

UNSUR TANAH JARANG PADA BATUPASIR: STUDI KASUS PADA BATUPASIR FORMASI RAMPONG DI DESA KETUKAH, GAYO LUES, ACEH

Dina Gunarsih¹, Lia Fitria Rahmatillah¹, Akmal Muhni¹, Dewi Sartika¹, Tika Hapsari¹, Yurda Marvita²

¹Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

²Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

e-mail: dinagunarsih@usk.ac.id

Abstrak. Unsur tanah jarang (UTJ) semakin diminati dalam beberapa tahun terakhir karena meningkatnya permintaan teknologi kendaraan listrik, industri hijau, dan industri lainnya. Indonesia memiliki potensi UTJ yang berkaitan dengan keberadaan batuan beku dan batuan sedimen. Penelitian pada batupasir Formasi Ramping di Ketukah, Gayo Lues menarik dilakukan karena batuan ini berasal dari pelapukan batuan granit. Tujuan studi ini adalah untuk mengetahui komposisi batupasir Formasi Ramping dan unsur – unsur kimia batuan, termasuk unsur utama dan UTJ. Metode yang digunakan meliputi analisis petrografi dan geokimia menggunakan teknik XRF dan ICP. Enam sampel petrografi diamati terdiri dari empat batupasir *quartz arenite* dan dua batupasir *feldspathic greywacke*. Kedua jenis batupasir tersebut merupakan batuan yang tersusun dari dominan butiran, dengan komposisi matriks 2.5% - 4.5% pada batupasir *quartz arenite* dan 18.83% - 21.13% pada batupasir *feldspathic greywacke*. *Quartz arenite* tersusun dari mineral kuarsa, sedikit litik dan muskovit, semen silika dan semen oksida besi. *Feldspathic greywacke* terdiri dari kuarsa, K-Feldspar, plagioklas, fragmen litik, muskovit, semen silika serta semen oksida besi. Analisis geokimia mengungkapkan bahwa UTJ pada batupasir ini adalah Neodimium (Nd) berkisar antara 19.21 ppm hingga 23.81 ppm dan Praseodimium (Pr) berkisar antara 5.76 ppm hingga 5.89 ppm. Unsur tersebut diinterpretasikan terkonsentrasi dalam mineral lempung dan oksida besi dengan pengkayaan relatif rendah.

Kata Kunci: batupasir; formasi ramping; neodimium; praseodimium; unsur tanah jarang

Abstract. Rare earth elements (UTJs) have become increasingly sought after in recent years due to the growing demand for electric vehicle technology, green industries, and other mass industries. With its significant potential for UTJs, Indonesia is related to igneous and sedimentary rocks. This study is important to observe the abundance of UTJs in sandstone, specifically the Ramping Formation sandstone in Ketukah, Gayo Lues. The study aims to determine the composition of the Ramping Formation sandstone and the chemical elements present, including major elements and UTJs. The methods include petrographic observation and geochemical analysis based on XRF and ICP techniques. A total of six petrographic samples were analyzed, consisting of four quartz arenite sandstones and two feldspathic greywackes. Both types of sandstone are grain-supported, with a matrix composition of 2.5% - 4.5% for quartz arenite and 18.83% - 21.13% for feldspathic greywacke. Quartz arenite is composed of quartz minerals, with minor lithic, muscovite, silica cement, and Fe-oxide cement. At the same time, feldspathic greywacke consists of quartz, K-feldspar, plagioclase, lithic fragments, muscovite, silica cement, and Fe-oxide cement. Geochemical analysis revealed UTJs, including neodymium (Nd) ranging from 19.21 to 23.81 ppm, and praseodymium (Pr) ranging from 5.76 to 5.89 ppm. These elements are interpreted to be concentrated in clay and Fe-oxide minerals with relatively low enrichment.

Keywords: neodymium; praseodymium; ramping formation; rare earth element; sandstone

PENDAHULUAN

Unsur tanah jarang (UTJ) adalah sekelompok unsur dalam deret lantanida pada tabel periodik. Unsur-unsur tersebut meliputi lantanum (La), cerium (Ce), praseodimium (Pr), neodimium (Nd), samarium (Sm), europium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), disprosium (Dy), holmium (Ho), erbium (Er), tulium (Tm), iterbium (Yb), dan lutetium (Lu). UTJ dikategorikan menjadi UTJ berat (HUTJ), UTJ sedang (MUTJ), dan UTJ ringan (LUTJ). LUTJ meliputi La, Ce, Pr, dan Nd. MUTJ meliputi Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, dan Dy atau Ho. HUTJ meliputi Dy atau Ho, Er, Tm, Yb, dan Lu (Henderson, 1984)

Dalam beberapa tahun terakhir, permintaan UTJ tinggi karena kegunaannya dalam teknologi energi terbarukan, elektronik, mobil listrik, baterai, pencahayaan, pembangkit listrik, dan bahkan di bidang militer

(Charalampides dkk., 2015; Goodenough dkk., 2018; Haque dkk., 2014). Permintaan untuk unsur-unsur ini diperkirakan akan terus meningkat dalam beberapa tahun mendatang, terutama dengan meningkatnya penggunaan mobil listrik dan teknologi industri ramah lingkungan.

