

Karakteristik Mineralogi dan Identifikasi Unsur Tanah Jarang (REE) pada Batuan Granitoid dan Gabro Batolith Ombilin, Kota Sawahlunto, Sumatra Barat

Giovanni Keane Manosor¹, Nabilla Dwie Maharani¹, Zaidhan Abi Fathan¹, Hari Wiki Utama^{1*}, Hasan Riyadi¹

¹Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Jambi, Indonesia

DOI: <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i4.3259>

Article Info

Received : August, 12th 2026

Revised : August, 31st 2026

Accepted: September, 11th 2026

Correspondence:

Hari Wiki Utama

Phone: +6281259227552

Abstract: Granite, granodiorite, and gabbro exposed in the Kubang Tengah and Muaro Kalaban areas, Sawahlunto City, West Sumatra, exhibit variations in mineralogical and geochemical characteristics that provide important information on the occurrence of rare earth elements (REE). This study aims to characterize the mineralogical and geochemical properties of the rocks and evaluate REE distribution at the mineral scale. Four rock samples, namely G-1, Gr-2, Gb-3, and Gb-4, were analyzed using petrographic, X-Ray Fluorescence (XRF), and Micro-X-Ray Fluorescence (μ -XRF) methods. Petrographic analysis classifies G-1 as granite, Gr-2 as granodiorite, and Gb-3 and Gb-4 as gabbro. XRF analysis reveals variations in geochemical composition among the samples, with SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , and CaO representing the major oxide components, while MgO and TiO_2 are relatively higher in Gb-3 and Gb-4. μ -XRF analysis was used to evaluate elemental distribution at the mineral scale, with Y, La, Ce, Nd, and Lu as the main REE elements considered. The integration of petrographic, XRF, and μ -XRF results indicates a relationship between mineralogical variations, geochemical characteristics, and elemental distribution among the studied samples. These results provide a basis for evaluating REE occurrence and identifying minerals potentially associated with REE in the intrusive rocks of the study area

Keywords: Rare Earth Elements (REE); Granite; Granodiorite; Gabbro; Geochemistry.

Citation: Manosor, G. K., Maharani, N. D., Fathan, Z. A., Utama, H. W., & Riyadi, H. (2026). Karakteristik Mineralogi dan Identifikasi Unsur Tanah Jarang (REE) pada Batuan Granitoid dan Gabro Batolith Ombilin, Kota Sawahlunto, Sumatra Barat. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 7(4), 5747-5759. <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i4.3259>

Pendahuluan

Unsur tanah jarang atau *Rare Earth Elements* (REE) merupakan suatu kelompok unsur strategis dengan memiliki berbagai karakteristik kimia dan fisik yang khas serta memiliki peranan penting dalam mendukung perkembangan teknologi modern. Di dalam sistem geologi, REE umumnya tidak terdistribusi secara merata, melainkan cenderung terakumulasi pada mineral tertentu yang mampu mengikatnya dalam struktur kristal. Karakter tersebut menjadikan informasi mengenai sumber, karakteristik, dan juga distribusi REE pada batuan maupun mineral penyusunnya penting untuk memahami keterdapatan dan penyaannya

dalam suatu sistem geologi (Medeiros et al., 2025; Lu et al., 2020).

Pada batuan beku, terutama granitoid, REE umumnya ditemukan berasosiasi dengan mineral aksesori seperti monasit, xenotim, allanite, apatit, dan zirkon. Monasit dan xenotim merupakan mineral fosfat yang memiliki kapasitas untuk mengakomodasi REE dalam struktur kristalnya. Monasit lebih umum berkaitan dengan LREE, sedangkan xenotim berperan penting dalam keterdapatan HREE dan Y. Oleh karena itu, identifikasi mineral pembawa serta karakteristiknya diperlukan untuk memahami kontrol mineralogi

Email: h.wikiutama@unja.ac.id

terhadap distribusi REE dalam batuan beku (Chong et al., 2024; Breiter & Förster, 2021; Fu et al., 2024).

Daerah penelitian terletak di Kubang Tengah dan Muaro Kalaban, Kota Sawahlunto, Sumatra Barat, yang secara regional termasuk dalam kawasan Cekungan Ombilin. Kawasan ini memiliki tatanan geologi yang kompleks dan merekam perkembangan geologi sejak Eosen. Kerangka geologi regional tersebut dapat memberikan konteks penting dalam memahami karakter batuan serta adanya variasi mineralogi dan geokimia yang berkembang di daerah penelitian tersebut (Zonneveld et al., 2025).

Kajian terhadap granitoid Pra-Tersier di Jambi menunjukkan bahwa karakter petrologi, mineralogi, dan geokimia dapat digunakan untuk menilai keterdapatan REE pada granitoid di Sumatra. Keberadaan mineral aksesori dan variasi komposisi geokimia memberikan indikasi adanya hubungan antara karakter mineralogi dan kandungan REE dalam batuan. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa kajian REE pada granitoid perlu mempertimbangkan keterkaitan antara karakter mineral dan juga berdasarkan komposisi geokimianya (Zonneveld et al., 2025; Najili et al., 2021).

Penelitian pada granit Liuchen memperlihatkan bahwa distribusi REE berkaitan erat dengan mineral pembawanya. Allanite, monasit, apatit, dan zirkon berperan dalam membawa LREE, sedangkan xenotim berperan penting terhadap HREE dan Y. Temuan tersebut menunjukkan bahwa distribusi REE tidak hanya mencerminkan komposisi geokimia batuan secara keseluruhan, tetapi juga dipengaruhi oleh jenis dan karakter mineral yang menjadi tempat keterdapatan unsur tersebut (Irzon et al., 2017; Najili et al., 2021; Watthanapond et al., 2024; Agung et al., 2024).

Kajian granitoid di Uthai Thani menunjukkan bahwa penggabungan analisis petrografi dan kimia mineral dapat memberikan gambaran yang lebih terperinci mengenai mineral pembawa REE. Identifikasi mineral dan hubungan teksturalnya melalui petrografi, kemudian dikaitkan dengan komposisi unsur pada mineral, dapat membantu menelusuri distribusi REE pada skala mineral. Pendekatan tersebut memperkuat pentingnya keterkaitan antara karakter mineralogi dan komposisi unsur dalam kajian REE pada batuan beku (Gabriel et al., 2022; Kim et al., 2022; Yang et al., 2020).

Berdasarkan penelitian terdahulu, kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi analisis petrografi, XRF, dan Micro-XRF untuk mengevaluasi hubungan antara karakter mineralogi, komposisi geokimia batuan secara keseluruhan, dan pola distribusi unsur tanah jarang pada skala mineral pada batuan granitoid dan gabro di daerah Kubang Tengah dan Muaro Kalaban. Penelitian ini mengintegrasikan analisis petrografi, X-Ray Fluorescence (XRF), dan Micro-X-Ray Fluorescence (μ -

XRF) pada empat sampel, yaitu G-1, Gr-2, Gb-3, dan Gb-4 (Hentschel et al., 2020).

Analisis petrografi digunakan untuk mengkarakterisasi mineralogi dan tekstur batuan, XRF untuk menentukan komposisi geokimia *bulk-rock*, sedangkan μ -XRF difokuskan pada Y, La, Ce, Nd, dan Lu untuk mengevaluasi distribusi REE pada skala mineral. Integrasi petrografi, XRF, dan μ -XRF dalam penelitian ini digunakan untuk menghubungkan karakter mineralogi dan geokimia *bulk-rock* dengan distribusi REE pada skala mineral batuan granit, granodiorit, dan gabro di daerah penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi mineralogi dan geokimia batuan serta mengevaluasi pola distribusi dan asosiasi REE pada skala mineral di Kubang Tengah dan Muaro Kalaban, Kota Sawahlunto, Sumatra Barat.

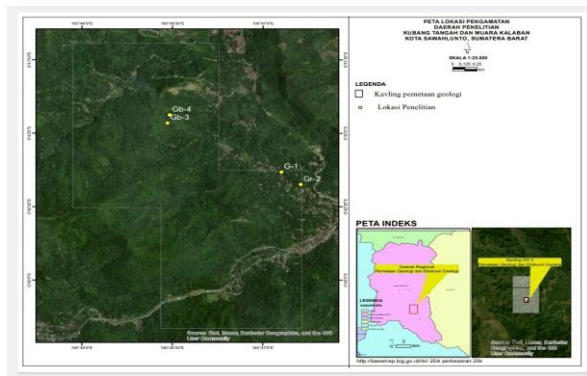
Metode

Penelitian dilakukan pada singkapan batuan granit, granodiorit, dan gabro di wilayah Kubang Tengah dan Muaro Kalaban, Kota Sawahlunto, Sumatra Barat, yang secara regional termasuk dalam kawasan Batolith Ombilin. Pengambilan sampel dilakukan pada singkapan yang relatif segar dengan tingkat pelapukan rendah untuk meminimalkan perubahan karakter mineralogi dan geokimia akibat proses pelapukan. Sebanyak empat sampel, yaitu G-1, Gr-2, Gb-3, dan Gb-4, digunakan dalam penelitian. Koordinat setiap lokasi pengambilan sampel ditentukan menggunakan *Global Positioning System* (GPS).

