

Studi Pendahuluan Pengendapan *Cerium*, *Lanthanum*, dan *Neodymium* dari Larutan Klorida Menggunakan Sodium Karbonat pada Pengolahan Monasit Bangka

Preliminary Study of Cerium, Lanthanum, and Neodymium Precipitation from Chloride Solution Using Sodium Carbonate in the Processing of Bangka Monazite

Kurnia Trinopiawan^{1*}, Venny Nur Avifa², Yarianto Sugeng Budi Susilo¹, Ersina Rakhma¹,
Yayat Iman Supriyatna³, Iwan Susanto⁴, Sulaksana Permana⁵, Johny Wahyuadi Soedarsono⁵

¹Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir - BATAN,

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

²Departemen Kimia, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya,
Jl. Teknik Mesin No.175, Keputih, Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia, 60115

³Balai Penelitian Teknologi Mineral - LIPI,

Jl. Ir. Sutami Km. 15 Tanjung Bintang, Lampung, Indonesia, 35361

⁴Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,

Jl. Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat, Indonesia 16425

⁵Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia,
Kampus Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat, Indonesia, 16424

*E-mail: kurnia.t@batan.go.id

Naskah diterima: 3 Mei 2020, direvisi: 6 Mei 2020, disetujui: 12 Mei 2020

DOI: 10.17146/eksplorium.2020.41.1.5871

ABSTRAK

Mineral monasit sebagai mineral ikutan penambangan timah di Kepulauan Bangka Belitung mengandung unsur tanah jarang ringan, diantaranya *Cerium* (Ce), *Lanthanum* (La), dan *Neodymium* (Nd). Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh konsentrat unsur tanah jarang karbonat melalui proses pengendapan dengan sodium karbonat (Na_2CO_3), serta menentukan pengaruh konsentrasi dan volume Na_2CO_3 terhadap *recovery* pengendapan Ce, La, dan Nd. Persiapan umpan dilakukan dengan mengikuti rute proses pengolahan monasit menggunakan metode basa meliputi tahapan dekomposisi, pelarutan, dan pengendapan unsur radioaktif. *Recovery* pengendapan tertinggi untuk Ce, La, dan Nd yaitu sebesar 10,84%, 7,81%, dan 2,68% pada penggunaan Na_2CO_3 dengan konsentrasi 30% wt dan volume 55 mL.

Kata kunci: monasit, pengendapan, Ce, La, Nd, Na_2CO_3

ABSTRACT

Monazite mineral as associated mineral of tin mining in Bangka Belitung Islands contains light rare earth elements like Cerium (Ce), Lanthanum (La), and Neodymium (Nd). The objective of this study is to obtain the concentrates of rare earth carbonate through the precipitation process with sodium carbonate (Na_2CO_3) and determine the effect of concentration and volume of Na_2CO_3 on the precipitation recovery of Ce, La, and Nd. The preparation of the feed solution was carried out by following the monazite processing route using the alkali method includes the stages of decomposition, dissolution, and precipitation of radioactive elements. The highest precipitation recovery for Ce, La, and Nd are 10.84%, 7.81%, and 2.68% respectively in the use of Na_2CO_3 with a concentration of 30% wt and a volume of 55 mL.

Keywords: monazite, precipitation, Ce, La, Nd, Na_2CO_3

PENDAHULUAN

Cerium (Ce), *Lanthanum* (La), dan *Neodymium* (Nd) merupakan unsur tanah jarang ringan yang terkandung dalam mineral monasit. Saat ini, produksi unsur tanah jarang dunia didominasi oleh Cina yang memiliki sumber daya unsur tanah jarang dalam berbagai mineral seperti bastnasit dan monasit [1, 2]. Di Indonesia, monasit dapat diperoleh sebagai mineral ikutan dalam penambangan timah khususnya di Kepulauan Bangka Belitung [3]. Keberadaan unsur radioaktif seperti uranium (U) dan torium (Th) dalam monasit perlu mendapatkan perhatian dalam pengelolaannya. Pengelolaan ini dilakukan untuk mendapatkan nilai tambah melalui ekstraksi logam-logam berharga didalam monasit. Selain itu, risiko paparan radiasi dapat menimbulkan potensi bahaya bagi lingkungan sekitar lokasi penambangan [4].

