# IDENTIFIKASI KEBERADAAN *RARE EARTH ELEMENTS* TIPE *ION ADSORPTION* PADA LEMPUNG: SAMPEL DARI MUNTOK DAN LUBUK BESAR, PULAU BANGKA

Syafrizal[1], Arie Naftali Hawu Hede[1], Andy Yahya Al Hakim[1], Mutiara Indah Permatasari[2]
[1] Kelompok Keahlian Eksplorasi Sumberdaya Bumi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung
[2] Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung
e-mail: *[1] syafrizal@mining.itb.ac.id

**ABSTRAK**

Seiring berkembangnya teknologi, kebutuhan akan logam tanah jarang *(rare earth element*-REE) semakin meningkat, dan oleh karena itu kegiatan eksplorasi REE menjadi meningkat. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi REE tipe *ion adsorption* pada lempung yang merupakan hasil dari lapukan granit. Sampel diambil dari lapukan batuan granit yang bersumber dari batolit Klabat (daerah Muntok) dan batolit Bebulu (daerah Lubuk Besar). Analisis laboratorium yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan uji X-*ray diffraction* (XRD), X-*ray fluorescence* (XRF), dan *inductively coupled plasma mass spectrometry* (ICP-MS). Hasil analisis laboratorium menunjukkan adanya perbedaan intensitas mineral kuarsa dan kaolinit, komponen *major element,* dan pola REE yang berbeda pada kedua daerah penelitian. Berdasarkan hal tersebut diidentifikasi adanya potensi REE tipe *ion adsorption* pada sampel yang diambil pada daerah Lubuk Besar. Hal ini ditandai dengan pola REE yang sesuai dengan zona pelindian dan zona akumulasi REE, serta konsentrasi *heavy* REE (HREE) yang lebih tinggi daripada sampel yang diambil di lokasi Muntok.

**Kata kunci***: rare earth element, ion adsorption,* lempung

## PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya teknologi yang semakin pesat, kebutuhan akan logam tanah jarang (*rare earth element*-REE)(Goodenough et al., 2017) sebagai salah satu material yang dibutuhkan untuk suatu produk industri tertentu makin meningkat pula. Perkembangan teknologi ini juga selaras dengan digaungkannya *Sustainable Development Goals* 2030 di berbagai negara yang menyebabkan trend menggunakan sumber energi ramah lingkungan dengan menggunakan mineral sebagai bahan baku sumber energi, konversi energi, kendaraan listrik serta industri elektronika lain(Zhou et al., 2017)). Unsur-unsur yang termasuk REE adalah *scandium (Sc), lanthanum (La), cerium (Ce), praseodymium (Pr), neodymium (Nd), promethium (Pm), samarium (Sm), europium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), dysprosium (Dy), holmium (Ho), erbium (Er), thulium (Tm), ytterbium (Yb), lutetium (Lu), dan yttrium (Y).*

REE-Li merupakan mineral strategis yang menjadi salah satu bahan baku untuk teknologi ramah lingkungan, contohnya logam Nd, Pr, Dy dan Tb menjadi bahan penting dalam pembuatan motor listrik dan generator mobil hybrid, sedangkan kelompok logam La, Nd dan Ce merupakan bahan penting dalam pembuatan baterai mobil hybrid NiMH, dan logam Li yang menjadi bahan baku baterai Li-ion yang memiliki daya pakai lebih lama, mudah diisi ulang dan dapat didaur ulang. Saat ini pemerintah berkomitmen untuk melanjutkan infrastruktur pengolahan green-technology, dimana hal ini harus ditunjang dengan ketersediaan bahan baku komoditi, salah satunya REE-Li. Namun, informasi mengenai kajian potensi sumberdaya REE-Li di Indonesia masih sangat terbatas.

Sumberdaya REE-Li di endapan primer terdapat pada batuan granit yang termineralisasi oleh mineral pembawa REE-Li seperti *monazite, xenotime, allanite, apatite, zircon, titanite, lepidolite, petalite, amblygonite* dan *zinnwaldite* sepanjang proses magmatik tahap akhir dimulai dari pembentukan granit-pegmatit hingga hidrotermal. Selain itu, sumberdaya REE-Li juga terdapat pada endapan sekunder hasil perombakaan batuan granit berupa sedimentasi (*placer*) mineral *monazite* dan *xenotime*, dan pelapukan (lateritik) granit berupa ion REE yang teradsorpsi oleh lempung, serta lempung hectorite yang menjadi sumber *Lithium*. Penyebaran batuan granit di Indonesia berdasarkan hasil identifikasi awal terdapat di sabuk timah Bangka Belitung, Kalimantan Barat, serta Sulawesi Barat.

Indonesia memiliki peluang sebagai negara yang berpotensi untuk menghasilkan REE(Setiawan, 2019), beberapa jenis batuan yang mengandung REE di Indonesia seperti granit, pegmatit metamorf, ultrabasa dan juga endapan alluvial (Ercit, 2005; Lolon & Rahman, 2014). Batuan granit banyak terdapat di Pulau Bangka. Adanya dugaan bahwa lapukan dari granit tersebut mampu melindikan REE pada produk lapukannya untuk menjadi potensi REE tipe *ion adsorption* (Sanematsu & Watanabe, 2016)*,* namun di Indonesia belum terlalu banyak penelitian terkait REE tipe *ion adsorption* tersebut.

Tujuan peneitian ini adalah untuk mengidentifikasi keberadaan dan menganilisi zona pengkayaan REE-*ion adsorption.* Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Daerah penelitian berfokus pada lokasi pengambilan sampel daerah Muntok mewakili Bangka bagian utara dan Lubuk Besar mewakili Bangka bagian selatan di Pulau Bangka.
- Sampel penelitian diambil pada spotted area bukaan (tambang rakyat, longsoran, sisi bukit) yang menunjukkan adanya profil granit terlapukkan tanpa bedrock dan berbentuk lempung serta diambil untuk mewakili tiap horizon tanahnya.
- Jenis sampel yang digunakan berasal dari produk lapukan granit.
- Uji yang dilakukan pada sampel adalah X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF), dan inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).

Konsentrasi REE pada proses pembentukan batuan akan berbeda-beda antara sumber batuan yang satu

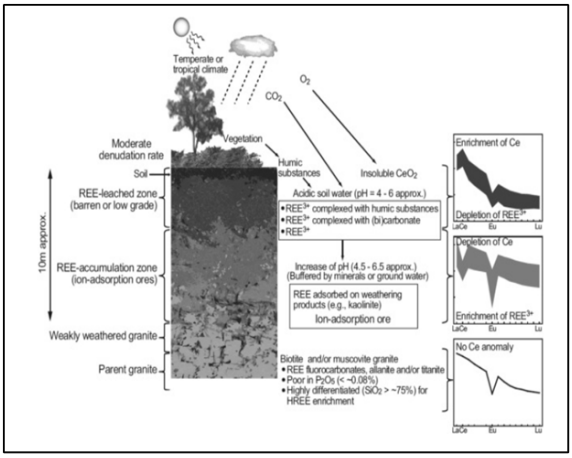
dengan yang lain. Tabel-1 menunjukkan kandungan REE pada batuan beku menengah hingga silisik.

