



**Bulletin of Scientific Contribution
GEOLOGY**

**Fakultas Teknik Geologi
UNIVERSITAS PADJADJARAN**

homepage: <http://jurnal.unpad.ac.id/bsc>
p-ISSN: 1693-4873; e-ISSN: 2541-514X



Volume 22, No.3
Desember 2024

**EVOLUSI METAMORFISME METAVOLKANIK DI DAERAH CIGABER DAN SEKITARNYA,
KABUPATEN LEBAK**

Aton Patonah, Muhammad Kurniawan Alfadli
Fakultas Teknik Geologi, UNPAD
Email korespondensi: a.patonah@unpad.ac.id

ABSTRAK

Penelitian dilakukan di daerah Cipeundeuy dan sekitarnya, Kabupaten Lebak dengan tujuan untuk mengidentifikasi karakteristik metavulkanik dengan pendekatan inklusi fluida primer yang terjebak pada mineral kuarsa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metavulkanik tersusun atas sekis biotit klorit dan sekis klorit yang diduga berasosiasi dengan *burial metamorphism*, dicirikan dengan kehadiran struktur milonit, eye's texture, dan relik tekstur plagioklas sebagai jejak protolith vulkanik. Selanjutnya, hasil identifikasi inklusi fluida primer yang terjebak dalam kuarsa memperlihatkan *cluster* dan *trail texture* diduga berasosiasi dengan *syn-metamorphism* dari awal - akhir metamorfisme sampai ekshumasi. Adapun komposisi fluida didominasi oleh dua fase likuid+gas dan 1 fase tunggal berupa likuid, semuanya berasal dari air metamorfik. Hasil pengukuran mikrotermometer menunjukkan bahwa temperatur pembentukan metavulkanik, sekis biotit klorit, pada 310°C - 340°C dan tekanan 92,64 Bar - 113,34 Bar dengan kedalaman sampai 1.377,81 meter. Batuan ini mengalami penurunan derajat metamorfismenya sampai 233°C dengan tekanan sampai 13.47 Bar. Ini menunjukkan bahwa batuan tersebut diperkirakan terangkat sampai kedalaman 45.24 meter. Hal ini didukung dengan kehadiran struktur *brittle* berupa urat yang diisi oleh epidot, klorit, dan kuarsa sebagai hasil dari pos metamorfisme; dan penggantian biotit oleh klorit pada batuan metavulkanik.

Kata Kunci: metavulkanik, sekis biotit klorit, Kubah Bayah, inklusi fluida, derajat metamorfisme

