

Pemisahan Unsur-unsur pada Monasit Bangka dengan Pengendapan Bertingkat

Separation of Elements in Bangka Monazite with Multilevel Precipitation

Anggi Novriyanisti¹, Riesna Prassanti^{2*}, Kurnia Setiawan Widana²

¹Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta
Jl. Ir. H. Juanda No. 95, Cemp. Putih, Kec. Ciputat Tim., Kota Tangerang Selatan, Banten, Indonesia, 15412

²Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir-BATAN

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

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

Naskah diterima: 10 November 2020, direvisi: 15 April 2021, disetujui: 22 April 2021

DOI: 10.17146/eksplorium.2021.42.1.6093

ABSTRAK

Monasit merupakan mineral hasil samping pengolahan timah yang memiliki kandungan utama unsur uranium (U), torium (Th), logam tanah jarang (LTJ), dan senyawa fosfat (PO_4). Di samping unsur-unsur utama tersebut, monasit juga mengandung logam-logam lain seperti aluminium (Al), besi (Fe), bismut (Bi), galium (Ga), dan talium (Tl). Unsur-unsur pada monasit harus dipisahkan agar dapat dimanfaatkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi pH dalam pemisahan unsur-unsur pada monasit dengan pengendapan bertingkat serta menentukan unsur apa saja yang dihasilkan dari setiap variasi pH. Variasi pH yang digunakan dimulai dari pH 0,5 sampai 10 dengan selisih antar-pH sebesar nol koma lima. Unsur-unsur dalam monasit dipisahkan secara bertahap dimulai dari proses dekomposisi menggunakan natrium hidroksida (NaOH), pelarutan dengan asam klorida (HCl), dan pengendapan bertingkat dengan amonium hidroksida (NH_4OH). Unsur dianalisis menggunakan instrumen *Inductively Coupled Plasma Optical Spectroscopy* (ICP-OES) dan Spektrofotometer UV-Visible. Pengaruh variasi pH menghasilkan endapan pada pH 3, pH 6, pH 6,5, dan pH 7. Unsur yang dihasilkan pada setiap variasi pH adalah uranium, torium, logam tanah jarang, aluminium, besi, bismut, galium, dan talium. Uranium dan torium paling banyak berada pada endapan pH 3 dengan *recovery* U 72,3% dan Th 46,33% serta logam tanah jarang pada pH 6,5 dengan *recovery* 41,87%. Unsur Fe dan Bi paling banyak mengendap pada pH 3 dengan kadar 37,9 ppm dan 100,9 ppm. Unsur Al, Ga dan Tl paling banyak mengendap pada pH 6,5 dengan kadar 30,2 ppm, 69,8 ppm, dan 8 ppm.

Kata kunci: monasit, pengendapan bertingkat, torium, uranium, logam tanah jarang, NH_4OH

ABSTRACT

Monazite is a mineral side product of tin processing, which mainly contains uranium (U), thorium (Th), rare earth elements (REE), and phosphate compounds (PO_4). Besides these main elements, monazite also contains other metals such as aluminum (Al), iron (Fe), bismuth (Bi), gallium (Ga), and thallium (Tl). The elements in monazite must be separated to be used. This study aims to determine the effect of pH variations in the separation of components in monazite with multilevel precipitation and determine elements produced from each pH variation. The variation pH starts from pH 0,5 to 10 with a different pH of zero points five. The elements in monazite are separated gradually, beginning from the decomposition process using sodium hydroxide (NaOH), dissolving with hydrochloric acid (HCl), and graded deposition with ammonium hydroxide (NH_4OH). The elements were analyzed using the instrument Inductively Coupled Plasma Optical Spectroscopy (ICP-OES) and UV-Visible Spectrophotometer. The effect of pH variations produced precipitated pH 3, pH 6, pH 6.5, and pH 7. The elements produced at each pH variation are uranium, thorium, rare earth elements, aluminum, iron, bismuth, gallium, and thallium. Uranium and thorium were mostly at pH 3 with the recovery of U 72.3% and Th 46.33% and rare earth elements at pH 6.5 with 41.87% recovery. The elements Fe and Bi mostly settle at pH 3 with levels

of 37.9 ppm and 100.9 ppm. The elements Al, Ga, and Tl, precipitate most at pH 6.5 with grades of 30.2 ppm, 69.8 ppm, and 8 ppm respectively.

