

## PERANCANGAN REAKTOR FLUIDISASI UNTUK KHLORINASI PASIR ZIRKON

*Sunardjo, Budi Sulistyono dan Pristi Hartati*

*P3TM – BATAN*

### ABSTRAK

*PERANCANGAN REAKTOR FLUIDISASI UNTUK KHLORINASI PASIR ZIRKON. Penelitian dengan judul perancangan reaktor fluidisasi untuk klorinasi pasir zirkon telah dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk dapat membuat reaktor fluidisasi dengan kapasitas 1 kg pasir zirkon. Penelitian ini terdiri dari perhitungan alat, pembuatan alat dan uji coba alat. Bahan baja stainless steel type 316 digunakan untuk pembuatan alat ini. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah system fluidisasi. Cara uji coba alat mula-mula dilakukan penimbangan pasir dan kokas dengan berat tertentu dan kemudian dimasukkan kedalam reaktor fluidisasi. Gas khlor dan udara dengan kecepatan tertentu dimasukkan kedalam reaktor fluidisasi. Dapur dihidupkan sampai suhu tertentu dan setelah waktu yang dikehendaki tercapai pemanas dan aliran gas dimatikan. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh data alat, kecepatan fluidisasi minimum 78,77 cm/det, jumlah panas yang dibutuhkan 1,1 KWH dan besarnya luas perpindahan panas 515,40 m<sup>2</sup>, diameter reaktor 4,0 cm, tinggi reaktor 47 cm. Untuk data hasil proses, dari bahan pasir zirkon 50 gram diperoleh suhu fluidisasi yang optimum 850°C dengan hasil ZrCl<sub>4</sub> 3,113 gram dan waktu fluidisasi yang optimum 10 menit dengan hasil ZrCl<sub>4</sub> 2,109 gram.*

*Kata kunci: perancangan, uji coba, fluidisasi, klorinasi, pasir zirkon.*

### ABSTRACT

*DESIGN OF FLUIDIZATION REACTOR FOR CHLORINATION OF ZIRCON SAND. An investigation of design of fluidization reactor for chlorination of zirconium sand topic was carried out. The purpose of this investigation was made the fluidization reactor for 1 kg zircon sand capacity. This investigation consist of design calculation of apparatus, construction and trial run of the apparatus. The material stainless steel 316 type was used in this apparatus. The fluidization system was used in this investigation. The trial run of apparatus was weighed of zircon sand and coaks and put in the reactor. The furnace was operated up to the exetle temperature then the chlorine gas together air were flown at the certain rate. If the time exetle the heating and gas was stoped. The result of this investigation was the spesification of apparatus were: minimum rate of gas 78,77 cm/sec., the heat energy consumed 1,1 KWH and the heat transfer area 515,40 cm<sup>2</sup>, diameter of reactor 4.0 cm, heihg 47 cm. The result of process with 50 grams zirco sand, was the optimum temperature of fluidization 850°C with ZrCl<sub>4</sub> 3,113 grams and the optimum time of fluidization 10 minutest with ZrCl<sub>4</sub> 2,109 grams.*

*Keyword: design, trial run, fluidization, chlorination, zircon sand.*

### PENDAHULUAN

Zirkon tetra klorida merupakan salah satu produk antara hasil pengolahan pasir zirkon menjadi logam zirkonium. Didalam pengolahan pasir zirkon menjadi zirkon tetra klorida ada beberapa cara yang dapat dilakukan antara lain pembuatan ZrCl<sub>4</sub> dari pasir zirkon dengan peleburan tanpa oksigen dilanjutkan dengan pemisahan secara distilasi dan pembuatan ZrCl<sub>4</sub> dari pasir zirkon dengan proses basah dilanjutkan pemisahan secara ekstraksi. Pada proses pembuatan ZrCl<sub>4</sub> dari pasir zirkon pada

umumnya menggunakan proses klorinasi. Dalam proses klorinasi ini ada yang dengan cara pembriketan pasirnya tetapi ada juga yang tanpa pembriketan pasir. Pada cara pembriketan tersebut diharapkan dapat lebih meningkatkan efisiensi dari reaksi klorinasi yang terjadi. Tetapi untuk cara lain dapat juga dilakukan yaitu dengan cara proses fluidisasi pasir zirkon. Untu cara ini juga dapat meningkatkan efisiensi reaksi klorinasi terhadap pasir zirkon. Reaksi yang terjadi pada saat klorinasi adalah sebagai berikut:

$ZrSiO_4 + 4Cl_2 + 8C + 2O_2 \rightarrow ZrCl_4 + SiCl_4 + 8CO$  (1)  
Reaksi berjalan pada suhu antara  $500^\circ - 900^\circ C$ .

