

Pengendapan Torium (Th) dari Monasit Bangka Setelah Proses *Solvent Impregnated Resin (SIR)*

Thorium (Th) Precipitation from Bangka Monazite After Solvent Impregnated Resin (SIR) Process

Riesna Prassanti^{1*}, Budi Yuli Ani¹, Sumiarti¹, Erlan Dewita¹

¹ Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir-BATAN

Jalan Lebak Bulus Raya No. 9, Ps. Jumat, Jakarta, Indonesia, 12440

*E-mail: riesna@batan.go.id

Naskah diterima: 5 November 2019, direvisi: 28 November 2019, disetujui: 29 November 2019

DOI: [10.17146/eksplorium.2019.40.2.5648](https://doi.org/10.17146/eksplorium.2019.40.2.5648)

ABSTRAK

Pengolahan monasit Bangka secara basa dilakukan melalui tahapan dekomposisi; pelarutan parsial pH 3,7; pengendapan parsial pH 6,3; dan pengendapan total pH 9,8. Proses tersebut menghasilkan natrium fosfat, *Rare Earth* (RE) hidroksida, uranium (U), dan torium (Th). Pada proses dekomposisi, 99 % natrium fosfat telah terambil dan RE hidroksida telah terpisah dari U dan Th dengan *recovery* 85 %. Sementara itu, U dan Th yang dihasilkan masih bercampur sehingga perlu dipisahkan. Pemurnian Th dari U pada monasit telah dilakukan dengan metode *Solvent Impregnated Resin (SIR)* dan dilanjutkan dengan proses elusi setelah SIR. Hasilnya, Th masih berada pada fase cairan berupa larutan torium nitrat [Th(NO₃)₂] sehingga perlu diendapkan sebagai torium hidroksida [Th(OH)₂] untuk memudahkan proses berikutnya. Pengendapan Th setelah proses SIR dilakukan dengan tujuan memperoleh kondisi optimum pengendapan. Resin penyokong yang digunakan adalah *amberlite XAD-16* menggunakan ekstrak yang diimpregnasikan dengan *tributyl phosphate* (TBP), reagen elusi asam nitrat (HNO₃) encer dan reagen pengendapan amoniak (NH₄OH). Parameter yang diteliti adalah pengaruh pH dan waktu pengendapan terhadap *recovery* Th. Hasil penelitian menunjukkan kondisi optimum pengendapan Th dari monasit setelah proses SIR pada pH 1,2 dan waktu 60 menit dengan *recovery* 84,74 % Th; 3,26 % U; 34,74 % RE; dan 8,52 % PO₄.

Kata kunci: pengendapan, torium, monasit, SIR

ABSTRACT

Alkaline processing of Bangka monazite is carried out through stages like decomposition; partial dissolution pH 3.7; partial precipitation pH 6.3; and total precipitation pH 9.8. These processes produce sodium phosphate, Rare Earth (RE) Hydroxide, uranium (U), and thorium (Th). On decomposition process, 99 % of sodium phosphate had been recovered and RE Hydroxide was separated from U and Th with 85% recovery. Meanwhile, the U and Th products were still mixed so that needs to separate. Purification of Th from U in monazite had been carried out by using Solvent Impregnated Resin (SIR) method and continued by elution after SIR. The result is that Th is still in the liquid phase as thorium nitrate [Th(NO₃)₂] solution so it needs to be precipitated as thorium hydroxide [Th(OH)₂] to facilitate the next process. Precipitation of Th after SIR process is conducted with the aim to obtain optimum precipitation condition. The supporting resin used is amberlite XAD-16 with impregnated tributyl phosphate (TBP) extractant, dilute nitric acid (HNO₃) as elution reagent, and ammonium hydroxide (NH₄OH) as precipitation reagent. The observed parameters are the effect of pH and precipitation time on Th recovery. The results show that the optimum precipitation conditions of Th from monazite after SIR process is on pH 1.2 and 60 minutes time, resulting recovery of 84.74 % Th, 3.26 % U, 34.74 % RE, and 8.52 % PO₄.

