

KARAKTERISTIK UNSUR TANAH JARANG (UTJ) LANTANUM DAN CERIUM PADA LAPUKAN GRANIT DI DAERAH PARMONANGAN, SUMATRA UTARA

Muhammad Ayyasy Musyaffa¹, Aton Patonah¹, Reza Mochammad Faisal¹,

¹Fakultas Teknik Geologi – Universitas Padjadjaran, Kota Bandung

email: email@gmail.com

Naskah Diterima: 28 Mei 2024 /Revisi: 20 Juni 2024 /Disetujui: 24 Juni 2024

ABSTRAK

Kebutuhan akan unsur tanah jarang (UTJ) menunjukkan adanya peningkatan signifikan. La dan Ce merupakan unsur logam tanah jarang yang memiliki kegunaan dalam berbagai teknologi modern. Unsur tanah jarang seperti La dan Ce terkandung dalam mineral pembawa unsur tanah jarang dan dapat ditemukan dalam endapan hasil lapukan granitoid. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik unsur La dan Ce yang terkandung pada endapan adsorpsi ion hasil pelapukan batuan granit dan kaitannya dengan komposisi elemen utama serta unsur jejak lainnya. Pada penelitian ini, sampel lapukan batuan granit didapatkan dari hasil pengeboran di Kecamatan Parmonangan, Kabupaten Tapanuli Utara, Sumatera Utara. Hasil penyelidikan menunjukkan bahwa La terkayakan pada zona akumulasi unsur tanah jarang pada model endapan adsorpsi ion, sedangkan Ce terkayakan pada zona pencucian. Hal tersebut disebabkan oleh pergerakan unsur La pada lapukan yang kemudian diikat oleh mineral ubahan seperti kaolinit. Sementara itu, unsur Ce memiliki nilai ion berbeda sehingga mobilitasnya rendah akibat proses oksidasi di zona pencucian unsur tanah jarang.

Kata kunci: Lantanum (La), Cerium (Ce), Logam Tanah Jarang, Lapukan Granit

ABSTRACT

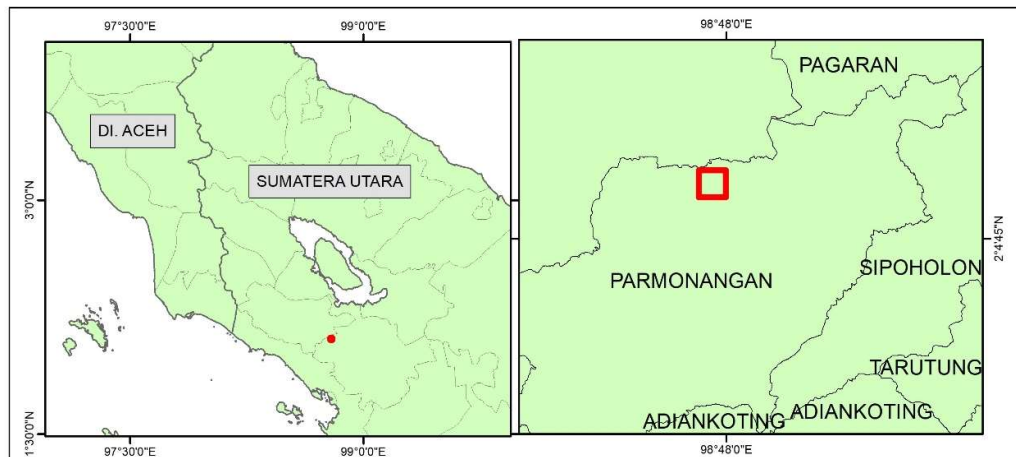
The demand for rare earth elements (UTJ) has increased significantly. Rare earth elements, Lanthanum (La) and Cerium (Ce), are utilized in a variety of contemporary technologies. Rare earth elements such as La and Ce are present in rare earth element-bearing minerals and can be found in granitoid-weathered deposits. The purpose of this study is to determine the characteristics of La and Ce elements contained in ion adsorption deposits resulting from the weathering of granite boulders, as well as their relationship to other chemical elements. The weathering of granite samples obtained from drilling in Parmonangan District, North Tapanuli Regency, North Sumatra. La is enriched in the rare earth element accumulation zone of the ion adsorption precipitate model, and Ce is enriched in the leaching zone, according to the findings of the investigation. This occurs as a result of the movement of La element during weathering, which is then bound by alteration minerals such as kaolinite. As a result of the oxidation process in the rare earth element leaching zone, the element Ce has a distinction value, resulting in limited mobility.

Keywords: Lanthanum (La), Cerium (Ce), Rare Earth Elements, weathered-granite

PENDAHULUAN

Unsur tanah jarang (UTJ) merupakan unsur penting yang digunakan berbagai macam industri, utamanya yang berkaitan dengan teknologi. Sifat materialnya yang lebih unggul dengan efisiensi yang lebih besar membuat LTJ menjadi material penting dalam bidang teknologi (Bakhtiar, 2020). Secara global, LTJ juga dianggap sebagai mineral strategis yang keberadaannya dikategorikan sebagai mineral kritis/langka (*critical raw materials*). Unsur tanah jarang dianggap sebagai mineral kritis yang sangat ketat neraca *supply* dan *demand* sumber dayanya (Roskill, 2007). Cadangan LTJ terbesar di dunia saat ini berada di Tiongkok yang kemudian diikuti oleh Amerika Serikat dengan mineral bastnasit sebagai sumbernya. Australia dan India berada di urutan berikutnya dengan LTJ yang berasal dari mineral monasit dalam bentuk endapan sekunder.

