

# STUDI KINETIKA PELINDIAN CAMPURAN NATRIUM ZIRKONAT, NATRIUM SILIKAT MENGGUNAKAN AIR BERDASARKAN *SHRINKING CORE MODEL*

## *KINETIC STUDY ON LEACHING MIXED OF SODIUM ZIRCONATE, SODIUM SILICATE USING WATER BASED SHRINKING CORE MODEL*

Oleh: Annisa Widyastuti<sup>1</sup>, I Made Sukarna, M.Si<sup>1</sup>, Ir. Moch. Setyadji, MT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Pendidikan Kimia, FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta

<sup>2</sup>Pusat Sains dan Teknologi Akselerator – BATAN Yogyakarta

e-mail : [annisa.widyastuti27@gmail.com](mailto:annisa.widyastuti27@gmail.com) ; [made\\_sukarna@uny.ac.id](mailto:made_sukarna@uny.ac.id); [mstyadji@batan.go.id](mailto:mstyadji@batan.go.id)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi optimum variasi suhu dan waktu terhadap kadar Si terlarut hasil pelindian campuran natrium zirkonat ( $\text{Na}_2\text{ZrO}_3$ ) dan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), menentukan pengendali laju reaksi, menentukan nilai konstanta kecepatan reaksi ( $k$ ) dan energi aktivasi ( $E_a$ ) berdasarkan *shrinking core model* (SCM). Metode pelindian dilakukan menggunakan pelarut air dan dianalisis dengan Spektroskopi Serapan Atom (SSA). Pendekatan melalui grafik fungsi polinomial dilakukan untuk menentukan nilai optimum. Hasil analisa SSA menunjukkan bahwa konsentrasi Si dalam leburan sebesar 3132 ppm (b/b) dan nilai optimum konsentrasi Si terlarut berada pada suhu 95°C, waktu 68 menit. Rezim yang mengontrol reaksi adalah kontrol difusi liquid film (*liquid film diffusion control mechanism*) dengan persamaan  $\alpha = \frac{6bDC_A}{\rho_B R_0^2 t} = k_1 t$ . Hubungan antara suhu ( $T$ ) dengan konstanta kecepatan reaksi ( $k$ ) adalah  $\ln k = 2798/T - 0,1776$  dengan nilai  $k$  pada suhu 55 °C, 75 °C dan 95 °C berturut-turut sebesar 0,0002; 0,0005 dan 0,0008 serta energi aktivasi ( $E_a$ ) = 23,262 kJ/molK.

**Kata kunci:** silika, pelindian, *shrinking core model*.

### Abstract

*This study aims to determine the optimum conditions and a higher time frequency of leaching mixture of sodium zirconate ( $\text{Na}_2\text{ZrO}_3$ ) and sodium silicate ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), determine the control of the reaction, determine the reaction speed constant ( $k$ ) and activation energy ( $E_a$ ) based on the shrinking core model (SCM). Leaching method was carried out using water solvents and analyzed by Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). The polynomial classification function is performed to determine the optimal value. The results of SSA analysis showed that the Si concentration in melting was 3132 ppm (b/b) and the optimum concentration of Si was dissolved at 95° C, 68 minutes. The influential regime is the diffusion control of liquid film with the equation  $\alpha = \frac{6bDC_A}{\rho_B R_0^2 t} = k_1 t$ . The relationship between temperature ( $T$ ) with the reaction speed constant ( $k$ ) is  $\ln k = 2798 / T - 0.1776$  with  $k$  values at temperatures of 55 ° C, 75 ° C and 95 ° C respectively 0.0002; 0,0005 and 0,0008 and activation energy ( $E_a$ ) = 23,262 kJ/molK.*

**Keywords:** silica, leaching, *shrinking core model*

### PENDAHULUAN

Pasir zirkon merupakan salah satu material yang memiliki nilai strategis dalam berbagai industri. Mineral zirkon yang ada berbentuk  $\text{ZrO}_2$  (Zirkonium dioksida), akan tetapi kebanyakan mineral zirkon berbentuk orto silikat yaitu  $\text{ZrSiO}_4$  (Lustman, 1955).

