

**PEMBENTUKAN BAUKSIT DAN FERIT PADA PROFIL PELAPUKAN
DI KABUPATEN LINGGA****FORMATION OF BAUXITE AND FERRITE IN WEATHERED PROFILES
ON LINGGA REGENCY****Ronaldo Irzon**Pusat Survei Geologi, Badan Geologi
ronaldoirzon18@gmail.com**ABSTRAK**

Pelapukan dapat menjadi penyebab pembentukan mineral ekonomis seperti bauksit, ferit, nikel, mangan, dan unsur tanah jarang tipe ion-adsorpsi. Wilayah Kabupaten Lingga berada di sekitar garis Khatulistiwa sehingga beriklim tropis yang rentan terhadap pelapukan. Daerah ini juga terdapat unit-unit batuan yang berumur Paleozoikum dan dekat dengan Suture Bentong Raub sehingga pelapukan intensif telah lama terjadi. Studi ini bertujuan untuk mengulas karakteristik geokimia hasil pelapukan batuan dan pembentukan deposit mineral terkait pelapukan di Kabupaten Lingga. Seluruh sampel yang dipelajari telah lapuk dengan mengacu pada parameter LOI, CIA, dan IOL. Diagram segitiga $\text{SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_{3T}\text{-Al}_2\text{O}_3$ menunjukkan bahwa ferit maupun bauksit terbentuk pada empat lokasi secara keseluruhan. Kadar Al_2O_3 tertinggi pada bauksit mencapai 60% sedangkan Fe_2O_{3T} tertinggi pada ferit adalah 69%. Rasio La/Y menunjukkan bahwa pelapukan terjadi pada lingkungan basa, sedangkan rasio Al/Ti menjadi dasar kesimpulan bahwa sampel berasal dari batuan felsik. Meskipun UTJ pada profil pelapukan lebih mudah diekstrak daripada dalam batuan beku, kadarnya dalam studi ini kurang menarik untuk dieksploitasi lebih lanjut karena jumlahnya yang berada pada rentang konsentrasi rendah hingga sedang. Studi berikutnya dapat dilakukan dengan mengambil lebih banyak sampel untuk penentuan daerah target eksplorasi.

Kata kunci: bauksit, ferit, Lingga, pelapukan**ABSTRACT**

Weathering could stimulate the formation of several economic deposits such as bauxite, ferrite, nickel, manganese, and ion-adsorption type REE. Lingga Regency is situated near the equator with a tropical climate that is vulnerable to weathering. The area is constituted of several Paleozoic rock units and is located near the Bentong-Raub Suture that sustains intensive weathering for a long time. This study aims to describe the geochemical characteristics of weathered rocks and the formation of weathering-related mineral deposits in the Lingga Regency. All samples are weathered based on LOI, CIA, and IOL parameters. The $\text{SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_{3T}\text{-Al}_2\text{O}_3$ triangular diagram shows that ferrite and bauxite are formed in totally four locations. The highest Al_2O_3 concentration of bauxite reaches 60%, while the highest Fe_2O_{3T} of ferrite is 69%. La/Y ratio defines that weathering happened in a basic environment, while Al/Ti ratio concludes that the studied samples are originated from felsic rock. REE in weathering profiles are more extractable than those in igneous rocks, but the composition in this study is not attractive for further exploitation as they are range in low to medium concentrations. Further research is required to quantify bauxite and ferrite resources and reserves in Lingga Regency.

Keywords: bauxite, ferrite, Lingga, weathering

PENDAHULUAN

Pelapukan adalah mekanisme dekomposisi batuan atau mineral yang sebagian besar terjadi di permukaan bumi. Namun demikian proses ini masih dapat terjadi pada kedalaman tertentu terhadap rekahan batuan yang masih memungkinkan adanya penetrasi oksigen dan air permukaan (Hussin dkk., 2015; Gutiérrez and Gutiérrez, 2016; Wang dkk., 2020). Pada prinsipnya terdapat dua jenis pelapukan, yaitu mekanik dan kimia (Lee & Yoon, 2017; Anderson, 2019). Pelapukan mekanik yang juga disebut sebagai pelapukan fisika menyebabkan batuan terpecah tanpa diikuti oleh perubahan komposisi secara signifikan. Pada sisi lain, perubahan kandungan kimia dan kemunculan mineral baru berasosiasi merupakan ciri pelapukan tipe kimia. Laju pelapukan dipengaruhi beragam hal, baik sifat batuan secara internal atau pengaruh lain yang bersifat eksternal. Umur batuan, struktur, tekstur, distribusi pori, permeabilitas, dan komposisi batuan induk merupakan faktor internal. Pada sisi lain, faktor pelapukan yang bersifat eksternal terdiri dari: sirkulasi air, sinar matahari, iklim, angin, pengaruh biogenik, kadar oksigen, dan kelimpahan karbon dioksida (Langman dkk., 2015).

Proses pelapukan kimia terkait erat dengan pembentukan beberapa jenis deposit mineral ekonomis. Mineralisasi bauksit dapat terjadi pada pelapukan batuan induk alkalin, seperti terdapat di Guangxi (Liu dkk., 2016). Pelapukan batuan ultramafik sering berkorelasi dengan keterdapatan deposit tipe nikel laterit (Irzon, 2017; Suryawan dkk., 2019). Batuan induk sulfida menjadi sumber pengayaan mangan jenis *supergene*. Kajian mengenai asosiasi pelapukan terhadap deposit mineral tertentu makin menarik karena Unsur Tanah Jarang (UTJ) dapat termobilisasi oleh proses ini. Beberapa penelitian di Asia Tenggara telah mengungkap keterdapatan pengayaan UTJ tipe *ion-adsorption* yang berkorelasi dengan pelapukan (Maulana dkk., 2016; Tohar dan Yunus, 2020).

Beberapa studi terdahulu menegaskan bahwa pelapukan semakin mudah terjadi pada wilayah beriklim tropis-subtropis akibat tingkat curah hujan, kelembaban, dan penetrasi sinar matahari yang baik. Lingga merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Kepulauan Riau dan terletak dekat dengan garis khatulistiwa sehingga beriklim tropis. Pulau Lingga, Pulau Singkep, dan Pulau Selayar merupakan tiga pulau utama pada kabupaten yang memiliki luas wilayah 211,772 km² tersebut. Sebagian besar wilayah Kabupaten Lingga diisi oleh batuan berumur Paleozoikum hingga permulaan Mesozoikum sehingga telah lama mengalami proses degradasi. Keterdapatan Suture Bentong-Raub sebagai garis imajiner batas kolisi lempeng Indochina-East Malaya dan lempeng Sibumasu semakin memperbesar derajat pelapukan di sana.

