

Studi Geotektonik *Host-rock* Mineraloid Opal-C Berdasarkan Data Geokimia di Kecamatan Rongkong, Kabupaten Luwu Utara, Provinsi Sulawesi Selatan

Alam Budiman Thamsi^{1*}, Muhammad Hardin Wakila¹, Suriyanto Bakri¹, Muhammad Aswadi²

1. Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia

2. Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako.

*Email: alambudiman.thamsi@umi.ac.id

SARI

Daerah Rongkong merupakan daerah yang memiliki beberapa potensi ekonomis secara geologi. Salah satunya adalah terdapatnya mineraloid opal-C di daerah tersebut. Dengan adanya potensi mineraloid opal di daerah tersebut sehingga dilakukanlah penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan afinitas magma pada *host-rock* mineraloid opal-C dan menentukan tatanan geotektonik *host-rock* mineraloid opal-C. Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan mengambil sampel (*hand specimen*) di lapangan kemudian sampel tersebut dikirim ke laboratorium untuk dilakukan analisis geokimia. Hasil analisis geokimia dari laboratorium kemudian diplot pada klasifikasi SiO_2 - K_2O Peccerillo dan Taylor, $\text{La} / 10 - \text{Y} / 15 - \text{Nb} / 8$ Cabanis Lecolle dan Nb/Yb Th/Yb Pearce. Plotting dilakukan dengan bantuan *software GCDkit 6.1*. Berdasarkan hasil penelitian ditemukan bahwa daerah penelitian memiliki afinitas magma shoshonite series (shoshonitic) dengan komposisi SiO_2 yaitu 62,196 % dan K_2O yaitu 5,132 %. Shoshonite series menunjukkan jenis batuan andesit dengan nilai K_2O yang melebihi nilai 1,0. Data geokimia yang diplot pada klasifikasi $\text{La} / 10 - \text{Y} / 15 - \text{Nb} / 8$ Cabanis dan Lecolle menunjukkan bahwa daerah penelitian terbentuk di lingkungan *orogenic (compressive)*. Hal serupa ditunjukkan pada klasifikasi Nb/Yb Th/Yb Pearce yaitu lingkungan tektonik berada pada *vulcanic arc array*.

Kata kunci: Opal-C, Geotektonik, Geokimia, Rongkong

How to Cite: Thamsi, A.B., Wakila, M.H., Aswadi, M., 2023. Studi Geotektonik Pembentukan Mineraloid Opal-C Rongkong Berdasarkan Data Geokimia, Jurnal Geomine, 11 (2), 196 - 106.

Published By:

Fakultas Teknologi Industri
Universitas Muslim Indonesia

Address:

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05
Makassar, Sulawesi Selatan

Email:

geomine@umi.ac.id

Article History:

Submit 23 June 2023

Received in from 25 July 2023

Accepted 23 August 2023

Available online

Lisensec By:

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



ABSTRACT

The Rongkong area is an area that has some geological economic potential. One of them is the presence of opal-C mineraloids in this area. With the potential for opal mineraloids in the area, research was carried out. This research aims to determine the affinity of magma for the opal-C mineraloid host rock and the geotectonic setting of the opal-C mineraloid host rock. The research method used was to take samples (hand specimens) in the field and then send the samples to the laboratory for geochemical analysis. The results of the geochemical study from the

laboratory were then plotted on Peccerilo and Taylor's $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ classification, $\text{La}/10\text{-Y}/15\text{-Nb} / 8$ Cabanis Lecolle, and $\text{Nb}/\text{Yb Th}/\text{Yb Pearce}$. Plotting was carried out with the help of GCDkit 6.1 software. Based on the research results, it was found that the research area has an affinity for shoshonite series (shoshonitic) magma with a composition of SiO_2 , namely 62.196%, and K_2O , namely 5.132%. The Shoshonite series shows a type of andesite rock with a K_2O value that exceeds 1.0. Geochemical data plotted in the $\text{La}/10\text{-Y}/15\text{-Nb} / 8$ Cabanis and Lecolle classifications show that the study area was formed in an orogenic (compressive) environment. A similar thing is shown in the $\text{Nb}/\text{Yb Th}/\text{Yb Pearce}$ calcification, namely that the tectonic is in the volcanic arc array.