Keywords: monazite, multilevel precipitation, thorium, uranium, rare earth elements, NH_4OH

PENDAHULUAN

Monasit merupakan mineral hasil samping pengolahan timah yang memiliki kandungan unsur uranium (U), torium (Th), logam tanah jarang (LTJ), dan fosfat (PO_4). Persentase banyaknya masing-masing unsur penyusun monasit antara lain LTJ_2O_3 58,97%, U 0,298%, Th 4,147%, dan PO_4 23,712% [1]. Selain unsur-unsur utama tersebut, monasit juga mengandung unsur-unsur minor seperti aluminium (Al), besi (Fe), bismut (Bi), galium (Ga), dan talium (Tl). Berbeda dari unsur-unsur utama, kadar unsur-unsur minor tersebut pada monasit cenderung kecil (< 100 ppm) sehingga dianggap sebagai pengotor. Keberadaan unsur-unsur tersebut pada monasit masih bercampur antara satu dengan lainnya sehingga harus dipisahkan melalui proses kimiawi untuk dapat dimanfaatkan sesuai kegunaannya masing-masing.

Proses pemisahan unsur-unsur U, Th, LTJ, dan fosfat dari bijih monasit dapat dilakukan dengan metode asam menggunakan H_2SO_4 [2] dan metode basa menggunakan NaOH [3]. Tahapan proses yang dihasilkan dengan metode basa antara lain dekomposisi, pelarutan parsial (pH 3,7), pengendapan U dan Th (pH 6,3), serta pengendapan LTJ (pH 9,8) [2]. Dari proses ini unsur yang terpisah hanya unsur utama pada monasit, yaitu U, Th, dan LTJ sedangkan unsur-unsur minor akan terikut pada unsur utama yang telah terpisah sehingga menurunkan kemurnian produk. Untuk meningkatkan kemurnian produk maka unsur pengotor harus dipisahkan dari unsur utama. Salah satu cara untuk pemisahan unsur dari mineral adalah dengan pengendapan bertingkat. Pada proses ini, tiap-tiap unsur

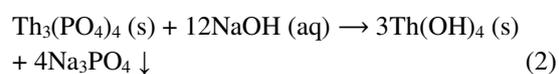
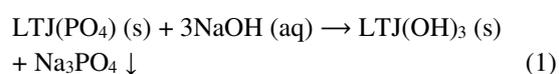
akan mengendap berdasarkan kelarutannya pada kondisi pH tertentu.

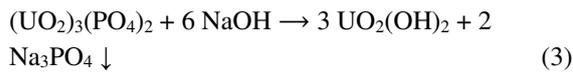
Penelitian ini dilakukan dengan melaksanakan proses pengendapan bertingkat untuk mengetahui pengaruh variasi pH dalam mengendapkan unsur-unsur pada monasit serta menentukan unsur apa saja yang dihasilkan dari setiap variasi pH. Adapun bahan kimia yang digunakan sebagai reagen pengendap adalah NH_4OH . Penggunaan NH_4OH ini tidak akan mengotori endapan karena NH_3 mudah menguap [4].

TEORI

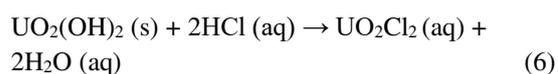
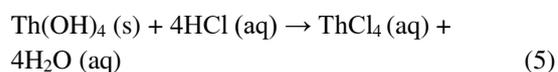
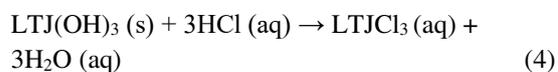
Monasit merupakan mineral fosfat yang mengandung logam tanah jarang, torium, dan uranium [5]. Mineral ini jika diolah secara kimiawi akan menghasilkan garam unsur U, Th, logam tanah jarang, dan fosfat. Rumus kimia monasit secara umum adalah (LTJ, Th, U) PO_4 [6]. Unsur yang terkandung dalam monasit memiliki nilai ekonomisnya masing-masing. Logam tanah jarang digunakan dalam bidang industri, metalurgi, dan kimiawi [5]. Uranium dan torium sebagai bahan bakar reaktor nuklir [7].