Mamengko (2013) mengulas kemungkinan pembentukan bauksit pada empat pulau di Kabupaten Lingga tanpa menyertakan data geokimia unsur jejak maupun UTJ. Penelitian lebih rinci dengan menyertakan oksida utama, unsur jejak dan UTJ di Kabupaten Lingga telah dilaksanakan, namun terfokus pada sampel limbah pencucian di Pulau Selayar (Irzon, 2018). Studi ini bertujuan untuk mengulas karakteristik geokimia hasil pelapukan batuan terhadap pembentukan deposit mineral pada beberapa lokasi di Kabupaten Lingga. Hasil penelitian bermanfaat bagi pemerintah daerah dan pemangku kepentingan lainnya mengenai pemilihan target eksplorasi sumber daya alam di sana.

METODOLOGI

Sampel pada studi ini adalah hasil pelapukan batuan di Kabupaten Lingga dari beberapa jenis batuan induk. Dua sampel yang diambil dari Pulau Lingga, yaitu BX 28 dan BX 82 A berada dalam domain Formasi Pancur yang berumur Kapur. BX 28 berlokasi tidak jauh sebelum pelabuhan Sungai Tenam dari horizon berwarna merah pucat yang diduga

berkadar besi tinggi (Gambar 1a), sedangkan BX 82 A berada di Desa Mentoda berwarna merah kecoklatan. Satu lokasi bekas galian pada wilayah Granit Muncung dijumpai di Penuba, utara Pulau Selayar. Lokasi tersebut diperkirakan sebagai salah satu deposit bauksit karena juga berada pada wilayah Granit Muncung dan berlokasi sekitar 3 km dari penelitian sebelumnya mengenai limbah bauksit (Irzon, 2018). BX 68 D adalah sampel batuan dari Pulau Selayar yang coklat kemerahan dengan beberapa bagian telah menjadi lempung pasiran.

Kenampakan stasiun BX 53 (Gambar 1b) di Pulau Singkep mirip dengan lokasi BX 28 di Pulau Lingga yang berupa profil pelapukan dengan keterdapatannya horizon berwarna merah pucat. Perbedaannya

adalah bahwa sampel BX 53 A diperkirakan sebagai lapukan batuan dari Kompleks Malihan Persing, sedangkan BX 28 dari Formasi Pancur. Sebuah profil pelapukan dengan dua horizon yang dapat dibedakan secara megaskopis dapat diamati di Marok Tua pada lokasi BX 57. Sampel BX 57A diambil dari horizon laterit berwarna kemerahan dari lokasi ini, sedangkan BX 57 D diperoleh dari horizon di atasnya dengan warna lebih kehitaman. Meskipun BX 57 D berasal dari horizon paling atas, namun tidak terdapat adanya tetumbuhan seperti layaknya horizon soil. Selain itu, granul bauksit (sampel BX 57 B) juga diperoleh pada lokasi tersebut seperti tampak pada Gambar 1c. Sketsa kondisi lapangan pada stasiun BX 57 dapat diamati pada Gambar 2.



(a)



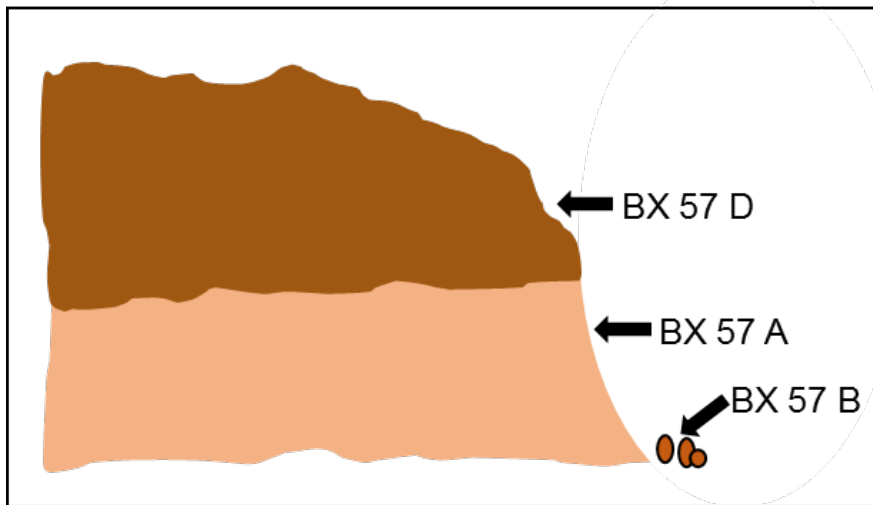
(b)



(c)

Gambar 1. Keadaan lapangan pada studi ini:

- a) keadaan stasiun BX 28 dengan horizon pelapukan berwarna merah pucat;
- b) warna horizon pelapukan pada lokasi BX 53 mirip dengan BX 28; dan
- c) granul bauksit dari daerah Marok Tua



Gambar 2. Sketsa keadaan lapangan pada stasiun BX 57 di Pulau Karimun

Studi lapangan diperlukan untuk mendata keadaan setiap singkapan secara megaskopis dan fenomena lain yang terkait dengan batuan induk maupun horizon pelapukan. Sampel yang diperiksa bukan batuan beku sehingga perlu kehati-hatian dalam pengambilan maupun pengemasannya agar terjamin homogen. Setelah tiba di laboratorium, sampel tidak perlu melalui tahap pencucian untuk menghindari pelepasan bagian sampel yang mengganggu validitas data. Sampel dikeringkan dibawah terik matahari setidaknya selama satu hari kerja. Sampel kemudian digerus hingga mendapatkan besar butir 200 mesh dan disimpan dalam wadah berbahan plastik. Wadah berbahan logam harus dihindari karena dapat mengganggu homogenitas sampel di dalamnya.

Kelimpahan oksida utama pada setiap sample diperiksa menggunakan perangkat *X-Ray Fluorescence* (XRF) sedangkan kadar unsur jejak dan unsur tanah jarang dianalisis dengan *Inductively couple plasma – Mass Spectrometry* (ICP-MS). Untuk preparasi XRF, studi ini mengadaptasi metode *pressed pellet glass disk* yang rentan terhadap keterdapatn pengotor (Irzon dkk., 2019). Studi ini mengadaptasi teknik pelarutan asam sebelum sampel dianalisis dengan perangkat ICP-MS. Dua buah *certified material standard* telah dipreparasi dan diukur dengan proses yang sama dengan

sampel untuk verifikasi hasil analisis. Prosedur preparasi hingga pengujian kimia XRF dan ICP-MS mengadaptasi penelitian sebelumnya (Takahashi, 2015; Irzon dkk., 2021). *Loss on ignition* (LOI) diperiksa dengan membandingkan berat sampel setelah dan sebelum dibakar pada temperatur 300°C (Irzon dan Abdullah, 2018).

