

## KARAKTERISTIK GEOKIMIA DAN PETROGENESIS BATUAN BEKU PRODUK GUNUNG PANDAN DI DAERAH GONDANG, BOJONEGORO, JAWA TIMUR

Yauman Muafa Muhammad, Jenian Marin<sup>1</sup>, Tri Winarno, Vanadia Martadiastuti

Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

e-mail : jenian.marin@live.undip.ac.id

**Abstrak.** Gunung Pandan merupakan produk vulkanisme Kuartar di Jawa Timur yang saat ini sudah tidak aktif. Produk vulkanisme berupa batuan beku di antaranya ditemukan di Gunung Watu, Jati, Puru dan Lawang. Secara regional, lokasi penelitian berada di antara *volcanic front* dan *back arc volcano* Pulau Jawa yang merupakan hasil subduksi busur kepulauan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana karakteristik geokimia batuan di daerah penelitian, afinitas magma, dan asal tatanan tektonik pembentuknya. Metode yang digunakan di penelitian ini adalah pemetaan geologi, analisis petrologi, dan analisis geokimia dengan *x-ray fluorescence (XRF)*. Daerah penelitian secara umum tersusun atas andesit piroksen dan andesit hornblende dengan tekstur porfiritik. Analisis geokimia menunjukkan batuan termasuk ke dalam jenis *high-K andesite* dan *high-K basaltic andesite*. Seiring meningkatnya kandungan SiO<sub>2</sub>, oksida utama FeO, CaO, dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mengalami penurunan sedangkan K<sub>2</sub>O mengalami kenaikan. Afinitas magma batuan beku di daerah penelitian adalah *high-K calc alkaline*. Gunung Pandan berasal dari tatanan tektonik *calc-alkali basalt* dan *island arc basalt* serta menunjukkan variasi spasial K<sub>2</sub>O yang konsisten dengan Gunung Wilis, Lasem, dan Muria.

**Kata Kunci:** Gunung Pandan, petrologi, geokimia batuan beku, busur vulkanik

**Abstract.** Pandan Volcano is a product of Quaternary volcanism which is currently inactive. Its volcanic products are found in Mount Watu, Jati, Puru and Lawang. Regionally, research location lies between volcanic front and back arc volcano of Java Island as the result of island arc subduction. This study aims to determine the geochemical characteristics of the rocks in the study, affinity of magma, and its tectonic setting. Methods used in this research are geological mapping, petrology analysis, and x-ray fluorescence XRF geochemistry. Research area is generally composed of porphyritic pyroxene andesite and hornblende andesite. Geochemical analysis shows that the rock belongs to the high-K andesite and high-K basaltic andesite types. As the SiO<sub>2</sub> content increased, the main oxides FeO, CaO, and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> decreased while K<sub>2</sub>O increased. The affinity of igneous magmas in the study area is high-K calc alkaline. Mount Pandan originates from the island arc basalt and calc-alkali basalt tectonic setting and shows consistent K<sub>2</sub>O spatial variation with Mount Wilis, Lasem, and Muria with respect to its position relative to the volcanic arc.

**Keywords:** Pandan Volcano, petrology, igneous geochemistry, volcanic arc

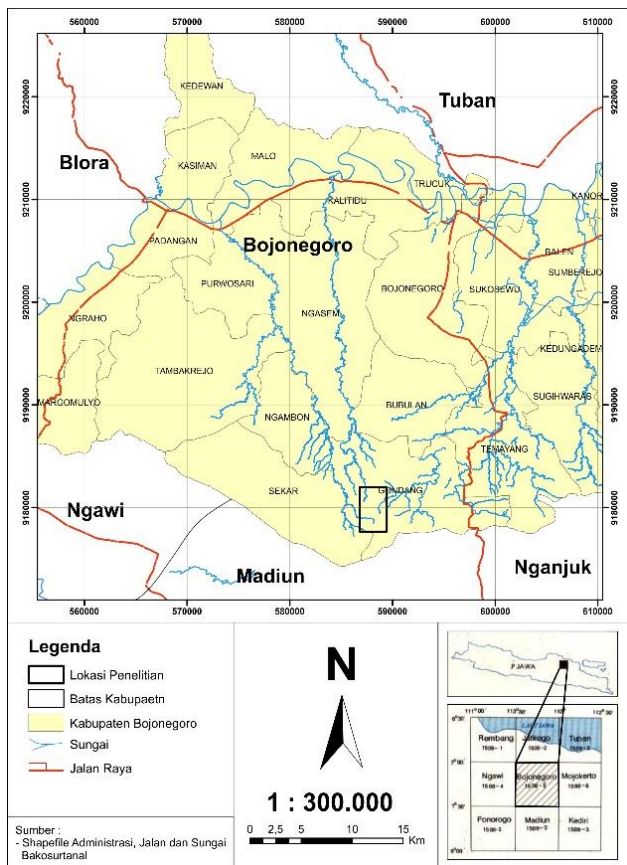
### PENDAHULUAN

Gunung Pandan merupakan salah satu produk magmatisme Kuartar Busur Sunda – Jawa yang berumur Pleistosen Awal (Lunt dkk. 1998; Smyth dkk., 2005). Gunung tersebut terletak di segmen busur Wilis–Lasem di Kabupaten Bojonegoro, Provinsi Jawa Timur (Gambar 1). Hingga saat ini, gunung tersebut tidak aktif namun masih menunjukkan gejala magmatisme yang ditunjukkan dengan adanya manifestasi panas bumi berupa mata air panas (Thoha dkk. 2014).