Keywords: precipitation, thorium, monazite, SIR

PENDAHULUAN

Monasit sebagai hasil samping penambangan timah merupakan mineral fosfat yang mengandung logam tanah jarang / *rare earth* (RE), uranium (U) dan torium (Th). Keberadaan monasit sangat melimpah di Indonesia terutama di Pulau Bangka. Dengan kandungan RE, U, Th, dan fosfat (PO_4) berturut-turut 50–67 %, 1.500–3.000 ppm, 2,5–3,6 %, dan 18–30 %, monasit mempunyai nilai ekonomis yang tinggi [1]. Adanya unsur radioaktif U dan Th dalam monasit menjadikan Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) khususnya Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir (PTBGN) sebagai lembaga yang berwenang dalam pengolahan monasit. Unsur-unsur utama yang terkandung pada monasit jika sudah dipisahkan baru akan bisa dimanfaatkan antara lain U dan Th digunakan sebagai bahan bakar nuklir, RE digunakan sebagai bahan baku dalam industri nuklir, elektronika dan otomotif sedangkan PO_4 digunakan sebagai bahan baku pembuatan pupuk kimia [1].

PT. Timah sebagai produsen timah terbesar di Indonesia memiliki persediaan monasit yang melimpah. Kerjasama antara PT. Timah dengan PTBGN-BATAN dalam pengolahan monasit telah dirintis sejak tahun 1990-an. Sampai tahun 2009 telah diperoleh teknologi pengambilan RE melalui tahapan proses dekomposisi; pelarutan parsial; pengendapan pH 6,3; dan pengendapan pH 9,8 dengan recovery RE 85 % [2]. Selain RE, diperoleh pula U dan Th, namun keduanya belum terpisah. Metode yang bisa digunakan untuk pemisahan U dan Th antara lain penukar ion, oksidasi-reduksi, pengendapan, ekstraksi fase padat, elektrodeposisi, dan filtrasi [3]. Pemisahan U dari Th pada monasit telah dilakukan antara lain dengan metode ekstraksi pelarut [2] dan metode pengendapan [4]. Pada metode ekstraksi

pelarut, ekstraktan yang digunakan adalah *trioctylamine* (TOA) atau yang mempunyai nama dagang *alamine*. Dari metode tersebut U terekstrak 100 % tetapi Th terikut 32,44% sehingga kemurnian uranium masih di bawah 70 % [2]. Dengan metode pengendapan, pemisahan Th dari monasit menggunakan reagen asam sulfat (H_2SO_4) dan asam klorida (HCl). Metode tersebut menghasilkan kemurnian Th masing-masing 73,02 % dan 78,73 % dengan U masih terikut 18,26 % dan 25,03 % [4].

Dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan, hasil yang diperoleh masih belum optimal yaitu U dan Th belum terpisah sempurna. Padahal sebagai bahan bakar reaktor nuklir, Th harus mempunyai kemurnian minimal 87,42 % [5]. PLTN dengan bahan bakar berbasis Th saat ini tengah menarik perhatian dunia karena reaktor beroperasi pada tekanan atmosferik, tidak ada gas hidrogen yang dapat meledak, lebih bersih, lebih murah serta limbah nuklir yang dihasilkan lebih sedikit [6]. Oleh karena itu dilakukan penelitian pemisahan Th dari monasit dengan metode *Solvent Impregnated Resin* (SIR) dengan harapan akan diperoleh Th kemurnian tinggi.

Metode SIR merupakan metode pemisahan yang menggabungkan antara penukar ion dan ekstraksi pelarut. Sebagai resin penyokong digunakan *amberlite* XAD-16 sedangkan ekstraktan yang diimpregnasikan adalah *tributyl phosphate* (TBP) [7]. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pengolahan monasit dengan metode SIR dan dilanjutkan pemisahan U dan Th dengan metode ekstraksi serta elusi. Th yang diperoleh dari hasil elusi masih berada pada fase cair sebagai torium nitrat sehingga untuk memudahkan penanganan pada aplikasi Th selanjutnya, maka Th nitrat ini akan diendapkan sebagai Th hidroksida. Pada

penelitian ini akan dilakukan pengendapan Th setelah proses elusi dengan tujuan memperoleh kondisi optimum pengendapan Th setelah proses SIR. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh kondisi optimum pengendapan Th setelah proses SIR. Adapun parameter yang diteliti adalah pengaruh pH dan waktu pengendapan terhadap *recovery* Th.