Selain berdasarkan LOI, beberapa parameter telah dikembangkan dalam penentuan derajat pelapukan dengan mengacu kepada komposisi kimia, seperti CIA (*Chemical Index of Alteration*), PIA (*Plagioclase Index of Alteration*), CALMAG (*flux of calcium and magnesium*), dan IOL (*Index of Lateritization*). Indeks CIA dan IOL yang telah digunakan pada beberapa penelitian sebelumnya (Ferdous and Farazi, 2016; Mohanty dkk., 2016; Gebru dkk., 2020; Barry dkk., 2021) juga diadaptasi pada studi ini. CIA dihitung berdasarkan persamaan (1), sedangkan IOL diketahui melalui persamaan (2) sebagai berikut:

$$CIA = Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O) \times 100 \dots\dots 1$$

$$IOL = (Al_2O_3 + Fe_2O_{3T}) / (SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_{3T}) \times 100 \dots\dots 2$$

CaO* pada persamaan (1) adalah jumlah CaO yang terdapat pada fraksi silika dari sampel dan dikalkulasi menurut persamaan (3), yaitu:

$$CaO^* = CaO - (10/3 * (P_2O_5)) \dots\dots\dots 3$$

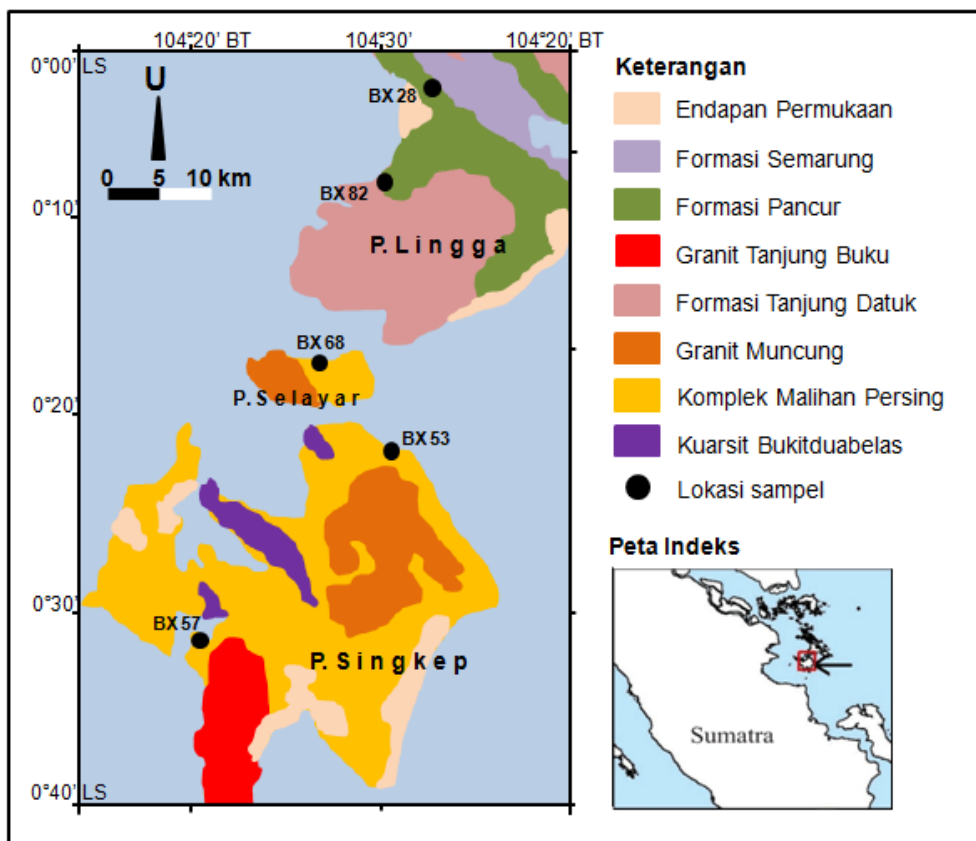
GEOLOGI

Daerah studi merupakan bagian dari Peta Geologi Lembar Dabo Skala 1:250.000 (Sutisna dkk., 1994). Unit batuan yang tersingkap di Pulau Lingga terdiri dari Formasi Tanjung Datuk, Formasi Pancur, Formasi Semarang, dan endapan Kuartar. Kuarsit Bukitduabelas, Kompleks Malihan Persing, Granit Muncung, Granit Tanjung Buku, Formasi Pancur, Formasi Semarang, dan endapan Kuartar dapat dijumpai di Pulau Singkep. Geologi Pulau Selayar relatif lebih sederhana dari dua pulau sebelumnya karena hanya terdiri dari Komplek Malihan Persing dan Granit Muncung (Gambar 3).

Formasi Tanjung Datuk terendapkan ketika Jura dan terdiri dari batupasir malih, batulempung malih, serta batulanau malih. Formasi ini hanya tersingkap di bagian baratdaya Pulau Lingga. Setelah Formasi Pancur yang terdiri dari serpih merah dengan sisipan batupasir merah dan

konglomerat telah selesai tersedimentasi pada waktu Kapur, Formasi Semarang yang tersusun dari batupasir arkosa dengan sisipan batulempung terendapkan di atasnya (Sutisna dkk., 1994). Endapan Kuartar di Pulau Lingga terdiri dari Endapan Rawa, sedangkan di Pulau Singkep juga dilengkapi dengan Aluvium.

Kuarsit Bukitduabelas dan Kompleks Malihan Persing merupakan dua unit batuan ubahan berumur Perem di Pulau Singkep. Kuarsit Bukitduabelas terdiri dari kuarsit dengan sisipan filit dan batusabak, sedangkan Komplek Malihan Persing dibangun oleh filit, batusabak, dan sekis grafit. Terdapat dua buah batuan intrusi di Singkep, yaitu Granit Muncung yang berumur Trias dan Granit Tanjungbuku yang berumur Jura. Granit Muncung tersingkap di bagian timur laut Pulau Singkep, sedangkan Granit Tanjungbuku di wilayah barat dayanya. Kondisi geologi daerah penelitian dapat diamati pada Gambar 3.