Keunggulan dari unsur zirkonium diantaranya memiliki tampang lintang (*cross section*) serapan neutron yang rendah, tahan korosi, mempunyai titik leleh tinggi dan sifat mekanik kuat (Lustman, 1955). Dalam reaktor nuklir, zirkonium digunakan sebagai kelongsong elemen bakar karena mempunyai tampang

lintang serapan neutron yang rendah yaitu sebesar 0,185 barn (Biyantoro, 2017). Kegunaan zirkonium sebagai bahan struktur reaktor mengakibatkan dilakukannya usaha untuk menghasilkan logam zirkonium dengan tingkat kemurnian yang tinggi dan biaya produksi serendah mungkin.

Benedict (1981) mengatakan bahwa ada dua cara pengolahan pasir zirkon, yaitu proses basah dan proses kering. Tahap pengolahan pasir zirkon dengan proses basah dimulai dengan pemisahan zirkonium dari silikat dengan cara pelindian dengan menggunakan air. Akan tetapi sebelum dilakukan pelindian, dilakukan peleburan mineral zirkon dengan soda api (NaOH) dan zat aditif berupa NaF dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  pada suhu tinggi. Tujuannya adalah agar ikatan  $\text{SiO}_2$  dapat lepas dari mineral zirkon dan berikatan dengan soda api membentuk natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) yang lebih mudah untuk dilarutkan.

Silikat dalam hasil leburan berbentuk natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) yang larut dalam air dan zirkon terbentuk dalam natrium zirkonat ( $\text{Na}_2\text{ZrO}_3$ ) yang tidak larut dalam air sehingga pengambilan senyawa silikat dapat dilakukan dengan pelindian menggunakan pelarut air. Penggunaan air dalam proses pelindian diharapkan unsur silika dapat terpisah dan terlindi dalam air sehingga dapat mengurangi unsur pengotor pada proses pemurnian zirkonium.

Model penyusutan digunakan untuk menggambarkan karakteristik kinetika ekstraksi sistem heterogen padat - cair. Pada proses pelindian, butir - butir padatan akan menyusut bereaksi dengan pelarut. Menurut Mubarak

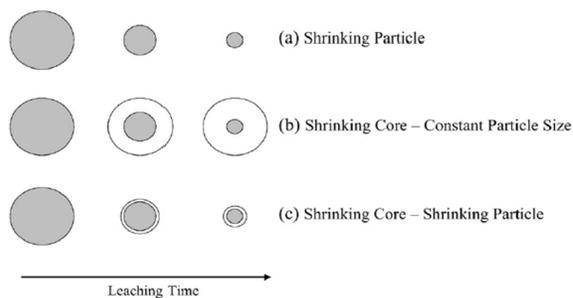
(2016) bahwa studi kinetika pelindian dilakukan untuk menentukan persamaan laju pelindian, mengetahui pengendali laju reaksi, menentukan parameter kinetika pelindian (konstanta laju reaksi), energi aktivasi reaksi dan model kinetiknya. Pengendali laju reaksi penting untuk diketahui karena untuk mengetahui upaya apa saja yang dapat dilakukan untuk meningkatkan laju proses pelindian, misalnya peningkatan kecepatan pengadukan, peningkatan suhu atau konsentrasi reagen pelindi. Oleh karena itu, kinetika reaksi sangat diperlukan untuk pengembangan proses produksi dan operasi desain reaktor skala tinggi.

Kinetika proses pelindian dapat didekati dengan model kinetika inti yang menyusut (*shrinking core model* atau disingkat SCM). Penggunaan model *shrinking core* untuk analisis kinetika pelindian dilandasi asumsi-asumsi sebagai berikut:

1. Partikel berbentuk bulat
2. Selama proses berlangsung, partikel menyusut secara seragam, dengan demikian, ia mempertahankan bentuk sferisnya.
3. Dengan tidak adanya informasi yang memadai, ketebalan lapisan di sekitar inti diasumsikan konstan selama proses pelindian.
4. Suhu tetap konstan selama proses berlangsung
5. Zat lain yang ada dalam umpan tidak berpengaruh signifikan terhadap kinetika (Safari et al., 2009)

Ilustrasi pada berbagai mekanisme pada *shrinking core model* (SCM) ditunjukkan dalam Gambar 1.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menentukan kondisi optimum dan melakukan studi kinetika pada pelindian campuran natrium zirkonat ( $\text{Na}_2\text{ZrO}_3$ ) dan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) menggunakan air dengan variasi suhu dan waktu berdasarkan *shrinking core model* (SCM) dengan analisis Si terlarut menggunakan alat Spektroskopi Serapan Atom (SSA).



