

## PEMBUATAN LARUTAN UMPAN PROSES PENGENDAPAN $Zr(OH)_4$ MENGGUNAKAN METODE RE-EKSTRAKSI

**SAJIMA, TUNJUNG INDRATI, MULYONO**  
*Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan*  
*Jl. Babarsari Kotak Pos 1008*  
*DI Yogyakarta 55010 Telp (0274) 488435*

### **Abstrak**

**PEMBUATAN LARUTAN UMPAN PROSES PENGENDAPAN  $Zr(OH)_4$  MENGGUNAKAN METODE RE-EKSTRAKSI.** Telah dilakukan re-ekstraksi ekstrak zirkon dengan asam sulfat 0,2 N secara batch dengan waktu pengadukan terhadap efisiensi dan Koefisien Distribusi. Fase air diendapkan menggunakan larutan amoniak 12,5 %. Pemisahan endapan dari beningan dilakukan dengan penyaringan. Endapan yang tertinggal di kertas saring dicuci dengan air panas kemudian dikeringkan. Hasil pengeringan dikalsinasi pada suhu 1000 °C selama 1 jam. Kandungan zirkonium dalam umpan, fase air dan fase organik dianalisis menggunakan metode Spektrometri pendar sinar-X sedangkan hafnium menggunakan metode Neutron Activation Analysis (NAA). Kondisi optimum diperoleh pada kecepatan pengadukan 300 rpm dan lama pengadukan 5 jam. Pada kondisi ini diperoleh efisiensi 76,26 % dan Koefisien Distribusi sebesar 3,21. Kandungan hafnium dalam larutan umpan mula-mula 1249 ppm telah turun menjadi 366,9 ppm.

*Kata kunci : Re-ekstraksi, fase air, fase organik, Efisiensi, Koefisien Distribusi.*

### **Abstract**

**PRODUCTION OF FEED SOLUTION FOR PRECIPITATING  $Zr(OH)_4$  BY RE-EXTRACTION METHODE.** Re-extraction of zircon extract with 0.2 N sulfuric acid solution by batchwise has been done. This research was aimed to know the influence of rate of agitation and time of stripping for zirconium recovery and distribution coefficient. Whereas the hafnium was analyzed using Neutron Activation Analysis (NAA). The raffinate was precipitated by 12.5 % ammoniac solution. The precipitate has separated from the filtrate by filtering. Precipitate on the filter paper has washed with hot water than dried. The dried product was calcined at 1000 °C on 1 hour. Zirconium in feed, organic solution, and water solution was analyzed using X-Ray fluorescence. The optimum condition was yielded at the rate of the agitation of 300 rpm and the time of 5 hours The recovery of this treatment was 76,26 % with distribution coefficient was 3,21. The hafnium countain has dropped from 1249ppm to 366,9 ppm.

*Keywords : Stripping, water fase, organic fase, recovery, Coefisien distribution*

### **PENDAHULUAN**

Zirkonium merupakan bahan yang mempunyai peran yang sangat strategis dalam berbagai industri. Dalam industri nuklir, bahan ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan struktur reaktor nuklir yang baik sehingga reaktor nuklir tidak bisa meledak<sup>[1]</sup>. Selain itu bahan ini dapat digunakan sebagai bahan kelongsong Bahan Bakar Nuklir karena mempunyai sifat yang

unggul<sup>[2]</sup>, antara lain tahan terhadap suhu tinggi, tahan terhadap korosi, mempunyai serapan neutron yang kecil (0,18 - 0,2 barn) dan dapat menaikkan sifat fisik terhadap logam paduannya. Manfaat zirkonium dalam industri non nuklir antara lain sebagai bahan elektrolit oksida dalam Sel Bahan Bakar Oksida Padat, karena merupakan penghantar ionik yang baik.