Gambar 3. Unit-unit batuan di sekitar lokasi penelitian dan titik pengambilan sampel (sumber: Sutisna dkk., 1994)

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

Oksida besi dan aluminium (Fe_2O_{3T} dan Al_2O_3) merupakan oksida utama berkelimpahan terbesar pada sampel yaitu masing-masing pada rentang 0,88-69,42% dan 8,23-57,36% secara berurutan. Seluruh sampel sudah lapuk lanjut yang dikonfirmasi oleh rendahnya kadar SiO_2 (7,68-18,17%) dan tingginya LOI (11,44%-23,92%). Oksida utama lainnya berkelimpahan minor dengan rerata <1%. Suatu sampel batuan dianggap telah lapuk dengan kadar $\text{LOI} > 2\%$ (Irzon et al., 2020; Saputro dkk., 2020; Irzon et al., 2021). Berdasarkan acuan tersebut maka seluruh sampel pada studi ini telah mengalami pelapukan dengan rentang LOI 11,40%

hingga 23,92%. Hasil analisis geokimia terlampir pada Tabel 1.

Sampel dengan nilai CIA 80-100 merepresentasikan tingkat pelapukan kuat, 50-60 sebagai pelapukan menengah, dan <50 sebagai batuan yang relatif segar (Irzon dkk., 2019; Gebru dkk., 2020). Batuan yang dianggap segar, lapuk sedang, dan lapuk kuat berada dalam rentang IOL <40, 41-85, dan 85, secara berurutan (Campodonico dkk., 2019). CIA seluruh sampel pada penelitian ini berada pada rentang 82,94-99,23 sehingga disimpulkan telah mengalami pelapukan yang kuat. Lebih jauh, indeks IOL lebih mendetilkan tingkat pelapukan pada sampel dimana hanya tiga sampel berkategori lapuk lanjut berdasarkan parameter ini, yaitu BX 28, BX 57A, dan BX 57 B.

Tabel 1. Komposisi oksida utama, unsur jarang, dan UTJ pada profil pelapukan yang diteliti dari Kabupaten Lingga

	BX 28	BX 53 A	BX 57 A	BX 57 B	BX 57 D	BX 68 D	BX 82
<i>Oksida utama (%)</i>							
SiO_2	7,68	13,18	5,05	4,57	28,05	17,37	18,17
TiO_2	0,217	0,23	1,25	1,14	1,47	1,36	0,50
Al_2O_3	8,23	9,09	53,77	60,74	35,35	57,36	30,22
Fe_2O_{3T}	69,42	64,11	10,95	2,88	12,01	0,88	34,66
MnO	0,11	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
CaO	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
MgO	0,06	0,17	0,08	0,08	0,07	0,08	0,05
Na_2O	0,27	0,14	0,14	0,14	0,24	0,14	0,21
K_2O	0,73	0,57	0,11	0,01	0,02	0,02	0,01
P_2O_5	0,81	0,87	0,11	0,04	0,08	0,01	0,02
SO_3	0,06	0,09	0,09	0,04	0,11	0,02	0,15
LOI	12,26	11,44	28,3	30,34	22,46	23,92	15,76
<i>Unsur Jejak dan Unsur Tanah Jarang (ppm)</i>							
Li	28,81	5,61	0,61	2,41	0,74	10,46	0,89
Be	2,33	21,18	0,33	1,16	0,59	0,83	0,78
Sc	14,12	16,95	9,35	25,94	18,85	1,89	26,03
V	83,97	63,07	121,88	175,78	149,82	10,93	255,42
Rb	85,54	22,65	1,78	1,95	8,43	13,67	0,76

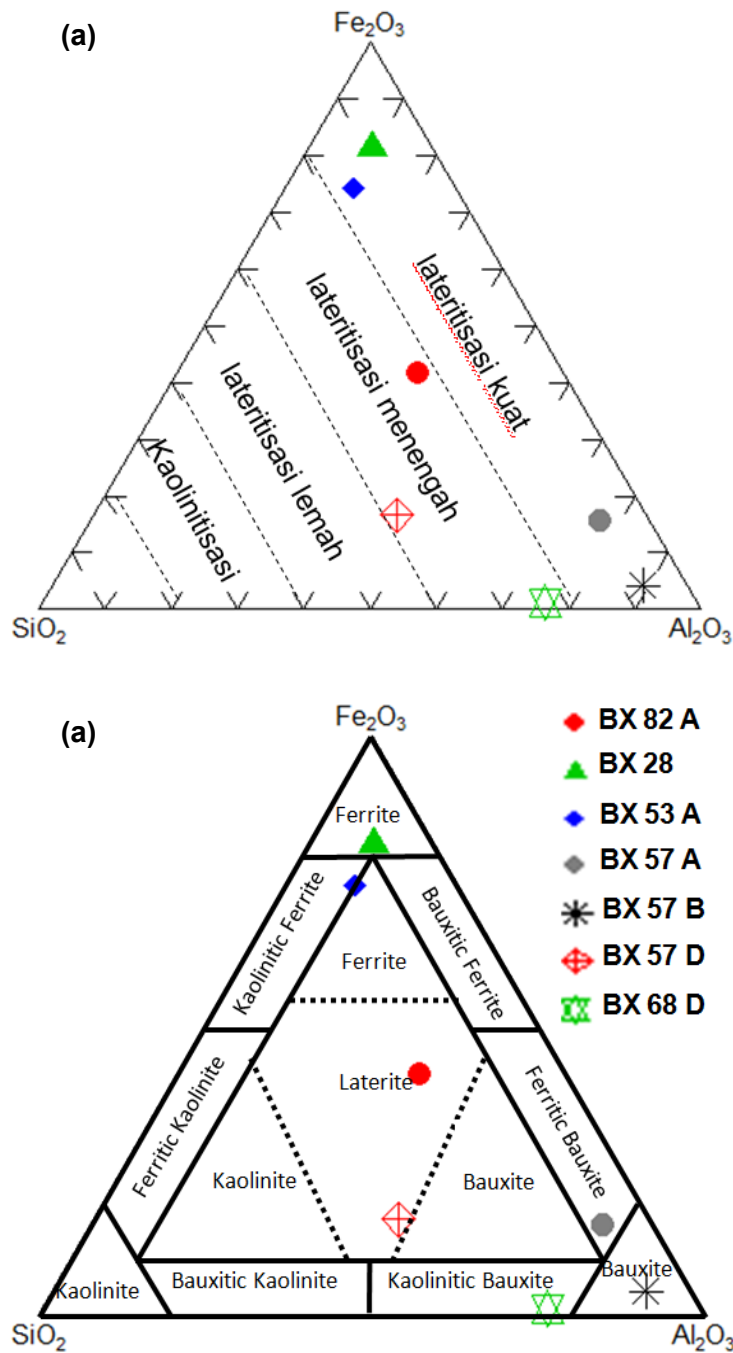
	BX 28	BX 53 A	BX 57 A	BX 57 B	BX 57 D	BX 68 D	BX 82
Sr	143,64	8,88	6,13	14,47	2,67	1,07	5,97
Y	24,05	14,32	3,03	5,55	1,43	2,59	1,92
Ba	343,20	56,58	18,52	43,96	20,64	4,78	7,24
La	31,76	6,42	7,74	21,17	1,60	4,55	9,26
Ce	59,81	9,35	14,86	25,22	5,73	15,56	16,82
Pr	7,34	1,32	1,31	3,18	0,25	0,76	1,64
Nd	30,01	4,89	4,69	9,82	0,88	2,41	5,42
Sm	6,94	1,40	1,02	1,78	0,40	0,60	1,17
Eu	1,33	0,32	0,18	0,40	0,13	0,05	0,58
Gd	6,97	1,74	0,77	1,31	0,36	0,57	0,80
Tb	0,96	0,34	0,14	0,21	0,09	0,12	0,15
Dy	5,53	2,12	0,75	1,13	0,60	0,70	0,84
Ho	1,06	0,45	0,14	0,21	0,12	0,15	0,18
Er	2,96	1,26	0,37	0,55	0,32	0,50	0,49
Tm	0,41	0,21	0,07	0,09	0,06	0,09	0,09
Yb	2,66	1,31	0,40	0,63	0,43	0,68	0,68
Lu	0,38	0,19	0,06	0,10	0,06	0,13	0,10
Th	12,64	6,45	31,98	31,86	26,71	23,23	26,16
U	3,06	2,81	9,96	4,41	8,11	2,64	3,79
ΣUTJ	158,11	31,34	32,51	65,80	11,03	26,86	38,21
CIA	82,94	89,52	98,96	99,23	97,71	99,16	97,73
IOL	91,00	84,74	92,76	93,30	62,51	77,03	78,12
La/Y	1,32	0,45	2,56	3,81	1,12	1,75	4,82
Al/Ti	33,49	34,60	37,99	47,05	21,24	37,24	53,16