TEORI

Solvent Impregnated Resin (SIR)

Metode SIR merupakan metode pemisahan yang menggabungkan antara ekstraksi pelarut dan penukar ion. Pada proses pemisahan unsur dengan ekstraksi pelarut, kapasitas olah dan selektivitas menjadi tinggi serta laju transfer massa cepat. Akan tetapi, perolehan kembali setelah terekstrak membutuhkan banyak tahap dan pemisahan kurang optimal [8]. Sedangkan pada proses pemisahan unsur dengan penukar ion, tahapan proses lebih sederhana sehingga tidak ada pelarut yang hilang dan mudah untuk pemisahan fase cair/padat. Akan tetapi, di proses ini selektivitas menjadi rendah [7]. Metode SIR memberikan prospek cukup baik karena menggabungkan metode pemisahan ekstraksi pelarut dan penukar ion. Metode ini berdasarkan pada modifikasi *solid support* untuk memisahkan ion logam dari matrik kompleks [9]. Dengan proses SIR diharapkan akan diperoleh pemisahan unsur dengan selektivitas tinggi, kapasitas besar, tahapan proses sederhana dan tidak ada pelarut yang hilang. Metode SIR dibuat dengan memindahkan suatu zat pengeksktrak ke dalam suatu polimer berpori besar yang tidak bergugus fungsi. Polimer penyokong secara ideal merupakan polimer organik *microporous* dengan luas permukaan tinggi dan kestabilan mekanik yang baik, karakteristik aliran dan mempunyai

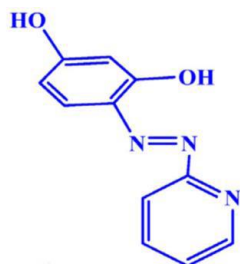
pengembangan (*swelling*) pelarut yang rendah selama proses impregnasi [10].

Amberlite XAD-16

Salah satu resin polimer berpori besar komersial yang banyak digunakan sebagai penyokong pada SIR adalah *polistiren divinilbenzen* (PSDVB). Salah satu merek dagang PSDVB adalah XAD yang merupakan polimer non ionik yang mempunyai ikatan silang. Resin XAD berbentuk butiran putih yang tidak larut dalam air [9]. Resin ini mempunyai struktur makroretikular yaitu terdiri dari sebuah fasa rantai polimer dan fasa rantai berpori dengan luas permukaan yang tinggi sehingga dapat berperan sebagai materi pengabsorpsi. Resin XAD-16 merupakan XAD dengan gugus ikatan silang aromatik [8]. Polimer XAD-16 adalah polimer non ionik, non polar, hidrofob dengan permukaan yang luas, ketahanan yang kuat dan mempunyai gugus aromatik pada permukaannya. Resin ini mempunyai porositas, volume pori dan luas permukaan melebihi jenis *amberlite* yang lainnya sehingga kapasitas untuk menampung ekstraktan menjadi lebih besar [11].



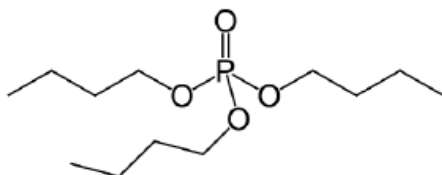
Gambar 1. Resin *amberlite* XAD-16 [7].



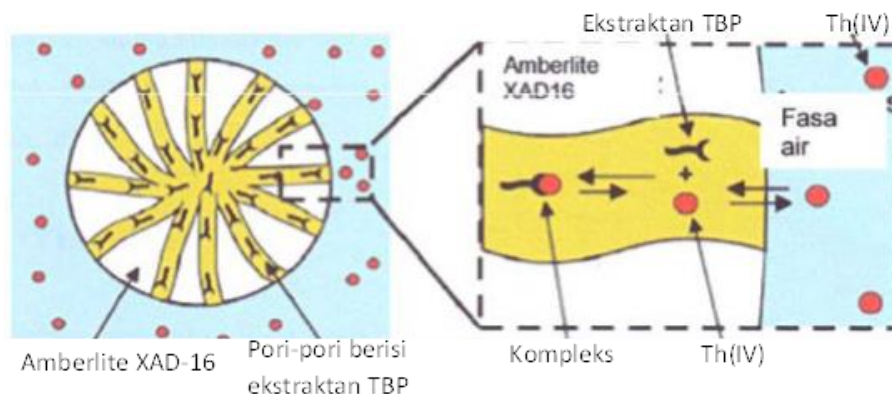
Gambar 2. Rumus struktur resin *amberlite* XAD-16 [12].