Bahan dasar yang dipakai untuk mendapatkan zirkonium adalah mineral zirkon

(ZrSiO<sub>4</sub>) dengan susunan dan kadar yang berbeda-beda, sehingga perlu dicermati dalam pengolahannya. Salah satu persyaratan yang harus dipenuhi agar dapat berkiprah dalam industri nuklir adalah kandungan hafnium maksimum 100 ppm<sup>[2]</sup>. Pemisahan zirkonium dari hafnium dapat dilakukan dengan berbagai cara, antara lain dengan ekstraksi, re-ekstraksi, distilasi fraksinasi dan adsorpsi menggunakan silika gel<sup>[4]</sup>.

Pengendapan adalah bagian dari proses pengolahan pasir zirkon. Pada penelitian ini larutan umpan pengendapan dibuat dengan kandungan hafnium serendah mungkin. Pengotor ini harus dihilangkan karena mempunyai tampang serapan neutron yang tinggi (103 barn) berakibat konsumsi terhadap neutron cukup besar (kurang efisien) sebab sebagian neutron terserap oleh hafnium<sup>[3]</sup>.

Larutan umpan pengendapan dapat diperoleh dari metode re-ekstraksi hasil proses ekstraksi (proses basah) maupun metode pelarutan hasil proses klorinasi (proses kering). Metode re-ekstraksi (proses basah) lebih menguntungkan apabila dibandingkan dengan metode proses kering sebab metode re-ekstraksi (proses basah) tidak memerlukan panas yang tinggi sehingga sangat hemat akan energi, prosesnya mudah karena tidak memerlukan peralatan pendukung yang rumit, sedangkan metode proses kering sangat membutuhkan panas yang tinggi sehingga kebutuhan akan energi (panas) sangat besar berarti memerlukan biaya yang cukup mahal.

Pada penelitian ini pemisahan zirkonium dengan hafnium dilakukan cara ekstraksi cair-cair dengan pelarut Tri Buthyl Phospat dan sebagai pengencer kerosen. Zirkonium yang terjerab (ekstrak zirkon) dipungut kembali menggunakan larutan asam sulfat 0,2 N. Larutan yang berisi zirkonium (fase air) diendapkan dengan larutan NH<sub>4</sub>OH 12,5 %. Endapan yang didapat dikeringkan dan dikalsinasi. Analisis kandungan zirkonium

dikerjakan menggunakan Spektrometer Pendar Sinar-X sedangkan hafnium dianalisis dengan metode *Neutron Activation Analysis (NAA)*.

## TEORI

Zirkonium dan hafnium termasuk unsur golongan III-B dalam tabel periodik<sup>[5]</sup>, Menurut Muzaffar (1977) unsur-unsur tersebut mempunyai sifat kimia yang hampir sama sehingga kemampuan untuk membentuk senyawa atau ion kompleksnya juga hampir sama. Hal ini menjadi penyebab kesulitan dalam proses pemisahannya, meskipun demikian ada perbedaan diantaranya yaitu mengenai "*ionic volume*" yang berperan dalam kestabilan bentuk kompleksnya. Zirkonium mempunyai volume atom yang lebih besar yaitu untuk zirkonium : 13,97 Å<sup>3</sup> dan hafnium: 13,42Å<sup>3</sup>. Perbedaan lain yang dimiliki oleh kedua unsur adalah jari-jari ion, untuk zirkonium jari-jari ionnya sebesar 0,7 Å dan hafnium sebesar 0,75 Å. Hal ini membuat zirkonium untuk bergabung dengan ion-ion lain lebih besar dibanding hafnium sehingga senyawa kompleks zirkonium lebih stabil apabila dibanding dengan senyawa kompleks hafnium.