Unsur tanah jarang dapat ditemukan pada batuan beku alkali, batuan beku alkali yang telah mengalami pelapukan, batubara, dan sedimen (Balaram, 2019). Mineral yang mengandung unsur tersebut cukup beragam, mulai dari mineral primer seperti garnet, zirkon, xenotime, dan monasit (Vansla dkk., 2023), hingga mineral sekunder seperti lempung dan oksida besi (Laveuf & Cornu, 2009). Potensi keberadaan UTJ di Indonesia sangat luas. Hasil penelitian telah ditemukan di berbagai lokasi antara lain Karimun, Bangkinang, Kuala Kampar, Singkep, Pegunungan Tiga Puluh, Bangka, Belitung, Sumatera, Kalimantan Barat, Kalimantan Timur, Sulawesi, Kepulauan Banggai, Sula, dan Papua (Bahti dkk., 2011). Unsur-unsur tersebut sangat melimpah dan umumnya terdapat pada batuan intrusi granit (Inatadon dkk., 2015), lapisan batubara yang berasosiasi dengan intrusi andesit (Puspita dkk., 2022), lumpur (Hakim dkk., 2022), batupasir (Vansla dkk., 2023), dan yang berasosiasi dengan sistem hidrotermal-vulkanik (Adhitiya dkk., 2019; Chandra & Shalihin, 2023; Kurnio dkk., 2016).

Penelitian dilakukan pada Formasi Rampong di Ketukah, Gayo Lues, Provinsi Aceh. Formasi ini terdiri dari batupasir, konglomerat, dan batulempung (Cameron dkk., 2007; Sartika dkk., 2023). Analisis provenans menunjukkan bahwa batupasir tersebut berasal dari batuan beku granit (Sartika dkk., 2023). Penelitian ini mengintegrasikan metode petrografi dan geokimia, *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *Inductively Coupled Plasma* (ICP), untuk memperoleh informasi tentang kelimpahan UTJ pada batupasir Formasi Rampong. Petrografi bertujuan untuk mengidentifikasi komponen-komponen batupasir yang berasosiasi dengan unsur-unsur kimia yang dihasilkan. Metode XRF dapat mendeteksi unsur-unsur utama seperti Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, dan P, serta beberapa unsur jejak dalam konsentrasi massa yang tinggi (wt.%), sedangkan metode ICP dapat mendeteksi unsur jejak dalam konsentrasi bagian per juta (Rollinson & Pease, 2021). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum tentang distribusi UTJ dalam batupasir Formasi Rampong.

METODOLOGI

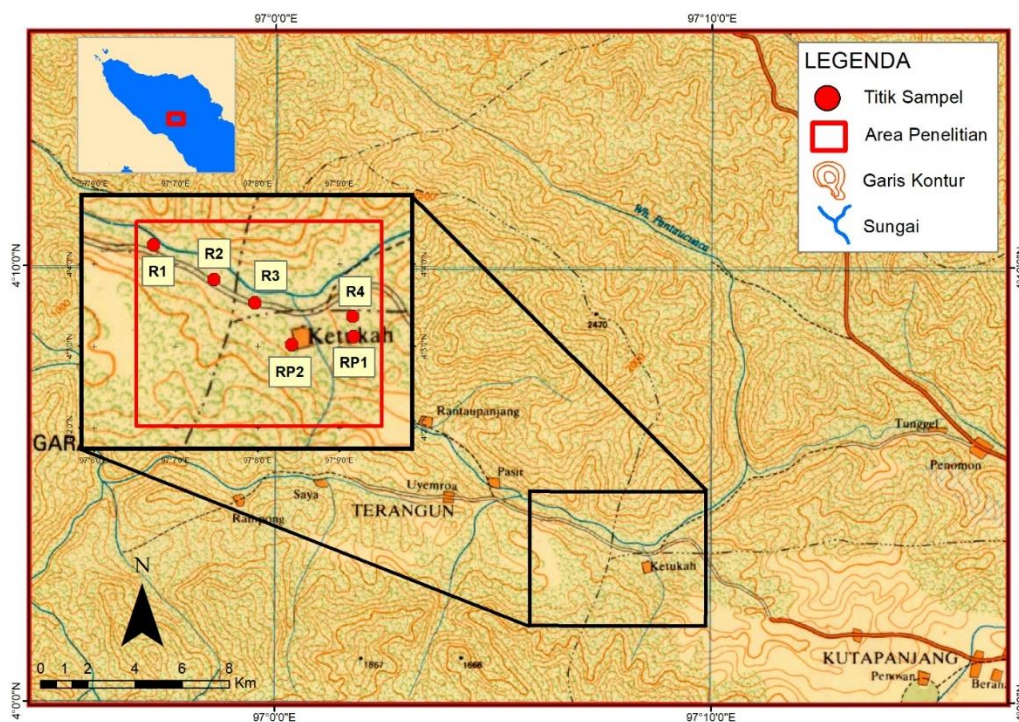
Kegiatan penelitian diawali dengan pengambilan sampel di lokasi Ketukah, Gayo Lues. Lokasi pengambilan sampel ditunjukkan pada Gambar 1. Di lokasi penelitian terdapat satuan batupasir Formasi Rampong yang terdiri dari batupasir halus hingga sedang (Sartika dkk., 2023).

Kami menganalisis dua jenis batupasir menggunakan metode petrografi dan melakukan uji geokimia dengan XRF dan ICP-OES. Metode petrografi meliputi pengamatan sayatan tipis batuan berukuran 0,03 mm, menggunakan mikroskop polarisasi. Kami mengambil enam sampel, yang terdiri dari empat sampel batupasir halus dan dua sampel batupasir sedang. Jumlah sampel dipilih dengan mempertimbangkan kondisi batupasir halus yang rentan terhadap kerusakan selama proses pembuatan sayatan tipis.