Gambar 1. Ilustrasi berbagai Mekanisme dari Pelindian (Safari et al., 2009)

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu alat-alat gelas dan ukur, neraca analitik, satu set alat refluks, pemanas dengan variasi putaran, *magnetic stirrer*, *stopwatch*, termometer raksa, *furnace M 1100*, cawan porselen, penyaring buchner, kertas saring *whatmann* No.41, dan AAS. Bahan yang digunakan adalah pasir zirkon, akuades, NaOH, NaF dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

### Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini, pembuatan umpan dilakukan dengan melebur pasir zirkon dengan NaOH dengan perbandingan 1 : 1,1. Kemudian dilebur dengan *furnace* peleburan pada suhu  $800^\circ\text{C}$  selama dua jam. Dari hasil peleburan diperoleh umpan berupa padatan untuk pelindian

air dengan komposisi berupa  $\text{Na}_2\text{ZrO}_3$  dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ .

Pelindian menggunakan pelarut air dilakukan dengan variasi suhu ( $55^\circ\text{C}$ ,  $75^\circ\text{C}$ ,  $95^\circ\text{C}$ ) dan waktu (15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit, 75 menit) dengan nilai perbandingan umpan : pelarut sebesar 1 : 40 dan kecepatan pengadukan sebesar 220 rpm. Filtrat hasil pelindian dianalisis kadar Si menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA).

## Teknik Analisis Data

### Menghitung Konversi ( $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{\text{Si dalam larutan hasil pelindian}}{\text{Si dalam umpan hasil leburan}} \quad (1)$$

## Menentukan Kondisi Optimum Variasi Suhu dan Waktu

Nilai optimum variasi suhu dan waktu dapat ditentukan dengan membuat grafik hubungan konversi ( $\alpha$ ) vs waktu terhadap masing-masing variabel. Penentuan nilai optimum dilakukan dengan pendekatan melalui grafik fungsi polinomial ( $y = ax^2 + bx + c$ ), nilai regresi ( $R^2$ ) paling mendekati satu dianggap mewakili nilai optimum suhu berdasar data hasil penelitian. Kemudian, dengan syarat  $\frac{dy}{dx} = 0$ , persamaan y ditentukan nilai x-nya sebagai nilai optimum waktu.

## Menentukan Pengendali Laju Reaksi berdasarkan *Shrinking Core Model* (SCM)

Menurut model penyusutan inti (*shrinking core model*) sesuai dengan ilustrasi dan visualisasi pada Gambar 1, laju reaksi dari suatu proses heterogen dapat dikendalikan dengan salah satu dari model berikut: (Purwani, 2016)

1. Kontrol difusi liquid film (*liquid film diffusion control mechanism*)

$$\alpha = \frac{6bDC_A}{\rho_B R_0^2 t} = k_1 t \quad (2)$$

2. Kontrol reaksi kimia permukaan (*surface chemical reactions control mechanism*)

$$1 - (1-\alpha)^{\frac{1}{3}} = \frac{6bDC_A}{\rho_B R_0^2 t} = k_2 t \quad (3)$$

3. Kontrol difusi lapisan produk (*ash/product layer diffusion control mechanism*):

$$1 + 2(1-\alpha) - 3(1-\alpha)^{\frac{2}{3}} = \frac{6bDC_A}{\rho_B R_0^2 t} = k_3 t \quad (4)$$

dengan  $\alpha$  adalah konversi atau fraksi yang terlindi,  $k$  adalah konstanta kecepatan reaksi ( $\text{menit}^{-1}$ ),  $t$  adalah waktu pelindian ( $\text{menit}^{-1}$ ),  $\rho_B$  adalah densitas molar reaktan padat ( $\text{mol/m}^3$ ),  $R_0$  adalah jari-jari bola (m),  $b$  adalah koefisien stoikiometrik padatan,  $D$  adalah koefisien difusi efektif ( $\text{m}^2/\text{s}$ ), dan  $C_A$  adalah konsentrasi A (Si) dalam larutan umpan ( $\text{mol/m}^3$ ) (Ajemba & Onukwuli, 2012).

