

KARAKTERISASI GEOKIMIA UNSUR MAYOR DAN UNSUR JEJAK PADA *PUMICE* HASIL ERUPSI KALDERA MANINJAU, SUMATERA BARAT

Nahdatul Zakiyyah¹, Hamdi Rifai², Harman Amir³, Fadhila Ulfa Jhora⁴
^{1,2,3,4}Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Padang

1zakiyyahnahdatul@gmail.com, 2rifai.hamdi@fmipa.unp.ac.id,
3harman_unp@yahoo.com, 4fadhila.jhora@fmipa.unp.ac.id

ABSTRACT

Pumice is a silica-rich volcanic product that provides important information on magma characteristics and petrogenetic processes. This study aims to characterize the major and trace element geochemistry of Pumice from the Maninjau Caldera, West Sumatra. Pumice samples were analyzed to determine their major and trace element compositions and interpreted based on magma geochemistry. The results show that the Pumice is dominated by SiO₂ (75.33%) and Al₂O₃ (17.46%), whereas K₂O, Fe₂O₃, CaO, and TiO₂ occur in lower concentrations. Trace elements are dominated by Th, Rb, and Sr, while Zr, Y, and Nb occur in relatively low amounts. These geochemical characteristics indicate that the Pumice originated from felsic magma with rhyolitic to dacitic composition that experienced advanced magmatic differentiation through crystal fractionation, particularly of plagioclase. This study demonstrates that pXRF is an effective, rapid, efficient, and non-destructive method for preliminary geochemical characterization of volcanic rocks.

Keywords: *Pumice, geochemistry, major elements, trace elements.*

ABSTRAK

Pumice merupakan produk erupsi gunung api yang kaya silika dan dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik magma serta proses petrogenesis. Penelitian ini bertujuan mengkarakterisasi geokimia unsur mayor dan unsur jejak *Pumice* di Kaldera Maninjau, Sumatera Barat. Penelitian ini bertujuan mengkarakterisasi geokimia unsur mayor dan unsur jejak *pumice* di Kaldera Maninjau, Sumatera Barat. Sampel *Pumice* dianalisis untuk menentukan komposisi unsur mayor dan unsur jejak, kemudian diinterpretasikan berdasarkan karakteristik geokimia magma. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Pumice* didominasi oleh SiO₂ (75,33%) dan Al₂O₃ (17,46%), sedangkan K₂O, Fe₂O₃, CaO, dan TiO₂ memiliki konsentrasi lebih rendah. Unsur jejak didominasi oleh Th, Rb, dan Sr, sementara Zr, Y, dan Nb memiliki konsentrasi relatif kecil. Komposisi tersebut menunjukkan bahwa *Pumice* berasal dari magma felsik bertipe riolit hingga dasit yang telah mengalami diferensiasi lanjut melalui proses fraksionasi kristal, terutama plagioklas. Penelitian ini bertujuan mengkarakterisasi geokimia unsur mayor dan unsur jejak *pumice* di Kaldera Maninjau, Sumatera Barat.

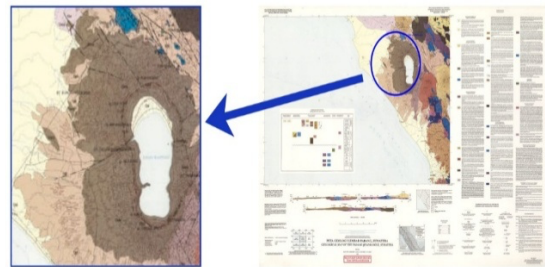
Kata kunci: *Pumice*, geokimia, unsur mayor, unsur jejak.

A. Pendahuluan

Pumice merupakan salah satu produk erupsi gunung api yang terbentuk dari magma kaya silika dengan kandungan gas tinggi yang mengalami pendinginan cepat, sehingga menghasilkan tekstur berpori dan densitas rendah (Fisher & Schmincke, 1984; Best, 2003). Secara geokimia, *Pumice* umumnya didominasi oleh kandungan SiO_2 yang tinggi serta unsur-unsur oksida lain seperti Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , dan K_2O (Winter, 2010). Kandungan silika yang tinggi ini mengindikasikan bahwa *Pumice* umumnya berasal dari magma felsik seperti riolit atau dasit yang terbentuk pada erupsi eksplosif (Winter, 2010). Selain unsur mayor, keberadaan unsur jejak seperti Rb, Sr, Zr, Nb, Th, dan U juga memiliki peranan penting sebagai indikator proses diferensiasi magma, evolusi kimia, serta asal-usul sumber magma (Rollinson, 1993; Faure & Mensing, 2005).

