan Lin (2004). Kecepatan adsorpsi yang berhubungan dengan suhu, ukuran zat penjerap, dan perbandingan massa zat penjerap/massa larutan mengikuti persamaan (9)<sup>[6]</sup>.

Perhitungan nilai-nilai  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $\Delta E$  dan  $k_0$  dilakukan secara grafis berdasarkan persamaan (9), (10), dan (11) Jika dibuat grafik hubungan  $\ln(C/C_0)$  dengan  $t^{1/2}$  sesuai pada persamaan (5), akan diperoleh garis lurus dengan  $k$  sebagai slope. Kemiringan garis lurus ( $-k$ ) yang diperoleh tersebut seperti ditunjukkan pada persamaan (11) ditampilkan pada Tabel 1.

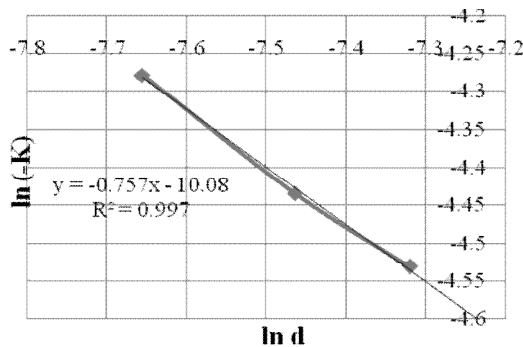
Nilai  $n_1$  ditentukan dengan cara mengubah-ubah diameter adsorben ( $d$ ), sedangkan variabel lain yaitu rasio massa zeolit/massa larutan ( $r$ ) dan suhu ( $T$ ) dibuat tetap yaitu dengan memakai berat zeolit 2,5 gr (ratio = 0,0836) dan suhu 303 °K, kemudian dibuat grafik hubungan antara  $\ln(-k)$  dengan  $\ln d$  (Gambar 4). Kemiringan garis lurus yang diperoleh ( $n_1$ ) sebesar -0,757.

Sedangkan nilai  $n_2$  diperoleh dari slope grafik hubungan antara  $\ln(-k)$  dengan  $\ln r$  dari data yang tercantum pada Tabel 1 dengan nilai  $d$  dan  $T$  tetap (Gambar 5). Nilai  $n_2$  yang diperoleh yaitu sebesar 0,465.

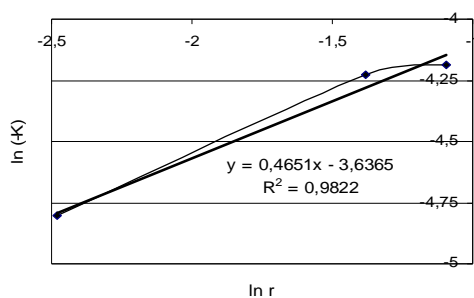
Nilai  $\Delta E$  dan  $k_0$  ditentukan berdasarkan persamaan (11) dengan membuat grafik hubungan antara  $\ln(-k)$  dengan  $(1/T)$  dari data pada tabel 1 untuk nilai  $d$  dan  $r$  tetap. Kemiringan garis merupakan  $(-\Delta E/R)$  dengan nilai  $R$  sebesar 8,314 J/(grmol.K) dan sebagai intersepnya yaitu  $\ln(k_0 \cdot d^{n_1} \cdot r^{n_2})$  (Gambar 6).