Pengamatan mikroskopis dilakukan di Laboratorium Teknik Geologi, Universitas Syiah Kuala. Pengamatan batupasir meliputi komponen penyusunnya seperti butiran, matriks, dan semen. Selain itu, tekstur yang diamati meliputi ukuran butiran skala Wentworth (Wentworth, 1922), sortasi atau pemilahan (Folk, 1968; Jerram, 2001), kebundaran, kontak butiran, dan porositas (Boggs, Jr., 2009).

Persentase komponen batupasir ditentukan dengan menggunakan metode point counting, yaitu teknik yang umum digunakan dalam petrografi untuk menilai volume setiap unsur dalam sampel batuan berdasarkan foto sayatan tipis. Teknik ini menggunakan perangkat lunak Jmicrovision untuk membuat titik-titik secara acak atau sistematis, kemudian diidentifikasi mineral pada titik-titik tersebut. Dengan demikian, jumlah titik yang ditemukan untuk setiap mineral dihitung dalam persentase. Umumnya, 1500 hingga 5000 titik diperlukan untuk analisis kuantitatif yang akurat (Larrea dkk., 2014). Oleh karena itu, kami menggunakan 1500 titik untuk analisis ini, yang mencakup semua mineral dalam foto sayatan tipis.

Metode lain yang digunakan adalah pengujian geokimia batuan. Pengujian ini dilakukan di Balai Besar Pengujian Mineral dan Batubara tekMIRA dengan jumlah sampel sebanyak dua buah, masing-masing mewakili batupasir halus dan batupasir sedang. Penelitian ini menggunakan metode XRF untuk memperoleh unsur utama dalam batuan, sedangkan metode ICP-OES digunakan untuk mendeteksi unsur tanah jarang. Sampel batuan dihancurkan menjadi ukuran kurang dari 200 mesh. Pada preparasi sampel XRF, bubuk sampel dicampur dengan fluks lithium tetraborat untuk membuat pelet lelehan (*fused bead*). Dengan demikian sampel dimasukkan ke dalam kompartemen XRF dan dianalisis untuk menghasilkan unsur mayor. Sementara pada uji ICP – OES, sampel juga digiling kurang dari 200 mesh. Sebanyak 0.1 – 0.2 gram bubuk sampel dilarutkan dengan campuran HNO₃, HF, dan HClO₄ hingga larutan jernih dan diencerkan sebanyak 50 mL. Kemudian larutan dimasukkan ke peralatan ICP-OES sehingga didapatkan hasil analisis unsur jejak dan tanah jarang.



Gambar 1. Lokasi penelitian. R1, R2, R3, R4, RP1 dan RP2 merupakan titik pengambilan sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Petrologi

Secara geologi, lokasi penelitian tersusun atas satuan batupasir dan satuan konglomerat Formasi Rampong, satuan andesit dan satuan aglomerat Formasi Gunung Api Akul serta endapan aluvial (Sartika dkk., 2023). Satuan batupasir ini memiliki ukuran butir halus hingga sedang dan tidak bereaksi terhadap HCl (Sartika dkk., 2023). Berdasarkan pengamatan, batupasir berukuran halus memiliki karakteristik warna putih kekuningan, kekompakan menengah, kemas tertutup dan pemilahan baik (Gambar 2a). Dikarenakan identifikasi secara megaskopis, maka mineral penyusun tidak dapat ditentukan untuk batuan yang memiliki butiran berukuran pasir halus. Batupasir berukuran sedang memiliki karakteristik warna kuning kecoklatan dengan pemilahan sedang. Komposisi batuan didominasi oleh mineral kuarsa dan terlihat sedikit fragmen litik (Gambar 2b).



Gambar 2. (a) Singkapan batupasir berukuran halus, (b) singkapan batupasir berukuran halus

