

Leaching Time and HNO_3 Concentration Effect on the Separation of Lanthanum and Neodymium Elements from Neodymium Concentrates

Indri Puji Astuti^{a✉}, F. Widhi Mahatmanti^a, Moch. Setyadji^b, dan Raden Sudibyo^b

^a Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang, 50229, Indonesia

^bPSTA – BATAN

Jl. Babarsari, Tambak Bayan, Caturtunggal, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55281, Indonesia

Info Artikel

Diterima Februari 2021

Disetujui Maret 2021

Dipublikasikan Mei 2021

Keywords:

Leaching

HNO_3

Lanthanum

Neodymium

Abstrak

Logam Tanah Jarang merupakan kumpulan dari 15 unsur lantanida ditambah dengan skandium dan itrium. Konsentrat neodimium merupakan hasil olahan dari logam tanah jarang dengan menggunakan *pilot plant* di PSTA-BATAN Yogyakarta. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu *leaching* dan konsentrasi HNO_3 terhadap pemisahan unsur lantanum (La) dan neodimium (Nd) dari konsentrat neodimium ($\text{Nd}(\text{OH})_3$) dengan proses kalsinasi dan *leaching*. Proses pemisahan diawali dengan kalsinasi konsentrat $\text{Nd}(\text{OH})_3$ yang berfungsi untuk mendekomposisi konsentrat neodimium oksida menjadi konsentrat neodimium oksida. Proses dilanjutkan dengan *leaching* dengan variasi waktu *leaching* (5, 10, 15 dan 20 menit) dengan menggunakan HNO_3 1 M. Hasil pemisahan La dan Nd dengan waktu optimum digunakan untuk *leaching* dengan variasi konsentrasi HNO_3 (0,5, 1, 1,5 dan 2 M). Selama proses *leaching* faktor yang dibuat tetap adalah perbandingan padatan sampel dengan larutan HNO_3 1:5, menggunakan suhu ruang dan kecepatan pengadukan 150 rpm. Unsur La dan Nd memisah paling baik pada waktu *leaching* 10 menit dan konsentrasi HNO_3 1 M dengan besarnya efisiensi *leaching* adalah 63,140% dan 56,238%.

Abstract

Rare Earth Metals is a collection of 15 lanthanide elements plus scandium and yttrium. Neodymium concentrate is a processed product from rare earth metals using a pilot plant at PSTA-BATAN Yogyakarta. The process of separating the elements of lanthanum (La) and neodymium (Nd) from neodymium concentrate ($\text{Nd}(\text{OH})_3$) by calcination and leaching processes to determine the effect of leaching time and HNO_3 concentration. The separation process begins with calcination of the $\text{Nd}(\text{OH})_3$ concentrate, which functions to decompose the neodymium oxide concentrate into neodymium oxide concentrate. The process was continued with leaching with variations in leaching time (5, 10, 15 and 20 minutes) using 1 M HNO_3 . The results of the separation of La and Nd with the optimum time were used for leaching with variations in the concentration of HNO_3 (0.5, 1, 1.5 and 2 M). During the leaching process the factor that was kept constant was the ratio of sample solids to 1: 5 HNO_3 solution, using room temperature and a stirring speed of 150 rpm. The La and Nd elements separated the best at a leaching time of 10 minutes and a concentration of 1 M HNO_3 with the magnitude of the leaching efficiency was 63.140% and 56.238%.

© 2021 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229, Indonesia

E-mail: indri197@gmail.com

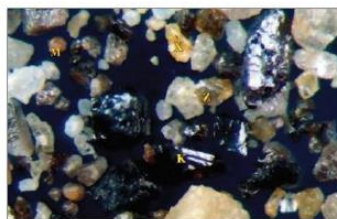
p-ISSN 2252-6951

e-ISSN 2502-6844

Pendahuluan

Logam Tanah Jarang (LTJ) atau Rare Earth Element (REE) adalah kumpulan dari unsur-unsur yang terdiri dari lutetium (Lu) skandium (Sc), iterbium (Yb), lantanum (La), samarium (Sm), serium (Ce), praseodimium (Pr), prometium (Pm), neodimium (Nd), europium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), disprosium (Dy), holmium (Ho), erbium (Er), tulium (Tm), dan itrium (Y) (Gunradi *et al.*, 2019). Unsur LTJ memiliki sifat kimia yang mirip seperti memiliki sifat reaktivitas yang tinggi dan memiliki orbital elektron 4f di kulit yang terluar. LTJ dibagi dalam 2 kelompok berdasarkan konfigurasi elektronnya, yaitu LTJ ringan dan berat (Trinopiawan *et al.*, 2016).