Secara umum, Pringgoprawiro dan Sukido (1998) menyebut stratigrafi Gunung Pandan tersusun atas breksi vulkanik yang masuk ke dalam Formasi Breksi Pandan (Gambar 2) dan

beberapa intrusi dan lava yang ditemukan di sekitar Desa Jari dan Krondonan, Kecamatan Gondang. Gunung Lawang, Gunung Watu, Gunung Jati dan Gunung Puru merupakan contoh dari produk vulkanik yang ditemukan di daerah tersebut. Gunung Lawang hingga Puru merupakan produk Gunung Pandan sehingga penelitian terhadap keempatnya dapat memberi gambaran petrologi dan geokimia dari Gunung Pandan serta bagaimana posisi geokimia lokasi penelitian di segmen busur Wilis – Lasem. Lalu, karena karakteristik petrologi dan geokimia merupakan representasi dari proses magmatik yang telah terjadi sebelumnya, maka analisis lebih lanjut melalui metode petrografi dan XRF

dilakukan untuk menjelaskan hubungan keduanya dengan aspek petrogenesis dan tatanan tektonik batuan di daerah penelitian.

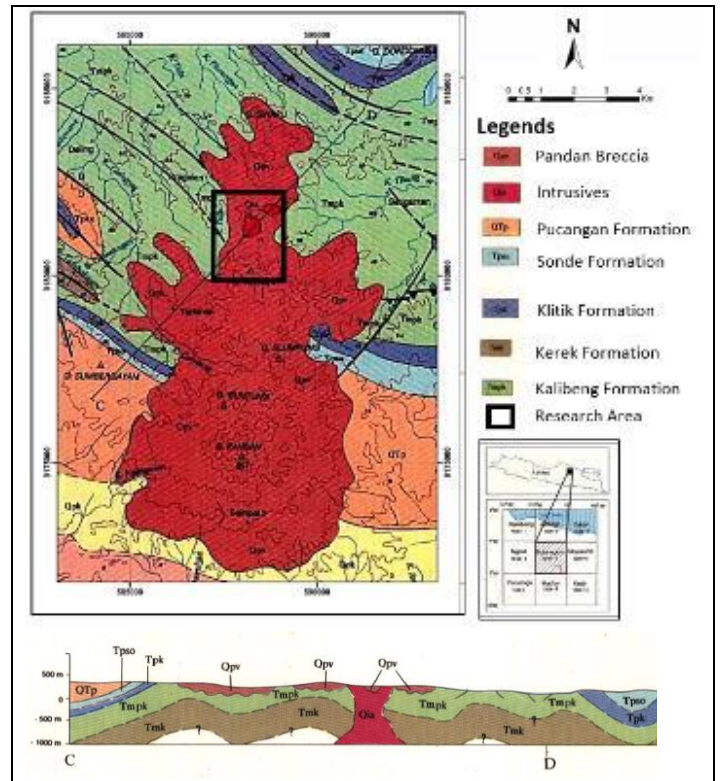


Gambar 1. Lokasi penelitian di Kecamatan Gondang, Kabupaten Bojonegoro

## METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini mencakup observasi geologi di lapangan, analisis petrologi, dan analisis geokimia XRF. Observasi lapangan dilakukan untuk mengetahui persebaran batuan vulkanik dan mengambil sampel batuan untuk analisis selanjutnya.

Sampel batuan dipreparasi sayatan tipis dan diamati dengan mikroskop polarisasi di Laboratorium Sumber Daya Mineral, Program Studi Teknik Geologi, Universitas Diponegoro. Analisis petrografi bertujuan untuk mendapatkan tekstur dan komposisi mineralogi batuan.



Gambar 2. Peta geologi regional dan penampang geologi daerah Gunung Pandan (Pringgoprawiro dan Sukido, 1998)

Analisis geokimia dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju, Universitas Negeri Malang oleh teknisi laboratorium dengan menggunakan alat PANanalytical Minipal 4 dan di Laboratorium Pusat Survei Geologi untuk mendapatkan persentase senyawa yang terkandung pada batuan. Pemilihan sampel didasarkan pada perbedaan variasi litologi. Selain itu untuk melengkapi data, data geokimia dari Yudiantoro dan Takashima (2018) ikut disertakan dalam analisis sebagai perbandingan. Senyawa – senyawa yang didapatkan dari XRF digunakan untuk penamaan batuan, determinasi afinitas/seri magma, diagram Harker, dan determinasi tatanan tektonik.