**Tabel-1.** Kandungan REE pada batuan beku menengah hingga silisik (Henderson, 1984)

| Jenis batuan | ∑ LTJ (ppm) | Rasio La/Lu | Rasio Eu/Sm |
|---|---|---|---|
| Andesit | 25 - 341 | 1,0- 21,5 | 0,15 - 0,51 |
| Anortosit | 1,7 - 148 | 0,13 - 58 | 0,30 - 5,0 |
| Batuan granitik | | | |
| - diorit kuarsa, tonalit, granodiorit | 10,5 - 499 | 0,34 - 413 | 0,041 - 1,76 |
| - monzogranit & sienogranit | 8 - 1.977 | 0,54 - 137 | 0,0009 - 1,07 |

REE *ion-adsorption* muncul akibat pelapukan batuan beku (khasnya granit) yang megandung partikel mineral pembawwa REE (Sanematsu, 2016; Sanematsu et al., 2011; Sanematsu & Watanabe, 2016). Selama pelapukan pada permukaan, mineral REE terdekomposisi dan terionisasi menjadi REE ($REE^{3+}$) yang kemudian terabsorpsi pada *clay mineral* (biasanya grup kaolin dan smektit). Umumnya endapan tipe ini mengandung heavy REE (HREE) yang tinggi dan jumlah Th dan U yang rendah dibanding REE lainnya (Yaraghi et al., 2019). Formasi dari lempung, yang berasal dari alterasi feldspar pada profil lapukan, akan melepaskan REE dari mineral ke profil lapukan kemudian dapat teradsorpsi pada permukaan lempung.

Kebanyakan dari profil lapukan tidak mengandung REE *ion adsorption* karena REE pada *parent rock* (granit) biasanya berada pada *insoluble mineral* seperti monasit dan xenotim yang akan menjadi fasa residual pada profil lapukan. Beberapa *insoluble mineral* tidak berkontribusi pada endapan REE *ion adsorption* namun akan terakumulasi pada pasir mineral berat. Gambar-2 menunjukkan profil sederhana REE-*ion adsorption deposit* (Sanematsu & Watanabe, 2016).



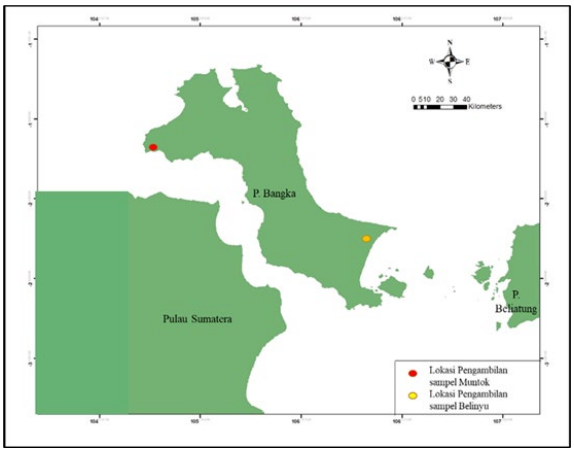

**Gambar-2**. Profil sederhana *ion adsorption*-type REE deposit (Sanematsu & Watanabe, 2016)

Faktor yang mempengaruhi pembentukan endapan REE *ion adsorption* adalah iklim, topografi, komposisi *parent rock* dan waktu pelapukan yang cukup lama pada lingkungan yang stabil. Dari studi sebelumnya menunjukkan bahwa REE yang terlindikan dari profil atas akan terakumulasi pada zona di bawahnya (Bao & Zhao, 2008)Mineral pembawa REE terdekomposisi oleh air tanah yang bersifat asam dan ion $REE^{3+}$ akan termobilisasi menuju profil lebih dalam lalu teradsorpsi oleh kaolinit dan *halloysite*, atau membentuk mineral REE sekunder. Mineral REE sekunder umumnya lebih sulit termobilisasi karena terdiri dari REE-*bearing phosphate* seperti mineral *rhabdophane* dan *florencite* (Sanematsu, 2016; Sanematsu & Watanabe, 2016)

Kontras dengan unsur REE lainnya, dalam kondisi oksidasi di dekat bawah permukaan unsur Ce lebih sulit termobilisiasi dan umumnya akan membentuk mineral *cerianite* ($CeO_2$) atau terbentuk bersamaan *Mn-oxides* sebagai ion $Ce^{4+}$. Sehingga, profil pelapukan granit dapat dibagi menjadi 2 yaitu profil atas sebagai zona pelindian REE dengan anomali Ce positif dan zona akumulasi REE *ion-adsorption* pada profil bawah dengan ciri anomali Ce negative (Sanematsu & Watanabe, 2016).

## Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan menggunakan sampel yang berasal dari daerah Muntok, Kabupaten Bangka Barat dan Lubuk Besar, Kabupaten Bangka Tengah. Sampel diambil pada area bukaan tambang rakyat, bukaan jalan, maupun sisi bukit. Berdasarkan koordinatnya, lokasi pengambilan sampel Muntok berada pada koordinat 2.0187° LS, 105.1576° BT dan lokasi pengambilan sampel kedua yakni di Lubuk Besar berada pada koordinat 2.5963° LS, 106.6646° BT (Gambar-3).




**Gambar-3**.-Lokasi daerah penelitian

## Geologi Lokasi Penelitian

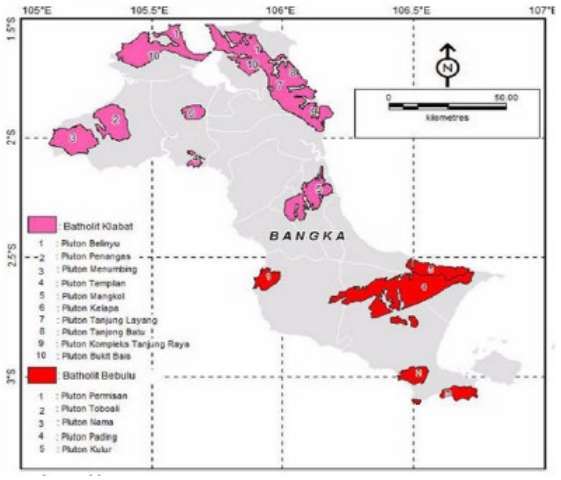
Geologi penyusun Pulau Bangka disusun secara umum disusun oleh alluvial, Formasi Tanjung Ranggam, Klabat Granit, Formasi Tanjung Genting, Kompleks Malihan Pemali. Batolit sumber granit yang ada di Pulau Bangka secara umum dibagai menjadi dua yaitu batolit klabat yang ada pada daerah Bnagka bagian Utara dan batolit Bebulu di Bangka bagian Selatan (Gambar-4) (Cobbing et al., 1986).