Kandungan unsur tanah jarang (UTJ) yang melimpah berturut-turut adalah serium (Ce), lanthanum (La) dan Neodimium (Nd) dengan kadar sebanyak $\pm 16-20\%$, $7-10\%$, dan $5-7\%$. Neodimium (Nd) merupakan unsur logam tanah jarang yang mempunyai kegunaan sangat luas dalam berbagai industri, antara lain dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan magnet, optik, dan superkonduktor (Pusparini & Handini, 2017). Xenotim, zirkondan monasit adalah mineral utama yang didalamnya mengandung LTJ dan dapat ditemukan di Indonesia. Mineral tersebut dengan mineral kasiterit akan berasosiasi dan biasanya didapatkan dari penambangan timah alluvial. Daerah timah alluvial dapat dijumpai di Kepulauan Riau dan Bangka – Belitung (Gunradi *et al.*, 2019). Gambar dari butiran monasit, xenotim dan zircon ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Endapan Plaser yang ditemukan di Kepulauan Bangka-Belitung (Rohmana *et al.*, 2006)

Metode kristalisasi, pengendapan, kromatografi pertukaran ion dan ekstraksi cair-cair adalah metode yang dapat digunakan untuk memisahkan LTJ (Biyantoro, 2006). Proses pemisahan lainnya yang dapat dilakukan adalah dengan proses *leaching* dengan menggunakan asam encer. Proses *leaching* menggunakan asam dengan konsentrasi rendah diharapkan bisa diterapkan dalam skala industri dengan adanya peningkatan kelayakan ekonomi yang dikarenakan bahan kimia yang banyak berkurang pada proses *leaching*. Pengurangan bahan kimia dapat dilakukan dengan kalsinasi yang berfungsi untuk mendekomposisi LTJ Hidroksida menjadi LTJ Oksida (Trinopiawan *et al.*, 2019).

Kalsinasi adalah pemanasan suatu sampel dengan menggunakan suhu yang tinggi namun masih tetap dibawah titik lebur sampel dengan tujuan supaya kandungan yang mudah menguap dapat hilang. Proses kalsinasi berfungsi untuk menguraikan senyawa dihidrat yang diubah menjadi oksida, untuk didapatkan ukuran partikel optimum, serta dapat terbentuknya fase Kristal (Suyanti & Purwani, 2016). Menurut Suryawan (2008) proses kalsinasi normalnya dibagi menjadi tiga proses. Proses pertama adalah proses pemanasan yang merupakan proses terjadinya pemanasan hingga suhu $700-800^{\circ}\text{C}$. Pada proses tersebut belum terjadi reaksi. Proses selanjutnya adalah proses reaksi yang terjadi hingga suhu mencapai 1000°C . Proses ketiga adalah proses pendinginan dimana material didinginkan hingga suhu menjadi 100°C .

Leaching adalah proses pelarutan logam yang diharapkan dalam konsentrat dengan menggunakan pelarut yang tepat. Proses pengambilan biasanya disertai dengan pengambilan logam-logam lainnya yang terdapat dalam bijih sehingga secara bersamaan masuk dalam larutan (Winarni *et al.*, 2019). Tahapan proses *leaching* terbagi menjadi dua, yaitu tahap pertama adalah terjadinya kontak antara larutan dengan padatan yang menyebabkan massa akan berpindah dari padatan kedalam larutan dan tahap yang kedua adalah larutan dan padatan akan memisah setelah tahap pertama selesai (Sajima & Triyono, 2017). Rasio padatan dengan larutan (S/L), ukuran partikel, konsentrasi pelarut, suhu, waktu dan kecepatan pengadukan adalah faktor-faktor yang berpengaruh dalam *leaching* (Trinopiawan *et al.*, 2016).