Keyword: *Opal-C, Geotectonics, Geochemistry, Rongkong*

PENDAHULUAN

Salah satu permata yang memiliki nilai ekonomis yang tinggi dan banyak dicari oleh kolektor permata adalah opal (Boboň et al., 2011). Opal bisa ditemukan di beberapa lokasi di dunia yaitu di Australia, Amerika, Tanzania, Mexico, dan Indonesia (Banerjee & Wenzel, 1999; Costanzo, 2019; Federman, 1990; Lynne et al., 2005; Štubňa & Hanus, 2020). Opal yang terkenal dan memiliki nilai ekonomis yang sangat tinggi dapat dijumpai di Australia, *Cainozoic weathered profiles* (Olliver & Townsend, 1993; Watkins, 1985). Di Indonesia, kita bisa menemukan opal di Provinsi Banten, Kabupaten Lebak. Opal di daerah tersebut merupakan opal-CT. Rongga pada batuan diisi oleh fosil kayu dan koloid silika (Ansori, 2008, 2010; Ansori et al., 2003).

Opal yang merupakan silikat yang terbentuk secara alamiah dan tidak memiliki struktur kristal atau disebut juga sebagai amorf (Boboň et al., 2011). Hal tersebut sehingga opal disebut sebagai mineraloid (Ansori, 2010b; Graetsch et al., 1994). Material pembentukan opal bisa juga berasal dari pelapukan pada mantel muda (Vysotsky et al., 2010). Jika dilihat secara kristalografi, opal dibentuk oleh silika amorf yang berbentuk seperti bola-bola. Menurut Jones, opal dikalsifikasikan menjadi tiga jenis opal yaitu, opal-A, opal-C, dan opal-CT (Curtis et al., 2022; Day & Jones, 2008; Fröhlich, 2020; B. Jones & Renaud, Robin, 2007; J. B. Jones & Segnit, 1971; Lynne et al., 2005; Megaw et al., 2018; M. J. Wilson, 2014). Secara bahasa, nama opal berasal dari bahasa latin yaitu opalus yang memiliki makna warna yang berubah-ubah seperti halnya permata.

Di daerah Banten, opal terbentuk dari proses pelapukan, pelindian dan kemudian pengisian rongga pada batuan lempung oleh koloid silika. Pembentukan opal seperti ini biasa dikenal sebagai model pelapukan opal sedimen. Opal ini memiliki kesamaan seperti opal yang terdapat di Australia (Ansori, 2008, 2010; Ansori et al., 2003). Ditemukan pula opal di daerah Rongkong, Kabupaten Luwu Utara, Provinsi Sulawesi Selatan yang merupakan opal yang dikalsifikasikan sebagai opal-C. Opal ini terbentuk di lingkungan batuan vulkanik yaitu batuan andesit. Terbentuk secara hidrotermal yang secara genesis sama dengan opal yang

terdapat di Nevada, Amerika Serikat dan yang terdapat pula di Primorsky Krai, Rusia (Thamsi et al., 2021).

Opal yang merupakan salah satu permata yang bernilai ekonomis dan masih kurangnya informasi terkait opal daerah Rongkong. Secara tektonik daerah Rongkong masih kekurangan informasi ilmiah. Berdasarkan hal tersebut sehingga peneliti tertarik melakukan penelitian yaitu studi geotektonik mineraloid opal-C daerah Rongkong berdasarkan data geokimia. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan afinitas magma pada *host-rock* mineraloid opal-C dan menentukan tatanan geotektonik *host-rock* mineraloid opal-C.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan terdiri dari empat tahapan penelitian. Tahap pertama melakukan studi literatur terkait penelitian berupa literasi terhadap penelitian terdahulu yaitu berupa buku dan jurnal. Tahap kedua pengambilan sampel di lokasi penelitian. Lokasi penelitian terletak di daerah Desa Limbong, Kecamatan Rongkong, Kabupaten Luwu Utara, Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian di lapangan dilakukan menelusuri bukit, sungai, dan jalan untuk memperoleh data batuan dan sampel. Jumlah sampel yang diperoleh adalah dua yaitu RK01 dan RK02. Sampel yang diperoleh berukuran sekepal tangan (*hand specimen*) agar data yang diperoleh dapat mewakili kondisi lapangan.

Setelah sampel diperoleh tahapan selanjutnya yaitu tahapan kedua. Pada tahapan ini sampel yang telah diperoleh kemudian dilakukan analisis geokimia yaitu analisis XRF (X-Ray Fluoresens) dan analisis ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry*) dan ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry*) (Aris et al., 2023; Hutabarat, 2006; Sperling et al., 2015). Analisis XRF dilakukan di laboratorium Universitas Hasanuddin-Makassar. Hasil yang diperoleh yaitu data *major oxide*. Analisis ICP-MS dan ICP-OES dilakukan PT Intertek Utama Service, Jakarta. Analisis ini dilakukan untuk memperoleh data *major elements*, *tracer elements*, dan *rare earth elements*. Total unsur yang dianalisis adalah 60 unsur. Proses analisis ini dilakukan agar mengetahui lingkungan tektonik dan juga dapat mengetahui afinitas magma atau sifat larutan pada magma.