Pembuatan umpan pengendapan bertingkat diawali dengan proses dekomposisi untuk memisahkan fosfat, dimana senyawa fosfat pada monasit diubah menjadi senyawa hidroksida dengan reagen sodium hidroksida (NaOH). Reaksi yang terjadi pada proses dekomposisi adalah sebagai berikut [1]:



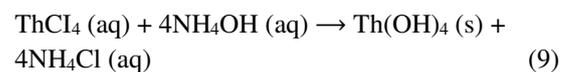
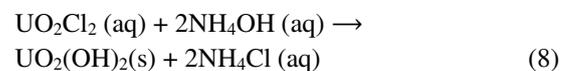
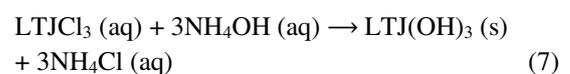


Selanjutnya, endapan (U, Th, LTJ) hidroksida dilarutkan dengan asam kuat seperti HCl, H₂SO₄, dan HNO₃. Hasil pelarutan dengan H₂SO₄ maupun HNO₃ yang menghasilkan larutan (U, Th, LTJ) sulfat atau (U, Th, LTJ) nitrat ini kemudian langsung digunakan untuk tahap selanjutnya yaitu proses ekstraksi untuk pengambilan U dan Th. Akan tetapi pelarutan dengan asam selain HCl tersebut memerlukan konsumsi asam yang lebih banyak. Pelarutan dengan H₂SO₄ diperlukan jumlah asam 2–3 kali jumlah HCl. Di samping itu, kelarutan (U, Th, LTJ) hidroksida dalam H₂SO₄ lebih kecil dibandingkan dengan HCl [8]. Reaksi yang terjadi pada proses pelarutan (U, Th, LTJ) hidroksida dengan HCl adalah sebagai berikut [1]:



Metode pengendapan bertingkat merupakan salah satu metode pemisahan untuk mendapatkan unsur logam tanah jarang. Umumnya proses ini dilakukan dengan menambahkan hidroksida sehingga akan menghasilkan endapan dalam bentuk senyawa hidroksida. Prinsip dasarnya adalah perbedaan tetapan hasil kali kelarutan (K_{sp}) unsur dalam bentuk hidroksidanya. Pengendapan ini terjadi karena zat tersebut berada dalam bentuk persenyawaan, yaitu hasil kali konsentrasi ion-ionnya melebihi harga K_{sp} senyawa tersebut. K_{sp} atau hasil kali kelarutan adalah hasil kali konsentrasi

ion-ion dalam larutan jenuh pada suhu tertentu, setelah masing-masing konsentrasi dipangkatkan dengan koefisiennya menurut persamaan ionisasinya [9]. Pemisahan dengan metode pengendapan bertingkat juga dilakukan dengan menambahkan hidroksida untuk memperoleh hasil pemisahan yang lebih selektif [10]. Selama pengendapan unsur-unsur dalam monasit akan bereaksi dengan basa sebagai berikut [8]:



METODOLOGI

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain monasit Bangka ukuran butiran 44 μm, aquades, natrium hidroksida, asam klorida pekat teknis 14 N, ammonium hidroksida teknis, dan bahan kimia analisis. Alat yang digunakan adalah motor pengaduk, statif, termometer, vakum, cawan petri, kertas saring *whattman*, lemari asam, *hot plate*, labu ukur, pH meter, oven, *furnace*, mortar, ayakan 325 *mesh*, timbangan analitik, Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu 2600, dan ICP-OES Perkin Elmer.

Metode

Proses pembuatan umpan untuk pengendapan bertingkat diawali dengan dekomposisi monasit menggunakan NaOH untuk memutus ikatan fosfat sehingga akan menghasilkan endapan hidroksida [11]. Selanjutnya, endapan hidroksida hasil proses dekomposisi dilarutkan dengan HCl pekat 14 N dengan perbandingan endapan hidroksida :

HCl = 1 : 1. Proses ini dijaga pada suhu 80°C selama 2 jam sehingga HCl dapat melarutkan lebih dari 80% endapan. *Slurry* hasil pelarutan dipisahkan filtrat dan residunya melalui penyaringan vakum. Kadar U dan Th pada filtrat hasil penyaringan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis sedangkan kadar LTJ dan unsur minor (pengotor), antara lain Al, Fe, Bi, Ga, dan Tl, dianalisis menggunakan ICP-OES. Filtrat ini merupakan umpan proses pengendapan bertingkat.

