

**LIMBAH PENCUCIAN BAUKSIT
SEBAGAI SUMBER UNSUR TANAH JARANG POTENSIAL;
STUDI KASUS PULAU SELAYAR, PROVINSI KEPULAUAN RIAU**

***BAUXITE WASHING RESIDUE AS A POTENTIAL RARE EARTH ELEMENT SOURCE;
CASE STUDY SELAYAR ISLAND, RIAU ISLANDS PROVINCE***

Ronaldo Irzon
Pusat Survei Geologi
ronaldoirzon18@gmail.com

ABSTRAK

Bauksit dihasilkan dari proses pelapukan batuan kaya mineral alkali, telah mulai dieksploitasi di Pulau Selayar, wilayah Kabupaten Lingga, Provinsi Kepulauan Riau yang menjadi lokasi penelitian ini. Sumber daya aluminium di daerah ini tergolong ke dalam kelompok laterit-bauksit, karena terbentuk akibat proses pelapukan dan belum pernah ditemukan keterdapatan karst. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan kadar dan karakter unsur tanah jarang pada beberapa jenis conto dari lokasi tambang bauksit di Sembuang, Pulau Selayar. Selain itu, juga bertujuan untuk mengetahui jenis mineral dan jenis bijih bauksit. Perangkat analisis pada studi ini adalah ICP-MS, XRF, dan XRD dari Laboratorium Geologi – Pusat Survei Geologi yang secara berturut-turut dimanfaatkan untuk mengetahui kelimpahan unsur tanah jarang, kadar oksida utama, dan jenis mineral lempung pada contoh. Gipsit terdeteksi sebagai mineral alumina utama dan menjadi petunjuk bahwa proses bauksitisasi berlangsung pada kondisi tropis. Walaupun batuan yang berada di *stockpile* dapat dikategorikan sebagai bauksit, namun belum memiliki kadar alumina ekonomis. Meski terindikasi lebih tinggi dari pada lima conto lainnya, kadar UTJ pada bauksit hasil pencucian berada dalam tingkat menengah. Namun, karakteristik konsentrasi Cerium (Ce) yang tinggi, sebagai bahan buangan di atas permukaan, dengan tekstur yang lunak, dan luas bidang permukaan yang besar dapat dijadikan pijakan bahwa sisa pencucian layak diproses dalam pemurnian unsur Cerium menjadi material ekonomis. Berdasarkan data anomali positif unsur Ce, hampir seluruh conto telah mengalami proses oksidasi. Komposisi plagioklas terhadap mineral lain pada conto bauksit di *stockpile*, sangat mungkin telah menurun akibat proses pencucian dan penyaringan berdasarkan pada anomali negatif unsur Europium (Eu), sedangkan conto lain justru menunjukkan anomali positif.

Kata kunci: bauksit, sisa pencucian, sumber Cerium, UTJ

ABSTRACT

Bauxite resulted by weathering process of alkaline-rich rocks, are exploited in Selayar Island, Lingga District, Riau Islands Province, where the study area is located. The aluminum resource in the studied area is classified as laterite-bauxite group due to its formation as a result of the weathering process and no karst is identified in the Island. This study aims to compare REE composition and characters in the samples from bauxite mine in Sembuang, Selayar Island. The observation is broadened on determining the type of mineral and bauxite ore. ICP-MS, XRF, and XRD in Geological Laboratory – Geological Survey Center was used to measure the REE abundances, major oxides content, and type of clay mineral, respectively. Gibbsite is the major aluminous minerals and suggests that bauxitization took place in tropical condition. Although the rock in the stockpile is categorized as bauxite, the aluminium level is below economic value. Although indicated to be highest than the other five samples, REE abundance in the washed bauxite is categorized as medium level. However,

based on its high Cerium concentration, considered as waste materials on the surface, soft texture, and large surface area concluded that the washing residue is suitable to be processed in Cerium purification into an economical material. Most of the studied samples were undergone oxidation condition based on Ce positive anomaly. The plagioclase composition to other minerals in the bauxite sample at the stockpile is likely to have decreased as a result of the washing and filtering process based on the negative Eu anomaly in the sample whilst others have positive Eu anomalies.

Keywords: *bauxite, washing residue, REE, Cerium source*

PENDAHULUAN

Alterasi dan pelapukan batuan induk yang kaya mineral alumina, diperkirakan sebagai penyebab terbentuknya deposit bauksit (Mamengko 2013; Abedini dan Calagary, 2014). Pada sisi lain, pelapukan lebih disebabkan oleh interaksi batuan terhadap lingkungan permukaan terutama panas matahari dan air meteorik. Secara umum, mineral yang kaya Al dan Fe ini terbagi dalam tiga kelompok: tipe laterit, tipe karst, dan tipe Tikhvin (Karadag dkk., 2009; Wang dkk., 2010; Esmaily dkk., 2010; Abedini dan Calagary, 2014; Borra dkk., 2016). Proses pelapukan *in situ* pada batuan alumina-silikat menghasilkan endapan bauksit tipe laterit dan lebih sering ditemukan dari hasil pelapukan granit, rhyolit, dan karbonatit (Cocker., 2012).

Deposit tipe karst terjadi pada permukaan batuan karbonat, khususnya batugamping dan dolomit, sedangkan tipe Tikhvin terbentuk pada permukaan batuan alumina-silikat yang telah tererosi dan merupakan produk erosi dari endapan bauksit jenis laterit. Lebih jauh, tipe karst dibedakan berdasarkan komposisi mineral dan mode tipe pembentukannya menjadi beberapa sub tipe, yaitu: tipe Kazachstonian, Timan, Ariège, Tula, dan Mediterranean (Deady dkk., 2014). Berdasarkan lokasi geografis, Abedini dan Calagary (2014) membaginya menjadi tujuh sabuk bauksit, yaitu: Pantai Mediterania, Cekungan Karibia, Ural-Siberia-Asia Tengah, Asia Timur, Iran-Himalaya, Pasifik Tenggara, dan Amerika Utara.