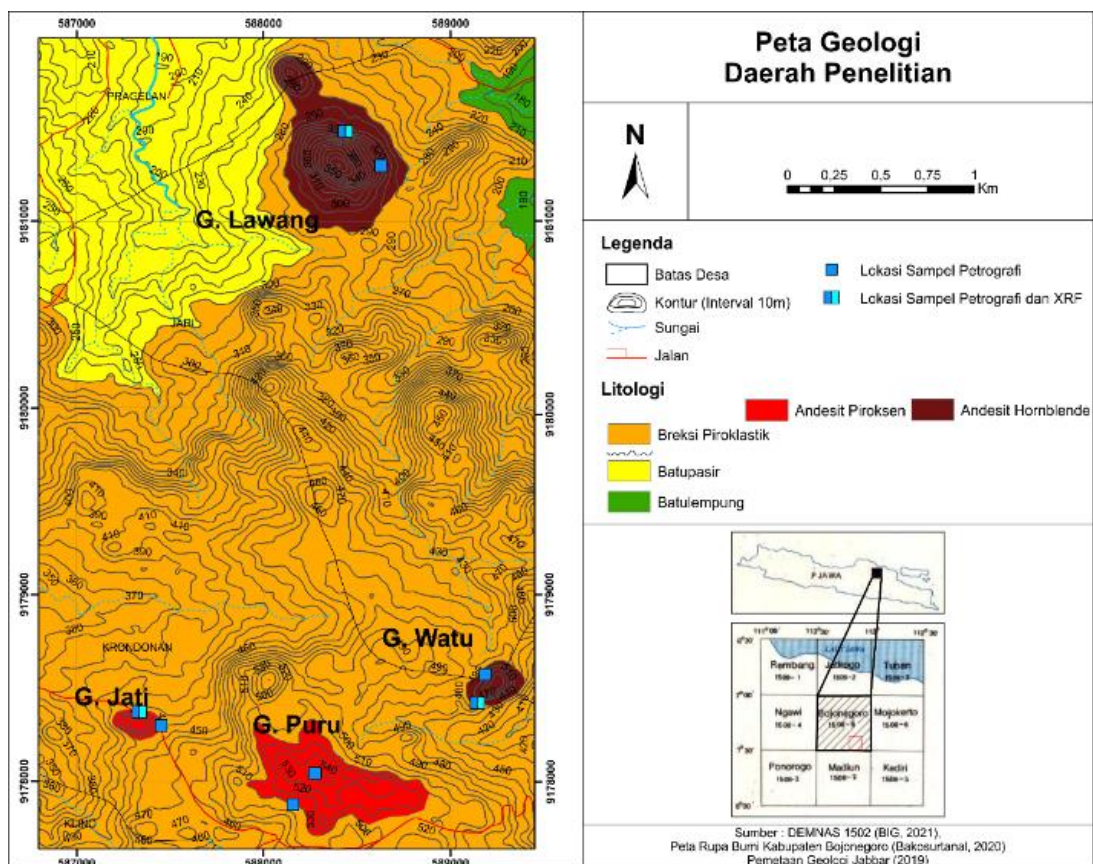
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Litologi

Dari hasil pemetaan geologi yang dilakukan, ditemukan litologi batuan beku non fragmental yang berada di Gunung Lawang, Watu, Jati dan Puru. Keempatnya berada di Desa Jari dan Krondonan, Kecamatan Gondang, Kabupaten

Bojonegoro, Jawa Timur dan merupakan bukti aktivitas magmatik pada masa lalu. Pengamatan secara langsung dan pengambilan sampel dilakukan di keempatnya untuk mendapatkan

data litologi dan geokimia. Peta geologi dan lokasi pengambilan sampel untuk petrografi dan XRF seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta geologi regional daerah Gunung Pandan (berdasarkan pemetaan geologi dan menurut Pringgoprawiro dan Sukido (1998))

Secara geomorfologi, lokasi batuan beku adalah bukit-bukit hasil intrusi atau kubah lava dengan elevasi puncaknya berkisar 300 – 540 mdpl. Bukit-bukit tersebut memiliki kemiringan lereng terjal ( $40^{\circ}$  –  $80^{\circ}$ ). Tingkat pelapukan batuan beku cenderung rendah – tinggi, sehingga terdapat lokasi yang sulit didapatkan sampel batuan yang segar.

#### 1. Gunung Jati

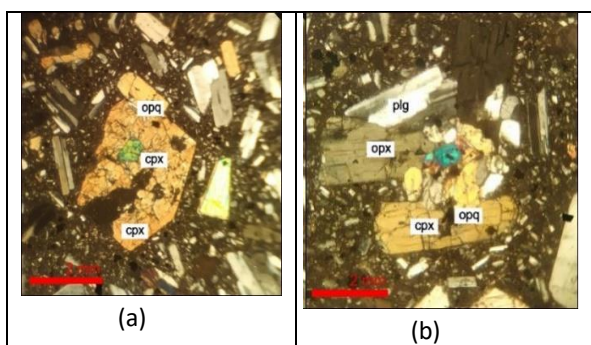
Gunung Jati berada di Desa Krondonan, Gondang dengan elevasi maksimum 460 m. Gunung Jati yang memiliki morfologi khas bukit terisolir hasil dari intrusi batuan beku yang sekelilingnya telah mengalami erosi (Gambar 4). Hasil pengamatan menunjukkan Gunung Jati

tersusun atas andesit piroksen, warna keabuan, hipokristalin, tekstur porfiritik.