Unsur tanah jarang atau *Rare-earth Element* (RE) memiliki karakteristik unggul dalam pemanfaatannya sebagai material maju, diantaranya penggunaan dalam industri komunikasi, elektronika, keramik, dan paduan logam [5]. Tingginya nilai ekonomi dan risiko ketersediaannya yang cukup tinggi menjadikan Ce, La, dan Nd, serta unsur RE lainnya dikategorikan sebagai material kritis [6–10]. Konsentrat logam tanah jarang dapat diproduksi dalam bentuk senyawa hidroksida, oksalat, ataupun karbonat. Konsentrat RE karbonat merupakan konsentrat RE yang umum diperdagangkan dengan harga berkisar antara 20000–22000 RMB/mt [11]. Penggunaan senyawa karbonat sebagai reagen pengendapan didukung oleh harganya yang relatif murah dibandingkan dengan reagen lain. Proses pemurnian lanjut dari produk RE karbonat yang terbentuk juga akan menjadi lebih mudah [12].

Studi pendahuluan yang dilakukan bertujuan untuk memperoleh konsentrat RE karbonat melalui proses pengendapan dengan

menggunakan sodium karbonat (Na_2CO_3). Selain itu, pengaruh konsentrasi dan volume Na_2CO_3 terhadap *recovery* pengendapan Ce, La, dan Nd juga dapat dipelajari.

TEORI

Monasit dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan kandungan RE yang dominan. Tiga jenis monasit yang umum ditemui antara lain monasit-(Ce), monasit-(La), dan monasit-(Nd) (Tabel 1). Konsentrat monasit yang diperoleh sebagai hasil samping penambangan timah umumnya mengandung 60% RE oksida yakni terdiri dari oksida Ce, La, Nd, Sm, Gd, Dy, dan Y [14].

Tabel 1. Nama dan rumus kimia monasit [13].

Nama	Rumus Kimia
Monasit-(Ce)	(Ce, La, Nd, Th, Y)PO ₄
Monasit-(La)	(La, Ce, Nd)PO ₄
Monasit-(Nd)	(Nd, La, Ce)PO ₄



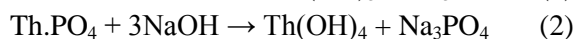
Gambar 1. Konsentrat monasit.

Ekstraksi RE dari monasit dapat dilakukan dengan dua alternatif rute proses, yaitu dijesti asam dan dekomposisi basa [2, 15]. Pada rute dijesti asam, RE akan terlarut dalam larutan sulfat, kemudian dilanjutkan dengan pemisahan individu unsur-unsur RE. Sementara itu, dalam rute dekomposisi basa, RE akan terlarut dengan asam klorida sehingga diperoleh produk berupa konsentrat RE. Kelebihan rute dekomposisi basa adalah diperolehnya produk samping

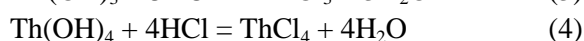
berupa sodium fosfat dengan suhu reaksi yang tidak terlalu tinggi, yaitu 140 °C. Sementara itu, pada rute dijesti asam diperlukan energi yang lebih besar karena reaksi berlangsung pada suhu tinggi (175–200 °C) [14].

Penelitian ini merupakan pengembangan dari rute dekomposisi basa untuk memperoleh produk konsentrat RE karbonat. Penelitian sebelumnya menghasilkan produk berupa konsentrat RE hidroksida. Adapun proses pembuatan umpan pada penelitian ini meliputi tahapan: dekomposisi monasit dengan NaOH, pelarutan RE dengan HCl, dan pengendapan unsur radioaktif dengan NH₄OH.