Kajian geokimia *Pumice* menjadi sangat penting karena dapat digunakan sebagai *fingerprint* untuk mengidentifikasi karakteristik magma dan menghubungkannya dengan

sumber vulkanik tertentu (Rollinson, 1993). Analisis unsur mayor dan unsur jejak memungkinkan peneliti untuk memahami proses petrogenesis, seperti fraksionasi kristal, pencampuran magma, serta kondisi pembentukan batuan vulkanik (Winter, 2010). Selain itu, distribusi *Pumice* dalam suatu sistem vulkanik juga dapat memberikan informasi mengenai skala dan intensitas erupsi, terutama pada sistem kaldera yang terbentuk akibat erupsi besar (Fisher & Schmincke, 1984). Dapat dilihat pada Gambar 1 yaitu peta geologi regional Maninjau.



Gambar 1. Peta Geologi Regional Maninjau Modifikasi Peta Lembar Padang

Berdasarkan Gambar 1, Peta geologi regional Maninjau menunjukkan keterkaitan antara struktur geologi dan pembentukan Kaldera Maninjau. Kaldera Maninjau terbentuk akibat letusan eksplosif yang terjadi sekitar ± 52.000 tahun

yang lalu (± 3 ka) pada akhir periode Pleistosen. Letusan ini termasuk dalam tipe letusan besar (*high magnitude eruption*) dengan volume material piroklastik diperkirakan mencapai antara 220–250 km³, yang tersebar jauh hingga lebih dari 75 km dari pusat letusan. Akibat keluarnya material sebanyak ini, atap ruang magma runtuh dan membentuk kaldera yang kemudian terisi air menjadi Danau Maninjau (Febriwanti et al., 2024). Meskipun demikian, penelitian yang secara khusus mengkaji karakterisasi geokimia *Pumice* di Kaldera Maninjau, terutama yang mencakup unsur mayor dan unsur jejak secara komprehensif, masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada sifat fisik seperti densitas dan suseptibilitas magnetik, sehingga informasi mengenai aspek geokimia belum tergali secara optimal.

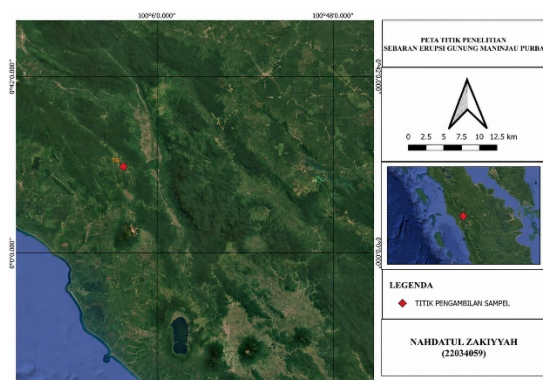
Analisis geokimia unsur mayor dan unsur jejak merupakan pendekatan yang umum digunakan untuk memahami karakteristik magma dan proses petrogenesis pada batuan vulkanik. Data geokimia tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi tipe magma, tingkat

diferensiasi, serta lingkungan tektonik pembentukannya.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada karakterisasi geokimia *Pumice* di Kaldera Maninjau, Sumatera Barat, dengan menganalisis kandungan unsur mayor dan unsur jejak. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi awal mengenai karakteristik magma serta proses petrogenesis yang terjadi.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan Kaldera Maninjau, Sumatera Barat, yang merupakan salah satu sistem vulkanik hasil erupsi eksplosif purba. Daerah penelitian dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Peta Titik Pengambilan Sampel.