Ekstraksi cair-cair merupakan suatu cara, pemisahan komponen yang larut dalam zat cair dengan solven yang tak bercampur dengan zat cair tersebut tetapi dapat melarutkan komponen yang dimaksud dan bersifat selektif<sup>[6]</sup>. Pada proses ekstraksi, zirkonium dan hafnium mula-mula berada dalam fase air kemudian dikontakkan dengan solven organik (Tri Buthyl Phospat) yang diencerkan dengan kerosen. Pada keadaan tertentu hafnium akan terambil dalam fasa air sedangkan zirkonium akan berpindah ke dalam fase organik, sedangkan pengotor lainnya tetap dalam fase air. Reaksi yang terjadi diduga sbb<sup>[7]</sup>:



Namun masih ada hafnium yang belum lepas dan ikut bereaksi menurut reaksi :



Fase organik (ekstrak zirkon) diekstraksi kembali (re-ekstraksi) untuk memungut zirkoniumnya dengan mengontakkan fase organik dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 N. Reaksi yang

terjadi pada proses re-ekstraksi adalah sebagai berikut :



Kemampuan solven untuk memungut kembali (re-ekstraksi) diketahui dari harga koefisien distribusi dan efisiensinya. Harga koefisien distribusi dihitung dengan persamaan:

$$K_d = \frac{C_{\text{air}}}{C_{\text{organik}}} \quad (4)$$

dengan :

- $K_d$  : koefisien distribusi  
 $C_{\text{air}}$  : konsentrasi setimbang zirkonium dalam fase air  
 $C_{\text{organik}}$  : konsentrasi setimbang zirkonium dalam fase organik.

Sedangkan efisiensi dihitung, dengan persamaan :

$$R = \frac{(X_f - X_i)}{X_f} \times 100 \% \quad (5)$$

dengan :

- $R$  : efisiensi  
 $X_f$  : Zr dalam umpan  
 $X_i$  : Zr dalam fase air

Analisis kandungan zirkonium dan hafnium sangat sulit dikerjakan dengan metode analisis konvensional, karena kedua unsur mempunyai sifat kimia yang mirip. Salah satu cara untuk menanggulangi kesulitan tersebut adalah dengan metode Spektrometri pendar sinar-X, karena metode ini mempunyai keunggulan diantaranya keseksamaan yang tinggi. Analisis menggunakan Spektrometer Pendar Sinar-X sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor misalnya pengaruh matriks dan heterogenitas<sup>[8]</sup>. Cara untuk memperoleh keseksamaan dan ketelitian yang tinggi digunakan standar kalibrasi. Salah satu syarat untuk dapat digunakan sebagai standar kalibrasi diantaranya mempunyai kemiripan sifat-sifat fisik dan komposisi kimia dari cuplikan yang dianalisis. Menurut Junaedi dkk (1985) matriks Ce, La dan campuran tanah jarang sampai dengan kadar 100 ppm terhadap konsentrasi zirkonium 2500 ppm tidak mempengaruhi intensitas spektra  $Zr_{K\alpha}$ <sup>[9]</sup>.

## TATA KERJA DAN PERCOBAAN

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi :

Pasir zirkon hasil penambangan dengan kandungan hafnium sebesar 1249 ppm, soda api teknis sebagai bahan pereaksi dalam proses peleburan. Larutan TBP-Kerosen (30:70) sebagai bahan pelarut dalam proses ekstraksi. Larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,2 N digunakan sebagai bahan pemungut zirkonium dalam proses re-ekstraksi larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  12,5 % digunakan untuk proses pengendapan dan aquadest buatan laboratorium BKTPB dipakai Sebagai bahan pengencer.

### Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

Tungku peleburan digunakan sebagai sumber panas dan media reaksi antara pasir zirkon dengan soda api. Beker gelas digunakan untuk proses pelindian, ekstraksi, re-ekstraksi dan pengendapan. Satu set pengaduk magnit merek Ceramac Midi untuk proses pengadukan. Buret dari Pyrex volume 50 mL digunakan dalam proses pengendapan. Bar/pengaduk  $\phi = 5$  mm, panjang 50 mm. Krus alsint dipakai untuk wadah umpan dalam pengeringan maupun kalsinasi. Alat penimbang analitis (*Mettler H-20*). Eksikator digunakan untuk pendinginan dan penyimpanan hasil kalsinasi. Peralatan analisis zirkonium meliputi : satu set spektrometer pendar sinar-X. Plastik *Mylar* buatan *Spex* dan vial (tempat sampel) sebagai sarana penunjang analisis. Satu set *Neutron Activation Analysis (NAA)*.