Tabel 1. Data-data untuk menghitung nilai  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $\Delta E$  dan  $k_0$  berdasarkan persamaan (9), (10), dan (11)<sup>(8)</sup>

T (K)	r	d (10 <sup>-4</sup> m)	1/T	ln r	ln d	-K	ln (-K)
303	0,0836	5,7296	0,0033	-2,4817	-7,4647	0,0082	-4,8012
303	0,1669	5,7296	0,0033	-1,7904	-7,4647	0,0068	-4,9908
303	0,2509	5,7296	0,0033	-1,3827	-7,4647	0,0146	-4,2295
303	0,3346	5,7296	0,0033	-1,0948	-7,4647	0,0152	-4,1851
303	0,0836	6,6188	0,0033	-2,4817	-7,3204	0,0108	-4,5310
303	0,0836	5,7296	0,0033	-2,4817	-7,4647	0,0119	-4,4337
303	0,0836	4,7332	0,0033	-2,4817	-7,6557	0,0139	-4,2783
303	0,0836	2,2527	0,0033	-2,4817	-8,3982	0,0068	-4,9850
303	0,0836	5,7296	0,0033	-2,4817	-7,4647	0,0081	-4,8171
323	0,0836	5,7296	0,0031	-2,4817	-7,4647	0,0045	-5,4037
333	0,0836	5,7296	0,0030	-2,4817	-7,4647	0,0040	-5,5315
343	0,0836	5,7296	0,0029	-2,4817	-7,4647	0,0043	-5,4468

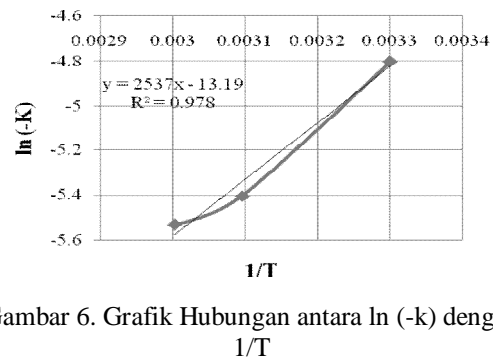


Gambar 4. Grafik Hubungan antara ln (-k) dengan ln d



Gambar 5. Grafik Hubungan antara ln (-k) dengan ln r

Dengan serta nilai  $n_1$  dan  $n_2$  yang telah diketahui, maka didapatkan nilai  $\Delta E$  sebesar -21092,618 J/grmol dan  $k_0$  yang terhitung sebesar 0,0007/ $\mu\text{m}\cdot\text{detik}$ .



Gambar 6. Grafik Hubungan antara ln (-k) dengan 1/T

Dengan perhitungan secara grafis, didapatkan persamaan kecepatan adsorpsi sebagai berikut :

$$\ln \frac{C}{C_0} = - \left[ 0,0007 \cdot e^{\left( \frac{-21092,62}{RT} \right)} \right] \cdot d^{-0,757} \cdot r^{0,465} \quad (14)$$

Persamaan (14) hanya berlaku untuk kisaran nilai suhu (T) 303 - 343 K, diameter butir zeolit (d) 225,27 - 661,88  $\mu\text{m}$ , rasio massa zeolit/massa larutan (r) 0,0836 - 0,3346. Proses adsorpsi ini dilakukan tanpa pengadukan.

Persamaan (14) menunjukkan bahwa kecepatan adsorpsi boron dalam zirkonium menggunakan zeolit berbanding lurus dengan rasio massa zeolit terhadap massa larutan, hal tersebut ditunjukkan dengan nilai pangkat r yang positif. Diameter butir zeolit berbanding terbalik dengan kecepatan adsorpsi boron dalam zirkonium menggunakan zeolit. Hal ini ditunjukkan dengan nilai pangkat d yang negatif. Persamaan (14) juga menunjukkan

bahwa kenaikan suhu menyebabkan kecepatan adsorpsi berkurang.

Energi pengaktifan ( $\Delta E$ ) adalah energi minimum agar molekul-molekul dapat bereaksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai  $\Delta E$  negatif (lebih kecil dari 1 kkal/grmol). Hal ini mengindikasikan bahwa proses adsorpsi boron dalam zirkonium ke permukaan zeolit merupakan jenis adsorpsi fisika, sehingga kemungkinan jenis adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi fisik. Adapun kemungkinan lain yaitu ikatan yang terjadi merupakan ikatan kimia dan reaksi yang terjadi merupakan reaksi bolak-balik. Ketika suhu naik reaksi cenderung berjalan ke kiri, sedangkan nilai  $K$  yang dihitung kemungkinan adalah  $K$  kumulatif sehingga nilai  $K$  cenderung turun dengan naiknya suhu yang menyebabkan nilai energi pengaktifan negatif.

