

**PENGENDAPAN UNSUR TANAH JARANG HASIL DIGESTI MONASIT BANGKA MENGGUNAKAN ASAM SULFAT***M. Anggraini, Sumarni, Sumiarti, Rusyidi S, Sugeng W.*

Pusat Pengembangan Geologi Nuklir – BATAN  
Jalan Lebakbulus Raya 9, Pasar Jumat, Jakarta Selatan  
email: mutiaa@batan.go.id

Masuk: 8 Mei 2012

Revisi: 17 September 2012

Diterima: 17 Oktober 2012

**ABSTRAK**

**PENGENDAPAN UNSUR TANAH JARANG HASIL DIGESTI MONASIT BANGKA MENGGUNAKAN ASAM SULFAT.** Unsur tanah jarang merupakan unsur yang banyak digunakan pada berbagai macam produk. Unsur tanah jarang yang berada di alam tidak ditemukan dalam keadaan bebas melainkan dalam bentuk senyawa kompleks sehingga diperlukan pengolahan secara kimia untuk memisahkan unsur tanah jarang dari senyawa kompleksnya. Monasit sebagai hasil samping proses pencucian timah Bangka mengandung beberapa unsur utama antara lain 0,298 % uranium (U), 4,171 % thorium (Th), 23,712 % fosfat ( $P_2O_5$ ) dan 58,97 % oksida unsur tanah jarang ( $RE(OH)_3$ ). Monasit yang diolah secara kimiawi akan menghasilkan garam uranium, thorium, unsur tanah jarang dan fosfat. Unsur-unsur tersebut dapat dipisahkan secara individu melalui proses pengendapan secara bertahap. Proses pemisahan yang digunakan pada penelitian ini adalah metode pengendapan menggunakan asam sulfat sebagai reagen dan filtrat hasil digesti monasit Bangka sebagai umpan pengendapan. Proses digesti menghasilkan uranium, thorium, unsur tanah jarang dan fosfat yang terlarut dari senyawa kompleksnya. Unsur tanah jarang yang telah terlarut dapat dipisahkan dari unsur lainnya dengan metode pengendapan menggunakan asam sulfat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi optimal pengendapan unsur tanah jarang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah  $H_2SO_4$  yang ditambahkan sebanyak 3,5 kali volume umpan dan waktu pengendapan 20 menit, diperoleh persen rekovery pengendapan 61,21 % REE, 78,46 % U dan 93,56 %  $PO_4$ .

**Kata kunci:** pengendapan, REE, monasit, asam sulfat, Bangka.

**ABSTRACT**

**PRECIPITATION RARE EARTH ELEMENTS FROM FILTRAT DIGESTION OF BANGKA MONASIT BY SULPHURIC ACID.** Rare earth elements are elements that widely used in many products. Rare earth elements nature are not found in a free state, but they are in the complex compounds, so that chemically processing is required to separate the Rare earth elements from their complex compounds. Monazite as by product of Bangka tin process contains several major elements, such as 0.298% uranium (U), 4.171% thorium (Th), 23.712% phosphat ( $P_2O_5$ ) and 58.97% rare earth elements (REE) oxide. These elements can be individually separated through a process of precipitation stages. The separation process used in the study is the method of acid by using sulfat acid as reagen and filtrat digestion as feeds. The process of digestion dissolve the elements U, Th, RE and phosphate from the complex compound. Rare earth elements that are dissolved can be separated from the complex compounds by using sulfat acid precipitation process. The objective of research is to set the optimal conditions for the Rare earth elements precipitation with sulfat acid. The result showed that the amount of sulphuric  $H_2SO_4$  which added is 3.5 times volume of feed and precipitation time is 20 minutes, percentage of precipitation recovery is 61.21 % REE, 78.46 % U, and 93.56 %  $PO_4$

**Key words:** Precipitation, REE, Monazite, sulfat acid, Bangka.

## PENDAHULUAN

Unsur Tanah Jarang (REE) merupakan unsur yang banyak digunakan sebagai bahan imbuhan pada peralatan modern. Penggunaan REE memicu berkembangnya teknologi material baru. Perkembangan material ini banyak diaplikasikan di dalam industri untuk meningkatkan kualitas produk. Posisi REE pada masa yang akan datang semakin strategis sehingga perlu diupayakan untuk dapat dikembangkan secara berkelanjutan<sup>[1]</sup>. Secara umum, REE tidak ditemukan dalam bentuk bebas dalam lapisan kerak bumi melainkan dalam senyawa kompleks fosfat dan karbonat<sup>[2]</sup>.