PEMBAHASAN

Pembentukan Bauksit dan Ferit

Studi terdahulu menyimpulkan bahwa peningkatan intensitas pelapukan ditandai dengan penurunan kadar SiO_2 dan kenaikan kadar Al_2O_3 maupun Fe_2O_{3T} (Chen dkk., 2018). Perbandingan ketiga oksida tersebut dapat digunakan untuk mengetahui pembentukan kaolinit dan tingkat lateritisasi. Diagram segitiga SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_{3T} menunjukkan bahwa seluruh sampel yang dipelajari telah mengalami pelapukan tingkat menengah

hingga kuat seperti dapat diperhatikan pada Gambar 4a. Kemudian, komparasi kelimpahan tiga oksida tersebut juga telah dijadikan dasar oleh Aleva dkk (1994) dalam penentuan pembentukan kaolin, bauksit, dan ferit pada horizon pelapukan. Berdasarkan diagram tersebut maka seluruh sampel dari Marok tua (BX 57B, BX 57A, dan BX 57 D) dan sampel dari Selayar (BX 68 D) telah terbauksitisasi. Pada sisi lain, BX 28 dan BX 53 justru mengalami pengayaan ferit. Satu sampel lain dikategorikan sebagai laterit tanpa dominasi bauksit maupun ferit yang signifikan (Gambar 4b).



Gambar 4. a) Diagram segitiga $\text{SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ dalam penentuan tingkat pelapukan; b) Diagram segitiga $\text{SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ untuk membedakan pembentukan kaolinit, ferit, atau bauksit (sumber: Aleva (1994))

Selama proses pelapukan dan pembentukan lapisan tanah (pedogenesis) unsur-unsur seperti Ti, Al, Zr, Hf, Th, Nb, and REEs bersifat *immobile*. Pada sisi lain, Fe, Mn, Na, K, Ca, dan Mg dapat terpisahkan bahkan hilang akibat erosi maupun sedimentasi (Sahoo dkk., 2015; 2017; Liu dkk., 2016). Oleh sebab itu,

beberapa rasio kimia dimanfaatkan untuk menelusuri lebih jauh mengenai kondisi lingkungan pelapukan maupun menelusuri sifat batuan asalnya. Nilai $\text{La/Y} < 1$ merupakan indikasi pelapukan yang berlangsung kondisi asam, sedangkan $\text{La/Y} > 1$ adalah petunjuk lingkungan basa (Sinisi, 2018; Gebru dkk., 2020). Nilai La/Y

pada sampel dari Kabupaten Lingga cukup tinggi, yaitu dengan rerata 2,26. Oleh sebab itu, hampir seluruh sampel pada studi ini disimpulkan terbentuk pada kondisi lingkungan basa kecuali BX 53 A. Kemudian, rasio Al/Ti 3-11, 11-21, dan 21-70 adalah pertanda bahwa hasil pelapukan berasal dari batuan mafik, intermediate, dan felsik secara berurutan (Moraes dkk., 2020; Öztürk dkk., 2021). Rasio Al/Ti pada sampel dalam penelitian ini berada pada rentang 21,24-47,05 sehingga seluruh sampel dianggap sebagai hasil pelapukan batuan yang bersifat felsik.

Stasiun BX 57 pada studi adalah satu-satunya lokasi studi yang terdiri dari tiga sampel sehingga menarik untuk diperbandingkan komposisi kimianya. Perubahan kadar Al_2O_3 pada tiga sampel dari stasiun ini berbanding terbalik dengan komposisi SiO_2 , namun berbanding lurus dengan nilai tiga parameter tingkat pelapukan pada studi ini (LOI, CIA, dan IOL). Kemudian, kenaikan kadar Al_2O_3 disertai dengan penurunan kadar Fe_2O_{3T} . Fakta-fakta tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya mengenai profil bauksit (Chen dkk., 2018).