Berdasarkan Gambar 2, pengambilan sampel dilakukan pada lokasi yang mewakili sebaran endapan piroklastik, khususnya endapan *Pumice*. Penelitian

menggunakan alat berupa timbangan digital, Global Positioning System (GPS), peralatan preparasi sampel (alu, mortar, dan ayakan), serta kantong sampel dan label. Bahan yang digunakan adalah sampel batuan *Pumice* yang diperoleh langsung dari lokasi penelitian.

Pengambilan sampel dilakukan pada singkapan *Pumice* yang dianggap representatif terhadap kondisi geologi daerah penelitian. Setiap sampel diberi kode identifikasi, misalnya MJT25-06, kemudian posisi geografisnya dicatat menggunakan GPS. Sebelum dilakukan analisis, sampel dibersihkan dari kotoran dan material asing, kemudian dikeringkan pada suhu ruang untuk memastikan kondisi sampel tetap stabil selama proses pengukuran.

Analisis geokimia dilakukan untuk menentukan kandungan unsur mayor dan unsur jejak pada sampel *pumice*. Sampel yang telah dipreparasi kemudian dianalisis untuk memperoleh komposisi unsur, yang selanjutnya digunakan sebagai data utama dalam penelitian. Data hasil analisis diolah dengan menghitung nilai rata-rata dan dinormalisasi

sehingga total komposisi mencapai 100% dengan persamaan:

$$\text{Normalisasi} = \frac{\text{Nilai tiap unsur}}{\text{Total semua unsur}} \times 100\% \quad (1)$$

Unsur-unsur yang diperoleh dikelompokkan menjadi unsur mayor, meliputi SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O , dan TiO_2 , serta unsur jejak, seperti Rb, Sr, Zr, Nb, Zn, Pb, Th, U, dan unsur lainnya.

Data geokimia yang telah diolah kemudian dianalisis secara deskriptif untuk mengidentifikasi unsur-unsur dominan serta membandingkan kandungan unsur mayor dan unsur jejak. Selanjutnya, klasifikasi batuan dilakukan berdasarkan kandungan SiO_2 untuk menentukan tipe magma, yaitu felsik, intermediat, atau mafik. Interpretasi geokimia dilakukan untuk menjelaskan proses petrogenesis melalui identifikasi mekanisme evolusi magma, terutama proses fraksionasi kristal dan diferensiasi magma yang berperan dalam pembentukan *Pumice* di Kaldera Maninjau.

C. Hasil dan Pembahasan

Hasil

Tabel 1. Komposisi Unsur Mayor dan Unsur Jejak *Pumice*

No	Komposisi Unsur	Konsentrasi (%)
1	LE	69.28024821
2	Al ₂ O ₃	17.05907482
3	Na	73.58653761
4	SiO ₂	2.313295959
5	K	3.357244905
6	Ca O	1.459155913
7	TiO ₂	0.232871793
8	MnO	0.06761942
9	Fe ₂ O ₃	1.803184543
10	Zn	0.003203025
11	As	0.001423567
12	Rb	0.016608279
13	Sr	0.015777865
14	Y	0.003558917
15	Zr	0.011625795
16	Nb	0.001898089
17	Mo	0.001423567
18	Ta	0.002253981
19	Pb	0.000249124
20	Th	0.052197447
21	U	0.001304936
22	V	0.009490445
Jumlah		100

Berdasarkan hasil analisis geokimia diperoleh komposisi unsur mayor pada sampel *Pumice* yang didominasi oleh SiO₂ sebesar ±75,33%, diikuti oleh Al₂O₃ sebesar ±17,46%. Unsur lainnya seperti K (±3,44%), Fe₂O₃ (±1,85%), CaO (±1,49%), dan TiO₂ (±0,24%) memiliki konsentrasi yang relatif lebih rendah. Distribusi komposisi unsur tersebut ditunjukkan pada grafik, yang memperlihatkan dominasi silika

sebagai komponen utama penyusun *Pumice*.

Unsur jejak *Pumice*, terlihat bahwa unsur yang dianalisis meliputi Nb, Y, Zr, Sr, Rb, dan Th dengan variasi konsentrasi yang relatif berbeda. Secara umum, unsur Th (Thorium) menunjukkan konsentrasi tertinggi (~0,052%), diikuti oleh Rb (~0,017%), Sr (~0,016%), Zr (~0,012%), Y (~0,003%), dan Nb (~0,002%) sebagai yang terendah.

