

INTERPRETASI LINGKUNGAN TEKTONIK BERDASARKAN DATA GEOKIMIA PADA ENDAPAN LOGAM DASAR TALIMBANGAN, TORAJA UTARA

Vhalentio Pakombong¹, Nilam Sry Putri²

¹Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Cenderawasih.

²Teknik Pertambangan, Politeknik Amamapare.

(Corresponding Author*: vhalentio_pakombong@ftuncen.ac.id)

ABSTRACT

The research location in the village or Lembang Talimbangan, North Toraja Regency, shows an area with a morphological feature in the form of hills, with steep terrain due to various tectonic processes that have occurred. These tectonic processes have resulted in resources in the form of base metal deposits exposed on igneous rocks in two analyzed samples, namely ST-1B and ST-4D. These igneous rocks indicate that the lava rocks in the research area have the same type, which is Basalt Trachyte in the ST-1B and ST-4C samples, based on the plotting of Na₂O + K₂O and SiO₂ values. The hostrock that has undergone alteration, using immobile elements, shows that both samples fall into the Sub-alkali Basalt plot. Based on magma affinity determination at the research site by plotting the K₂O and SiO₂ content in both samples, the research area is known to belong to the soshonite series or potassium alkaline series. The interpretation of tectonic settings refers to plotting the primitive mantle spider diagram and the Chondrite REE diagram, which shows the enrichment behavior of Light Rare Earth Elements (LREE) from La to Pm, which is quite steep, while from Sm to Y, which falls under the Mid Rare Earth Elements (MREE), it appears relatively flat, and similarly, the Heavy Rare Earth Elements (HREE) show a very flat pattern from Ho to Lu. The presence of the LREE enrichment pattern and the flat trend in the larger HREE elements indicates that the sedimentary mantle source is mostly derived from felsic igneous rocks, with contributions from volcanic rocks of arc magma and ultramafic.

Keyword: Base metal, alteration, tectonic plate, rare earth element.

ABSTRAK

Lokasi penelitian di dusun atau lembang Talimbangan, Kabupaten Toraja Utara menunjukkan daerah dengan kenampakan morfologi berupa pebukitan dengan kondisi daerah yang curam akibat dari berbagai macam proses tektonik yang terjadi. Proses tektonik tersebut menghasilkan sumber daya berupa endapan logam dasar yang tersingkap pada batuan beku pada 2 sampel yang dianalisis yaitu sampel ST-1B dan ST-4D. Batuan beku tersebut menunjukkan bahwa batuan lava daerah penelitian memiliki jenis yang sama yaitu Trakit Basal pada sampel ST-1B dan ST-4C dengan menggunakan plotting nilai Na₂O + K₂O dan SiO₂. batuan *hostrock* yang telah mengalami alterasi dengan menggunakan unsur-unsur *immobile* menunjukkan kedua sampel menunjukkan bahwa kedua sampel dalam plot Sub-alkali Basal. Berdasarkan determinasi afinitas magma pada lokasi penelitian dengan plotting kandungan K₂O dan SiO₂ pada kedua sampel menunjukkan bahwa daerah penelitian diketahui berada pada seri sosonit (*soshonite series*) atau alkali potasik. Interpretasi tatanan tektonik mengacu pada *plotting* diagram laba-laba *primitive mantle* dan diagram REE *Chondrite* yang menunjukkan pola perilaku pengayaan unsur Light Rare Earth Element (LREE) dari La ke Pm yang cukup curam sementara dari unsur Sm ke Y yang tergolong dalam Mid Rare Earth Element (MREE) terlihat cukup landai, begitu juga dengan Heavy Rare Earth Element (HREE) yang sangat landai yang ditunjukkan oleh Ho ke Lu. Kehadiran pola atau pengayaan unsur LREE dan mendatar pada unsur besar (HREE) menunjukkan bahwa sumber mantel sedimen ini sebagian besar berasal dari batuan beku berkomposisi felsik dengan kontribusi batuan vulkanik bersifat magma busur dan ultramafik.

Kata Kunci: Logam dasar, alterasi, tatanan tektonik, unsur tanah jarang.