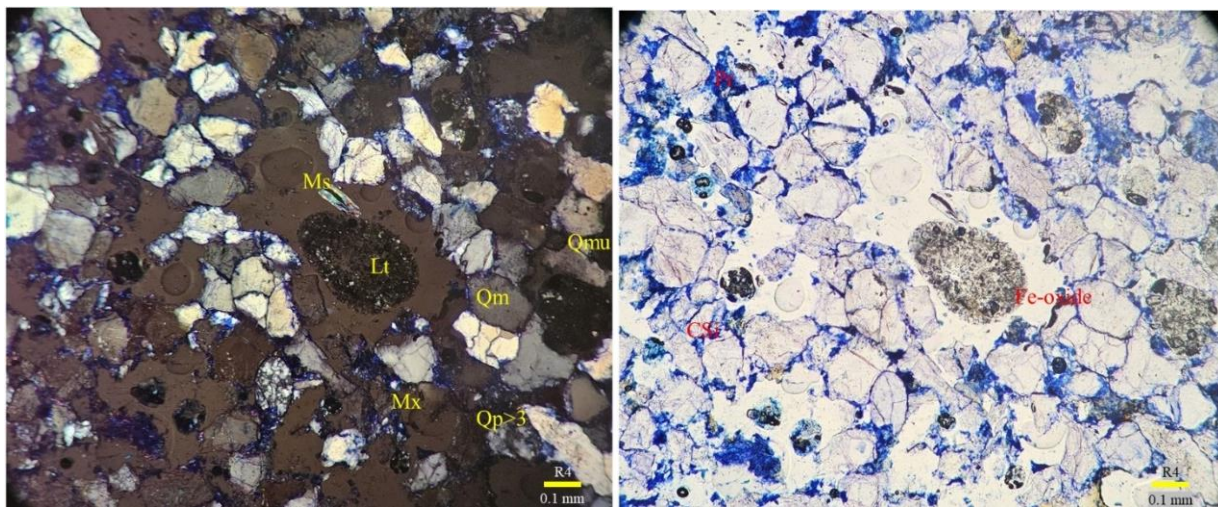
b. Petrografi

Hasil analisis petrografi disajikan pada Tabel 1, sedangkan foto mikroskopis dilampirkan pada Lampiran 1. Batupasir berukuran halus memiliki ukuran dari 0.1 mm hingga 0.15 mm, dengan rata – rata ukuran butir 0.15 mm, sortasi baik, kebundaran menyudut tanggung hingga membundar tanggung dan kontak butir panjang hingga cembung-cekung. Komposisi batuan terdiri dari monokristalin kuarsa pemadaman bergelombang dan tidak bergelombang, kuarsa polikristalin, serta pada sampel R4 terdapat fragmen litik yang telah mengalami oksidasi, dan muskovit (Gambar 3). Batupasir ini memiliki semen silika dan oksida besi dengan matriks kurang dari 5%, sehingga tergolong sebagai batupasir *quartz arenite* (Gambar 4).

Tabel. 1 Hasil analisis petrografi

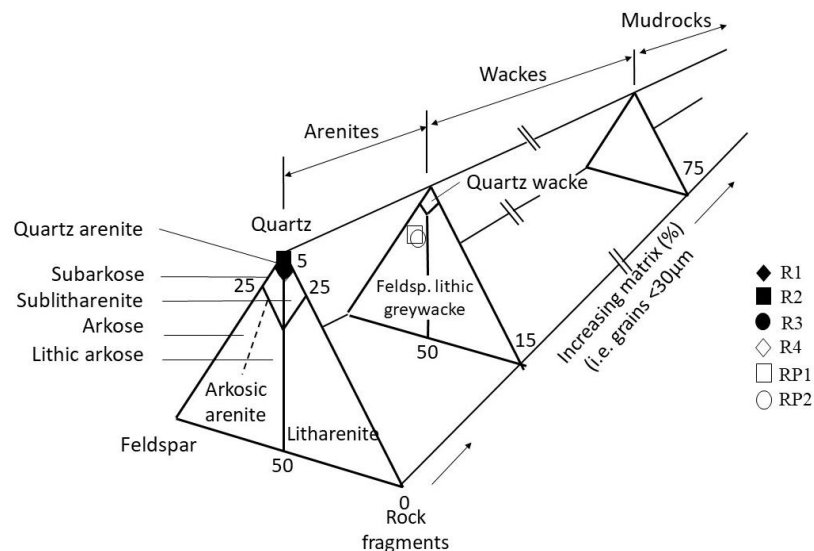
Deskripsi		R1	R2	R3	R4	RP1	RP2
Tekstur	Ukuran butir (mm)	0.1-0.15	0.1-0.15	0.1-0.15	0.1-0.15	0.1-0.5	0.1-0.5
	Ukuran butir rata - rata (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.3	0.3
	Pemilahan	Sangat baik	Sangat baik	Sangat baik	Sangat baik	Menengah	Menengah
	Kebundaran	Menyudut tanggung-membundar tanggung	Menyudut tanggung-membundar tanggung	Menyudut tanggung-membundar tanggung	Menyudut tanggung-membundar tanggung	Menyudut tanggung-membundar tanggung	Menyudut tanggung-membundar tanggung
	Kontak butir	Panjang-cembung cekung	Panjang-cembung cekung	Panjang-cembung cekung	Panjang-cembung cekung	Panjang-cembung cekung	Panjang-cembung cekung
Komposisi	Qms	64	46.7	47.8	52.1	47.6	46.5
	Qmu	5.2	3.5	9.2	10.2	6.4	6.5

Deskripsi	R1	R2	R3	R4	RP1	RP2
KFs	-	-	-	-	6.87	-
Plg	-	-	-	-	5	11.83
Qp 2-3	0.5	2.6	2.3	-	6.13	6.17
Qp>3	1.2	-	-	1.1	0.67	1.67
L	-	-	0.7	1.5	0.73	0.5
Cfe	2.1	2.1	0.3	0.5	1.8	4
Csi	12.3	24.1	20.5	14.2	0.87	0.5
Mx	4.5	2.6	4	2.5	21.13	18.83
Pr/Vn/Fr	10.2	18	15.2	17.6	-	-
Ms	-	0.4	-	0.3	2.8	3.5
Total	100	100	100	100	100	100



Gambar 3. Foto sayatan tipis batupasir *quartz arenite*.