Melihat kondisi pasar LTJ, Indonesia juga melakukan penelitian terhadap potensi dan pengembangan LTJ di dalam negeri. Secara historis, Indonesia sudah melakukan penyelidikan LTJ setidaknya sejak tahun 1991 berdasarkan laporan penyelidikan Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP). Hasil dari berbagai laporan terdahulu menyebutkan banyak indikasi keberadaan unsur tanah jarang di wilayah Sumatera dan Bangka Belitung serta indikasi berupa zirkon di wilayah Kalimantan, Sulawesi, dan Papua (Tampubolon, dkk., 2019). Pada tahun 2011, PSDMB melakukan penyelidikan pada kompleks Granit Sibolga di Kabupaten Tapanuli Utara, Sumatera Utara. Penyelidikan tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa granit di daerah tersebut memiliki kandungan unsur tanah jarang yang cukup signifikan dari hasil pengambilan sampel lapukan. Adapun kandungan logam tanah jarang yang terbesar kadarnya di antaranya adalah unsur Ce dengan interval 600-1400 ppm dan La dengan interval 400-1000 ppm (Kisman, dkk., 2011). Berdasarkan dari kebutuhan LTJ dalam pasar geologi ekonomi dunia, pengembangan eksplorasinya di Indonesia, dan hasil penelitian awal mengenai kandungan LTJ pada lapukan granit di daerah Sumatera Utara, maka penelitian difokuskan kepada kelimpahan unsur tanah jarang Lantanum dan Cerium dari sampel pengeboran lapukan untuk mengetahui karakteristik geokimia kedua unsur tersebut pada profil lapisan tanah di daerah penelitian (gambar 1).



Gambar 1 Lokasi daerah penelitian

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan fokus pada objek unsur La dan Ce yang terdapat pada tanah serta pemetaan sampel batuan di sekitar titik pengeboran untuk mengetahui karakteristik batuan di daerah penelitian. Penelitian observasi lapangan, dilakukan bersama-sama dengan Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi (PSDMBP) dengan metode pengambilan sampel tanah dilaksanakan dengan kegiatan pengeboran lapukan granit di daerah penelitian menggunakan mesin longyear 24 dengan kedalaman antara 14 – 32 meter dalam lokasi berjumlah 3 (tiga) titik pengeboran dengan jarak interval titik berkisar 100 – 200 meter. Tahap berikutnya adalah dilakukan pemilahan sampel untuk diteliti lebih lanjut dengan melakukan analisis laboratorium. Jumlah sampel yang dianalisis adalah 83 sampel *soil* dari masing masing titik bor 1 berjumlah 31 sampel, titik bor 2 berjumlah 32 sampel, titik bor 3 berjumlah 16 sampel, serta hasil *channeling* di sekitar titik bor sebanyak 3 sampel. Dari seluruh sampel *soil* tersebut dilakukan analisis XRF untuk mengetahui elemen utama, ICP untuk mengetahui unsur tanah jarang dan unsur jejak lainnya, serta XRD untuk mengidentifikasi mineral-mineral penyusun lapukan yang berbutir halus seperti tanah liat atau lempung yang terdapat pada sampel. Sampel batuan yang dianalisis berjumlah 5 sampel untuk analisis petrografi serta 11 sampel untuk analisis XRF pada batuan.

Berdasarkan tekstur dan mineralogi, profil pelapukan terbagi ke dalam Horizon A, Horizon B dan Horizon C. Profil lapisan lapukan paling atas merupakan horizon A, biasanya memiliki ketebalan 0 – 1 meter yang pada umumnya berwarna coklat gelap dan banyak terdapat material-material organik. Di bawah horizon A terdapat horizon B yang pada umumnya telah mengalami pelapukan yang cukup kuat (*strong weathering*). Horizon C, umumnya mengalami proses pelapukan sebagian (*semi-weathered zone/intermediate weathering*) dengan ketebalan 2 – 3 meter dan kadang bisa mencapai 20 meter. Dibawah horizon C terdapat zona transisi antara *saprolite* dan *bedrock* dengan kelimpahan *corestones* yang ditemukan di sekitar regolith.

HASIL DAN PEMBAHASAN

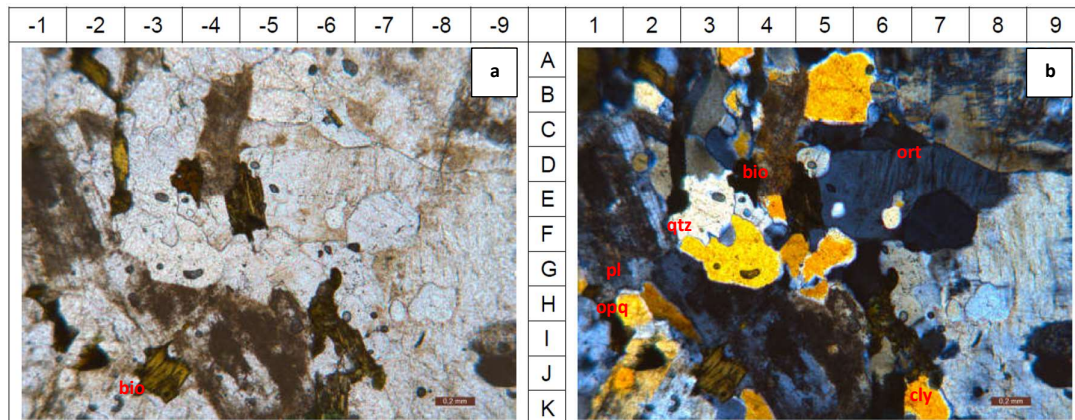
a. Karakteristik Batuan

Secara makroskopis, umumnya daerah penelitian disusun oleh batuan granit bertekstur faneritik – porfiri faneritik yang dicirikan oleh keberadaan feldspar berukuran 2 mm – 1 cm dan kuarsa berukuran lebih dari 1 mm. Batuan juga disusun oleh biotit dan hornblenda yang beragam ukurannya dari ukuran pasir kasar sampai kerikil. Secara umum, ukuran butir mineral pada sampel batuan di daerah penelitian tidak seragam atau inequigranular (Gambar 2).