Gambar 4. Morfologi bukit intrusi Gunung Jati yang mewakili kondisi di daerah penelitian

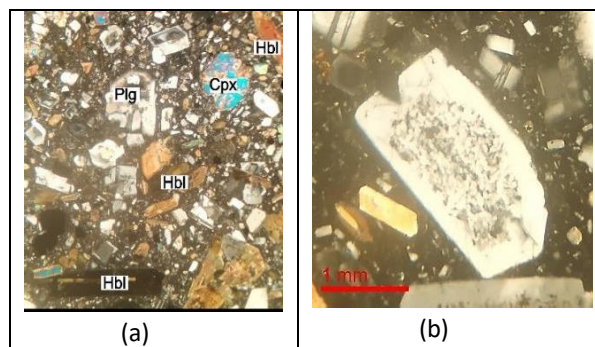
Secara mikroskopis, dua sayatan tipis dari Gunung Jati menunjukkan fenokris utama 58% plagioklas (Plg) dan 14% klinopiroksen (Cpx). Massa dasar tersusun atas mikrolit plagioklas dan gelas vulkanik 19%. Mineral lain yang ditemukan dengan persentase lebih sedikit dan hadir baik sebagai fenokris atau massa dasar tersusun atas 4% ortopiroksen (Opx) dan 5% mineral opak (Opq). Karena batuan masih segar, tidak ditemukan adanya mineral sekunder/ubahan di sampel Gunung Jati (Gambar 5).



Gambar 5 (a) sayatan tipis batuan dari Gunung Jati, (b) tekstur glomerifirik plagioklas dan piroksen.

## 2. Gunung Watu

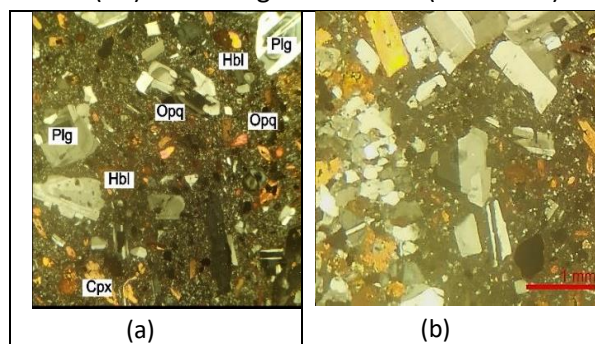
Gunung Watu terletak di Desa Krondonan, Gondang. Gunung Watu berada sekitar 200 – 300 m ke timur dari Gunung Puru. Litologi di Gunung Watu tersusun atas andesit hornblende dengan ciri warna abu gelap, hipokristalin dan porfiritik. Komposisinya tersusun atas mineral utama 53% plagioklas (Plg) dan 15% hornblende (Hbl). Mineral lainnya tersusun atas 6% serisit (Ser), 4% mineral opak (Opq) dan 3% klinopiroksen (Cpx). Massa dasar tersusun atas 19% gelas vulkanik (Gambar 6).



Gambar 6 (a) sayatan tipis batuan dari Gunung Watu, (b) tekstur *sieve* pada plagioklas

## 3. Gunung Lawang

Gunung Lawang berada di bagian barat Desa Jari, Kecamatan Gondang. Gunung Lawang tersusun atas andesit hornblende dengan ciri berwarna abu – abu, tidak berlubang, hipokristalin dan bertekstur porfiritik. Fenokris utamanya tersusun atas 55% plagioklas (Plg) dan 16% hornblende (Hbl). Mineral lain yang ditemukan terdiri atas 3% klinopiroksen (Cpx), 4% sanidin (Sa), 2% mineral opak (Opq), 2% kuarsa (Qz) dan 15% gelas vulkanik (Gambar 5).

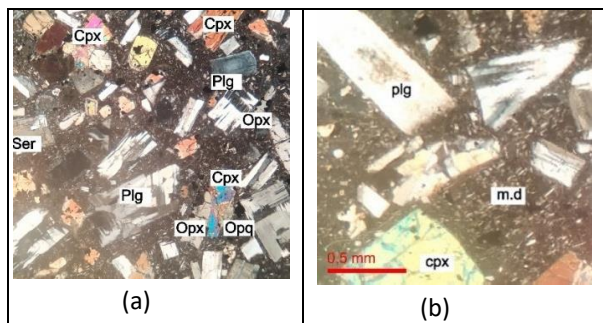


Gambar 5. (a) sayatan tipis batuan dari Gunung Lawang, (b) tekstur glomerifirik plagioklas dan piroksen

## 4. Gunung Puru

Gunung Puru terletak di Desa Krondonan, Gondang dan diapit oleh Gunung Jati di bagian barat dan Gunung Watu di bagian timurnya. Litologi Gunung Puru merupakan andesit piroksen dengan ciri berwarna keabuan, hipokristalin dan porfiritik. Dari dua sampel petrografi, fenokris umumnya terdiri atas 55% plagioklas (Plg), 15% klinopiroksen (Cpx), 5% ortopiroksen (Opx), 2% kuarsa (Qz) dan 7% mineral opak (Opq). Massa dasar tersusun atas

16% gelas vulkanik dan mikrolit plagioklas bertekstur pilotaksitik (Gambar 8).