Gibsit ($\text{Al}(\text{OH})_3$), bohmit ($\text{c-AlO}(\text{OH})$), dan diaspor ($\text{a-AlO}(\text{OH})$) merupakan mineral utama pada bijih bauksit selain mineral minor seperti: hematit (Fe_2O_3), goetit ($\text{FeO}(\text{OH})$), kuarsa (SiO_2), rutil (TiO_2), dan kaolinit ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) (Borra dkk., 2016). Penelitian bauksit terdahulu lebih terfokus pada kandungan Al dan Fe saja, kini diperluas dengan melibatkan unsur tanah jarang (UTJ). Kelimpahan UTJ dapat dimanfaatkan untuk memahami pola, mobilitas unsur saat pelapukan, dan keadaan lingkungan maupun pembentukan bauksit (Mordberg dkk., 2000; Karadag dkk., 2009; Wang dkk., 2010; Abedini dan Calagary, 2014; Ellahi dkk., 2016; Kalatha dkk., 2017). Deposit tipe karst disimpulkan mengandung UTJ lebih besar daripada tipe laterit (Borra dkk. 2016). Bijih bauksit diolah melalui proses Bayer dengan prinsip pemisahan orde bauksit dan pengotornya, setelah pelarutan dengan sodium hidroksida.

Pembahasan terkait UTJ menjadi topik yang semakin menarik dengan ditemukannya fakta kelimpahan yang cukup besar pada limbah pengolahan bijih bauksit (Wagh dan Pinnock, 1987; Cocker, 2012; Deady dkk., 2014; Borra dkk., 2016). Kandungan UTJ pada limbah bauksit hasil proses pemurnian lebih unggul dari pada deposit primer karena: lebih mudah dan murah untuk diekstrak, berada dekat permukaan, dan bertekstur lunak sehingga mudah dipisahkan (Cocker, 2012).

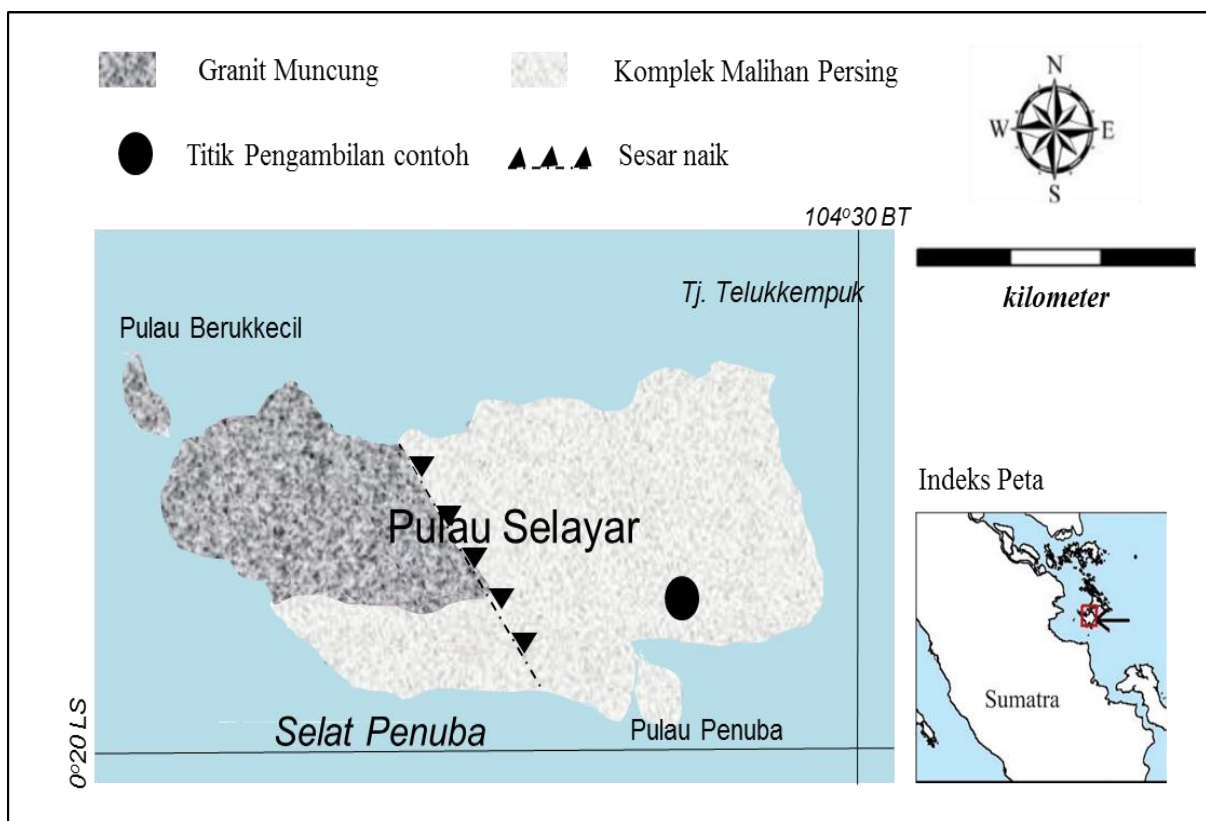
Pulau Selayar merupakan satu kecamatan di wilayah Kabupaten Lingga, Provinsi Kepulauan Riau dengan keterdapatannya bauksit yang diakibatkan oleh pelapukan batuan kaya mineral alkali (Mamengko,

2013). Beberapa penelitian telah dilaksanakan di Pulau Selayar (Irzon, 2015; Irzon dkk., 2016) namun karakter UTJ pada daerah mineralisasi bauksit belum pernah dibahas. Lokasi penelitian terletak di area penambangan bauksit Sembuang, di pantai selatan Pulau Selayar. Identifikasi perbandingan kandungan UTJ pada beberapa jenis conto pada wilayah tambang bauksit, termasuk bahan sisa pencucian, merupakan tujuan utama studi, dan diperluas terhadap kimia dan jenis mineral yang terdapat pada bauksit.