Tabel 1: Lokasi Pengambilan Sampel dan Litologi Batuan Penelitian.

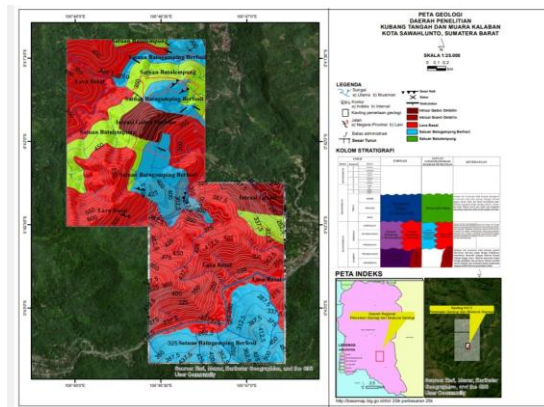
Sampel	Lokasi	Koordinat	Litologi
G-1	Kubang Tengah	0°41'55.9" LS - 100°46'27.0" BT	Granit
Gr-2	Kubang Tengah	0°41'53.0" LS - 100°46'28.5" BT	Granodiorit
Gb-3	Muaro Kalaban	0°42'16.87" LS - 100°47'05.77" BT	Gabro
Gb-4	Muaro Kalaban	0°42'22.79" LS - 100°47'12.49" BT	Gabro

Tabel tersebut memperlihatkan empat sampel batuan yang diambil dari dua lokasi, yaitu Kubang Tengah dan Muaro Kalaban. Sampel G-1 berupa granit dan Gr-2 berupa granodiorit di Kubang Tengah, sedangkan Gb-3 dan Gb-4 berupa gabro di Muaro Kalaban. Setiap sampel dilengkapi koordinat pengambilan untuk menunjukkan posisi lokasi penelitian secara jelas. Pada setiap lokasi, dilakukan pengamatan terhadap kondisi singkapan dan karakteristik megaskopis batuan sebagai dasar dalam pemilihan sampel. Sampel kemudian didokumentasikan dan diberi kode berdasarkan jenis batuan serta urutan pengambilan untuk memudahkan proses analisis dan interpretasi yang akurat.



Gambar 1. Peta Lokasi Pengamatan Daerah Penelitian Kubang Tengah dan Muaro Kalaban, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat (Dokumentasi Peneliti, 2026).

Peta lokasi pengamatan menunjukkan posisi daerah penelitian di wilayah Kubang Tengah dan Muaro Kalaban, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat, pada skala 1:25.000. Daerah pemetaan ditunjukkan oleh batas kavling, sedangkan pada titik-titik pengamatan menggambarkan lokasi pengambilan data lapangan, yaitu G-1, Gr-2, Gb-3, dan Gb-4. Persebaran titik pengamatan mencakup bagian timur hingga utara daerah penelitian sehingga dapat digunakan sebagai dasar untuk menggambarkan kondisi geologi dan hubungan antarunit batuan di lapangan.



Gambar 2. Peta Geologi Daerah Penelitian Kubang Tengah dan Muaro Kalaban, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat (Dokumentasi Peneliti, 2026).

Peta geologi memperlihatkan persebaran satuan batuan serta struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian. Litologi utama terdiri atas Lava Basal, Satuan Batugamping Berfosil, Satuan Batulempung, serta intrusi Gabro dan Granit Ombilin. Pola kontur dan batas satuan menunjukkan variasi morfologi serta hubungan spasial antarunit batuan, sementara keberadaan sesar menunjukkan adanya kontrol struktur terhadap kondisi geologi daerah penelitian. Peta ini menjadi dasar dalam menginterpretasikan hubungan

litologi, struktur geologi, dan kondisi geomorfologi berdasarkan hasil pemetaan lapangan.

Sampel dipreparasi sesuai dengan kebutuhan masing-masing analisis. Sampel untuk analisis petrografi dibuat menjadi sayatan tipis (thin section) dengan ketebalan sekitar 30 μm , sedangkan sampel untuk XRF dihancurkan dan dihaluskan hingga berbentuk serbuk. Untuk analisis $\mu\text{-XRF}$, sampel dipreparasi hingga diperoleh permukaan yang sesuai untuk pengukuran. Seluruh proses preparasi dan analisis dilakukan di Laboratorium Engineering, Universitas Jambi.

Analisis petrografi dilakukan menggunakan mikroskop polarisasi pada kondisi *Plane Polarized Light* (PPL) dan *Cross Polarized Light* (XPL). Pengamatan meliputi jenis dan komposisi mineral, tekstur, ukuran butir, hubungan antarmineral, serta karakter perubahan atau alterasi mineral. Hasil pengamatan digunakan untuk menentukan karakteristik mineralogi masing-masing sampel dan mengidentifikasi mineral aksesori yang selanjutnya menjadi dasar dalam interpretasi distribusi REE.

Analisis XRF dilakukan terhadap sampel berbentuk serbuk untuk memperoleh karakter geokimia *bulk-rock*. Data yang diperoleh digunakan untuk menentukan komposisi unsur dan oksida serta mengevaluasi variasi geokimia antarsampel. Hasil analisis XRF kemudian dikaitkan dengan karakter mineralogi yang diperoleh dari petrografi untuk memperjelas hubungan antara komposisi geokimia dan mineral penyusun batuan.

Analisis $\mu\text{-XRF}$ digunakan untuk mengevaluasi distribusi REE pada skala mineral. Unsur yang menjadi fokus analisis meliputi Y, La, Ce, Nd, dan Lu. Hasil pemetaan digunakan untuk menelusuri pola persebaran masing-masing unsur serta dapat mengevaluasi keterkaitannya dengan mineral yang telah diidentifikasi melalui analisis petrografi. Selanjutnya, data petrografi, XRF, dan $\mu\text{-XRF}$ diintegrasikan untuk mengevaluasi hubungan antara karakter mineralogi, komposisi geokimia *bulk-rock*, dan distribusi REE pada sampel G-1, Gr-2, Gb-3, dan Gb-4.

Hasil dan Diskusi

Hasil penelitian menunjukkan adanya variasi karakter mineralogi dan geokimia pada empat sampel batuan dari Kubang Tengah dan Muaro Kalaban, yaitu G-1, Gr-2, Gb-3, dan Gb-4. Variasi tersebut tercermin dari perbedaan komposisi mineral, tekstur batuan, kandungan oksida utama, unsur jejak, serta pola distribusi unsur pada skala mineral. Berdasarkan integrasi ketiga metode yang digunakan, petrografi memberikan dasar untuk mengenali karakter mineralogi dan tekstur batuan, XRF menggambarkan komposisi geokimia *bulk-rock*, sedangkan $\mu\text{-XRF}$ memberikan informasi mengenai persebaran unsur

pada skala mineral. Integrasi ketiga pendekatan tersebut memungkinkan karakter batuan tidak hanya dijelaskan berdasarkan klasifikasi petrografi dan komposisi kimianya, tetapi juga dikaitkan dengan pola distribusi REE pada bagian batuan yang diamati.

Karakter Geokimia Berdasarkan X-Ray Fluorescence (XRF)

Tabel 2: Hasil analisis XRF pada sampel G-1, Gr-2, Gb-3, dan Gb-4 yang meliputi komposisi oksida utama (*major elements*) dan unsur minor (*minor elements*).