Monasit merupakan senyawa fosfat logam tanah jarang sebagai hasil samping proses pencucian timah Bangka mengandung beberapa unsur utama antara lain 0,298 % U, 4,171 % Th, 23,712 %  $P_2O_5$  dan 58,97 % REE oksida total<sup>[3]</sup>. Monasit yang diolah secara kimiawi akan menghasilkan garam unsur U, Th, RE dan fosfat<sup>[4]</sup>. Untuk mendapatkan unsur-unsur tersebut secara individu, diperlukan proses pemisahan dan pemurnian secara bertahap<sup>[5]</sup>.

Proses pemisahan unsur-unsur U, Th, RE dan fosfat dari bijih monasit dapat dilakukan dengan berbagai metode antara lain: metode basa (menggunakan NaOH), metode asam (menggunakan  $H_2SO_4$ ), metode khloronisasi (menggunakan gas klor, Cl), dan metode reduksi suhu tinggi (menggunakan karbon, C)<sup>[6]</sup>. Metode basa dan metode asam banyak digunakan dalam proses pemisahan ini<sup>[7]</sup>. Proses pemurnian dapat menggunakan metode pengendapan dan ekstraksi pelarut<sup>[5]</sup>.

Pada tahun 1998 telah dilakukan pemisahan dan pemurnian REE dari monasit dengan metode basa. Diperoleh recoveri pengendapan sebesar 99,79 %  $RE(OH)_3$  dan 4,52 % Th<sup>[4]</sup>. Proses pemisahan REE dari senyawa kompleknya dengan metode asam telah dilakukan pada tahun 2011 dan diperoleh rekovery pelarutan sebesar 99,55 % REE, 99,90 % U, 99,44% Th, dan 99,88 %  $PO_4$ . Pemisahan dengan metode asam dapat melarutkan sebagian besar unsur REE, akan tetapi unsur-unsur lain selain unsur RE juga ikut terlarut. Oleh sebab itu perlu dilakukan proses pemurnian REE dengan metode pengendapan. Pengendapan dilakukan dengan menggunakan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) pekat sebagai reagen<sup>[8]</sup>.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari kondisi optimum proses pengendapan REE hasil digesti monasit sehingga didapatkan REE dengan kemurnian tinggi. Kesempurnaan proses pengendapan REE dapat dilakukan melalui investigasi jumlah optimum  $H_2SO_4$  yang digunakan dan waktu pengendapan.

Monasit bereaksi dengan asam sulfat pada suhu di atas  $150^\circ C$  membentuk endapan thorium anhidrous dan RE sulfat<sup>[6]</sup>. Jumlah  $H_2SO_4$  pekat yang digunakan berlebih agar reaksi berjalan sempurna. REE akan mengendap pada kondisi asam sulfat berlebih<sup>[9]</sup>. Suhu reaksi tidak boleh lebih dari  $300^\circ C$ , karena pada suhu yang terlalu tinggi akan terbentuk senyawa pirosulfat yang tidak terlarut<sup>[6]</sup>.

Kecepatan dan kesempurnaan reaksi tergantung dari waktu pengendapan, suhu pengendapan, dan perbandingan asam terhadap umpan (konsentrasi asam)<sup>[10]</sup>. Penelitian ini difokuskan pada waktu pengendapan dan konsentrasi asam.

## METODE PENELITIAN

**Bahan** : Filtrat digesti monasit dan  $H_2SO_4$  pekat.

**Alat** : Satu unit alat pengendapan, satu unit alat pemisahan padat-cair, alat-alat gelas, termometer, *stopwatch*, dan satu unit peralatan analisis.