## METODOLOGI

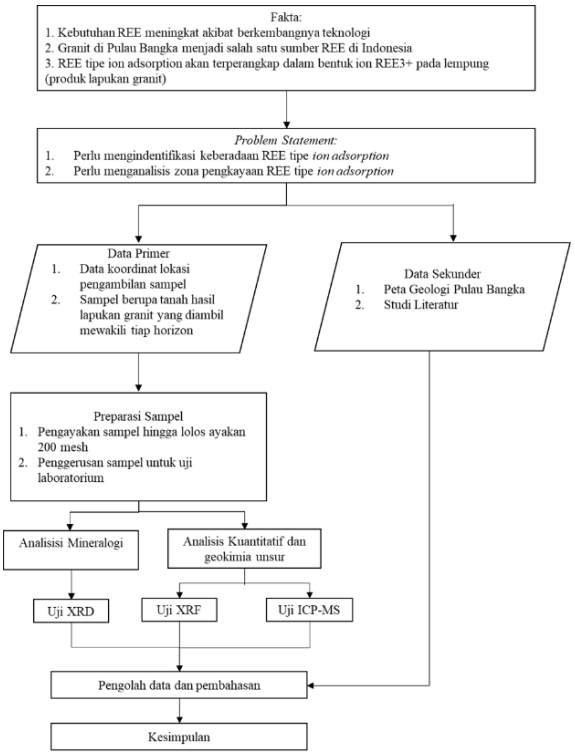
Penelitian ini dimulai dengan studi literatur digunakan sebagai acuan untuk mengetahui kondisi geologi, persebaran granitoid di Pulau Bangka, struktur geologi regional, serta teori-teori yang berkaitan dengan REE tipe *ion adsorption*. Studi literatur ini dilakukan dari berbagai buku, laporan, dan jurnal penelitian yang pernah ada sebelumnya.

Kemudian setelah mendapat informasi yang cukup dan dilakukan pengambilan sampel, dilakukan analisis di laboratorium pada sampel adalah uji XRD, XRF, dan ICP-MS. Hasil uji kemudian diolah dan dianalisis untuk

mengidentifikasi REE dan zona pengkayaan. kemudian ditarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis. Gambar-5 berikut merupakan diagram alir penelitian.




**Gambar-4**. Sebaran Batolit Garanit Pulau Bangka (Cobbing et al., 1986)

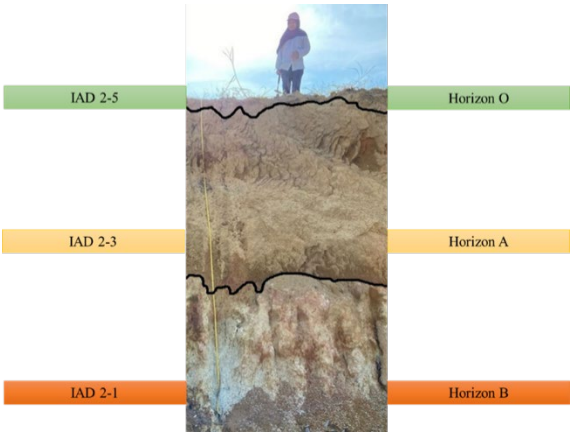



**Gambar-5**. Diagram alir penelitian

## Sampel

Sampel yang dilakukan analisis terdiri dari 5 (lima) sampel, 3 (tiga) sampel berasal dari daerah Tanjung Ular, Muntok dan 2 (dua) sampel berasal dari daerah Lubuk Besar. Sampel yang diambil berbentuk seperti tanah dan dimasukkan ke dalam kantong sampel. Sampel Tanjung Ular diambil di daerah kaki Bukit Menumbing pada bukaan bekas tambang timah alluvial dengan kemiringan landai dan sampel Lubuk Besar diambil dipinggir jalan menuju Bukit Pading, disekitar Bukit Bebulu. Terdapaat dugaan bahwa dua horizon teratas merupakan timbunan dari horizon dibawahnya.

Sebelum dilakukan uji laboratorium, sampel-sampel tersebut diayak menggunakan ayakan 200 mesh untuk didapatkan sampel dengan ukuran yang merepresentasikan ukuran lempung yaitu yang lolos ayakan 200 mesh. Kemudian sampel-sampel tersebut dibagi untuk dilakukan uji laboratorium ICP-MS, XRF, dan XRD. Gambar-6 dan Gambar-7 menunjukkan kenampakkan lokasi pengambilan sampel masing-masing di daerah Muntok dan Lubuk Besar.




**Gambar-6**. Kenampakan profil lokasi pengambilan sampel daerah Muntok

**Gambar-7**. Kenampakan profil lokasi sampel Lubuk Besar

## Preparasi sampel

Sampel yang berasal dari lapangan dibawa dalam bentuk kantong-kantong yang berisi sampel berbentuk soil. Sampel yang ada kemudian dipreparasi dengan melakukan pengayakan menggunakan ayakan 200 mesh untuk mendapatkan butiran yang merepresentasikan ukuran lempung. Hasil ayakan sampel tersebut kemudian dibagi untuk tiap uji yang akan dilakukan. Setiap uji akan memiliki tahapan preparasi sampel yang berbeda-beda.

Untuk uji XRD, sampel yang digunakan harus dalam bentuk *powder* karena ukuran partikel akan berbanding terbalik dengan derajat keacakan kristal dan intensitas terukur. Untuk menghaluskan sampel yang telah lolos ayakan 200 mesh, sampel diambil menggunakan spatula kemudian di haluskan menggunakan mortar secara manual menggunakan tangan hingga seluruh butiran sampel menjadi halus dan homogen (tidak ada butir sampel yang kasar dan ukurannya sama).

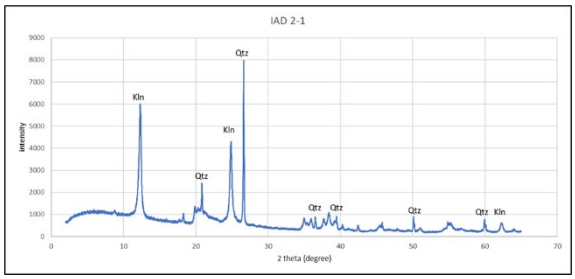
Untuk uji XRF, sampel yang ideal untuk digunakan adalah sampel yang memiliki permukaan datar yang sempurna. Ketidakteraturan permukaan sampel akan menyebabkan jarak dari sampel ke sumber X-ray berubah sehingga memicu *error*.

Untuk uji ICP-MS, sampel harus dibuat sedemikian rupa agar membentuk *digested solution*. Sampel yang berupa solid dipanaskan dan melakukan proses digesti menggunakan asam kuat mulai dari asam nitrat sederhana hingga asam klorida sehingga sampel berubah bentuk menjadi *aqueous solution* dalam *acidified matrix* (2%HNO3 atau 0.5%HCl).