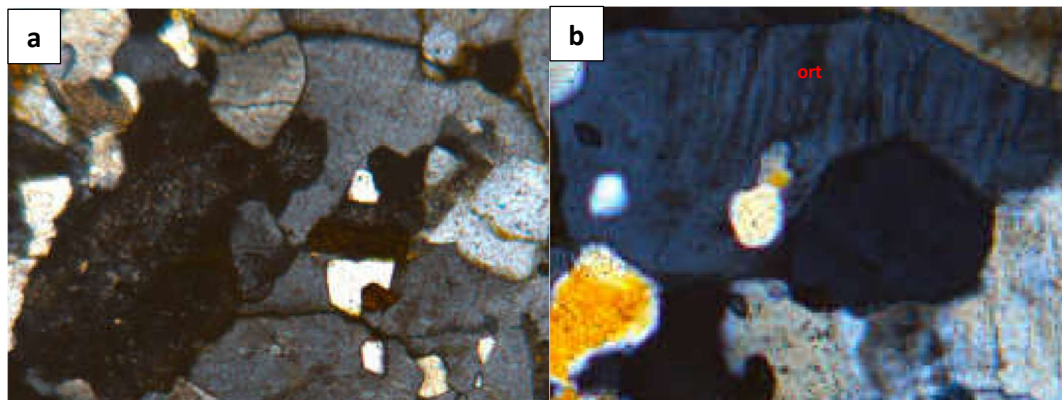
Untuk mengetahui mineral penyusun batuan di lokasi penelitian, dilakukan analisis petrografi terhadap 5 (lima) sampel batuan granit yang berasal dari singkapan di sekitar titik bor (stasiun TRT22M04R, TRT22M037R, dan TRT22M044R) dan batuan yang didapat dari hasil pengeboran di titik ketiga (Sampel TRT22MB3-09R dan TRT22MB3-013R). Secara umum, batuan ini memiliki tekstur faneritik, holokristalin, *hipidiomorfik granular*, ukuran butir hingga 9 mm, dan bentuk kristal subhedral – anhedral. Pada beberapa sampel, terdapat tekstur mirmekitik. Mineral penyusun batuan di daerah penelitian umumnya didominasi oleh mineral primer berupa kuarsa (20-37%), ortoklas (17-38%), plagioklas (7-14%), biotit (10-12%), dan hornblenda (1%). Kuarsa memiliki warna *colorless* dengan ukuran hingga 8 mm dan bentuk

**KARAKTERISTIK UNSUR TANAH JARANG (UTJ) LANTANUM DAN CERIUM PADA LAPUKAN GRANIT DI DAERAH
PARMONANGAN, SUMATRA UTARA**

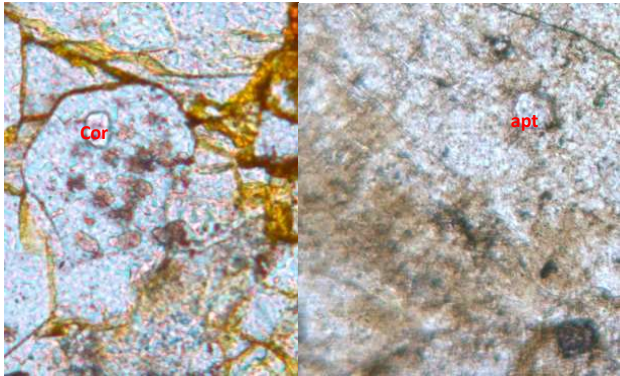
kristal anhedral. Ortoklas memiliki warna kusam hingga tidak berwarna, berukuran hingga 9 mm, bentuk kristal anhedral, sebagian diinklusi oleh kuarsa, dan sebagian berubah menjadi lempung. Plagioklas memiliki warna kusam hingga tidak berwarna dengan ukuran hingga 3 mm, bentuk kristal subhedral, kembar berupa albit atau karlsbad, dan sebagian berubah menjadi serisit dan klorit. Biotit berwarna hijau hingga coklat, berukuran hingga 5 mm, bentuk kristal subhedral, relief tinggi, dan plekroisme kuat. Sebagian mineral kuarsa hadir dalam bentuk inklusi pada ortoklas dan hadir bersama dengan plagioklas membentuk tekstur mirmekitik (Gambar 3). Mineral aksesori pada batuan ini berupa mineral zirkon yang hadir individu dan mineral opak. Selain itu, juga hadir apatit dan kordierit dalam jumlah kecil (Gambar 4). Mineral ubahan yang hadir berupa mineral lempung, dan klorit (Gambar 5). Mineral lempung merupakan ubahan dari plagioklas dan ortoklas. Klorit hadir dalam jumlah kecil (2-4%) sebagai ubahan dari hornblende dan biotit. Penentuan batuan beku di daerah penelitian berdasarkan klasifikasi Streckeisen (1976) adalah Granit (Gambar 6). Rekapitulasi analisis petrografi sampel batuan dapat dilihat pada Tabel 1.