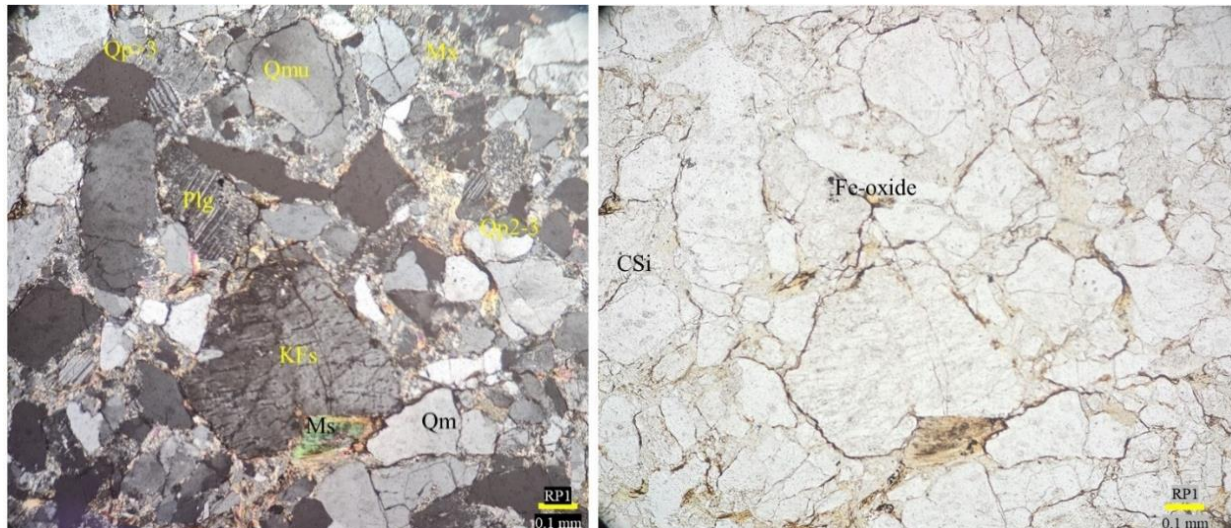
Qm = Kuarsa monokristalin pepadaman tidak bergelombang, Qmu = Kuarsa monokristalin pepadaman bergelombang, Qp>3 = Kuarsa polikristalin lebih dari tiga unit, Ms = Muskovit, Lt = Fragmen litik, Mx = Matriks, Csi = Semen silika, Pr = Pori



Gambar 4. Plotting sampel lokasi penelitian pada klasifikasi batupasir (Pettijohn, 1975)

Batupasir berukuran medium memiliki ukuran butir dari 0.1 mm hingga 0.5 mm, rata – rata 0.3 mm, sehingga diklasifikasikan sebagai batupasir sedang mengacu pada Wentworth (1922). Batupasir sedang

memperlihatkan sortasi menengah, kebundaran menyudut tanggung hingga membulat tanggung, serta kontak antar butir cembung-cekung. Batupasir ini memiliki matriks lebih dari 15%, sehingga dikelompokkan sebagai batupasir feldspathic wacke (Gambar 4). Komposisi mineral didominasi oleh kuarsa, termasuk kuarsa monokristalin dan polikristalin. Kuarsa monokristalin terdiri dari kuarsa monokristalin pepadaman bergelombang (Qmu) dan tidak bergelombang (Qm). Polikristalin kuarsa terdiri dari kuarsa polikristalin 2-3 unit (Qp2-3) dan polikristalin lebih dari tiga unit kuarsa (Qp>3). Selain itu juga terdapat butiran mineral plagioklas feldspar (Plg) dan K-feldspar (KFs), serta sedikit fragmen litik (Lt). Semen yang hadir adalah silika (CSi) dan oksida besi (Fe-oksida) (Gambar 5).



Gambar 5. Foto sayatan tipis batupasir *feldspathic greywacke*.

c. Geokimia

Hasil analisis geokimia disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan analisis, hilang pijar sampel batupasir Formasi Rampong adalah 1.09 dan 1.41, sehingga tergolong batuan yang masih segar. Nilai *loss on ignition* (LOI) atau hilang pijar yang melebihi 4% sering dihubungkan dengan pelapukan batuan, khususnya karena akumulasi mineral sekunder seperti lempung dan oksida besi (Price & Velbel, 2003; Sheldon & Tabor, 2009). Sebaliknya, nilai hilang pijar di bawah 4% berkaitan dengan batuan yang tergolong segar

Tabel 2. Hasil analisis geokimia

Senyawa	Batupasir Rampong	
Oksida (%)	R1 (<i>quartz arenite</i>)	RP2 (<i>feldspathic greywacke</i>)
SiO ₂	93.03	78.98
Al ₂ O ₃	4.08	11.99
Fe ₂ O ₃ T	0.86	1.65
MnO	-	-
MgO	-	0.23
CaO	-	0.18
Na ₂ O	-	1.99
K ₂ O	0.61	3.23
TiO ₂	0.22	0.20
P ₂ O ₅	-	0.04
BaO	-	0.07
ZrO ₂	0.09	0.01
LOI	1.09	1.41
ppm		
Eu	<0.010	<0.010
Gd	<0.010	<0.010

Senyawa	Batupasir Rampong	
Oksida (%)	R1 (<i>quartz arenite</i>)	RP2 (<i>feldspathic greywacke</i>)
Nd	19.21	23.81
Sm	<0.010	<0.010
Pr	5.89	5.76
Dy	<0.010	<0.010
Er	<0.010	<0.010
Tb	<0.010	<0.010
Yb	<0.010	<0.010