Tributyl Phosphate (TBP)

Senyawa TBP, senyawa organik yang mempunyai rumus $C_{12}H_{27}PO_4$, merupakan solven pengekstrak torium yang mempunyai koefisien distribusi dan selektivitas tinggi, tahan radiasi, dan tahan asam [13].



Gambar 3. Rumus Struktur TBP [12].



Gambar 4. Mekanisme adsorpsi Th dalam SIR [8]

Mekanisme Proses SIR

Mekanisme pemisahan torium dengan metode SIR dapat dilihat pada Gambar 4. Sejumlah agen pengompleks (ligan), dalam hal ini adalah TBP, teradsorpsi ke dalam polimer pori XAD-16 dengan ikatan *van der Waals*.

Sejumlah Th(IV) yang terlarut dalam pelarut polar membentuk kompleks dengan TBP yang sebelumnya telah terikat dalam SIR. Pada pH dan komposisi yang tepat terjadi reaksi kompleks Th(IV) dengan TBP, maka Th(IV) akan terikat dari fasa pelarutnya ke fasa resin. Th(IV) yang telah terikat oleh TBP dapat dikeluarkan kembali dari SIR dengan cara dielusi dengan larutan asam [8].

METODOLOGI

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain monasit, asam klorida (HCl), asam sulfat (H_2SO_4), amonium hidroksida (NH_4OH), resin *amberlite* XAD-16, asam nitrat (HNO_3), soda kaustik (NaOH), aquabidest, aseton, TBP. Sedangkan alat yang digunakan adalah gelas beker, gelas ukur, gelas arloji, motor pengaduk, pH meter, termometer, kertas saring, timbangan, dan

oven. Untuk analisis kadar U, Th, dan PO_4 digunakan Spektrofotometer UV-Vis sedangkan kadar RE dianalisis dengan metode gravimetri.

Metode

Penelitian pemisahan torium pada monasit dengan metode *Solvent Impregnated Resin* (SIR) dilakukan melalui beberapa tahapan kegiatan diantaranya penyiapan umpan SIR berupa larutan torium sulfat,

pengkondisian resin, impregnasi resin, adsorpsi torium, elusi torium, pengendapan torium, analisis sampel dan evaluasi data serta penyusunan laporan.

Pembuatan Larutan Torium Sulfat

Pembuatan umpan larutan torium sulfat dilakukan melalui tahapan proses dekomposisi monasit dengan NaOH dan pelarutan parsial dengan HCl. Residu pelarutan parsial dilarutkan dengan HCl kemudian filtratnya diendapkan dengan NH_4OH , selanjutnya endapan dilarutkan dengan H_2SO_4 sehingga diperoleh larutan torium sulfat [12].

Pengkondisian Resin dan Impregnasi

Pengkondisian (preparasi) resin *amberlite* XAD-16 dilakukan dengan tahapan pencucian resin dengan HNO_3 2M, NaOH 2M, aquabidest dan aseton kemudian dikeringkan dengan oven suhu $50\text{ }^\circ\text{C}$ [12]. Impregnasi TBP ke resin *amberlite* XAD-16 dilakukan dengan mencampur resin terkondisi TBP dan aseton kemudian diaduk dengan kecepatan 250 rpm selama 2 jam, selanjutnya didiamkan selama 24 jam. Setelah itu disaring dan dikeringkan dengan oven suhu $50\text{ }^\circ\text{C}$ [12].

Sorpsi dan Elusi Torium

Berikutnya dilakukan pemisahan torium dengan metode SIR pada kondisi pH 1 dan waktu 30 menit menggunakan ekstrak TBP dan dilanjutkan dengan proses elusi menggunakan asam nitrat. Filtrat dari proses elusi inilah yang digunakan sebagai umpan penelitian pengendapan torium dengan reagen pengendapan NH_4OH [12].