**Tabel 2 Komposisi Unsur Mayor
Pumice Kaldera Maninjau**

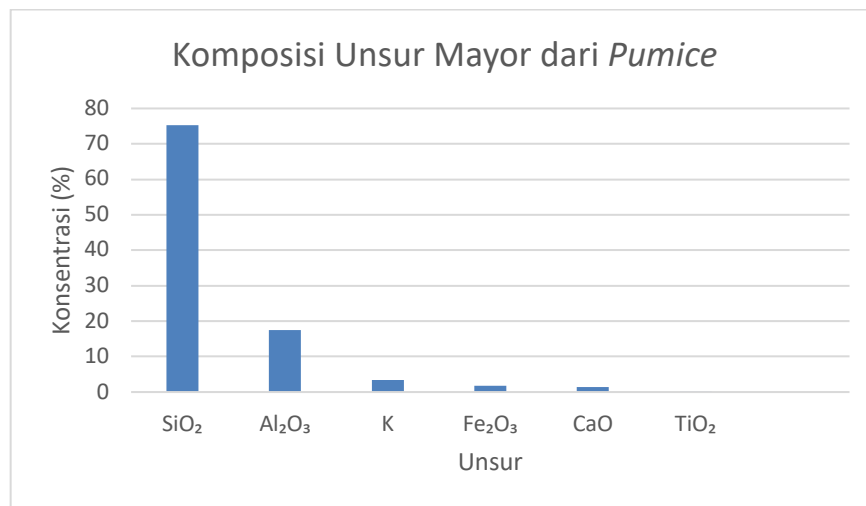
Unsur	Konsentrasi (%)
SiO ₂	75,33
Al ₂ O ₃	17,46
K ₂ O	3,44
Fe ₂ O ₃	1,85
CaO	1,49
TiO ₂	0,24

**Tabel 3 Komposisi Unsur Jejak
Pumice Kaldera Maninjau**

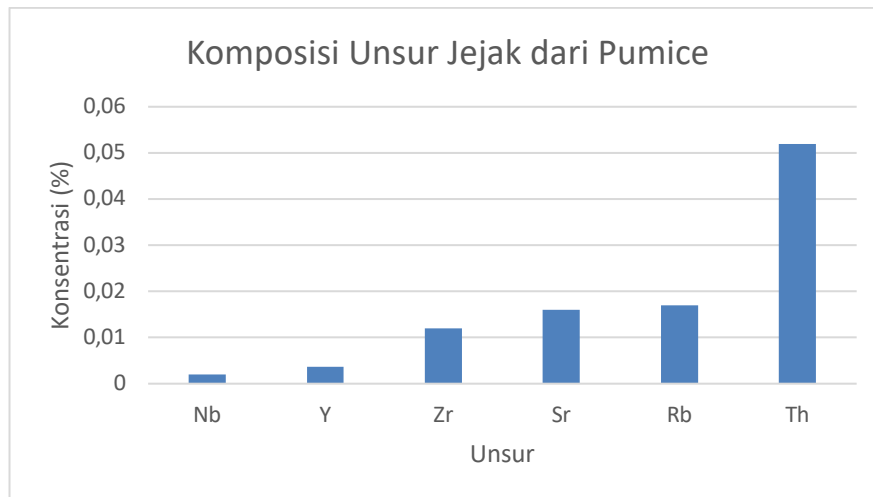
Unsur	Konsentrasi (%)
Th	0,052
Rb	0,017
Sr	0,016
Zr	0,012
Y	0,003
Nb	0,002

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa komposisi unsur mayor didominasi oleh SiO₂ sebesar 75,33% dan Al₂O₃ sebesar 17,46%, sedangkan oksida lainnya seperti K₂O, Fe₂O₃, CaO, dan TiO₂ memiliki kandungan yang relatif rendah. Dominasi SiO₂ menunjukkan bahwa pumice berasal dari magma kaya silika yang telah mengalami diferensiasi tingkat lanjut. Sementara itu, Tabel 2 memperlihatkan bahwa unsur jejak didominasi oleh Th, Rb, dan Sr, sedangkan Nb dan Y memiliki konsentrasi paling rendah. Variasi unsur jejak tersebut memberikan informasi mengenai evolusi magma dan proses fraksinasi mineral selama pembentukan batuan vulkanik.