PENDAHULUAN

Daerah penelitian berada di Kepulauan Sulawesi yang telah mengalami proses tektonik yang sangat kompleks dan dipengaruhi oleh tumbukan tiga lempeng aktif yaitu Lempeng Tektonik Eurasia di bagian utara, Lempeng Pasifik di bagian timur, dan Lempeng India-Australia di bagian selatan sehingga membentuk beberapa mikrokontinen. Mikrokontinen-mikrokontinen tersebut bergerak ke arah Sulawesi melalui mekanisme sesar transform hingga bertabrakan dengan Busur Sulawesi dan diikuti terbentuknya berbagai struktur geologi seperti tunjaman, sesar naik dan sesar mendatar berskala besar (Zakaria, 2015), sehingga mempengaruhi struktur regional pada daerah penelitian.



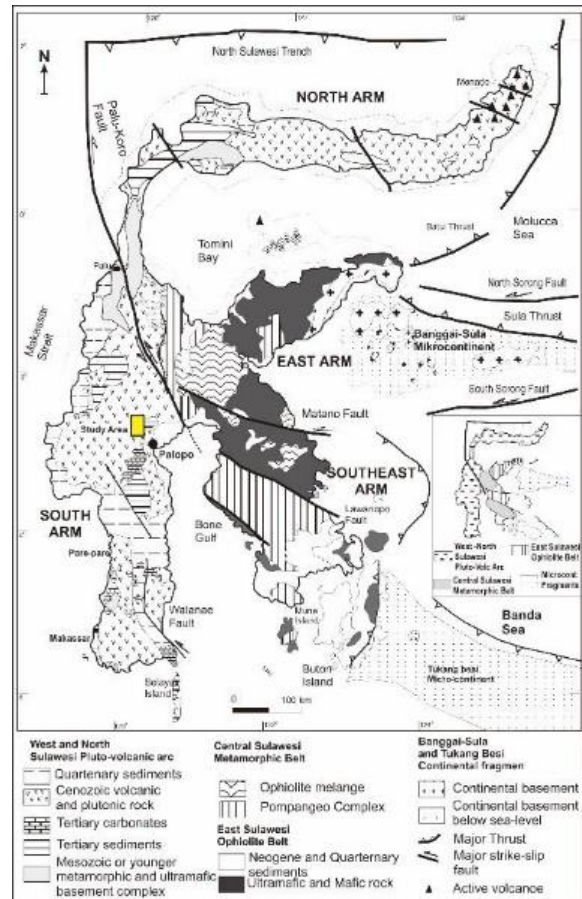
Gambar 1. Kenampakan topografi di daerah Talimbangan

Kolisi yang terjadi di bagian timur daerah Toraja berpengaruh terhadap struktur geologi yang berkembang di daerah tersebut. Sisa-sisa magma hasil subduksi banyak muncul ke permukaan sebagai batuan terobosan yang terjadi selama post-kolisi (Priadi, 1994). Wilayah Toraja berdasarkan litotektonik termasuk dalam Mandala Barat (Van Leeuwen, 1994) atau Busur Plutonik-Vulkanik Sulawesi Barat dan Utara (Sukanto, 1975).

Secara geografis daerah Toraja Utara termasuk dalam wilayah Provinsi Sulawesi Selatan bagian utara yang berdasarkan analisis kimianya diketahui memiliki kandungan potasium tinggi (high-K), hal tersebut merupakan hasil dari subduksi aktif atau hasil kolisi yang berasosiasi dengan kerak (Pearce, 1990). Kehadiran kandungan

potasium tinggi di wilayah ini menjadi kunci bagaimana proses geodinamik yang sebenarnya terjadi di daerah tersebut.

Penyebab dan sumber dari tingginya kandungan potasium tersebut secara mendetail dapat digunakan untuk mengetahui proses terjadinya evolusi magma, yang selanjutnya digunakan untuk mengetahui proses geodinamik yang berperan dalam merekonstruksi lingkungan tektonik di daerah penelitian.



Gambar 2. Peta geologi daerah penelitian (Maulana, 2019).

METODOLOGI

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengambilan data langsung di lapangan berupa data litologi daerah penelitian serta pengambilan sampel pada singkapan di setiap stasiun yang ditentukan dan memiliki potensi untuk dianalisis.

Terdapat 2 sampel dengan lokasi stasiun berbeda dengan nama ST-1B dan ST-4D yang digunakan untuk analisis geokimia di laboratorium berupa analisis *Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry* (ICP-MS), *Inductively Coupled Plasma – Optical*

Emission Spectrometry (ICP-OES), dan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS).