Gambar 8. (a) fotomikrograf sampel batuan dari Gunung Puru, (b) tekstur pilotaksitik yang dicirikan dengan orientasi massa dasar (m.d) yang mengikuti fenokris lebih besar

### Analisis Geokimia Batuan

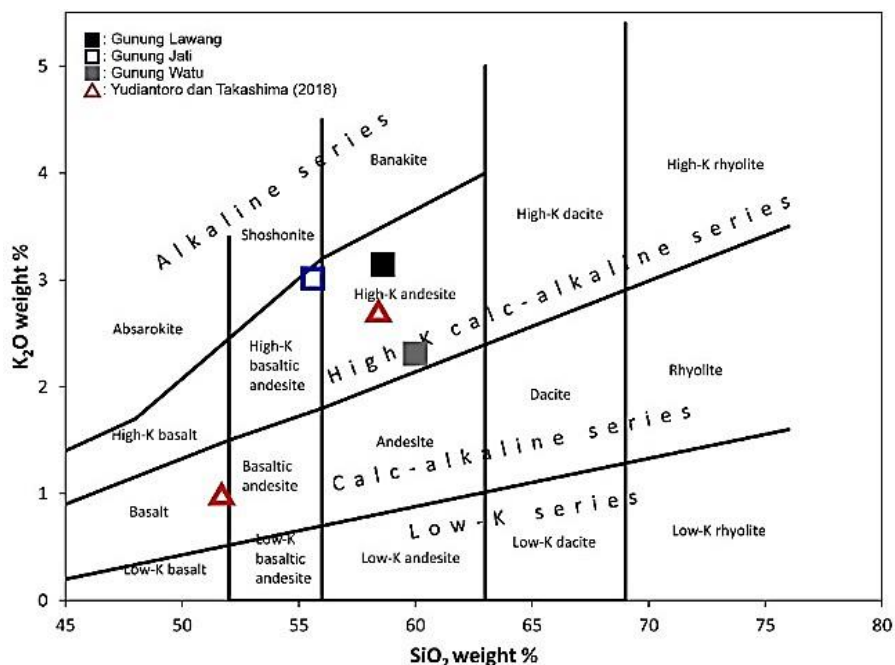
Analisis geokimia dilakukan pada tiga sampel batuan dari Gunung Watu, Gunung Jati, dan Gunung Lawang dengan metode *x-ray fluorescence* (XRF) untuk memperoleh komposisi oksida utama. Data sekunder dari tubuh utama Gunung Pandan turut disertakan sebagai pembanding dalam analisis yang meliputi penentuan jenis batuan, afinitas magma, variasi diagram Harker dan determinasi tatanan tektonik. Tabel data geokimia ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Analisis geokimia batuan beku di daerah penelitian. Data G.Pandan\* berdasarkan Yudiantoro dan Takashima (2018)

Oksida Utama	G. Watu (%)	G. Jati(%)	G. Lawang (%)	G. Pandan* (%)	
	Andesit Hornblende	Andesit Piroksen	Andesit Hornblende	Andesit Hornblende	Andesit Basaltik
SiO <sub>2</sub>	60,34	55,1	59,0	57,18	51,82
K <sub>2</sub> O	2,12	3,0	2,8	2,47	0,81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,9	14,0	14,0	16,6	15,76
FeO	5,91	9,99	8,81	6,15	9,06
MnO	0,15	0,17	0,18	0,23	0,17
TiO <sub>2</sub>	0,49	1,3	1,18	0,58	0,86
CaO	6,41	14,2	12,2	9,63	9,34
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,45	-	1,1	0,26	0,13

Batuan beku dapat diklasifikasikan berdasarkan komponen SiO<sub>2</sub> dan K<sub>2</sub>O (Ewart, 1982) sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 9. Secara geokimia, sampel batuan beku dari Gunung Lawang dan Gunung Watu termasuk ke dalam tipe *high-K andesite*. Sedangkan sampel yang berasal dari Gunung Jati termasuk ke dalam tipe *high-K basaltic andesite*. Sampel dari Yudiantoro dan Takashima (2018) masuk dalam *calc alkali basaltic andesite – high K andesite*.

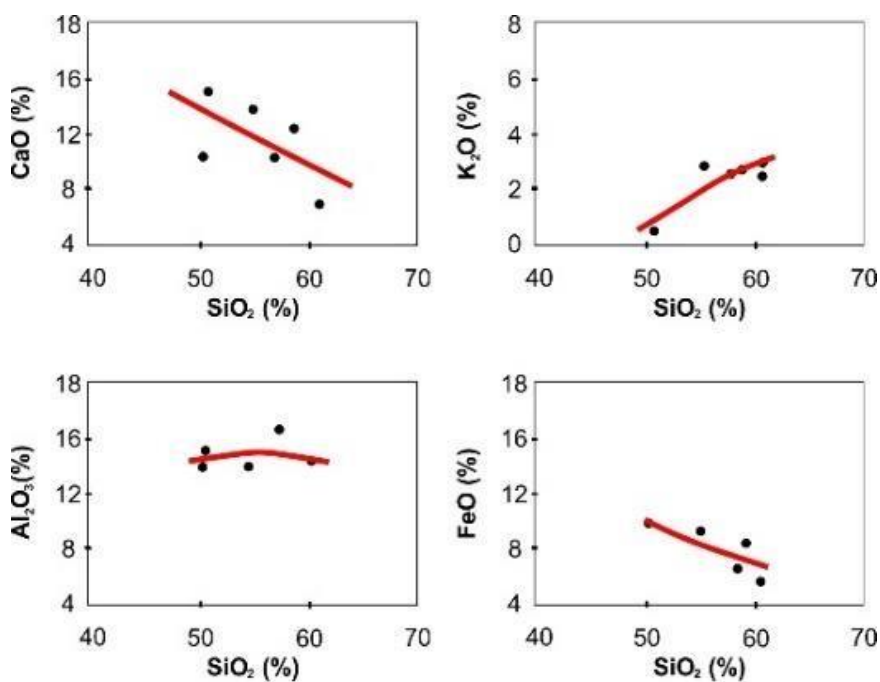
Penggunaan diagram Harker terhadap 4 (empat) unsur mayor yang disandingkan dengan SiO<sub>2</sub> menunjukkan secara umum ada 2 (dua) macam pola yaitu pola positif dan negatif (Gambar 10). Pola negatif didapatkan pada senyawa CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan FeO sedangkan pola positif didapatkan dari senyawa K<sub>2</sub>O.