Pembahasan



Gambar 3. Komposisi Unsur Mayor dari Pumice

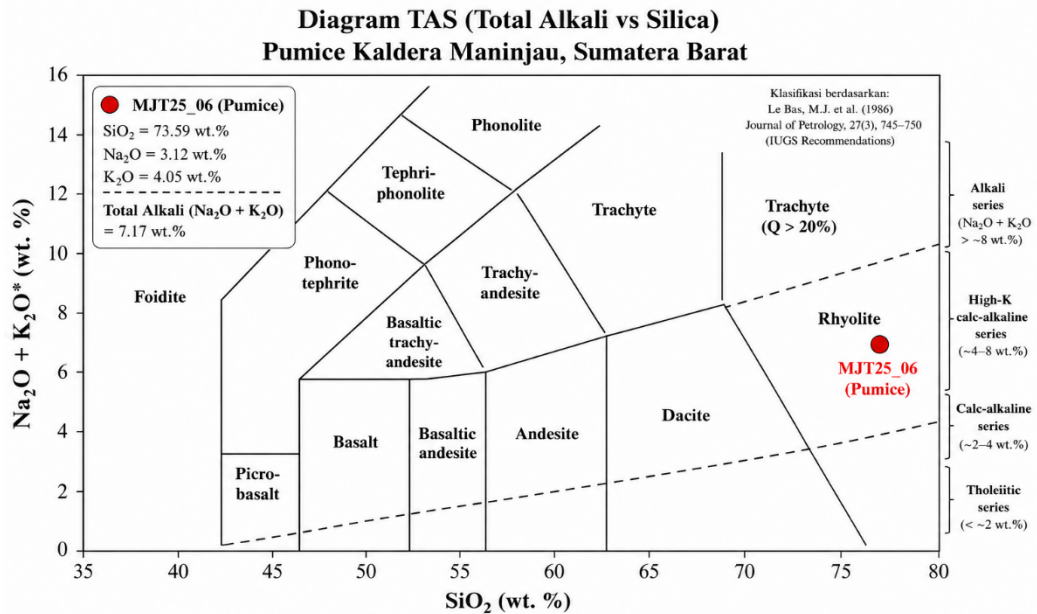


Gambar 4. Komposisi Unsur Jejak dari *Pumice*

Berdasarkan hasil analisis geokimia pada Gambar 3, komposisi unsur mayor menunjukkan bahwa sampel pumice didominasi oleh SiO_2 dengan nilai sekitar 75%, diikuti oleh Al_2O_3 , sedangkan kandungan unsur lain seperti Fe_2O_3 , CaO , dan TiO_2 relatif rendah. Kandungan SiO_2 yang tinggi ini mengindikasikan bahwa batuan termasuk ke dalam kelompok felsik, yang umumnya terbentuk dari magma yang telah mengalami diferensiasi lanjut. Rendahnya kandungan unsur mafik seperti Fe dan Ca menunjukkan bahwa mineral-mineral ferromagnesian tidak berkembang secara signifikan dalam sistem magma tersebut. Hal ini mencerminkan bahwa proses evolusi magma, khususnya fraksionasi kristal, telah berlangsung secara intensif

sehingga menghasilkan magma kaya silika.

Selanjutnya pada Gambar 4, komposisi unsur jejak memperlihatkan adanya pengayaan pada unsur-unsur seperti Rb, Th, dan Zr, dibandingkan dengan Nb dan Y yang relatif lebih rendah. merupakan unsur inkompetibel yang cenderung tidak masuk ke dalam struktur mineral selama proses kristalisasi awal, sehingga akan terakumulasi dalam sisa magma. Pengayaan unsur jejak ini semakin memperkuat indikasi bahwa magma telah mengalami diferensiasi tingkat lanjut. Selain itu, pola distribusi unsur jejak tersebut juga umum dijumpai pada magma felsik yang berkaitan dengan aktivitas magmatik pada lingkungan busur vulkanik.