Efektifitas proses *leaching* dinyatakan dengan efisiensi *leaching* (E) yang merupakan perbandingan berat unsur yang berhasil di *leaching* atau berat unsur dalam filtrat (w_2) dengan berat unsur pada umpan (w_0) dikalikan 100% (Pusparini & Handini, 2017).

$$\text{Efisiensi } leaching(E) = \frac{w_2}{w_0} \times 100\% \quad (1)$$

Dalam praktiknya solut akan terdistribusikan kedalam pelarut setelah diaduk dan dibiarkan terpisah. Perbandingan antara berat unsur di *leaching* atau berat unsur dalam filtrat (w_2) dengan berat unsur

dalam residu (w_1) merupakan tetapan yang disebut koefisien distribusi (KD), yang dinyatakan dalam persamaan berikut (Purwani & Prayitno, 2013).

$$KD = \frac{w_2}{w_1} \quad (2)$$

Faktor pisah merupakan suatu ukuran dari keberhasilan proses *leaching* yang dinyatakan dengan perbandingan koefisien distribusi unsur satu dengan unsur yang lainnya. Berikut adalah persamaan untuk FP (faktor pisah) (Purwani & Prayitno, 2013)

$$FP = \frac{KD_A}{KD_B} \quad (3)$$

Metode

Proses Kalsinasi

Pada penelitian ini dilakukan kalsinasi pada konsentrat $Nd(OH)_3$ hasil olahan logam tanah jarang dengan menggunakan *pilot plant* dengan menggunakan suhu $1000^\circ C$ (Biyantoro *et al.*, 2006). Waktu yang digunakan untuk proses kalsinasi adalah selama 3 jam (Purwani *et al.*, 2019). dan waktu kalsinasi 3 jam. Berat awal sampel konsentrat neodimium sebelum kalsinasi adalah 450 gram. Konsentrat neodimium setelah kalsinasi dianalisis dengan menggunakan XRF Epsilon 4 untuk mengetahui kadar dari sampel yang akan digunakan untuk *leaching*.

Proses Leaching

Proses *leaching* diawali dengan variasi waktu *leaching* 5, 10, 15 dan 20 menit dengan konsentrasi HNO_3 tetap, yaitu 1 M (Purwani *et al.*, 2019 ; Trinopiawan *et al.*, 2019). Proses *leaching* menggunakan perbandingan sampel dengan larutan 1:5, kecepatan pengadukan 150 rpm dan suhu ruang. Proses selanjutnya adalah *leaching* dengan variasi konsentrasi HNO_3 0,5, 1, 1,5 dan 2 M dengan menggunakan waktu tetap yang diambil dari proses *leaching* sebelumnya. Leaching menggunakan perbandingan sampel dengan larutan 1:5, kecepatan pengadukan 150 rpm dan menggunakan suhu ruang (Purwani *et al.*, 2019). Masing-masing berat sampel konsentrat neodimium yang digunakan adalah 16 gram, sehingga larutan HNO_3 yang digunakan adalah 60 ml. Setelah proses *leaching* selesai dilakukan proses analisis residu hasil *leaching* yang sudah dikeringkan dengan oven menggunakan XRF Epsilon 4 untuk mengetahui kadar masing-masing residu.

Hasil dan Pembahasan

Hasil Proses Kalsinasi

Berat konsentrat neodimium hasil kalsinasi adalah sebanyak 312,43 gram. Menurut Trinopiawan *et al.* (2019), pada proses kalsinasi presentase berat hasil kalsinasi LTJ Hidroksida dinyatakan sebagai berikut:

$$\% \text{ Bhk} = \frac{\text{Bhk}}{\text{Berat sebelum kalsinasi}} \times 100\% \quad (4)$$

dengan Bhk adalah berat hasil kalsinasi.

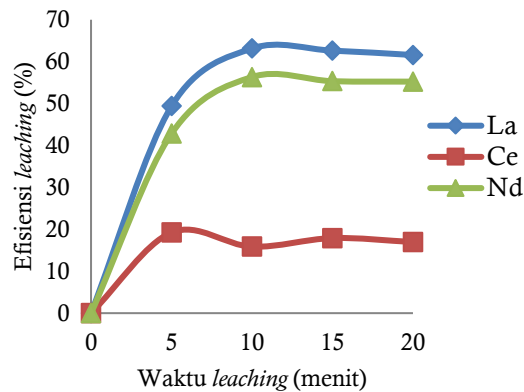
Berdasarkan Persamaan (4) didapatkan presentase berat hasil kalsinasi konsentrat neodimium adalah 69,429%. Menurut Trinopiawan *et al.* (2016), dalam konsentrat neodimium masih terdapat unsur tanah jarang yang lainnya, diantaranya adalah unsur La, Ce dan Nd. Reaksi yang terjadi adalah :