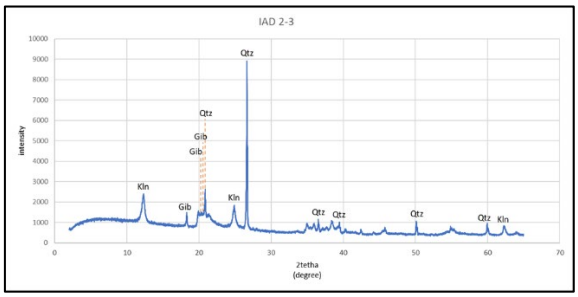
**Uji Laboratorium Terhadap Sampel**

Uji XRD adalah suatu teknik non-destruktif yang digunakan untuk menentukan mineral yang terdapat pada sampel (Herrmann & Bucksch, 2014). Uji ini dilakukan dengan Cu Kα radiation (λ = 1.5406 Å) sebagai X-*ray source*. Dari raw data yang didapatkan berupa data tabel yang terdiri dari nilai 2θ dan *intensity* kemudian diolah dengan mencari nilai difraksinya. Analisis XRD untuk sampel pembawa REEdari Bangka (Syafrizal et al., 2021) menjadi referensi.

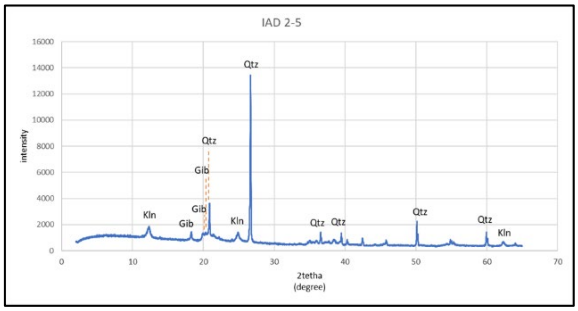
Berdasarkan nilai difraksi, 2θ, dan intensitas, dapat dibuat grafik yang akan menunjukkan peak. Nilai pada peak yang muncul kemudian di cocokkan pada database X-*ray diffraction* pada *webmineral.com* untuk mengetahui mineral yang memiliki karakteristik peak tersebut. Hasil analisis XRD masing-masing sampel dapat dilihat pada Gambar-8, Gambar-9, Gambar-10, Gambar-11, Gambar-12 dan rekapitulasi mineral terindentifikasi pada Tabel-2.



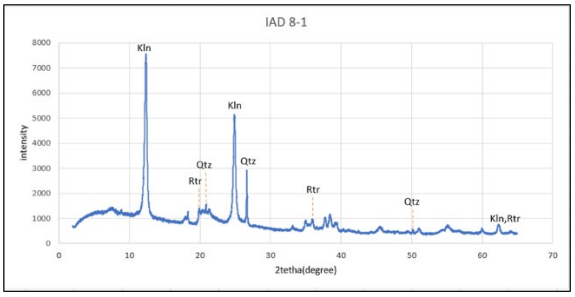

**Gambar-8.** Hasil XRD sampel IAD 2-1 (Kln=kaolinit, Qtz= kuarsa).



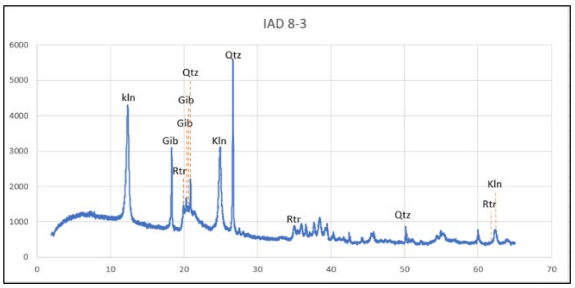

**Gambar-9.** Hasil XRD sampel IAD 2-3 (Kln=kaolinit, Qtz= Kuarsa, Gib=Gibbsite).




**Gambar-10**. Hasil XRD sampel IAD 2-5 (Kln=kaolinit, Qtz= Kuarsa, Gib=Gibbsite).




**Gambar-11**. Hasil XRD sampel IAD 8-1 (Kln=kaolinit, Qtz= Kuarsa, Rtr=Rectorite)



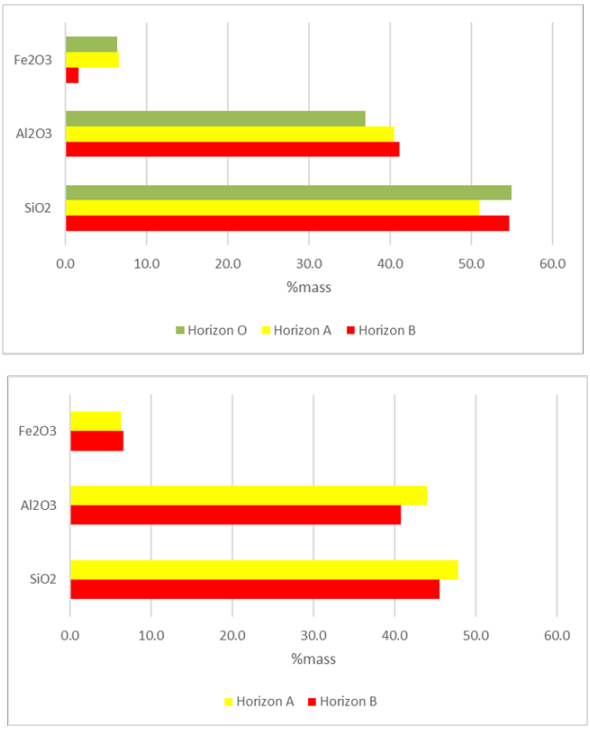

**Gambar-12**. Hasil XRD sampel IAD 8-3 (Kln=kaolinit, Qtz= Kuarsa, Gib=Gibbsite, Rtr=Rectorite).

**Tabel-2**. Rekapitulasi data mineral hasil XRD tiap sampel

| Sampel | Mineral | Formula kimia |
|---|---|---|
| IAD 2-1 | Kuarsa | $SiO_2$ |
| | *Kaolinite* | $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ |
| IAD 2-3 | Kuarsa | $SiO_2$ |
| | *Kaolinite* | $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ |
| | Gibbsite | $Al(OH)_3$ |
| IAD 2-5 | Kuarsa | $SiO_2$ |
| | *Kaolinite* | $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ |
| | Gibbsite | $Al(OH)_3$ |
| IAD 8-1 | Kuarsa | $SiO_2$ |
| | *Kaolinite* | $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ |
| | Rectorite | $(Na,Ca)Al_4(Si,Al)_8O_{20}(OH)_4•2(H_2O)$ |
| IAD 8-3 | Kuarsa | $SiO_2$ |
| | *Kaolinite* | $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ |
| | Rectorite | $(Na,Ca)Al_4(Si,Al)_8O_{20}(OH)_4•2(H_2O)$ |
| | Gibbsite | $Al(OH)_3$ |

Uji XRF adalah suatu teknik analitis non-destruktif yang digunakan untuk menentukan komposisi dasar dari suatu material. XRF *analyzers* menentukan komposisi kimia dari suatu sampel dengan mengukur *fluorescent (secondary*) X-ray yang dipancarkan dari sampel tersebut saat dieksitasi oleh sumber *primary X-ray*.