Quartz arenite memiliki kandungan SiO₂ yang lebih tinggi dibandingkan *feldspathic greywacke*. Hal ini sejalan dengan analisis petrografi, dimana *quartz arenite* tersusun dari butiran kuarsa, sementara mineral feldspar tidak hadir, sehingga nilai CaO dan Na₂O tidak terdeteksi. Selain itu, kehadiran K₂O 0.61 wt% disebabkan oleh mineral muskovit. Disisi lain, *feldspathic greywacke* mengandung mineral golongan feldspar, dan analisis geokimia mendeteksi unsur CaO, Na₂O, dan K₂O. Selanjutnya, kandungan Al₂O₃ lebih tinggi pada *feldspathic greywacke* dibandingkan dengan *quartz arenite*, yang menunjukkan adanya matriks lempung yang lebih besar. Unsur tanah jarang yang terdeteksi pada batupasir ini adalah Neodymium (Nd) dalam kisaran 19,21 ppm hingga 23,81 ppm, dan Praseodymium (Pr) terdeteksi dengan konsentrasi 5,76 ppm hingga 5,89 ppm. UTJ lainnya tidak terdeteksi karena kurangnya pengkayaan, sehingga metode ICP-OES terbatas dalam mendeteksi kadar di bawah limit <0.010 ppm.

Diskusi

Unsur tanah jarang dapat mengalami pengkayaan selama proses magmatisme, sehingga umumnya ditemukan pada batuan beku, terutama granit. Pengkayaan UTJ terjadi ketika terdapat mineral yang mengandung UTJ. Beberapa mineral dengan konsentrasi UTJ yang tinggi meliputi mineral berat seperti zirkon, ilmenit, rutil, dan fosfat (Laveuf & Cornu, 2009). Pada batuan sedimen, unsur tanah jarang dapat berasal dari pelapukan batuan dan selanjutnya terkonsentrasi pada lempung, serpih, bauksit, oksidasi besi dan mangan (Ilevbare, 2021).

Berdasarkan pengamatan petrografi, batupasir *quartz arenite* dan *feldspathic greywacke* Formasi Rampong menunjukkan komponen butiran lebih dominan daripada matriks, seperti lempung. Akibatnya, pengkayaan UTJ dalam batupasir ini relatif rendah. Perbandingan UTJ dalam batupasir Formasi Rampong dengan yang ada di Formasi Ombilin (Vansla dkk., 2023) dan Formasi Ajali (Ilevbare, 2021) disajikan dalam Tabel 3. Pada batupasir Ombilin, UTJ Neodymium mengalami pengkayaan sebesar 290 ppm hingga 560 ppm, sedangkan pada batupasir Rampong berkisar antara 19,21 ppm hingga 23,81 ppm. Pengkayaan unsur-unsur pada batupasir Ombilin jauh lebih tinggi. Selain itu, batupasir Formasi Ombilin juga menunjukkan pengkayaan Europium hingga 1280 ppm, sedangkan batupasir Rampong tidak mengalami pengkayaan. Total pengkayaan unsur tanah jarang di batupasir Formasi Rampong berkisar antara 25.1 – 29.57 ppm, sementara pada batupasir Formasi Ombilin mengalami pengkayaan 890 ppm hingga 2120 ppm. Menurut Vansla dkk. (2023), pengkayaan unsur UTJ pada batupasir Formasi Ombilin berkaitan dengan keberadaan mineral Monasit dan Xenotime serta keberadaan intrusi granit Karbon-Trias di sekitar Cekungan Ombilin yang merupakan sumber logam tanah jarang.

Batupasir Rampong berasal dari pelapukan granit dengan tatanan tektonik asal *recycled orogen* yang berarti mengalami pendaurulangan (Sartika dkk., 2023). Proses pelapukan dan pendaurulangan pada pembentukan batupasir Rampong hanya menyisakan mineral – mineral yang stabil, terutama kuarsa dan sebagian mineral feldspar serta litik. Secara regional, Formasi Rampong ditindih oleh Formasi Gunung Api Akul berumur Miosen Awal dengan litologi batuan ekstrusif andesit, basalt, sedimen vulkaniklastik dan aglomerat (Cameron dkk., 2007). Aktivitas vulkanisme yang membentuk batuan ekstrusi Formasi Gunung

Api Akul tidak menyebabkan pengkayaan UTJ karena magmanya belum intensif terdiferensiasi. Hal ini tercermin dari litologi andesit dan basalt pada Formasi Gunung Api Akul.

Tabel 3. Perbandingan unsur tanah jarang pada batupasir Rampong dan batupasir lain.

Elements	Rampong Formation sandstone (Penelitian ini)		Ombilin Formation sandstone (Vansla dkk., 2023)		Ajali Sandstone (Ilevbare, 2021)	
	R1	RP2	Sampel 4	Sampel 10	FG6	FG 15
La					4.25	4
Ce						
Pr	5.89	5.76				
Nd	19.21	23.81	290	560	12.5	1.1
Sm						
Eu			1280		0.45	0.45
Gd						
Tb						
Dy					2	1.5
Ho						
Er					0.2	0.4
Tm						
Yb					1.9	2
Lu						
Sc						
Y			550	330	3.4	4
Total	25.1	29.57	2120	890	24.7	13.45

Pada batupasir Ajali, konsentrasi Neodymium lebih rendah dibandingkan dengan batupasir Rampong, yaitu berkisar antara 1,1 ppm hingga 12,5 ppm. UTJ lain seperti La, Eu, Dy, Er, Yb, dan Y juga terdeteksi, tetapi dalam jumlah yang sangat sedikit. Menurut Ilevbare (2021), keberadaan UTJ yang relatif rendah pada batupasir ini dapat dikaitkan dengan keberadaan lempung yang sedikit pada batupasir Ajali.