Kadar dari masing-masing unsur setelah kalsinasi adalah 0,517% untuk unsur Y, 44,431% untuk unsur La, 26,282% untuk unsur Ce, 5,273% untuk unsur Pr dan 20,373% untuk unsur Nd. Proses kalsinasi bertujuan untuk mengoksidasi unsur Ce(III) yang dimungkinkan masih terkandung dalam konsentrat neodimium dimana unsur Nd juga memiliki valensi 3. Unsur Ce(III) teroksidasi menjadi unsur Ce(IV), sehingga dalam proses *leaching* unsur tersebut tidak ikut larut atau masih tertinggal dalam residu dan unsur lainnya seperti Nd dan La yang bervalensi 3 akan masuk ke dalam filtrat (Chi *et al.*, 2006). Menurut Setyadji *et al.* (2017), serium oksida memiliki titik lebur $2400^\circ C$, lantanum oksida $2315^\circ C$ dan Neodimium (III) oksida $2233^\circ C$. Berdasarkan titik lebur tersebut, maka ketiga oksida memiliki titik lebur dibawah suhu kalsinasi sehingga tidak dapat menguap.

Hasil Proses Leaching

Kadar yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung koefisien distribusi, faktor pisah dan efisiensi *leaching* masing-masing unsur (La, Ce dan Nd). Hasil dari efisiensi *leaching* unsur La, Ce dan Nd pada berbagai waktu *leaching* dengan konsenrasi HNO_3 1 M ditampilkan dalam Gambar 3 berikut ini :



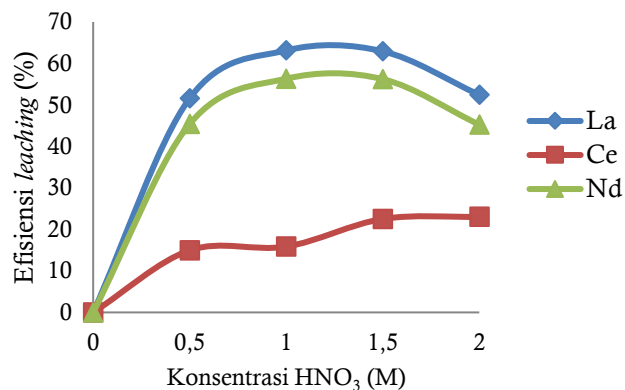
Gambar 2. Efisiensi *leaching* unsur La Ce dan Nd pada berbagai waktu *leaching*

Berdasarkan Gambar 2 didapatkan bahwa unsur La dan Nd relatif meningkat pada waktu *leaching* 10 menit dengan ditunjukkan dengan grafik yang semakin meningkat dan setelah itu efisiensi *leaching* relatif sudah tidak naik dengan efisiensi *leaching* secara berturut-turut adalah 63,14 % dan 56,33 %. Waktu *leaching* 10 menit tersebut dipilih sebagai waktu optimum untuk *leaching* unsur La dan Nd karena selain memiliki efisiensi *leaching* tertinggi, pada kondisi tersebut memiliki koefisien distribusi yang tinggi dibanding dengan waktu *leaching* yang lainnya yaitu unsur La = 1,71 sedangkan unsur Nd = 1,29, selain itu unsur La maupun Nd memisah relatif baik dengan unsur lainnya, yaitu dengan faktor pisah unsur La dengan Ce dan La adalah 9,09 dan 0,15 sedangkan unsur Nd dengan Ce dan La adalah 0,75 dan 6,84.

Menurut Biyantoro (2006), menyatakan bahwa waktu pengadukan pada proses *leaching* memiliki pengaruh yang besar antara sampel dengan larutan HNO_3 sampai distribusi unsur tanah jarang mencapai keseimbangan. Pada waktu *leaching* kurang dari 10 menit belum mencapai keseimbangan, dan baru mencapai keseimbangan pada waktu *leaching* 10 menit. Semakin lama waktu *leaching* menyebabkan semakin tercukupinya kontak antara sampel dengan pelarut, namun waktu tidak akan berpengaruh lagi setelah tercapainya kesetimbangan karena padatan yang terlepas kedalam filtrat sudah konstan (Sajima & Triyono, 2017; Purwani & Prayitno, 2013).

Unsur Ce menunjukkan efisiensi *leaching* yang lebih rendah dibandingkan dengan unsur La dan Nd, karena *leaching* dengan konsentrasi HNO_3 rendah menghasilkan kadar yang semakin meningkat yang disebabkan unsur Ce yang masih tertinggal dalam residu. Kadar unsur Ce pada sampel adalah 26,282% dan naik menjadi kurang lebih 30% setelah dilakukan *leaching*, sehingga efisiensi *leaching* unsur Ce lebih rendah apabila dibandingkan dengan unsur La dan Nd. Sesuai Trinopiawan *et al.* (2019), dimana dalam penelitiannya menghasilkan unsur Ce yang tidak larut dalam asam nitrat yang menyebabkan unsur Ce tertinggal dalam *solute*, sehingga unsur Ce mengalami kenaikan kadar.