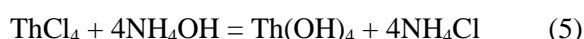
Dekomposisi adalah tahapan proses untuk mengkonversi RE.PO₄ menjadi RE(OH)₃ yang mudah larut dalam asam klorida. Melalui proses ini diperoleh produk samping berupa sodium fosfat (Na₃PO₄). Persamaan reaksi dekomposisi adalah sebagai berikut [14, 16, 17]:



Residu dekomposisi yang merupakan konsentrat RE(OH)₃ dilarutkan dengan HCl untuk memperoleh larutan RE klorida, sesuai dengan persamaan reaksi [16]:



Larutan klorida ditambahkan ammonium hidroksida untuk mengendapkan unsur radioaktif yang ikut terlarut. Persamaan reaksi pengendapan tersebut adalah sebagai berikut [16]:



Konsentrat RE dari larutan klorida dapat diendapkan menjadi senyawa karbonat pada pH tinggi. Persamaan reaksi pengendapan RE karbonat adalah sebagai berikut [12]:



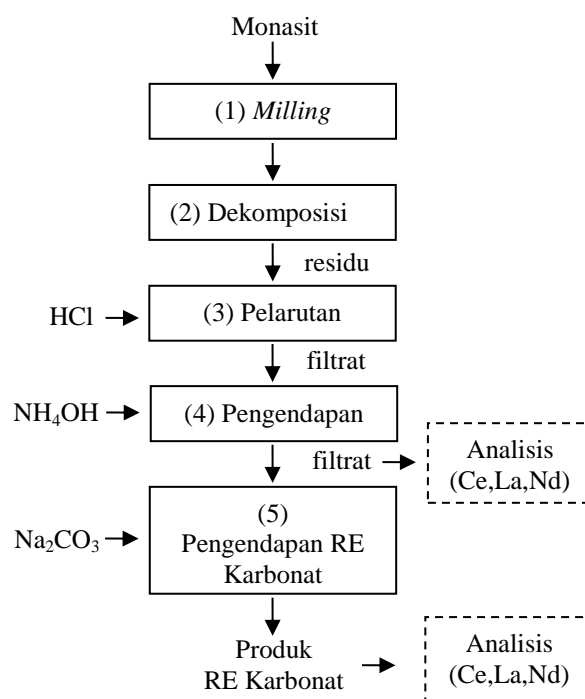
Ion karbonat dalam larutan dapat berupa CO₃²⁻ dan HCO₃⁻ tergantung pada pH larutan. Apabila larutan umpan pengendapan memiliki pH lebih rendah dari 6 dengan nilai pKa HCO₃⁻/CO₃²⁻ sebesar 10,34 maka spesi kimia yang stabil adalah H₂CO₃ sehingga persamaan reaksi menjadi [12]:



Pada persamaan (7), energi bebas Gibbs untuk pembentukan senyawa Ce karbonat adalah -761,4 kCal/mol, sementara untuk pembentukan senyawa La dan Nd karbonat masing-masing sebesar -768,5 kCal/mol dan -761,6 kCal/mol [12]. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi pengendapan ketiga unsur tersebut dengan reagen karbonat dapat berlangsung secara spontan.

METODOLOGI

Bahan baku menggunakan konsentrat monasit yang berasal dari penambangan timah di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Analisis komposisi unsur dalam monasit dilakukan dengan alat *X-Ray Fluorescence* (XRF) Spectro Xepos HE. Prosedur percobaan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir prosedur percobaan.

Pembuatan larutan umpan merupakan tahapan awal yang terdiri dari 4 proses kegiatan (Gambar 2). Proses pertama (1) adalah menghaluskan monasit dengan menggunakan *ball mill*. Selanjutnya proses kedua (2), monasit yang telah halus dimasukkan ke dalam gelas *beaker* dan dicampur dengan NaOH yang telah dilarutkan dalam air. *Slurry* diaduk dengan pengaduk digital IKA RW-20 kemudian dipanaskan di atas *hot plate* Thermolyne 4800. Selanjutnya, *slurry* difiltrasi dengan filter vakum. Pada proses ketiga (3), residu yang diperoleh kemudian dilarutkan dengan HCl menggunakan gelas *beaker* dengan peralatan yang sama seperti proses sebelumnya hingga diperoleh larutan klorida yang mengandung unsur tanah jarang. Proses keempat (4), larutan klorida ditambahkan NH_4OH untuk mengendapkan unsur radioaktif. Endapan yang terbentuk dipisahkan dari filtratnya. Larutan klorida yang diperoleh kemudian digunakan sebagai larutan umpan pada percobaan pengendapan. Komposisi unsur pada larutan umpan dianalisis menggunakan metode *Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES) pada alat PerkinElmer ICP-OES Optima 8300.