ABSTRACT

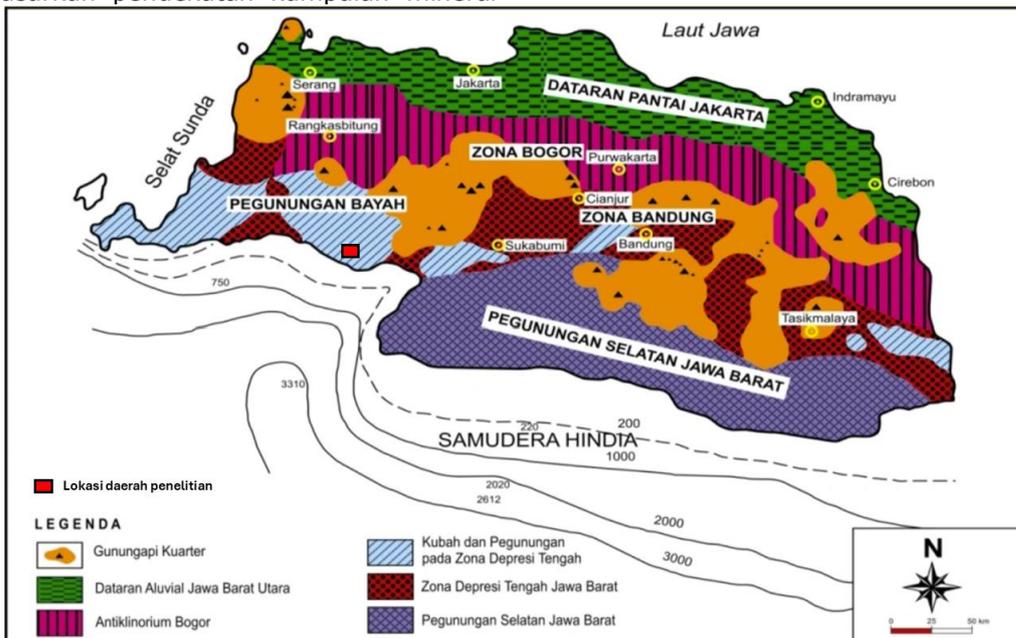
The research was conducted in the Cipeundeuy area and its surroundings, Lebak Region with the aim of identifying the characteristics of metavolcanics with a primary fluid inclusion approach trapped in quartz minerals. The results show that the metavolcanic is composed of biotite chlorite schist and chlorite schist which are thought to be associated with burial metamorphism characterised by the presence of mylonite structures, eye's texture, and relics of plagioclase texture as volcanic protolith traces. The results show primary fluid inclusions trapped in quartz, such as clusters and trail textures, thought to be associated with syn-metamorphism - post metamorphism to exhumation. The fluid composition is dominated by two phase - liquid + vapour and a single liquid phase, all derived from metamorphic water. According to microthermometer observations, the metavolcanic, biotite chlorite schist formed at 310°C to 340°C, with a pressure of 92.64 Bar to 113.34 Bar and a depth of chlorite up to 1,377.81 meters. The rock has decreased its degree of metamorphism to 233°C with pressures up to 13.47 Bar. This indicates that the rock was probably uplifted to a depth of 45.24 metres. This is supported by the presence of brittle structures in the form of veins filled with epidote, chlorite, quartz, and opaque minerals as a result of post metamorphism, and the replacement of biotite by chlorite in metavolcanic rocks.

Keywords: metavolcanic, biotite chlorite schist, Bayah Dome, fluid inclusions, degree of metamorphism

PENDAHULUAN

Inklusi fluida dalam batuan metamorf sangat penting untuk memahami peran fluida selama metamorfisme, karena memberikan wawasan tentang kondisi dan proses fisikokimia yang terjadi di kerak bumi. Inklusi fluida pada batuan metamorf adalah bukti keberadaan fluida selama metamorfisme, mempengaruhi transportasi massa, siklus geokimia, dan proses peleburan (Penniston-Dorland, 2024). Inklusi fluida terbagi 2, yaitu fluida primer terbentuk pada kondisi metamorf puncak, sedangkan fluida sekunder dihasilkan dari proses selanjutnya seperti pengangkatan dan retrogresi (Kerkhof et al., 2014). Penentuan temperatur pembentukan batuan metamorf daerah Bayah telah dilakukan berdasarkan pendekatan kumpulan mineral

(Patonah dan Permana, 2018). Selain itu juga, telah dilakukan pengukuran inklusi fluida pada garnet sekis mika dan sekis mika (Patonah, et al., 2022). Namun, ada beberapa batuan metamorf, salah satunya metavulkanik, sekis biotit klorit dan sekis klorit belum diidentifikasi temperatur pembentukannya. Lokasi singkapan ini tersingkap cukup luas di Daerah Cipeundeuy dan sekitarnya, Kabupaten Lebak, dan termasuk ke dalam wilayah Kubah Bayah (gambar 1). Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi tekstur, komposisi, temperatur pembentukan, dan asal lingkungan fluida yang terdapat dalam batuan tersebut dengan harapan mendapatkan informasi tentang evolusi selama metamorfisme.