Pada proses pengendapan bertingkat, filtrat hasil pelarutan sebanyak 300 ml diendapkan dengan reagen NH₄OH. Proses pengendapan ini menggunakan variasi pH sebanyak 20, antara lain dimulai dari pH 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5; dan 10. Penambahan NH₄OH dihentikan apabila pH yang diinginkan telah tercapai dan larutan didiamkan selama 1 jam pada suhu kamar hingga menghasilkan endapan. Endapan yang dihasilkan kemudian dipisahkan melalui proses penyaringan menggunakan corong dan kertas saring. Selanjutnya filtrat hasil penyaringan tersebut diendapkan kembali dengan NH₄OH sesuai pH yang diinginkan. Begitu seterusnya sampai variasi pH terakhir. Endapan yang dihasilkan dari setiap pengendapan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis dan ICP-OES.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengendapan bertingkat dilakukan secara bertahap dengan mengatur pH sesuai yang diinginkan dengan umpan yang sama. Reagen yang digunakan untuk mengendapkan unsur U, Th, LTJ, serta pengotor adalah NH₄OH sebagai senyawa hidroksida yang akan mengikat unsur klorida pada filtrat pelarutan sebagai umpan proses ini dan membentuk NH₄Cl pada fase cair serta endapan

hidroksida pada fase padat, seperti persamaan reaksi (7), (8) dan (9).

Penelitian ini menggunakan pengendapan bertingkat dengan variasi pH dimulai dari 0,5 sampai 10 dengan rentang antar-pH adalah 0,5. Endapan dihasilkan pada pH 3;6; 6,5 dan 7. Selain keempat pH tersebut, endapan tidak terbentuk pada pH lainnya.

Variasi pH yang dilakukan menghasilkan empat endapan seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini beserta jumlah NH₄OH yang digunakan. Endapan paling akhir terbentuk pada pH 7 dan pada pH selanjutnya sampai pH 10, yaitu variasi pH paling terakhir pada proses ini sudah tidak terbentuk endapan lagi.

Tabel 1. Berat endapan dan jumlah NH₄OH yang digunakan.

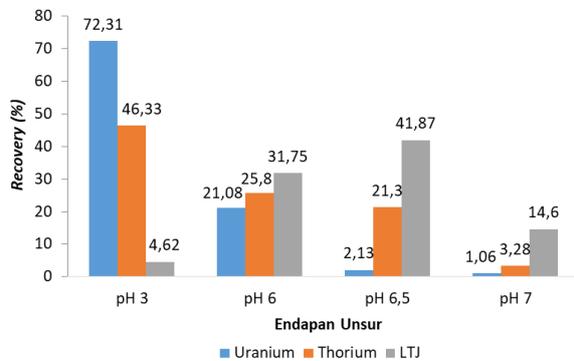
pH	Berat endapan (g)	Jumlah NH ₄ OH (ml)
pH 3	25,574	53
pH 6	26,27	90,2
pH 6,5	24,92	98,4
pH 7	12,43	112,9
Total	89,194	354,5

Berat endapan yang dihasilkan berbeda-beda begitu juga konsumsi NH₄OH seperti yang terlihat pada Tabel 1. Umpan yang digunakan sebanyak 300 ml. Endapan yang paling banyak, yaitu endapan pada pH 6 dengan konsumsi NH₄OH sebanyak 90,24 ml. Hal ini menandakan banyaknya unsur yang dapat mengendap pada pH tersebut. Endapan pH 3 hanya butuh 53 ml NH₄OH untuk menghasilkan berat endapan sedikit lebih kecil dari endapan pH 6. Hal ini disebabkan oleh banyaknya jumlah unsur-unsur yang memang dapat mengendap pada pH 3 sehingga dengan konsumsi NH₄OH sedikit sudah dapat berinteraksi membentuk endapan.

Konsumsi NH₄OH paling banyak pada endapan pH 6,5 dan berat endapan yang

dihasilkan lebih sedikit dibandingkan endapan pH 3 dan pH 6. Masih terbentuknya endapan pada pH 6,5 dan pH 7 karena waktu pengendapan yang relatif sebentar sehingga di dalam umpan masih ada unsur-unsur yang belum terendapkan dan dapat mengendap di pH berikutnya [12]. Berat endapan semakin sedikit seiring dengan bertambahnya pH. Hal ini dikarenakan unsur-unsur tersebut sudah banyak mengendap di pH sebelumnya.