GEOLOGI

Pulau Selayar tersusun oleh Kompleks Malihan Persing dan Granit Muncung. Kompleks Malihan Persing terdiri dari perselingan batusabak dengan urat-urat

kuarsa berumur Perm. Satuan batuan malihan tersebut kemudian diintrusi oleh Granit Muncung yang terdiri dari granit dan granodiorit pada masa Trias. Kedua unit batuan juga terdapat di dua pulau besar lain, yakni: Pulau Lingga dan Pulau Singkep. Lebih jauh, Granit Muncung kemudian dibagi menjadi dua kelompok berdasarkan karakter geokimia dan data mikroskopis, yaitu: a) fasies yang berada di baratdaya Pulau Lingga dan di barat Pulau Selayar; dan b) fasies yang terletak di Pulau Singkep (Irzon, 2015). Pulau Selayar juga dibelah oleh sesar naik berarah baratlaut - tenggara yang terbentang dari Kota Dabo di Pulau Singkep hingga ke pantai utara Pulau Selayar (Sutisna dkk., 1994; Mustafa dan Usman, 2013). Geologi lokal Pulau Selayar ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Geologi Pulau Selayar yang hanya terdiri dari Granit Muncung dan Kompleks Malihan Persing. Lokasi Penelitian berada di bagian selatan Pulau Selayar (Sumber: Sutisna dkk., 1994)

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi penambangan bauksit Sembuang, di Pulau Selayar, Provinsi Kepulauan Riau, dipilih untuk mempelajari kadar unsur tanah jarang beberapa jenis conto. Conto pertama (TRS 70 A) diambil dari lapisan tanah berupa lempung halus yang mayoritas berwarna coklat kekuningan dengan sedikit fragmen batuan besi coklat kemerahan dan pasir halus. Satu singkapan dengan ketinggian sekitar 3 meter dapat dijumpai pada lokasi tambang ini. Batuan induk dari singkapan ini tidak tersingkap, namun lokasi singkapan berada pada domain Kompleks Malihan Persing. Lapisan tanah paling atas pada singkapan tersebut sukar untuk dicapai sehingga tidak diambil sebagai conto. Pada singkapan tersebut terdapat rekahan-rekahan yang nampaknya telah terisi oleh larutan hidrotermal berwarna gelap. Bagian yang telah terisi oleh larutan sekunder tersebut diambil sebagai conto TRS 70 B, berikut bagian lempungan di sekitarnya yang berwarna coklat kemerahan (TRS 70 C). Batuan yang tumbuh laksana kumpulan anggur dapat dijumpai pada jarak kira-kira 1 m dari permukaan (TRS 70 D) (Gambar 2a), sebagai indikasi pembentukan bauksit. Sekitar 100 m dari singkapan tersebut dapat dijumpai *stockpile* bauksit yang telah dicuci dan diambil juga sebagai conto (TRS 70 E). Kurang dari 50 meter tumpukan *stockpile* bauksit ditemukan kolam pencucian bauksit (Gambar 2b) dengan lumpur merah kecoklatan yang dianggap sebagai sisa pencucian bauksit (TRS 70 F). Sketsa sederhana pada lokasi studi dapat dilihat pada Gambar 3.

Seluruh conto dibawa ke Laboratorium Geologi – Pusat Survei Geologi untuk dipreparasi dan dianalisis. Conto TRS 70 B diperiksa dengan metode XRD (*X-Ray Diffraction*). Karena penelitian ini menitik-beratkan pada kandungan UTJ, seluruh conto dianalisis dengan *Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry* (ICP-MS) X-type dari Thermo Elemental. Conto berupa batuan berbentuk kumpulan anggur yang dianggap sebagai hasil pembentukan bauksit (TRS 70 D) diperiksa

kadar oksida utamanya untuk diperbandingkan dengan conto bauksit di *stockpile* (TRS 70 E) menggunakan *X-ray Fluorescence* (XRF). Karena conto bukan merupakan batuan beku segar, maka conto tidak perlu dicuci terlebih dahulu sebelum dikeringkan di bawah terik matahari (Irzon, 2017). Conto kemudian digerus dan ditumbuk untuk mendapatkan ukuran dengan besar butir setidaknya 200 *mesh* sebelum preparasi kimia. Prosedur preparasi hingga pengujian kimia XRF dan ICP-MS mengadaptasi penelitian sebelumnya (Takahashi, 2015; Irzon, 2015; Irzon dkk., 2016; Irzon, 2017).

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL ANALISIS

Analisis XRD dilakukan untuk mengetahui jenis mineral lempungan yang terdapat pada conto. Empat conto berkarakter lempungan. Karena analisis XRD hanya bertujuan untuk mengetahui keterdapatan mineral lempung yang terkait dengan alumina, maka hanya TRS 70 B yang dipilih untuk analisis XRD. Gibsit ($\text{Al}(\text{OH})_3$) sebagai mineral lempungan utama pada TRS 70 B dikonfirmasi melalui analisis. Conto tersebut juga terdiri dari sejumlah minor kaolinit ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) dan goethit ($\text{FeO}(\text{OH})$) sehingga dapat dijadikan dasar pengayaan alumina. Indikasi gibsit sebagai mineral utama sesuai dengan lingkungan pembentukan bauksit pada daerah tropis (Esmaeily dkk., 2010). Hasil analisis XRD ditampilkan pada Gambar 4.

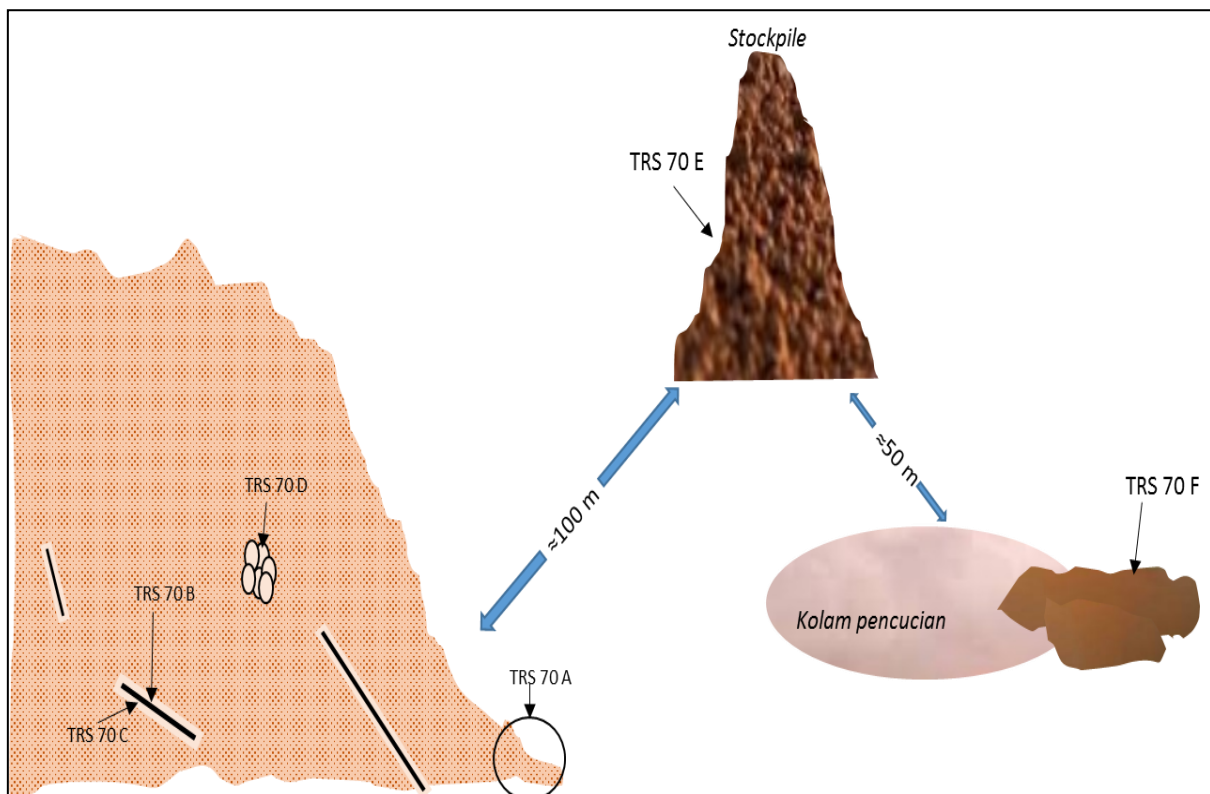
Pengukuran geokimia XRF pada studi ini dilaksanakan untuk mengetahui perubahan kadar oksida utama dari batuan yang mulai mengalami proses bauksitisasi terhadap hasil pencucian. Seluruh conto yang diambil (6 conto) dari Sembuang diperiksa kelimpahan beberapa unsur jarang dan unsur tanah jarang dengan menggunakan ICP-MS. Cerium merupakan UTJ dengan kelimpahan tertinggi pada seluruh conto dengan kisaran 2,95 ppm – 64,13 ppm dan rata-rata 23,72 ppm. Lantanum terdeteksi pada UTJ dengan kelimpahan terbanyak berikutnya, namun