## CARA PENELITIAN

### Persiapan Bahan

Pasir zirkon yang tersedia ditimbang dan dimasukkan ke dalam tempat pencampur, begitu juga soda api. Kedua bahan dicampur dengan perbandingan berat 1 : 1,1 hingga diperoleh campuran yang homogen. Campuran

yang diperoleh ditaruh pada tempat yang telah disiapkan, kemudian dimasukkan ke dalam tungku peleburan. Setelah proses peleburan selesai tungku dimatikan dan dibiarkan dingin. Leburan ditimbang secara teliti, kemudian dimasukkan ke dalam beker. Terhadap leburan ini, dilakukan pelindian dengan air pada perbandingan 1 g hasil leburan dalam 30 mL air dengan kecepatan putaran pengaduk 360 rpm selama 60 menit (pelindian diulangi hingga 5 kali). Hasil yang diperoleh dari pelindian memakai air dipisahkan dengan penyaringan untuk mengambil residu, sedangkan filtrat yang mengandung pengotor dibuang, selanjutnya residu dikeringkan. Residu hasil proses pelindian dilarutkan dalam asam nitrat 2 N dengan perbandingan 1 g residu dalam 30 mL asam nitrat 2 N. Larutan yang didapat diekstraksi dengan TBP - Kerosen ( 30 - 70 ) dengan perbandingan 1:1 selama 15 menit

dengan kecepatan putaran pengaduk 200 rpm. Setelah proses ekstraksi selesai kemudian dilakukan pemisahan dengan corong pemisah. Fase air (rafinat) yang berisi logam-logam pengotor dibuang sedang fase organik (ekstrak) diambil sebagai umpan penelitian selanjutnya. Sebagian umpan penelitian diambil sebagian untuk dianalisis kandungan zirkoniumnya menggunakan Spektrometer Pendar Sinar-X.

#### Variabel Kecepatan Pengadukan

Diambil umpan sebanyak 100 mL dan dimasukkan ke dalam beker gelas. Ditambahkan  $H_2SO_4$  0,2 N sebanyak 100 mL kemudian diaduk dengan kecepatan 60 rpm selama 2 jam. Setelah proses pengadukan selesai, campuran dipisahkan dengan corong pemisah. Hasil pemisahan (fase air dan fase organik) diambil sebagian untuk dianalisis kandungan zirkonium menggunakan Spektrometer Pendar Sinar-X. Fase organik dibuang sedangkan fase air diendapkan dengan menambahkan larutan  $NH_4OH$  12,5 % hingga pH mencapai 7 - 8. Apabila proses pengendapan dianggap selesai, kemudian endapan disaring terus dicuci dengan air panas. Endapan yang diperoleh dikeringkan kemudian dikalsinasi. Percobaan diulangi seperti semula namun kecepatan pengadukan divariasikan dari 120, 180, 240, 300 dan 360 rpm.

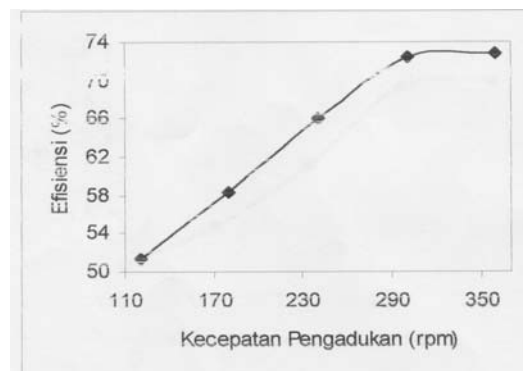
#### Variabel Waktu

Diambil umpan sebanyak 100 mL dan dimasukkan ke dalam beker gelas.

