

## PEMBUATAN Y OKSIDA MELALUI PROSES PENGENDAPAN DAN KALSINASI

Tri Handini, Bambang EHB, Sri Sukmajaya, Dwi Biyantoro  
Pusat Sains Dan Teknologi Akselerator – BATAN  
Jln. Babarsari Kotak Pos 6101 ykbb  
Yogyakarta 55281  
[handini@batan.go.id](mailto:handini@batan.go.id)

### ABSTRAK

#### PEMBUATAN Y OKSIDA MELALUI PROSES PENGENDAPAN DAN KALSINASI.

Telah dilakukan pembuatan Y oksida ( $Y_2O_3$ ) melalui proses pengendapan dan kalsinasi dari bahan dasar pasir senotim. Tahapan proses meliputi dijesti, pengendapan, dan kalsinasi. Proses dijesti pasir senotim dilakukan pada suhu reaksi 210 °C selama 4 jam, ukuran pasir senotim 200-325 mesh, dilebur dengan larutan  $H_2SO_4$  96%, dan larutan  $H_2O_2$  30%. Hasil dijesti berupa filtrat konsentrat logam tanah jarang (LTJ) yang telah di encerkan dengan air – es digunakan sebagai umpan proses pengendapan. Analisis produk menggunakan spektrometer pendar sinar-X. Variabel yang diteliti meliputi pH pengendapan, suhu dan waktu kalsinasi. Proses pengendapan menggunakan larutan  $NH_3(aq)$  25% dan campuran larutan  $NH_3(aq)$  25% dan 30% (w/v)  $H_2C_2O_4$  30%. Pada pH = 7 (pengendapan bertingkat), diperoleh Y oksida dengan kadar  $Y_2O_3 = 59,42\%$ . Pada proses kalsinasi diperoleh kondisi optimum pada suhu kalsinasi = 1000 °C dan waktu kalsinasi = 2 jam.

Kata kunci: Pasir senotim, dijesti, pengendapan, kalsinasi, Y oksida dan LTJ.

### ABSTRACT

**PROCESS OF MAKING Y OXIDE THROUGH PRECIPITATION AND CALCINATION PROCESS.** Process of making yttrium oxide ( $Y_2O_3$ ) through precipitation and calcination process from raw material xenotime sand has been done. Stages of the process include digestion, precipitation, and calcination. Senotim sand digest process carried out at a reaction temperature of 210 °C for 4 hours, the size of sand senotim 200-325 mesh, was merged with 96%  $H_2SO_4$  solution, and a solution of 30%  $H_2O_2$ . Digestion product is a rare earth element (REE) concentrated that has been diluted with water - ice is used as feed precipitation process. There are two kinds of precipitation agent namely: 25%  $NH_3(aq)$  solution and the mixture 25%  $NH_3(aq)$  and 30% (w/v)  $H_2C_2O_4$  30% solutions. The product was analyzed using XRF spectrometer. The variables examined include pH of precipitation, temperature and time of calcination. The precipitation process used the solution of 25%  $NH_3(aq)$  at pH = 7 (multi precipitation), with this condition the concentration obtained concentration of Y = 59.42%. The optimum conditions of calcination process were calcination temperature = 1000 °C and calcination time = 2 hours.

Keywords: Xenotime sand, digestion, precipitation, calcination, Y oxide and REE.

### PENDAHULUAN

Pasir senotim dan pasir monasit merupakan sumber daya mineral di Indonesia yang mempunyai potensi ekonomi cukup tinggi dan strategis, karena pasir tersebut banyak mengandung logam tanah jarang (LTJ) dan torium (Th) [5]. Beberapa wilayahnya terutama di pulau Bangka, Belitung, Singkep dan tidak menutup kemungkinan pada perairan kepulauan Riau mempunyai kandungan LTJ cukup besar [5].