tidak pada dua contoh yang terkait dengan alterasi hidrotermal (TRS 70 B dan TRS 70 C). Kandungan unsur radioaktif, yaitu uranium dan thorium berada pada tingkat rendah sampai sedang dengan

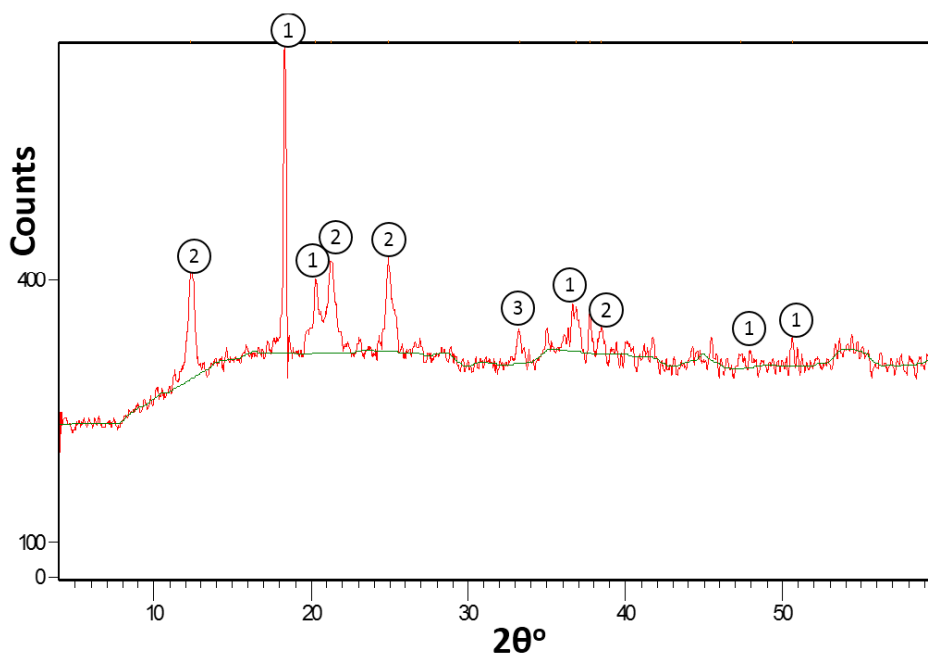
kelimpahan masing-masing 0,9 ppm s.d. 5,55 ppm dan 1,21 ppm s.d. 17,44 ppm. Hasil analisis XRF dan ICP-MS ditampilkan pada Tabel 1.



Gambar 2. Kondisi lapangan pada lokasi studi:
a) batuan yang berbentuk kumpulan seperti anggur; dan
b) kolam pada titik pencucian bauksit.



Gambar 3. Sketsa sederhana lokasi setiap contoh saat pekerjaan lapangan (tanpa skala)



Gambar 4. Hasil analisis XRD dari TRS 70 B.

Gibsit terdeteksi sebagai mineral lempung utama yang membuktikan bahwa conto telah mengalami pengayaan Alumina dan terbentuk pada wilayah tropis.

Keterangan: 1 = Gibsit, 2 = kaolinit, 3 = goetit

Tabel 1. Hasil analisis geokimia XRF dan ICP-MS pada conto dari wilayah penambangan bauksit di Pulau Selayar. LOI = *Lost on Ignition*.

Conto	TRS 70 A	TRS 70 B	TRS 70 C	TRS 70 D	TRS 70 E	TRS 70 F
Oksida Utama (%)						
SiO ₂				76,57		14,8
TiO ₂				0,485		2,5
Al ₂ O ₃				10,04		37,39
Fe ₂ O ₃				6,57		23,84
MnO				0,0468		0,0312
CaO				0,0232		0,0021
MgO				0,196		0,0659
Na ₂ O				0,144		0,126
K ₂ O				0,94		0,0892
P				0,0286		0,0683
SO ₃				0,0325		0,182
LOI				4,76		20,71
Unsur jarang dan UTJ (ppm)						
Mn	611,85	2536,50	434,70	412,95	362,85	294,00
Ba	162,84	522,84	71,38	57,56	114,48	7,41
La	11,80	2,17	t,d,	4,62	27,24	9,07
Ce	17,00	6,87	2,95	9,74	64,13	41,64
Pr	1,10	0,52	0,17	0,70	4,91	0,81
Nd	3,29	2,58	1,21	3,17	17,57	2,38
Sm	0,67	1,13	0,79	1,37	4,85	0,57