Jika nilai regresi linier ( $R^2$ ) hubungan antara waktu ( $t$ ) dengan  $\alpha$  mendekati satu, maka dapat dikatakan bahwa proses pelindian dikontrol melalui kontrol difusi liquid film (*liquid film diffusion control mechanism*). Jika nilai regresi linier ( $R^2$ ) hubungan antara waktu ( $t$ ) dengan  $1 - (1 - \alpha)^{1/3}$  mendekati satu, maka dapat dikatakan bahwa proses pelindian dikontrol melalui kontrol reaksi kimia permukaan (*surface chemical reactions control mechanism*), dan jika nilai regresi linier ( $R^2$ ) hubungan antara waktu ( $t$ ) dengan  $1 + 2(1-\alpha) - 3(1-\alpha)^{2/3}$  mendekati satu, maka dapat dikatakan bahwa proses pelindian dikontrol melalui kontrol difusi lapisan produk (*product layer diffusion control mechanism*).

## Menentukan Nilai Konstanta Kecepatan Reaksi ( $k$ ) dan Energi Aktivasi ( $E_a$ )

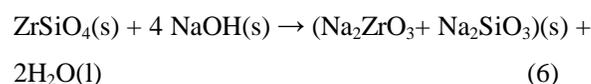
Penentuan nilai konstanta kecepatan reaksi ( $k$ ) dan Energi Aktivasi ( $E_a$ ) dapat dilakukan dengan mengacu pada persamaan:

$$\ln k = -\frac{E_a}{R} \frac{1}{T} + \ln A \quad (5)$$

Nilai  $k$  merupakan slope dari persamaan garis lurus yang terbentuk. Penentuan energi aktivasi ( $E_a$ ) dicari dari kurva hubungan antara  $\ln k$  dengan  $\frac{1}{T}$  berdasarkan pada persamaan (5). Energi aktivasi ( $E_a$ ) merupakan harga slope dikalikan  $R$  (tetapan gas  $8,314 \text{ J/mol}^\circ\text{K}$ ).

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN Peleburan Pasir Zirkon

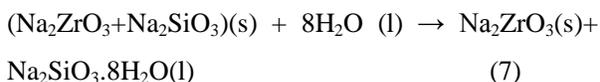
Sebanyak 125 gram pasir zirkon, 0,2 gram  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dan 0,2 gram  $\text{NaF}$  dicampur terlebih dahulu sebelum dilakukan peleburan sehingga diperoleh campuran pasir zirkon yang heterogen. Campuran pasir zirkon yang heterogen dilebur menggunakan cawan porselen yang diberi alas berupa *stainless steel* dengan alat *furnace*. Mekanisme reaksi yang terjadi pada saat proses peleburan adalah sebagai berikut: (Dedy, 2011)



Berdasarkan proses dari peleburan pasir zirkon yang telah dilakukan, diperoleh massa akhir hasil leburan sebesar 232,8 gram. Komposisi padatan hasil leburan berupa natrium zirkonat ( $\text{Na}_2\text{ZrO}_3$ ) dan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) yang berwarna keabu-abuan sedikit hijau dan berbentuk butir-butir kasar. Sebagian massa leburan tidak dapat terambil, % massa leburan yang tidak terambil adalah sebesar 11,4%.

## Pelindian Menggunakan Air

Reaksi yang terjadi pada saat proses pelindian natrium zirkonat ( $\text{Na}_2\text{ZrO}_3$ ) dan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) menggunakan air adalah : (Supriadi, 2011)

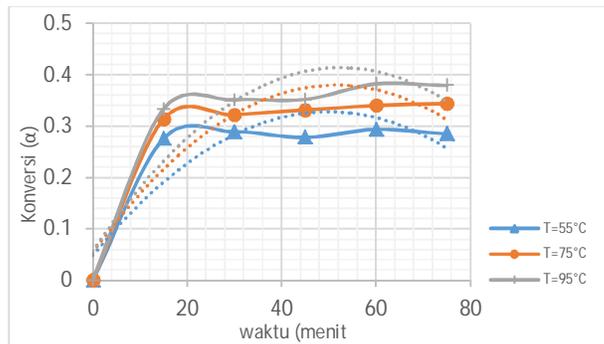


Hasil dari proses pelindian ditampung dalam erlenmeyer kemudian dianapkan selama  $\pm 24$  jam agar terbentuk dua lapisan. Perbedaan yang tampak antara larutan sebelum dan sesudah dianapkan adalah warna larutan yang masih terlihat putih keruh kehijauan pada saat sebelum dianapkan, sementara setelah larutan dianapkan selama  $\pm 24$  jam, terlihat dua lapisan yaitu larutan berwarna bening kehijauan dan endapan berwarna putih pucat.