Logam tanah jarang atau "rare earth elements" (REE) di dalam susunan berkala termasuk Golongan III B periode 6 yang semuanya menunjukkan sifat-sifat kimia yang hampir sama atau mirip. Kelompok LTJ sering disebut sebagai deret lantanida terdiri atas 15 unsur yang dimulai dari unsur lantanum (La) dengan nomor atom 57 sampai dengan unsur lutesium (Lu) dengan nomor atom 71, ditambah unsur skandium (Sc) dengan nomor atom 21 dan itrium (Y) dengan nomor atom 39 [1,5,6,7,8,10,11,12]. Unsur skandium dan itrium

sebetulnya tidak termasuk pada deret lantanida tetapi karena sifat-sifatnya yang sangat mirip, maka kemudian dimasukkan ke dalam kelompok unsur LTJ [7,8,12].

Itrium (Y) merupakan unsur logam tanah jarang yang banyak terkandung dalam pasir senotim, disamping unsur-unsur lain seperti disprosium (Dy), gadolinium (Gd), samarium (Sm), lantanum (La), serium (Ce), dan neodimium (Nd). Pasir senotim adalah senyawa logam tanah jarang fosfat (Y, LTJ)PO<sub>4</sub> atau sering pula ditulis sebagai YPO<sub>4</sub> [5,8].

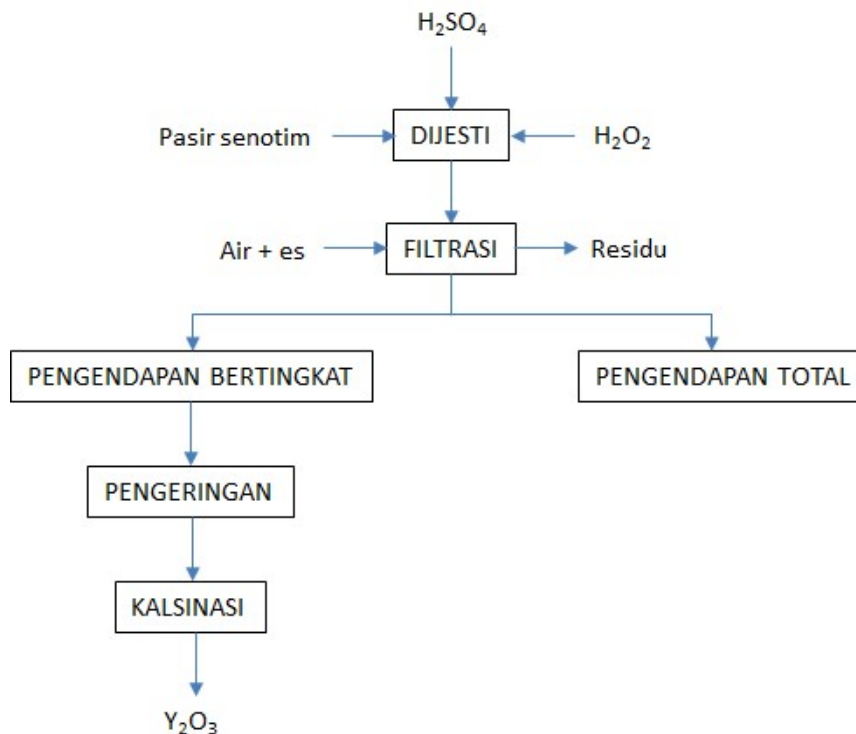
Itrium dalam bentuk oksida (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) digunakan sebagai bahan tabung televisi berwarna, keramik, superkonduktor, laser, magnetik, dan filter gelombang mikro. Disprosium (Dy), samarium (Sm), dan gadolinium (Gd) digunakan sebagai bahan pembuat batang kendali nuklir dalam industri nuklir karena mempunyaiampang lintang serapan neutron ( $\sigma$ ) yang besar ( $\sigma$  Dy = 1100,  $\sigma$  Sm = 8250, dan  $\sigma$  Gd = 39100). Lantanum (La) digunakan sebagai bahan *X-ray screen*, baterai, kapasitor, dan bahan keramik. Serium (Ce) digunakan sebagai bahan katalis pada penyulingan minyak bumi, logam paduan yang tahan terhadap suhu tinggi dan korosi, kapasitor, keramik berwarna, dan industri kaca/optik. Neodimium (Nd) digunakan sebagai bahan baku pembuatan magnet [3,5].