Prospeksi Bauksit dan Ferit

Kabupaten Lingga, terutama di Kecamatan Singkep Barat dan Kecamatan Lingga, merupakan wilayah kaya bauksit dengan jumlah cadangan logam terbukti mencapai >50 juta ton. Beberapa lokasi cadangan logam bauksit terbukti di Pulau Lingga ditampilkan pada Tabel 2. Berdasarkan komposisinya, bauksit dengan kandungan

$Al_2O_3 > 45%$, $Fe_2O_{3T} < 20%$, dan $SiO_2 < 5%$ disimpulkan layak dijadikan sumber untuk industri aluminium (Sidibe dan Yalcin, 2019). Deposit di Maroktua (57 B) sesuai dengan karakter tersebut dengan kelimpahan Al_2O_3 , Fe_2O_{3T} , dan SiO_2 masing-masing adalah 60,74%, 2,88%, dan 4,57% secara berurutan. Kadar Al_2O_3 (57,36%) sampel dari Selayar sudah memenuhi kriteria, namun komposisi SiO_2 (17,37%) masih tinggi sehingga diperlukan tahap prakonsentrasi sebelum dapat diolah lebih lanjut dalam industri alumina. Teknik penyaringan, pencucian, separasi magnetik, dan penggunaan mikroba dapat menjadi opsi untuk menurunkan kadar silika pada bauksit (Kusrini dkk., 2020).

Ferit adalah material kaya besi sehingga memiliki ragam manfaat. Ferit dibutuhkan dalam pembuatan generator dan kendaraan elektrik karena karakter ferit sebagai magnet permanen. Pada frekuensi sangat tinggi (>500 MHz), ferit menyebabkan efek *nonreciprocal* sehingga menjadi krusial dalam sistem telekomunikasi dunia (Mezher dkk., 2020). Kadar oksida besi pada deposit di Lingga berada dalam level menengah dengan rentang 64%-69%. Komposisi ini lebih rendah daripada penambangan besi di Lhoong (Aceh) maupun pasir besi di Tanjung Bayang (Sulawesi Selatan) dengan komposisi Fe_2O_{3T} 93,88% dan 79,56% secara berurutan (Rahwanto dkk., 2013; Tiwow dkk., 2018), namun hampir sama dengan pasir besi di Labuhan Haji (Aceh) yang berkadar 68% (Purnawan dkk., 2018).

Tabel 2. Beberapa lokasi cadangan logam bauksit terbukti di Kabupaten Lingga

No.	Lokasi	Kecamatan	Nama Perusahaan	Cadangan Logam Bauksit (ton)
1.	Pulau Bendahara	Singkep Barat	PT Sumber Prima Lestari	4.240.697
2.	Tinjul	Singkep Barat	PT Telaga Bintang Jaya	7.465.568
3.	Sei Harapan	Lingga	PT Telaga Bintang Jaya	4.119.399
4.	Langkap	Singkep Barat	PT Telaga Bintang Jaya	24.983.771
5.	Duara	Lingga	PT Sanmas Mekar Abadi	6.221.967
6.	Sekaneh	Lingga	PT Sanmas Mekar Abadi	3.444.872
Jumlah				50.476.273

Sumber: Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (2020)

Kelimpahan Unsur Tanah Jarang

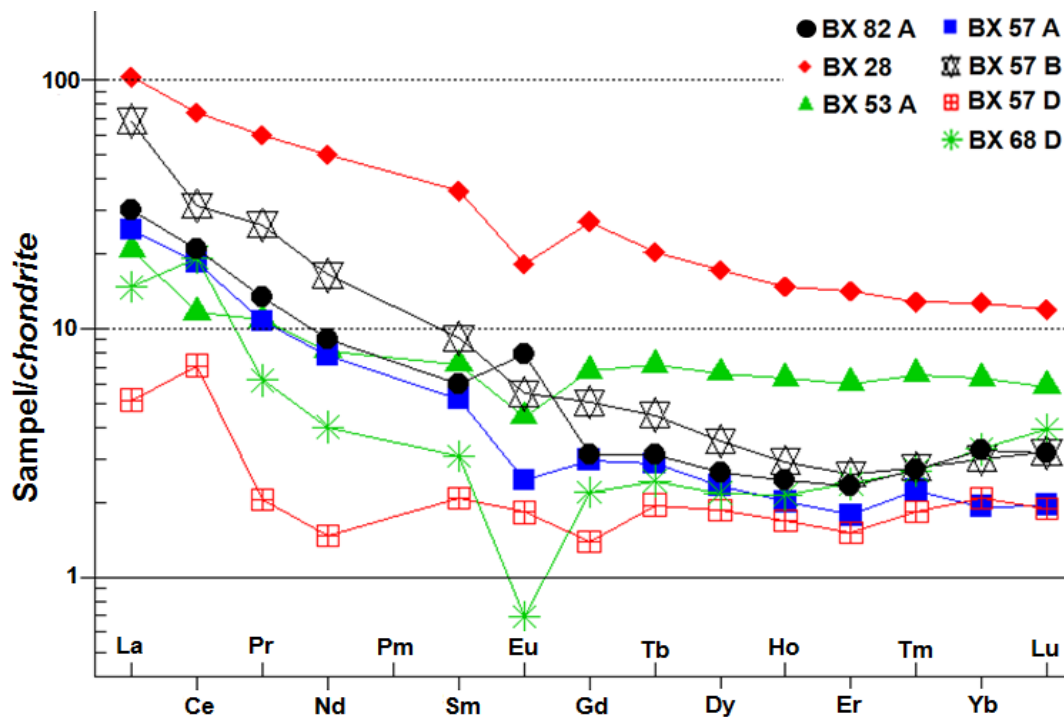
Kebutuhan mengenai unsur tanah jarang semakin meningkat karena kelompok elemen tersebut sangat krusial dalam teknologi modern. UTJ terdapat dalam jenis batuan beku, sedimen, maupun metamorf. UTJ dianggap dapat terkayakan melalui proses adsorpsi ion (*ion-adsorption*) pada pelapukan batuan beku yang relatif tinggi UTJ di wilayah tropis (Chen dkk., 2018; Gebru dkk., 2020; Ozturk dkk., 2021). Karena daerah studi berada dalam wilayah tropis, maka kemungkinan terjadinya pengayaan UTJ akibat pelapukan menarik untuk diteliti. Komposisi UTJ pada sampel berada dalam level rendah hingga moderat yaitu pada rentang 31 ppm hingga 158 ppm. Cerium, lantanum, dan neodinium adalah tiga unsur UTJ dengan kelimpahan terbesar dengan rerata masing-masing 25,39 ppm, 12,99 ppm, dan 10,68 ppm secara berurutan (Tabel 1). Dengan demikian kadar UTJ pada lokasi studi kurang prospektif untuk dipelajari lebih lanjut kecuali pada profil pembentukan ferit pada lokasi BX 28. Lonjakan komposisi UTJ pada stasiun tersebut dapat disebabkan oleh tingginya asosiasi kelompok unsur tersebut terhadap besi (Fe).