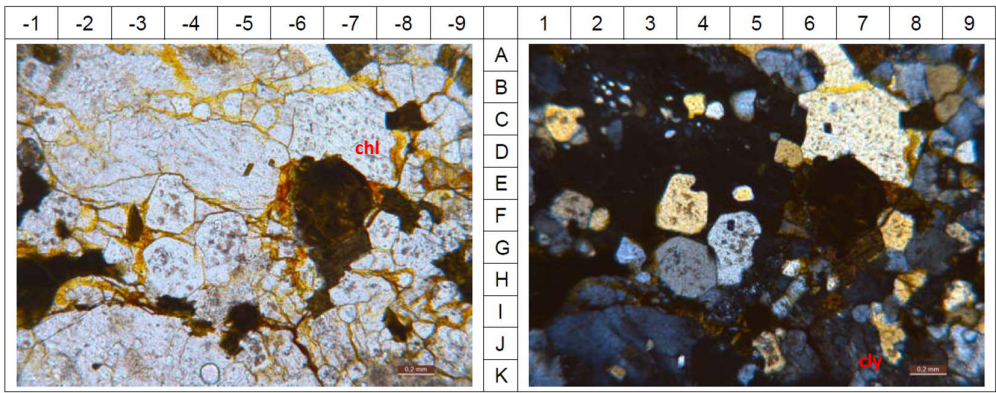
Gambar 2 Fotomikrograf nikol sejajar (a) dan nikol bersilang (b) granit daerah penelitian pada stasiun TRT22M04R yang disusun oleh kuarsa (qtz), plagioklas (pl), ortoklas (ort), biotit (bio), mineral lempung (cly), dan mineral opak (opq).



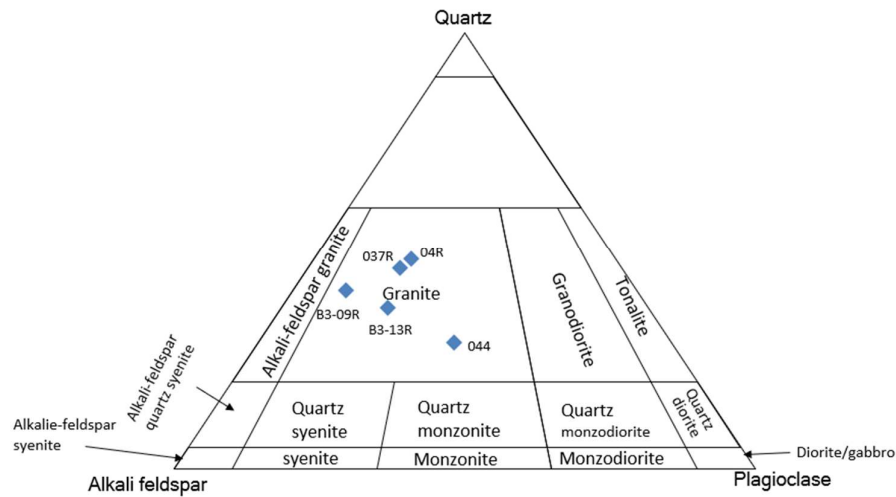
Gambar 3 Fotomikrograf tekstur mirmekitik (a) dan inklusi kuarsa pada ortoklas (b) di batuan granit daerah penelitian.



Gambar 4 Fotomikrograf kordierit (cor) dan apatit (apt) pada stasiun TRT22MB3-09R dan TRT22M037R.



Gambar 5 Mineral ubahan batuan granit daerah penyelidikan berupa mineral lempung (cly), dan klorit (chl).



Gambar 6 Plot sampel granitoid pada diagram QAP (Streckeisen, 1976).

Tabel 1 Rekapitulasi mineral penyusun dan penamaan batuan dari analisis petrografi

No	Kode Sampel	Nama Batuan	Komposisi Mineral (%)
1	TRT22MB3-09R	Granit	Ortoklas (38), Kuarsa (30), Biotit (12), Plagioklas (7), Mineral Lempung (5), Klorit (4), Hornblenda (1), Kordierit (1), Epidot (1), dan Mineral Opak (1).
2	TRT22MB3-013R	Granit	Ortoklas (34), Kuarsa (28), Plagioklas (14), Biotit (10), Mineral Lempung (7), Klorit (3), Mikroklin (1), Biotit (1), Epidot (1), dan Mineral Opak (1).
3	TRT22M04R	Granit	Kuarsa (37), Ortoklas (27), Plagioklas (13), Biotit (10), Mineral Lempung (5), Mikroklin (5), Hornblenda (1), Zirkon (1), dan mineral opak (1).
4	TRT22M037R	Granit	Kuarsa (29), Ortoklas (24), Mikroklin (15), Plagioklas (10), Biotit (10), mineral Lempung (6), Klorit (2), Epidot (1), apatit (1), Zirkon (1), dan mineral opak (1).
5	TRT22M044R	Granit	Ortoklas (38), Plagioklas (14), Kuarsa (30), Biotit (11), Mineral Lempung (5), Epidot (1), dan Mineral Opak (1).

b. Karakteristik Fisik Lapukan

Sampel lapukan pada daerah penelitian berasal dari kegiatan pengeboran tanah hasil lapukan batuan granit yang terdiri dari 80 (delapan puluh) sampel hasil pengeboran. Lapukan yang diperoleh umumnya memiliki karakteristik berwarna kuning atau merah hingga kuning kecoklatan dengan tingkat pelapukan mulai dari menengah sampai kuat, ukuran kristal pasir kasar – kerikil, dan hubungan kristalnya equigranular. Komposisi mineral secara megaskopis pada sampel lapukan yang diperoleh umumnya berupa kuarsa, feldspar, biotit, dan mineral mika serta ditemukannya urat berwarna hitam di beberapa lokasi. Secara umum, sampel juga terlihat memiliki kandungan kaolin.

Analisis X – RAY DIFRACTION (XRD)

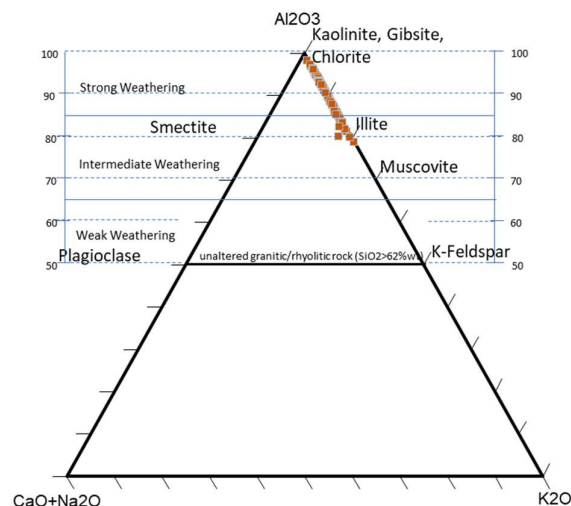
Analisis XRD dilakukan pada 23 sampel lapukan yang diperoleh dari hasil pengeboran di 3 (tiga) titik. Umumnya, hamper seluruh sampel lapukan terdiri atas mineral kuarsa, kaolinit, dan *sodium aluminium silicate*. Ditemukannya kaolinit sebagai ubahan dari feldspar menunjukkan pelapukan yang intensif.