Tahapan selanjutnya adalah tahapan ketiga yaitu pengolahan data. Data yang diperoleh selanjutnya dilakukan pengolahan dengan menggunakan beberapa pendekatan klasifikasi untuk menginterpretasi geotektonik lokasi penelitian (Hadiyanto et al., 2021). Pengolahan data menggunakan *software GCDkit 6.1* untuk menentukan klasifikasi geotektonik pada daerah penelitian. Klasifikasi yang digunakan adalah klasifikasi SiO_2 - K_2O Peccerilo dan Taylor, $\text{La}/10\text{--Y}/5\text{--Nb}$ / 8 Cabanis Lecolle, dan Nb/Yb Th/Yb Pearce.

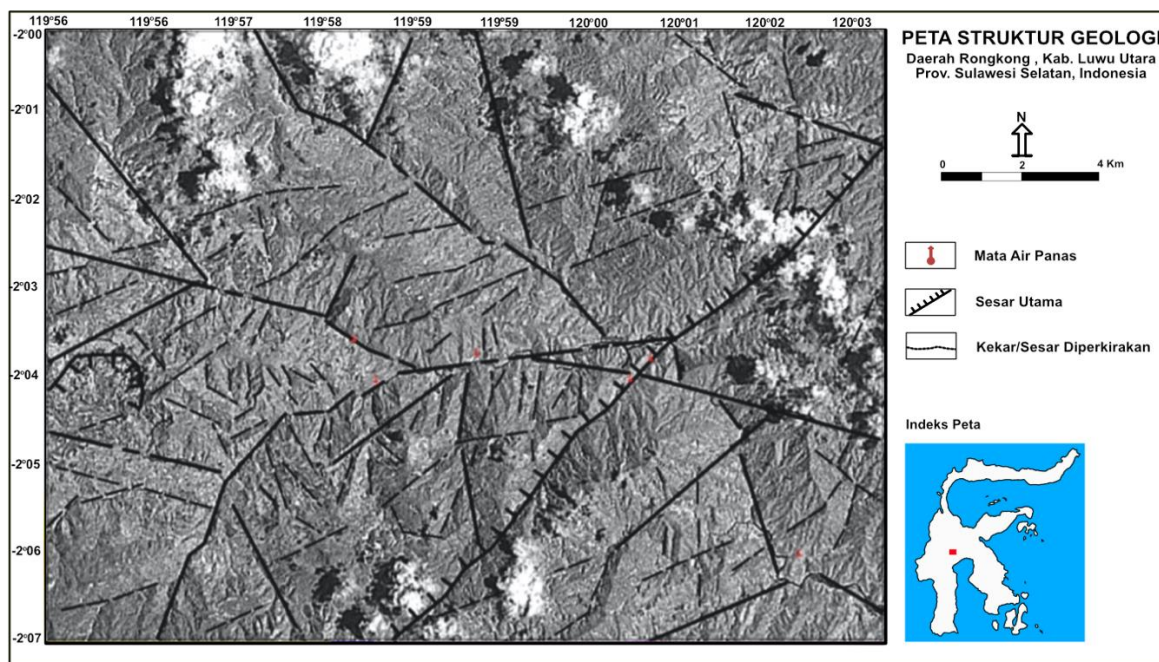
HASIL PENELITIAN

Geologi Daerah Penelitian

Di Daerah terdapat kelompok batuan yang terdiri dari 16 satuan batuan. Di lokasi penelitian satuan batumannya adalah Aliran Lava Andesitik (Qla). Pada daerah penelitian terdapat tiga sesar utama. Ini terdiri dari zona sesar, zona hancuran batuan, kekar, pegunungan, dan terdapat pula sumber mata air panas. Ketiga zona sesar tersebut antara lain. Pertama sesar yang mengarah ke Barat laut (menganan). Pada sesar ini berarah ke arah Barat laut menuju Tenggara dengan sesarnya yaitu dimulai dari sungai Punti sampai sungai Rongkong yang terdapat di bagian Selatan. Sesar ini bersifat regional dan searah dengan tren sesar Palu-Koro dan juga dikategorikan sebagai sesar dextral. Di lapangan ditemukan adanya kelurusan pada tekuk lereng yang berbentuk memanjang, terdapat pula kekar dan terdapat hancuran batuan di lokasi pegunungan di daerah Timur lokasi penelitian. Sesar ini juga memisahkan antara batuan granit tua dengan granodiorite biotit. Terbentuknya sesar ini akibat proses gaya kompresi dari arah Utara ke Selatan. Terjadi perubahan arah sesar dari arah Barat ke Timur yang memotong pada sesar ini. Ini terjadi pada bagian selatan pada sesar.