Pengendapan Torium

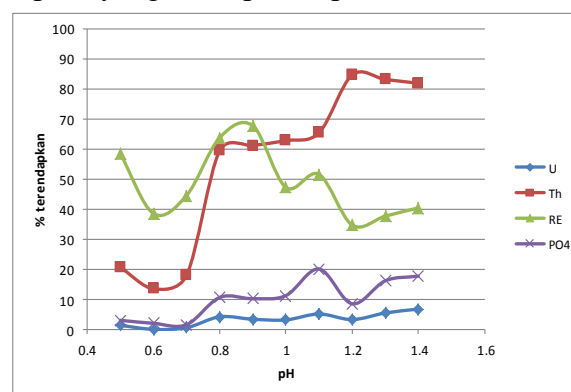
Parameter yang diteliti pada penelitian pengendapan torium dari monasit setelah proses SIR adalah pengaruh pH dan waktu

pengendapan. Untuk pengambilan data parameter pH, 100 ml filtrat hasil elusi torium setelah proses SIR diaduk dengan kecepatan 250 rpm kemudian ditambahkan NH_4OH sampai variasi pH 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; dan 1,4; selanjutnya, pengadukan dilanjutkan selama 60 menit. *Slurry* hasil proses disaring dengan kertas saring kemudian padatannya dianalisis kandungan U, Th, RE, serta PO_4 [12].

Untuk pengambilan data parameter waktu, 100 ml filtrat hasil elusi thorium setelah proses SIR diaduk dengan kecepatan 250 rpm kemudian ditambahkan NH_4OH sampai pH optimum yang diperoleh dari tahap sebelumnya (parameter pH), selanjutnya pengadukan dilanjutkan sampai variasi waktu (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90) menit. *Slurry* hasil proses disaring dengan kertas saring kemudian padatannya dianalisis kandungan U, Th, RE, serta PO_4 [12].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada percobaan pengendapan Th menggunakan parameter pH diperoleh hasil seperti yang ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Data pengendapan torium parameter pH.

Percobaan dimulai dari pH 0,5 hingga pH 1,4 dengan interval pH 0,1. Pada pH awal proses, torium mulai mengendap sebanyak 20 % sampai dengan kondisi pada pH 0,7, kemudian mulai meningkat cukup signifikan

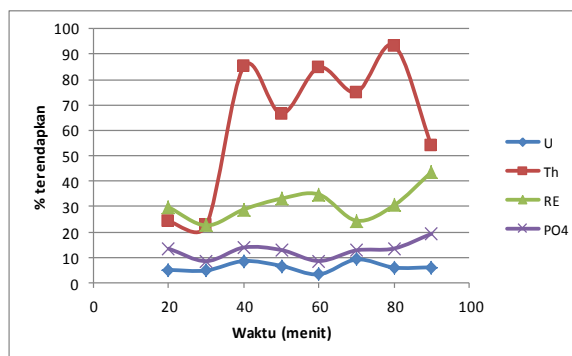
pada pH 0,8 menjadi 60 % hingga mencapai 84,74 % pada pH 1,2 dan mulai stabil bahkan menurun persentase pengendapannya pada pH 1,3 hingga 1,4. Persentase pengendapan torium setelah pH 1,2 mengalami penurunan karena pada pH 1,2 reaksi pengendapan torium dengan NH_4OH sudah mencapai kesetimbangan reaksi sehingga jumlah produk tidak bertambah walaupun jumlah reagensinya ditambah [14]. Bahkan setelah pH 1,3 dan 1,4 jumlah torium yang mengendap menurun karena terjadi reaksi balik yaitu torium yang sudah mengendap terlarut kembali karena penambahan NH_4OH .

Unsur lain yang diamati pada penelitian pengendapan torium ini adalah uranium, RE, dan PO_4 . Dari Gambar 5, terlihat bahwa untuk uranium, RE, dan PO_4 mempunyai kecenderungan yang berbeda dari torium. Untuk uranium, persentase terendapkan pada kondisi pH 0,5–1,4 cenderung stabil pada angka persentase terendapkan yang cukup rendah, yaitu 0–6 % sehingga uranium dan torium dapat dipisahkan. Uranium belum mengendap pada kondisi rentang pH tersebut karena uranium mempunyai nilai Hasil Kali Kelarutan (K_{sp}) yang jauh lebih tinggi dari torium. Nilai K_{sp} yang rendah dari suatu senyawa mengindikasikan bahwa senyawa tersebut mudah diendapkan dan begitu juga sebaliknya. Sebagai senyawa hidroksida, K_{sp} uranium dan torium masing-masing $1,1 \times 10^{-22}$ dan 4×10^{-45} , perbedaan K_{sp} kedua senyawa tersebut sangat besar sehingga ketika torium sudah mulai mengendap, uranium masih berada pada fase cair/terlarut dan belum mengendap [14].