Setiap unsur yang muncul pada sampel akan menunjukkan karakteristik *fluorescent* X-ray yang unik untuk spesifik unsur, sehingga tiap unsur memiliki karakterisktik khas yang membedakannya dengan unsur lain (seperti sidik jari) (Potts, 1992). Hasil analisis XRF yang dilakukan pada Laboratorium Hidrogeologi dan Hidrogeokimia Institut Teknologi Bandung terhadap sampel dapat dilihat pada Gambar-13.



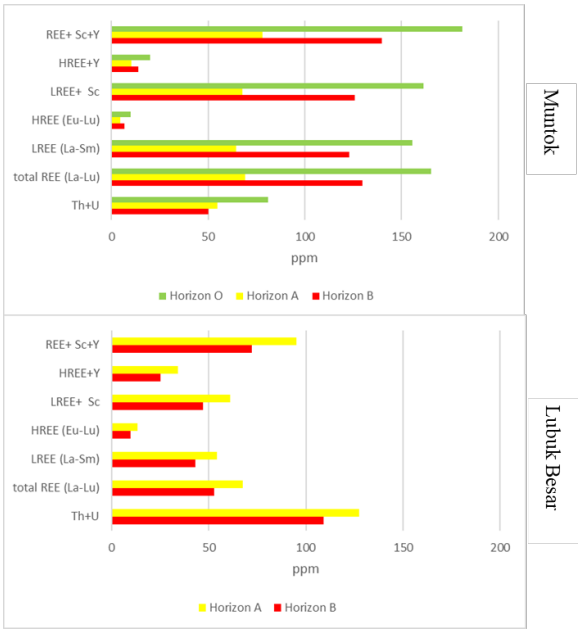

**Gambar-13**. Diagram hasil XRF (*major elements*), bagian atas sampel Muntok, bagian bawah sampel Lubuk Besar

Uji ICP-MS adalah uji yang mampu untuk mendeteksi sebagian besar unsur yang ada pada tabe periodik unsur pada tingkat milligram hingga nanogram per liter (suatu metode yang dapat digunakan untuk mengalanisis *trace elements*). Sebelum sampel dilakukan uji, sampel harus dilarutkan terlebih dahulu hingga sampel berbentuk cair (*liquid*) (Schönbächler, 2016). Sampel yang sudah siap, kemudian dimasukkan kedalam alat ICP-MS untuk dianalisis. Setelah dilakukan analisis ICP-MS pada PT Intertek, didapatkan data seperti pada Tabel-3 dan Gambar-14.

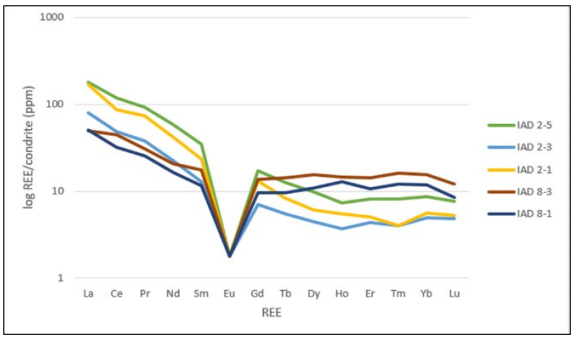
**Tabel-3**. Data hasil ICP-MS.

| | | | | Tanjung Ular, Muntok | | | Lubuk Besar | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| IDENT | UNITS | DET.LIM | SCHEME | IAD-2-1 | IAD-2-3 | IAD-2-5 | IAD-8-1 | IAD-8-3 |
| La | ppm | 0.1 | 4A/MS11 | 40.3 | 18.9 | 42.7 | 11.9 | 11.7 |
| Ce | ppm | 0.1 | 4A/MS11 | 53 | 29.8 | 72.2 | 19.6 | 27.5 |
| Pr | ppm | 0.05 | 4A/MS11 | 6.77 | 3.52 | 8.62 | 2.38 | 2.88 |
| Nd | ppm | 0.1 | 4A/MS11 | 19.3 | 10.4 | 26.7 | 7.5 | 9.5 |
| Sm | ppm | 0.1 | 4A/MS11 | 3.5 | 1.9 | 5.2 | 1.7 | 2.6 |
| Eu | ppm | 0.1 | 4A/MS11 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Gd | ppm | 0.1 | 4A/MS11 | 2.6 | 1.4 | 3.4 | 1.9 | 2.7 |
| Tb | ppm | 0.05 | 4A/MS11 | 0.3 | 0.2 | 0.45 | 0.35 | 0.51 |
| Dy | ppm | 0.1 | 4A/MS11 | 1.5 | 1.1 | 2.4 | 2.7 | 3.8 |
| Ho | ppm | 0.1 | 4A/MS11 | 0.3 | 0.2 | 0.4 | 0.7 | 0.8 |
| Er | ppm | 0.1 | 4A/MS11 | 0.8 | 0.7 | 1.3 | 1.7 | 2.3 |
| Tm | ppm | 0.1 | 4A/MS11 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 |
| Yb | ppm | 0.1 | 4A/MS11 | 0.9 | 0.8 | 1.4 | 1.9 | 2.5 |
| Lu | ppm | 0.05 | 4A/MS11 | 0.13 | 0.12 | 0.19 | 0.21 | 0.3 |
| Sc | ppm | 1 | 4A/OE | 3 | 3 | 6 | 4 | 7 |
| Y | ppm | 0.1 | 4A/MS | 7.2 | 5.8 | 10.2 | 15.3 | 20.8 |
| Th | ppm | 0.05 | 4A/MS | 44.2 | 45.2 | 74.1 | 104 | 123 |
| U | ppm | 0.05 | 4A/MS | 5.75 | 9.47 | 6.79 | 5 | 4.31 |
| Th+U | | | | 49.95 | 54.67 | 80.89 | 109 | 127.31 |
| total REE (La-Lu) | | | | 129.6 | 69.14 | 165.26 | 52.94 | 67.49 |
| LREE (La-Sm) | | | | 122.87 | 64.52 | 155.42 | 43.08 | 54.18 |
| HREE (Eu-Lu) | | | | 6.73 | 4.62 | 9.84 | 9.86 | 13.31 |
| LREE+ Sc | | | | 125.87 | 67.52 | 161.42 | 47.08 | 61.18 |
| HREE+Y | | | | 13.93 | 10.42 | 20.04 | 25.16 | 34.11 |
| REE+ Sc+Y | | | | 139.8 | 77.94 | 181.46 | 72.24 | 95.29 |
| rasio La/Lu | | | | 310 | 157.50 | 224.74 | 56.67 | 39 |
| rasio Eu/Sm | | | | 0.02857 | 0.05263 | 0.01923 | 0.05882 | 0.03846 |

Data tersebut kemudian dilakukan normalisasi condrite(McDonough & Sun, 1995) untuk data REE. Normalisasi dilakukan karena adanya *Oddo-Harkins effect*, yaitu suatu efek yang jika dilakukan pengepotan seluruh unsur sebagai sumbu X dan konsentrasinya sebagai sumbu Y, maka hanya didapat suatu pola zig-zag yang kan sangat sulit untuk diinterpretasikan. Hasil normalisasi condrite data REE adalah pada Gambar-15