Endapan mulai terbentuk pada pH 3 karena pada pH tersebut mulai terjadi interaksi antara unsur-unsur di dalam umpan dengan pereaksi. Hasil reaksi antara unsur dengan NH_4OH akan menghasilkan garam amonium klorida, selain unsur itu sendiri dalam bentuk hidroksidanya [13]. Torium berada dalam bentuk hidroksidanya pada pH > 2 dan logam tanah jarang pada pH > 6,5 [14].



Gambar 1. *Recovery* pengendapan bertingkat unsur U, Th, dan LTJ .

Endapan pertama terbentuk pada pH 3 dengan *recovery* uranium 72,31%, disusul oleh torium 46,33%, dan LTJ 4,62% (Gambar 1). Penelitian yang dilakukan oleh PTBGN-BATAN telah mendapatkan kondisi optimal untuk pengendapan U dan Th melalui proses pengolahan basa yaitu pada pH 6,3 [2]. Kondisi optimal tersebut menunjukkan unsur uranium dan torium banyak mengendap pada pH 6,3 tetapi tidak menutup kemungkinan

pada pH yang lebih rendah dari itu uranium dan torium sudah dapat terendapkan. Pengendapan uranium dengan pereaksi NH_4OH dapat terjadi pada pH yang lebih rendah dari pH optimalnya karena terbentuknya garam amonium klorida yang dapat memperkecil nilai pH pengendapan [13]. Nilai Ksp uranium dalam bentuk hidroksidanya, yaitu $\text{UO}_2(\text{OH})_2$ sebesar $1,1 \times 10^{-22}$ [15].

Torium mulai mengendap pada pH 2,3 berdasarkan perhitungan teori menggunakan nilai Ksp $\text{Th}(\text{OH})_4$ sebesar $10^{-55,7}$ [15] tetapi pada penelitian ini torium mulai mengendap pada pH 3. Nilai Ksp uranium dan torium jika direaksikan dengan reagen basa adalah rendah. Semakin rendah nilai Ksp maka unsur tersebut lebih mudah mengendap [16].

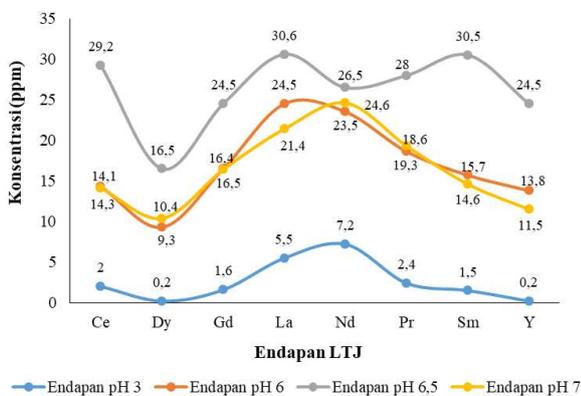
Endapan pada pH 6 memiliki nilai *recovery* uranium sebesar 21,08%, torium 25,8%, dan logam tanah jarang 31,75%. Nilai *recovery* uranium dan torium lebih kecil dibandingkan endapan pada pH 3 karena unsur tersebut sudah banyak mengendap pada pH 3 tetapi masih dapat mengendap di pH yang lebih tinggi dari 3. Uranium dan torium optimal mengendap pada pH 6,3 [2].

Endapan pada pH 6,5 nilai *recovery* uraniumnya sudah sedikit, yaitu 2,13% sedangkan toriumnya masih sebesar 21,3%, tidak jauh dari endapan pada pH 6. Masih adanya torium pada pH 6,5 berkaitan dengan pH optimum pengendapan torium itu sendiri. Nilai *recovery* LTJ pada pH 6,5 adalah yang paling banyak dibandingkan yang lainnya. Hal ini berkaitan dengan sifat LTJ itu sendiri yang mulai mengendap pada pH > 6,5 [14].

Endapan pada pH 7 memiliki nilai *recovery* uranium dan torium paling kecil dibandingkan endapan lainnya tetapi untuk LTJ masih cukup banyak dibandingkan pada pH 3. Kandungan uranium dan torium lebih sedikit karena kedua unsur itu telah banyak

mengendap di pH sebelumnya dan memang kedua unsur itu mulai mengendap pada pH yang lebih rendah. LTJ sendiri memiliki nilai sebesar 14,6% karena masih dapat mengendap pada pH tinggi.