Proses kelima (5) adalah percobaan pengendapan untuk mendapatkan variasi konsentrasi dan volume larutan Na_2CO_3 . Larutan umpan sebanyak 50 mL diletakkan ke dalam gelas *beaker*. Larutan umpan diteteskan larutan Na_2CO_3 dengan variasi konsentrasi 10–30% wt hingga pH mencapai 9 dan terus diaduk dengan *magnetic stirrer*. Setelah pH mencapai 9, maka proses penambahan larutan Na_2CO_3 dihentikan dan pengadukan dilanjutkan selama 30 menit. Setelah 30 menit larutan hasil pengendapan disaring. Endapan yang dihasilkan dan diindikasikan sebagai RE karbonat kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C . Endapan dikarakterisasi menggunakan alat *X-Ray Fluorescence* (XRF) Spectro Xepos HE.

Data yang diperoleh digunakan untuk perhitungan *recovery* pengendapan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\text{Recovery (\%)} = \frac{M_e}{M_u} \times 100\% \quad (8)$$

Nilai M_e adalah massa unsur dalam endapan, dan M_u adalah massa unsur dalam larutan umpan.

Setelah didapatkan konsentrasi larutan Na_2CO_3 yang memberikan *recovery* pengendapan tertinggi, percobaan pengendapan dilanjutkan dengan variasi volume larutan Na_2CO_3 dalam rentang 10 mL hingga 55 mL. Endapan yang diperoleh dikeringkan dan dikarakterisasi menggunakan XRF.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Bahan Baku dan Larutan Umpan

Karakterisasi bahan baku monasit menggunakan XRF menunjukkan bahwa kandungan unsur RE antara lain La, Ce, Nd cukup tinggi. Unsur RE yang dominan dalam monasit adalah Ce dengan konsentrasi sebesar 18,27% (Tabel 2). Hal ini menunjukkan monasit yang digunakan dalam penelitian ini merupakan tipe monasit-(Ce).

Tabel 2. Hasil analisis monasit dengan XRF

La (%)	Ce (%)	Nd (%)	Th (%)	Unsur lain (%)
11,34	18,27	8,64	6,47	57,49

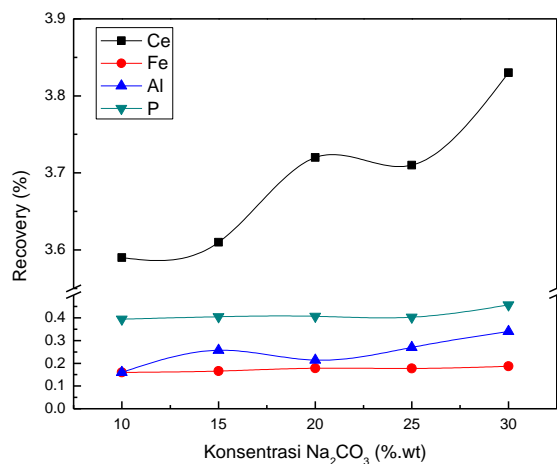
Hasil analisis ICP-OES pada larutan umpan menunjukkan bahwa larutan umpan masih mengandung RE hingga 1,012%. *Cerium* merupakan unsur dengan kadar tertinggi, diikuti La dan Nd. Pola ini konsisten terhadap nilai kadar awal monasit saat masih menjadi bahan baku (Tabel 2). Selain itu, larutan umpan juga mengandung beberapa unsur pengotor yang dominan, diantaranya Fe, Al, dan P hingga 169 ppm (Tabel 3).

Table 3. Komposisi larutan umpan pengendapan.