Ditambahkan  $H_2SO_4$  0,2 N sebanyak 100 mL kemudian diaduk dengan kecepatan 300 rpm selama 1 jam. Setelah proses pengadukan selesai, campuran dipisahkan dengan corong pemisah. Hasil pemisahan (fase air dan fase organik) diambil sebagian untuk dianalisis kandungan zirkonium menggunakan Spektrometer Pendar Sinar-X. Fase organik dibuang sedangkan fase air diendapkan dengan menambahkan larutan  $NH_4OH$  12,5 % hingga pH mencapai 7 - 8. Apabila proses pengendapan dianggap selesai, kemudian endapan disaring terus dicuci dengan air panas. Endapan yang diperoleh dikeringkan kemudian dikalsinasi. Percobaan diulangi seperti semula namun waktu pengadukan divariasikan dari 1, 3, 4,5 dan 6jam. Kandungan hafnium dikonfirmasi dengan metode Neutron Activation Analysis.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

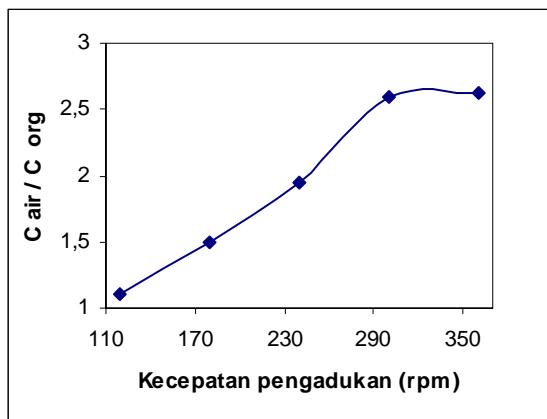
Re-ekstraksi zirkonium adalah suatu cara untuk memungut kembali zirkonium dari larutan hasil proses ekstraksi fase organik (ekstrak zirkon) ke dalam larutan pemungut (solven). Larutan pemungut yang digunakan dalam penelitian ini adalah  $H_2SO_4$  0,2 N. Hasil penelitian dengan variabel kecepatan pengadukan yang telah dilakukan disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap Efisiensi Selama 2 Jam.

Gambar 1. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap efisiensi dengan lama pengadukan 2 jam, tampak bahwa semakin tinggi kecepatan pengaduk akan mengakibatkan efisiensi mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan pengadukan berakibat jumlah zirkonium yang terpengut dari umpan (ekstrak zirkon) semakin

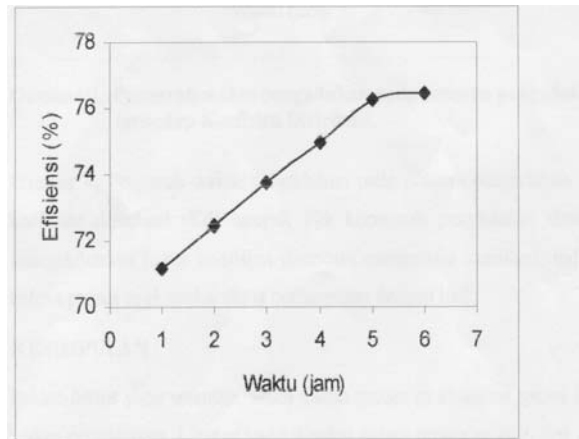
besar karena semakin tinggi kecepatan pengadukan menyebabkan homogenitas campuran semakin baik sehingga reaksi berjalan semakin sempurna. Pada Gambar 1, tampak bahwa ketika kecepatan pengadukan dinaikkan dari 120 rpm hingga 300 rpm, Efisiensinya mengalami kenaikan secara signifikan, namun ketika kecepatan pengadukan dinaikkan terus menjadi 360 rpm, kenaikan Efisiensinya sudah tidak bertambah banyak/tidak berarti lagi, hal ini menunjukkan bahwa pada kecepatan pengadukan 300 rpm sudah mencapai pada daerah yang optimum.