Gambar 5. Diagram TAS (Total Alkali vs Silica) Pumice dari Kaldera Maninjau

Berdasarkan hasil plot pada diagram TAS (Total Alkali vs Silica), sampel berada pada bidang rhyolite yang ditandai oleh kandungan SiO₂ tinggi (>70%) dan total alkali (Na₂O + K₂O) yang cukup tinggi. Diagram TAS merupakan metode klasifikasi geokimia yang direkomendasikan oleh IUGS untuk menentukan jenis batuan vulkanik berdasarkan komposisi kimianya. Posisi sampel pada bidang rhyolite menunjukkan bahwa batuan ini tergolong sebagai batuan vulkanik felsik yang terbentuk dari magma yang sangat berevolusi.

Klasifikasi ini konsisten dengan karakter *pumice* yang umumnya

terbentuk dari erupsi eksplosif magma kaya silika dengan viskositas tinggi.

Secara keseluruhan, kombinasi antara komposisi unsur mayor, unsur jejak, dan hasil klasifikasi TAS menunjukkan bahwa sampel *pumice* berasal dari magma felsik yang telah mengalami diferensiasi lanjut. Tingginya kandungan SiO₂ serta pengayaan unsur jejak inkompatibel mencerminkan evolusi magma yang intensif, sedangkan klasifikasi rhyolite pada diagram TAS mengonfirmasi jenis batuan tersebut. Hal ini juga sejalan dengan proses pembentukan *pumice* yang umumnya terjadi pada

sistem vulkanik eksplosif yang berkaitan dengan magma kaya silika.

Selain klasifikasi menggunakan diagram TAS, interpretasi lingkungan tektonik juga dapat dilakukan melalui diagram diskriminasi geokimia yang memanfaatkan unsur-unsur jejak seperti Rb, Nb, Y, dan Th. Unsur-unsur tersebut relatif tidak mudah mengalami perubahan selama proses alterasi sehingga banyak digunakan sebagai indikator asal magma dan lingkungan tektonik pembentukannya (Pearce, 1983). Kandungan Rb dan Th yang relatif tinggi, disertai rendahnya Nb, merupakan karakteristik umum magma yang terbentuk pada zona subduksi. Pola ini mencerminkan pengayaan unsur Large Ion Lithophile Elements (LILE) serta penurunan High Field Strength Elements (HFSE) akibat pengaruh fluida dari slab samudra yang tersubduksi.

Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa magma pembentuk pumice Kaldera Maninjau berkembang pada sistem busur vulkanik (volcanic arc) yang berasosiasi dengan proses subduksi Lempeng Indo-Australia ke bawah Lempeng Eurasia di sepanjang Busur

Sunda. Lingkungan tektonik ini menghasilkan magma felsik yang mengalami diferensiasi tinggi melalui proses fraksionasi kristal sehingga menghasilkan kandungan SiO_2 yang tinggi sebagaimana diperoleh pada penelitian ini.

Hasil karakterisasi geokimia pada penelitian ini memiliki kesesuaian dengan beberapa penelitian pumice dari gunung api lain di Indonesia. Pumice hasil erupsi Gunung Toba dilaporkan memiliki kandungan SiO_2 berkisar 72–77% yang menunjukkan karakter magma riolitik hasil diferensiasi tingkat lanjut. Demikian pula pumice Gunung Tambora dan Gunung Rinjani umumnya memiliki kandungan SiO_2 lebih dari 70% serta pengayaan unsur inkompatibel seperti Rb dan Th yang mencerminkan evolusi magma felsik pada lingkungan busur vulkanik.

Dibandingkan dengan penelitian tersebut, pumice Kaldera Maninjau menunjukkan karakter geokimia yang serupa, yaitu dominasi SiO_2 , kandungan Al_2O_3 yang relatif tinggi, serta pengayaan unsur Rb dan Th. Kesamaan tersebut mengindikasikan bahwa proses petrogenesis pada Kaldera Maninjau dikontrol oleh mekanisme diferensiasi

magma yang berkembang dalam sistem subduksi Busur Sunda. Dengan demikian, hasil penelitian ini semakin memperkuat pemahaman mengenai evolusi magma felsik di wilayah Indonesia bagian barat.

