

Peningkatan Perolehan Uranium, Torium, dan Logam Tanah Jarang Dalam Residu Pelarutan Parsial pada Pengolahan Monasit

Increasing Recovery of Uranium, Thorium, and Rare Earth Metals Within Partial Dissolution Residue on Monazite Processing

Novita Sari Fatihah^{1*}, Mutia Anggraini², Afiq Azfar Pratama², Kurnia Setiawan Widana²

¹UIN Syarif Hidayatullah Jakarta

Jl. Ir. H. Juanda, Ciputat, Tangerang Selatan, Banten 15412, Indonesia

²Pusat Riset dan Teknologi Bahan Galian Nuklir – ORTN-BRIN

Jl. Lebak Bulus Raya 9, Pasar Jumat, Jakarta 12440, Indonesia

*E-mail: novitasarifatihah@gmail.com

Naskah diterima: 12 Oktober 2020, direvisi: 2 November 2020, disetujui: 5 November 2021

DOI: 10.17146/eksplorium.2021.42.2.6044

ABSTRAK

Monasit merupakan mineral hasil samping pengolahan timah yang mengandung fosfat, logam tanah jarang, dan unsur radioaktif berupa uranium dan torium. Unsur-unsur tersebut dapat dimanfaatkan secara optimal jika terpisah satu dengan yang lainnya melalui proses pengolahan. Pengolahan monasit meliputi proses dekomposisi, pelarutan parsial, dan pengendapan. Pemisahan unsur logam tanah jarang dari unsur radioaktif dalam monasit dilakukan melalui proses pelarutan parsial, akan tetapi pemisahan tersebut belum optimal sehingga diperlukan proses lebih lanjut untuk meningkatkan perolehan unsur-unsur tersebut. Pada penelitian ini, proses tersebut dilakukan melalui dua metode yaitu pelarutan total dengan asam klorida (HCl) yang bertujuan untuk melarutkan semua unsur dalam endapan dan pengendapan dengan ammonium hidroksida (NH₄OH) yang bertujuan untuk memisahkan unsur radioaktif dan unsur logam tanah jarang. Kedua metode tersebut dilakukan pada kondisi optimum proses dengan berbagai variasi pH, suhu, dan waktu. Berdasarkan hasil pengamatan diperoleh bahwa kelarutan optimum masing-masing unsur sebesar 67,6% uranium, 15,3% torium, dan 50,8% LTJ pada kondisi proses pelarutan pH 1, pada suhu 80°C selama 2 jam. Sedangkan pada proses pengendapan diperoleh *recovery* pengendapan masing-masing unsur sebesar 57% uranium, 75,7% torium, 4,8% logam tanah jarang pada kondisi pH 6. Berdasarkan data tersebut disimpulkan bahwa uranium, torium, dan logam tanah jarang dapat larut pada kondisi proses pelarutan pH 1, suhu 80°C selama 2 jam, dan dapat dipisahkan pada kondisi pH pengendapan 6.

Kata kunci: Logam tanah jarang, monasit, pelarutan total, pengendapan, torium, uranium.

ABSTRACT

Monazite is a by-product of tin processing containing phosphate, rare earth elements, and radioactive elements such as uranium and thorium. These elements can be utilized optimally if separated from one another through processing. Monazite processing includes decomposition, partial dissolution, and precipitation processes. The separation of rare earth elements from radioactive elements in monazite is carried out through a partial dissolution process, but the separation is not optimal so that further processes are needed to increase the recovery of these elements. In this study, the process was carried out using two methods, namely total dissolution with hydrochloric acid (HCl) which aims to dissolve all elements in the precipitate and precipitation with ammonium hydroxide (NH₄OH) which aims to separate radioactive elements and rare earth elements. Both methods were carried out under optimum process conditions with various variations in pH, temperature, and time. Based on observations, it was found that the optimum solubility of each element was 67.6% uranium, 15.3% thorium and 50.8% LTJ under the dissolving process conditions of pH 1, at 80°C for 2 hours. While in the deposition process, the precipitation recovery of each element is 57% uranium, 75.7% thorium, 4.8% rare earth metals at pH 6

conditions. Based on these data, it can be concluded that uranium, thorium, and rare earth elements can be dissolved at pH 1, at 80°C for 2 hours, and can be separated at pH 6 precipitation conditions.