**Tata Kerja:****Preparasi Umpan**

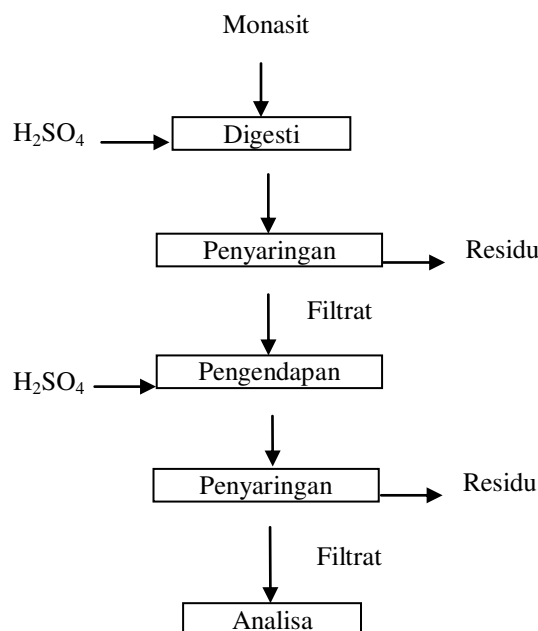
Digesti asam: 200 gr bijih monasit -250 + 325 mesh didigesti menggunakan 270 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat selama 3 jam pada suhu  $190^\circ\text{C}$ , diperoleh residu dan filtrat. Filtrat digunakan sebagai umpan pengendapan.

**Pengendapan**

Variasi konsumsi  $\text{H}_2\text{SO}_4$ : 50 ml filtrat hasil digesti direaksikan dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat dengan variasi perbandingan umpan:  $\text{H}_2\text{SO}_4$  adalah 1:1 ; 1:1,5 ; 1:2 ; 1:2,5 ; 1:3 ; 1:3,5 ; 1:4 dalam waktu 30 menit pada suhu  $150^\circ\text{C}$ .

Variasi waktu pengendapan: 50 ml filtrat hasil digesti direaksikan dengan 175 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat pada suhu  $150^\circ\text{C}$  dengan variasi waktu 10, 20, 30, 40, 50, 60, dan 120 menit.

Diagram alir proses pengendapan REE dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Proses Pengendapan REE dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$

**HASIL DAN PEMBAHASAN****Hasil**

Kesempurnaan reaksi pemisahan REE dari unsur U, Th, dan fosfat dapat ditentukan berdasarkan rekoveri pengendapan REE. Rekoveri dapat dicari dengan persamaan 1, sebagai berikut<sup>[10]</sup>:

$$\% \text{ Rekoveri} = \frac{\text{berat unsur umpan} - \text{berat unsur filtrat}}{\text{berat unsur umpan}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots 1$$

Penentuan berat unsur RE, U, Th, dan fosfat hasil pengendapan dapat dihitung dengan persamaan 2.

$$\text{Berat Unsur (gr)} = \frac{\text{Kadar Unsur (mg/lt)} \times \text{volume filtrat (ml)}}{10^6} \quad \dots\dots\dots 2$$

Hasil perhitungan berat unsur REE, U, Th, dan fosfat variasi perbandingan umpan dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Berat REE, U, Th, dan Fosfat Pengendapan Variasi Perbandingan Umpan dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

| KODE            | KET         | KADAR (ppm) |        |       |      | Vol (ml) | BERAT (gram) |       |       |      |
|-----------------|-------------|-------------|--------|-------|------|----------|--------------|-------|-------|------|
|                 |             | U           | Th     | PO4   | REE  |          | U            | Th    | PO4   | REE  |
| F <sub>A</sub>  | Fil digesti | 303,9       | 4293,5 | 24230 | 56,8 | 50       | 0,015        | 0,215 | 12,12 | 2,84 |
| F <sub>A1</sub> | 1:1         | 122,0       | ttd    | 10500 | 26,4 | 70       | 0,009        | ttd   | 7,35  | 1,85 |
| F <sub>A2</sub> | 1:1,5       | 73,6        | ttd    | 6730  | 17,4 | 105      | 0,008        | ttd   | 7,07  | 1,83 |
| F <sub>A3</sub> | 1:2         | 48,4        | ttd    | 4906  | 12,0 | 155      | 0,008        | ttd   | 7,60  | 1,86 |
| F <sub>A4</sub> | 1:2,5       | 37,9        | ttd    | 4125  | 9,4  | 170      | 0,006        | ttd   | 7,01  | 1,59 |
| F <sub>A5</sub> | 1:3         | 32,5        | ttd    | 3865  | 7,8  | 190      | 0,006        | ttd   | 7,34  | 1,48 |
| F <sub>A6</sub> | 1:3,5       | 17,7        | ttd    | 3425  | 5,4  | 210      | 0,004        | ttd   | 7,19  | 1,14 |
| F <sub>A7</sub> | 1:4         | 14,6        | ttd    | 2945  | 4,7  | 240      | 0,004        | ttd   | 7,07  | 1,13 |