Sample	G-1	Gr-2	Gb-3	Gb-4
Mayor Element (wt%)				
SiO ₂	51,94	48,85	53,01	52,19
Al ₂ O ₃	18,62	19,31	16,99	16,71
Fe ₂ O ₃	15,14	11,66	13,67	14,32
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	10,66	17,56	9,97	11,98
K ₂ O	1,37	1,55	1,26	1,25
MgO	1,46	0,43	4,03	2,30
TiO ₂	0,57	0,39	0,79	0,96
P ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,23	0,25	0,27	0,28
Total	100,00	100,00	100,00	100,00
Minor Element (ppm)				
K	21.700	24.000	20.400	19.700
Mg	21.600	8.800	53.800	38.000
Cl	9.000	3.100	500	500
Ti	7.300	5.000	10.100	12.000
Mn	4.100	4.500	4.800	4.900
Sr	3.700	3.200	2.900	2.700
V	700	500	700	800
Ba	500	600	700	800
Zn	400	300	300	300
Zr	200	100	200	200
Ni	200	100	200	100
Sc	100	300	100	100

Hasil analisis XRF menunjukkan adanya variasi komposisi geokimia pada keempat sampel. Komponen oksida utama yang dominan adalah SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, dan CaO. Berdasarkan data yang ditampilkan pada Tabel 2, kandungan SiO₂ sebesar 51,94 wt% pada G-1, 48,85 wt% pada Gr-2, 53,01 wt% pada Gb-3, dan 52,19 wt% pada Gb-4. Al₂O₃ berkisar antara 16,71–19,31 wt%, sedangkan Fe₂O₃ berkisar antara 11,66–15,14 wt%. CaO menunjukkan variasi yang cukup jelas, dengan nilai tertinggi pada Gr-2 sebesar 17,56 wt%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa meskipun kisaran SiO₂ antarsampel relatif berdekatan, komposisi oksida lainnya memperlihatkan perbedaan karakter geokimia yang cukup nyata.

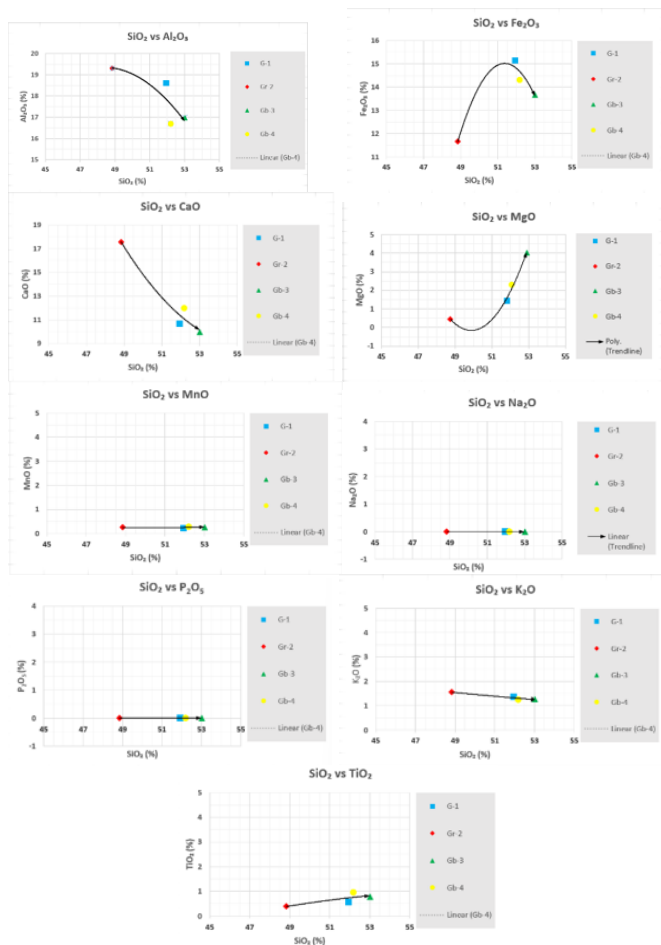
Perbedaan tersebut menjadi lebih jelas pada MgO dan TiO₂. Kandungan MgO pada G-1 sebesar 1,46 wt%, Gr-2 sebesar 0,43 wt%, Gb-3 sebesar 4,03 wt%, dan Gb-4 sebesar 2,30 wt%. Sementara itu, TiO₂ masing-masing sebesar 0,57 wt%, 0,39 wt%, 0,79 wt%, dan 0,96 wt%. Kandungan MgO dan TiO₂ yang relatif lebih tinggi pada

Gb-3 dan Gb-4 sejalan dengan karakter gabro yang ditunjukkan oleh hasil petrografi. Tingginya MgO dapat dikaitkan dengan keberadaan mineral mafik, sedangkan TiO₂ dapat mencerminkan kontribusi mineral yang mengandung Ti. Sebaliknya, rendahnya MgO pada Gr-2 sejalan dengan karakter mineraloginya yang lebih didominasi mineral felsik dan plagioklas. Meskipun kandungan SiO₂ pada Gb-3 dan Gb-4 berada pada kisaran yang relatif berdekatan dengan sampel granitoid, karakter gabro pada kedua sampel tetap ditentukan berdasarkan komposisi mineral dan hasil klasifikasi petrografi. Kandungan MgO dan TiO₂ yang relatif lebih tinggi pada kedua sampel kemudian digunakan sebagai pendukung untuk menunjukkan karakter geokimia yang lebih mafik.

Kandungan CaO yang paling tinggi pada Gr-2 juga memiliki hubungan dengan karakter mineraloginya. Plagioklas merupakan salah satu mineral utama yang teridentifikasi pada Gr-2 dan menjadi bagian penting dari *assemblage* mineral batuan tersebut. Oleh karena itu, tingginya CaO pada sampel ini dapat dipahami sebagai refleksi dari kontribusi mineral yang kaya Ca. Hubungan antara data XRF dan petrografi tersebut menunjukkan bahwa komposisi geokimia bulk-rock tidak berdiri sendiri, tetapi merepresentasikan kontribusi dari mineral-mineral penyusun batuan.

Data unsur jejak juga memperlihatkan variasi antarsampel. Zr tercatat sebesar 200 ppm pada G-1, 100 ppm pada Gr-2, dan 200 ppm pada Gb-3 serta Gb-4. V masing-masing mencapai 700, 500, 700, dan 800 ppm, sedangkan Ba meningkat dari 500 ppm pada G-1 menjadi 600, 700, dan 800 ppm pada Gr-2, Gb-3, dan Gb-4. Ni menunjukkan nilai 200, 100, 200, dan 100 ppm, sedangkan Sc masing-masing sebesar 100, 300, 100, dan 100 ppm. Variasi unsur jejak tersebut memberikan informasi tambahan mengenai perbedaan karakter geokimia keempat batuan. Namun, keberadaan unsur jejak pada data XRF belum dapat digunakan secara langsung untuk menentukan mineral pembawanya karena data tersebut merepresentasikan komposisi batuan secara keseluruhan.

Dalam konteks penelitian REE, data XRF berfungsi sebagai dasar untuk memahami kondisi geokimia *bulk-rock*, sedangkan lokasi dan pola keterdapatannya unsur pada skala mineral ditelusuri menggunakan μ -XRF. Dengan demikian, data XRF tidak digunakan untuk menentukan secara langsung mineral pembawa REE, tetapi digunakan untuk memberikan konteks terhadap perbedaan karakter batuan yang kemudian dibandingkan dengan pola distribusi unsur pada hasil μ -XRF. Pendekatan ini penting karena konsentrasi unsur pada *bulk-rock* tidak selalu menunjukkan bagaimana unsur tersebut terdistribusi di antara mineral penyusunnya.



Gambar 3. Diagram diferensiasi magma berdasarkan hubungan SiO_2 dengan Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , MnO , Na_2O , K_2O , dan TiO_2 pada sampel G-1, Gr-2, Gb-3, dan Gb-4 (Dokumentasi Peneliti, 2026).

Diagram diferensiasi magma pada Gambar 3 menunjukkan adanya variasi komposisi kimia antar sampel yang tercermin dari perubahan kandungan beberapa oksida utama. Variasi tersebut menunjukkan perbedaan karakter geokimia pada masing-masing sampel dan dapat menggambarkan pengaruh proses diferensiasi magma selama pembentukan batuan. Perubahan komposisi ini dapat berkaitan dengan proses kristalisasi mineral tertentu yang menyebabkan komposisi magma mengalami perubahan secara bertahap. Namun, diagram tersebut tidak digunakan sebagai dasar utama dalam menentukan seri magma maupun lingkungan tektonik, sehingga interpretasi terhadap kedua aspek tersebut perlu mengacu pada diagram klasifikasi yang sesuai dengan tujuan analisis.

Perbedaan dalam komposisi di antara sampel menunjukkan bahwa setiap jenis batuan memiliki berbagai proporsi mineral penyusunnya. Keberadaan oksida seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , dan TiO_2 dapat merefleksikan kontribusi dari mineral felsik maupun mafik yang terbentuk selama proses

pembekuan magma. Sampel yang lebih kaya dalam sifat mafik umumnya menunjukkan dominasi mineral *ferromagnesian* dan kalsium yang lebih tinggi, sementara variasi SiO_2 dan Al_2O_3 mungkin berkaitan dengan pergeseran proporsi mineral felsik. Perubahan dalam kandungan oksida ini menunjukkan variasi dalam komposisi kimia dan juga dapat menggambarkan perbedaan dalam perkembangan mineral pada setiap sampel selama pembekuan magma. Oleh karena itu, variasi geokimia yang teramati pada diagram dapat digunakan untuk mendukung pemahaman mengenai perbedaan karakter mineralogi dari sampel yang ada. Meski demikian, hubungan antara komposisi kimia dan mineral penyusun masih perlu diteliti lebih lanjut melalui observasi petrografi, sehingga keberadaan serta proporsi mineral dapat diinterpretasikan berdasar pada tekstur dan interaksi antar mineral. Diagram diferensiasi yang terdapat pada Gambar 3 kemudian berfungsi sebagai data pendukung untuk mengamati kecenderungan variasi geokimia antara sampel, sedangkan penafsiran karakter mineralogi tetap merujuk pada hasil analisis petrografi serta data geokimia lainnya..