Keywords: *Rare earth elements, monazite, total dissolution, precipitation, thorium, uranium.*

PENDAHULUAN

Monasit merupakan mineral ikutan hasil pengolahan timah yang mengandung unsur-unsur bernilai ekonomi tinggi seperti uranium (U), torium (Th), logam tanah jarang (LTJ), dan fosfat (PO_4) dengan rumus kimia $(\text{U, Th, LTJ})\text{PO}_4$ [1]. Monasit memiliki kandungan unsur LTJ sebesar 50-67%, U sebesar 0,15-0,3%, Th sebesar 2,5-3,6%, dan PO_4 sebesar 18-30% [2]. Unsur-unsur tersebut dapat dimanfaatkan sesuai fungsinya jika telah dipisahkan satu dengan yang lainnya. Oleh karena itu, pengolahan terhadap monasit perlu dilakukan untuk memisahkan unsur-unsur tersebut.

Pengolahan monasit di PTBGN – BATAN dilakukan melalui metode basa dengan tahapan antara lain dekomposisi, pelarutan parsial, pengendapan uranium dan torium hidroksida, serta pengendapan logam tanah jarang hidroksida [3]. Dekomposisi dilakukan untuk menghilangkan fosfat yang terkandung dalam monasit [3]. Endapan hasil proses dekomposisi selanjutnya masuk dalam tahap pelarutan parsial. Pelarutan parsial bertujuan untuk melarutkan logam tanah jarang, sehingga dihasilkan LTJ dalam larutan dan unsur radioaktif, berupa uranium dan torium, pada endapan. Endapan yang dihasilkan melalui proses pelarutan parsial masih mengandung LTJ dengan kadar 39,9% [4] sehingga diperlukan proses kimia yang dapat memisahkan unsur radioaktif dan LTJ pada endapan hasil pelarutan parsial sehingga uranium, torium, dan LTJ yang diperoleh dapat optimal.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari kondisi optimal proses pemisahan uranium, torium, dan logam tanah jarang yang masih berada pada endapan pelarutan parsial. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pelarutan total dan pengendapan. Pelarutan total dilakukan untuk melarutkan semua unsur dalam endapan sedangkan pengendapan dilakukan untuk memisahkan unsur radioaktif dan LTJ yang telah dilarutkan. Penentuan kondisi optimum proses pelarutan total dilakukan berdasarkan variasi kondisi pH, suhu, dan waktu. Pada proses pengendapan hanya parameter pH yang diamati, parameter waktu dan suhu tidak diamati karena tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap proses pengendapan [5].

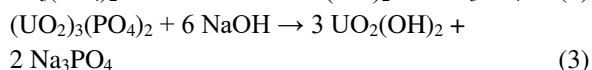
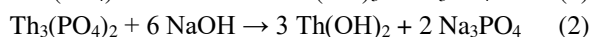
TEORI

Monasit di Indonesia berasal dari daerah yang berbeda seperti Monasit Bangka, Monasit Rirang, dan Monasit Kalimantan [6]. Setiap monasit dari daerah yang berbeda memiliki karakteristik senyawa yang berbeda. Unsur-unsur dalam monasit memiliki nilai ekonomis yang tinggi sehingga banyak dimanfaatkan di bidang industri nuklir maupun non nuklir [1]. Oleh sebab itu, perlu dilakukan pengolahan monasit untuk memperoleh unsur-unsur tersebut.

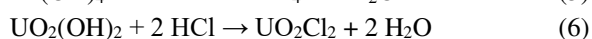
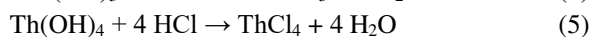
Pengolahan monasit dapat dilakukan melalui beberapa metode, yaitu metode asam dan metode basa [7]. Metode asam yaitu pelindian menggunakan asam kuat, umumnya lebih disukai menggunakan asam sulfat (H_2SO_4), karena asam sulfat memiliki daya larut dan titik didih yang tinggi. Kekurangan

metode asam adalah fosfat yang berada pada monasit tidak terpisah dari uranium, torium, dan logam tanah jarang karena tidak melalui proses dekomposisi, melainkan monasit secara langsung dilarutkan menggunakan asam kuat [8]. Metode basa yaitu pelindian menggunakan basa kuat. Senyawa yang banyak digunakan adalah sodium hidroksida (NaOH) [9].