X-RAY FLUORESCENCE (XRF)

Analisis kimia berupa X-Ray Fluorescence (XRF) dilakukan terhadap sampel batuan dan lapukan daerah penelitian untuk mengetahui *major element* dari setiap sampel. Sebanyak 9 sampel batuan yang diambil dari singkapan dan 80 sampel lapukan granit dan 3 titik bor di lokasi penelitian. Komposisi major element sampel batuan memiliki kandungan SiO₂ (47,5 – 85,61 wt.%), Al₂O₃ (6 – 26,88 wt.%), Fe₂O₃ (5,23 – 9,28 wt.%), MgO (0,20 – 1,23 wt.%), CaO

(0,66 – 2,22 wt.%), Na_2O (0,04 – 2,28 wt.%), K_2O (1,38 – 5,64 wt.%), TiO_2 (0,10 – 1,45 wt.%), P_2O_5 (0,15 – 0,50 wt.%), dan MnO (0,04 – 0,21 wt.%). Komposisi SiO_2 pada batuan umumnya berada di atas 65 wt.% yang menandakan sampel batuan merupakan batuan beku asam, kecuali batuan hasil pengeboran yang diduga sudah mengalami proses pelapukan yang cukup intensif.

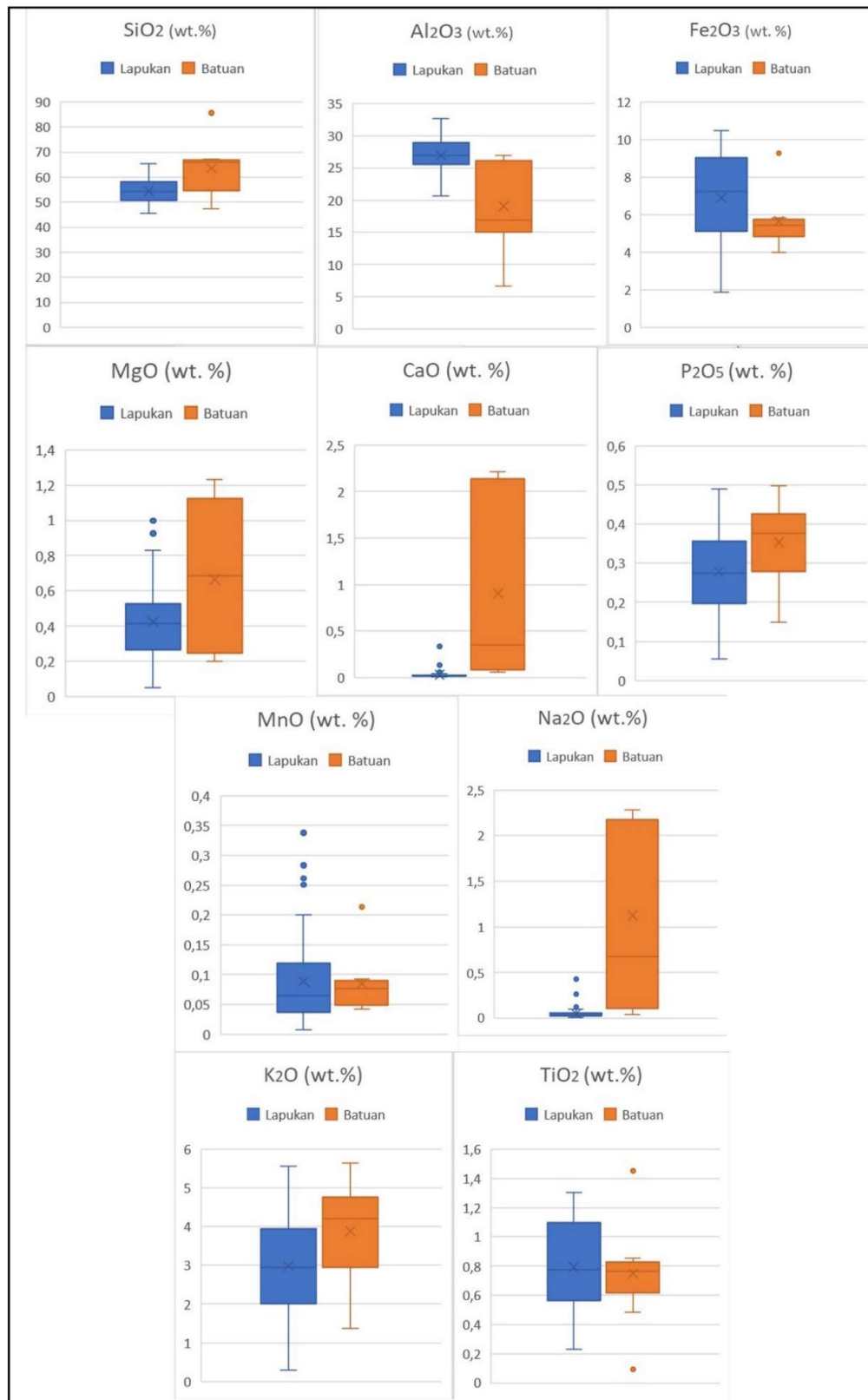
Komposisi elemen utama sampel lapukan memiliki kandungan SiO_2 (45,7 – 65,51 wt.%), Al_2O_3 (20,60 – 32,63 wt.%), Fe_2O_3 (1,13 – 10,47 wt.%), MgO (0,05 – 1,01 wt.%), CaO (0,01 – 0,34 wt.%), Na_2O (0,01 – 0,42 wt.%), K_2O (0,29 – 5,57 wt.%), TiO_2 (0,18 – 1,30 wt.%), P_2O_5 (0,06 – 0,49 wt.%), dan MnO (0,01 – 0,34 wt.%). Kandungan elemen SiO_2 dan Al_2O_3 yang lebih besar dibandingkan Fe_2O_3 dan MgO sesuai dengan batuan di daerah penelitian yang berupa batuan beku asam berupa granit yang terbentuk di kontinen. Batuan granit yang menyusun daerah penelitian merupakan batuan dasar yang mengalami pelapukan dan membentuk lapukan granit. Kandungan SiO_2 yang tinggi dengan P_2O_5 yang rendah menandakan keberadaan akumulasi mineral silika pembawa tanah jarang, seperti alanit dan titanit serta terjadinya fraksinasi kristal sehingga mineral fosfat pembawa unsur tanah jarang sedikit ditemukan. Berdasarkan perhitungan CIA dengan indeks pelapukan granitoid oleh Nesbitt dan Young (1982), sampel lapukan hasil pengeboran telah mengalami intensitas pelapukan sedang sampai kuat dengan nilai indeks CIA sebesar 77,36 – 97,91. Berdasarkan diagram terner oleh Nesbitt dan Markovics (1997) yang merupakan perbandingan kandungan Al_2O_3 , $\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}$, dan K_2O menunjukkan bahwa tren pelapukan yang terjadi secara intensif ditandai dengan adanya mineral ubahan dari feldspar berupa kaolinit dan/atau gipsit (Gambar 7).