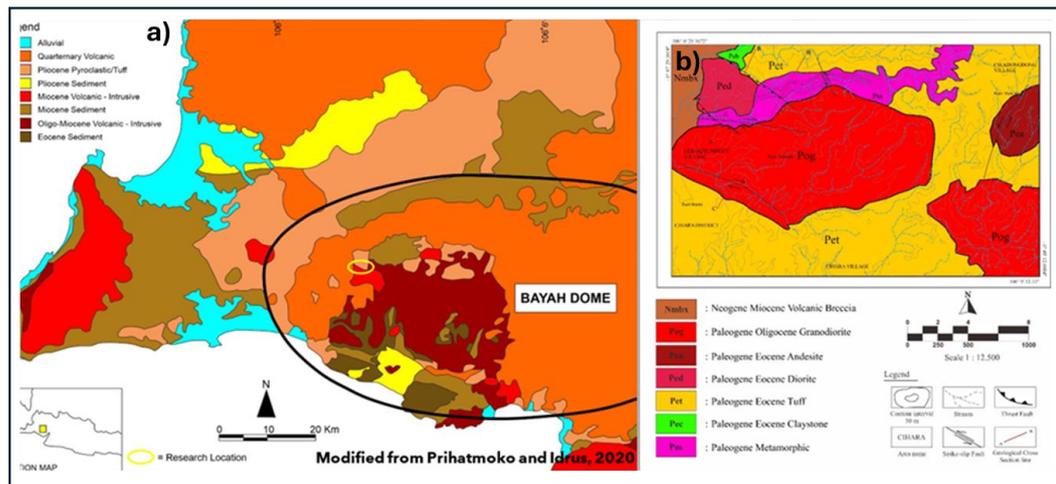


Gambar 1. Lokasi penelitian merupakan bagian dari pegunungan Bayah (Modifikasi dari Van Bemmelen, 1949).

GEOLOGI REGIONAL

Bayah adalah merupakan dari Jawa bagian barat, termasuk ke dalam Sundaland margin. Secara fisiografi, daerah ini termasuk ke dalam salah satu zona pegunungan Selatan, yang dikenal memiliki sejarah geologi yang kompleks dengan aktivitas tektonik yang intens. Pada Kapur Akhir, Gondwana bergerak menuju kontinen Eurasia pada Kapur Akhir mengakibatkan subduksi berhenti (Hall, 2012) melewati Jawa - Meratus dan membentuk suture Mesotethys (MetCalfe, 2017). Peristiwa ini menyebabkan terjadinya *uplifting* Sundaland pada Kapur Akhir dan menghasilkan pasif margin sepanjang tepian Jawa akibat kolisi sampai Eosen (Hall, 2012)

dan diperkirakan aktivitas vulkanik menjadi berhenti. Aktivitas vulkanik dimulai lagi pada Kala Eosen dengan ditemukan vulkanik tua di bagian Selatan Jawa, yaitu Old Andesite (Sukarna, Mangga, dan Brata, 1993) sampai ke Bayah. Menurut Yulianto et al (2007), batuan tertua yang tersingkap di Bayah adalah kompleks metamorfik dan batuan beku Pra-Tersier yang tersingkap bersama - sama dengan batuan - batuan sedimen dan batuan vulkanik yang diduga berkaitan dengan proses *uplifting* pada Kala Miosen (Patonah dan Permana, 2018). Namun, menurut Sudjamiko dan Santosa, kompleks metamorf berumur Oligosen bersama - sama dengan intrusi granodiorit Cihara (1992).



Gambar 2. a) Daerah penelitian termasuk ke dalam kelompok batuan metamorf kontak dengan intrusi Granodirit Cihara, bagian dari Kubah Bayah (Modifikasi dari Prihatmoko dan Idrus, 2020). b) Peta geologi hasil penelitian (modifikasi dari Sudjarmiko dan Santosa, 1992).