Nilai pK_{sp} LTJ yang berkisar antara 22–24 menunjukkan semua LTJ mengendap pada pH tinggi [17]. Nilai pK_{sp} semakin kecil atau semakin besar harga K_{sp} , konsentrasi OH^- semakin besar dan nilai pOH semakin kecil sehingga nilai pH untuk mengendapkan LTJ semakin besar [18].

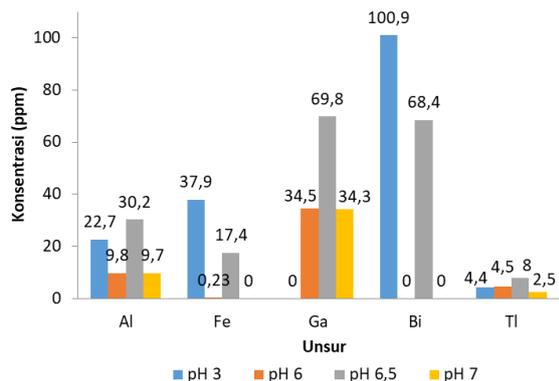


Gambar 2. Konsentrasi LTJ pada tiap endapan pada pengendapan bertingkat.

Monasit mengandung LTJ ringan seperti La, Ce, Nd, dan Pr kurang lebih 90% serta sedikit Y dan LTJ, berat antara lain Gd dan Dy [5]. Dari Gambar 2 terlihat unsur Nd dan La mendominasi komposisi LTJ di setiap endapan yang dihasilkan, kecuali pada endapan pH 6,5, La digantikan oleh Sm. Unsur yang paling sedikit pada setiap endapan adalah Y dan Dy. Logam Y dan Dy mulai mengendap pada pH 8,14 dan 8,18. Rata-rata pH untuk mengendapkan logam tanah jarang adalah pH 8 tetapi ada juga pada pH 7 [17]. Logam tanah jarang mulai mengendap pada pH 3 dengan kadar yang paling sedikit dibandingkan dengan U dan Th. Penelitian terdahulu telah menghasilkan logam La, Ce, dan Nd sebagai LTJ yang paling banyak pada proses pengendapan bertingkat residu digesti monasit [4]. Ketiga

logam tersebut mulai mengendap pada pH 0,45. Variasi pH yang dilakukan mulai dari 0,45 sampai 0,9 dengan selisih 0,05 antarsetiap pH.

Pada Penelitian lainnya, proses mengendapkan LTJ dari filtrat pelarutan monasit dengan asam menggunakan dinatrium oksalat telah menghasilkan LTJ Sm, Pr, Nd, Ce, dan La yang mulai mengendap pada $pH < 1$ [19]. Persentase LTJ yang rendah dihasilkan pada pH yang paling rendah, kemudian mengalami kenaikan seiring bertambahnya pH. Hal ini sejalan dengan penelitian, yaitu LTJ dapat mengendap pada pH rendah tetapi dalam persentase perolehan yang sedikit. Kenaikan pH mengakibatkan kenaikan jumlah LTJ yang terendapkan.

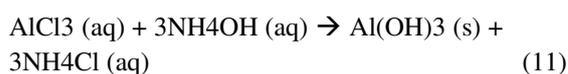
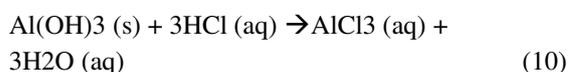


Gambar 3. Konsentrasi unsur pengotor pada tiap endapan pada pengendapan bertingkat.

Selain LTJ, U, dan Th, penelitian pengendapan bertingkat ini juga mengendapkan unsur pengotor. Seperti terlihat pada Gambar 3, unsur pengotor yang dominan dan terdeteksi dengan alat analisis ICP-OES adalah Al, Fe, Ga, Bi, dan Tl. Unsur Fe dan Bi paling banyak mengendap pada pH 3 dengan kadar 37,9 ppm dan 100,9 ppm. Unsur Al, Ga, dan Tl paling banyak mengendap pada pH 6,5 dengan kadar 30,2 ppm, 69,8 ppm, dan 8 ppm.