Hasil perhitungan rekoveri pengendapan REE, U, Th, dan fosfat variasi perbandingan umpan dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekoveri Pengendapan REE, U, Th, dan Fosfat Variasi Perbandingan Umpan dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

| KODE                  | Umpan: H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | REKOVERI (%) |            |              |              |
|-----------------------|---------------------------------------|--------------|------------|--------------|--------------|
|                       |                                       | U            | Th         | PO4          | REE          |
| F <sub>A1</sub>       | 1:1                                   | 43,78        | ttd        | 39,33        | 34,80        |
| F <sub>A2</sub>       | 1:1,5                                 | 49,15        | ttd        | 41,67        | 35,67        |
| F <sub>A3</sub>       | 1:2                                   | 50,60        | ttd        | 37,23        | 34,31        |
| F <sub>A4</sub>       | 1:2,5                                 | 57,62        | ttd        | 42,12        | 43,82        |
| F <sub>A5</sub>       | 1:3                                   | 59,42        | ttd        | 39,39        | 47,72        |
| <b>F<sub>A6</sub></b> | <b>1:3,5</b>                          | <b>75,54</b> | <b>ttd</b> | <b>40,63</b> | <b>59,90</b> |
| F <sub>A7</sub>       | 1:4                                   | 76,94        | ttd        | 41,66        | 60,18        |

Hasil perhitungan berat REE, U, Th, dan fosfat variasi waktu pengendapan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kadar REE, U, Th, dan Fosfat Hasil Pengendapan Variasi Waktu Pengendapan

| KODE            | KET         | KADAR (ppm) |        |       |      | Vol (ml) | BERAT (gram) |       |        |       |
|-----------------|-------------|-------------|--------|-------|------|----------|--------------|-------|--------|-------|
|                 |             | U           | Th     | PO4   | REE  |          | U            | Th    | PO4    | REE   |
| F <sub>A</sub>  | Fil digesti | 303,9       | 4293,5 | 24230 | 56,8 | 50       | 0,015        | 0,215 | 12,115 | 2,839 |
| S <sub>T1</sub> | 10 menit    | 17,13       | ttd    | 3780  | 5,6  | 243      | 0,004        | ttd   | 0,919  | 1,361 |
| S <sub>T2</sub> | 20 menit    | 13,5        | ttd    | 3215  | 4,54 | 242,5    | 0,003        | ttd   | 0,780  | 1,101 |
| S <sub>T3</sub> | 30 menit    | 13,95       | ttd    | 3315  | 5    | 242,5    | 0,003        | ttd   | 0,804  | 1,213 |
| S <sub>T4</sub> | 40 menit    | 14,06       | ttd    | 3955  | 4,96 | 242      | 0,003        | ttd   | 0,957  | 1,200 |
| S <sub>T5</sub> | 50 menit    | 16,14       | ttd    | 4390  | 4,96 | 241      | 0,004        | ttd   | 1,058  | 1,195 |
| S <sub>T6</sub> | 60 menit    | 18,1        | ttd    | 4320  | 5,02 | 240,5    | 0,004        | ttd   | 1,039  | 1,207 |
| S <sub>T7</sub> | 120 menit   | 20,96       | ttd    | 6570  | 5,02 | 240      | 0,005        | ttd   | 1,577  | 1,205 |