Sama halnya dengan uranium, persentase senyawa PO_4 terendapkan juga cenderung rendah dan stabil pada angka di bawah 20 %. Hal ini diduga bahwa senyawa PO_4 juga mempunyai nilai K_{sp} yang lebih besar daripada K_{sp} torium sehingga baru

sedikit mengendap pada rentang pH 0,5–1,4. Sedangkan untuk RE, pada awal proses pengendapan yaitu pH 0,5–1,0, persentase terendapkannya RE sudah cukup tinggi yaitu mencapai 60 %, akan tetapi setelah pH semakin tinggi, persentase terendapkan RE cenderung menurun hingga 35 %. Hal ini terjadi karena pada tingkat keasaman yang tinggi (pH rendah), RE akan terendapkan sedangkan pada tingkat keasaman rendah (pH tinggi), RE akan berada pada fase larutan [4]. Berdasarkan data-data tersebut, pH optimum untuk pengendapan torium dari monasit dipilih pada pH 1,2 dengan persentase terendapkan torium, uranium, RE dan PO_4 berturut-turut 84,74%, 3,26%, 34,74%, dan 8,52%.

Selain pengaruh pH, pada penelitian ini juga diamati pengaruh waktu reaksi pada proses pengendapan torium. Data hasil percobaan parameter waktu disajikan pada Gambar 6. Percobaan variasi waktu dimulai dengan waktu reaksi 20 menit hingga 90 menit dengan interval variasi waktu 10 menit.



Gambar 6. Data pengendapan torium parameter waktu

Dari Gambar 6 terlihat bahwa pada waktu reaksi 20 menit sampai 30 menit, persentase torium yang terendapkan kurang lebih baru 20 %. Akan tetapi setelah 40 menit, terjadi peningkatan persentase torium yang terendapkan dengan cukup signifikan menjadi 85,10 %. Pada waktu reaksi 80 menit, persentase terendapkan torium paling tinggi,

yaitu 93,43 % dan kemudian turun menjadi 53,85 % pada waktu reaksi 90 menit. Lamanya waktu kontak menentukan kesempurnaan reaksi, semakin lama waktu reaksi akan memungkinkan seluruh ion torium, uranium, maupun RE untuk berikatan dengan ion hidroksida (OH^-) dari NH_4OH . Akan tetapi, setelah tercapai kesetimbangan, ketika laju pengendapan sama dengan laju pelarutan, maka penambahan waktu menjadi tidak efektif lagi [4]. Pada waktu reaksi 80 menit telah terjadi kesetimbangan reaksi antara ion torium dengan ion hidroksida sehingga ketika waktu reaksi ditambah menjadi 90 menit, persentase pengendapan torium mengalami penurunan.

Sementara itu, untuk uranium, RE, dan PO_4 , penambahan waktu reaksi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap persentase pengendapannya. Dari sejak awal waktu reaksi yaitu 20 menit hingga 90 menit, persentase pengendapan uranium, RE, dan PO_4 cenderung stabil yaitu pada kisaran 6 % untuk uranium, 30 % untuk RE, dan 12 % untuk PO_4 . Hal ini mengindikasikan bahwa pada menit ke-20, sudah terjadi kesetimbangan reaksi antara NH_4OH dengan uranium, RE, maupun PO_4 sehingga meskipun waktu reaksi bertambah, persentase pengendapannya tidak menunjukkan peningkatan yang berarti.

Berdasarkan data-data tersebut, dipilih waktu optimum pengendapan torium pada 60 menit karena memberikan pemisahan terbaik untuk torium dari pengotornya dengan persentase pengendapan Th 84,74 %, U 3,26 %, RE 34,74 %, dan PO_4 8,52 %.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa kondisi optimum pengendapan torium dari monasit setelah proses SIR adalah pada waktu pengendapan 60 menit dan pH 1,2.