Gambar 9. Jenis batuan beku di daerah penelitian secara geokimia

Pola negatif dari FeO dan CaO diinterpretasi terjadi akibat kristalisasi mineral – mineral yang awal terbentuk. FeO berasosiasi dengan kristalisasi olivine, hornblende dan piroksen sedangkan CaO berasosiasi dengan plagioklas Ca, klinopiroksen atau keduanya (Winter, 2013). Korelasi pada  $Al_2O_3$  berasosiasi dengan kristalisasi plagioklas sedangkan korelasi negatif FeO

diindikasikan akibat fraksinasi mineral mineral opak. Adanya pola positif dari  $K_2O$  menunjukkan konsentrasi meningkat seiring magma semakin asam. Dapat ditafsirkan senyawa tersebut berada pada jumlah tetap namun karena senyawa lain semakin berkurang maka secara relatif konsentrasinya meningkat (Winter, 2013).



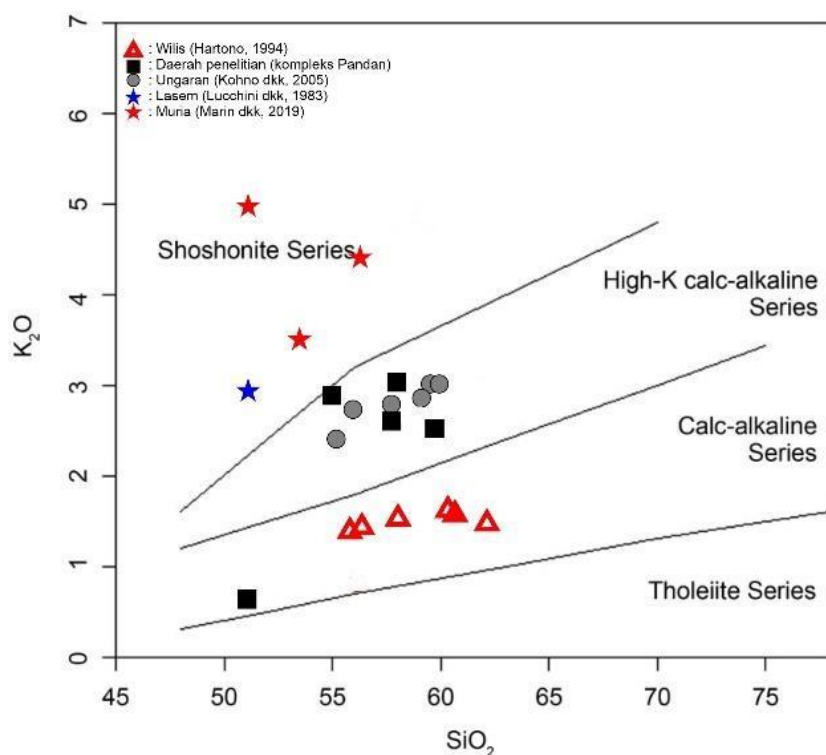
Gambar 10. Diagram Harker unsur oksida utama vs  $SiO_2$

### Afinitas Magma

Dari klasifikasi ini dan diagram Pecерillo dan Taylor (1976) juga dapat diketahui afinitas magmanya adalah kalk alkali – kalk alkali tinggi K (Gambar 11.). Jika dibandingkan dengan afinitas batuan dari gunung lain di Pulau Jawa, maka akan terlihat pola peningkatan K<sub>2</sub>O dari *volcanic front* (Wilis), *trench-side*, *backarc-side volcanoes* (Ungaran, Pandan) hingga *backarc volcanoes* (Muria, Lasem) yang sebelumnya telah disebutkan oleh beberapa penulis seperti Wheller dkk (1987) dan Dempsey (2013). Meningkatnya K<sub>2</sub>O menurut Whitford dkk (1979) dan Dempsey

(2013) diprediksi karena semakin jauh dari palung derajat pelelehan sebagian semakin rendah dan terjadinya *breakdown* mineral kaya alkali seperti *phengite* dan *phlogopite*.

Adanya anomali berupa satu sampel dari Yudiantoro dan Takashima (2018) yang menunjukkan afinitas sejajar dengan Gunung Wilis diduga karena sampel tersebut kemungkinan merupakan sampel batuan yang *less evolved* atau tidak satu umur. Karena syarat pola spasial K<sub>2</sub>O adalah data yang dibandingkan harus mempunyai umur yang relatif sama (pengaruh variasi temporal K<sub>2</sub>O).