Kedua sesar yang mengarah dari Barat ke Timur. Sesar ini juga merupakan sesar yang bergeser ke arah kiri (sinistral). Pada sesar ini yang merupakan sesar utama adalah sesar Rongkong yang merupakan sesar yang membentuk Sungai Rongkong. Di lapangan sesar ini diidentifikasi dengan adanya zona hancuran di daerah Selatan yang berupa kekar dari hasil tektonik dan gores garis. Hal ini yang menyebabkan terbentuknya sesar mikro. Selain itu juga terdapat kekar tektonik dan juga gores garis. Inilah yang menyebabkan terbentuknya sesar mikro pula. Adanya kelurusan pada daerah Sungai Rongkong merupakan indikasi terdapatnya struktur ini.

Ketiga terdapat pula sesar normal yang arahnya dari Timur laut ke arah Barat daya. Terdapatnya sesar ini berada pada daerah Barat daya daerah penelitian yang diindikasikan berupa sesar normal dengan arah gerak pada blok Barat laut bergerak secara menurun terhadap blok yang terdapat di bagian Tenggara. Di lapangan ditemukan zona hancuran batuan, terdapat pula kekar pada batuan, kelurusan arah sungai, kelurusan arah pegunungan, dan terdapatnya mata air panas Kanandede. Sesar ini adalah sesar yang berperan penting pada manifestasi yang terdapat di Daerah Kanandede.



Gambar 1. Peta Geologi Struktur daerah penelitian

Geokimia Daerah Penelitian

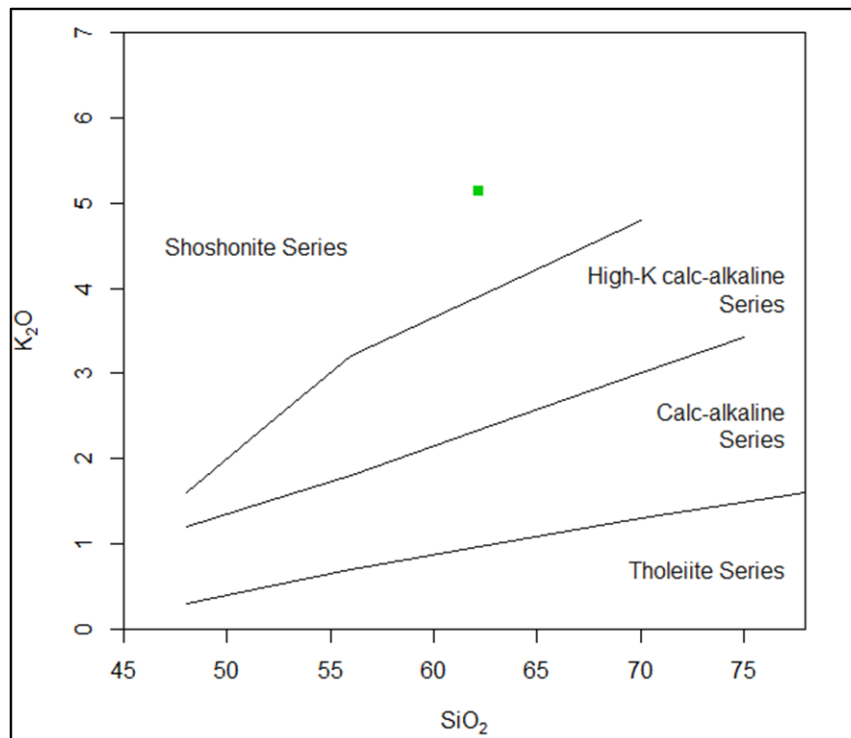
Pada daerah penelitian dilakukan analisis geokimia senyawa (*major oxide*) dan geokimia unsur (*major elements*, *tracer elements*, dan *rare earth elements*). Hasil analisis ini bisa digunakan mengidentifikasi lingkungan tektonik berupa sumber batuan atau mineral (Apollaro et al., 2019; Eizenhöfer et al., 2014; Irzon, 2015). Data ini pula dapat dijadikan acuan untuk mengetahui kondisi larutan magma atau afinitas magma. Data geokimia yang diperoleh yaitu data geokimia dari sampel RK01 dan RK02. Data geokimia penelitian dapat dilihat pada tabel 1.