Unsur pengotor mengendap pada pHnya masing-masing didasarkan nilai K_{sp} dan

pKsp-nya [20]. Nilai Ksp unsur Al dalam bentuk hidroksidanya setelah bereaksi dengan NH_4OH seperti reaksi di bawah ini adalah $1,8 \times 10^{-33}$ [21]:



Nilai Ksp Al cukup kecil artinya pKsp-nya besar dan berdasarkan perhitungan teori pH untuk mengendapkan Al(OH)_3 adalah 3. Nilai pH tersebut menunjukkan unsur Al dalam larutan HCl yang berinteraksi dengan NH_4OH dapat mengendap pada pH tersebut membentuk endapan Al(OH)_3 . Unsur Al berdasarkan percobaan mulai mengendap pada pH 3 sesuai dengan perhitungan yang telah dibuat. Unsur ini juga terbentuk pada pH lainnya dan paling banyak pada endapan pH 6,5.

Nilai Ksp unsur Fe untuk membentuk endapan Fe(OH)_3 adalah $1,1 \times 10^{-36}$ [21]. Nilai pH Fe(OH)_3 berdasarkan perhitungan teori untuk dapat mengendap adalah 3,2. Penelitian ini menghasilkan unsur Fe pada endapan pH 3 dan 6,5. Hal ini menunjukkan Fe mulai terbentuk pada pH 3 sesuai dengan perhitungan teorinya. Fe juga mengendap pada pH yang lebih tinggi, yaitu 6,5 tetapi tidak ada pada pH 6 dan 7. Unsur Fe telah habis mengendap pada endapan pH 6,5 sehingga pada pH yang lebih tinggi tidak terbentuk lagi. Unsur Fe paling banyak ada pada endapan pH 3. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya [19] yang mengendapkan unsur pengotor dari filtrat pelarutan monasit dengan asam menggunakan dinatrium oksalat menghasilkan endapan unsur pengotor berupa Al, Fe, Pb, Ca, dan Cu. Pada endapan tersebut Al paling besar kadarnya dan paling banyak