Sifat-sifat dari  $ZrCl_4$  ada yang berbentuk butiran dan ada pula yang berbentuk serbuk berwarna putih. Titik sublimasi  $ZrCl_4$  adalah  $331^\circ C$  dan titik lelehnya adalah  $438^\circ C$ . Apabila kena air akan terjadi dekomposisi menjadi  $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ . Zirkon tetraklorida juga larut dalam alkohol dan eter<sup>(4)</sup>.

Dalam suatu reaksi antara gas dan padatan maka suhu dan waktu khlorinasi akan sangat berpengaruh terhadap hasil yang diperoleh. Disamping itu juga bentuk distributor gas, diameter pasir, sifat-sifat padatan juga berpengaruh terhadap hasil khlorinasi. Sistem yang digunakan dalam proses khlorinasi ini dapat berbentuk system fluidisasi dan juga dapat berbentuk system *fixed bed*. Untuk system fluidisasi menurut Kunni adalah merupakan proses kontak antara butiran padat dengan gas atau cairan sehingga mencapai keadaan semi fluida (fluidlike). Kontak antara butiran padat dengan gas tersebut biasanya dilakukan dengan cara gas dialirkan dari dasar kolom berpori dan menembus butiran padat yang membentuk hamparan. Oleh karena itu diperlukan aliran fluida dengan kecepatan tertentu agar butiran padat dalam hamparan dapat tersuspensi pada arus rendah dan fluida hanya melewati ruang kosong antara butiran yang diam. Keadaan ini disebut hamparan tetap. Pada saat kecepatan arus diperbesar sehingga butiran-butiran padat bergerak dan bergetar maka keadaan ini disebut hamparan ekspansi. Apabila kecepatan arus mencapai harga tertentu dan butiran padatan tersuspensi untuk yang pertama kali maka butiran akan bergerak saling menjauhi dan berputar menyerupai gerak partikel yang berviskositas tinggi. Pada keadaan ini gaya dorong dari fluida yang bergerak ke atas seimbang dengan gaya berat dari butiran padat yang tersuspensi. Keadaan ini disebut dengan keadaan fluidisasi minimum dan kecepatan fluidanya disebut kecepatan fluidisasi minimum ( $U_{mf}$ ). Dengan bertambahnya arus gas pemfluidisasi melebihi keadaan minimum maka akan mengakibatkan butiran-butiran padat bergerak lebih cepat, sehingga cenderung untuk bercampur dengan mudah. Volume hamparan menjadi lebih besar dari pada saat fluidisasi minimum, maka keadaan ini disebut terbentuknya hamparan fluidisasi (fluidisasi bed). Untuk keadaan fluidisasi ideal maka penurunan tekanan selama terjadi hamparan fluidisasi tidak akan banyak berpengaruh

terhadap kenaikan kecepatan gas pemfluidisasi. Jika arus gas ini dinaikkan lagi maka akan terjadi pengenceran dalam hamparan, batas hamparan tidak akan kelihatan dengan jelas dan akan terjadi *entrainment*. Pada keadaan ini kecepatan gas disebut kecepatan terminal. Jika kecepatan gas melebihi kecepatan terminal maka akan terjadi *entrainment* yang lebih besar sampai butiran padat terbawa arus keluar tabung, maka ini disebut fase dispersi. Fluidisasi gumpal gelembung adalah apabila kecepatan gas diperbesar melebihi keadaan hamparan tetap dan fluidisasi minimum. Pada keadaan fluidisasi minimum maka terjadi hubungan sebagai berikut:

$$W = (At \cdot Lmf) (1 - \epsilon mf)(\rho_s - \rho_g) g/gc \quad (2)$$

$$W = P At \quad (3)$$

$$\frac{(\Delta P)}{Lmf} = (1 - \epsilon mf)(\rho_s - \rho_g) g / gc \cdot Lmf \quad (4)$$

$$U_{mf} = \left( \frac{(\rho_s dp)^2}{150} \right) \left( \frac{\rho_s - \rho_g}{\mu} \right) g \left( \frac{(\epsilon mf)^3}{(1 - \epsilon mf)} \right) \quad (5)$$