Distribusi REE Berdasarkan *Micro-X-Ray Fluorescence* (μ -XRF)

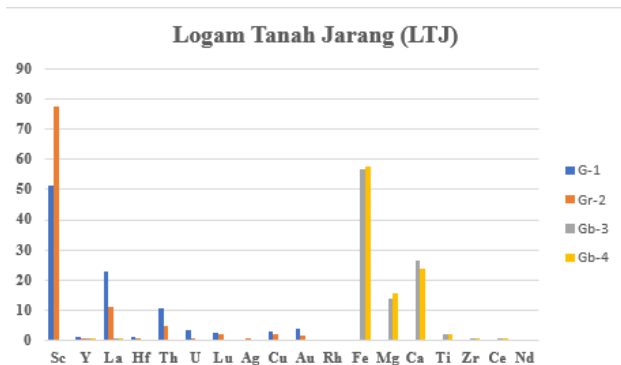
Tabel 3: Hasil analisis μ -XRF pada sampel G-1, Gr-2, Gb-3, dan Gb-4.

Sample/ Element	G-1	Gr-2	Gb-3	Gb-4
Sc	51.37559362	77.55280378	-	-
Y	1.143731267	0.381912882	0.036046276	0.037503816
La	22.75790573	10.96195593	0.029528647	0.046555474
Hf	1.231372928	0.696675014	-	-
Th	10.83787708	4.57094842	-	-
U	3.229480534	0.197754441	-	-
Lu	2.581584762	1.935470704	-	-
Ag	0	0.034283996	-	-
Cu	2.849924723	2.109991933	-	-
Au	3.992529367	1.5582029	-	-
Fe	-	-	56.83257422	57.84122617
Mg	-	-	13.98924778	15.60110198
Ca	-	-	26.40056652	23.78024318
Ti	-	-	2.263107512	2.244547631
Zr	-	-	0.330710241	0.328556702
Ce	-	-	0.118218807	0.120265053
Nd	-	-	0	0

Analisis μ -XRF dilakukan untuk memperoleh gambaran distribusi unsur pada area pengukuran berskala mikro dan kemudian dibandingkan dengan karakter mineralogi hasil analisis petrografi. Dalam penelitian ini, unsur yang menjadi fokus pembahasan REE adalah Y, La, Ce, Nd, dan Lu. Pendekatan μ -XRF memberikan kelebihan dibandingkan XRF *bulk-rock* karena informasi yang diperoleh tidak hanya berupa kandungan rata-rata batuan, tetapi juga pola persebaran unsur pada area pengukuran. Data tersebut dapat

digunakan untuk menelusuri bagian tertentu dari batuan yang menunjukkan kecenderungan konsentrasi unsur dan kemudian membandingkannya dengan karakter mineralogi terlihat pada sayatan petrografi.

Perbedaan unsur yang terdeteksi pada masing-masing sampel menunjukkan bahwa respons μ -XRF bergantung pada area pengukuran dan komposisi lokal material yang dianalisis. Oleh karena itu, nilai antar sampel digunakan untuk melihat kecenderungan distribusi unsur pada area pengukuran, bukan sebagai representasi kandungan rata-rata seluruh batuan.



Gambar 4. Diagram distribusi relatif unsur hasil analisis μ -XRF pada area pengukuran sampel G-1, Gr-2, Gb-3, dan Gb-4 (Dokumentasi Peneliti, 2026).

Gambar tersebut telah memperlihatkan adanya perbedaan dominasi unsur pada area pengukuran masing-masing sampel. Pada G-1 dan Gr-2, respons unsur Y dan La lebih menonjol, sedangkan pada Gb-3 dan Gb-4 unsur Fe, Mg, dan Ca mendominasi area pengukuran dengan Ce dan Zr terdeteksi dalam jumlah relatif lebih kecil. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa karakter unsur pada area pengukuran μ -XRF mengikuti komposisi lokal material yang dianalisis.

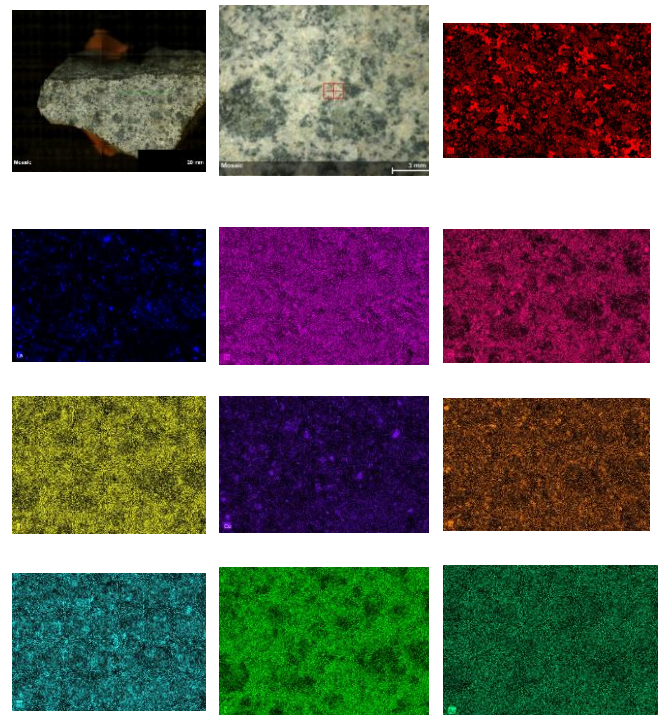
Hasil pemetaan μ -XRF memperlihatkan bahwa distribusi unsur tidak seragam pada seluruh area sampel. Pola intensitas yang berbeda pada Y, La, Ce, Nd, dan Lu menunjukkan adanya variasi spasial dalam keterdapatannya. La, Ce, dan Nd digunakan untuk melihat kecenderungan distribusi LREE, sedangkan Lu merepresentasikan HREE dan Y digunakan sebagai unsur REE yang memiliki karakter geokimia yang berkaitan dengan kelompok REE berat. Perbedaan pola spasial tersebut menunjukkan bahwa unsur tidak selalu tersebar secara homogen dalam batuan, tetapi dapat terkonsentrasi pada bagian tertentu yang berkaitan dengan komposisi atau karakter mineral tertentu.

Pada G-1, data μ -XRF menunjukkan keberadaan Y, La, dan Lu dengan nilai masing-masing sekitar 1,14, 22,76, dan 2,58 pada data kuantitatif yang tersedia. Gr-2 juga menunjukkan Y, La, dan Lu masing-masing sekitar 0,38, 10,96, dan 1,94. Nilai La yang lebih tinggi dibandingkan Y dan Lu pada kedua sampel

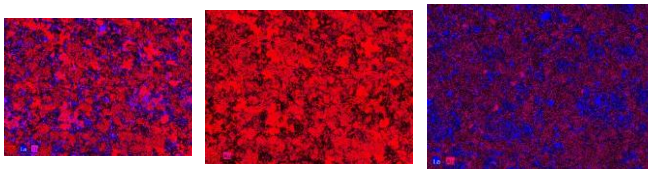
menunjukkan kecenderungan pengayaan relatif unsur LREE pada area pengukuran yang dianalisis. Data ini perlu dibaca sebagai karakter pada area analisis μ -XRF dan tidak secara langsung disamakan dengan kandungan *bulk-rock* hasil XRF.

Pada Gb-3 dan Gb-4, data μ -XRF memperlihatkan keberadaan Ce dan Zr pada area pengukuran, dengan Ce masing-masing sekitar 0,118 dan 0,120 serta Zr sekitar 0,331 dan 0,329. Hasil analisis μ -XRF menunjukkan variasi respons unsur Y, La, Ce, dan Lu pada area pengukuran, sedangkan Nd tidak terdeteksi pada kondisi analisis yang digunakan untuk sampel gabro. Dengan demikian, perbedaan nilai antara G-1, Gr-2, Gb-3, dan Gb-4 menunjukkan bahwa respons unsur pada skala mineral berbeda antarsampel.