Seri Magma

Analisis geokimia pada batuan beku memberikan informasi terkait seri magma terhadap masing-masing batuan yang memiliki karakteristik dan tatanan tektonik (M. Wilson, 1989). Menentukan afinitas magma digunakan dapat data geokimia dengan membandingkan SiO_2 dengan K_2O menurut klasifikasi diagram Paccerrillo dan Taylor (Peccerillo & Taylor, 1976). Data menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki afinitas magma shoshonite series (shoshonitic). Kandungan komposisi SiO_2 yaitu 62,196 % dan K_2O yaitu 5,132 %. Shoshonite series menunjukkan jenis batuan andesit dengan nilai K_2O yang melebihi nilai 1,0 (gambar 2). Komposisi CaO yang pengayaannya sedikit. Terjadi depresi terhadap senyawa MgO , FeO dan TiO_2 (Rkt, 2021).

Tabel 1. *Major Oxide, Major elements, tracer elements, dan rare earth elements* daerah penelitian

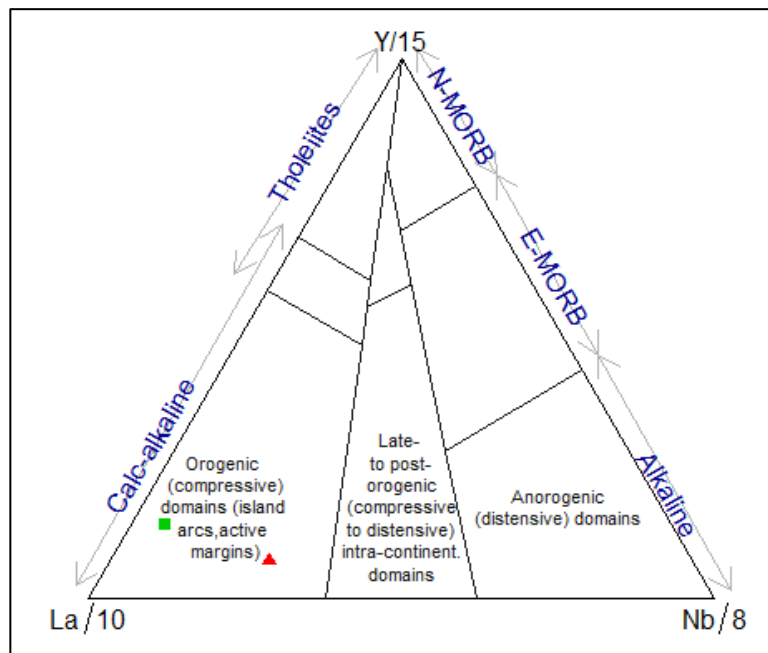
Geokimia		RK01	RK02	Geokimia		RK01	RK02
Al	ppm	6780	98500	Ce	ppm	32	199
Ca	ppm	850	5810	La	ppm	30,4	92,1
Na	ppm	210	10200	Nd	ppm	17,7	52,3
Fe	ppm	1,22	2,07	Pr	ppm	5,29	16
K	ppm	380	20500	Sm	ppm	3	8,3
Mg	ppm	650	4250	Eu	ppm	0,4	1,2
Total Major Element	ppm	8871,22	139262,07	Gd	ppm	2,3	5,5
				Total LREE	ppm	91,09	374,4
Mn	ppm	68	210				
Ni	ppm	26	23	Dy	ppm	1,3	2,7
Cr	ppm	529	287	Er	ppm	0,7	1,3
Cu	ppm	14	8	Ho	ppm	0,3	0,6
P	ppm	<50	700	Lu	ppm	0,09	0,15
S	ppm	<50	500	Tb	ppm	0,27	0,66
Sc	ppm	<1	4	Tm	ppm	<0,1	0,2
Ti	ppm	111	3550	Yb	ppm	0,6	1,1
V	ppm	88	39	Total HREE	ppm	3,26	6,71
Zn	ppm	25	53	Total REE	ppm	94,35	381,11
Ag	ppm	<0,1	0,2				
As	ppm	2	18	SiO ₂	%	62,196	-
Ba	ppm	66	1030	TiO ₂	%	0,506	-
Be	ppm	1,3	7	Al ₂ O ₃	%	27,057	-
Bi	ppm	0,66	6,1	Fe ₂ O ₃	%	2,39	-
Cd	ppm	<0,05	0,12	RuO ₂	%	0,234	-
Co	ppm	2	6	MnO	%	0,037	-
Cs	ppm	2,4	17	CaO	%	2,258	-
Ga	ppm	4	36,8	SrO	%	0,071	-
Ge	ppm	0,2	2,3	V ₂ O ₅	%	0,036	-
Hf	ppm	0,2	4,8	K ₂ O	%	5,132	-
In	ppm	<0,05	<0,05	RbO ₂	%	0,034	-
Li	ppm	6,1	25,8	Ag ₂ O	%	0,021	-
Mo	ppm	2,4	2,7	CuO	%	0,019	-
Nb	ppm	1,6	27,6	Total	%	99,991	-
Pb	ppm	10	113				
Rb	ppm	4,4	120				
Re	ppm	<0,05	<0,05				
Sb	ppm	0,9	1,1				
Se	ppm	<1	<1				
Sn	ppm	0,9	19,9				
Sr	ppm	23,5	392				
Ta	ppm	0,07	3,07				
Te	ppm	0,3	0,2				
Th	ppm	0,79	53,1				
Tl	ppm	0,1	1,99				
U	ppm	102	19,9				
W	ppm	0,9	12,5				
Y	ppm	7,8	14,6				
Zr	ppm	4,8	121				
Total Tracer Element	ppm	1106,32	7430,78				