## KESIMPULAN

Zeolit alam yang telah diaktivasi dapat digunakan untuk mengadsorpsi boron dalam zirkonium. Boron yang teradsorpsi bertambah besar seiring dengan bertambahnya rasio massa zeolit terhadap massa larutan Zr-B, akan tetapi berkurang dengan adanya kenaikan suhu adsorpsi dan diameter butir zeolit.

Kecepatan adsorpsi boron dalam zirkonium menggunakan zeolit dapat dinyatakan dalam persamaan yaitu sebagai berikut :

$$\ln \frac{C}{C_0} = - \left[ 0,0007 \cdot e^{\left( \frac{-21092,62}{RT} \right)} \right] \cdot d^{-0,757} \cdot r^{0,465}$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa diameter butir zeolit berbanding terbalik dengan kecepatan adsorpsi yang ditunjukkan dengan pangkat  $d$  yang negatif, sedangkan ratio massa zeolit terhadap massa larutan berbanding lurus yang ditunjukkan dengan pangkat yang positif. Dari persamaan diatas juga menunjukkan bahwa kenaikan temperatur menyebabkan kecepatan adsorpsi boron dalam zeolit berkurang. Persamaan kecepatan adsorpsi boron tersebut hanya berlaku untuk kisaran nilai suhu ( $T$ ) 303 - 343 °K, diameter butir zeolit ( $d$ ) 225,27 – 661,88  $\mu\text{m}$ , ratio massa zeolit/massa larutan ( $r$ ) 0,0836 – 0,3346, dan berlaku untuk sistem adsorpsi tanpa adanya pengadukan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Diucapkan terima kasih kepada Sdri. Ida Yusraini, mahasiswa STTN angkatan 2005 yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini dan Bp. Aryadi, ST yang telah membantu dalam analisis boron serta Bp. Sudibyo yang membantu dalam editing.

## DAFTAR PUSTAKA

1. SUNARDI, 2006, "116 Unsur Kimia Deskripsi dan Pemanfaatannya", Yrama Widya, Bandung.
2. SAHAT SIMBOLON, BUSRON MASDUKI, DAN ARYADI, 2000, "Penentuan Unsur-unsur Takmurnian di dalam Zirkonium Oksida dengan Metode Spektrografi Emisi", Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir V P2TBDU dan P2BGDN-BATAN, Jakarta.
3. CATHERINE E. HOUSECROFT DAN ALAN G. SHARPE, 2005, "Inorganic Chemistry", Second Edition, Pearson Education Limited, England.
4. S. GOLDBERG, 2004, "Modeling Boron Adsorption Isotherms and Envelopes Using the Constant Capacitance Model", *Vadose Zone Journal* 3:676–680(2004), Soil Science Society of America, USA.
5. NOOR ANIS KUNDARI DAN SLAMET WIYUNIATI, 2008, "Tinjauan Kesetimbangan Adsorpsi Tembaga Dalam Limbah Pencuci PCB Dengan Zeolit", Seminar Nasional IV, SDM Teknologi Nuklir, 25-26 Agustus 2008, Yogyakarta.
6. PANUT MULYONO, 2007, "Kecepatan Adsorpsi Amoniak dalam Air dengan Karbon Aktif", *Forum Teknik* Vol.31, No.2, Jurusan Teknik Kimia, UGM, Yogyakarta.
7. S. GOLDBERG, 1999, *Reanalysis of Boron Adsorption on Solils and Soil Minerals Using the Constance Model*, Soil Science of America Journal, USA.
8. IDA YUSNAINI, 2009, "Kecepatan Adsorpsi Boron Dalam Zirkonium Menggunakan Boron" Tugas Akhir.