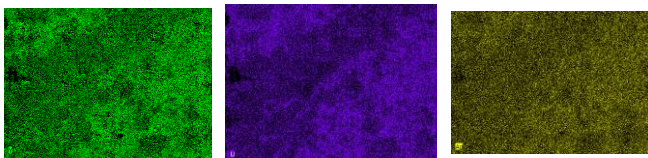
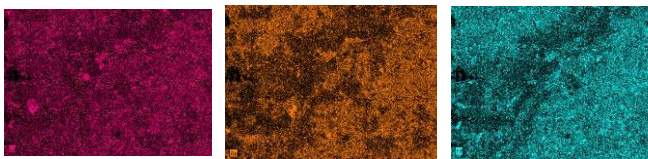
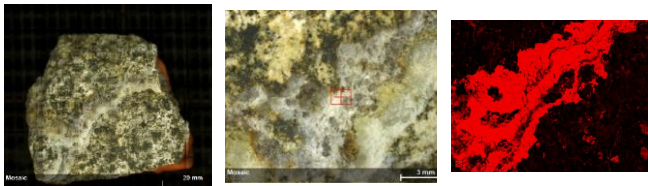
Pola tersebut juga terlihat secara visual pada gambar *mapping* μ -XRF. Pada setiap sampel, peta unsur memperlihatkan variasi intensitas pada area yang berbeda. Perbedaan warna dan intensitas pada peta tidak hanya menunjukkan keberadaan unsur, tetapi juga memperlihatkan bahwa unsur tertentu memiliki kecenderungan untuk muncul pada bagian tertentu dari area pengukuran. Oleh sebab itu, interpretasi peta perlu dilakukan dengan membandingkan posisi anomali unsur dengan citra sampel dan hasil petrografi, bukan hanya berdasarkan warna peta secara terpisah.



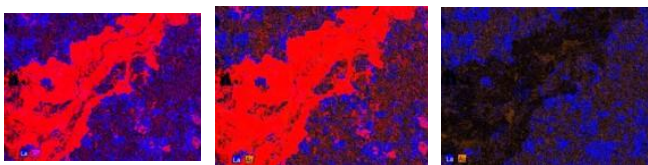
Gambar 5. Peta hasil *mapping* μ -XRF pada sampel G-1, yang memperlihatkan variasi spasial unsur pada area pengukuran (Dokumentasi Peneliti, 2026).



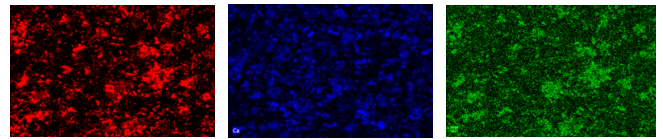
Gambar 6. Peta distribusi unsur hasil *mapping* μ -XRF pada sampel G-1, yang memperlihatkan variasi spasial unsur pada area pengukuran (Dokumentasi Peneliti, 2026).



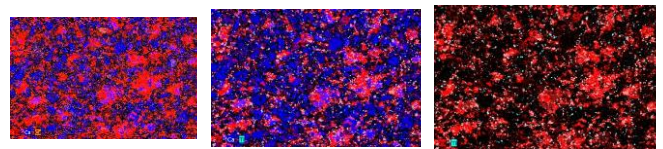
Gambar 7. Peta hasil *mapping* μ -XRF pada sampel Gr-2, yang memperlihatkan variasi spasial unsur pada area pengukuran (Dokumentasi Peneliti, 2026).



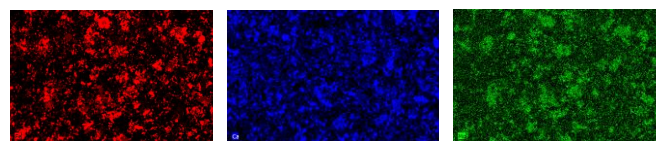
Gambar 8. Peta distribusi unsur hasil *mapping* μ -XRF pada sampel Gr-2, yang memperlihatkan variasi spasial unsur pada area pengukuran (Dokumentasi Peneliti, 2026).



Gambar 9. Peta hasil *mapping* μ -XRF pada sampel Gb-3, yang memperlihatkan variasi spasial unsur pada area pengukuran (Dokumentasi Peneliti, 2026).

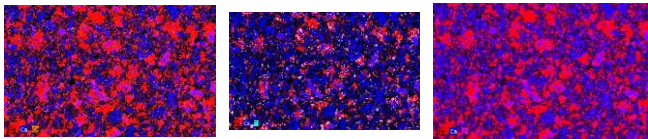


Gambar 10. Peta distribusi unsur hasil *mapping* μ -XRF pada sampel Gb-3, yang memperlihatkan variasi spasial unsur pada area pengukuran (Dokumentasi Peneliti, 2026).





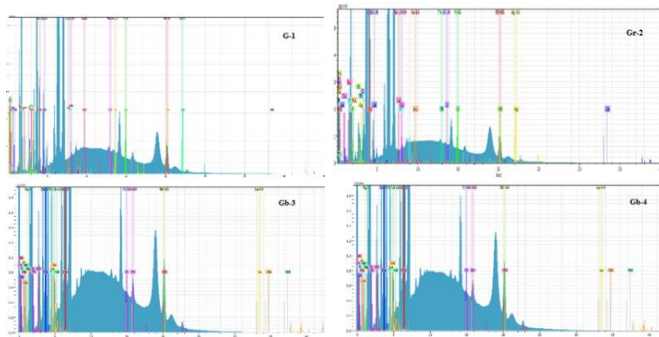
Gambar 11. Peta hasil *mapping* μ -XRF pada sampel Gb-4, yang memperlihatkan variasi spasial unsur pada area pengukuran (Dokumentasi Peneliti, 2026).



Gambar 12. Peta distribusi unsur hasil *mapping* μ -XRF pada sampel Gb-4, yang memperlihatkan variasi spasial unsur pada area pengukuran (Dokumentasi Peneliti, 2026).

Tabel 4: Hasil analisis *Micro-X-Ray Fluorescence* (μ -XRF) unsur REE pada sampel G-1, Gr-2, Gb-3, dan Gb-4 (satuan: wt%)

Unsur	G-1	Gr-2	Gb-3	Gb-4
Y	1.143731267	0.381912882	0.036046276	0.037503816
La	22.75790573	10.96195593	0.029528647	0.046555474
Lu	2.581584762	1.935470704	—	—
Ce	—	—	0.118218807	0.120265053
Nd	—	—	0	0



Gambar 13. Spektrum hasil analisis μ -XRF pada sampel G-1, Gr-2, Gb-3, dan Gb-4 yang menunjukkan respons unsur pada area pengukuran (Dokumentasi Peneliti, 2026).

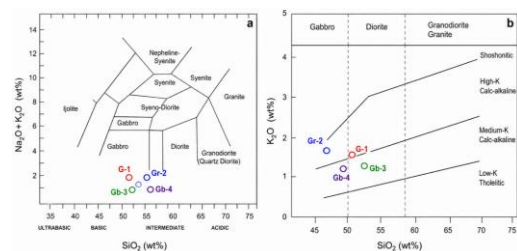
Spektrum hasil analisis μ -XRF pada sampel G-1, Gr-2, Gb-3, dan Gb-4 menunjukkan respons unsur yang terdeteksi pada masing-masing area pengukuran. Perbedaan respons spektrum antarsampel mencerminkan variasi komposisi unsur yang berkaitan dengan karakter mineralogi dan geokimia batuan. Data tersebut selanjutnya digunakan untuk menelusuri keberadaan dan distribusi REE pada skala mineral melalui pemetaan μ -XRF, dengan membandingkan lokasi anomali atau konsentrasi unsur terhadap kenampakan mineral yang telah diidentifikasi melalui analisis petrografi. Pendekatan ini memungkinkan

untuk menilai keberadaan unsur REE dengan mempertimbangkan hubungan ruang antara distribusi unsur-unsur dan mineral-mineral yang menyusunnya. Pada sampel gabro, adanya Ce pada Gb-3 dan Gb-4 dapat dijadikan petunjuk adanya unsur REE di lokasi pengukuran, sedangkan keberadaan Zr pada kedua sampel dapat memberikan informasi tambahan untuk menelusuri fase mineral yang mengandung Zr melalui perbandingan dengan tampilan mineral pada sayatan tipis. Namun, keberadaan unsur-unsur tersebut masih belum memadai untuk menetapkan jenis mineral pembawa secara jelas.