Secara umum dapat dikatakan bahwa karena LTJ merupakan bahan unggul strategis-ekonomis, sukar diperoleh, dan kegunaannya sangat banyak, baik industri maupun teknologi nuklir, sehingga usaha untuk memperoleh logam-logam tersebut sebanyak-banyaknya sangat diperlukan. Dengan dasar pertimbangan teknologis-ekonomis, maka perlu dipilih teknologi yang paling *feasible* dan paling efisien untuk kisaran kondisi operasi yang dikehendaki.

Untuk mendapatkan oksida LTJ dari pasir senotim dilakukan langkah-langkah proses yaitu pelindian/dijesti, pengenceran, filtrasi, pengendapan/kristalisasi, dan kalsinasi. Pelindian/dijesti bertujuan untuk melarutkan logam tanah jarang dari pasir senotim. Pengenceran dan penyaringan/filtrasi dimaksudkan untuk menghilangkan pengotor-pengotor yang terdapat dalam pasir senotim. Unsur-unsur pengotor ini tertinggal dalam endapan pada saat penyaringan dan filtrat yang diambil kaya akan unsur-unsur LTJ. Pengendapan/kristalisasi dimaksudkan untuk mengendapkan LTJ dari filtrat. Proses kalsinasi adalah proses pembuatan oksida logam tanah jarang (LTJ<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) [5].

Pengendapan merupakan salah satu metode pemisahan unsur LTJ yang cukup banyak dilakukan [5,10,11]. Pengendapan dikerjakan dengan mengubah zat yang akan dipisahkan menjadi suatu fasa baru yaitu dalam bentuk padatan (endapan). Pengendapan ini terjadi karena zat tersebut berada dalam bentuk persenyawaan yang hasil kali konsentrasi ion-ionnya melebihi harga hasil kali kelarutan ( $K_{sp}$ ) senyawa tersebut. Proses pengendapan adalah proses terjadinya padatan karena melewati besarnya  $K_{sp}$  yang harganya teretentu dan dalam keadaan jenuh. Untuk memudahkan,  $K_{sp}$  diganti dengan  $p K_{sp}$  sebagai fungsi logaritma =  $-\log K_{sp}$  merupakan besaran yang nilainya positif dan lebih besar dari nol. Jika nilai  $K_{sp}$  kecil atau  $pK_{sp}$  besar, unsur atau senyawa mudah mengendap. Sebaliknya jika nilai  $K_{sp}$  besar atau  $pK_{sp}$  kecil, unsur atau senyawa sulit mengendap. Untuk mendapatkan endapan LTJ dari pasir senotim dapat dilakukan dengan pengendapan yaitu pengendapan menggunakan hidroksida dan asam oksalat [8]. Pengendapan hidroksida merupakan salah satu cara untuk memisahkan atau mengambil unsur LTJ yang terdapat dalam pasir senotim. Prosesnya dilakukan dengan menambahkan larutan amonia/NH<sub>3</sub>(aq) ke dalam konsentrat LTJ hasil dijesti pasir senotim sehingga terbentuk endapan logam tanah jarang hidroksida [LTJ(OH)<sub>3</sub>]. Pengendapan hidroksida dapat dilakukan secara bertingkat dengan variasi pH menggunakan NH<sub>3</sub>(aq) maupun secara serentak. Proses pengendapan dengan NH<sub>3</sub>(aq) diperlukan waktu pengendapan yang baik agar LTJ yang terdapat di dalam filtrat dapat diambil secara maksimum (konsentrasi tinggi). Untuk memperoleh oksida LTJ dari pasir senotim maka endapan LTJ(OH)<sub>3</sub> hasil pengendapan dengan NH<sub>3</sub>(aq) kemudian dikalsinasi dengan variasi suhu kalsinasi dan waktu kalsinasi. Kalsinasi merupakan proses pemanasan zat padat sampai suhu di bawah titik leleh yang mengakibatkan keadaan penguraian oleh panas.