Setelah itu, dilakukan penyaringan dengan kertas saring *Whatmann* No. 41 dengan bantuan pompa vakum sehingga dapat diperoleh filtrat yang mengandung  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  sedangkan endapannya mengandung  $\text{Na}_2\text{ZrO}_3$ . Endapan dikeringkan dan ditampung sedangkan filtratnya dianalisis kandungan unsur Si terlarut menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA).

### Menentukan Kondisi Optimum

Berdasarkan hasil analisis unsur Si pada Tabel 1, kondisi optimum pelindian dapat dicari dengan membuat grafik hubungan antara waktu dengan konversi ( $\alpha$ ) pada berbagai suhu. Grafik hubungan antara konversi dan waktu pada berbagai suhu ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan antara Konversi vs Waktu pada berbagai Suhu

Tabel 1. Hasil Analisis Unsur Si

Sampel	Suhu (°C)	Variasi Waktu (menit)	Konsentrasi (ppm)
serbuk	-	-	3132
0	55	0	0
1		15	862,4
2		30	904,6
3		45	870,5
4		60	919,4
5		75	891,5
6	75	15	980,7
7		30	1008
8		45	1037
9		60	1065
10		75	1077
11	95	15	1043
12		30	1099
13		45	1102
14		60	1196
15		75	1187

### 1. Suhu Lamanya Proses Pelindian

Sesuai dengan persamaan Arrhenius, semakin tinggi suhu maka reaksi akan berjalan semakin cepat. Akan tetapi, kenaikan suhu dibatasi oleh kemampuan alat dan sifat-sifat fisis yang ada di dalam sistem (Handayani, 2009). Berdasarkan grafik pada Gambar 2, semakin tinggi temperatur reaksi maka nilai konversi Si mengalami kenaikan. Hal ini terlihat pada grafik bahwa pada suhu dengan nilai konversi tertinggi ke rendah secara berurutan berada pada suhu

95°C, 75°C dan 55°C dengan nilai regresi ( $R^2$ ) menggunakan persamaan grafik fungsi polinomial secara berturut-turut sebesar 0,8349; 0,8229; dan 0,8078.

## 2. Waktu Lamanya Proses Pelindian

Waktu yang baik adalah jika jumlah *solute* dalam *solvent* mencapai titik optimum, sehingga pada waktu maksimum tersebut sudah tidak ada penambahan *solute* dalam *solvent*. Sesuai dengan Gambar 2 berdasarkan data hasil penelitian, diperoleh nilai regresi ( $R^2$ ) paling mendekati satu adalah suhu 95°C dengan  $R^2 = 0,8349$  dengan persamaan fungsi polinomial:

$$y = -0,0001x^2 + 0,0136x + 0,0565 \quad (8)$$

Penentuan nilai optimum waktu berdasar data hasil penelitian dilakukan dengan syarat:

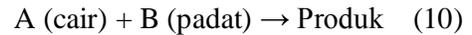
$$\frac{dy}{dx} = 0 \quad (9)$$

Sesuai perhitungan pada persamaan (8) dan (9), diperoleh nilai  $x = 68$ . Artinya, nilai optimum pada variasi suhu dan waktu adalah 95°C dengan waktu 68 menit.

Habib (2012), melakukan penelitian mengenai pengaruh temperatur pelindian terhadap parameter air gambut pasca koagulasi, dengan hasil bahwa variasi temperatur pelindian mempengaruhi jumlah masing-masing kation yang terekstraksi karena suhu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi laju reaksi. Laju reaksi akan semakin meningkat dengan penambahan suhu, hal ini disebabkan oleh interaksi antar molekul yang semakin tinggi sehingga reaksi dapat berlangsung lebih cepat. Semakin tinggi suhu reaksi maka nilai konversi semakin tinggi.