mengendap pada pH 3. Unsur Fe paling banyak mengendap pada pH 5. Perbedaan ini diduga karena penggunaan reagen pengendap yang tidak sama, yaitu NH_4OH dan dinatrium oksalat sehingga unsur yang mengendap berbeda pada pH yang sama.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, variasi pH pada pengendapan bertingkat pengolahan monasit menghasilkan endapan pada pH 3, pH 6, pH 6,5, dan pH 7. Unsur uranium dan torium paling banyak mengendap pada pH 3 dengan *recovery* U 72,3% dan Th 46,33% serta LTJ pada pH 6,5 dengan *recovery* 41,87%. Unsur Fe dan Bi paling banyak mengendap pada pH 3 dengan kadar 37,9 ppm dan 100,9 ppm. Unsur Al, Ga, dan Tl paling banyak mengendap pada pH 6,5 dengan kadar 30,2 ppm, 69,8 ppm, dan 8 ppm. Dengan mengetahui kondisi pH pengendapan unsur pengotor pada monasit diharapkan akan diperoleh produk LTJ, U, dan Th dengan kemurnian yang lebih tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terimakasih khususnya kepada seluruh staf Bidang Teknologi Penambangan dan Pengolahan serta PTBGN-BATAN pada umumnya yang telah mendukung jalannya penelitian. Terimakasih kepada Ibu Budi Yuli Ani yang telah membantu proses penelitian di laboratorium pengolahan, Ibu Ersina Rakhma, Bapak Afiq Azfar Pratama, dan Kak Yoga Permana yang telah membantu proses analisis sampel dengan XRF, ICP-OES, dan Spektrofotometer UV-Vis, serta kepada PT Timah (Persero) Tbk. yang telah menyediakan monasit sebagai bahan baku pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sumarni, R. Prassanti, K. Trinopiawan, Sumiarti, dan H. L. Nuri, "Penentuan Kondisi Pelarutan Residu dari Hasil Pelarutan Parsial Monasit Bangka," *Eksplorium*, vol. 32, no. 2, hal. 115–124, 2011, doi: <http://dx.doi.org/10.17146/eksplorium.2011.32.2.2819>.
- [2] R. Prassanti, "Digesti Monasit Bangka dengan Asam Sulfat," *Eksplorium*, vol. 33, no. 1, hal. 41–54, 2012, doi: <http://dx.doi.org/10.17146/eksplorium.2012.33.1.676>.
- [3] Sumarni, E. RA, F. Riza, Tukardi, Tarjudin, dan Rusydi, "Pelarutan Residu Hasil Dekomposisi Bijih Uranium Rirang," *Pros. Semin. Geol. Nukl. dan Sumber Daya Tambang Tahun 2004 Pus. Pengemb. Bahan Galian dan Geol. Nukl. BATAN*, vol. 85, hal. 299–304, 2004.
- [4] S. Suyanti dan M. V Purwani, "Pengendapan Torium dari Hasil Olah Pasir Monasit," *Pros. Pertem. dan Present. Ilm. Penelit. Dasar Ilmu Pengetah. dan Teknol. Nukl.*, hal. 147–154, 2011.
- [5] G. K. Gupta dan N. Krishnamurthy, *Extractive Metallurgy of Rare Earths*, vol. 37, no. 1. 1992.
- [6] Suyono, A. Supriyadi, A. W. Kencono, dan B. E. Prasetyo, *Kajian Potensi Mineral Ikutan pada Pertambangan Timah*. Jakarta: Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral, 2017.
- [7] F. P. Sagala, Adiwardoyo, dan E. M. Parmanto, *Model Atom, Uranium dan Prospeknya sebagai Energi Masa Depan*. Jakarta: Badan Tenaga Nuklir Nasional, Pusat Diseminasi Iptek Nuklir, 2003.
- [8] H. L. Nuri, F. Riza, S. Waluyo, B. Saron, Mukhlis, dan Sumarni, "Pelarutan (U, Th, RE) Hidroksida Hasil Dekomposisi Basa Monasit Bangka dengan Menggunakan Asam Nitrat," *Semin. IPTEK Nukl. dan Pengelolaan Sumber Daya Tambang*, hal. 144–150, 2002.
- [9] C. W. Keenan, *Kimia Untuk Universitas*, 1 ed. Jakarta: Erlangga, 1992.
- [10] J. E. Huheey, *Inorganic Chemistry*, 4th ed. New York: Harper International, 1993.
- [11] R. Prassanti, D. S. Putra, B. P. Kusuma, dan 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, hal. 1–6, 2018, doi: [10.1088/1757-899X/303/1/012005](https://doi.org/10.1088/1757-899X/303/1/012005).
- [12] K. Trinopiawan dan Sumiarti, "Pemisahan Thorium dari Uranium pada Monasit dengan Metode Pengendapan," *Eksplorium*, vol. 33, no. 1, hal. 55–62, 2012.
- [13] Torowati, "Pengaruh Kandungan Uranium dalam Umpan Terhadap Efisiensi Pengendapan Uranium," *J. Pus. Teknol. Bahan Bakar Nukl.*, hal. 9–15, 2010.
- [14] R. Subagja, "Monasit Bangka dan Alternatif Proses Pengolahannya," *J. Metal.*, vol. 29.1, hal. 79–90, 2014.
- [15] S. Syarip dan S. Widodo, *Dari Pasir Monasit ke Torium: Bahan Baku Bahan Bakar Nuklir dan Radioisotop Medik*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2019.
- [16] M. Anggraini, B. Saron, dan S. Waluyo, "Uranium and Thorium Precipitation from Solution of Tin Slag II," *Eksplorium*, vol. 36, no. 2, hal. 125–132, 2015.
- [17] F. A. Cotton dan G. Wilkinson, *Kimia Anorganik Dasar*. Jakarta: Universitas Indonesia (UI Press), 1989.
- [18] Suyanti, M. V Purwani, dan A. Muhadi, "Peningkatan Kadar Neodimium Secara Proses Pengendapan Bertingkat Memakai Amonia," *Pus. Teknol. Akselerator dan Proses Bahan-BATAN*, hal. 429–438, 2008.
- [19] A. Kumari, S. Jha, J. Narayan, S. Chakravarty, dan M. Kumar, "Processing of Monazite Leach Liquor for the Recovery of Light Rare Earth Metals (LREMs)," *Miner. Eng.*, vol. 129, no. July, hal. 9–14, 2018, doi: [10.1016/j.mineng.2018.09.008](https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.09.008).
- [20] R. Prassanti, B. Y. Ani, S. Sumiarti, dan E. Dewita, "Pengendapan Torium (Th) dari Monasit Bangka Setelah Proses Solvent Impregnated Resin (SIR)," *Eksplorium*, vol. 40, no. 2, hal. 127, 2019, doi: [10.17146/eksplorium.2019.40.2.5648](https://doi.org/10.17146/eksplorium.2019.40.2.5648).
- [21] R. Chang, *Kimia Dasar Jilid 2*, 2 ed. Jakarta: Erlangga, 2006.