Diagram alir proses pembuatan oksida itrium dan oksida LTJ dari pasir senotim ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Proses pembuatan oksida itrium dan oksida LTJ

## METODOLOGI

### BAHAN

Pasir senotim,  $Y_2O_3$ ,  $H_2SO_4$  96%, p.a.,  $HNO_3$  65%,  $H_2O_2$  30% p.a.,  $NH_3(aq)$  25% p.a.,  $H_2C_2O_4 \cdot 2 H_2O$  p.a. semua dari E.Merck, dan aquades.

### ALAT

Spektrometer pendar sinar-X, pengaduk pemanas merk Ika® Werke, timbangan analitik, drying oven, furnace, labu ukur, gelas ukur, gelas arloji, corong pemisah, pipet, kertas saring Whatman No 4.

### CARA KERJA

#### 1. Proses dijesti

Ditimbang 100 g pasir senotim ukuran 200 – 325 mesh ditambah 250 mL  $H_2SO_4$  96% dan 10 mL  $H_2O_2$  30% kemudian didijesti pada suhu 210 °C selama 4 jam. Campuran hasil dijesti diencerkan dengan air es sampai 2500 mL dan dilanjutkan dengan penyaringan. Residu dipisahkan sedang filtrat kaya kandungan Y dan LTJ dianalisis menggunakan spektrometer pendar sinar-X. Filtrat digunakan sebagai umpan proses pengendapan bertingkat dan pengendapan serentak.

#### 2. Pengendapan Bertingkat

Filtrat hasil penyaringan diendapkan secara bertingkat dengan cara menambah  $NH_3(aq)$  25% hingga pH = 1,5. Filtrat hasil pengendapan pH = 1,5 dipisahkan antara filtrat dan endapannya, kemudian filtrat diendapkan pada pH = 2. Demikian seterusnya filtrat hasil pengendapan bertingkat dipisahkan kemudian diendapkan pada pH = 3, 4, 5 dan seterusnya sampai pH = 8. Masing-masing endapan hasil penyaringan dikeringkan pada suhu 100 °C dan disimpan dalam eksikator. Endapan kering dianalisis menggunakan spektrometer pendar sinar-X. Endapan yang diperoleh pada kondisi optimum dipakai untuk proses kalsinasi.

### 3. Pengendapan total

Pengendapan total atau serentak dilakukan dengan cara filtrat I ditambah amonia 25% hingga pH 2,5 dan larutan H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 30% (b/v). Selanjutnya dilakukan penyaringan untuk memisahkan filtrat dan endapan. Endapan dikeringkan pada suhu 100 °C dan disimpan dalam eksikator. Untuk mengetahui kadar LTJ dilakukan analisis endapan menggunakan alat spektrometer pendar sinar-X.

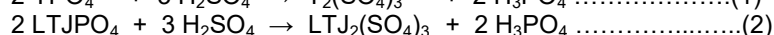
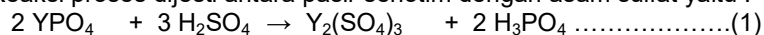
### 4. Proses kalsinasi

Endapan dari pengendapan bertingkat pada kondisi optimum dengan konsentrasi itrium (Y) tertinggi dikalsinasi dalam *furnace* pada berbagai suhu 600, 700, 800, 900, 1000, dan 1100 °C selama 2 jam. Proses kalsinasi diulangi dengan variasi waktu kalsinasi 1, 2, dan 3 jam pada kondisi suhu optimum. Berdasarkan hasil proses kalsinasi diperoleh suhu dan waktu optimum. Endapan hasil kalsinasi dianalisis menggunakan spektrometer pendar sinar-X.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Proses Dijesti

Reaksi proses dijesti antara pasir senotim dengan asam sulfat yaitu :