Waktu *leaching* yang dipilih berdasarkan hasil penelitian adalah 10 menit dan dengan variasi konsentrasi HNO_3 0,5, 1, 1,5 dan 2 M. Besarnya efisiensi *leaching* unsur La, Ce dan Nd pada berbagai konsentrasi HNO_3 dengan waktu *leaching* 10 menit ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Efisiensi *leaching* unsur La Ce dan Nd pada berbagai konsentrasi HNO_3

Berdasarkan Gambar 3 didapatkan bahwa efisiensi *leaching* tertinggi unsur La dan Nd pada konsentrasi HNO₃ 1 M. Konsentrasi HNO₃ 1 M dipilih sebagai kondisi optimum pemisahan unsur La dan Nd. Hal tersebut karena pada konsentrasi 1 M memiliki efisiensi leaching unsur La dan Nd tertinggi yaitu 63,140% dan 56,238%, memiliki koefisien distribusi terbesar yaitu 1,71 dan 1,28, dan unsur La maupun Nd memisah relatif baik dengan unsur lainnya. Sesuai penelitian Pusparini dan Handini (2017) yang menghasilkan peningkatan KD seiring dengan pemakaian konsentrasi yang semakin besar, tetapi setelah mencapai konsentrasi tertentu nilai KD akan semakin menurun karena pada konsentrasi yang besar akan mengalami kesulitan dalam perpindahan solut.

Reaksi yang terjadi antara Nd oksida dan La oksida dengan asam nitrat adalah sebagai berikut (Chi *et al.*, 2006 ; Silva *et al.*, 2019 ; Jyothi *et al.*, 2020) :



Menurut Purwarni dan Prayitno (2013) hubungan antara konsentrasi dengan kecepatan transfer masa dapat dijelaskan dalam hukum Fick berikut ini:

$$J_{A,Z} = -DAB \frac{dc_A}{dz} \quad (8)$$

dengan $J_{A,Z}$ adalah kecepatan transfer massa. DAB adalah difusivitas massa atau perpindahan massa dari hasil reaksi antara konsentrat neodimium dengan pelarut asam nitrat, c adalah konsentrasi dan z adalah lebar lapisan antara HNO₃ dan konsentrat neodimium hasil kalsinasi. Berdasarkan hukum Fick didapatkan kecepatan transfer massa berbanding lurus dengan konsentrasi sehingga perpindahan transfer massa semakin cepat seiring dengan kenaikan konsentrasi yang digunakan, tetapi setelah mencapai kesetimbangan jumlah konsentrat neodimium hasil kalsinasi yang terlepas akan konstan dan konsentrasi tidak akan berpengaruh lagi.

Simpulan

Proses pemisahan unsur La dan Nd diawali dengan melakukan kalsinasi pada konsentrat neodimium. Proses kalsinasi diperoleh presentase berat hasil kalsinasi konsentrat neodimium adalah 69,429%. Proses dilanjutkan dengan *leaching* menggunakan variasi waktu *leaching* yang didapatkan kondisi optimum pemisahan unsur La dan Nd pada waktu 10 menit dan konsentrasi HNO₃ dengan kondisi optimum yang didapatkan adalah pada konsentrasi HNO₃ 1 M. Besarnya efisiensi *leaching* unsur La dan Nd pada waktu *leaching* 10 menit dan konsentrasi HNO₃ 1 M adalah 63,140% dan 56,238%.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terimakasih kepada PSTA - BATAN Yogyakarta yang telah menyediakan tempat atau laboratorium untuk penelitian yang didukung dengan fasilitas-fasilitas yang memadai guna mendukung proses keberhasilan penelitian dan instrumen untuk karakterisasi yang memadai sehingga penelitian dapat berjalan dengan lancar.