## Kinetika Reaksi dan Menentukan Pengendali Laju Reaksi berdasarkan *Shrinking Core Model*

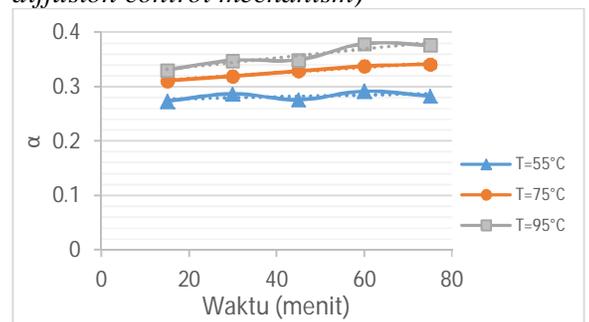
Kinetika pelindian berdasarkan *shrinking core model* dapat terjadi dengan pendekatan matematis dengan model (rumus) sesuai dengan persamaan (3, 4 dan 5). Ilustrasi pada proses pelindian campuran natrium zirkonat dan natrium silikat menggunakan pelarut air sebagai berikut: (Supriadi, 2011).



dengan A adalah  $H_2O$  dan B adalah  $(Na_2ZrO_3 + Na_2SiO_3)$ .

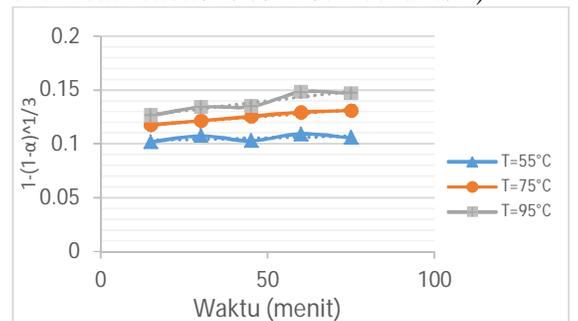
Grafik yang diperoleh pada hasil substitusi nilai konversi ( $\alpha$ ) masing-masing model ditunjukkan dalam Gambar 3, 4 dan 5.

### 1. Kontrol Difusi Liquid Film (*liquid film diffusion control mechanism*)



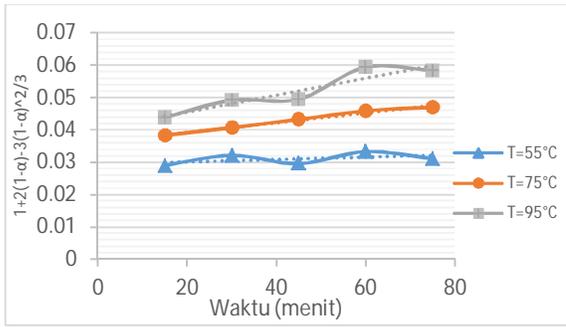
Gambar 3. Grafik Hubungan antara  $\alpha$  vs Waktu (t).

### 2. Kontrol Reaksi Kimia Permukaan (*surface chemical reactions control mechanism*)



Gambar 4. Grafik Hubungan antara  $1 - (1 - \alpha)^{1/3}$  dengan Waktu (t).

### 3. Kontrol Difusi Lapisan Produk (*product layer diffusion control mechanism*)



Gambar 5. Grafik Hubungan antara  $1+2(1-\alpha)-3(1-\alpha)^2/3$  dengan waktu (t).

Nilai persamaan regresi linier dan akar kuadrat  $R^2$  (linearitas) pada berbagai mekanisme reaksi yang diperoleh berdasarkan gambar (3,4 dan 5) ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Persamaan Regresi Linier dan Akar Kuadrat  $R^2$  (Linearitas) pada berbagai Mekanisme Reaksi

Parameter (suhu)	Kontrol Difusi Liquid Film ( $\alpha$ )	Kontrol Reaksi Kimia ( $1-(1-\alpha)^{1/3}$ )	Kontrol Difusi Lapisan Produk ( $1+2(1-\alpha)-3(1-\alpha)^2/3$ )
55°C	$y=0,0002x+0,2752$ $R^2=0,2399$	$y=6E-05x+0,2390$ $R^2=0,2390$	$y=4E-05x+0,0294$ $R^2=0,2358$
75°C	$y=0,0005x+0,3040$ $R^2=0,9835$	$y=0,0002x+0,1146$ $R^2=0,9841$	$y=0,0002x+0,0362$ $R^2=0,9859$
95°C	$y=0,0008x+0,3203$ $R^2=0,8816$	$y=0,0004x+0,1215$ $R^2=0,8803$	$y=0,0003x+0,0403$ $R^2=0,8767$

Berdasarkan Tabel 2, nilai regresi ( $R^2$ ) terbaik (mendekati satu) pada suhu 55 °C, 75 °C dan 95 °C secara berturut-turut adalah 0,2399 pada mekanisme kontrol difusi film; 0,9859 pada mekanisme kontrol difusi lapisan produk dan 0,8816 pada mekanisme kontrol difusi film.