Walaupun memiliki karakter geokimia yang serupa dengan *pumice* dari beberapa gunung api besar di Indonesia, *pumice* Kaldera Maninjau tetap memperlihatkan karakteristik unsur jejak yang dapat digunakan sebagai fingerprint geokimia untuk membedakan sumber magmanya. Informasi ini penting sebagai dasar dalam interpretasi petrogenesis, korelasi endapan vulkanik, maupun rekonstruksi sejarah evolusi Kaldera Maninjau.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis geokimia, sampel *pumice* menunjukkan karakteristik sebagai batuan felsik yang ditandai oleh dominasi SiO_2 dengan kandungan tinggi serta rendahnya unsur-unsur mafik seperti Fe_2O_3 dan CaO . Komposisi unsur jejak memperlihatkan adanya pengayaan unsur inkompatibel seperti Rb, Th, dan Zr, yang mengindikasikan bahwa magma pembentuk batuan telah

mengalami diferensiasi lanjut melalui proses evolusi magma, khususnya fraksional Kristal. Hasil klasifikasi menggunakan diagram TAS menempatkan sampel pada bidang rhyolite, yang mengonfirmasi bahwa batuan termasuk ke dalam kelompok batuan vulkanik felsik. Kesesuaian antara komposisi unsur mayor, unsur jejak, dan klasifikasi TAS menunjukkan bahwa *pumice* tersebut terbentuk dari magma kaya silika yang telah berevolusi tinggi.

Sehingga dapat disimpulkan sampel *pumice* berasal dari aktivitas vulkanik eksplosif yang berkaitan dengan magma felsik yang sangat terdiferensiasi, yang umumnya berkembang pada lingkungan magmatic busur vulkanik.

DAFTAR PUSTAKA

- Best, M. G. (2003). *Igneous and Metamorphic Petrology* (2nd ed.). Blackwell Publishing.
- Bellier, O., & Sébrier, M. (1995). Is the slip rate variation on the Great Sumatran Fault accommodated by fore-arc stretching? *Geophysical Research Letters*, 22(15), 1969–1972.
- Faure, G., & Mensing, T. M. (2005). *Isotopes: Principles and Applications* (3rd ed.). Wiley.

- Febriwanti, M., Fauzi, A., Lisma, R., Kusuma Febriwanti, M., Fauzi, A., & Hidayatul Lisma, R. (2024). Evaluation of Pumice Source from Lubuk Basung Based on Magnetic Susceptibility Values. *Journal of Experimental and Applied Physics*, 2(3), 83. <https://doi.org/10.24036/jeap.v2i3.80>
- Fisher, R. V., & Schmincke, H. U. (1984). *Pyroclastic Rocks*. Springer-Verlag.
- Gill, J. B. (1981). *Orogenic andesites and plate tectonics*. Springer-Verlag.
- Hofmann, A. W. (2014). Sampling mantle heterogeneity through oceanic basalts: Isotopes and trace elements. In H. D. Holland & K. K. Turekian (Eds.), *Treatise on geochemistry* (2nd ed., Vol. 3, pp. 67–101). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00203-5>
- Kilbride, R. (2006). Evaluation of portable XRF for geochemical analysis. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 6(1), 13–20.
- Pearce, J. A. (1983). Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In C. J. Hawkesworth & M. J. Norry (Eds.), *Continental basalts and mantle xenoliths* (pp. 230–249). Shiva Publishing.
- Potts, P. J., & West, M. (2008). *Portable X-ray Fluorescence Spectrometry: Capabilities for In Situ Analysis*. Royal Society of Chemistry.
- Rollinson, H. (1993). *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman.
- Shuttleworth, E. L., et al. (2014). Accuracy of portable XRF for geochemical analysis. *Journal of Archaeological Science*, 44, 1–14.
- van Bemmelen, R. W. (1949). *The Geology of Indonesia*. Martinus Nijhoff.
- Winter, J. D. (2010). *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology* (2nd ed.). Pearson.
- Rollinson, H. (1993). *Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation*. Longman Scientific & Technical.