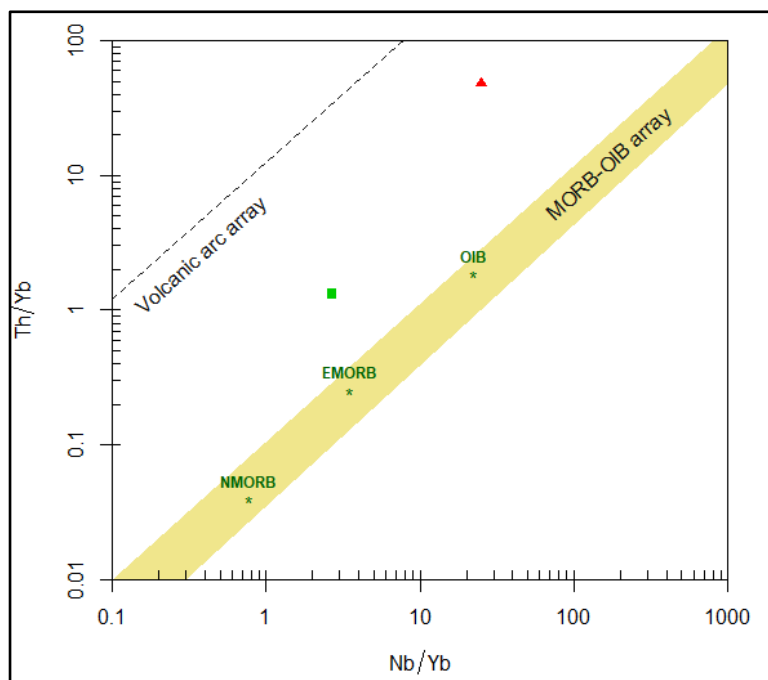
Gambar 2. Diagram SiO_2 - K_2O Peccerillo dan Taylor (1976) menunjukkan shoshonite series

Geotektonik Daerah Penelitian

Terdapatnya batuan vulkanik yang sangat luas pada daerah Sulawesi Bagian Barat terutama daerah Luwu Utara merupakan kondisi geologi yang menunjukkan terjadinya proses vulkanisme yang kuat. Ini terjadi selama Miosen Tengah. Aktivitas vulkanisme tersebut berhenti di Kuartar Awal (Sompotan, 2012). Data geokimia yang diplot pada klasifikasi $La / 10 - Y / 15 - Nb / 8$ Cabanis dan Lecolle pada gambar 3 menunjukkan bahwa daerah penelitian terbentuk di lingkungan *orogenic (compressive)* (Cabanis & Lecolle, 1989). Hal serupa ditunjukkan pada klasifikasi Nb/Yb Th/Yb Pearce pada gambar 4 yaitu lingkungan tektonik berada pada *vulcanic arc array* (Pearce, 2008; Szilas et al., 2017).



Gambar 3. Ploting klasifikasi lingkungan tektonik $La/10 - Y/15 - Nb/8$ Cabanis dan Lecomte, 1989.



Gambar 4. Ploting klasifikasi lingkungan tektonik $Nb/Yb - Th/Yb$ Pearce, 2008.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa *host-rock* mineraloid opal-C pada daerah penelitian memiliki magma yang dikategorikan sebagai shoshonite series (shoshonitic) dengan komposisi SiO_2 yaitu 62,196 % dan K_2O yaitu 5,132 %. Analisis geokimia

berdasarkan klasifikasi Nb/Yb Th/Yb menurut Cabanis dan Lecolle menunjukkan lingkungan tektonik *host-rock* mineraloid opal-C pada lokasi penelitian *vulcanic arc array*. Klasifikasi tektonik $La / 10 - Y / 15 - Nb / 8$ menurut Pearce juga menunjukkan bahwa lokasi penelitian berada di lingkungan tektonik *orogenic*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terima kasih banyak kepada LP2S (Lembaga Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya) Universitas Muslim Indonesia yang telah mendukung dan memberikan pendanaan pada penelitian ini.