Pada pengolahan monasit secara basa dikenal istilah dekomposisi. Dekomposisi dilakukan untuk memutuskan ikatan fosfat pada monasit sehingga monasit berganti ikatan menjadi hidroksida menggunakan reagen basa kuat NaOH[10]. Reaksi dekomposisi adalah sebagai berikut:



Endapan hasil proses dekomposisi yang berupa uranium, torium, dan logam tanah jarang hidroksida selanjutnya dilarutkan secara parsial. Pelarutan parsial bertujuan untuk melarutkan logam tanah jarang sebanyak mungkin dan uranium dan torium yang terlarut seminimal mungkin[4]. Pelarutan parsial umumnya dilakukan dalam kondisi asam menggunakan reagen HCl, H₂SO₄, atau HNO₃, dengan mengontrol pH pada kisaran 3–4. Unsur logam tanah jarang terlarut ke dalam asam, sedangkan torium dan uranium sedikit terlarut pada kondisi pH tersebut[11]. Reaksi yang terjadi pada proses pelarutan parsial adalah sebagai berikut:



Proses pelarutan parsial menghasilkan filtrat dan endapan. Filtrat mengandung LTJ yang sebagian besar terlarut serta sedikit uranium dan torium yang ikut terlarut, sedangkan pada endapan pelarutan parsial

terdapat uranium, torium, dan logam tanah jarang yang masih mengendap.

METODOLOGI

Preparasi

Preparasi dilakukan pada residu pelarutan parsial atau umpan yang berasal dari Pilot Plant PLUTHO berupa bongkahan berwarna kehijauan. Umpan digerus sampai halus, kemudian disaring menggunakan *siever* ukuran -230 mesh. Umpan ditimbang sebanyak 100 gram untuk satu kali proses pelarutan. Analisis uranium, torium, dan logam tanah jarang dilakukan pada umpan untuk mengetahui kadar unsur tersebut pada umpan awal.

Pelarutan Total

Pelarutan total dilakukan dengan cara memasukkan 100 gram umpan ke dalam gelas beaker dan menambahkan air sebanyak 200 mL. Larutan tersebut kemudian diaduk hingga larut dan diukur nilai pH awal larutan menggunakan pH meter. HCl kemudian ditambahkan setetes demi setetes pada larutan tersebut dan pH diukur hingga mencapai pH 1, 2, 3, dan 4. Larutan umpan pada pH tersebut diatur dengan 4 variasi suhu, yaitu suhu tanpa pemanasan, 50, 80, dan 90°C, dan waktu pelarutan terdiri dari 1, 2, dan 3 jam.

Proses pelarutan tersebut menghasilkan *slurry* yang selanjutnya diencerkan dengan HCl pada pH yang disesuaikan seperti saat proses pelarutan total sebanyak 100 mL. Larutan kemudian disaring untuk memisahkan filtrat dan endapan dari proses pelarutan total. Analisis kadar uranium dan torium dilakukan pada filtrat dan endapan tersebut menggunakan Spektrofotometer UV-Vis sedangkan analisis logam tanah jarang dilakukan menggunakan *Indutively Couple Plasma – Optical Emission Spektrofotometer*

(ICP-OES). Filtrat pelarutan total digunakan sebagai umpan untuk proses pengendapan.

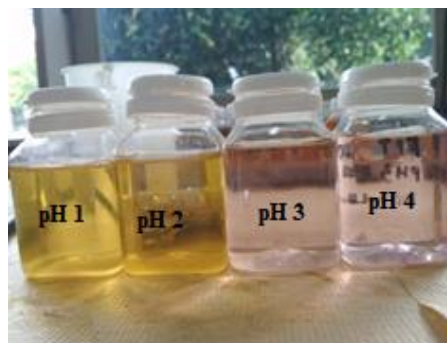
Pengendapan

Filtrat pelarutan total pada kondisi optimal ditambahkan NH_4OH setetes demi setetes hingga pH sesuai dengan variasi, yaitu pH 5, 6, dan 7. Hasil pengendapan berupa filtrat dan endapan yang dipisahkan melalui proses filtrasi. Analisis kadar uranium dan torium dilakukan pada filtrat dan endapan dengan Spektrofotometer UV-Vis sedangkan analisis logam tanah jarang dilakukan dengan ICP-OES.