Gambar 2. Pengaruh Kecepatan Pengadukan Selama 2 Jam Terhadap Cair/Corg

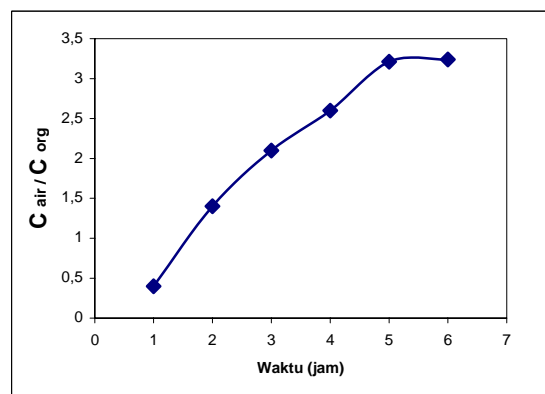
Gambar 2, Pengaruh kecepatan pengadukan selama 2 jam terhadap Cair/Corg tampak jika kecepatan pengadukan dinaikkan terus akan mengakibatkan harga Cair/Corg mengalami kenaikan, hal ini menunjukkan bahwa proses re-ekstraksi dapat berlangsung dengan baik.

Hasil penelitian dengan variabel waktu pengadukan disajikan pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Pengaruh Waktu Pengadukan Pada Putaran Pengaduk 300 rpm Terhadap Efisiensi.

Gambar 3. Pengaruh waktu pengadukan pada putaran pengaduk 300 rpm terhadap Efisiensi, tampak jika waktu pengadukan dinaikkan terus akan mengakibatkan Efisiensi mengalami kenaikan, hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu pengadukan akan memberikan kesempatan kepada zat-zat untuk melakukan kontak lebih baik sehingga reaksi berjalan sempurna. Pada Gambar 3, tampak ketika waktu pengadukan dinaikkan dari 1 jam hingga 5 jam, Efisiensi mengalami kenaikan secara tajam, namun ketika waktu pengadukan dinaikkan terus menjadi 6 jam kenaikan Efisiensinya sudah tidak tajam lagi (tidak berpengaruh), hal ini menunjukkan bahwa waktu putaran pengadukan 5 jam sudah mencapai pada daerah yang optimum karena kenaikan waktu sudah tidak mempengaruhi efisiensinya.



Gambar 4. Pengaruh Waktu Pengadukan Pada Putaran Pengaduk 300 Rpm Terhadap Cair/Corg.

Gambar 4, Pengaruh waktu pengadukan pada putaran pengadukan 300 rpm terhadap Cair/Corg, tampak jika kecepatan pengadukan dinaikkan terus akan mengakibatkan Cair/Corg mengalami kenaikan, namun ketika waktu pengadukan terus hingga mencapai 5 jam, kenaikan Cair/Corg sudah tidak berpengaruh lagi, hal ini menunjukkan bahwa kesetimbangan sudah tercapai yang berarti Cair/Corg sama dengan Kd.

Ditinjau dari hasil analisis kandungan hafnium sebesar 366,9 ppm, tampak bahwa telah terjadi penurunan kandungan hafnium dari 1249 ppm menjadi 366,9 ppm (882,1 ppm), hal ini menunjukkan bahwa zirkonium dapat dipisahkan secara ekstraksi cair-cair menggunakan pelarut Tri Buthyl Phospat dengan pengencer Kerosen.

## KESIMPULAN

Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam proses re-ekstraksi antara lain kecepatan dan waktu pengadukan. Larutan yang dipakai dalam proses re-ekstraksi adalah asam sulfat 0,2 N. Dari hasil penelitian diperoleh kondisi operasi terbaik pada (optimum) pada kecepatan pengadukan 300 rpm dan lama pengadukan 5 jam. Pada kondisi tersebut diperoleh efisiensi sebesar 76,26 % dan koefisien distribusi 3,21 dengan kandungan hafnium pada larutan umpan yang mula-mula 1249 ppm telah turun menjadi 366,9 ppm.