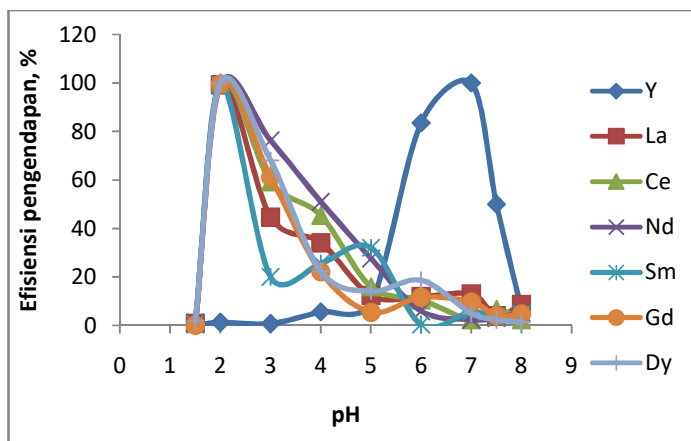


Filtrat hasil dijesti pasir senotim adalah larutan Y<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> atau LTJ<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> yang digunakan sebagai umpan untuk proses pengendapan.

### B. Pengendapan bertingkat

Pengendapan bertingkat atau pengendapan hidroksida merupakan salah satu metode pemisahan logam tanah jarang untuk memperoleh bentuk endapan logam tanah jarang hidroksida [LTJ(OH)<sub>3</sub>] dengan kemurnian itrium (Y) yang tinggi. Pengendapan bertingkat ini dilakukan dengan cara menambahkan ion amonia ke dalam filtrat hasil dijesti sehingga terbentuk endapan hidroksida pada berbagai variasi pH 1,5; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 7,5 dan 8.

Hasil pengendapan hidroksida pada berbagai pH ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Grafik hubungan pH pengendapan dengan efisiensi LTJ (%)

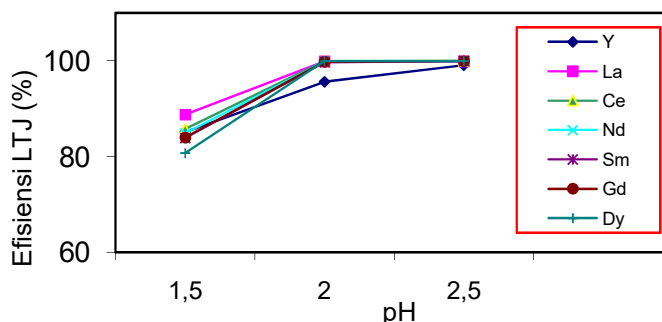
Dari hasil pengendapan bertingkat ditunjukkan bahwa pengendapan filtrat pada pH 1 masih banyak mengandung campuran unsur-unsur LTJ sehingga endapan logam tanah jarang hidroksida [LTJ(OH)<sub>3</sub>] yang diperoleh konsentrasinya masih rendah. Penambahan NH<sub>3</sub>(aq) 25 % secara bertahap menyebabkan kenaikan pH larutan sehingga semakin banyak logam tanah jarang hidroksida [LTJ(OH)<sub>3</sub>] yang mengendap. Kondisi optimum untuk pengendapan itrium (Y) dicapai pada pH 7. Hal ini disebabkan hasil kali kelarutan (K<sub>sp</sub>) itrium lebih besar atau pK<sub>sp</sub> kecil sehingga sukar mengendap. Pada kondisi

ini diperoleh efisiensi pengendapan itrium (Y) sebesar 99,97%, dengan kadar itrium (Y) = 41,53% dan pengotor LTJ yang lain dalam endapan adalah La = 0,11%, Ce = 0,11%, Nd = 0,09%, Sm = 0,05%, Gd = 0,01%, dan Dy = 0,03%. Pada penelitian sebelumnya [2] tidak dikerjakan proses pengendapan serentak dan proses menggunakan sulfat rangkap. Sedangkan pada penelitian ini dilakukan pemendekan proses dengan menghilangkan proses sulfat rangkap.

### C. Pengendapan total/serentak

Pengendapan serentak dilakukan dengan cara filtrat hasil dijesti ditambah amonia pada pH 1,5; 2, sampai pada pH 2,5 dan asam oksalat (H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) 30%. Pengendapan ini dimaksudkan agar supaya semua unsur LTJ mengendap maksimal sehingga meminimalkan kehilangan unsur LTJ.