Conto	TRS 70 A	TRS 70 B	TRS 70 C	TRS 70 D	TRS 70 E	TRS 70 F
Eu	0,39	0,70	0,38	0,84	0,43	0,23
Gd	0,62	1,33	0,89	1,62	4,93	0,73
Tb	0,13	0,33	0,26	0,39	1,28	0,13
Dy	0,79	2,32	1,84	2,69	8,52	0,83
Ho	0,18	0,54	0,43	0,63	1,85	0,19
Er	0,50	1,47	1,15	1,65	4,60	0,65
Tm	0,09	0,24	0,20	0,27	0,77	0,09
Yb	0,84	1,52	1,38	1,64	4,70	0,73
Lu	0,10	0,21	0,19	0,22	0,70	0,12
Th	5,95	1,66	1,21	0,94	17,44	9,30
U	0,90	1,42	1,36	1,60	5,55	2,58
(La/Lu) _N	11,85	1,05	n,d,	2,14	4,02	8,16
Ce/Ce*	1,29	2,44	n,d,	1,70	1,78	13,68
Eu/Eu*	3,37	3,07	1,94	2,99	0,07	1,19
ΣUTJ	37,50	21,92	11,87	29,54	147,47	58,15

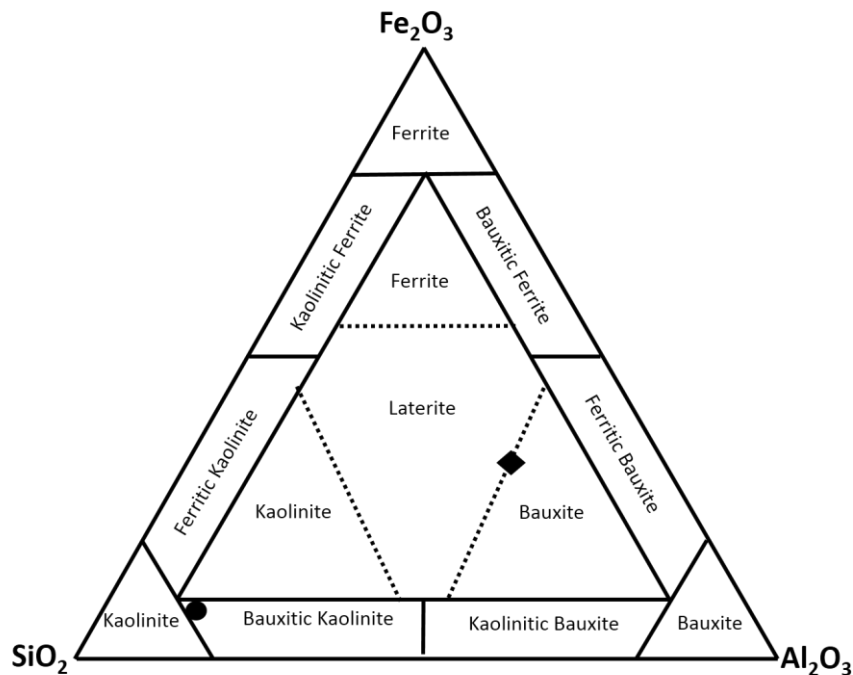
PEMBAHASAN

Komposisi Kimia

Conto berupa batuan yang membentuk kumpulan anggur (TRS 70 D) terbukti telah mulai mengalami proses bauksitisasi dalam tingkat rendah yang ditunjukkan oleh diagram segitiga SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃ (Aleva, 1994). Kandungan Silika masih sangat dominan, dengan kadar oksida alumina dan besi yang tidak begitu tinggi pada conto ini. Kadar LOI yang rendah (4,76%) menunjukkan bahwa batuan memang baru mengalami proses laterisasi tingkat rendah sehingga kadar alumina tidak tinggi, sangat berbeda dengan bauksit yang berada di *stockpile* dengan kenaikan Al₂O₃ dan Fe₂O₃ signifikan terhadap TRS 70 E yaitu 37,39% dan 23,84% secara berurutan. Fakta tersebut diperkuat dengan kenaikan drastis LOI (20,71%) yang berarti bahwa conto TRS 70 E telah mengalami proses lateritisasi kuat. Diagram segitiga SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃ mengklasifikasikan TRS 70 E sebagai bauksit, meski berada diperbatasan antara bauksit dan laterit (Gambar 5). TRS 70 E belum dapat disebut sebagai bauksit yang

bernilai ekonomis dengan kadar Al₂O₃ <45%.

Urutan kelimpahan UTJ dari rendah ke tinggi secara berurutan terdapat pada bagian lempungan di sekitar alterasi hidrotermal (TRS 70 C; 11,85 ppm), conto dengan larutan sekunder yang mengisi rekahan (TRS 70 B; 21,92 ppm), batuan yang mulai mengalami bauksitisasi (TRS 70 D; 29,54 ppm), tanah di wilayah tambang (TRS 70 A; 37,5 ppm), sisa pencucian bauksit (TRS 70 F; 58,15 ppm), dan bauksit di *stockpile* (TRS 70 E; 146,47 ppm). Unsur Cerium merupakan UTJ terbanyak pada seluruh conto dengan rerata 23,72 ppm. Unsur Lanthanum terdeteksi sebagai anggota UTJ dengan kelimpahan terbanyak berikutnya dengan rerata 10,98 ppm, kecuali pada conto yang terpengaruh langsung oleh *input* sekunder yaitu TRS 70 B dan TRS 70 C akibat alterasi hidrotermal. Kadar UTJ pada bauksit hasil pencucian masih lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah terendah pada conto Granit Muncung hasil penelitian sebelumnya (Irzon, 2015).



Gambar 5. Diagram segitiga $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (Aleva, 1994) contoh terpilih. TRS 70 D (●) terbukti telah mulai mengalami proses bauksitisasi. Meski telah melalui proses pencucian dan penyaringan, TRS 70 E (◆) belum dikategorikan bernilai ekonomis.