La (%)	Ce (%)	Nd (%)	Fe (ppm)	Al (ppm)	P (ppm)
0,628	1,012	0,519	169	161	72

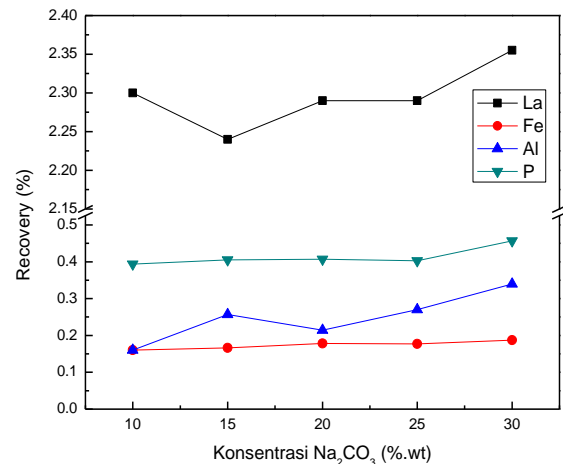
Pengaruh Konsentrasi Natrium Karbonat Terhadap Recovery Pengendapan.

Pengendapan Ce, La, dan Nd dari larutan klorida dengan Na_2CO_3 dilakukan pada variasi konsentrasi Na_2CO_3 10, 15, 20, 25, dan 30% wt (Gambar 3–5). *Recovery* Ce maupun pengotornya meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi Na_2CO_3 . *Recovery* Ce tertinggi, yaitu sebesar 3,83% diperoleh pada konsentrasi Na_2CO_3 30% wt, sementara Fe, Al, serta P yang ikut mengendap sebesar 0,19%, 0,34%, dan 0,46% (Gambar 3). Selektivitas presipitasi Ce meningkat dengan bertambahnya konsentrasi Na_2CO_3 karena peningkatan konsentrasi tidak memberikan kenaikan *recovery* unsur-unsur pengotor Fe, Al, dan P. Kenaikan konsentrasi Na_2CO_3 dari 10% ke 30% wt memberikan kenaikan *recovery* Ce sebesar 0,24%, sedangkan untuk Fe, Al, dan P sebesar 0,03%, 0,18%, dan 0,06%.

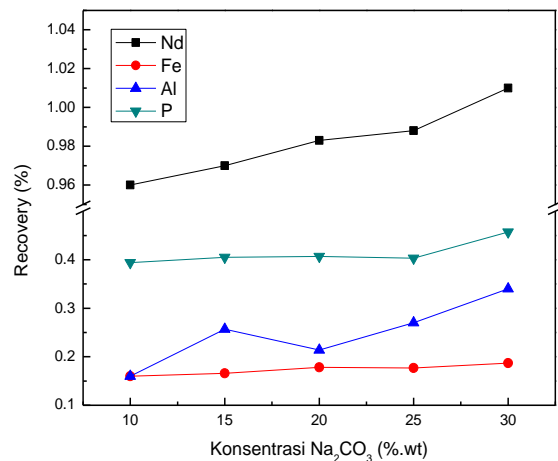
Gambar 3. *Recovery* Ce pada variasi konsentrasi natrium karbonat.

Recovery La pada variasi konsentrasi Na_2CO_3 memiliki tren yang sama dengan Ce maupun pengotornya. *Recovery* La meningkat hingga diperoleh *recovery* sebesar 2,35% pada konsentrasi Na_2CO_3 30% wt (Gambar 4). Hasil

percobaan menunjukkan bahwa presipitasi menggunakan Na_2CO_3 tidak cukup selektif untuk mendapatkan endapan La dengan sedikit pengotor Fe, Al, dan P. Pada rentang konsentrasi 10% hingga 30% wt, kenaikan *recovery* La sebesar 0,06% sedangkan kenaikan *recovery* Fe, Al, dan P sebesar 0,03%, 0,18%, dan 0,06%.

Gambar 4. *Recovery* La pada variasi konsentrasi natrium karbonat.

Sama halnya dengan Ce dan La, *recovery* Nd semakin tinggi pada konsentrasi Na_2CO_3 yang tinggi (Gambar 5). *Recovery* Nd tertinggi diperoleh pada konsentrasi 30% wt yaitu sebesar 1,01%. Presipitasi menggunakan Na_2CO_3 cukup selektif untuk Nd dengan kenaikan *recovery* mencapai 0,14% dan kenaikan *recovery* pengotor yang lebih rendah, yaitu Fe 0,03%, Al 0,18%, dan P 0,06%.