Gambar 3. (A) (B) Sampel 1B yang dianalisis; (C) Sampel 4D yang dianalisis.

Analisis tersebut berguna untuk mengetahui jumlah kandungan setiap unsur yang terdapat pada sampel yang dianalisis. Nilai kandungan pada setiap sampel tersebut yang kemudian menjadi acuan dalam menginterpretasikan jenis batuan dan lingkungan tektonik di daerah penelitian sesuai dengan parameter diagram yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Geokimia

Tabel 1. Konsentrasi Unsur Utama, Unsur Jejak dan REE

Sample	ST-1B	ST-4D
Major Element (wt.%)		
SiO ₂	48.90	47.48
TiO ₂	0.91	1.04
Al ₂ O ₃	16.66	16.89
Fe ₂ O ₃	9.94	11.51
MnO	0.12	0.15
MgO	2.75	5.64
CaO	16.66	16.89
Na ₂ O	1.73	1.82
K ₂ O	5.58	3.32
P ₂ O ₅	0.215	0.660
LOI	6.27	2,27
Total	109.735	105.4
Trace Element (ppm)		
Co	5	20

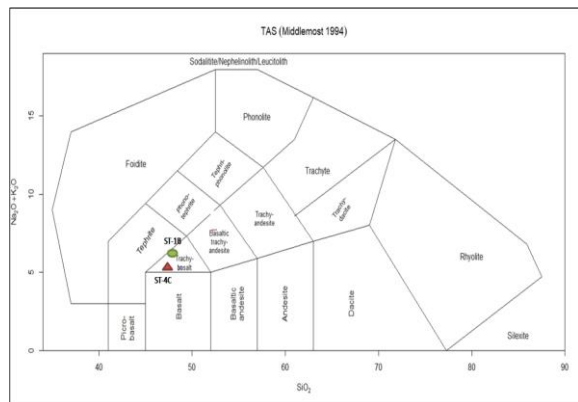
Cr	6	41
Cs	11.2	8.3
Ga	19	19.2
Hf	1.2	1.7
Mo	0.2	1.3
Nb	3.1	8.4
Rb	177	119
Sn	3.7	2
Sr	522	785
Ta	0.25	0.49
Th	1.5	11.2
Tl	2.57	1.92
U	0.58	1.86
V	205	256
W	11.6	3.9
Zr	40.5	56.6
La	6	25.5
Ce	12.8	51
Pr	2.05	6.5
Nd	9.4	24.9
Sm	2.3	5
Eu	1	1.4
Gd	2.6	4.6
Tb	0.41	0.66
Dy	2.8	3.8
Ho	0.6	0.7
Er	1.7	2.1
Tm	0.2	0.3
Yb	1.3	1.7
Lu	0.22	0.24
Y	12.9	19.4
LREE	33.55	114.3
HREE	9.83	14.1
Total REE	43.38	128.4
REE+Y	56.28	147.8
Ce/REE	0.295066851	0.397196262
(La/Yb)N	4.615384615	15
Ce/La	2.133333333	2
Eu/Sm	0.434782609	0.28

Berdasarkan data geokimia pada 2 sampel yang dianalisis maka dapat diuraikan konsentrasi unsur-unsur berdasarkan unsur utama, unsur jejak dan unsur tanah jarang (REE) pada tabel 1.

Klasifikasi Batuan Beku

Pada klasifikasi batuan (Le Bas, 1986) membagi jenis batuan beku dengan menggunakan diagram Total Alkali Silika (TAS) yang merupakan salah satu klasifikasi yang banyak digunakan terutama untuk batuan vulkanik. Data kimia yang digunakan adalah jumlah Na₂O + K₂O (Alkali Total) dan SiO₂ (Silika) yang kemudian diplot ke dalam diagram Le Bas (1986). Menurut Le Bas (1986) jenis sampel yang memiliki >2 wt.% H₂O merupakan sampel yang teralterasi sedangkan untuk sampel yang memiliki <2 wt.% H₂O merupakan sampel yang tak teralterasi (*fresh*). Berdasarkan konsentrasi H₂O sampel ST-1B dan ST-4C dianggap memenuhi kriteria, yang masing-masing

memiliki 6,27 wt.% dan 2,27 wt.% H₂O, kemudian diindikasikan jenis batuan nya berdasarkan jumlah kandungan yang dimiliki kedua sampel tersebut.