Proses Bayer dikenal luas sebagai metode pemurnian aluminium. Selain menghasilkan aluminium berkadar tinggi, *red mud* (lumpur merah) yang berkadar UTJ lebih tinggi dari pada bahan *input* juga dihasilkan oleh skema tersebut (Wagh dan Pinnock, 1987; Deady dkk., 2014; Abedini dan Calagari, 2014; Cocker, 2012; Borra dkk., 2016). Namun demikian, teknik ini membutuhkan *input* bahan dengan kadar alumina cukup, yakni dengan $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 \geq 10\%$, sehingga tidak menurunkan efisiensi proses secara drastis (Goncalves dkk., 2017; Rad dkk., 2017; Yilmaz dkk. 2015; Zhao dkk., 2016). Kadar SiO_2 pada contoh TRS 70 D masih cukup tinggi, yaitu 14,8% sehingga rasio $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 2,5. Dapat disimpulkan bahwa *stockpile* bauksit (TRS 70 D) hanya melalui metode pencucian dan diikuti penyaringan karena karakternya masih jauh dari standar *input* Proses Bayer. Oleh karena itu, contoh lempungan yang berada dekat kolam air (TRS 70 F) disimpulkan sebagai sisa pencucian bauksit dari pengotornya dan bukan *red mud* sisa Proses Bayer, sehingga menjelaskan

kadar UTJ pada TRS 70 F yang lebih rendah dibandingkan dengan TRS 70 E.

UTJ pada limbah pengolahan bauksit mudah dan murah untuk ditambang karena memang berada di permukaan tanah. Kemudian, UTJ pada material tersebut tergolong mudah diekstrak dan diproses disebabkan sifat bahannya yang lunak dengan permukaan bidang kontak yang luas. Oleh sebab itulah, maka telah dilakukan beragam penelitian untuk mengidentifikasi dan mengeksploitasi UTJ pada bahan buangan tersebut (Wagh dan Pinnock, 1987; Cocker, 2012; Borra dkk., 2016). Meskipun kadar UTJ pada sisa pencucian bauksit hanya berjumlah 58,15 ppm, namun unsur Cerium merupakan porsi terbesar dari contoh tersebut (71%), sehingga bahan tersebut dapat menjadi penyedia UTJ cukup potensial. Dalam bentuk murni unsur Cerium dapat dimanfaatkan sebagai agen oksidasi, campuran logam, bahan sepuhan, pemutus rantai karbon dalam penyulingan minyak, dan pewarna keramik (Silva dkk., 2008; Dahle dan Arai, 2015; Basaviah dkk., 2016).

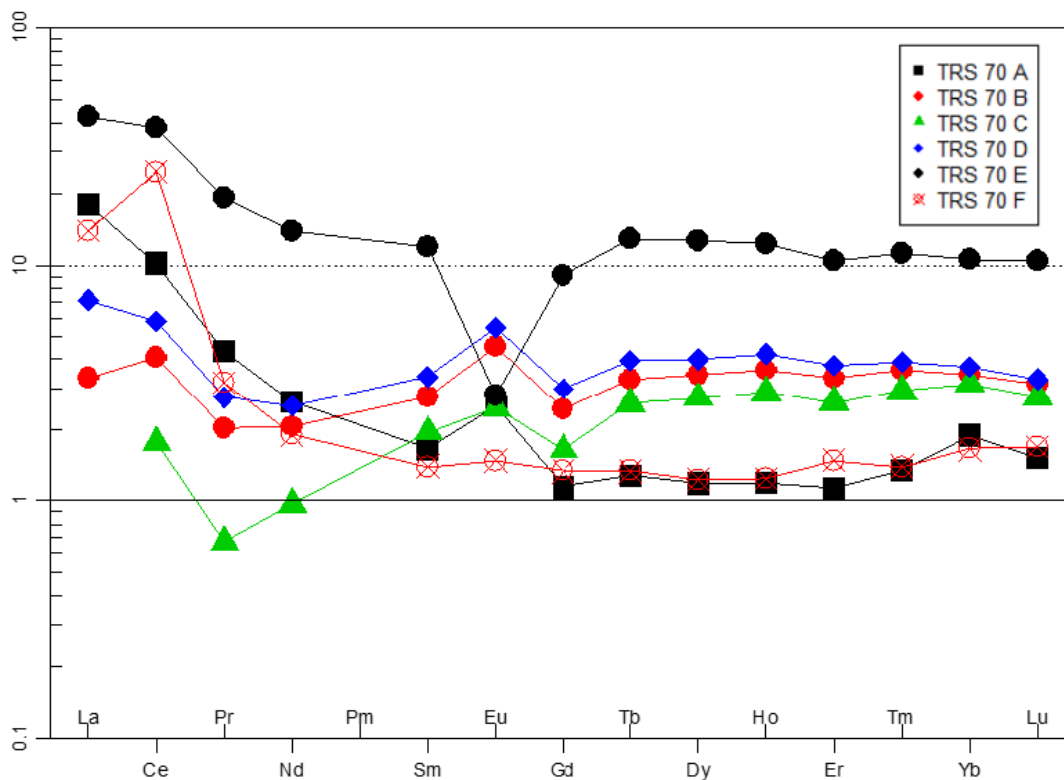
Pola Kelimpahan UTJ

Ketersediaan kadar UTJ telah banyak dimanfaatkan dalam memahami berbagai proses geologi karena bersifat koheren akibat kesamaan sifat fisika dan kimia (Zamanian dan Radmard, 2016). Oleh karena itu, kadar UTJ pada beberapa conto dari tambang bauksit di Pulau Selayar ini telah dinormalisasi terhadap nilai mantel primitif (McDonough dan Sun, 1995) untuk mempelajari proses yang terjadi pada conto, seperti tampak pada Gambar 6. Hampir seluruh UTJ menunjukkan pengayaan terhadap nilai mantel primitif hingga 300 kali, kecuali La dan Pr pada TRS 70 C. Berdasarkan pengamatan, didapati bahwa kelimpahan UTJ-ringan pada seluruh conto sedikit lebih besar daripada UTJ-berat dan tingkat fraksinasi kecil hingga sedang dengan $(La/Lu)_N < 12$. Alterasi hidrotermal tidak membawa UTJ dengan mengacu pada rendahnya kadar kelompok unsur tersebut pada TRS 70 B dan TRS 70 C. Namun demikian, larutan sekunder yang mengisi pada rekahan batuan disimpulkan sebagai pembawa Mn dan Ba yang diperkuat dengan melonjaknya kadar dua unsur tanah jarang tersebut pada TRS 70 B (Tabel 1).

Unsur Cerium hadir secara alamiah dalam dua bentuk, yakni Ce^{3+} dan Ce^{4+} . Bentuk terakhir disimpulkan memiliki potensial ion lebih besar dengan mobilitas terendah daripada UTJ-ringan lain, sehingga cenderung lebih mirip dengan UTJ-berat (Esmaily dkk., 2010). Anomali positif Ce tingkat rendah hingga menengah

diperlihatkan pada diagram laba-laba dari keenam conto, sehingga dapat dikatakan bahwa conto telah melalui proses oksidasi (Irzon, 2017; Kalatha dkk., 2017; Karadag dkk., 2009). UTJ ringan telah termobilisasi terlebih dahulu pada horizon lain, sedangkan Ce^{4+} tetap tertinggal akibat mobilitasnya yang rendah.