Untuk  $Re \leq 20$

Kecepatan terminal adalah suatu kondisi apabila kecepatan gas melebihi titik permulaan terjadinya *entrainment*. Maka penurunan tekanan akan berlangsung dengan cepat dan akan mencapai kecepatan terminal ( $U_t$ ).

$$U_t = g \left( \frac{\rho_s - \rho_g}{18\mu} \right) dp^2 \text{ untuk } Re \leq 0,4 \quad (6)$$

$$U_t = \left[ \frac{4(\rho_s - \rho_g)^2 g^2}{225 \rho_g \mu} \right]^{1/3} \text{ untuk } 0,4 < Re < 500 \quad (7)$$

$$Re_p = \frac{d_p U_t \rho_g}{\mu} \quad (8)$$

Pada aliran fluida berlaku hubungan sebagai berikut:

$$W = At Lm (1 - \epsilon mf) \rho_s \quad (9)$$

Keterangan:

$\rho_s$  = densitas padatan

$\rho_g$  = densitas gas

$\epsilon$  = fraksi kosong

$Lmf$  = tinggi bed

$\mu$  = viskositas

$\Delta P$  = Penurunan tekanan

$\phi_s$  = *spericity*

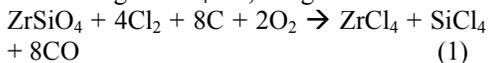
A = luas

**PERHITUNGAN ALAT**

Basis perhitungan 1 kg pasir (ZrSiO<sub>4</sub>) setiap operasi

**a. Neraca massa:**

Untuk 1 kg ZrSiO<sub>4</sub> = 5,457 gramol



Konversi reaksi 80 %

ZrCl<sub>4</sub> terbentuk = 619,91 gram

Gas Cl<sub>2</sub> diperlukan = 1,54 kg

Kokas diperlukan = 0,523 kg

ZrSiO<sub>4</sub> sisa = 0,254 kg

Kokas sisa = 0,130 kg

Gas CO terbentuk = 0,977 kg

SiCl<sub>4</sub> terbentuk = 0,742 kg

Jumlah bahan seluruhnya = 3,072 kg

**b. Neraca Panas:**

Dari reaksi 1 panas masuk = panas keluar

$$\Delta H = \sum \Delta H_S + \sum \Delta H_P - \sum \Delta H_R$$

Untuk  $\Delta H_P$

$$\Delta H_P = m C_p \Delta T$$

$$= (m_{\text{ZrCl}_4} C_p \text{ZrCl}_4 + m_{\text{SiCl}_4} C_p \text{SiCl}_4 + m_{\text{CO}_2} C_p \text{CO}_2) \Delta T$$

$$= 63.192,58 \text{ kal.}$$

Untuk  $\Delta H_R$

$$\Delta H_R = m C_p \Delta T$$

$$= (m_{\text{ZrSiO}_4} C_p \text{ZrSiO}_4 + m_{\text{Cl}_2} C_p \text{Cl}_2 + m_{\text{C}} C_p \text{C} + m_{\text{O}_2} C_p \text{O}_2) \Delta T$$

$$= 989,986 \text{ kal.}$$

Untuk  $\Delta H$  Standar

$$\Delta H_f P - \Delta H_f R = \Delta H_C$$

$$(\Delta H_f \text{ZrCl}_4 + \Delta H_f \text{SiCl}_4 + \Delta H_f \text{CO}) - (\Delta H_f \text{ZrSiO}_4 + \Delta H_f \text{Cl}_2 + \Delta H_f \text{C} + \Delta H_f \text{O}_2) = \Delta H_C$$