## DAFTAR PUSTAKA

1. ADI WARDOYO., 16-10-2003 "Pengenalan Iplek Nuklir dan Hasil Litbang Yasa Batan di Bidang Energi", Sosialisasi hasil Litbang Yasa BATAN di STTN, Yogyakarta.
2. BENEDICT. M, PIGFORD, 1981, *T.H.Nuclear Chemical Engineering.*, Mc Graw Hill Book Company, New York.
3. WIDDI USADA, ISYUNIARTO, 2001, "MINTOLO., Kajian Prospek Pengembangan Sel Bahan Bakar Oksida Padat", Ganendra, Vol IV No 2 .
4. ELINSON. SV, PETROV. KI., 1960, *Zirkonium Chemical and Physical Methods of Analyzer*, Atomic Energy at The Cuncil of Ministrys, Mozcow.

5. ANWAR MUZAFFAR. NA CMUGMTA, S.M ZAIDI., November 1971, "Fuel Materials Division, Pakistan, Institute of Nuclear Scince and Technology, Nilore", Rawalpindhi.
6. PERRY. J.H., 1963, *Chemical Engineer Hand Book.*, Edisi 4, Mc Graw Hill Book Company, London.
7. TUNJUNG INDRATI, BUDI SULISTY0., 1993, "Ekstraksi dan Re-ekstraksi Zr(Hf)OC12 8 H2O Hasil Pelindian HCl Menggunakan Pesawat Pengaduk Pengekap", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah PPNY-BATAN, Yogyakarta.
8. BERTIN. E.P., 1978, *Introduction to X-Ray Spectrometric Analyze.*, Plenum Press, New York.
9. JUNAEDI E, ISWANI., 1996, "Pembakuan Metode Analisis Zirkonium di Dalam Zirkonium-Hafnium Oksi Khlorid dengan Spektrometer Pendar Sinar-X", Prosiding PPI, PPNY-BATAN.

## TANYA JAWAB

### Pertanyaan

1. Ditinjau peranan Zirkonium yang sangat penting dalam berbagai industri, apakah bahan ini mudah di dapat? Mohon penjelasannya! (Nugroho Tri Sanyoto)
2. Kalsinasi pada suhu 1000 °C selama satu jam, apakah merupakan prosedur atau optimasi, tolong dijelaskan. (Nugroho Tri Sanyoto)
3. Mohon penjelasannya mengapa proses ekstraksi Zirkon menggunakan asam sulfat 0,2 N? (Nugroho Tri Sanyoto)
4. Dilihat dari judulnya, apakah ada metode lain yang bisa digunakan untuk membuat larutan umpan? tolong jelaskan! (Ferry Suyatno)
5. Dalam langkah kerja Zirkonium di analisis dengan x-ray, apakah ada metode lain yang bisa digunakan? Mohon dijelaskan! (Ferry Suyatno)

### Jawaban

1. Bahan baku untuk mendapatkan Zirkonium (pasir Zirkon) sangat mudah di dapat, bahan ini terdapat di pulau timah (Bangka Belitung). Bahan ini untuk

mendapatkannya merupakan bahan ikutan (bahan buangan) dari tambang timah. Kandungan Zirkonium dalam pasir ini menurut beberapa pustaka menyebutkan sekitar 40-45%.

2. Kalsinasi dilakukan pada suhu 1000°C selama 1 jam, hal ini dilakukan karena mengacu dari hasil penelitian terdahulu (hasil optimasi) di mana pada suhu tersebut zirkonium dioksida terbentuk secara optimal.
3. Re-ekstraksi dilakukan dengan menggunakan asam sulfat 0,2 N. hal ini menurut banyak hasil penelitian pendahuluan yang mana zirkonium stabil mencapai optimum dalam asam yang memiliki kadar 0,2 N
4. Memang ada metode lain untuk membuat larutan umpan dalam pengendapan  $Zr(OH)_4$ , yaitu dengan melarutkan hasil proses klorinasi (metode proses kering), namun metode ini kurang efisien karena memerlukan panas yang tinggi sehingga keperluan akan energi menjadi sangat banyak, sedangkan dengan metode yang baru ini tidak memerlukan panas yang tinggi sehingga hemat energi (panas).
5. Ada cara lain untuk menganalisis Zirkonium selain dengan x-ray, yaitu dengan metode FNAA atau APNC, namun hasil yang diperoleh dari metode tersebut hasilnya tidak jauh berbeda.