PUSTAKA

- Ansori, C. 2008. Puslitbang teknologi mineral dan batubara. *Jurnal Bahan Galian Industri*, 12(34), 20–31.
- Ansori, C. 2010. Model Mineralisasi Pembentukan Opal Banten. *Indonesian Journal on Geoscience*, 5(3), 151–170. <https://doi.org/10.17014/ijog.v5i3.100>
- Ansori, C., Siregar, S., & Sumantri. 2003. No Title. *Preliminary Study of Opal Genesis at Lebak Regency, Banten*.
- Apollaro, C., Tripodi, V., Vespasiano, G., De Rosa, R., Dotsika, E., Fuoco, I., Critelli, S., & Muto, F. 2019. Chemical, isotopic and geotectonic relations of the warm and cold waters of the Galatro and Antonimina thermal areas, southern Calabria, Italy. *Marine and Petroleum Geology*, 109, 469–483. <https://doi.org/10.1016/J.MARPETGEO.2019.06.020>
- Aris, A. P., Mawaleda, M., Tonggiroh, A., & Ninasafitri, N. 2023. Studi Geokimia Batuan Vulkanik Daerah Kolaka Utara Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(1), 3838–3848. <https://doi.org/10.31004/JPTAM.V7I1.5849>
- Banerjee, A., & Wenzel, T. 1999. Black opal from Honduras. *European Journal of Mineralogy*, 11(2), 401–408. <https://doi.org/10.1127/ejm/11/2/0401>
- Boboň, M., Christy, A. A., Kluvanec, D., & Illášová, L. 2011. State of water molecules and silanol groups in opal minerals: A near infrared spectroscopic study of opals from Slovakia. *Physics and Chemistry of Minerals*, 38(10), 809–818. <https://doi.org/10.1007/s00269-011-0453-0>
- Cabanis, B., & Lecolle, M. 1989. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des séries volcaniques et la mise en évidence des processus de mélange et/ou de contamination crustale. *Comptes Rendus de l'Académie Des Sciences. Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de La Terre*, 309(20), 2023–2029.
- Costanzo, A. 2019. Dendritic Opal from Brazil. *The Journal of Gemmology*, 36(6), 504–505. <https://doi.org/10.15506/jog.2019.36.6.504>
- Curtis, N. J., Gascooke, J. R., Johnston, M. R., & Pring, A. 2022. ²⁹Si Solid-State NMR Analysis of Opal-AG, Opal-AN and Opal-CT: Single Pulse Spectroscopy and Spin-Lattice T1 Relaxometry. *Minerals*, 12(3), 323. <https://doi.org/10.3390/min12030323>