Karakteristik Geokimia dan Variasi Komposisi Batuan

Variasi komposisi geokimia pada sampel G-1, Gr-2, Gb-3, dan Gb-4 menunjukkan adanya perbedaan karakter batuan yang tercermin dari kandungan SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , dan TiO_2 . Kandungan SiO_2 relatif berdekatan, yaitu 51,94 wt% pada G-1, 48,85 wt% pada Gr-2, 53,01 wt% pada Gb-3, dan 52,19 wt% pada Gb-4. Namun, MgO dan TiO_2 menunjukkan perbedaan yang lebih jelas, terutama pada Gb-3 dan Gb-4 yang memiliki kandungan MgO masing-masing 4,03 wt% dan 2,30 wt% serta TiO_2 sebesar 0,79 wt% dan 0,96 wt%. Sebaliknya, Gr-2 memiliki CaO tertinggi sebesar 17,56 wt%. Variasi tersebut sejalan dengan karakter mineralogi yang menunjukkan bahwa Gb-3 dan Gb-4 memiliki karakter lebih mafik, sedangkan Gr-2 memiliki kontribusi plagioklas yang lebih dominan.

Perbedaan komposisi tersebut dapat digunakan untuk mengevaluasi kecenderungan seri magma dan proses diferensiasi yang memengaruhi pembentukan batuan. Posisi masing-masing sampel pada diagram klasifikasi seri magma menjadi dasar untuk menentukan kecenderungan tersebut. Dalam konteks penelitian ini, interpretasi seri magma perlu dikaitkan dengan variasi komposisi oksida utama dan karakter mineralogi, sehingga klasifikasi tidak hanya didasarkan pada satu parameter geokimia. Data yang diperoleh menunjukkan adanya perbedaan karakter antara kelompok batuan granitoid dan gabro, tetapi penentuan nama seri magma secara spesifik harus mengikuti posisi sampel pada diagram klasifikasi yang digunakan.



Gambar 14. Klasifikasi geokimia sampel batuan berdasarkan (a) diagram SiO_2 - $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ dan (b) diagram K_2O - SiO_2 (Dokumentasi Peneliti, 2026).

Berdasarkan diagram K_2O-SiO_2 , posisi keempat sampel menunjukkan variasi karakter geokimia yang berbeda, meskipun nama batuan yang diperoleh dari analisis petrografi tetap dipertahankan. G-1 yang secara petrografi diklasifikasikan sebagai granit memiliki kandungan SiO_2 sebesar 51,94 wt% dan K_2O sebesar 1,37 wt%, sedangkan Gr-2 yang diklasifikasikan sebagai granodiorit memiliki SiO_2 48,85 wt% dan K_2O 1,55 wt%. Sementara itu, Gb-3 dan Gb-4 yang secara petrografi merupakan gabro masing-masing memiliki SiO_2 sebesar 53,01 dan 52,19 wt% serta K_2O sebesar 1,26 dan 1,25 wt%. Perbedaan posisi tersebut menunjukkan bahwa karakter geokimia tidak selalu berimpit secara langsung dengan klasifikasi batuan berdasarkan komposisi mineral.

Pada diagram tersebut, klasifikasi batuan didasarkan pada hubungan antara SiO_2 dan K_2O , sehingga posisi sampel merepresentasikan afinitas geokimia, bukan penamaan batuan secara petrografi. Oleh karena itu, perbedaan antara posisi titik pada diagram dan nama batuan hasil petrografi tidak menunjukkan adanya ketidaksesuaian data. Klasifikasi petrografi didasarkan pada mineral penyusun dan proporsinya, sedangkan diagram K_2O-SiO_2 menggambarkan karakter kimia batuan. Dengan demikian, kedua pendekatan tersebut memberikan informasi yang berbeda tetapi saling melengkapi dalam menginterpretasikan karakter batuan penelitian.

Hasil *plotting* juga memperlihatkan bahwa seluruh sampel memiliki kandungan K_2O yang relatif rendah, yaitu berkisar antara 1,25-1,55 wt%, dengan SiO_2 berada pada kisaran 48,85-53,01 wt%. Kisaran itulah yang menunjukkan bahwa keempat sampel memiliki karakter geokimia yang relatif berdekatan dalam diagram, meskipun secara mineralogi terbagi menjadi granit, granodiorit, dan gabro. Kondisi ini menunjukkan bahwa variasi mineralogi yang diamati pada sampel tidak hanya dapat dijelaskan berdasarkan satu parameter geokimia, sehingga interpretasi perlu mempertimbangkan komposisi mineral, tekstur, serta data XRF secara bersamaan.

Dengan demikian, hasil diagram K_2O-SiO_2 digunakan sebagai pendukung interpretasi karakter dan afinitas geokimia, sedangkan penamaan G-1 sebagai granit, Gr-2 sebagai granodiorit, serta Gb-3 dan Gb-4 sebagai gabro tetap mengacu pada hasil analisis petrografi dan klasifikasi QAPF. Integrasi kedua pendekatan tersebut memberikan dasar yang lebih kuat untuk memahami hubungan antara karakter mineralogi dan geokimia batuan sebelum dikaitkan lebih lanjut dengan distribusi REE berdasarkan hasil μ -XRF.

Karakteristik Petrografi dan Mineralogi

Hasil analisis petrografi menunjukkan bahwa keempat sampel memiliki karakter mineralogi yang

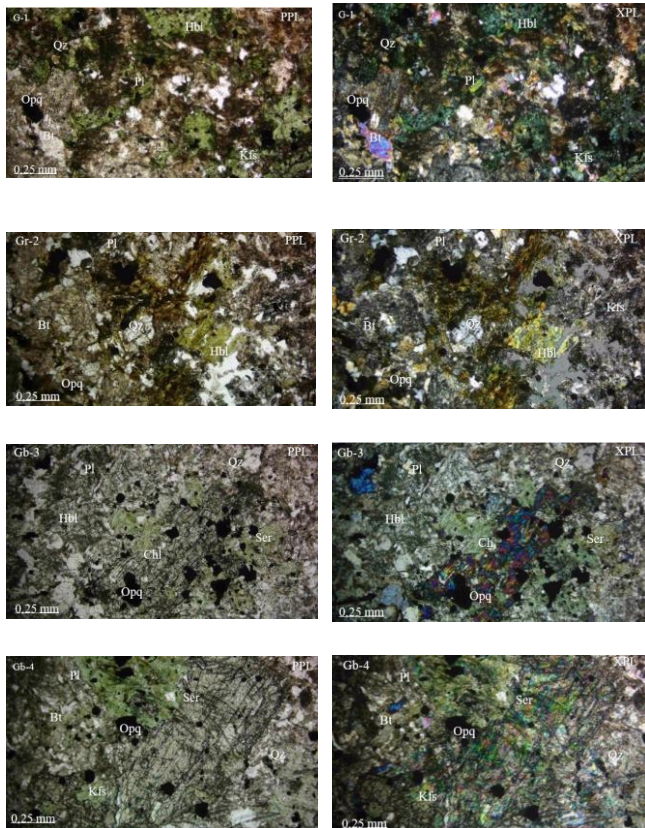
berbeda dan dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok batuan, yaitu G-1 sebagai granit, Gr-2 sebagai granodiorit, serta Gb-3 dan Gb-4 sebagai gabro. G-1 tersusun atas kuarsa, plagioklas, K-feldspar, biotit, hornblen, dan mineral opak. Gr-2 didominasi oleh plagioklas, kuarsa, dan K-feldspar dengan kehadiran hornblen, biotit, dan mineral opak. Gb-3 dan Gb-4 tetap mengandung mineral felsik, terutama plagioklas dan kuarsa, tetapi proporsi dan kehadiran mineral mafik memberikan karakter batuan yang lebih mafik dibandingkan G-1 dan Gr-2. Sementara itu, Gb-4 terdiri atas kuarsa, plagioklas, K-feldspar, biotit, serisit, dan mineral opak. Perbedaan *assemblage* tersebut menunjukkan adanya variasi komposisi mineral penyusun yang selanjutnya tercermin pada perbedaan karakter geokimia antarsampel.

Perbedaan komposisi mineral tersebut juga terlihat pada hubungan tekstural antarmineral. G-1 menunjukkan tekstur *granophyric*, Gr-2 memperlihatkan tekstur *antiperthitic*, sedangkan Gb-3 dan Gb-4 menunjukkan tekstur *poikilitic*. Keberadaan tekstur memperlihatkan bahwa hubungan pertumbuhan antarmineral pada masing-masing batuan tidak sama dan merekam perbedaan kondisi selama proses kristalisasi. Pada Gb-3 dan Gb-4, kehadiran klorit dan serisit menunjukkan bahwa sebagian mineral telah mengalami perubahan setelah pembentukan mineral primer. Kondisi ini penting dalam pembahasan REE karena distribusi unsur pada batuan tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi awal magma, tetapi juga oleh jenis mineral yang terbentuk dan perubahan mineral yang terjadi setelah kristalisasi.