Komponen utama batupasir Rampong, yang sebagian besar berupa kuarsa, tidak menghasilkan pengkayaan UTJ. Demikian pula pada batupasir *feldspathic greywacke*, keberadaan mineral feldspar tidak mengakibatkan pengkayaan UTJ. Menurut Compton dkk. (2003), kuarsa tidak mengandung UTJ, sedangkan feldspar mengandung UTJ dengan jumlah sedikit, dan terkadang unsur Eu menunjukkan anomali positif karena kemampuannya untuk substitusi Ca^{2+} , Sr^{2+} , dan Na^{+} (Nagasawa, 1971).

Kehadiran UTJ neodymium dan praseodymium di batupasir Formasi Rampong diinterpretasikan terkonsentrasi pada mineral lempung. Pengamatan petrografi mengungkapkan bahwa mineral lempung hadir sebagai matriks dalam batupasir *feldspathic greywacke* dan *quartz arenite*. Lempung adalah mineral sekunder yang terbentuk dari pelapukan mineral silikat primer. Selama pelapukan, UTJ dalam mineral primer dilepaskan, dan kemudian terkonsentrasi pada pembentukan mineral lempung sekunder (Laveuf & Cornu, 2009). Hal ini karena substitusi UTJ pada kisi mineral lempung lebih mudah terjadi. Namun, penyerapan UTJ ke dalam lempung juga dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti pH dan kekuatan ion larutan (Wan & Liu, 2005). Akibatnya, berbagai jenis lempung menunjukkan komposisi UTJ yang bervariasi. Misalnya, klorit memperkaya elemen tanah jarang menengah (MUTJ) dibandingkan dengan elemen tanah jarang ringan (LUTJ) dan elemen tanah jarang berat (HUTJ), sementara ilit dan vermikulit memperkaya LUTJ (Laveuf & Cornu, 2009). Namun demikian, karena metode yang digunakan adalah pengamatan petrografi menggunakan mikroskop polarisasi, jenis lempung yang spesifik pada batupasir Rampong tidak dapat diidentifikasi. Analisis yang diperlukan untuk identifikasi jenis lempung adalah analisis mikroskopik menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) atau menerapkan metode *X-Ray Diffraction* (XRD).

Unsur tanah jarang juga dapat terkonsentrasi dalam oksida besi. Pengamatan petrografi memperlihatkan keberadaan oksida besi dalam batupasir *feldspathic greywacke* dan *quartz arenite* sebagai semen.

Pembentukan oksida besi terjadi sebagai akibat pelapukan mineral primer yang melepaskan Fe^{2+} , kemudian mengendap kembali sebagai oksida besi (Laveuf & Cornu, 2009). Meskipun dapat mengandung UTJ, kisi dalam oksida besi kurang kondusif untuk substitusi oleh UTJ. Akibatnya, keberadaan UTJ dalam oksida besi tidak begitu menonjol seperti pada mineral lainnya.

Berdasarkan penelitian ini, kami menyimpulkan bahwa meskipun batupasir Rampong berasal dari pelapukan batuan beku granit, proses pelapukan menyebabkan tersisanya mineral yang stabil didominasi oleh kuarsa dan sedikit feldspar serta litik. Selain itu, pelapukan mineral berkadar UTJ tinggi dapat melepaskan unsur tersebut dan terakumulasi pada lempung sekunder dan oksida besi.

PENUTUP

Simpulan dan Saran

Batupasir Formasi Rampong mengandung UTJ, khususnya Neodymium dengan konsentrasi berkisar antara 19,21 ppm hingga 23,81 ppm, dan Praseodymium dengan konsentrasi berkisar antara 5,76 ppm hingga 5,89 ppm. Pengkayaan unsur-unsur ini relatif rendah. Unsur-unsur ini diinterpretasikan terkonsentrasi pada mineral lempung dan oksida besi.

Pada penelitian ini, jenis mineral lempung tidak dapat ditentukan. Dengan demikian, disarankan pada penelitian terkait unsur tanah jarang pada batupasir juga melibatkan metode geokimia yang lain, seperti *X-Ray Diffraction* (XRD).

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Universitas Syiah Kuala, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi sesuai “Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Penelitian Asisten Ahli Tahun Anggaran 2024 Nomor : 470/UN11.2.1/PG.01.03/SPK/PTNBH/2024 Tanggal 3 Mei 2024”

DAFTAR PUSTAKA

- Adhitiya, I., Saputra, R., Aritonang, S., dan Mandini, M. D. 2019. Pemetaan sumber daya Rare Earth Elements (UTJ) untuk bahan baku industri pertahanan dengan metode eksplorasi geomarine. *Jurnal Teknologi Penginderaan*, 1(1): 57-82.
- Bahti, H. H., Mulyasih, Y., and Anggraeni, A. 2011. Extraction and chromatographic studies on rare-earth elements (UTJs) from their minerals: the prospect of UTJs production in Indonesia?. In: *Proceeding of the International Seminar on Chemistry*, Jatinangor, 2011. 421 – 430.
- Balaram, V. 2019. Rare earth elements: A review of application, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact. *Geoscience Frontiers*, 10, 1285–1303.
- Boggs, Jr., S. 2009. *Petrology of sedimentary rocks*. Cambridge University Press, New York.
- Cameron, N. R., Bennett, J. D., Bridge, D. M., Clarke, M. C., Djunuddin, A., Shazali, S. A., Harahap, H., Jeffery, D. H., Kartawa, W., Keats, W., Ngabito, H., Rocks, N. M., and Thompson, S. J. 2007. *Geological map of the Takengon Quadrangle, Sumatera*. Geological Research and Development Centre, Bandung.
- Chandra, V. R., and Shalihin, M. G. 2023. Assessing the potential of rare earths elements (UTJ) from the volcanic-hydrothermal system in Weh Island, Nangroe Aceh Darussalam. In: *IICGE*, Jakarta, 2023.
- Charalampides, G., Vatalis, K. I., Apostoplos, B., and Ploutarch-Nikolas, B. 2015. Rare earth elements: Industrial applications and economic dependency of Europe. In: *Procedia Economics and Finance. International Conference on Applied Economics (ICOAE)*, 2015, Elsevier, 126 – 135.
- Compton, J. S., White, R. A., and Smith, M. 2003. Rare earth element behavior in soils and salt pan sediments of a semi-arid granitic terrain in the Western Cape, South Africa. *Chemical Geology*, 201(3–4), 239 – 255.