Plagioklas diketahui sebagai salah satu mineral pembawa Europium (Eu). Oleh karena itu, penambahan jumlah plagioklas dalam satu sistem akan menambah jumlah Eu sehingga menimbulkan anomali Eu positif atau sebaliknya (Zamanian dan Radmard, 2016; Abedini dan Calagari, 2015; Mordberg dkk., 2000). Plagioklas disimpulkan telah mengalami kristalisasi sehingga terpisahkan dari protolithnya pada proses evolusi magma dan menyebabkan anomali Eu negatif (Sun dkk., 2010; Kouske dkk., 2012; Irzon, 2015). Pada proses pelapukan, horizon pelapukan dengan anomali Eu lebih negatif dari pada batuan induk dipengaruhi oleh semakin berkurangnya jumlah plagioklas pada horizon tersebut (Little dan Lee, 2006; Banerjee dkk., 2016; Irzon dkk., 2016). Dengan menganggap tidak ada penambahan mineral apa pun, maka dapat disimpulkan bahwa komposisi plagioklas terhadap mineral lain pada conto bauksit di *stockpile* berkurang selama proses pencucian dan penyaringan berdasarkan indikasi anomali Eu negatif, sedangkan conto lain menunjukkan anomali Eu positif.



Gambar 6. Diagram laba-laba UTJ dari keenam conto di lokasi penambangan bauksit Sembuang dengan normalisasi terhadap komposisi mantel primitif (McDonough dan Sun, 1995). Hampir seluruh conto memperlihatkan anomali positif unsur Ce. Anomali Eu positif ditunjukkan oleh lima conto, kecuali bauksit dari *stockpile* dengan anomali negatif.

KESIMPULAN

Batuan yang berbentuk kumpulan anggur terbukti telah mulai mengalami proses bauksitisasi. Meski demikian, conto di *stockpile* yang telah melewati proses pencucian dan penyaringan, masih belum dapat diklasifikasikan sebagai bauksit bernilai ekonomis karena kadar Al_2O_3 -nya yang rendah. Alterasi hidrotermal yang mengisi rekahan pada singkapan di penambangan bauksit Sembuang terindikasi sebagai pembawa unsur Mn dan Ba, namun bukan pembawa UTJ.

Conto hasil pencucian terdeteksi berkomposisi UTJ tingkat menengah sedangkan conto lain berkadar rendah. Meski kelimpahan UTJ pada sisa hasil pencucian tidak sebesar kandungan pada bauksit hasil pencucian, namun conto ini sebagian besar terdiri dari unsur Cerium.

Kemudian, pertimbangan sebagai material buangan, berada di permukaan tanah, bersifat lunak, dan memiliki bidang permukaan yang luas, mengisyaratkan bahwa sisa pencucian bijih bauksit dapat diolah lebih lanjut untuk menjadi sumber penyedia unsur Cerium. Seluruh conto telah mengalami proses bersifat oksidatif dengan mengacu pada anomali positif unsur Ce. Kadar plagioklas pada conto bauksit di *stockpile* telah menurun akibat pencucian dan penyaringan, berdasarkan pada anomali negatif unsur Eu pada conto tersebut, sedangkan conto lain menunjukkan anomali Eu positif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini adalah bagian dari proyek penelitian unsur tanah jarang di Kabupaten Lingga. Penulis mengucapkan

terimakasih kepada kepala Pusat Survei Geologi atas ijin penggunaan data dalam tulisan ilmiah ini. Profesor Ildrem Syafri dari Universitas Padjadjaran yang telah membuka luas wawasan mengenai penggunaan data geokimia. Begitu juga Bapak Dr. Johannes Hutabarat dari Universitas Padjadjaran, Bapak Dr. Purnama Sendjadja dan Bapak Eko Partoyo dari Pusat Survei Geologi yang membantu dalam memahami proses geologi. Bapak Kurnia, Bapak Joko Soebandrio, dan Ibu Imtihanah telah mendukung kelancaran pengambilan contoh. Validitas data geokimia XRF dan ICP-MS terbantu oleh kinerja Ibu Irfanny Agustiany, Ibu Citra dan Ibu Indah dari Laboratorium Pusat Survei Geologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abedini, A. dan Calagari, A.A., 2014. REE geochemical characteristics of titanium-rich bauxites: the Permian Kanigorgeh horizon, NW Iran. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 23, pp.513-532.
- Abedini, A. dan Calagari, A.A., 2015. Rare earth element geochemistry of the Upper Permian limestone: the Kanigorgeh mining district, NW Iran. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 24, pp.365-382
- Aleva, G.J.J., 1994. *Laterites: Concepts, Geology, Morphology and Chemistry*. Wageningen, the Netherlands: ISIRC.
- Banerjee, A., Chakrabarti, R. dan Mandal, S., 2016. Geochemical anatomy of a spheroidally weathered diabase. *Chemical Geology*, 440, pp.124-138.
- Basaviah, K., Qarah, N.A.S., dan Abdulrahman S.A.M., 2016. Application of Cerium (IV) as an Oxidimetric Agent for the Determination of Ethionamide in Pharmaceutical Formulations. *Journal of Pharmaceutics*, 9 p.
- Borra, C.R., Blanpain, B., Pontikes, Y., Binnemans, K. dan van Gerven, T., 2016. Recovery of Rare Earths and Other Valuable Metals From Bauxite Residue (Red Mud): A Review. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 2(4), pp.365 – 386.
- Cocker, M.D., 2012. *Lateritic, supergene rare earth element (REE) deposits*, in, Conway, F.M., ed., Proceedings of the 48th Annual Forum on the Geology of Industrial Minerals, Phoenix, Arizona, April 30 - May 4, 2012. Arizona Geological Survey Special Paper #9, Chapter 4, pp. 1-18.
- Dahle, J.T. dan Arai, Y., 2015. Environmental Geochemistry of Cerium: Applications and Toxicology of Cerium Oxide Nanoparticles. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12, pp. 1253-1278.
- Deady, E., Mouchos, E., Goodenough, K., Williamson, B. dan Wall, F., 2014. *Rare Earth Elements in Karst-Bauxites: A Novel Untapped European Resource?* 1st European Rare Earth Resources Conference, Milos, 12 p.
- Ellahi, S.S., Taghipour, B., Zarasvandi, A., Bird, M.L. dan Somarin, A.K., 2016. Mineralogy, Geochemistry and Stable Isotope Studies of the Dopolan Bauxite Deposit, Zagros Mountain, Iran. *Minerals*, 6 (11), 21p.
- Esmaily, D., Rahimpour-Bonab, H., Esna-Ashari, A. dan Kananian, A., 2010. Petrography and Geochemistry of the Jajarm Karst Bauxite Ore Deposit, NE Iran: Implications for Source Rock Material and Ore Genesis. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 19, pp. 267–284
- Irzon, R., 2015. Contrasting Two Facies of Muncung Granite in Lingga Regency Using Major, Trace, and Rare Earth Element Geochemistry. *Indonesian Journal on Geoscience*, 2(1), pp. 23-33.