$$\Delta H_C = -617,536 \text{ kal}$$

$$\Delta H \text{ Standar} = -4,3656 (617,536) \text{ kal}$$

$$= -2.695,615 \text{ kkal}$$

$$\Delta H = \sum \Delta H_S + \sum \Delta H_P - \sum \Delta H_R$$

$$(-2.695,915 + 63,192 - 0,989) \text{ kkal} = -2.633,712 \text{ kkal}$$

**c. Perhitungan alat:**

Untuk menghitung kecepatan minimum dapat dipakai rumus :

$$Umf = \left( \frac{(dp)^2}{1650 \mu} \right) (\rho_s - \rho_g) g < 20$$

$$dp = 0,25 \text{ mm}$$

$$\mu_{\text{Cl}_2} = 0,054 \text{ CP}$$

$$\rho_s = 2,868 \text{ gr/cc}$$

$$\rho_g = 3,2204 \text{ gr/l}$$

$$Umf = 78,773 \text{ cm/det berarti memenuhi}$$

$$Re = \frac{d_p \rho_g Umf}{\mu} \quad (8)$$

$$= 11,74 < 20 \text{ memenuhi}$$

$$Ut = \frac{(\rho_s - \rho_g) g}{18 \mu} dp^2$$

$$\text{untuk } 0,4 \angle Re \angle 200.000 \quad (7)$$

$$= 180,51 \text{ cm/det memenuhi}$$

$$Re_p = \frac{d_p U_i \rho_g}{\mu} \quad (9)$$

$$= 2,185 < 200.000 \text{ memenuhi}$$

Ditentukan besarnya kecepatan fluidisasi = 0,7 Ut

$$U_o = 0,7 \times 180,51 \text{ cm/det} = 126,35 \text{ cm/det}$$

Menghitung besarnya perpindahan panas dari dinding ke fluida

Dipakai rumus:

$$hw = \frac{g}{dp} (3,75) \left( \frac{(dp \rho Umf \log(U_o / Umf))^{0,47}}{\mu} \right)$$

$$= 3,4069 \text{ kkal/j}^\circ\text{Ccm}^2$$

**d. Perhitungan ukuran reaktor**

Dipakai rumus Q D = 4 cm = hw A ΔT

$$q = -2,633,712 \text{ kkal}$$

$$\Delta T = 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A = q/hw \Delta T$$

$$= 515,40 \text{ cm}^2$$

$$A = \pi R^2 L$$

$$D = 4 \text{ cm}$$

$$L = A / 3,14 R^2 = 42,0 \text{ cm}$$

$$\text{Untuk } L = 1,1 \times 42,0 = 47 \text{ cm}$$

Menghitung ΔP

Dengan rumus:

$$\Delta P/Lmf = (1 - \epsilon mf)(\rho_s - \rho_g) \text{ g/gc}$$

$$Lmf = \text{tinggi isian} = 5 \text{ cm}$$

$$dp = 0,01 \text{ cm}$$

$$Q_s = 0,60$$

$$\epsilon mf = 0,52$$

$$\Delta P = 8,25 \text{ gr/cm}^2$$

**e. Perhitungan pemanas**

Suhu yang diinginkan 1000°C

Suhu awal 28°C

$$Q = m C_p \Delta T$$

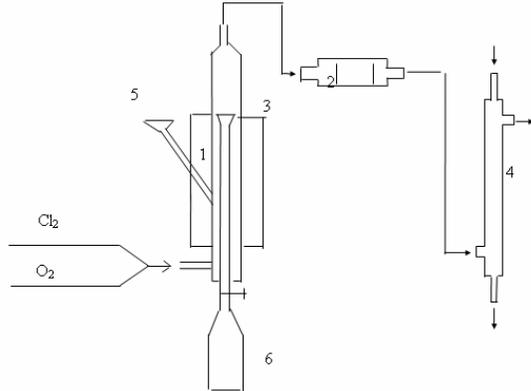
$$= ((\text{massa reaktor})(C_p \text{ reaktor}) + (\text{massa pasir})(C_p \text{ pasir}) + (\text{massa batu tahan api})(C_p \text{ batu tahan api}) + (\text{massa kawat})(C_p \text{ kawat}) + (\text{massa udara})(C_p \text{ udara}) + (\text{massa semen})(C_p \text{ semen}) + (\text{massa asbes})(C_p \text{ asbes}))(\Delta T)$$