HASIL DAN PEMBAHASAN

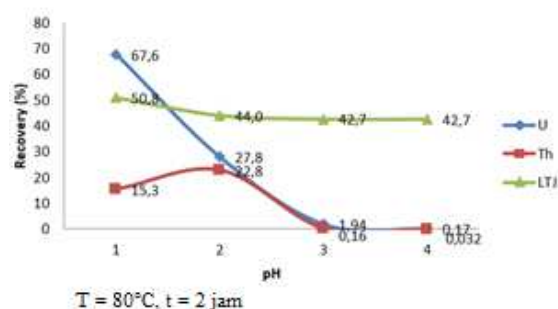
Uranium, torium, dan LTJ yang masih terkandung dalam endapan hasil pelarutan parsial dilarutkan kembali melalui proses pelarutan total. Berdasarkan analisis dengan ICP-OES dan Spektrofotometer UV-Vis diperoleh kadar uranium, torium, dan LTJ dalam endapan hasil pelarutan parsial masing-masing sebesar 0,28% U, 0,42% Th, dan 77,7% LTJ. Melalui proses pelarutan total, unsur-unsur tersebut dapat larut dalam kondisi optimal proses yang selanjutnya akan diendapkan berdasarkan pH tertentu sehingga LTJ dapat terpisah dari U dan Th. Penentuan kondisi optimal proses pelarutan total ditentukan melalui pengamatan kelarutan uranium, torium, dan LTJ terhadap variasi pH, suhu, dan waktu.

Pengamatan variasi pH terhadap kelarutan uranium, torium, dan LTJ dilakukan terlebih dahulu karena kondisi pH larutan memberikan pengaruh yang besar dibandingkan suhu dan waktu. Berdasarkan hasil pengamatan parameter pH pada proses pelarutan total yang dilakukan pada suhu 80°C selama 2 jam, terjadi perubahan warna larutan seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Filtrat pelarutan total parameter pH (dari kiri ke kanan, filtrat pelarutan pH 1, 2, 3, dan 4).

Warna kuning merupakan salah satu ciri fisik dari uranium dalam bentuk ion uranil yang terlarut dalam pelarut asam [12]. Filtrat pelarutan pH 1 dan 2 berwarna kuning karena jumlah uranium yang terlarut lebih banyak dibandingkan dengan filtrat pelarutan pH 3 dan 4. Warna merah muda pada filtrat pelarutan pH 3 dan pH 4 mengindikasikan adanya kandungan logam tanah jarang yang lebih banyak terlarut, dalam hal ini merupakan indikasi cerium oksida[12]. Torium dan uranium tidak terlarut pada kondisi pH 3–4, sehingga keberadaannya pada filtrat pelarutan pH 3 dan pH 4 cenderung lebih sedikit[11]. Hal tersebut dibuktikan dari hasil *recovery* uranium, torium, dan logam tanah jarang pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil *recovery* uranium, torium, dan logam tanah jarang pada filtrat pelarutan total parameter pH.

Gambar 2 menunjukkan fluktuasi pada persentase *recovery* uranium, torium, dan logam tanah jarang. Persentase *recovery* uranium menurun seiring dengan

bertambahnya pH. Persentase *recovery* uranium menunjukkan nilai paling tinggi pada pH 1. Uranium dalam filtrat pelarutan berada dalam bentuk uranil pada rentang pH ($1 < \text{pH} < 2$). Konsentrasi uranil akan semakin meningkat dengan menurunnya pH[13].

Grafik *recovery* torium mengalami kenaikan dari pH 1 ke pH 2 dan kembali menurun seiring bertambahnya pH. Hal ini sejalan dengan literatur yang menyatakan bahwa torium pada $\text{pH} > 2$ berada sebagai senyawa hidroksida dan pada $\text{pH} < 2$ berada dalam bentuk ionnya[11]. Torium (IV) ionik terlarut pada lingkungan yang sangat asam[14] sehingga keberadaannya pada pH 3 dan 4 tidak stabil dan menyebabkan kelarutan torium semakin menurun. Hal ini menyebabkan persentase *recovery* torium pada filtrat pelarutan total pH 3 dan pH 4 menurun. Hasil penelitian menyatakan bahwa kelarutan torium berada pada kondisi sangat asam dengan rentang pH 1-2.