Gambar 11. Perbandingan SiO<sub>2</sub> vs K<sub>2</sub>O dari Gunung Wilis, Kompleks Pandan, Ungaran, Lasem dan Muria

### Tatanan Tektonik

Tatanan tektonik yang didapatkan dari plot TiO<sub>2</sub>, MnO dan P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> terhadap diagram diskriminan Mullen (1983) adalah *calc alkali basalt – island arc tholeiitic* (Gambar 12). Hal ini berarti tatanan tektoniknya berkaitan dengan zona subduksi lempeng samudera – samudera.

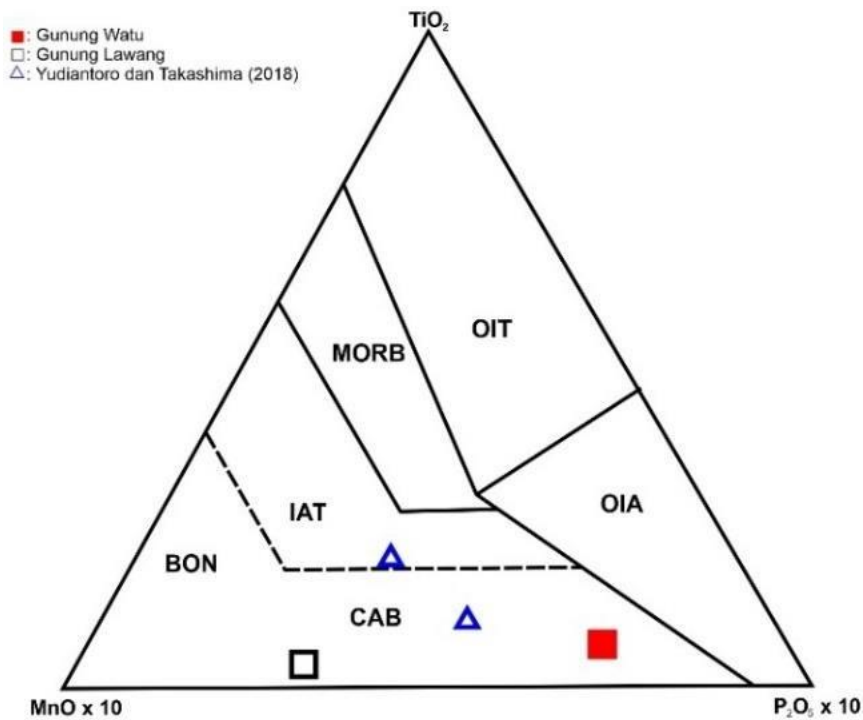
Dengan menggunakan rumus estimasi kedalaman vertikal Zona Wadati – Benioff (Hutchison, 1976):

$$\text{Kedalaman (h)} = [320 - (3,65 * \% \text{SiO}_2)] + (25,52 * \% \text{K}_2\text{O}) \dots\dots\dots (1)$$

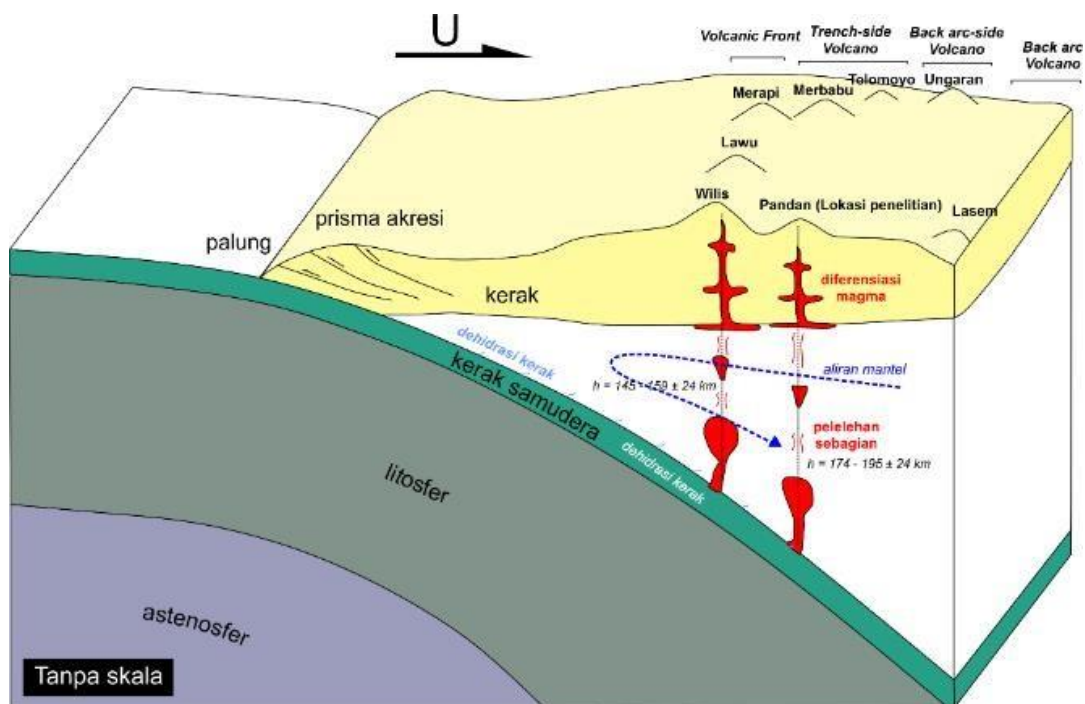
Maka didapatkan lokasi penelitian berada pada kedalaman 174 – 195 ± 24 km, sedangkan Gunung Ungaran berkisar pada 176 – 192 ± 24 km dan Gunung Wilis berkisar pada 145 – 159 ± 24 km (Kohno dkk., 2005; Hartono, 1994; Marin dkk., 2019). Dari hasil ini dapat disimpulkan lokasi penelitian mempunyai kemiripan dengan Gunung

Ungaran dari segi posisi dan jarak terhadap palung dan Zona Wadati – Benioff. Model

petrogenesis dari tatanan tektonik lokasi penelitian tertera pada Gambar 13.