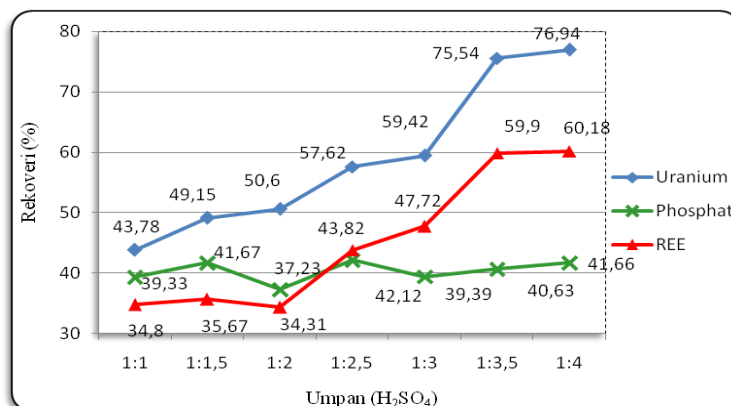
Hasil perhitungan rekoveri pengendapan REE, U, Th, dan fosfat variasi waktu pengendapan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekoveri Pengendapan REE, U, Th, dan Fosfat Variasi Waktu Pengendapan

| KODE                  | Waktu           | REKOVERI (%)  |            |               |               |
|-----------------------|-----------------|---------------|------------|---------------|---------------|
|                       |                 | U             | Th         | PO4           | REE           |
| S <sub>T1</sub>       | 10 menit        | 72,606        | ttd        | 92,418        | 52,059        |
| <b>S<sub>T2</sub></b> | <b>20 menit</b> | <b>78,455</b> | <b>ttd</b> | <b>93,565</b> | <b>61,214</b> |
| S <sub>T3</sub>       | 30 menit        | 77,737        | ttd        | 93,365        | 57,284        |
| S <sub>T4</sub>       | 40 menit        | 77,608        | ttd        | 92,100        | 57,713        |
| S <sub>T5</sub>       | 50 menit        | 74,401        | ttd        | 91,267        | 57,888        |
| S <sub>T6</sub>       | 60 menit        | 71,352        | ttd        | 91,424        | 57,467        |
| S <sub>T7</sub>       | 120 menit       | 66,894        | ttd        | 86,985        | 57,555        |

### Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan seperti pada Persamaan 1 (Tabel 2), dapat dibuat grafik rekovery pengendapan REE, U, Th, dan Fosfat pengaruh penambahan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat pada proses pengendapan REE. Kondisi pengendapan:  $T = 150^\circ\text{C}$  ;  $t = 30$  menit, seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Rekovery Pengendapan REE, U, Th, dan Fosfat Variasi Perbandingan Umpan dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat

Perbandingan asam terhadap umpan merupakan salah satu faktor yang menentukan kesempurnaan reaksi. Jumlah  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat yang ditambahkan akan mempengaruhi jumlah REE yang mengendap. REE akan mengendap pada kondisi asam sulfat berlebih, akan tetapi jumlah asam yang ditambahkan mempunyai nilai optimum.

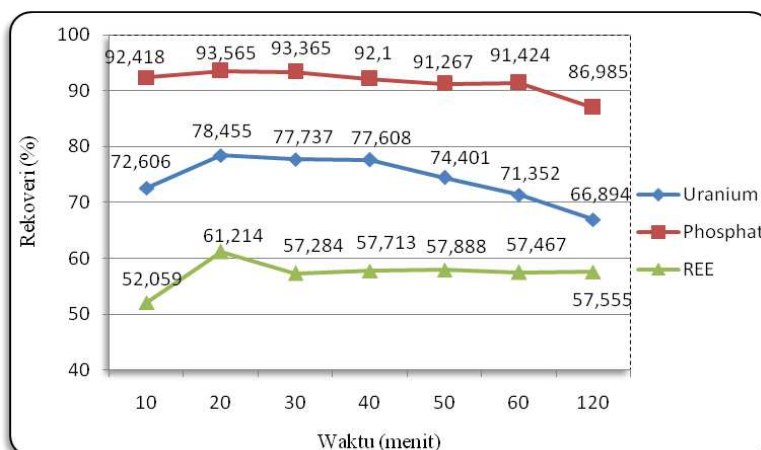
Optimasi merupakan salah satu hal penting dalam proses kimia. Optimasi digunakan dalam rangka melakukan usaha secara efektif dan efisien untuk mencapai target hasil yang diinginkan. Dengan kata lain, optimasi adalah usaha untuk menyempurnakan suatu proses dengan menggunakan bahan seminimal mungkin sehingga akan diperoleh hasil proses yang sebaik-baiknya<sup>[12]</sup>. Kesempurnaan proses pengendapan REE dapat dilakukan dengan mengoptimasi jumlah  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat yang ditambahkan pada proses.