- Irzon, R., Syafri, I., Hutabarat, J. dan Sendjaja, P., 2016. REE Comparison Between Muncung Granite Samples and their Weathering Products, Lingga Regency, Riau Islands. *Indonesian Journal on Geoscience*, 3(3), pp. 149-161.
- Irzon, R., 2017. Pengayaan Logam Berat Mn, Co, dan Cr pada Laterit Nikel di Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 12 (2), pp.71 – 86.
- Goncalves, C.C., Mendes, P.N., Bergerman, M.G., de Souza, T.F., de Castro, C.E.V. dan Horta, D.G., 2017. Statistical Evaluation of Scrubbing and Screening Optimization in Bauxite Processing. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, 14(1), pp.24-29.
- Kalatha, S., Perraki, M., Economou-Eliopoulos, M. dan Mitsis, I., 2017. On the Origin of Bastnaesite-(La,Nd,Y) in the Nissi (Patitira) Bauxite Laterite Deposit, Lokris, Greece. *Minerals*, 7 (45), 19 p.
- Karadag, M.M., Kupeli, S., Aryk, F., Ayhan, A., Zedef, V. dan Doyen, A., 2009. Rare earthelement (REE) geochemistry and genetic implications of the Mortas bauxite deposit (Seydisehir/Konya – SouthernTurkey). *Chemie der Erde*, 69, pp.143–159
- Kouske, A.P., Suh, C.E., Ghogomu, R.T. dan Ngako, V., 2012. Na-Metasomatism and Uranium Mineralization during a Two-Stage Albitization at Kitongo, Northern Cameroon:Structural and Geochemical Evidence. *International Journal of Geosciences*, 3, pp. 258-279.
- Little, M.G. dan Lee, C.T.A., 2006. On the formation of an inverted weathering profile on Mount Kilimanjaro, Tanzania: Buried paleosol or groundwater weathering? *Chemical Geology*, 235, pp. 205–221
- Mamengko, D.V., 2013. Potensi Bauksit di Pulau Lingga Provinsi Kepulauan Riau. *Istech*, 5(2), pp.66-70.
- McDonough, W.F. dan Sun, S.S., 1995. The composition of the Earth. *Chemical geology*, 120(3-4), pp.223-253.
- Mordberg, L.E., Stanley, C.J. dan Germann, K., 2000. Rare earth element anomalies in crandallite group minerals from the Schugorsk bauxite deposit, Timan, Russia. *European Journal of Mineralogy*, 12, pp.1229 – 1243.
- Mustafa, M.A. dan Usman, E., 2013. Analisis Perbandingan Geokimia Granit dan Sedimen Dasar Laut di Pulau Singkep Bagian Timur, Provinsi Kepulauan Riau. *Jurnal Geologi Kelautan*, 11(3), pp.131-140.
- Rad, M.R., Shahhoseini, S., Janfada, M., Mirzaee, H.A., dan Kelidari, P., 2017. Investigation of parameters affecting desilication of diasporicbauxite in Jajarmmine by thermo-chemical treatment. *Journal of Mining & Enviroment*, 8(1), pp.75-81.
- Silva, F.A., Martinez, D.S., Ruiz, J.A.C., Mattos, L.V., Hori, C.E., Noronha, F.B., 2008. The Effect of The Use of Cerium-doped Alumina on The Performance of Pt/CeO₂/Al₂O₃ and Pt/CeZrO₂/Al₂O₃ Catalysts on The Partial Oxidation of Methane. *Applied Catalysis A: General*, 355(2), pp. 145-152
- Sun, X., Deng, J., Zhao, Z., Zhao, Z., Wang, Q., Yang, L., Gong, Q. dan Wang, C., 2010. Geochronology, petrogenesis and tectonic implications of granites from the Fuxin area, Western Liaoning, NE China. *Gondwana Research*, 17, pp. 642–652.
- Sutisna, K., Burhan, G., and Hermanto, B., 1994. *Peta Geologi Lembar Dabo, Sumatera, skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Takahashi, G., 2015. Sample Preparation for X-Ray Fluorescence Analysis. III. Pressed and Loose Powder Methods. *Rigaku Journal*, 31(1), pp.26-30.

- Wang, Q., Deng, J., Liu, X., Zhang, Q., Sun, S., Jiang, C. dan Zhou, F., 2010. Discovery of the REE minerals and its geological significance in the Quyang bauxite deposit, West Guangxi, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 39, pp.701–712
- Wagh, A.S. dan Pinnock, W.R., 1987. Occurrence of Scandium and Rare Earth Elements in Jamaican Bauxite Waste. *Economic Geology*, 82, pp. 757-761.
- Yilmaz, K., Birol, B., Saridede, M.N. dan Yigit, E., 2015. Pre-beneficiation of Low Grade Diasporic Bauxite Ore by Reduction Roasting. *International Journal of Materials and Metallurgical Engineering*, 9(9), pp.1084-1087.
- Zamanian, H. dan Radmard, K., 2016. Geochemistry of rare earth elements in the Baba Ali magnetite skarn deposit, western Iran – a key to determine conditions of mineralisation. *Geologos*, 22(1), pp.33-47.
- Zhao, A., Zhang, T., Guozhi, L. dan Tian, W., 2016. Kinetics of the Leaching Process of an Australian Gibbsite Bauxite by Hydrochloric Acid. *Advances in Materials Science and Engineering*, 6p.

Diterima	: 11 Januari 2018
Direvisi	: 23 Januari 2018
Disetujui	: 28 Mei 2018