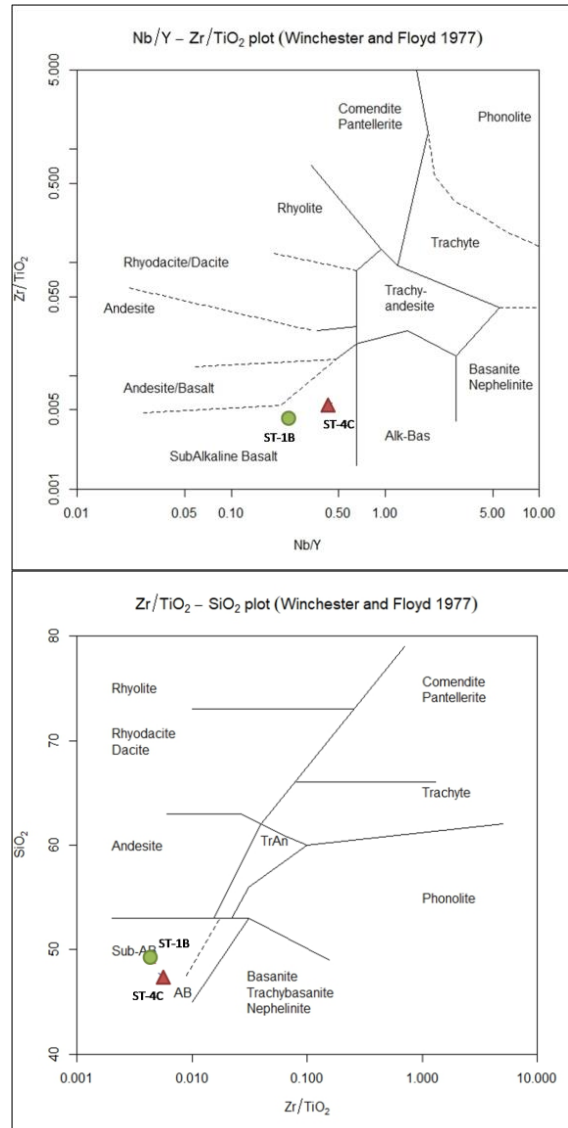


Gambar 4. Jenis batuan lava di daerah penelitian berdasarkan klasifikasi (Le Bas, 1986) yang telah dimodifikasi oleh (Middlemost, 37 C.E.)

Dengan menggunakan plotting nilai Na₂O + K₂O (Alkali Total) dan SiO₂ (Silika) pada diagram biner tersebut maka dapat diindikasikan bahwa batuan lava daerah penelitian memiliki jenis yang sama yaitu Trakit Basal pada sampel ST-1B dan ST-4C.

Klasifikasi Batuan *Hostrock*

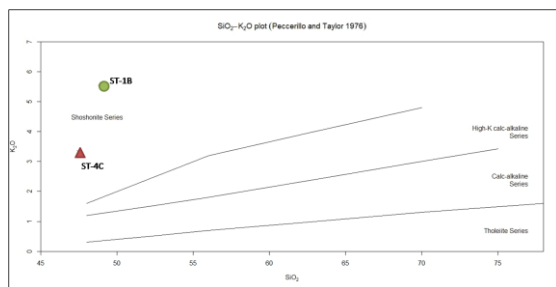
Pengklasifikasian batuan yang telah mengalami alterasi dilakukan berdasarkan pada diagram (Winchester, 1977) yang mengklasifikasikan batuan vulkanik dengan menggunakan unsur immobile. Berdasarkan pada plotting Zr/TiO₂ (ppm) terhadap Nb/Y (ppm) pada Gambar 4.4 (A) menunjukkan kedua sampel dalam plot Sub-alkali Basal yang direfleksikan dengan kandungan Zr 40,5 ppm, TiO₂ 0,91 wt.% Nb 3,1 ppm dan Y 12,9 ppm pada sampel ST-1B dan kandungan Zr 56,6 ppm, TiO₂ 1,04 wt.%, Nb 8,4 ppm dan Y 19,4 ppm pada sampel ST-4C. Begitupun pada plotting SiO₂ wt.% terhadap Zr/TiO₂ (ppm) pada gambar 4.4 (B) juga menunjukkan sampel termasuk pada batuan vulkanik Sub Alkali Basal yang direfleksikan dengan kandungan Zr 40,5 ppm dan TiO₂ 0,91 wt.% pada sampel ST-1B serta kandungan Zr 56,6 ppm dan TiO₂ 1,04 wt.% pada sampel ST-4C.