Hasil yang diperoleh tersebut, menunjukkan bahwa pada mekanisme kontrol difusi film memiliki nilai regresi ( $R^2$ ) yang relatif baik di antara kedua yang lainnya. Berdasarkan perbandingan secara visual melalui grafik dan nilai  $R^2$ , ditetapkan bahwa model mekanisme reaksi kontrol difusi film (*liquid film diffusion control mechanism*) paling tepat menggambarkan proses pelindian campuran

natrium zirkonat ( $Na_2ZrO_3$ ) dan natrium silikat ( $Na_2SiO_3$ ) menggunakan air.

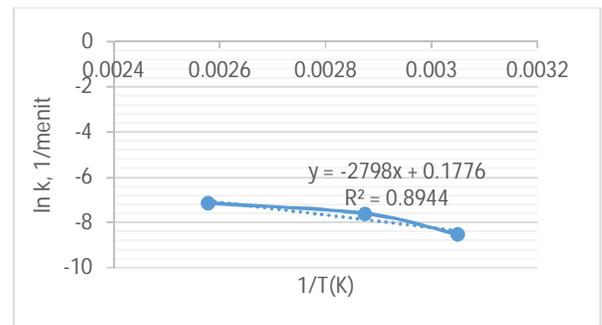
### Nilai Konstanta Kecepatan Reaksi (k) dan Energi Aktivasi ( $E_a$ )

Nilai konstanta kecepatan reaksi (k) merupakan slope dari persamaan garis lurus yang terbentuk. Harga k pada berbagai suhu ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Harga k pada Berbagai Suhu

Suhu (°C)	T(K)	k, 1/menit
55°C	328	0,0002
75°C	348	0,0005
95°C	388	0,0008

Setelah didapatkan harga k pada masing-masing suhu, maka dapat dicari hubungan konstanta kecepatan reaksi (k) sebagai fungsi suhu dengan persamaan (5). Hasil perhitungan dinyatakan dalam grafik garis lurus  $\ln k$  sebagai ordinat (y) dan  $1/T$  sebagai absis (x) yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik hubungan antara  $1/T$  dengan  $\ln k$

Berdasarkan grafik pada Gambar 6, hubungan antara suhu ( $1/T$ ) dengan  $\ln k$  persamaan garis dinyatakan oleh

$$y = -2798x + 0,1776 \quad (11)$$

dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,8944 merupakan angka yang nilainya mendekati satu, sehingga slope dan intersep yang diperoleh dapat mewakili faktor frekuensi dan energi aktivasi dengan

persamaan garis  $-\ln k = -2798/T + 0,1776$  atau  $\ln k = 2798/T - 0,1776$ .

Penentuan nilai energi aktivasi ( $E_a$ ) pada proses pelindian menggunakan air sesuai dengan grafik Arrhenius, persamaan garis  $-\ln k = -2798/T + 0,1776$  atau  $\ln k = 2798/T - 0,1776$  setara dengan  $y = mx + c$ . Oleh karena itu, kemiringan dari grafik  $\ln k$  vs  $1/T$  setara dengan  $E_a/R$  yang berarti  $E_a = \text{slope} \times R$  (tetapan gas ideal  $8,314 \text{ J/mol K}$ ) (O. Gerald et., al). Setelah dilakukan perhitungan, nilai energi aktivasi ( $E_a$ ) sebesar  $23262, 572 \text{ J/mol K}$  atau  $23,262 \text{ kJ/mol K}$ .

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

1. Kondisi optimum variasi suhu dan waktu terhadap kadar Si terlarut (*recovery*) tercatat pada suhu  $95^\circ\text{C}$  pada waktu 68 menit.
2. Pengendali laju reaksi (rezim yang mengontrol reaksi pelindian) berdasarkan *shrinking core model* (SCM) adalah kontrol difusi liquid film (*liquid film diffusion control mechanism*) dengan rumus  $\alpha = \frac{6bDC_A}{\rho_B R_0^2 t} = k_1 t$ .
3. Hubungan antara suhu (T) dengan konstanta kecepatan reaksi (k) adalah  $-\ln k = -2798/T + 0,1776$  atau  $\ln k = 2798/T - 0,1776$  dengan nilai k pada suhu  $55^\circ\text{C}$ ,  $75^\circ\text{C}$  dan  $95^\circ\text{C}$  berturut-turut sebesar 0,0002; 0,0005 dan 0,0008. Sedangkan nilai  $E_a$  sebesar  $23,262 \text{ kJ/mol K}$ .