$$= 1,1 \text{ KWH}$$

## UJI COBA ALAT

### Bahan

Pasir zirkon dari hasil samping pabrik timah Bangka dengan diameter butir 0,09 mm digunakan sebagai bahan baku dan kokas dengan diameter 0,09 mm dari Pertamina sebagai bahan tambahannya. Sedangkan *Eriochrome Cyanine pa*, *EDTA pa*,  $\text{HNO}_3$  pa dan  $\text{HCl}$  pa dipakai sebagai bahan analisis



Gambar 1. Rangkaian alat khlorinator

Keterangan:

1. Dapur pemanas
2. Alat desublimator
3. Tabung khlorinator
4. Penyerap gas  $\text{Cl}_2$
5. Tempat pemasukan sampel
6. Tempat hasil bawah

Tabel 1. Hubungan antara waktu fluidisasi dengan hasil khlorinasi dan berat  $\text{ZrCl}_4$ .  
(Berat pasir: 50,00 g, waktu 30 menit, kecepatan alir gas  $\text{Cl}_2$  0,05 m/det, kecepatan udara 9,25 m/det).

No	Suhu (°C)	Hasil Khlorinasi (gram)	Berat Zr hasil (gram)	Berat $\text{ZrCl}_4$ hasil (gram)	Konversi (%)
1	600	4,022	0,185	0,474	0,92
2	650	7,283	0,335	0,858	1,67
3	700	8,831	0,407	1,041	2,03
4	750	13,454	0,620	1,586	3,10
5	800	14,859	0,685	1,751	3,42
6	850	26,399	1,217	3,113	6,08
7	900	26,351	1,215	3,106	6,07
8	950	19,800	0,913	2,334	4,56

Dari Table 1 terlihat bahwa pada suhu fluidisasi mulai 600°C sampai dengan 950°C memberikan hasil khlorinasi yang mula-mula naik kemudian turun. Pada suhu 600°C memberikan hasil khlorinasi sebesar 0,474 gram. Kemudian pada suhu 850°C memberikan hasil khlorinasi sebesar 3,113 gram hal ini disebabkan karena pada

### Cara Kerja

1. Parameter suhu fluidisasi  
Untuk parameter suhu fluidisasi mula-mula disiapkan bahan sebagai berikut: ditimbang pasir zirkon sebanyak 50 gram, berdiameter 0,09 mm, dan kokas 7,00 gram berdiameter 0,09 mm dimasukkan kedalam alat pengumpulan khlorinator. Selanjutnya alat khlorinator dipanaskan sampai suhu tertentu. Gas  $\text{Cl}_2$  dan udara dialirkan kedalam reaktor. Setelah waktu tertentu aliran gas  $\text{Cl}_2$  dan aliran udara dihentikan, pemanas dimatikan. Setelah suhunya tercapai suhu kamar, alat khlorinator dibuka dan hasil desublimasi yang diperoleh diambil, ditimbang dan dianalisis kadar Zr nya dengan titrasi memakai EDTA. Demikian juga pasir yang masih tersisa ditimbang dan dianalisis kadar Zr nya. Demikian seterusnya, dan suhu fluidisasi divariasikan sebagai berikut: 600°C; 650°C; 700°C; 750°C; 800°C; 850°C; 900°C dan 950°C.
2. Parameter waktu fluidisasi.  
Caranya hampir sama dengan parameter suhu fluidisasi, hanya waktunya yang divariasikan sebagai berikut: 5 menit; 10 menit; 15 menit; 20 menit; 25 menit dan 30 menit.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Parameter waktu fluidisasi

suhu tersebut masih mengalami peningkatan dalam terjadinya reaksi antara gas khlor dengan pasir zirkon. Tetapi setelah suhu mencapai 900°C hasil khlorinasi mengalami penurunan yaitu menjadi 3,106 gram. Hal ini disebabkan karena pada suhu 900°C sudah mulai terjadi pemanasan yang berlebihan sehingga banyak gas