Rekovery pengendapan REE, U, Th, dan fosfat mengalami kenaikan sebanding dengan jumlah  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat yang ditambahkan. Hal ini terjadi karena semakin bertambah jumlah  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat maka kondisi larutan akan semakin asam dan semakin banyak REE yang mengendap. Kenaikan rekovery pengendapan juga disebabkan karena belum tercapainya keadaan setimbang. Jumlah  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat yang ditambahkan masih belum mencapai kondisi stokiometri. Pada saat tercapainya kondisi setimbang maka rekovery pengendapan akan cenderung tetap. Titik ini disebut titik ekuivalen atau titik optimum.

Gambar 2 menunjukan nilai optimum perbandingan umpan terhadap  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat pada nilai perbandingan 1:3,5. Pada saat jumlah  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ditambahkan lagi maka rekovery pengendapan REE cenderung tetap. Hal ini terjadi karena larutan telah mencapai titik jenuh. Pada kondisi ini sebagian besar unsur REE, U, Th, dan fosfat yang terkandung dalam filtrat digesti telah bereaksi sempurna dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Rekovery pengendapan Th tidak terdeteksi dalam filtrat hasil pengendapan (Tabel 2). Ini berarti sebagian unsur Th berada pada residu pengendapan. Hal ini terjadi karena kondisi keasaman pada larutan belum mencapai kondisi keasaman untuk melarutkan thorium. Thorium sulfat akan larut dalam kondisi keasaman yang sangat tinggi. Pada kondisi keasaman sangat tinggi (pH larutan sangat rendah) maka REE sulfat akan mengendap sehingga filtrat mengandung thorium sulfat dan sisa  $\text{H}_2\text{SO}_4$ <sup>[7]</sup>.

Parameter lain yang diteliti dalam penelitian ini adalah variasi waktu pengendapan. Berdasarkan hasil perhitungan Persamaan 1 (Tabel 4), dapat dibuat grafik rekovery pengendapan REE, U, Th, dan fosfat pengaruh waktu pada proses pengendapan REE. Kondisi pengendapan:  $T = 150^{\circ}\text{C}$ ; umpan:  $\text{H}_2\text{SO}_4 = 1: 3,5$  seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Rekovery Pengendapan RE, U, Th, dan Fosfat Variasi Waktu Pengendapan

Waktu reaksi akan mempengaruhi kecepatan reaksi. Berdasarkan persamaan kinetika kimia, waktu reaksi berbanding terbalik dengan kecepatan reaksi, semakin cepat waktu reaksi (nilainya kecil) maka harga kecepatan reaksi akan semakin besar (semakin cepat)<sup>[10]</sup>.

Gambar 3 menunjukkan bahwa reaksi antara unsur-unsur dalam filtrat hasil digesti dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  tidak berlangsung secara spontan. Rekovery pengendapan mengalami kenaikan pada waktu 20 menit. Hal ini terjadi karena semua unsur-unsur dalam filtrat hasil digesti telah bereaksi sempurna dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Rekovery pengendapan REE tidak mengalami perubahan lagi pada waktu pengendapan 30 menit. Hal ini berarti kondisi optimal pengendapan REE terjadi pada waktu pengendapan 30 menit. Kondisi ini disebabkan karena reaksi pengendapan REE telah sempurna. Penambahan waktu pengendapan lebih dari 30 menit akan memberikan rekovery pengendapan REE yang konstan. Sehingga waktu reaksi yang semakin lama tidak berpengaruh terhadap rekovery REE.