### Saran

1. Perlu dilakukan variasi suhu yang lebih bervariasi supaya diperoleh kondisi optimum

kadar Si terlarut dari proses pelindian yang lebih baik.

2. Perlu dilakukan pengulangan proses pencucian (pelindian secara kontinyu) agar diperoleh hasil optimum kadar Si terlarut yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ajemba, R. O., & Onukwuli, O. D. (2012). Dissolution kinetics and mechanisms of reaction of Udi clay in nitric acid solution, 115–121. <https://doi.org/10.5251/ajsir.2012.3.3.115.121>
- Benedict, M. (1981). *Nuclear Chemical Engineering*. New York: Mc Graw Hill Book Company Inc.
- Biyantoro, Dwi., I Made Sukarna, Agus Suyanto. (2017). Pemisahan Zirkonium (Zr) dan Hafnium (Hf) memakai Campuran Solven TBP-D2EHPA dan Amberlite XAD-16. *Ganendra Journal of Nuclear Science and Technology Vol. 20 No. 1*, 9-21.
- Handayani, Intan Puspita. (2009). *Kinetika Pelindian Asam Klorida pada Proses Pembuatan Zirkon Dioksida, Tugas Akhir*. Yogyakarta: Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir Nasional.
- Husnurrofiq, Dedy & Pristi Hartati. (2011). Simulasi Proses Peleburan Pasir Zirkon dalam Rotary Kiln Menggunakan CFD (Computational Fluid Dynamics). *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir* (pp. 104-109). Yogyakarta: Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan - BATAN.
- Lustman, B. (1955). *The Metallurgy of Zirconium*. New York: Mc Graw Hill Book Company Inc.
- Novitasari, Lisa Arum. (2017). *Pembuatan Zirkonium Oksi Klorida (ZOC), Laporan Praktik Kerja Industri*. Yogyakarta: PSTA - BATAN.

- Praja, Habib Dyatama., Muhdarina. (2012). *PENGARUH TEMPERATUR PELINDIAN TERHADAP PARAMETER*. Riau: Repository University of Riau.
- Purwani, MV., Suyanti. (2016). Model Penyusutan Partikel pada Pelindian Titanium dalam Ilmenit memakai HCl. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir* (pp. 41-49). Surakarta: Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, BATAN - FMIPA UNS.
- Purwanti, Tri. (2016). *Dekomposisi Fosfat dengan Metode Roasting Alkali untuk Pengambilan Logam Tanah Jarang dari Monasit Bangka, Tesis*. Yogyakarta: Program Pascasarjana Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik - UGM.
- Safari, V., Arzpeyma, G., Rashchi, F., & Mostoufi, N. (2009). A shrinking particle-shrinking core model for leaching of a zinc ore containing silica. *International Journal of Mineral Processing*, 93(1), 79-83. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2009.06.003>
- Sajima, Tunjung Indrati, Mulyono. (2007). Pembuatan Larutan Umpan Proses Pengendapan  $Zr(OH)_4$  menggunakan Metode RE-Ekstraksi. *Seminar Nasional III SDM Teknologi Nuklir* (pp. 73-80). Yogyakarta: STTN - BATAN, ISSN 1978-0176.
- Sari, Hasna Infantiningtyas. (2016). *Pemurnian dan Karakterisasi Silika dari Gel Limbah Fasilitas Pemurnian Zirkonium. Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam - UNY.
- Supriadi, Harry., Sajima. (2011). Verifikasi Koefisien Transfer Massa untuk Uji Fungsi Unit Pelindian Air secara Kontinyu. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir* (pp. 110-114). Yogyakarta: Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan - BATAN.
- Trivana, Linda., Sri Sugiarti, Eti Rohaeti. (2015). Sintesis Dan Karakterisasi Natrium Silikat ( $Na_2SiO_3$ ). *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 66-75.
- Vogel. (1985). *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro, edisi kelima bagian I*. Jakarta: PT Kalman Pustaka.