Secara mineralogi, G-1 dan Gr-2 memperlihatkan karakter yang lebih kaya mineral felsik, sedangkan Gb-3 dan Gb-4 menunjukkan karakter yang lebih mafik berdasarkan *assemblage* mineral dan proporsi mineral penyusunnya. Perbedaan tersebut menjadi penting ketika dibandingkan dengan data XRF. Sampel Gb-3 dan Gb-4, misalnya, memiliki kandungan MgO dan TiO_2 yang relatif lebih tinggi dibandingkan G-1 dan Gr-2. Sebaliknya, Gr-2 menunjukkan kandungan CaO yang relatif tinggi, konsisten dengan dominasi plagioklas dalam *assemblage* mineralnya dan menunjukkan kontribusi fase mineral kaya Ca terhadap komposisi *bulk-rock*. Kesesuaian antara karakter mineralogi dan komposisi kimia tersebut menampilkan bahwa variasi geokimia *bulk-rock* memiliki hubungan yang erat dengan mineral penyusun batuan.

Tabel 5: Karakteristik petrografi dan *mineral assemblage* sampel G-1, Gr-2, Gb-3, dan Gb-4.

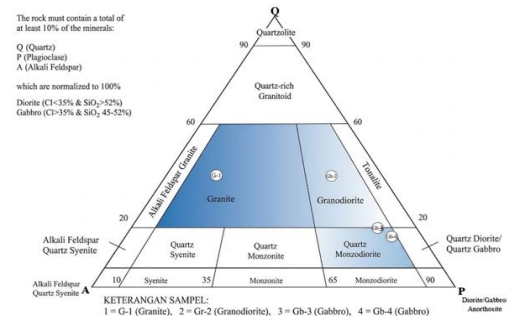
Sample	Petrographic	Mineral Assemblages		Intergrowth Texture
		Felsic	Mafic and Accessory	
G-1	Granit	Qz + Pl + Kfs	Bt + Hbl + Opq	Granophyric
Gr-2	Granodiorit	Pl + Qz + Kfs	Hbl + Bt + Opq	Antiperthitic
Gb-3	Gabro	Pl + Qz	Hbl + Chl + Ser + Opq	Poikilitic
Gb-4	Gabro	Qz + Pl + Kfs	Bt + Ser + Opq	Poikilitic

Sayatan Petrografi
Nikol Sejajar (PPL)Sayatan Petrografi Nikol
Silang (XPL)

Gambar 15. Kenampakan petrografi sampel G-1, Gr-2, Gb-3, dan Gb-4 pada kondisi *Plane Polarized Light* (PPL) dan *Cross Polarized Light* (XPL), yang memperlihatkan mineral penyusun, tekstur, serta hubungan antar mineral (Dokumentasi Peneliti, 2026).

Pada gambar tersebut, G-1 memperlihatkan kuarsa, plagioklas, K-feldspar, hornblen, biotit, dan mineral opak, Gr-2 memperlihatkan plagioklas, kuarsa, biotit, hornblen, K-feldspar, dan juga mineral opak, sedangkan Gb-3 dan Gb-4 memperlihatkan mineral mafik dan mineral hasil perubahan seperti klorit dan serisit.

Klasifikasi berdasarkan komposisi mineral juga diperkuat oleh diagram QAPF yang menunjukkan posisi G-1 pada bidang granit, Gr-2 pada bidang granodiorit, serta Gb-3 dan Gb-4 pada bidang gabro. Hasil klasifikasi petrografi dan klasifikasi berdasarkan proporsi mineral utama memberikan kecenderungan yang konsisten terhadap penamaan batuan. Hal ini memperkuat bahwa perbedaan karakter geokimia yang muncul pada tahap berikutnya perlu dipahami sebagai bagian dari variasi komposisi batuan yang telah terlebih dahulu dikenali secara mineralogi.



Gambar 16. Diagram QAPF yang menunjukkan klasifikasi batuan sampel G-1, Gr-2, Gb-3, dan Gb-4 berdasarkan proporsi mineral kuarsa, plagioklas, dan K-feldspar (Dokumentasi Peneliti, 2026).

Klasifikasi batuan berdasarkan diagram QAPF menunjukkan adanya variasi komposisi mineral utama pada sampel G-1, Gr-2, Gb-3, dan Gb-4. Sampel G-1 berada pada bidang Granit, yang menunjukkan dominasi kuarsa, plagioklas, dan alkali feldspar dengan proporsi yang sesuai dengan bidang klasifikasi tersebut. Sampel Gr-2 berada pada bidang Granodiorit, yang mencerminkan komposisi plagioklas yang relatif lebih dominan dibandingkan alkali feldspar. Sementara itu, posisi Gb-3 dan Gb-4 pada bagian kaya plagioklas menunjukkan karakter gabbroik; penamaan akhir tetap mengacu pada hasil pengamatan mineralogi dan karakter plagioklas pada sayatan tipis. Hasil klasifikasi ini menunjukkan kesesuaian dengan karakter mineralogi yang diperoleh melalui analisis petrografi.

Perbedaan posisi sampel pada diagram QAPF mencerminkan variasi proporsi mineral felsik yang menyusun batuan. G-1 dan Gr-2 memiliki karakter lebih felsik dengan kehadiran kuarsa dan feldspar yang lebih dominan, sedangkan Gb-3 dan Gb-4 menunjukkan karakter yang lebih mafik. Variasi tersebut sejalan dengan perbedaan komposisi mineralogi dan geokimia antarsampel, terutama pada kandungan MgO, CaO, dan TiO₂ yang cenderung lebih menonjol pada batuan gabro. Hasil tersebut menunjukkan, klasifikasi QAPF tidak hanya memperkuat penamaan batuan, tetapi juga memberikan gambaran mengenai perbedaan karakter

mineralogi antara kelompok granitoid dan gabro di daerah penelitian.

Distribusi REE Berdasarkan Analisis μ -XRF

Hasil analisis μ -XRF menunjukkan variasi distribusi Y, La, Ce, Nd, dan Lu di keempat sampel. Sampel G-1 mencatatkan nilai La tertinggi sebesar 22,7579 wt%, diikuti dengan Y sebesar 1,1437 wt% dan Lu sebesar 2,5816 wt%. Sampel Gr-2 menunjukkan nilai La, Y, dan Lu masing-masing sebesar 10,9620 wt%, 0,3819 wt%, dan 1,9355 wt%. Sementara itu, Gb-3 dan Gb-4 memperlihatkan nilai La yang jauh lebih rendah, yaitu 0,0295 wt% dan 0,0466 wt%, tetapi Ce terdeteksi masing-masing sebesar 0,1182 wt% dan 0,1203 wt%. Variasi ini menunjukkan bahwa respons unsur REE di area pengukuran μ -XRF berbeda antar sampel, baik antara granit maupun gabro.

Peningkatan nilai La dan Y di area pengukuran G-1 dan Gr-2 menunjukkan respons unsur yang lebih menonjol pada kedua sampel tersebut jika dibandingkan dengan Gb-3 dan Gb-4. Pola tersebut mungkin berkaitan dengan perbedaan karakteristik batuan serta mineral penyusunnya, khususnya keberadaan fase mineral yang dapat mengakomodasi unsur REE. Namun, hasil yang diperoleh dari μ -XRF belum bisa digunakan secara langsung untuk menentukan mineral yang membawa REE. Data μ -XRF lebih banyak menunjukkan distribusi unsur di area pengukuran, sementara identifikasi mineral dilakukan melalui analisis petrografi. Oleh karena itu, interpretasi mineral yang mungkin berasosiasi dengan REE perlu mempertimbangkan kesesuaian data antara lokasi konsentrasi unsur pada peta μ -XRF dan posisi mineral yang teridentifikasi pada sayatan tipis.

Pada Gb-3 dan Gb-4, Ce terdeteksi dengan nilai yang relatif berdekatan, masing-masing sebesar 0,1182 dan 0,1203. Keterdapatan Ce pada kedua area pengukuran menunjukkan adanya respons unsur REE pada sampel gabro yang dianalisis, meskipun pola distribusinya berbeda dari G-1 dan Gr-2. Perbedaan tersebut sejalan dengan karakter geokimia dan mineralogi yang berbeda. Gb-3 dan Gb-4 memiliki kandungan MgO dan TiO₂ yang relatif lebih tinggi serta karakter mineralogi yang lebih mafik, sehingga pola keterdapatan unsur pada kedua sampel tersebut tidak menunjukkan kecenderungan yang sama dengan batuan granitoid.