Gambar 5. *Recovery* Nd pada variasi konsentrasi natrium karbonat

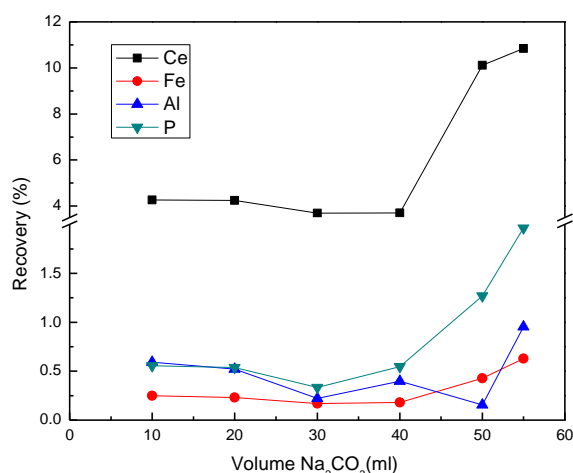
Tren *recovery* Ce, La, dan Nd pada pengendapan menggunakan larutan Na_2CO_3 memiliki kemiripan. Peningkatan konsentrasi Na_2CO_3 meningkatkan *recovery* Ce, La, dan Nd. Hal ini disebabkan ketiga unsur tersebut merupakan unsur lantanida yang memiliki kemiripan sifat fisika maupun kimia [1, 18]. Dari hasil percobaan dengan rentang konsentrasi Na_2CO_3 10% hingga 30% wt, *recovery* Ce, La, dan Nd masih terus meningkat dan belum mencapai keadaan setimbang sehingga perlu dilakukan studi lanjut dengan konsentrasi Na_2CO_3 yang lebih tinggi. Peningkatan *recovery* pengendapan yang berbanding lurus dengan kenaikan konsentrasi juga terjadi pada proses pengendapan unsur RE dari larutan klorida menggunakan NaOH [19].

Pengaruh Volume Natrium Karbonat Terhadap *Recovery* Pengendapan.

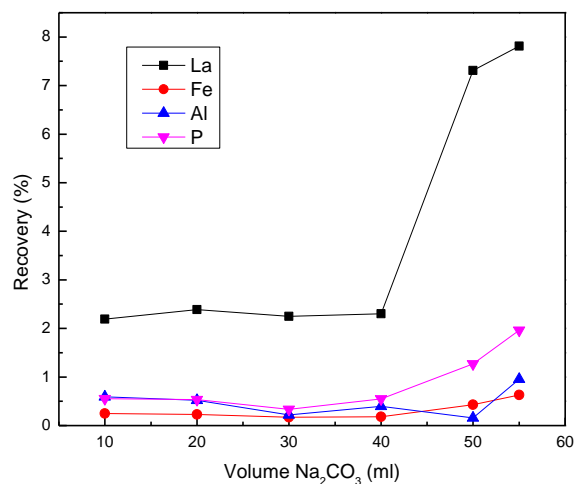
Pengendapan Ce, La, dan Nd dari larutan klorida dengan Na_2CO_3 dilakukan pada variasi volume natrium karbonat (30% wt) sebesar 10, 20, 30, 40, 50, 55 mL (Gambar 6–8). Pengendapan Ce pada volume Na_2CO_3 10 mL hingga 40 mL tidak menunjukkan perubahan *recovery* Ce yang signifikan (Gambar 6). Ketika volumenya ditambah menjadi 50 mL terjadi peningkatan *recovery* Ce yang tinggi. *Recovery* tertinggi sebesar 10,4% diperoleh pada penambahan volume Na_2CO_3 sebesar 55 mL. Kenaikan *recovery* pengotor signifikan pada penggunaan Na_2CO_3 dari 40 mL ke 50 mL pada unsur Fe dan P, namun *recovery* P mengalami kenaikan signifikan pada perubahan volume Na_2CO_3 dari 50 mL menjadi 55 mL. Dengan demikian, pengendapan Ce pada variasi volume Na_2CO_3 tidak cukup selektif.