Grafik *recovery* logam tanah jarang semakin menurun disertai dengan meningkatnya pH. Puncak tertinggi berada pada pH 1, walaupun perbedaan *recovery* antar pH tidak terlalu signifikan. Hal ini dapat terjadi karena ion logam tanah jarang dalam bentuk kation 3^+ stabil pada pH yang asam hingga pH 6, kemudian membentuk fase solid $\text{RE}(\text{OH})_3$ seiring dengan meningkatnya pH[14]. Kenaikan pH pada proses pelarutan menyebabkan stabilitas ion logam tanah jarang semakin menurun sehingga keberadaannya pada filtrat pelarutan total pH > 1 semakin menurun.

Berdasarkan persentase *recovery* pelarutan total parameter pH dapat disimpulkan secara umum uranium, torium, dan logam tanah jarang, dapat larut pada kondisi asam sehingga keberadaan unsur-unsur tersebut terdistribusi pada filtrat pelarutan total pH 1 (FPT pH 1). Oleh karena

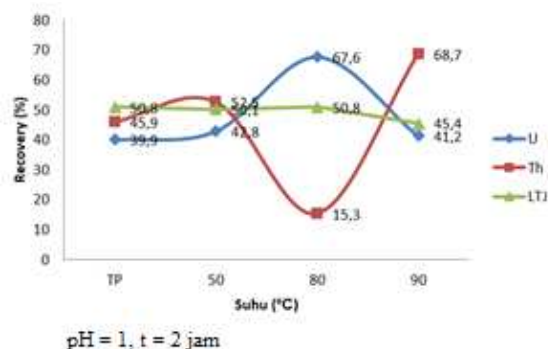
itu, dapat disimpulkan bahwa kondisi optimal pelarutan total parameter pH adalah pH 1.

Parameter yang diamati selanjutnya adalah suhu. Pelarutan total parameter suhu dilakukan dengan memvariasikan suhu pada kondisi pH optimal yaitu pH 1 dan waktu 2 jam. Hasil filtrat pelarutan total parameter suhu ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Filtrat pelarutan total parameter suhu.

Berdasarkan gambar di atas terlihat bahwa suhu mempengaruhi warna dan kejernihan filtrat. Filtrat tanpa pemanasan berwarna kuning keruh dan terdapat endapan, filtrat 50°C berwarna kuning pekat sedikit keruh namun tidak terdapat endapan, filtrat 80°C berwarna kuning cerah dan jernih, dan filtrat 90°C berwarna kuning pekat yang jernih. Semakin tinggi suhu, maka semakin jernih filtrat yang dihasilkan. Hal ini mengindikasikan suhu yang tinggi dapat meningkatkan pelarutan menjadi lebih sempurna. Selain warna, perbedaan suhu juga mempengaruhi unsur-unsur yang terlarut. Hal ini ditunjukkan dari grafik *recovery* uranium, torium, dan logam tanah jarang pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil *recovery* uranium, torium, dan logam tanah jarang pada filtrat pelarutan total parameter suhu.