Gambar 5. Distribusi batuan teralterasi sampel ST-1B dan ST-4C, A). Nb/Y- Zr/TiO₂ dan B). Zr/TiO₂-SiO₂ (Winchester, 1977).

Determinasi Afinitas Magma

Determinasi afinitas magma pada suatu daerah diindikasikan berdasarkan kandungan K₂O dan SiO₂ (Peccerillo, 1976). Daerah penelitian diketahui berada pada Seri Sosonit (Soshonite Series) atau Alkali Potasik yang diindikasikan berdasarkan data geokimia yang dilakukan pada host rock basal di daerah penelitian pada sampel ST-1B dengan kandungan K₂O sebesar 5,58wt.% dan SiO₂ sebesar 48,90 wt.%, juga pada sampel ST-4C dengan kandungan K₂O sebesar 3,32 wt.% dan SiO₂ sebesar 47,48 wt.% yang di-plotting pada diagram klasifikasi komposisi magmatic (Peccerillo, 1976).



Gambar 6. Hasil plotting sampel ST-1B dan sampel ST-4C pada diagram klasifikasi komposisi magmatik SiO_2 dan K_2O (Peccerillo, 1976).

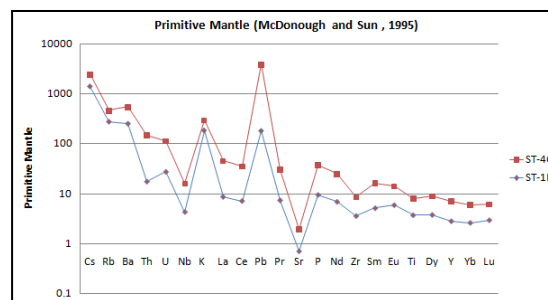
Interpretasi Tatanan Tektonik

Interpretasi tatanan tektonik diketahui berdasarkan hasil analisis unsur jejak yang kemudian di-plotting dalam diagram laba-laba atau spider diagram (Sun, 1989). Kandungan unsur *mobile* seperti strontium (Sr) sangat rendah (0,71-1,23 ppm) hal tersebut sesuai dengan tingkat pelapukan kalsium (Ca) yang sudah berkurang dalam mineral plagioklas. Kandungan unsur mobile lainnya berupa rubidium (Rb) dan lantanum (La) cukup tinggi, masing-masing 278,74 - 187,4 ppm dan 8,733 - 37,11 ppm. Tingginya konsentrasi kedua unsur ini kemungkinan besar mencerminkan kimia magma seri kalk-alkali K-tinggi, dimana hal tersebut menjelaskan awal batuan di lokasi penelitian mengandung mineral-mineral k-felspar, hornblende dan biotit yang kemudian mengalami pengayaan unsur Rb dan La selama proses ubahan berlangsung. Rendahnya konsentrasi Sr mengindikasikan keterkaitan mineral plagioklas yang berubah total menjadi mineral sekunder seperti serisit atau lempung. Unsur Sr kompatibel terhadap plagioklas terlepas selama proses ubahan (Harahap, 2010).

Unsur jejak *immobile* menunjukkan kandungan Nb, P dan Zr yang relatif rendah dan berkisar masing-masing 4,34 – 11,78 ppm, 9,57 – 28,10 ppm dan 3,61 – 5,05 ppm. Sedangkan unsur K, Pb dan Lu memperlihatkan konsentrasi yang cukup tinggi masing-masing 186,8 – 112,8 ppm, 183,1 – 3788,7 ppm dan 297,3 – 3,24 ppm. Unsur jejak dibandingkan atau dinormalisasi terhadap kondrit yang merupakan atau dianggap sebagai batuan induk bumi. Diagram tersebut menunjukkan bahwa batuan di lokasi penelitian mengalami pengayaan Large Ion Lithophile Elements (LILE) seperti Rb, Ba, K dan Th kecuali Sr

relatif terhadap REE. Dalam diagram tersebut juga memperlihatkan deplesi REE secara perlahan ke arah kanan High Field Strength Element (HFSE), yaitu unsur-unsur yang bersumber dari batuan ultramafik. Pengayaan terhadap unsur Cs, Rb, Ba, K, dan Th serta pemiskinan unsur Nb, Zr, dan Ti merupakan ciri magma kalk-alkalin (Harahap, 2010).