METODE

Lima sampel petrografi terpilih pada sekis biotit klorit diidentifikasi untuk menentukan tekstur, struktur, komposisi mineral primer dan sekunder, dan nama batuan. Analisis ini menggunakan mikroskop polarisasi Olympus U – TV0.63 XC, dilakukan di Laboratorium Petrologi dan Mineralogi, FTG, UNPAD. Dua sampel inklusi fluida terpilih pada metavulkanik (AP 1, AP 2). Sampel telah disiapkan dalam bagian tipis yang dipoles dua kali lipat dengan ketebalan antara 50 - 100 µm untuk analisis mikro-termometrik. Fluida yang terperangkap dalam kuarsa telah diidentifikasi sebagai variabel (Goldstein dan Reynold, 1994). Pengukuran mikro-termometrik inklusi fluida dilakukan di PSDMBP (Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi), Badan Geologi, Bandung, Indonesia. Analisis ini

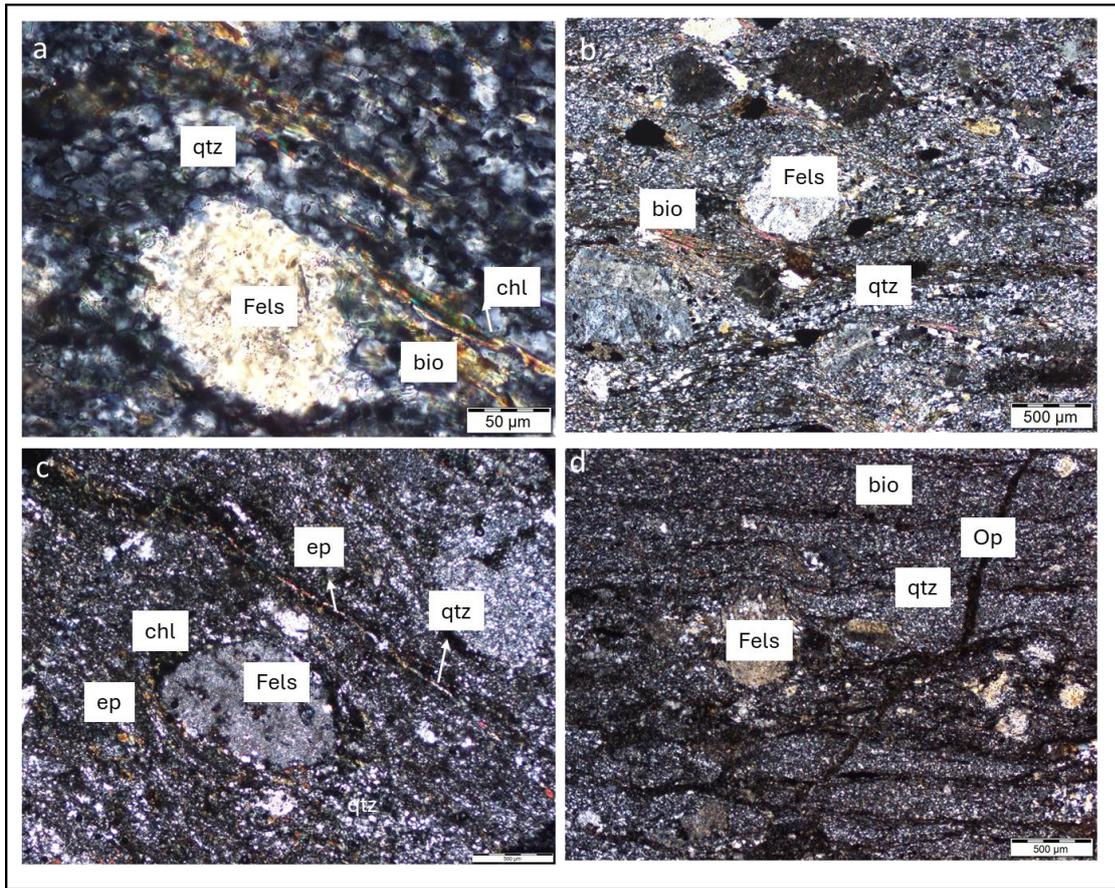
dilakukan dengan menggunakan mikrometer Linkam (Nikon Y-TV55) yang terhubung ke monitor observasi, pembekuan, dan tahap pemanasan (Roedder, 1984; Bodnar, 2003). Pengukuran dilakukan pada inklusi cairan primer. Temperatur kalibrasi homogenisasi adalah ± 0.1°C – ± 0.2°C. Namun, temperatur kesalahan untuk menentukan adalah antara 2°C – 3°C, dan temperatur leleh berada dalam ± 0,2°C. Setelah sampel dipoles, temperatur homogenisasi (Th) dan temperatur leleh (Tm), salinitas, dan kepadatan dapat ditentukan dengan mengukur kedua parameter tersebut. Salinitas H₂O – NaCl dari pengukuran pembekuan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 1 dengan rumus berikut (Bodnar, 1993):