Pada kondisi tersebut, diperoleh persentase *recovery* pengendapan unsur Th 84,74 %, U 3,26 %, RE 34,74 %, dan PO_4 8,52 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua teman-teman di Bidang Teknologi Penambangan dan Pengolahan serta PTBGN-BATAN pada umumnya yang telah membantu kelancaran pelaksanaan penelitian sampai terwujudnya makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Prassanti, "Digesti Monasit Bangka dengan Asam Sulfat," *Eksplorium*, vol. 33, no. 1, pp. 41–54, 2012.
- [2] K. Trinopiawan, R. Prassanti, Sumarni, and R. Pudjianto, "Pemisahan Uranium dari Thorium pada Monasit dengan Metode Ekstraksi Pelarut Alamine," *Eksplorium*, vol. XXXII, no. 155, pp. 47–52, 2011.
- [3] I. Yener, E. Varhan Oral, I. Dolak, S. Ozdemir, and R. Ziyadanogullari, "A New Method for Preconcentration of Th(IV) and Ce(III) by Thermophilic Anoxybacillus Flavithermus Immobilized on Amberlite XAD-16 Resin as a Novel Biosorbent," *Ecol. Eng.*, vol. 103, pp. 43–49, 2017.
- [4] K. Trinopiawan and Sumiarti, "Pemisahan Thorium dari Uranium pada Monasit dengan Metode Pengendapan," *Eksplorium*, vol. 33, no. 1, pp. 55–62, 2012.
- [5] M. I. N. Said, M. Anggraini, M. Z. Mubarak, and K. S. Widana, "Studi Ekstraksi Bijih Thorit dengan Metode Digesti Asam dan Pemisahan Thorium dari Logam Tanah Jarang dengan Metode Oksidasi-Presipitasi Selektif," *Eksplorium*, vol. 38, no. 2, pp. 109–120, 2018.
- [6] E. Dewita, "Analisis Potensi Thorium Sebagai Bahan Bakar Nuklir Alternatif PLTN," *J. Pengemb. Energi Nukl.*, vol. 14, pp. 45–56, 2012.
- [7] R. Prassanti, B.Y. Ani, and Sumiarti, "Efektivitas Impregnasi TBP, D2EHPA dan Campuran TBP-D2EHPA Pada Resin Amberlite XAD-16 Sebagai Solvent Impregnated Resin (SIR) Uranium dari Monasit," *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*, 2018, pp. 401–404.

- [8] N. Rosnia, and Buchari, "Pemisahan Unsur-Unsur Logam Tanah Jarang La^{3+} , Ce^{3+} , Nd^{3+} , dari Mineral Monasit dengan Metode Solvent Impregnated Resin (SIR)," *J. Mat. dan Sains*, vol. 14, pp. 27-32, 2009.
- [9] S. Qiu, S. Li, Y. Dong, X. Su, Y. Wang, Y. Shen, and X. Sun, "A High-Performance Impregnated Resin for Recovering Thorium from Radioactive Rare Earth Waste Residue," *J. Mol. Liq.*, vol. 237, pp. 380–386, 2017.
- [10] I. Khaldun, Buchari, M. B. Amran, A. Sulaeman, "Pengaruh Komposisi Asam Bis(2-Etilheksil)Fosfat (D2EHPA) dan Tributyl Fosfat (TBP) dalam Resin Amberlite XAD-16 terhadap Sorption-Ion La(III) , Nd(III) , dan Gd(III) ," *J. Mat. dan Sains*, vol. 14, pp. 20–26, 2009.
- [11] Rohm Haas, "Amberlite XAD-16," *Rohm Haas*. 2003.
- [12] R. Prassanti, D. S. Putra, B. P. Kusuma, and F. W. Nawawi, "Analysis of The Effects of Stirring Condition of Separation of Thorium in The Elution Process of Monazite Partial Solution by Solvent Impregnated Resin Method," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 303, no. 1, pp. 1–6, 2018.
- [13] F. Habashi, *Principles of Extractive Metallurgy*, vol. 2. Science Publishers, Inc., New York, 1980.
- [14] M. Anggraini, B. Saroni, S. Waluyo, and Rusydi, "Pengendapan Uranium dan Thorium Hasil Pelarutan Slag II," *Eksplorium*, vol. 36, no. 2, pp. 125–132, 2015.