- Day, R., & Jones, B. 2008. Variations in Water Content in Opal-A and Opal-CT from Geyser Discharge Aprons. *Journal of Sedimentary Research*, 78(4), 301–315. <https://doi.org/10.2110/jsr.2008.030>
- Eizenhöfer, P. R., Zhao, G., Zhang, J., & Sun, M. 2014. Final closure of the Paleo-Asian Ocean along the Solonker Suture Zone: Constraints from geochronological and geochemical data of Permian volcanic and sedimentary rocks. *Tectonics*, 33(4), 441–463. <https://doi.org/10.1002/2013TC003357>
- Federman, D. 1990. Australian White Opal. *Modern Jeweler's Consumer Guide to Colored Gemstones*, 130–133. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-6488-7_31
- Fröhlich, F. 2020. The opal-CT nanostructure. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 533, 119938. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2020.119938>
- Graetsch, H., Gies, H., Topalovi, I., Mineralogie, I., Bochum, R., & Bochum, D. 1994. NMR , XRD and IR study on microcrystalline opals. *Phys Chem Minerals*, 166–167.
- Hadiyanto, I. F., Sunan, H. L., Malik, F. M., Wildan, D., Oktaviani, E., & P., L. A. G. 2021. Tatanan Tektonik Berdasarkan Pola Geokimia Studi Kasus Pada Gunung Kromong, Cirebon, Jawa Barat. *Prosiding Seminar Teknologi Kebumian Dan Kelautan (SEMITAN)*, 3(1), 264–270. <https://doi.org/10.31284/J.SEMITAN.2021.1975>
- Hutabarat, J. 2006. Interpretasi Geokimia Unsur Utama Dan Jejak Kompleks Vulkanik Gunung Pongkor Kabupaten Bogor, Jawa Barat. *Bulletin of Scientific Contribution: Geology*, 4(1), 29–40. <https://jurnal.unpad.ac.id/bsc/article/view/8111>
- Irzon, R. 2015. Contrasting Two Facies of Muncung Granite in Lingga Regency Using Major, Trace, and Rare Earth Element Geochemistry. *Indonesian Journal on Geoscience*, 2(1), 23–33. <https://doi.org/10.17014/IJOG.2.1.23-33>
- Jones, B., & Renaud, Robin, W. 2007. Microstructural changes accompanying the opal-A to opal-CT transition: new evidence from the siliceous sinters of Geysir, Haukadalur, Iceland. *Sedimentology*, 54, 921–948.
- Jones, J. B., & Segnit, E. R. 1971. The nature of opal I. nomenclature and constituent phases. *Journal of the Geological Society of Australia*, 18(1), 57–68. <https://doi.org/10.1080/00167617108728743>
- Lynne, B. Y., Campbell, K. A., Moore, J. N., & Browne, P. R. L. 2005. Diagenesis of 1900-year-old siliceous sinter (opal-A to quartz) at Opal Mound, Roosevelt Hot Springs, Utah, U.S.A. *Sedimentary Geology*, 179(3), 249–278. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2005.05.012>
- Megaw, P. K. M., Fritsch, E., Spano, T. L., & Gray, M. 2018. Geology and Mineralogy of Electric Opal™: Green Daylight-Luminescing Hyalite Opal from Zacatecas, Mexico. *Rocks & Minerals*, 93(5), 404–413. <https://doi.org/10.1080/00357529.2018.1477007>
- Olliver, J. G., & Townsend, I. J. 1993. *Gemstones in Australia*. Mockridge, Bulmer Pty Ltd, St. Leonards.
- Pearce, J. A. 2008. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*, 100(1–4), 14–48. <https://doi.org/10.1016/J.LITHOS.2007.06.016>
- Peccerillo, A., & Taylor, S. R. 1976. Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58(1), 63–81. <https://doi.org/10.1007/BF00384745/METRICS>

- Rkt, A. M. 2021. Karakteristik Petrologi dan Geokimia Batuan Alkalin Serta Indikasi Rare Earth Elements di Gunung Api Genuk, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. *JTK (Jurnal Teknik Kebumihan)*, 6(02), 15–29. <https://doi.org/10.22437/JTK.V6I02.21179>
- Sompotan, A. F. 2012. *Struktur Geologi Sulawesi*. Pustaka Sains Kebumihan ITB.
- Sperling, E. A., Wolock, C. J., Morgan, A. S., Gill, B. C., Kunzmann, M., Halverson, G. P., Macdonald, F. A., Knoll, A. H., & Johnston, D. T. 2015. Statistical analysis of iron geochemical data suggests limited late Proterozoic oxygenation. *Nature* 2015 523:7561, 523(7561), 451–454. <https://doi.org/10.1038/nature14589>
- Štubňa, J., & Hanus, R. 2020. Yellow Opal from Tanzania. *The Journal of Gemmology*, 37(1), 10–11. <https://doi.org/10.15506/jog.2020.37.1.10>
- Szilas, K., Tusch, J., Hoffmann, J. E., Garde, A. A., & Münker, C. 2017. Hafnium isotope constraints on the origin of Mesoarchaeon andesites in southern West Greenland, North Atlantic Craton. *Geological Society Special Publication*, 449(1), 19–38. <https://doi.org/10.1144/SP449.2>
- Thamsi, A. B., Aswadi, M., Anwar, H., Bakri, H., Wakila, M. H., & Heriansyah, A. F. 2021. Karakteristik Mineraloid Opal Limbong, Kabupaten Luwu Utara, Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Geomine*, 8(3), 220. <https://doi.org/10.33536/jg.v8i3.735>
- Vysotsky, S. V., Barkar, A. V., Kuryavy, V. G., Chusovitin, E. A., Karabtsov, A. A., & Safronov, P. P. 2010. Hydrothermal Noble Opal: Structure and Genesis. *Geologi of Ore Deposits*, 52(8), 815–820. <https://doi.org/10.1134/S1075701510080131>
- Watkins, J. J. 1985. *Future prospects for opal mining in the Lightning Ridge region*.
- Wilson, M. 1989. *Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach*. Springer.
- Wilson, M. J. 2014. The structure of opal-CT revisited. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 405, 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2014.08.052>