**Gambar-14**. Diagram Hasil ICP-MS

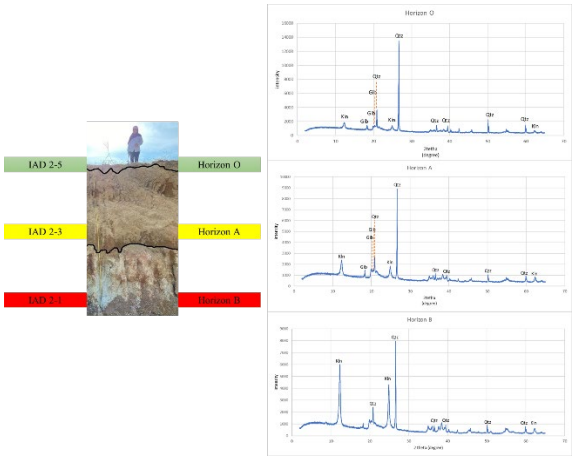



**Gambar-15.** Pola REE pada sampel Tanjung Ular dan Lubuk Besar, Bangka.

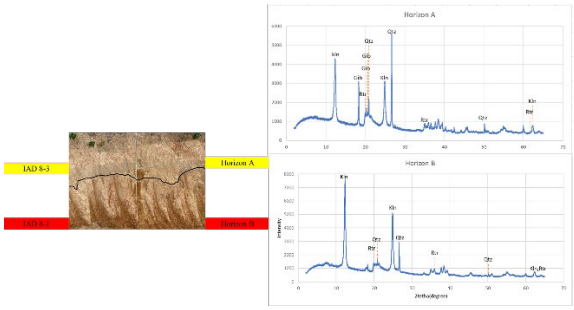
## HASIL DAN DISKUSI

### Analisis Mineralogi dan Hubungan *Major Element*s daerah Muntok dan Lubuk Besar

Berdasarkan hasil dari uji XRD, terlihat adanya perbedaan antara sampel dari Muntok dan Lubuk Besar. Sampel dari Muntok (IAD 2-1, IAD 2-3, dan IAD 2-5) memperlihatkan intensitas dari kuarsa yang selalu lebih tinggi daripada kaolinit. Semakin menuju ke horizon O, intensitas kaolinit menjadi semakin menurun. Untuk sampel dari Lubuk Besar (IAD 8-1 dan IAD 8-3) memperlihatkan hal yang berbanding terbalik dengan sampel dari Muntok yaitu intesitas yang ditunjukkan oleh kaolinit lebih tinggi daripada intensitas kuarsa yang ada. Intensitas kaolinit dari horizon B menuju A semakin menurun, sama hal nya dengan sampel Muntok. Produk lapukan granit akan berbeda komponennya sesuai dengan sumber granit tersebut. Sumber granit Muntok adalah batolit Klabat dan sumber granit Lubuk Besar adalah batolit Bebulu. Adanya perbedaan batolit sumber diduga mempengaruhi intensitas dari mineral lempung yang ada. Pada sampel Lubuk Besar juga ditemukan mineral lempung lain yaitu *rectorite* namun pada sampel Muntok hanya ditemukan kaolinit.




**Gambar-16.** Hasil Analisis XRD sampel Muntok



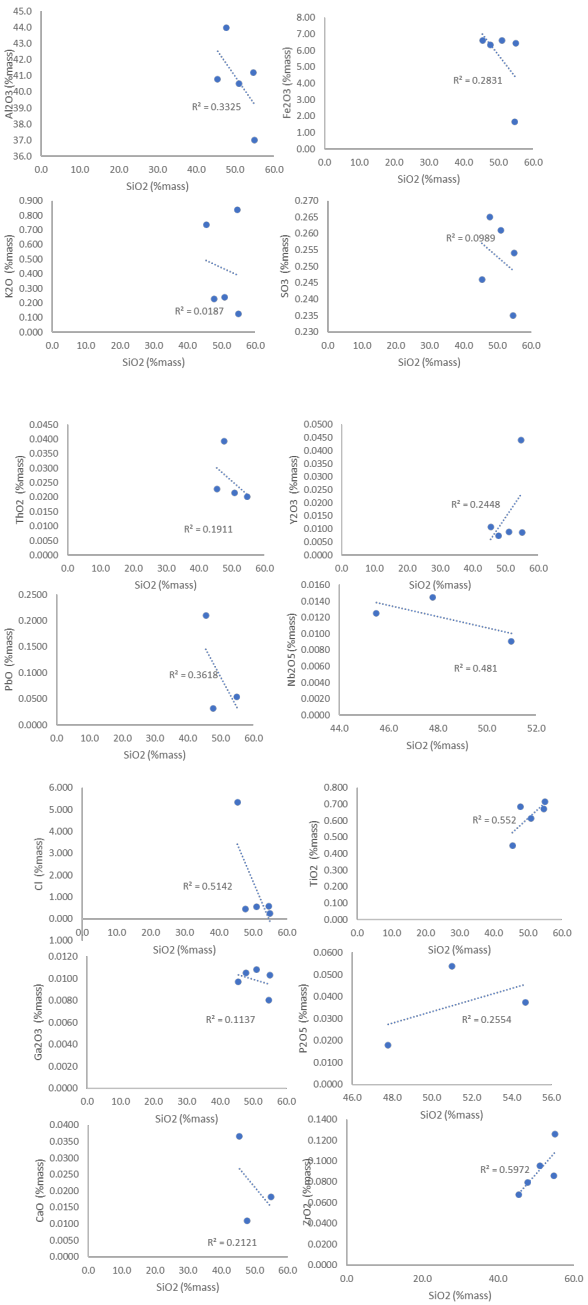

**Gambar-17.** Hasil Analisis XRD sampel Lubuk Besar

Berdasarkan hasil uji ICP-MS, didapat bahwa rasio La/Lu untuk sampel Muntok berada dalam rentang 157.50 hingga 310 dan rasio Eu/Sm berada pada rentang 0,01-0,052, serta jumlah REE+Sc+Y adalah 77.94-181.46 ppm. Bila dikaitkan dengan tabel kandungan REE pada batuan beku menengah hingga salisik, maka dapat dikategorikan bahwa REE pada daerah ini merujuk pada batuan granitik sebagai sumbernya.

Pada sampel Muntok, terlihat pula kandungan Thorium dan Uranium yang nilainya dibawah 100 ppm (Murakami & Ishihara, 2008). Untuk sampel Lubuk Besar, rasio La/Lu berkisar antara 39-56.67, rasio Eu/Sm adalah 0.038-0.058 serta jumlah REE+Sc+ adalah 72.24-95.29 ppm. Bila dikaitkan dengan tabel kandungan REE pada batuan beku menengah hingga salisik maka dapat dikategorikan bahwa REE pada daerah ini merujuk pada batuan granodiorite sebagai sumbernya. Kandungan Thorium dan Uranium pada daerah ini berada pada rentang 109-127.31 ppm (diatas 100 ppm) yang berarti lebih tinggi dari daerah Muntok.