Gambar 7 *Plotting* pada diagram terner oleh Nesbitt dan Markovics (1997) yang menunjukkan intensitas pelapukan sampel lapukan di daerah penelitian

Jumlah komposisi elemen utama pada sampel batuan dan hasil lapukannya dimasukkan ke diagram *boxplot* untuk mengidentifikasi perbandingan komposisi elemen utama antara batuan induk dan lapukan (Gambar 8). Elemen Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dan TiO_2 cenderung meningkat pada lapukan akibat kecenderungannya sebagai unsur *immobile* dan menjadi unsur yang tertinggal saat pelapukan. Elemen Na_2O , MgO , CaO , dan K_2O cenderung menurun pada lapukan karena unsur Ca, Na, Mg, dan K adalah unsur yang mudah larut ketika proses pelapukan berlangsung (Middelburg, dkk., 1988).

KARAKTERISTIK UNSUR TANAH JARANG (UTJ) LANTANUM DAN CERIUM PADA LAPUKAN GRANIT DI DAERAH PARMONANGAN, SUMATRA UTARA



Gambar 8 Boxplot major element sampel lapukan terhadap sampel batuan di daerah penelitian.

C. Komposisi Elemen Jejak

Keberadaan elemen jejak yang diduga berhubungan dengan unsur Lantanum (La) dan Cerium (Ce) di daerah penelitian adalah Thorium (Th), Uranium (U), dan Zirkonium (Zr). Ketiga unsur tersebut dapat menandakan mineral pembawa unsur logam tanah jarang seperti monasit dan zirkon. Sampel batuan di daerah penelitian memiliki kandungan Zr (33,53 – 357,70 ppm), Th (5,21 – 19,78 ppm), dan U (9,80 – 17,18 ppm). Lebih lanjut lagi, sampel lapukan di lokasi penelitian memiliki kandungan Zr (23,3 – 124 ppm), Th (30,5 – 65,5 ppm), dan U (2,74 – 23 ppm). Endapan unsur tanah jarang tipe adsorpsi ion umumnya mengandung jumlah Th dan U yang lebih sedikit dari tipe endapan lainnya (Hoshino, dkk., 2016), contohnya endapan tipe adsorpsi ion di Dingnan mengandung Th sebesar 29 – 37 ppm dan U sebesar 2,8 – 4,7 ppm.