Anomali negatif Nb dalam diagram merefleksikan kehadiran residu yang mengandung Nb dalam sumber magma selama proses partial melting atau mengindikasikan efek kontaminasi kerak. Lekukan yang sangat curam yang ditunjukkan oleh unsur Nb dalam diagram laba-laba mengindikasikan tipe magma yang tererupsikan pada lingkungan tektonik berkaitan dengan subduksi (Harahap, 2010).

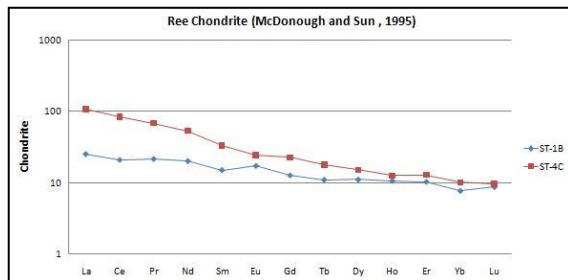


Gambar 7. Diagram laba-laba *primitive mantle* (McDonough, 1995).

Hasil plotting pada diagram laba-laba REE Chondrite pada Gambar 8 menunjukkan bahwa keseluruhan unsur REE memperlihatkan adanya variasi konsentrasi antara satu percontohan dengan percontohan lainnya. Konsentrasi La yang sangat tinggi yang tampaknya memiliki status yang sama dengan Cs dan Rb sebagaimana telah dibahas sebelumnya, yakni berawal dari komposisi magma kaya potasium dan kemudian diikuti oleh penambahan unsur tersebut secara signifikan selama proses ubahan berlangsung (Harahap, 2010).

Berdasarkan diagram spider tersebut diperlihatkan pengayaan Light Rare Earth Element (LREE) dari La ke Pm yang cukup curam sementara dari unsur Sm ke Y yang tergolong dalam Mid Rare Earth Element (MREE) terlihat cukup landai, begitu juga dengan Heavy Rare Earth Element (HREE) yang sangat landai yang ditunjukkan oleh Ho ke Lu. Kehadiran pola atau pengayaan unsur LREE dan mendatar pada unsur besar

(HREE) menunjukkan bahwa sumber mantel sedimen ini sebagian besar berasal dari batuan beku berkomposisi felsik dengan kontribusi batuan vulkanik bersifat magma busur dan ultramafic (Asiedu, 2000). Keseluruhan percontohan mempunyai konsentrasi HREE di bawah rasio 10 terhadap kondrit.



Gambar 8. Diagram REE Chondrite (McDonough and Sun, 1995).

KESIMPULAN

Berdasarkan kenampakan langsung di lapangan dan hasil data laboratorium pada sampel yang kemudian telah dianalisis maka dapat disimpulkan bahwa:

- Proses geodinamik yang terjadi di lokasi penelitian cukup kompleks terlihat dari kenampakan morfologi dengan kemiringan lereng perbukitan yang dominan.
- Dengan menggunakan diagram middlemost untuk klasifikasi batuan beku menunjukkan bahwa batuan lava daerah penelitian memiliki jenis yang sama yaitu Trakit Basal pada sampel ST-1B dan ST-4C dengan menggunakan plotting nilai $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (Alkali Total) dan SiO_2 (Silika).
- Klasifikasi batuan *hostrock* yang telah mengalami alterasi dengan menggunakan unsur-unsur *immobile* yang mengacu pada diagram (Winchester, 1977) menunjukkan bahwa kedua sampel dalam plot Sub-alkali Basal.
- Berdasarkan determinasi afinitas magma pada lokasi penelitian dengan plotting kandungan K_2O dan SiO_2 pada kedua sampel menunjukkan bahwa daerah penelitian diketahui berada pada seri soshonit (*soshonite series*) atau alkali potasik.
- Interpretasi tatanan tektonik diketahui berdasarkan hasil analisis unsur jejak yang diplotting dalam diagram laba-laba

atau *spider diagram* memperlihatkan kandungan unsur *mobile* Rb dan La cukup tinggi yang kemungkinan besar mencerminkan kimia magma seri kalk-alkali K-tinggi, dimana hal tersebut menjelaskan awal batuan di lokasi penelitian mengandung mineral-mineral k-felspar, hornblende dan biotit yang kemudian mengalami pengayaan unsur Rb dan La selama proses ubahan berlangsung.