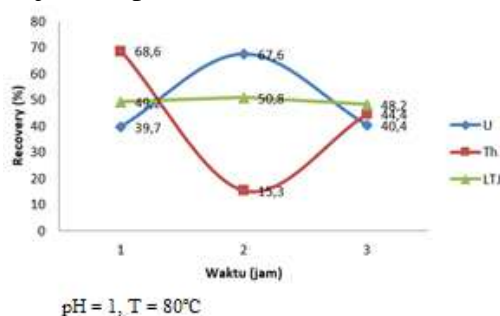
Recovery uranium mengalami fluktuasi. Terjadi peningkatan persentase *recovery* uranium pada kondisi proses tanpa pemanasan hingga suhu 80°C. Peningkatan suhu akan mempercepat reaksi tumbukan antara pelarut dan zat terlarut, sehingga dalam hal ini uranium akan lebih mudah terlarut pada suhu yang tinggi. Namun, pada suhu 90°C terjadi penurunan *recovery* uranium. Hal ini terjadi karena adanya penguapan pelarut sehingga secara stoikiometri jumlah HCl yang akan melarutkan unsur dalam endapan berkurang [15] dan mengakibatkan uranium tidak bereaksi sempurna dengan HCl. Grafik *recovery* torium menunjukkan fluktuasi yang cukup signifikan, data pada pelarutan tanpa pemanasan hingga suhu 50°C menunjukkan kenaikan. Pada suhu 80°C persentase *recovery* mengalami penurunan yang signifikan dan kembali naik pada suhu 90°C. Berdasarkan pengamatan tersebut maka kondisi suhu optimal untuk melarutkan uranium dan torium dalam endapan hasil pelarutan parsial adalah 80–90°C. Grafik *recovery* logam tanah jarang tidak mengalami penurunan ataupun peningkatan *recovery* yang signifikan. Hal ini terjadi karena pada pH dan suhu tersebut reaksi antara LTJ dan HCl belum optimal.

Pelarutan total parameter waktu ditentukan dengan memvariasikan waktu pelarutan menggunakan kondisi pH dan suhu yang optimal, yaitu pH 1 dan suhu 80°C. Pelarutan total parameter ini menghasilkan warna filtrat pada Gambar 5.



Gambar 5. Filtrat pelarutan total parameter waktu.

Filtrat pelarutan total parameter waktu berwarna kuning, namun terdapat perbedaan kejernihan pada waktu yang berbeda. Filtrat pelarutan total dengan waktu 2 jam menghasilkan warna kuning cerah dan jernih, kemungkinan disebabkan oleh keberadaan uranium yang dominan pada kondisi waktu tersebut karena ion uranil berwarna kuning dan stabil dalam larutan asam[16]. Perbedaan warna filtrat juga dipengaruhi oleh perbedaan unsur uranium, torium, dan logam tanah jarang yang berada dalam larutan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Grafik 3. Hasil *recovery* uranium, torium, dan logam tanah jarang pada filtrate pelarutan total parameter waktu

Semakin lama waktu pelarutan menyebabkan kontak antara zat terlarut dan pelarut semakin lama, sehingga unsur dapat terlarut dengan sempurna. Hal ini terjadi pada uranium dan logam tanah jarang pada filtrat pelarutan total 1 jam dan 2 jam yang mengalami peningkatan *recovery* seiring dengan meningkatnya waktu. Lamanya waktu juga dapat mempengaruhi banyaknya pelarut yang menguap, sehingga volume pelarut yang bereaksi dengan unsur-unsur dalam endapan menjadi berkurang. Hal ini menyebabkan pada waktu pelarutan total 3 jam persentase *recovery* uranium dan logam tanah jarang menurun. Torium mengalami penurunan *recovery* yang signifikan pada pelarutan total 2 jam. Oleh karena itu, berdasarkan pengamatan variasi waktu, uranium, torium

dan LTJ dapat terlarut pada kondisi pelarutan total selama 2 jam. Setelah didapatkan kondisi optimal pelarutan yang dapat melarutkan uranium, torium, dan LTJ dalam endapan, selanjutnya adalah tahap pemisahan unsur-unsur tersebut dengan metode pengendapan.

Proses pengendapan menggunakan NH_4OH sebagai reagen. NH_4OH dipilih sebagai reagen pengendapan karena penanganan hasil samping reaksi dengan unsur dalam filtrat pelarutan lebih mudah dilakukan [5]. Hasil samping yang berupa NH_4Cl dapat dihilangkan dengan proses pemanasan, menghasilkan gas NH_3 dan Cl_2 . Jika menggunakan basa lainnya seperti NaOH , hasil samping reaksi NaOH dengan unsur dalam endapan berupa NaCl akan menjadi pengotor dan perlu pengolahan lebih lanjut untuk menghilangkan Na dari endapan [5].