Hasil pengendapan hidroksida dan asam oksalat sampai pH 2,5 ditunjukkan dalam Gambar 3.



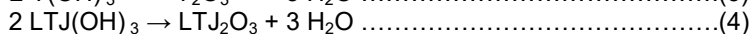
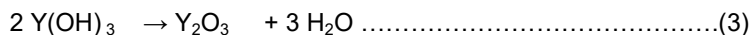
Gambar 3. Grafik hubungan antara pH pengendapan dengan efisiensi LTJ (%) memakai amonia dan asam oksalat

Dari hasil pengendapan serentak seperti disajikan dalam Gambar 3 ditunjukkan bahwa konsentrasi LTJ dalam filtrat pada pH 2,5 sudah sangat rendah. Hal ini disebabkan hampir semua unsur-unsur LTJ dalam filtrat umpan dapat terendapkan sempurna, sehingga kehilangan LTJ relatif kecil sekali. Penambahan larutan H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 30% (b/v) bertujuan untuk membantu pengendapan LTJ yang belum mengendap pada pH 2,5. Penambahan larutan H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 30% (b/v) dihentikan jika sudah tidak terbentuk endapan lagi. Kondisi ini diperoleh efisiensi pengendapan logam tanah jarang sebesar Y = 99,07%, La = 99,99%, Ce = 99,99%, Nd = 99,92%, Sm = 99,95%, Gd = 99,96%, dan Dy = 99,98% dengan konsentrasi logam tanah jarang dalam endapan sebesar Y = 36,08%, La = 5,09%, Ce = 11,47%, Nd = 7,58%, Sm = 2,20%, Gd = 0,79%, dan Dy = 8,81%.

Pada pengendapan serentak ini ternyata hampir semua LTJ mengendap. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan asam oksalat mempercepat terbentuknya endapan LTJ. Untuk proses pemisahan dan meningkatkan kadar Y, endapan perlu diproses lebih lanjut dengan proses pengeringan, dan proses kalsinasi.

### D. Proses kalsinasi

Proses kalsinasi adalah proses pembuatan oksida itrium dan oksida LTJ dengan cara memanaskan endapan kering Y hidroksida atau LTJ hidroksida pada suhu tinggi. Reaksi yang terjadi untuk proses kalsinasi adalah <sup>(1)</sup> :

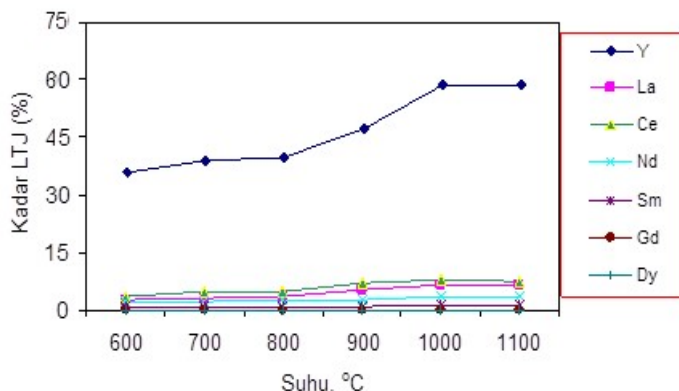


Parameter yang berpengaruh terhadap hasil oksida itrium dan oksida LTJ adalah suhu dan waktu. Proses kalsinasi memakai umpan hasil pengendapan bertingkat yang optimum yaitu pada pH 7.

### a. Pengaruh suhu

Penelitian yang dilakukan adalah untuk menentukan suhu kalsinasi optimum pada proses pembuatan oksida logam tanah jarang sehingga diperoleh konsentrasi logam tanah jarang yang tinggi selama waktu yang digunakan tetap yaitu 2 jam. Kalsinasi dilakukan pada berbagai variasi suhu 600, 700, 800, 900, 1000, dan 1100 °C.