Fenomena yang terjadi pada pengendapan La mirip dengan pengendapan Ce, yaitu *recovery* La pada volume Na_2CO_3 10 mL hingga 40 mL cenderung konstan dan naik secara signifikan pada penambahan Na_2CO_3 50

mL (Gambar 7). *Recovery* La tertinggi diperoleh pada volume Na_2CO_3 55 mL yaitu sebesar 7,81%. Pada perubahan volume Na_2CO_3 40 mL menjadi 50 mL, terjadi kenaikan *recovery* La sebesar 5,01%. Dari ketiga pengotor, dapat diamati pada rentang tersebut hanya Al yang mengalami penurunan *recovery* sedangkan Fe dan P mengalami kenaikan *recovery*.



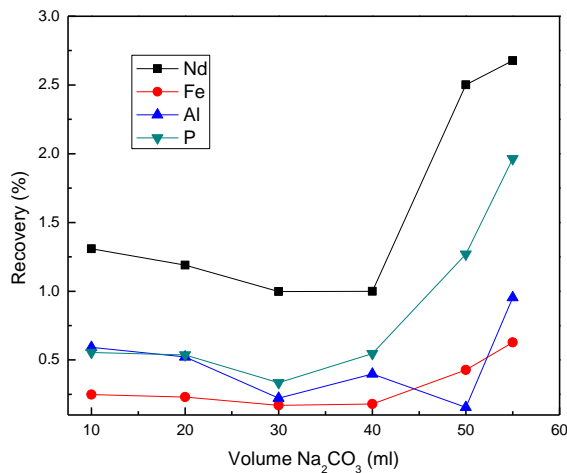
Gambar 6. *Recovery* Ce pada variasi volume natrium karbonat.



Gambar 7. *Recovery* La pada variasi volume natrium karbonat.

Berbeda dengan *recovery* Ce dan La yang cenderung konstan pada penambahan Na_2CO_3 10 mL hingga 40 mL, *recovery* Nd mengalami penurunan dari 1,31% menjadi 1% (Gambar 8). Ketika volume Na_2CO_3 ditingkatkan menjadi 50 mL terjadi peningkatan secara signifikan sebesar

1,5%. *Recovery* Nd tertinggi sebesar 2,68% diperoleh pada volume Na_2CO_3 55 mL.



Gambar 8. *Recovery* Nd pada variasi volume sodium karbonat.

Sama halnya dengan percobaan menggunakan variasi konsentrasi Na_2CO_3 , percobaan menggunakan variasi volume Na_2CO_3 pada rentang 10 mL hingga 55 mL menunjukkan *recovery* Ce, La, dan Nd masih terus meningkat dan belum mencapai keadaan setimbang sehingga perlu dilakukan studi lanjut dengan volume Na_2CO_3 yang lebih dari 55 mL. *Recovery* pengendapan yang meningkat seiring dengan penambahan volume reagen pengendap ini polanya mirip dengan hasil penelitian pengendapan menggunakan asam oksalat [18]. Proses penambahan volume reagen akan memperbanyak jumlah ion karbonat dalam sistem sehingga meningkatkan nilai Hasil Kali Kelarutan (K_{sp}) dan endapan yang terbentuk akan semakin banyak [20].

KESIMPULAN

Pengendapan Ce, La, dan Nd dari larutan klorida menggunakan sodium karbonat dapat dilakukan dengan variasi konsentrasi dan volume. *Recovery* tertinggi dihasilkan untuk Ce, La, dan Nd sebesar 10,84%, 7,81%, dan 2,68% pada konsentrasi sodium karbonat 30% wt dan volume 55 mL. Pada kondisi tersebut, unsur pengotor Fe, Al, dan P ikut mengendap sebesar 6,3%, 0,95%, dan 1,96%. Rentang konsentrasi