Dari kedua sampel dengan lokasi berbeda yaitu Muntok dan Lubuk Besar, lokasi Lubuk Besar menunjukkan kandungan HREE+Y yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan sampel dari lokasi Muntok. Untuk LREE+Sc, lokasi Muntok memiliki kandungan lebih tinggi darripada sampel Lubuk Besar. Berdasarkan hasil Uji XRF, antara $SiO_2$ dengan oksida lain dicari nilai koefisien korelasi (r) untuk mencari hubungan antar oksida satu dengan lainnya. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel-4 dan Gambar-18.

Nilai koefisien korelasi antara $SiO_2$ dengan oksida lain yang ada pada sampel menunjukkan seluruhnya bernilai positif dengan nilai r tertinggi adalah hubungan antara $SiO_2$ dengan $ZrO_2$ yaitu bernilai 0.7728 yang berarti menunjukkan hubungan yang berbanding lurus dan cukup kuat. Nilai koefisien korelasi terkecil didapat dari hubungan antara $SiO_2$ dengan $K_2O$ yang hanya bernilai 0.1367, namun tetap hasil tersebut bernilai positif yang berarti hubungan antara $SiO_2$ dengan $K_2O$ berbanding lurus meski tidak terlalu kuat.




**Gambar-18**. Hubungan $SiO_2$ dengan oksida lain.

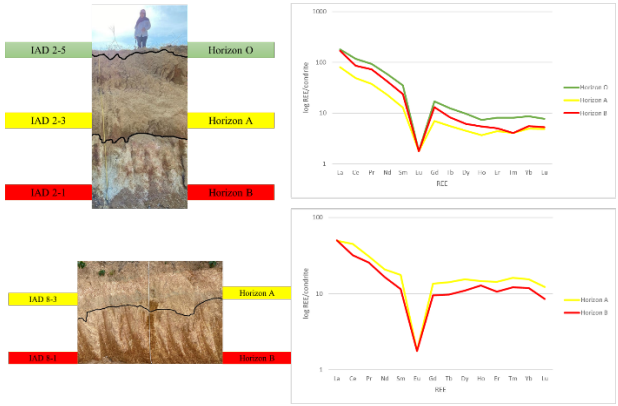
**Tabel-4.** Rekapitulasi nilai r (koefisien korelasi) $SiO_2$ terhadap oksida lain.

| Oxide | nilai r (koefisien korelasi) SiO2 terhadap oksida lain |
|---|---|
| Al2O3 | 0.5766 |
| Fe2O3 | 0.5307 |
| TiO2 | 0.7430 |
| K2O | 0.1367 |
| Cl | 0.7171 |
| SO3 | 0.3145 |
| ZrO2 | 0.7728 |
| PbO | 0.6015 |
| P2O5 | 0.5054 |
| ThO2 | 0.4372 |
| Y2O3 | 0.4948 |
| Ga2O3 | 0.3372 |
| CaO | 0.4605 |
| Nb2O5 | 0.6935 |

Pada sampel Munntok, $Al_2O_3$ semakin menuju ke horizon bawah kandungan %massa dari $Al_2O_3$ semakin tinggi, sedangkan $Fe_2O_3$ semakin menuju ke horizon bawah kandungan %massa dari $Fe_2O_3$ semakin tinggi. Untuk sampel Lubuk Besar, %massa $Fe_2O_3$ semakin menuju ke horizon bawah semakin tinggi, namun untuk $Al_2O_3$ menunjukkan hasil yang berbading terbalik dari sampel Muntok, yaitu $Al_2O_3$ semakin menuju ke horizon bawah kandungan %massa dari $Al_2O_3$ semakin menurun. Dalam hal ini, berarti adanya pengkayaan $Al_2O_3$ dan $Fe_2O_3$ menuju ke horizon bagian bawah.

**Zona Pengkayaan REE-*ion adsorption***

REE tipe *ion adsorption* akan menunjukkan anomali Ce yang berbeda yang akan menunjukkan zona pelindian dari REE dan zona akumulasi dari REE. Anomali Ce positif terjadi pada zona pelindian REE dan anomali Ce negatif terjadi pada zona akumulasi dari REE (Sanematsu, 2016; Sanematsu et al., 2011; Sanematsu & Watanabe, 2016). Zona pelindian akan berada diatas zona akumulasi REE. Anomali Ce dapat terjadi dalam kondisi oksidasi didekat bawah permukaan, unsur Ce lebih sulit termobilisi dan umumnya akan membentuk $CeO_2$ atau terbentuk bersamaan Mn-oxides sebagai ion $Ce^{4+}$.




**Gambar-18**. Kenampakan profil horizon daerah Muntok dan Lubuk Besar dan pola REE

Gambar-18 menunjukkan pada sampel Muntok, hasil pola normalisasi REE menunjukkan anomali negatif Ce pada semua horizon tanahnya yang berarti ketiga horizon tersebut masih termasuk dalam satu kategori yaitu zona akumulasi REE. Konsentrasi REE tertinggi berada pada horizon O dan konsentrasi terendah berada pada horizon A. Pada sampel Lubuk Besar, hasil pola normalisasi REE menunjukkan anomali negatif Ce pada horizon B yang menandakan horizon B sebagai zona akumulasi REE. Anomali positif Ce ditunjukkan pada horizon A yang menandakan zona pelindian REE.

Konsentrasi REE tertinggi berada pada horizon A dan konsentrasi terendah berada pada horizon B. Hal ini sesuai dengan profil sederhana endapan REE tipe *ion adsorption* (Sanematsu et al., 2011; Sanematsu & Watanabe, 2016).

Kandungan $Al_2O_3$ pada sampel Muntok yang semakin menuju horizon bawah semakin meningkat menandakan adanya pengkayaan dari unsur *mobile* Al pada daerah tersebut. Adapun $Fe_2O_3$ pada sampel Muntok menunjukkan adanya pengkayaan dari horizon bawa menuju horizon atas yang dapat menandakan adanya pengkayaan dari unsur *mobile* Fe pada daerah tersebut meskipun jumlahnya tidak lebih banyak dari $Al_2O_3$.

Pada sampel Lubuk Besar, semakin menuju pada horizon bagian bawah, intensitas kaolinit menjadi semakin meningkat dan berbanding terbalik dengan kuarsa yang semakin menurun intensitasnya. Mineral *rectorite* tetap ditemukan pada kedua horizon meskipun intensitasnya tidak sebanyak kaolinit. Intensitas mineral lempung yang semakin menuju ke horizon bagian bawah menunjukkan proses pelapukan berlangsung secara signifikan pada daerah tersebut. Partikel halus berupa mineral lempung terinflitrasi dengan baik sehingga terakumulasi semakin banyak di bagian horizon bawah. Air tanah maupun air hujan yang bersifat asam yang berpengaruh terhadap inflitrasi pada daerah tersebut akan menyebabkan REE-*bearing mineral* terdekomposisi sehingga ion $REE^{3+}$ akan termobilisasi menuju profil horizon dibawahnya yang kemudian akan teradsorpsi pada mineral lempung kaolinit.