d. Karakteristik Unsur Lantanum dan Cerium

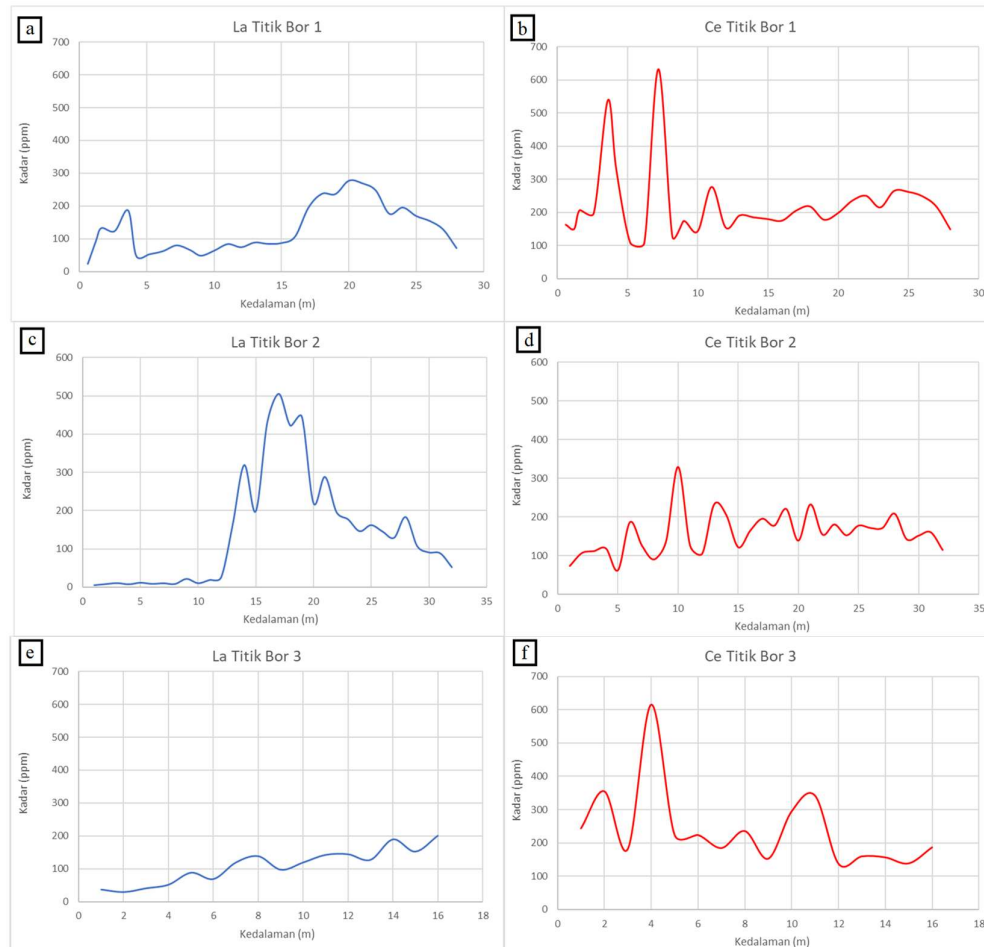
Sampel batuan pada daerah penelitian mengandung variasi unsur Lantanum (La) sebesar 16 – 136 ppm dan unsur Cerium (Ce) sebesar 36 – 237 ppm. Sampel lapukan pada daerah penelitian mengandung variasi unsur La sebesar 5 – 505 ppm dan unsur Ce sebesar 61,5 – 633 ppm. Kadar La dan Ce di daerah penelitian secara umum lebih besar pada sampel lapukan dibandingkan dengan batuan yang menggambarkan adanya pengkayaan kedua unsur tersebut pada proses pelapukan batuan granit.

Keterdapatan unsur La dari sampel lapukan memiliki variasi jumlah kadar pada setiap lubang bor dan setiap kedalamannya. Pada titik bor satu yang memiliki kedalaman 28 meter, kadar La memiliki jumlah yang signifikan pada kedalaman awal (meter 0 – 3,6) yang kemudian mengalami deplesi di sepanjang horizon B tengah pada kedalaman 3,6 – 15 meter. Kadar La kemudian mengalami kenaikan yang sangat signifikan pada horizon B tengah menuju akhir sebelum kembali mengalami deplesi pada kedalaman 23 meter (Gambar 9 a). Pada titik bor dua yang memiliki kedalaman total 32 meter, kadar La sangat kecil pada 12 meter pertama kedalaman lubang bor dengan kadar terbesar hanya 90 ppm. Kemudian, La mengalami kenaikan di kedalaman 12 – 21 meter yang diikuti oleh deplesi kembali hingga ke kedalaman terakhir lubang bor (Gambar 9 c). Pada titik bor tiga yang hanya memiliki kedalaman 14,8 meter, kadar La memiliki kecenderungan tren meningkat dari kedalaman awal menuju ke kedalaman terakhir (Gambar 9 e).

Variasi keterdapatan unsur Ce pada sampel lapukan umumnya mengalami deplesi. Pada titik bor satu, unsur Ce memiliki kadar yang signifikan hingga 633 ppm pada kedalaman awal sampai meter kedelapan kemudian mengalami deplesi hingga akhir lubang bor (Gambar 9 b). Pada titik kedua kadar, Ce relatif stabil namun tetap mengalami tren penurunan menuju akhir kedalaman (Gambar 9 d). Kadar Ce pada lubang bor ketiga mengalami pengkayaan pada meter awal hingga sebesar 615 ppm lalu kemudian cenderung mengalami deplesi di kedalaman setelahnya hingga hanya berjumlah 187 ppm pada kedalaman terakhir (Gambar 9 f). Kadar unsur pada tiga titik bor tersebut memperlihatkan zona pengkayaan Lantanum yang berada pada horizon B tengah menuju bawah sedangkan zona pengkayaan unsur Cerium berada pada horizon B bagian atas.

Keberadaan unsur logam tanah jarang dapat mengalami peningkatan ataupun deplesi akibat proses pelapukan yang menyebabkan adanya mobilisasi dan fraksinasi. Hal tersebut disebabkan

oleh berbagai faktor, seperti kondisi Eh-pH, kondisi lingkungan pelapukan, seperti jenis dan kandungan air, material organik, zat kompleks, dan zat pengoksidasi (Scott dan Pain, 2009). Anomali positif Ce pada meter-meter awal kedalaman dihasilkan akibat CeO_2 yang *immobile* karena proses oksidasi yang mengubah Ce^{3+} menjadi Ce^{4+} di dekat permukaan karena CeO_2 lebih sulit larut dibandingkan dengan unsur REE^{3+} lainnya. Unsur La tertransportasi ke bawah dari mineral pembawanya untuk kemudian diserap kembali menjadi mineral atau pada produk pelapukan (Sanematsu, 2016).



Gambar 9 Grafik kadar (ppm) terhadap kedalaman (m) unsur La pada titik bor 1,2, dan 3 (a, c, e), serta unsur Ce pada titik bor 1, 2, dan 3 (b, d, f).

e. Tipe Endapan

Hasil normalisasi unsur tanah jarang terhadap *chondrite* di daerah penelitian menunjukkan anomali positif Ce pada kedalaman 1 – 3 meter di titik bor satu, 1 – 12 meter di titik bor dua, dan 1 – 6 meter di titik bor tiga. Kedalaman berikutnya menunjukkan pola anomali negatif unsur Ce. Komposisi elemen utama daerah penelitian memiliki kandungan SiO_2 yang tinggi dan rendah Fe_2O_3 serta Al_2O_3 yang menandakan sampel bukan merupakan endapan lateritik yang memiliki ciri rendah SiO_2 dan tinggi Fe_2O_3 serta Al_2O_3 . Kandungan unsur Th pada sampel lapukan penelitian memiliki kadar 30,5 – 65,5 ppm, dan U 2,74 – 23 ppm.