dan volume sodium karbonat yang digunakan belum memperoleh hasil maksimal, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan rentang lebih panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada PT TIMAH (Persero) Tbk. dalam penyediaan konsentrat monasit untuk digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. J Kim, H. S. Yoon, J. Y. Lee, S. D. Kim, S. M. Shin, S. J. Lee, A. R. Joe, S. I. Lee, S. J. Yoo, dan S. H. Kim, "Leaching Kinetics of Lanthanum in Sulfuric Acid from Rare Earth Element (REE) Slag," *Hydrometallurgy*, vol. 146, pp. 133–137, 2014.
- [2] Z. Zhu, Y. Pranolo, dan C. Y. Cheng, "Separation of Uranium And Thorium From Rare Earths for Rare Earth Production - A Review," *Mineral Engineering*, vol. 77, pp. 185–196, 2015.
- [3] K. Szamałek, G. Konopka, K. Zglinicki, dan B. Marciniak-Maliszewska, "New Potential Source of Rare Earth Elements," *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, vol. 29, no. 4, pp. 59–76, 2013.
- [4] E. Prasetyo, Y. I. Supriyatna, F. Bahfie, dan K. Trinopiawan, "Extraction of Thorium from Tin Slag Using Acidic Roasting and Leaching Method," *AIP Conference Proceedings*, Vol. 2232, No. 1, 2020.
- [5] International Atomic Energy Agency, "Thorium Resources as CO- and By-products of Rare Earth Deposits," *IAEA-TECDOC-1892*, IAEA, Vienna, 2019.
- [6] M. Gergoric, C. Ekberg, B. M. Steenari, dan T. Retegan, "Separation of Heavy Rare-Earth Elements from Light Rare-Earth Elements Via Solvent Extraction from a Neodymium Magnet Leachate and the Effects of Diluents," *Sustainable Metallurgy*, 2017.
- [7] S. Massari dan M. Ruberti, "Rare Earth Elements as Critical Raw Materials: Focus on International Markets and Future Strategies," *Resources Policy*, vol. 38, no. 1, pp. 36–43, 2013.
- [8] E. Allain, N. Kanari, F. Diot, dan J. Yvon, "Development of a Process for the Concentration of the Strategic Tantalum and Niobium Oxides from Tin Slags," *Mineral Engineering*, vol. 134, pp. 97–103, 2019.
- [9] A. N. Løvik, C. Hagelūken, dan P. Wäger, "Improving Supply Security of Critical Metals: Current Developments and Research in the EU," *Sustainable Materials and Technologies*, vol. 15, pp. 9–18, 2018.
- [10] S. Zhang, Y. Ding, B. Liu, dan C. C. Chang, "Supply and Demand of Some Critical Metals and

- Present Status of Their Recycling in WEEE,” *Waste Management*, vol. 65, pp. 113–127, 2017.
- [11] SMM Information & Technology Co, Ltd. “Rare Earth Price Chart, China Rare Earth Price Today-Shanghai Metals Market.” [Online]. Available: <https://price.metal.com/Rare-Earth>. [Accessed: 02-May-2020].
- [12] K. N. Han, “Characteristics of Precipitation of Rare Earth Elements with Various Precipitants,” *Minerals*, vol. 10, no. 2, 2020.
- [13] C. K. Gupta dan N. Krishnamurthy, “Extractive Metallurgy of Rare Earths,” *International Material Reviews*, vol. 37, no. 1, pp. 197-248, 1992
- [14] M. V Purwani dan Suyanti, “Dijesti Monasit Memakai Natrium Hidroksida,” *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah-Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*, pp. 36–41, 2014.
- [15] S. S. Abhilash, P. Meshram, dan B. D. Pandey, “Metallurgical Processes for the Recovery and Recycling of Lanthanum from Various Resources - A Review,” *Hydrometallurgy*, vol. 160, pp. 47–59, 2016
- [16] 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, pp. 115–124, 2011.
- [17] D. Beltrami, G. J. P. Deblonde, S. Bélair, dan V. Weigel, “Recovery of Yttrium and Lanthanides from Sulfate Solutions with High Concentration of Iron and Low Rare Earth Content,” *Hydrometallurgy*, vol. 157, pp. 356–362, 2015.
- [18] H. Güne, H. E. Obuz, dan M. Alkan, “Selective Precipitation of Th and Rare-Earth Elements from HCl Leach Liquor,” *Rare Metal Technology 2019*, pp. 81–86, 2019.
- [19] 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,” *Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir V*, pp. 54–60, 2000.
- [20] J. S. Schmucker, “More on Geology and Solution Equilibrium,” *Chemical Education*, vol. 59, no. 3, pp. 245–246, 1982