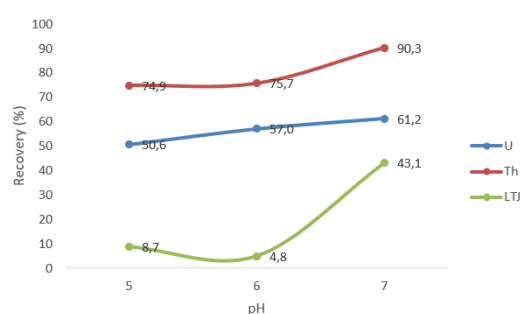
Parameter pengendapan yang diamati pada penelitian ini berupa pH. Setiap unsur memiliki pH yang selektif sehingga dapat digunakan untuk memisahkan unsur tersebut dari larutan menjadi bentuk endapan seperti pada Gambar 4.



Gambar 6. Residu pengendapan parameter pH 5, 6, 7.

Residu pengendapan parameter pH menghasilkan kuantitas dan warna yang berbeda pada setiap pH. Perbedaan sifat fisik pada residu dipengaruhi oleh kadar unsur yang diperoleh pada proses pengendapan. Faktor yang mempengaruhi perbedaan antara residu pengendapan pH 5 dan pH 6 adalah kadar unsur uranium dan torium. Residu

pengendapan pada pH 6 memiliki kadar uranium lebih banyak dibandingkan pada pH 5. Residu pengendapan pada pH 7 berwarna putih kekuningan mengindikasikan keberadaan logam tanah jarang yang paling dominan dibandingkan dengan unsur radioaktifnya, dalam hal ini logam tanah jarang yang paling dominan adalah cerium yang berwarna kuning pucat [17]. Keberadaan uranium, torium, dan logam tanah jarang di dalam endapan pada masing-masing pH disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 8.



Gambar 8 Hasil *recovery* uranium, torium, dan logam tanah jarang pada residu pengendapan.

Semakin tinggi pH maka semakin tinggi *recovery* uranium, torium, dan logam tanah jarang. Uranium yang mengendap merupakan uranium dalam bentuk $\text{UO}_2(\text{OH})_2$ dengan valensi 6. Pengendapan uranium (VI) terjadi pada kisaran pH 5,5–7,0. Pengaruh keasaman torium pada kisaran pH 6–7 menunjukkan nilai kelarutan yang sangat kecil [18], sehingga torium mengendap pada pH tersebut. Logam tanah jarang membentuk hidroksida $\text{RE}(\text{OH})_3$ fase padat dan akan meningkat dengan peningkatan pH [14]. pH pengendapan dari logam tanah jarang hidroksida (kecuali skandium) berada pada kisaran pH 6,8–8,0 dalam media klorida dan sulfat [19]. Meski persentase *recovery* uranium, torium, dan logam tanah jarang meningkat seiring dengan meningkatnya pH, namun perlu diperhatikan bahwa pada pH 6 persentase *recovery* logam tanah jarang menurun, sedangkan persentase

recovery uranium dan torium semakin meningkat. Oleh karena itu, pH yang optimal untuk pemisahan unsur radioaktif dari logam tanah jarang adalah pH 6.