Gambar hubungan antara suhu kalsinasi (°C) terhadap kadar logam tanah jarang (%) disajikan pada Gambar 4.



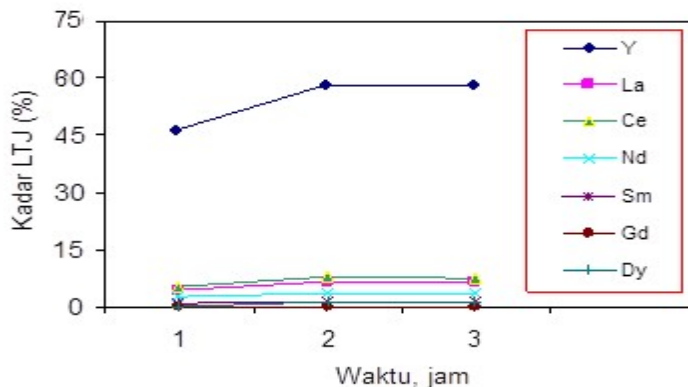
Gambar 4. Grafik hubungan antara waktu kalsinasi terhadap kadar LIJ (%)

Dari hasil proses kalsinasi yang ditunjukkan dalam Gambar 4 di atas tampak bahwa semakin tinggi suhu menyebabkan terjadinya kenaikan kadar Y dan LTJ sampai suhu optimum 1000 °C. Di atas suhu ini sudah tidak tampak perubahan yang berarti. Suhu kalsinasi relatif baik pada suhu 1000 °C. Hal ini dikarenakan pada suhu tersebut logam tanah jarang relatif mempunyai konsentrasi yang tinggi. Penambahan suhu kalsinasi setelah suhu optimum tercapai tidak banyak memberikan perubahan konsentrasi Y. Dibandingkan dengan konsentrasi endapan sebelum dikalsinasi tampak bahwa setelah dikalsinasi terjadi kenaikan konsentrasi endapan logam tanah jarang (Y, La, Ce, Nd, Sm, Gd, Dy). Semakin tinggi suhu kalsinasi hasil endapan yang diperoleh semakin berwarna putih. Hal ini menandakan bahwa itrium (Y) yang diperoleh relatif lebih murni.

### b. Pengaruh waktu

Penelitian yang dilakukan adalah untuk menentukan waktu kalsinasi optimum pada proses pembuatan itrium oksida ( $Y_2O_3$ ) sehingga diperoleh kadar  $Y_2O_3$  yang tinggi pada kondisi suhu optimum 1000 °C. Kalsinasi dilakukan pada variasi 1 jam, 2 jam, dan 3 jam.

Adapun kurva hubungan antara waktu kalsinasi (jam) terhadap kadar Y oksida dan LTJ oksida (%) dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan antara waktu kalsinasi terhadap kadar LIJ (%)

Waktu kalsinasi relatif baik selama 2 jam. Kadar itrium/logam tanah jarang pada waktu kalsinasi 2 jam mengalami kenaikan, sedangkan pada waktu kalsinasi 3 jam tidak mengalami perubahan yang signifikan sehingga waktu kalsinasi di atas 2 jam pengaruhnya terhadap kadar Y atau logam tanah jarang tidak begitu besar. Hal ini dikarenakan setelah waktu kalsinasi di atas 2 jam kadarnya hampir sama.

Berat endapan LTJ hasil kalsinasi relatif stabil selama waktu 2 jam. Endapan LTJ hasil kalsinasi di bawah waktu 2 jam masih banyak mengandung pengotor-pengotor. Hal ini disebabkan waktu kalsinasi yang belum optimal. Pada kondisi optimum, suhu 1000 °C selama 2 jam diperoleh kadar LTJ seperti disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kadar LTJ proses kalsinasi pada suhu 1000 °C dan waktu 2 jam

pH	Kadar (%)						
	Y	La	Ce	Nd	Sm	Gd	Dy
7	59,42	4,33	5,12	2,24	0,95	0,12	0,08

Keterangan: Pengendapan selektif pH 7

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pembuatan itrium oksida ( $Y_2O_3$ ) melalui proses dijesti, pengendapan dan kalsinasi menggunakan umpan pengendapan bertingkat pH 7 pada proses kalsinasi diperoleh suhu dan waktu optimum yaitu 1000 °C selama 2 jam. Berdasarkan analisis produk LTJ diperoleh kadar  $Y_2O_3 = 59,42\%$ .