ZrCl<sub>4</sub> yang keluar ikut terbuang karena pada suhu 900°C kecepatan fluidisasi akan mengalami peningkatan yang sangat tajam. Sehingga hasil khlorinasi justru berkurang. Jadi kondisi yang

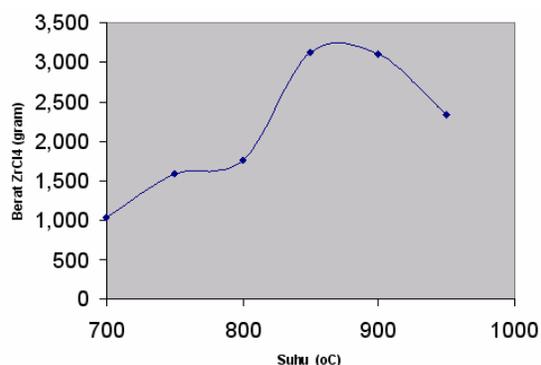
optimum pada suhu fluidisasi 850°C dengan memberikan hasil ZrCl<sub>4</sub> sebesar 3,113 gram. atau dengan konversi 6,08 %.

2. Parameter waktu fluidisasi

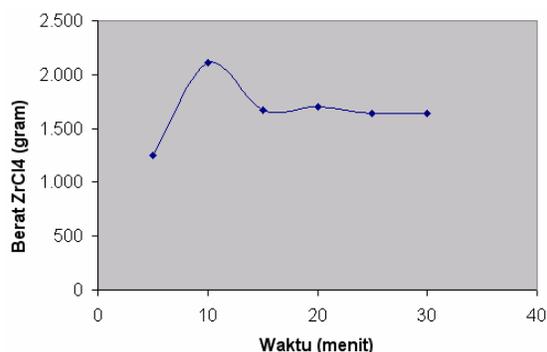
**Tabel 2. Hubungan antara waktu fluidisasi dengan hasil khlorinasi dan berat ZrCl<sub>4</sub>**

(Berat pasir: 50,00 g, Suhu: 850°C, kecepatan alir gas Cl<sub>2</sub> 0,05 m/ det. Kecepatan udara 9,25 m/det)

No	Waktu (menit)	Hasil Khlorinasi (gram)	Berat Zr hasil (gram)	Berat ZrCl <sub>4</sub> Hasil (gram)	Konversi (%)
1	5	20,132	9,280	1,254	4,64
2	10	39,910	1,840	2,109	9,20
3	15	36,302	1,673	1,672	8,36
4	20	35,550	1,639	1,699	8,19
5	25	36,301	1,673	1,638	8,36
6	30	36,351	1,675	1,641	8,37



**Gambar 2. Grafik hubungan antara suhu dan khlorinasi**



**Gambar 3. Hubungan antara waktu dengan berat ZrCl<sub>4</sub>**

Dari Tabel 2 terlihat bahwa pada waktu fluidisasi mulai 5 menit sampai dengan 30 menit memberikan hasil khlorinasi yang mula-mula naik kemudian turun dan akhirnya konstan. Pada waktu 5 menit memberikan hasil khlorinasi ZrCl<sub>4</sub> sebesar 1,254 gram. Kemudian pada waktu 10 menit memberikan hasil khlorinasi sebesar 2,109 gram hal ini disebabkan karena waktu

tersebut masih mengalami peningkatan dalam terjadinya reaksi antara gas khlor dengan pasir zirkon. Tetapi setelah waktu mencapai 15 menit hasil khlorinasi mengalami penurunan yaitu menjai sebesar 1,672 gram. Hal ini disebabkan karena pada waktu 10 menit sudah mulai terjadi pemanasan yang sempurna sehingga banyak gas ZrCl<sub>4</sub> yang keluar ikut terbentuk ZrCl<sub>4</sub> dan menempel pada desublimator. Tetapi setelah waktu 15 menit sampai 30 menit tidak mengalami kenaikan hasil dan ini membuktikan bahwa reaksi yang terjadi sudah sempurna dan akhirnya tidak dapat meningkatkan hasil lagi. Setelah pada waktu 30 menit tidak mengalami kenaikan hasil dikarenakan sudah banyak hasil desublimasi yang ikut terbawa oleh gas buang. Sehingga hasil khlorinasi tetap stabil pada waktu 15 menit sampai 25 menit. Jadi kondisi yang optimum pada waktu 10 menit dengan memberikan hasil ZrCl<sub>4</sub> sebesar 2,109 gram atau dengan konversi 9,20 %.