- Inatadon, N. F., Abdurrachman, M., dan Aziz, M. 2015. Geologi dan studi logam tanah jarang daerah Kacang Botor dan sekitarnya, Kecamatan Badau, Kabupaten Belitung, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Seminar Nasional Kebumian Ke-8, Yogyakarta.
- Folk, R. L. 1968. Bimodal supermature sandstones: Product of desert floor. *Proceedings 23rd International Gondwana Congress*, 9–32.
- Goodenough, K. M., Wall, F., and Merriman, D. 2018. The rare earth elements: Demand, global resources, and challenges for resourcing future generations. *Natural Resources Research*, 27(2), 1- 16.
- Hakim, A. Y., Anggayana, K., Indriati, T., Sulistijo, B., Syafrizal, S., Heriawan, M. N., dan Widayat, A. H. 2022. Mineralogi dan mobilitas unsur pada lithium dan logam tanah jarang pada Lumpur Sidoarjo (Lusi), Indonesia. *Jurnal GEOSAPTA*, 8(2), 99 -107.
- Haque, N., Hughes, A., Lim, S., and Vernon, C. 2014. Rare earth elements: Overview of mining, mineralogy, uses, sustainability and environmental impact. *Resources*, 3 (4). 614 – 635.
- Henderson, P. 1984. Rare earth element geochemistry. *Developments in Geochemistry (Vol. 2)*. Elsevier: Netherlands.
- Ilevbare, M. 2021. Rare earth elements of Ajali Sandstone, SW, Anambra Basin in Nigeria: Implication for soil genesis. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 24(11), 1999–2004.
- Jerram, D. A. 2001. Visual comparators for degree of grain-size sorting in two and three-dimensions. *Computers and Geosciences*, 27(4).
- Kurnio, H., Syafri, I., Sudradjat, A., and Rosana, M. F. 2016. Sabang submarine volcano Aceh, Indonesia: Review of some trace and rare earth elements abundances produced by seafloor fumarole activities. *Indonesian Journal on Geoscience*, 3(3), 173-182
- Larrea, M. L., Castro, S. M., and Bjerg, E. A. 2014. A software solution for point counting: Petrographic thin section analysis as a case study. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(8).
- Laveuf, C., and Cornu, S. 2009. A review on the potentiality of Rare Earth Elements to trace pedogenetic processes. *Geoderma*, 154, 1 – 12.
- Nagasawa, H. 1971. Partitioning of Eu and Sr between coexisting plagioclase and K-feldspar. *Earth and Planetary Science Letters*, 13(1).
- Pettijohn, F. J. 1975. *Sedimentary rocks (1st ed.)*. Harper & Row.
- Price, J.R., & Velbel, M.A. (2003). Chemical Weathering Indices Applied to Weathering Profiles Developed on Heterogeneous Felsic Metamorphic Parent Rocks. *Chemical Geology*, 202, 397-416. *Chemical Geology* 202, 397-416.
- Puspita, M., Arsyad, A. R, dan Zahar, W. 2022. Identifikasi keterdapatan unsur logam tanah jarang dalam lapisan batubara di PT Prima Mulia Sarana Sejahtera Kabupaten Muara Enim Provinsi Sumatera Selatan. *COMSERVA*, 1(9), 657 – 666.
- Rollinson, H., and Pease, V. 2021. *Using Geochemical Data*. Cambridge University Press, United Kingdom.
- Sartika, D., Gunarsih, D., Ahmad, L., Muhni, A., Rahmatillah, L. F., and Adhari, M. R. 2023. Provenance analysis of The Rampong sandstone in the Ketukah Area, Gayo Lues, Aceh. *Indonesian Physical Review*, 7(1), 39 – 51.
- Sheldon, N.D. and Tabor, N.J. (2009) Quantitative Paleoenvironmental and Paleoclimatic Reconstruction Using Paleosols. *Earth-Science Reviews*, 95, 1-52.
- Vansla, T., Rahman, H. A., Rusli, H.A.R., dan Fahilah. 2023. Kajian potensi logam tanah jarang pada batupasir Formasi Ombilin Atas dan Formasi Ombilin Bawah menggunakan analisis X-Ray Fluorescence. *Jurnal Bina Tambang*, 8(2), 146–153.
- Wan, Y., and Liu, C. 2005. Study on adsorption of rare earth elements by kaolinite. *Journal of Rare Earth*, 23(3), 377–381.

Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*, 30(5).

LAMPIRAN 1