Tipe endapan adsorpsi ion terbentuk oleh pelapukan batuan beku yang mengandung mineral pembawa REE. Mineral pembawa REE yang terdekomposisi akibat pelapukan akan melepaskan unsur tanah jarang yang kemudian diadsorpsi oleh mineral lempung seperti kaolinit dan halosit (Hoshino, 2016). Berdasarkan skema keterbentukan endapan adsorpsi ion menurut Sanematsu dan Watanabe (2016), Jika dinormalisasi terhadap *chondrite*, kadar unsur La dan Ce pada lokasi penelitian dapat menentukan zona keterdapatan unsur tanah jarang. Salah satu penciri tipe endapan ini adalah adanya anomali positif Ce pada zona pencucian REE anomali negatif Ce setelah dilakukan normalisasi terhadap *chondrite* pada zona pengkayaan REE (Sanematsu, 2016). Model keterbentukan endapan adsorpsi ion yang berkembang pada batuan granit menunjukkan adanya zona pencucian REE di mana kadar unsur tanah jarang kecuali Ce mengalami penurunan, zona akumulasi REE yang merupakan zona pengkayaan unsur tanah jarang kecuali Ce yang mengalami deplesi. Endapan unsur tanah jarang tipe adsorpsi ion umumnya mengandung jumlah Th dan U yang lebih sedikit dari tipe endapan lainnya (Hoshino, dkk., 2016). Sebagai contoh, endapan tipe adsorpsi ion di Dingnan mengandung Th sebesar 29 – 37 ppm dan U sebesar 2,8 – 4,7 ppm.

KESIMPULAN

Sampel granit daerah penelitian tersusun atas feldspar, kuarsa, biotit, dan hornblende. Batuan pada daerah penelitian juga disusun oleh mineral aksesoris seperti zirkon, apatit, dan kordierit. Sampel lapukan memiliki kandungan mineral kuarsa, mika, plagioklas, dan kaolinit. Elemen utama daerah penelitian didominasi oleh SiO_2 dan Al_2O_3 dengan kandungan Fe_2O_3 , MgO , CaO , TiO_2 , dan P_2O_5 yang cukup rendah. Tingginya elemen SiO_2 dan rendahnya P_2O_5 menandakan keberadaan akumulasi mineral silika pembawa tanah jarang, seperti alanit dan titanit serta terjadinya fraksinasi kristal sehingga mineral fosfat pembawa unsur tanah jarang sedikit ditemukan. Unsur jejak berupa Uranium dan Thorium, yang nilainya tidak begitu besar, serta Zirkonium menandakan indikasi tipe endapan adsorpsi ion serta mengindikasikan mineral pembawa unsur tanah jarang, seperti zirkon dan monasit. Unsur Lantanum dan Cerium daerah penelitian memiliki kadar menengah dengan zona pengkayaan yang berbeda. Mengacu pada endapan unsur tanah jarang tipe adsorpsi ion, zona pengkayaan Ce berada pada zona pencucian REE sementara La berada pada zona akumulasi REE.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji serta syukur atas berkat dan Rahmat yang diberikan Tuhan sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. Terima kasih kepada PSDMBP yang telah memfasilitasi dan memberikan izin terhadap publikasi penelitian ini. Terima kasih kepada dosen pembimbing dan pembimbing teknis yang selalu mendukung serta membimbing hingga penelitian ini selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakhtiar, A. Y., (2020). *Menakar Potensi Dan Genesa Logam Tanah Jarang Pada Lapukan Granit Di Pulau Sulawesi Berdasarkan Properti Geokimia, Studi Kasus: Regional Mamasa Dan Palu*.
- Hoshino, M., Sanematsu, K., & Watanabe, Y. (2016). REE mineralogy and resources. *Handbook on the physics and chemistry of Rare Earths*, 49, 129-291.
- Kisman, dkk. 2011. *Eksplorasi Umum Logam Jarang (REE) Timah Di Kabupaten Tapanuli Utara. Provinsi Sumatera Utara*. Pusat Sumber Daya Geologi. Bandung
- Middelburg, J. J., van der Weijden, C. H., & Woittiez, J. R. (1988). Chemical processes affecting the mobility of major, minor and trace elements during weathering of granitic rocks. *Chemical geology*, 68(3-4), 253-273.
- Roskill. (2011). *Rare Earths & Yttrium: Market Outlook to 2015, 14th edition, 2011: Roskill Information Services, Ltd., London, 492 p*.
- Sanematsu, K., Ejima, T., Kon, Y., Manaka, T., Zaw, K., Morita, S., Seo, Y., (2016). *Fractionation of rare-earth elements during magmatic differentiation and weathering of calc-alkaline granites in southern Myanmar. Mineral. Mag.* 80, 77–102.
- Sanematsu, K., Watanabe, Y., (2016). *Characteristics and genesis of ion-adsorption type deposits. Rev. Econ. Geol.* 18, 55–79.
- Scott, K., & Pain, C. (Eds.). (2009). *Regolith science*. Csiro Publishing.
- Setiawan, I., Takahashi, R., & Imai, A. (2017). Petrochemistry of granitoids in Sibolga and its surrounding areas, North Sumatra, Indonesia. *Resource Geology*, 67(3), 254-278.
- Setiawan, I. (2019). Petrochemistry and behavior of REE in the weathered crusts of granitoids at Sibolga, Indonesia.