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada manajemen PSTA yang telah memberikan dana penelitian dan kepada Sdr. Purwoto yang telah membantu sampai terwujudnya tulisan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. AMIN, A., "Pemisahan Unsur Samarium dan Yttrium dari Mineral Tanah Jarang dengan Teknik Membran Cair Berpendukung (Supported Liquid Membrane)", Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan, Vol. 7, No. 1, hal. 15 – 23, 2009.
2. BAMBANG, E. H. B, MUHADI, BASUKI, K. T., "Pengkayaan Yttrium Dari Hasil Olah Pasir Senotim dengan Pengendapan Hidroksida", Prosiding PPI, Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Fisika, Fisika Reaktor, Instrumentasi Nuklir, Kimia Nuklir, Biologi, dan Teknologi Proses, PPNY - BATAN, Yogyakarta, 28 – 30 April 1992.
3. BENEDICT, M, PIGFORD, T.H, AND LEVI, H.W. (1981). *Nuclear Chemical Engineering*. 2<sup>nd</sup> Edition. New York : Mc Graw-Hill Book Company.
4. DWI BIYANTORO, FONALI LAHAGU , MUHADI AW, BAMBANG EHB, "Pengendapan Logam Tanah Jarang dari Pasir Monasit", Prosiding PPI, Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Kimia Nuklir, Biologi, Teknologi Proses, Fisika, Fisika Reaktor dan Instrumentasi Nuklir, Yogyakarta, 14 – 16 Mei 1991.
5. DWI BIYANTORO, "Teknologi Pemisahan Itrium dari Pasir Senotim Untuk Industri", Orasi Pengukuhan Profesor Riset, Bidang Kimia dan Teknologi Proses Bahan BATAN, Yogyakarta, (2008).
6. HUSEIN H. BAHTI, YAYAH MULYASIH, ANNI ANGAENI, "Extraction and Chromatographic Studies on Rare-Earth Elements (REEs) from Their Minerals : The Prospect of REEs Production in Indonesia?", Proceeding of 2nd International Seminar on Chemistry 2011 (pp. 421-430), Jatinangor, 24 – 25 November 2011.
7. HURST, C., "China's Rare Earth Elements Industry : What Can The West Learn?", Institute for the Analysis of Global Security (IAGS), March 2010.
8. P. KOLTUN, P. AND THARUMARAJAH, A., "Life Cycle Impact of Rare Earth Elements", Hindawi Publishing Corporation ISRN Metallurgy Vol. 2014, Article ID 907536, 10 pages, 2014.
9. RENATA D. ABREU, CARLOS A. MORAIS, "Purification of Rare Earth Elements from Monazite Sulphuric Acid Leach Liquor and The Production of High-Purity Cerium Oxide", Minerals Engineering, Vol. 23, Issue 6, May 2010, Pages 536 – 540.

- 
10. SATUSINPRASERT, P., Unchalee Suwanmanee and Dussadee Rattanaphra, "Separation of Light and Middle-Heavy Rare Earths from Nitrate Medium by Liquid-Liquid Extraction", *Kasetsart Journal (Nat. Sci.)* 49 : 155 – 163, 2015.
  11. SHERRIEN, H. AHMED, OSAMA S. HELAY, MOHAMED, S. ABD EI-GHANY, "Preliminary Study for Separation of Heavy Rare Earth Concentrates from Egyptian Crude Monazite", *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering* Vol : 8, No : 8, 2014.
  12. XIE, F., ZHANG, T. A., DREISINGER, D., DOYLE, F., "A Critical Review on Solvent Extraction of Rare Earths from Aqueous Solutions", *Minerals Engineering* 56 (2014) 10 – 28.