Gambar 12. Diagram diskriminan tektonik menurut Mullen (1983)



Gambar 13. Model penampang melintang tanpa skala dari tatanan tektonik busur kepulauan di lokasi penelitian



## PENUTUP

### Simpulan dan Saran

Variasi litologi yang ditemukan di daerah penelitian terdiri atas andesit piroksen dan andesit hornblende. Andesit piroksen ditemukan di Gunung Jati dan Puru sedangkan andesit hornblende ditemukan di Gunung Watu dan Gunung Lawang.

Variasi geokimia menunjukkan daerah penelitian merupakan andesit basaltik – andesit berafinitas kalk alkali – kalk alkali tinggi K. Tatanan tektonik yang didapatkan adalah *calc – alkali basalt* dan *island arc tholeiite* yang berasosiasi dengan tatanan tektonik busur kepulauan. Perbandingan dari Wilis, Ungaran, daerah penelitian, Lasem dan Muria menunjukkan adanya variasi spasial K<sub>2</sub>O dari segmen Wilis – Lasem Muria.

Karakterisasi geokimia dengan menggunakan unsur jejak (*trace element*) dapat dilakukan selanjutnya untuk menjelaskan aspek petrogenesis yang belum dapat diketahui berdasarkan unsur utama.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Hezron Cristian Marbun, Miqdad Abdul Jabbar, dan Habib Rahman dari Departemen Teknik Geologi, Universitas Diponegoro yang telah membantu dalam pengambilan data geologi di lapangan.

### DAFTAR PUSTAKA

- Dempsey, S. (2013) Geochemistry of volcanic rocks from the Sunda Arc. Dunham University.
- Ewart, A. (1982) The mineralogy and petrology of Tertiary - Recent orogenic volcanic rocks: with special reference to the andesitic - basaltic compositional range. *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*.
- Hartono, U. (1994). *The petrology and geochemistry of the Wilis and Lawu volcanoes, East Java, Indonesia*. Dissertation. University of Tasmania.

- Hutchison, C.S. (1975) Indonesian active volcanic arc: K, Sr, and Rb variation with depth to the Benioff zone 8–9. *Geology*, 4(7), pp.407-408.
- Kohno Y, Setijadji L, Utami P, Harijoko A, Pecskey Z, Imai A, Watanabe K. (2005) Geochronology and petrogenetic aspects of Merapi-Merbabu-Telomoyo-Ungaran volcanoes, Central Java, Indonesia. *Proceedings Joint Convention HAGI-IAGI-PERHAPI*
- Lunt, P., Netherwood, R., Huffman, F. (1998) Guide Book of IPA Field Trip to Central Java. *Indonesian Petroleum Association* 65.
- Marin, J., Winarno, T., Mindasari, D. (2019). Mineralogy and Geochemistry Variation of Igneous Rocks from Ungaran and Muria Volcano and Its Processes related to Subduction Zone Magmatism of Sunda Arc. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* vol. 279.
- Mullen, E.D. (1983) MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth and Planetary Science Letters* 62, 53–62.
- Peccerillo, A., dan Taylor, S.R. (1976) Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. <https://doi.org/10.1007/BF00384745>
- Pringgoprawiro, H., dan Sukido, 1992. *Peta Geologi Regional Lembar Bojonegoro, Jawa Timur Skala 1:100.000*. PPGL Bandung.
- Smyth, H., Hall, R., Hamilton, J., dan Kinny, P. (2005) East Java: Cenozoic basins, volcanoes and ancient basement, in: *Indonesian Petroleum Association*. <https://doi.org/10.29118/ipa.629.05.g.045>
- Thoha, M., Parman, P., Prastitho, B., Yudiantoro, D.F., Hati, I.P., dan Jagranata, I.B. (2014) Geology and Geothermal Manifestations of Mount Pandan, East Java. *Jurnal Geologi Indonesia*.
- Wheller, G.E., Varne, R., Foden, J.D., dan Abbott, M.J., 1987. Geochemistry of quaternary volcanism in the Sunda-Banda arc, Indonesia, and three-component genesis of island-arc basaltic magmas. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(87\)90041-2](https://doi.org/10.1016/0377-0273(87)90041-2)
- Whitford, D.J., Nicholls, I.A., Taylor, S.R. (1979) Spatial Variations in the Geochemistry of Quaternary Lavas Across the Sunda Arc in Java and Bali. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 356, 341–356.
- Winter, J.D. (2013) *Igneous and Metamorphic Petrology*. Cambridge.

Yudiantoro, D.F., Takashima, I. (2018) Magmatism and Geothermal Potential in Pandan Volcano East Java Indonesia. *Jurnal Mineral, Energy dan Lingkungan 2*, 50–60