Kelimpahan UTJ pada sampel dinormalisasi terhadap komposisi kondrit (Boynton, 1984) untuk mengeliminasi efek Oddo-Harkins sehingga dapat dipelajari polanya. Jumlah UTJ pada setiap sampel berada pada 0,7 hingga 100 kali kadar *chondrite* (Gambar 5). Secara umum, sampel dari Kabupaten Lingga menunjukkan tren kemiringan curam pada kenaikan nomor atom dari UTJ-ringannya. Pada sisi lain, hasil normalisasi menunjukkan bahwa UTJ-berat cenderung landai (Gambar 5). Anomali Ce positif terdapat pada dua sampel, yaitu 57 D dan 68 D, sedangkan sampel lain relatif tanpa

anomali signifikan. Kebanyakan sampel terindikasi dengan anomali Eu negatif, dua sampel relatif tanpa anomali, dan satu sampel dengan anomali Eu positif (BX 82). Pelapukan menyebabkan proses mobilisasi elemen-elemen pada kelompok REE dengan koefisien yang berbeda. Anomali Ce positif disebabkan oleh immobilitas Ce^{4+} sedangkan elemen UTJ lain telah berpindah ke horizon di atas maupun di bawahnya (Gebru dkk., 2020). Plagioklas disebut sebagai mineral utama yang berasosiasi dengan anomali Eu. Sampel dengan anomali Eu negatif menunjukkan bahwa sampel tersebut berasal dari sumber yang minim plagioklas atau telah mengalami pengurangan plagioklas selama pembentukannya seperti diperlihatkan oleh hampir seluruh sampel (Gambar 5). Pada sisi lain, anomali Eu positif pada BX 82 terjadi akibat pemisahan unsur tersebut dari kelompok Eu lainnya sehingga tertinggal pada salah satu horizon pelapukan (Gebru dkk., 2020; Ozturk dkk., 2021).

KESIMPULAN

Seluruh sampel berkategori lapuk berdasarkan nilai LOI, CIA, dan IOL. Proses pelapukan pada dua lokasi studi terindikasi membentuk ferit dengan kadar Fe_2O_{3T} 64%-69%. Deposit bauksit dengan kadar $Al_2O_3 > 55\%$ dijumpai pada dua stasiun pengamatan. Hampir seluruh sampel terlapukkan pada kondisi lingkungan basa berdasarkan rasio La/Y. Sampel pada studi ini disimpulkan berasal dari batuan felsik berdasarkan rentang rasio Al/Ti yang tinggi. Jumlah UTJ berada dalam kadar rendah hingga menengah (maksimal 158 ppm) sehingga bukan hal yang menarik untuk dieksplorasi lebih lanjut. Penelitian berikutnya dapat dilakukan dengan mengambil lebih banyak sampel untuk penentuan daerah target eksplorasi.



Gambar 5. Diagram laba-laba UTJ setiap sampel pada studi ini setelah dinormalisasi terhadap komposisi kondrit (Boynton, 1984)

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Survei Geologi atas bantuannya dalam penyelesaian tulisan ini. Apresiasi ditujukan atas kontribusi Bapak Profesor Handan Z. Abidin dan Bapak Baharuddin atas masukannya mengenai geologi dan pertambangan. Bapak Kurnia dan Ibu Erna telah membantu penulis mengawasi standar mutu analisis laboratorium dalam studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

Aleva, G.J.J., 1994. *Laterites: Concepts, Geology, Morphology and Chemistry*. Wageningen, Netherlands: International Soil Reference and Information Centre (ISRIC).

Anderson, S.P., 2019. *Breaking it down: mechanical processes in the weathering engine*. *Elements: An International Magazine of Mineralogy, Geochemistry, and Petrology*, 15(4), pp.247-252.

Barry, A.D., Cissé, M., Parfait, M.M. and Hallarou, M.M., 2021. *Mineralogical and Geochemical Characteristics of the Sangarédi Bauxite Deposit, Boké Region, Republic of Guinea*. *Environmental and Earth Sciences Research Journal*, 8(1), pp.11-22.

Boynton, W.V., 1984. *Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies*. In *Developments in geochemistry* (Vol. 2, pp. 63-114). Elsevier.

Campodonico, V.A., Pasquini, A.I., Lecomte, K.L., García, M.G. and Depetris, P.J., 2019. *Chemical weathering in subtropical basalt-derived laterites: A mass balance interpretation* (Misiones, NE Argentina). *Catena*, 173, pp.352-366..

Chen, J., Wang, Q., Zhang, Q., Carranza, E.J.M. and Wang, J., 2018. *Mineralogical and geochemical investigations on the iron-rich gibbsitic bauxite in Yongjiang basin, SW China*. *Journal of Geochemical Exploration*, 188, pp.413-426.