#### KESIMPULAN

Dari perhitungan dan percobaan yang telah dilakukan dengan menggunakan alat seperti tersebut maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Dimensi Alat:

Diameter reaktor	=	4,0 cm
Panjang reaktor	=	47,0 cm
Luas perpindahan panas	=	515,40 cm <sup>2</sup>
Penurunan tekanan	=	8,25 gr/cm <sup>2</sup>
Panas yang dibutuhkan	=	1,1 KWH
Kecepatan fluidisasi minimum	=	78,77 cm/det

Khlorinasi pasir zirkon secara fluidisasi dapat dilakukan, dari bahan pasir zirkon 50 gram diperoleh suhu fluidisasi yang optimum pada

suhu 850°C dengan hasil berat  $ZrCl_4$  3,113 gram atau konversi 6,08 % dan waktu fluidisasi yang optimum adalah 10 menit dengan hasil berat  $ZrCl_4$  2,109 gram atau konversi 9,20 %.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya penulisan laporan penelitian ini maka kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Sdr. Paryadi dan semua pihak yang telah memberikan bantuannya sehingga penelitian ini dapat selesai.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. ANWAR MUZAWAR, Production Of Hafnium Free Zirconium Tetra Chlorid, Nuclear Material Division, Pakistan, (1977).
2. BUNYAMIN LUSTMAN AND FRANK KERZE, J. R., The Metallurgy Of Zirconium, First Edition , Mc. graw Hill, Book Company, New York, (1955).
3. FOSTER, A. R., Basic Nuclear Engineering Third Edition Allyn and Bacon Inc, Boston, London, Sidney, Toronto, (1977).
4. LEVENSPIEL, O., Chemical Reaction Engineering , Second Edition, Wiley Eastern Limited, New Delhi, (1972).
5. GEORGE BRAUER, “Zirconium (IV), Hafnium (IV) and Thorium (IV) Chloride and Bromide”, Hand Book Of Preparative Inorganic Chemistry, Second edition, Academic Press New York, London, (1965)
6. KUNNI. D and LEVENSPIEL . O “ Fluidization Engineering” John Wiley and Sons Inc. New York, London, ( 1969).

---

#### TANYA JAWAB

##### Dewita

- *Apa keunggulan dan kekurangan proses ini dengan proses (basa) pelindihan?*

##### Sunardjo

- Keunggulan proses ini secara teoritis lebih sempurna reaksinya sehingga untuk proses yang lebih besar akan lebih menguntungkan.

##### Aslina Ginting

- *$ZrCl_4$  yang terbentuk digunakan untuk apa?*
- *Bagaimana pemisahan Zr dari  $ZrCl_4$ , menggunakan metode apa?*
- *Bagaimana analisis, dengan apa dilakukan bahwa yang terbentuk tersebut adalah Zr logam, menggunakan metode apa?*

##### Sunardjo

- Untuk bahan pembuatan logam Zr yang dapat dipakai untuk bahan clading bahan bakar nuklir dan bahan perlatan lain yang tahan suhu tinggi.
- Dengan proses reduksi menggunakan Mg sehingga timbul  $MgCl_2$ .
- Menggunakan analisis Spektrometer Pendar Sinar X..

##### Murdani S.

- *Bagaimana mekanisme penanganan  $Cl_2$  dalam proses Reaktor Fluidisasi untuk kesehatan kerja ( $Cl_2$  gas beracun)?*
- *Berapa efisiensi Reaktor Fluidisasi terhadap hasil khlorinasi pasir Zirkon?*

##### Sunardjo

- Cara penanganan gas  $Cl_2$  dengan penyerapan menggunakan larutan NaOH sehingga akan terbentuk NaCl.
- Efisiensi yang diperoleh masih relatif rendah yakni 9,20%..