Daftar Pustaka

- Biyantoro, D. 2006. Pemisahan LTJ (Y, La, Ce, Nd) dari Hasil Olah Pasir Xenotim dengan Cara Ekstraksi Cair-Cair Memakai Organofosfor. *Prosiding PPI – PDIPTN*. 10 Juli 2006. 40-45.
- Biyantoro, D., Basuki, K. T., & Muhadi, A.W. 2006. Pemisahan Ce Dan Nd menggunakan Resin DOWEX 50W-X8 Melalui Proses Pertukaran Ion. *Ganendra*, 9(1), 29-35.
- Chi, R., Li, Z., Peng, C., Gao, H., & Xu, Z. 2006. Preparation of Enriched Cerium Oxide from Bastnasite with Hydrochloric Acid by Two-Step Leaching. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 37B, 155–160.
- Gunradi, R., Tampubolon, A., Pardiarto, R., Sunuhadi, D.N., Hilman, P.M., Awaludin, M., Sayekti, B., Faisal, R.M., Hatta, H.M., Sulaeman, Heditama, D.M., & Nugraha, R.S. 2019. *Potensi Logam Tanah Jarang di Indonesia*. Bandung: Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi.
- Jyothi, R.K., Thenepalli, T., Ahn, J.W., Parthi, P.K., Chung, K.W., & Lee, J.Y. 2020. Review of Rare Earth Elements Recovery from Secondary Resources for Clean Energy Technologies : Grand Opportunities to Create Wealth from Waste. *Journal of Cleaner Production*, 267: 1-26.

- Purwani, M.V. & Prayitno. 2013. Ekstraksi Konsentrat Neodimium Memakai Tri Oktil Amin. *Ganendra Journal of Nuclear Science and Technology*, 17(1): 17 -26.
- Purwani, M.V., Triyono, Setyadji, M., & Amiliana, R.A. 2019. Separation of Cerium from Neodymium Hydroxide Concentrate Through Decomposition dan Leaching Using HNO_3 . *IOP Conference Series: Ilmu dan Teknik Material*, 553(2019), doi: 10.1088 / 1757-899X / 553/1/012026
- Pusparini, W.R. & Handini, T. 2017. Ekstraksi Nd dalam Keasaman Nitrat dengan Penggaram $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ menggunakan Campuran Ekstraktan TOA – TOPO. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*: 429-436, Yogyakarta, 28 November 2017: PSTA – BATAN Yogyakarta.
- Rohmana dan Gunradi, R. 2006. *Inventarisasi Bahan Galian Pada Wilayah PETI, Daerah Kotarawaringin Barat, Kalimantan Tengah*. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.
- Sajima & Triyono. 2017. Pelindian Leburan Pasir Zirkon Kalimantan menggunakan Air Panas Bench Scale. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*, 11(1): 1-6.
- Setyadji, M., Purwani, M.V. & Suyanti, S. 2017. *Desain Konsep Pilot Plant Pengolahan REOH Menjadi Ce Oksida, La Oksida dan Konsentrat Nd Kapasitas 25 Kg/Hari*. Yogyakarta: Buku Penerbit Nasional Pustaka Pelajar.
- Silva, R.G., Morais, C.A., & Oliveira, E.D. 2019. Selective Cerium Removal by Thermal Treatment of Mixed Rare Earth Oxalate of Carbonate Obtained from Non-Purified Rare Sulphate Liquor. *Mineral Engineering*, 139: 1-15.
- Suryawan, I. 2008. Pengaruh Tebal Umpan Butiran Bola $(\text{NH}_4)_2\text{UO}_7 \cdot (\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_z$ dan Waktu Kalsinasi terhadap Densitas As U308. *Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir*: 73-77, Yogyakarta, 28 Agustus 2008: PSTA-BATAN Yogyakarta.
- Suyanti & Purwani, M. V. 2016. Kalsinasi konsentrat serium menjadi serium oksida. *Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir*, 9 Agustus 2016, 125–132.
- Trinopiawan, K., Mubarak, M. Z., Mellawati, J., & Ani, B. Y. 2016. Pelindian Logam Tanah Jarang dari Terak Timah dengan Asam Klorida Setelah Proses Fusi Alkali. *Eksplorium*, 37(1): 41–50.
- Trinopiawan, K., Purwani, M. V., Anggraini, M., & Prassanti, R. 2019. Pemisahan Cerium dari Logam Tanah Jarang Hidroksida Melalui Kalsinasi dan Pelindian Menggunakan HNO_3 . *Encer Cerium Separation from Rare Earth Hydroxide by Calcination and Leaching Method Using Dilute HNO_3 Logam Tanah Jarang (LTJ) atau rare untuk memper*. *Eksplorium*, 40(1): 63– 74.
- Winarni, S., Sunengsih, N., & Anugrah, R.I. 2019. Penerapan Desain Fractional Factorial dalam Menentukan Faktor Berpengaruh pada Eksperimen Pelindian Konsentrat Galena (PbS). *Statistika*, 19(2): 83 – 92.