- Ferdous, N. and Farazi, A.H., 2016. *Geochemistry of Tertiary sandstones from southwest Sarawak, Malaysia: implications for provenance and tectonic setting*. *Acta Geochimica*, 35(3), pp.294-308.
- Gebru, Y., Gidey, T., Gebresilassie, B. and Hadgu, T., 2020. *Mineralogical and geochemical characteristics of the iron–duricrust deposit in Adi-Daero area, northwestern Tigray, Ethiopia: implication for the origin and controlling factors*. *Applied Earth Science*, 129(4), pp.231-247.
- Gutiérrez, F. and Gutiérrez, M., 2016. *Granite Landforms*. In *Landforms of the Earth* (pp. 103-109). Springer, Cham.
- Hussin, H., Jamaluddin, T.A. and Deraman, M.F., 2015. *Mode of Slope Failure of Moderately to Completely Weathered Metasedimentary Rock at Bukit Panji, Chendering, Kuala Terengganu*. *Journal of Tropical Resources and Sustainable Science*, 3, pp.5-12.
- 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.
- Irzon, R., 2018. Limbah Pencucian Bauksit Sebagai Sumber Unsur Tanah Jarang Potensial; Studi Kasus Pulau Selayar, Provinsi Kepulauan Riau. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 13(1), pp.45-57.
- Irzon, R. and Abdullah, B., 2018. *Element mobilization during weathering process of ultramafic complex in North Konawe Regency, Southeast Sulawesi based on a profile from Asera*. *Indonesian Journal on Geoscience*, 5(3), pp.277-290.
- Irzon, R., Kurnia, K., Sendjaja, P., Harisaputra, D. and Baharuddin, B., 2019. Pengaruh Pelapukan Terhadap Kadar Platina dan Paladium Nikel Laterit Konawe Utara. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 15(2), pp.97-108.
- Irzon, R., Syafri, I., Ghani, A.A., Prabowo, A., Hutabarat, J. and Sendjaja, P., 2020. *Petrography and geochemistry of the Pinkish Lagoi Granite, Bintan Island: Implication to magmatic differentiation, classification, and tectonic history*. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 69, pp.27 – 37.
- Irzon, R., Syafri, I., Suwarna, N., Hutabarat, J., Sendjaja, P. and Setiawan, V.E., 2021. *Geochemistry of plutons in central Sumatra and their correlation to Southeast Asia tectonic history*. *Geologica Acta*, 19, pp.1-III.
- Kusrini, E., Trisko, N., Harjanto, S., Rahman, A. and Usman, A., 2020. *Optimizing Extraction and Enrichment of Lanthanide from Indonesian Low Grade Bauxite Using Sequential Magnetic Separation, Acid Leaching, and Precipitation Processes*. *Engineering Journal*, 24(4), pp.327-337.
- Langman, J.B., Blowes, D.W., Sinclair, S.A., Krentz, A., Amos, R.T., Smith, L.J., Pham, H.N., Sego, D.C. and Smith, L., 2015. *Early evolution of weathering and sulfide depletion of a low-sulfur, granitic, waste rock in an Arctic climate: a laboratory and field site comparison*. *Journal of Geochemical Exploration*, 156, pp.61-71.
- Lee, J.S. and Yoon, H.K., 2017. *Characterization of rock weathering using elastic waves: A Laboratory-scale experimental study*. *Journal of Applied Geophysics*, 140, pp.24-33.
- Liu, X., Wang, Q., Zhang, Q., Zhang, Y. and Li, Y., 2016. *Genesis of REE minerals in the karstic bauxite in western Guangxi, China, and its constraints on the deposit formation conditions*. *Ore Geology Reviews*, 75, pp.100-115.
- Mamengko, D.V., 2013. Potensi Bauksit di Kabupaten Lingga Provinsi Kepulauan Riau. *Istech*, 5(2), pp.66-70.

- Maulana, A., Sanematsu, K. and Sakakibara, M., 2016. *An overview on the possibility of scandium and REE occurrence in Sulawesi, Indonesia. Indonesian Journal on Geoscience*, 3(2), pp.139-147.
- Mezher, S.J., Kadhim, K.J., Abdulmunem, O.M. and Mejbil, M.K., 2020. *Microwave properties of Mg-Zn ferrite deposited by the thermal evaporation technique. Vacuum*, 173, p.109114.
- Mohanty, B., Gupta, A. and Das, B.S., 2016. *Estimation of weathering indices using spectral reflectance over visible to mid-infrared region. Geoderma*, 266, pp.111-119.
- Moraes, A.M., Sahoo, P.K., Guimarães, J.T.F., Leite, A.S., Salomão, G.N., Souza-Filho, P.W.M., Júnior, W.N. and Dall'Agnol, R., 2020. *Multivariate statistics and geochemical approaches for understanding source-sink relationship-a case study from close-basin lakes in Southeast Amazon. Journal of South American Earth Sciences*, 99, p.102497.
- Ozturk, H., Hanilci, N., Cansu, Z. and Kasapci, C., 2021. *Formation of Ti-rich bauxite from alkali basalt in continental margin carbonates, Payas region, SE Turkey: implications for sea level change in the Upper Cretaceous. Turkish Journal of Earth Sciences*, 30(1), pp.116-141.
- Purnawan, S., Azizah, A., Jalil, Z. and Zaki, M., 2018. *Karakteristik Sedimen dan Kandungan Mineral Pasir Besi di Labuhan Haji Timur, Kabupaten Aceh Selatan. Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 13(2), pp.110-119.
- Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, 2020. *Laporan Data Neraca Sumber Daya dan Cadangan Mineral Tahun 2020*.
- Rahwanto, A., Yahya, M. and Jalil, Z., 2013. *Magnetic behavior of natural Fe₂O₃ from Lhoong iron ore mining area, Aceh Province, Indonesia. Journal of Mining*, 2013.
- Sahoo, P.K., Guimarães, J.T.F., Souza-Filho, P.W.M., da Silva, M.S., Júnior, W.N., Powell, M.A., ... & Costa, V.E., 2017. *Geochemical characterization of the largest upland lake of the Brazilian Amazonia: Impact of provenance and processes. Journal of South American Earth Sciences*, 80, p.541-558.
- Saputro, S.P., Purwaningsih, D.R. and Priadi, B., 2020. *Peralihan Rezim Tektonik: Implikasinya pada Konsentrasi Torium di Mamasa dan Tana Toraja, Sulawesi-Indonesia. Eksplorium*, 41(2), pp.87-100.
- Sidibe, M. and Yalcin, M.G., 2019. *Petrography, mineralogy, geochemistry and genesis of the Balaya bauxite deposits in Kindia region, Maritime Guinea, West Africa. Journal of African Earth Sciences*, 149, pp.348-366.
- Sinisi, R., 2018. *Mineralogical and geochemical features of Cretaceous bauxite from San Giovanni Rotondo (Apulia, Southern Italy): A provenance tool. Minerals*, 8(12), p.567.
- Suryawan, E.H., Hilyah, A., Fajar, M.H.M. and Pajrin, A., 2019. *Identifikasi Dan Penentuan Volume Endapan Nikel Laterit Berdasarkan Data Geolistrik Metode Sounding Studi Kasus Blok Selatan Daerah Pomalaa, Sulawesi Tenggara. Jurnal Geosaintek*, 5(2), pp.53-60.
- Sutisna, K., Burhan, G. and Hermato, B., 1994. *Peta Geologi Lembar Dabo Sumatera Skala 1: 250.000. Pustlitbang 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.
- Tiwow, V.A., Arsyad, M., Palloan, P. and Rampe, M.J., 2018. *March. Analysis of mineral content of iron sand deposit in Bontokanang Village and Tanjung Bayang Beach, South Sulawesi, Indonesia. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 997, No. 1, p. 012010). IOP Publishing*.

Tohar, S.Z. and Yunus, M.M., 2020. *Mineralogy and BCR sequential leaching of ion-adsorption type REE: A novelty study at Johor, Malaysia. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 120, p.102947.

Wang, W., Huang, R. and Feng, J., 2020. *A new method for determining weathering rates in weathering pits. Earth Surface Processes and Landforms*, 45(5), pp.1262-1272.

Diterima	: 12 Oktober 2021
Direvisi	: 17 November 2021
Disetujui	: 9 Mei 2022