Hubungan antara distribusi unsur dan karakter mineralogi kemudian ditelusuri melalui perbandingan peta μ -XRF dengan hasil pengamatan petrografi. Zona dengan intensitas unsur yang lebih tinggi dibandingkan bagian sekitarnya menjadi area yang perlu diperhatikan dalam penentuan fase mineral yang berpotensi berasosiasi dengan REE. Pendekatan spasial ini

memberikan dasar interpretasi yang lebih kuat karena distribusi unsur dapat dikaitkan dengan posisi dan karakter mineral secara langsung, bukan hanya berdasarkan nilai kandungan unsur dalam batuan (Gabriel et al., 2022; Kim et al., 2022; Watthanapond et al., 2024).

Secara keseluruhan, hasil μ -XRF memperlihatkan bahwa distribusi unsur yang dianalisis berbeda pada setiap sampel dan berkaitan dengan variasi karakter mineralogi serta geokimia batuan. G-1 dan Gr-2 menunjukkan keterdapatan La, Y, dan Lu yang lebih menonjol, sedangkan Gb-3 dan Gb-4 memperlihatkan keterdapatan Ce dengan nilai yang relatif rendah. Data XRF memberikan gambaran mengenai karakter geokimia *bulk-rock*, sementara petrografi memberikan informasi mengenai mineral dan tekstur batuan. Integrasi ketiga data tersebut menjadi dasar untuk menelusuri hubungan antara karakter batuan dan distribusi REE pada skala mineral, sekaligus menelusuri fase mineral yang berpotensi berasosiasi dengan REE berdasarkan kesesuaian antara distribusi unsur dan karakter mineralogi (Fu et al., 2024; Watthanapond et al., 2024; Yang et al., 2025).

Kesimpulan

Penelitian pada batuan granitoid dan gabro di Kubang Tengah dan Muaro Kalaban menunjukkan adanya variasi karakter mineralogi dan geokimia pada empat sampel yang diteliti. Berdasarkan analisis petrografi, sampel G-1 diklasifikasikan sebagai granit, Gr-2 sebagai granodiorit, sedangkan Gb-3 dan Gb-4 sebagai gabro. Perbedaan karakter tersebut tercermin pada komposisi geokimia, terutama variasi SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, dan TiO₂, yang menunjukkan perbedaan karakter felsik hingga mafik antarsampel.

Analisis μ -XRF mengungkapkan variasi dalam penyebaran unsur REE pada skala area yang diukur. G-1 dan Gr-2 menunjukkan tingkat respons yang lebih jelas untuk La, Y, dan Lu, sementara Gb-3 dan Gb-4 menunjukkan keberadaan Ce dengan nilai masing-masing 0,1182 dan 0,1203 wt%. Temuan ini menunjukkan perbedaan dalam penyebaran unsur REE antara beberapa sampel. Penggabungan data μ -XRF dengan petrografi memberikan fondasi untuk mengidentifikasi mineral yang mungkin berkaitan dengan REE, namun untuk mengenali mineral pembawa REE secara pasti, analisis mineralogi dan kimia yang lebih mendetail masih sangat diperlukan.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi mineralogi dan geokimia antarsampel berhubungan dengan perbedaan respons unsur REE pada area pengukuran, sedangkan penentuan mineral pembawa REE secara definitif masih memerlukan analisis mineralogi dan kimia mineral yang lebih spesifik. Hasil μ -XRF memberikan indikasi adanya asosiasi REE

dengan fase mineral tertentu, tetapi penetapan mineral pembawa REE secara definitif masih memerlukan analisis mineralogi dan kimia mineral yang lebih spesifik. Temuan ini mengindikasikan, integrasi ketiga metode tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk menelusuri keterdapatan dan distribusi REE pada batuan granit, granodiorit, dan gabro di daerah penelitian.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga artikel ini dapat diselesaikan dengan baik. Terima kasih disampaikan kepada Program Studi Teknik Geologi Universitas Jambi, dosen pembimbing, tim penyusun, serta seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyusunan artikel ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang geologi dan eksplorasi mineral.

Referensi

- Agung, Y. Z., Watanabe, Y., Tampubolon, A., Purnama, A. B., & Rosana, M. F. (2024). Characteristics of REE enrichments in the weathered granitic crust, Toboali, South Bangka: Possibility for ion adsorption-type REE mineralization. *Resource Geology*, 74(1), e12343. <https://doi.org/10.1111/rge.12343>
- Breiter, K., & Förster, H.-J. (2021). Compositional variability of monazite-cheralite-huttonite solid solutions, xenotime, and uraninite in geochemically distinct granites with special emphasis to the strongly fractionated peraluminous Li-F-P-rich Podlesí granite system (Erzgebirge/Krušné Hory Mts., Central Europe). *Minerals*, 11(2), 127. <https://doi.org/10.3390/min11020127>
- Chong, S., Riley, B. J., Lu, X., Du, J., Mahadevan, T., & Hegde, V. (2024). Synthesis and properties of anhydrous rare-earth phosphates, monazite and xenotime: A review. *RSC Advances*, 14(27), 18978–19000. <https://doi.org/10.1039/D4RA01142B>
- Fu, X., Yi, Z., Fu, W., Liu, J., Han, Z., Fang, G., Sha, X., Liu, X., & Xu, C. (2024). Mineralogy and weathering of REE minerals in the Liuchen granite, Guangxi, southern China: Implications for HREE enrichment in the granite regolith. *Ore Geology Reviews*, 169, 106099. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2024.106099>
- Gabriel, J. J., Reinhardt, E. G., Chang, X., & Bhattacharya, J. P. (2022). Application of μ XRF analysis on the Upper Cretaceous Mancos Shale: A comparison with ICP-OES/MS. *Marine and Petroleum Geology*, 140, 105662. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2022.105662>
- Hentschel, F., Janots, E., Trepman, C. A., Magnin, V., & Lanari, P. (2020). Corona formation around monazite and xenotime during greenschist-facies metamorphism and deformation. *European Journal of Mineralogy*, 32, 521–544. <https://doi.org/10.5194/ejm-32-521-2020>
- Irzon, R., Abidin, H. Z., Baharuddin, B., Sendjadja, P., & Kurnia, K. (2017). Kandungan rare earth elements pada granitoid merah muda dari daerah Lagoi dan perbandingan dengan granitoid sejenis lain. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 18(3). <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v18i3.238>
- Kim, J. J., Ling, F. T., Plattenberger, D. A., Clarens, A. F., & Peters, C. A. (2022). Quantification of mineral reactivity using machine learning interpretation of micro-XRF data. *Applied Geochemistry*, 136, 105162. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2021.105162>
- Lu, L., Liu, Y., Liu, H., Zhao, Z., Wang, C., & Xu, X. (2020). Geochemical and geochronological constraints on the genesis of ion-adsorption-type REE mineralization in the Lincang Pluton, SW China. *Minerals*, 10(12), 1116. <https://doi.org/10.3390/min10121116>
- Medeiros, F. F. de, Wentz, A. P., Castro, B. A. S., Rodrigues, F. D., Alves, S. S., Korn, M. das G. A., Bettini, J., Anjos, J. P. dos, & Guarieiro, L. L. N. (2025). Rare earth elements: A review of primary sources, applications, business investment, and characterization techniques. *Applied Sciences*, 15(20), 10949. <https://doi.org/10.3390/app152010949>
- Najili, A., Sendjaja, P., Priadi, B., Setiawan, V. E., & Hartono, B. M. (2021). Petrogenesis of Pre-Tertiary A-type granitoid in Jambi area and its implications of rare earth element potential on Main Range Sumatra Belt. *Indonesian Journal of Economic Geology*, 1(1), 49–71. <https://doi.org/10.51835/ijeg.2021.1.1.342>
- Wathanapond, P., Chualaowanich, T., & Fanka, A. (2024). Mineral chemistry and petrography of granitic rocks related rare earth elements in Uthai Thani area, central Thailand: Implication for REE potential in Thailand. *Bulletin of Earth Sciences of Thailand*, 16(2).
- Yang, L., Cai, Y., Ouyang, J., Xu, F., Chen, Y., & Zhou, Y. (2025). Mineralogy and geochemistry of Early Triassic granite in South China: Insights into source region characteristics and REE mineralization. *Minerals*, 15(5), 530. <https://doi.org/10.3390/min15050530>
- Yang, J., Montross, S., Britton, J., Stuckman, M., Lopano, C., & Verba, C. (2020). Microanalytical approaches to characterizing REE in Appalachian Basin underclays. *Minerals*, 10(6), 546. <https://doi.org/10.3390/min10060546>

Zonneveld, J. P., Barreda, V. D., Zaim, Y., Aswan, Rizal, Y., Hascaryo, A. T., Ciochon, R. L., Head, J., Murray, A., Smith, T., Wilf, P., & Bloch, J. I. (2025). Depositional framework of the Sangkarewang and Sawahlunto Formations, Ombilin Basin, West Sumatra, Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 287, 106611.
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2025.106611>