Waktu reaksi yang semakin lama akan mempengaruhi rekovery pengendapan uranium dan fosfat. Rekovery pengendapan uranium dan fosfat mengalami penurunan pada waktu pengendapan 120 menit. Hal ini berarti sebagian besar uranium dan fosfat terlarut. Semakin lama waktu reaksi maka asam sulfat akan semakin encer, karena asam sulfat bersifat higroskopis (menarik air)<sup>[13]</sup>. Keadaan ini menyebabkan uranium sulfat<sup>[14]</sup> dan asam fosfat terlarut<sup>[15]</sup>.

Waktu pengendapan 20 menit dipilih sebagai waktu pengendapan REE optimal karena selama 20 menit sebagian besar REE telah bereaksi sempurna dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan unsur pengotor pengendapan REE (U dan fosfat) sebagian besar telah terlarut.

Waktu pengendapan tidak mempengaruhi rekovery pengendapan thorium. Unsur thorium tidak terdeteksi dalam filtrat pengendapan untuk berbagai variasi waktu (tabel 4). Sebagian besar thorium masih ikut mengendap bersama unsur REE. Hal ini berarti thorium merupakan pengotor pada pengendapan REE dan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memurnikan dan meningkatkan kadar REE.

**KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan:

1. Jumlah  $\text{H}_2\text{SO}_4$  yang ditambahkan sebagai reagen pengendapan REE hasil digesti monasit Bangka adalah 3,5 kali volume umpan.
2. Waktu optimal pengendapan REE hasil digesti monasit Bangka adalah 20 menit.
3. Rekoveri pengendapan REE pada kondisi optimum adalah 61,21 % REE, 78,46 % U, dan 93,56 %  $\text{PO}_4$ .

**DAFTAR PUSTAKA**

1. SABTANTO JOKO S., "Tinjauan Tentang Unsur Tanah Jarang", Buletin Sumber Daya Geologi, Vol 4, No 1, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung, 2009.
2. PRAKASH, S., "Advance Chemistry of Rare Earth Elements", S. Chand. Co (PVT), New Delhi, 197.
3. NAJIB M., "Assay of Element from Caustic Soda Extrction Process Rirang Ore", Ningyo Toge, PNC, Japan, 1997.
4. HAFNI L.N, FAIZAL R, SUGENG W, BUDI S, ARIF S, SUSILANINGTYAS., "Pengolahan Mnasit dari Limbah Penambangan Timah: Pemisahan Logam Tanah Jarang (RE) dari U dan Th", PPGN-BATAN, Jakarta, 2000.
5. ERNI R.A, RUDI P, ZAHARDI, SUSILANINGTYAS., "Pengolahan Bijih Uranium asal Rirang: Pemisahan LTJ dari Hasil Digesti Basa", PPGN-BATAN, Jakarta, 2000.
6. CALLOW, R.J., "The Industrial Chemistry of the Lanthanous, Yttrium, Thorium and Uranium, Pergamon Press", London, 1967.
7. SUSILANINGTYAS, "Penentuan Kondisi Digesti Monasit dengan Asam Sulfat", PPGN-BATAN, Jakarta, 1996.
8. RIESNA P., "Digesti Monasit Bangka dengan Asam Sulfat", PPGN-BATAN, Jakarta, 2011.
9. CUTHBERT F.L., "Thorium Production Technology", Addison-Wesley Publishing Company, Inc, Massachusetts USA, 1958.
10. NOOR ANIS KUNDARI., "Kinetika Kimia", STTN-BATAN, Yogyakarta, 2007.
11. ERNI R.A., "Teori Praktikum Pelindian", Latihan Keahlian Teknologi Pengolahan Bijih Uranium, PPGN-BATAN, Jakarta, 1993.
12. SUGILI P, MUTIA A, SURYO R., "Optimasi Jumlah Tanah Liat, Tawas, dan Kapur pada Proses Pengendapan Limbah Cair tahu dengan metode Labelling I-131", Seminar Nasional IAIN, Yogyakarta, 2009.
13. International Bio-Analytical Industries, Inc., Sulfat Acid MSDS, 2012.
14. International Bio-Analytical Industries, Inc., Uranium Sulfate Tetra Hidrate MSDS, 2012
15. International Bio-Analytical Industries, Inc., Phosphorus Acid MSDS, 2012.