- Lokasi penelitian mengalami pengayaan unsur LILE seperti Rb, Ba, K dan Th kecuali Sr relatif terhadap REE. Dalam diagram tersebut juga memperlihatkan deplesi REE secara perlahan ke arah kanan unsur HFSE, yaitu unsur-unsur yang bersumber dari batuan ultramafik. Pengayaan terhadap unsur Cs, Rb, Ba, K, dan Th serta pemiskinan unsur Nb, Zr, dan Ti merupakan ciri magma kalk-alkalin.
- Anomali negatif Nb dalam diagram merefleksikan kehadiran residu yang mengandung Nb dalam sumber magma selama proses partial melting atau mengindikasikan efek kontaminasi kerak. Tipe magma yang tererupsikan pada lingkungan tektonik tersebut berkaitan dengan subduksi.
- Kehadiran pola atau pengayaan unsur LREE dan mendatar pada unsur besar HREE menunjukkan bahwa sumber mantel sedimen ini sebagian besar berasal dari batuan beku berkomposisi felsik dengan kontribusi batuan vulkanik bersifat magma busur dan ultramafic. Keseluruhan percontohan mempunyai konsentrasi HREE di bawah rasio 10 terhadap kondrit.

DAFTAR PUSTAKA

- Asiedu, D. K. , S. S. , N. K. , dan S. (2000). Geochemistry of Lower Cretaceous sediments, Inner Zone of Southwest Japan: Constraints on provenance and tectonic environment. *Geochemical Journal*, 34, 155–173.
- Harahap, B. H. (2010). Ciri Geokimia Batuan Vulkaniklastika di daerah Tanjung Balit, Sumatra Barat: Suatu Indikasi Kegiatan Magma pada Eosen. *Jurnal Geologi Indonesia*, 5.
- Le Bas, M. J. , L. M. R. W. , S. A. and Z. (1986). A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total

- Alkali-silica Diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745–750.
- Maulana, A. C. A. , E. D. , B. M. (2019). The distinctive tectonic and metamorphic history of the Barru Block. *Petrological, Geochemical and Geochronological Evidence. Journal of Asian Earth Sciences*, 172, 170–189.
- McDonough, W. , S. S. (1995). The composition of the Earth. *Chem. Geol*, 223–253.
- Middlemost, E. A. K. (37 C.E.). Naming Materials in the Magma/Igneous Rock System. *Earth-Science Reviews*, 215–244.
- Pearce, J. A. , B. J. F. , D. L. S. E. , K. W. S. F. (1990). Genesis of collision volcanism in eastern Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 189–229.
- Peccherillo, A. , T. S. R. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contrib. Mineral Petrol*, 58, 63–81.
- Priadi, B. , P. M. , M. R. C. , B. H. , S.-A. R. , J. J. L. C. J. (1994). Tertiary and Quaternary magmatism in Central Sulawesi: Chronological and petrological constraints. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 81–93.
- Sukamto, R. (1975). Perkembangan Tektonik di Sulawesi dan Daerah Sekitarnya, Suatu Sintesis Perkembangan Berdasarkan Tektonik Lempeng. *Majalah IAGI*, 1–13.
- Sun, S. S. and M. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. *Geological Society Special Publications*, 42, 313–345.
- Van Leeuwen, T. (1994). 25 years of mineral exploration and discovery in Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration*, 13–90.
- Winchester, J. A. and F. P. A. (1977). Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20, 325–343.
- Zakaria, Z. dan S. (2015). Aktivitas Tektonik di Sulawesi dan Sekitarnya Sejak Mesozoikum Hingga Kini Sebagai Akibat Interaksi Aktivitas Tektonik Lempeng Tektonik Utama di Sekitarnya. *Jurnal Geologi Dan Sumber Daya Mineral*, 6, 115–127.