Namun, ditemukan anomali terhadap kandungan LREE, HREE dan jumlah REE keseluruhan pada sampel, hasilnya menunjukkan bahwa horizon bagian atas (horizon A) memiliki kandungan REE yang lebih tinggi daripada horizon di bawahnya (horizon B) serta jumlah REE yang ada pada sampel lokasi Lubuk Besar lebih kecil daripada sampel daerah Muntok. Adanya anomali ini dapat disebabkan oleh proses pelapukan dan pelindian yang terjadi tidak begitu baik sehingga mempengaruhi proses dekomposisi REE bearing mineral dan adsorpsi ion $REE^{3+}$. Kandungan $Al_2O_3$ pada sampel Lubuk Besar menunjukkan pengkayaan dari $Al_2O_3$ menuju pada horizon A sedangkan $Fe_2O_3$ menunjukkan pengkayaan menuju horizon B. Hasil analisis diatas menunjukkan beberapa bukti pendukung bahwa dugaan adanya keberadaan REE tipe *ion adsorption* pada daerah Lubuk Besar dan Muntok memungkinkan benar adanya.

## KESIMPULAN

Dari serangkaian penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Keberadaan REE tipe *ion adsorption* pada lempung di Pulau Bangka teridentifikasi pada daerah Muntok dan Lubuk Besar melalui sampel yang diambil dari produk lapukan granit berbentuk soil yang diambil pada tiap horizon tanah yang ada.
2. Adanya perbedaan sumber batolit dari kedua sampel yaitu batolit Klabat untuk sampel Muntok dan batolit Bebulu untuk sampel Lubuk Besar, mengakibatkan perbedaan sumber batuan granit (batuan granitik pada daerah Muntok dan batuan granodiorit uuntuk daerah Lubuk Besar), membuat intensitas mineral lempung dan mineral lain yang ada pada produk lapukan menjadi berbeda-beda sehingga mempengaruhi proses dekomposisi REE bearing minerals dan proses adsorpsi REE pada lempung.
3. Zona proses pengkayaan REE tipe *ion adsorption* dimulai melalui horizon bagian atas yang merupakan zona pelindian dari REE bearing mineral yang terdekomposisi kemudian ion $REE^{3+}$ menjadi mobile sehingga akan menuju pada horizon dibawahnya yaitu pada zona akumulasi REE (Sanematsu & Watanabe, 2016)
4. Pada daerah Muntok hanya ditemukan pola yang menandakan zona akumulasi REE saja, namun pada daerah Lubuk Besar ditemukan pola yang menandakan

adanya zona pelindian dan zona akumulasi REE pada horizon tanahnya. Mineral lempung yang ada pada kedua lokasi ini adalah mineral lempung kaolinit namun di Lubuk Besar ditemukan pula mineral lempung lain yaitu *rectorite*.

## Saran

1. Diperlukan penelitian dengan uji lebih lanjut untuk menganalisis terkait anomali jumlah REE pada setiap horizon yang ada.
2. Mendetailkan penelitian pada lokasi area Bangka bagian Selatan (dengan batolit Bebulu sebagai batuan induk).
3. Diperlukan untuk menggunakan sampel yang lebih rinci dengan adanya profil bedrock, horizon B, horizon A, dan horizon O yang terlihat jelas untuk penelitian lebih lanjut terkait REE tipe *ion adsorption* di Indonesia.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) ITB atas Program PPMI 2020 dan 2021, serta juga kepada Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional untuk kegiatan Penelitian PTNBH Kemenristek tahun 2021 sebagai inisiasi program penelitian ini yang telah memberi dukungan dalam bentuk finansial, fasilitas, atau legalitas terhadap penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

[1] Bao, Z., & Zhao, Z. (2008). Geochemistry of mineralization with exchangeable REY in the weathering crusts of granitic rocks in South China. *Ore Geology Reviews - ORE GEOL REV*, *33*, 519–535. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2007.03.005

[2] Cobbing, E. J., Mallick, D. I. J., Pitfield, P. E. J., & Teoh, L. H. (1986). The granites of the Southeast Asian Tin Belt. *Journal of the Geological Society*, *143*(3), 537. https://doi.org/10.1144/gsjgs.143.3.0537

[3] Ercit, T. S. (2005). *REE-Enriched Granitic Pegmatites* (Vol. 17, pp. 175–199).

[4] Goodenough, K., Wall, F., & Merriman, D. (2017). The Rare Earth Elements: Demand, Global Resources, and Challenges for Resourcing Future Generations. *Natural Resources Research*, *27*. https://doi.org/10.1007/s11053-017-9336-5

[5] Herrmann, H., & Bucksch, H. (2014). *X-ray diffraction analysis*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6_240023

[6] Lolon, S., & Rahman, F. (2014). *Overview of Rare Earth Elements in Indonesia*. 146–152.

[7] McDonough, W., & Sun, S. S. (1995). The composition of the Earth. *Chem. Geol.*, *67*, 1050–1056.

[8] Potts, P. (1992). X-ray fluorescence analysis: principles and practice of wavelength dispersive spectrometry. *A Handbook of Silicate Rock Analysis*, 226–285.

[9] Sanematsu, K. (2016). *Characteristics and Genesis of Ion Adsorption-Type Rare Earth Element Deposits* (pp. 55–79).

[10] Sanematsu, K., Kon, Y., Imai, A., Watanabe, K., & Watanabe, Y. (2011). Geochemical and mineralogical characteristics of ion-adsorption type REE mineralization in Phuket, Thailand. *Mineralium Deposita - MINER DEPOS*, *48*, 1–15. https://doi.org/10.1007/s00126-011-0380-5

[11] Sanematsu, K., & Watanabe, Y. (2016). *Characteristics and Genesis of Ion Adsorption-Type Rare Earth Element Deposits*. https://doi.org/10.5382/Rev.18.03

[12] Schönbächler, M. (2016). *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)* (pp. 1–6). https://doi.org/10.1007/978-3-319-39193-9_111-1

[13] Setiawan, I. (2019). *REE Potential in Indonesia: Review and Contribution*.

[14] Syafrizal, S., Hede, A., Hakim, A. Y. al, & Sihite, R. (2021). Karakterisasi Mineral Ikutan Timah Pembawa REE Di Bangka Selatan Dan Badau, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Jurnal GEOSAPTA*, *7*, 7. https://doi.org/10.20527/jg.v7i1.8652

[15] Yaraghi, A., Ariffin, K. S., & Baharun, N. (2019). A Short Review on REE Recovery from Ion-Adsorption Clays. *Aspects in Mining & Mineral Science*, *2*. https://doi.org/10.31031/AMMS.2019.02.000550

[16] Zhou, B., Li, Z., & Chen, C. (2017). Global Potential of Rare Earth Resources and Rare Earth Demand from Clean Technologies. *Minerals*, *7*, 203. https://doi.org/10.3390/min7110203