KESIMPULAN

Kondisi optimal pelarutan total menggunakan HCl tercapai pada pH 1, suhu pelarutan 80°C, dan waktu pelarutan selama 2 jam. Persentase terbesar yang dihasilkan pada proses pelarutan total dari masing-masing unsur adalah 67,6% uranium, 15,3% torium, dan 50,8% logam tanah jarang. Kondisi optimal pengendapan menggunakan NH₄OH untuk memisahkan unsur radioaktif dan logam tanah jarang diperoleh pada pH 6. Persentase masing-masing unsur pada kondisi tersebut yaitu 57% uranium, 75,7% torium, 4,8% logam tanah jarang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada staff Teknologi Penambangan dan Pengolahan PTBGN-BATAN dan semua pihak yang terlibat selama penelitian ini berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Purwani, S. Suyanti, dan D. Husnurrofiq, "Optimasi dan Kinetika Memakai NaOH," in *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*, 2015, pp. 9–17.
- [2] K. Trinopiawan dan S. Sumiarti, "Pemisahan Thorium dari Uranium pada Monasit dengan Metode Pengendapan," *J. Eksplorium*, vol. 33, no. 1, pp. 55–62, 2012.
- [3] H. L. Nuri, R. Faizal, W. Sugeng, S. Budi, dan S. Arif, "Pengolahan Monasit Dari Limbah Penambangan Timah : Pemisahan Logam Tanah Jarang (RE) Dari U Dan Th," *Pros. Present. Ilm. Daur Bahan Bakar Nukl. V*, pp. 54–60, 2000.
- [4] S. Sumarni, R. Prassanti, K. Trinopiawan, S. Sumiarti, dan H. L. Nuri, "Penentuan Kondisi Pelarutan Residu dari Hasil Pelarutan Parsial Monasit Bangka," *J. Eksplorium*, vol. 32, no. 2, pp. 115–124, 2011.
- [5] M. Anggraini, B. Sarono, S. Waluyo, R. Rusydi, dan S. Sujono, "Pengendapan Uranium dan Thorium Hasil Pelarutan Slag II," *Eksplorium*, vol. 36, no. 2, p. 125, 2015.
- [6] S. Tjokrokardono, B. Soetopo, dan Ngadenin, "Tinjauan Sumber Daya Monasit di Indonesia Sebagai Pendukung Litbang/Industri Superkonduktor," in *Seminar IPTEK Nuklir dan Pengelolaan Sumber Daya Tambang*, 2002.
- [7] R. Subagja, K. P. Serpong, dan T. Selatan, "Monasite Bangka dan Alternatif Proses," 2014.
- [8] M. V. Purwani, "Pengendapan torium dari hasil olah pasir monasit," pp. 147–154, 2011.
- [9] Isyuniarto, A. Muhadi, dan H. Tri, "Pelindian Pasir Monasit dengan Metode Basa," *Pros. Perlemuan dan Present. Ilm.*, vol. 132, no. 132–136, 1999.
- [10] H. L. Nuri, R. Faizal, Susilaningtyas, S. Waluyo, dan Rifandriyah Ar, "Aplikasi Perlatan Proses Monasit Skala Laboratorium untuk Pengolahan Monasit Bangka Menjadi Rare Earth Oksida dengan Kapasitas 1 Kg/Hari," in *Prosiding Seminar Geologi Nuklir dan Sumberdaya Tambang*, 2004, pp. 114–124.
- [11] R. Subagja, "Monasite Bangka dan Alternatif Proses Pengolahannya," *Majalah Metalurgi*, Tangerang Selatan, 2014.
- [12] A. C. Neish, "Preparation of Pure Cerium Salts and The Color of Cerium Oxide," *Am. Chem. Soc.*, vol. XXXI, no. 5, 1909.
- [13] T. Fujino, I. Grenthe, J. Droz, E. C. Buck, T. E. A. Schmitt, dan S. F. Wolf, "URANIUM *," 1948.
- [14] E. Kim dan K. Osseo-Asare, "Hydrometallurgy Aqueous stability of thorium and rare earth metals in monazite hydrometallurgy : Eh – pH diagrams for the systems Th – , Ce – , La – , Nd – (PO 4) – (SO 4) – H 2 O at 25 ° C," *Hydrometallurgy*, vol. 113–114, pp. 67–78, 2012.
- [15] M. Anggraini dan I. Kris Murwani, "Pemisahan Unsur Radioaktif dan Logam Tanah Jarang dalam Terak Timah dengan Fusi Alkali dan Pelindian Asam," *Pros. Semin. Nas. Kebumihan XII*, vol. 1, pp. 4–5, 2016.
- [16] E. H. Borai, M. S. A. El-ghany, I. M. Ahmed, M. M. Hamed, A. M. S. El-din, dan H. F. Aly, "Modified Acidic Leaching for Selective Separation of Thorium, Phosphate and Rare Earth Concentrates from Egyptian Crude Monazite," *Int. J. Miner. Process.*, 2016.
- [17] T. Wahyudi, "Reviewing The Properties Of Rare Earth Element-Bearing Minerals, Rare Earth Elements and Cerium Oxide Compound," vol. 18, no. 2, pp. 92–108, 2015.
- [18] S. Higashi, "Determination of the Solubility of Thorium Hydroxide," *Bull. Inst. Chem. Res. Kyoto Univ.*, vol. 37, no. 3, pp. 200–206, 1959.
- [19] Z. Zhu, Y. Pranolo, dan C. Y. Cheng, "Separation of uranium and thorium from rare earths for rare earth production - A review," *Miner. Eng.*, vol. 77, pp. 185–196, 2015.