Salinitas = 0.00 + 1.780-0.0442.θ² + 0.000557.θ³ (Persamaan 1)
 dimana θ= temperatur peleburan (Tm).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis petrografi sampel terpilih menunjukkan bahwa metavulkanik tersusun atas sekis biotit klorit dan sekis klorit, memperlihatkan foliasi kurang berkembang dengan baik, sebagian memperlihatkan struktur milonit, bertekstur *blastophophyry*

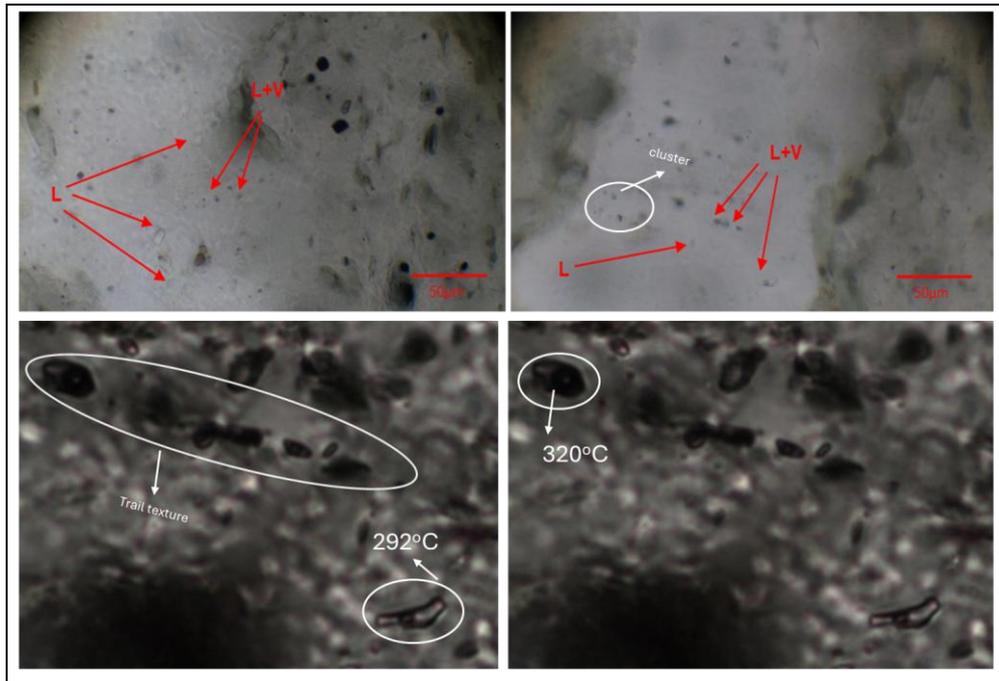
(*porphyroclastic*), *eye’s texture*, berbutir halus – sedang. Komposisi mineral penyusun batuan ini tersusun atas kuarsa + felspar + biotit + klorit ± muskovit ± mineral lempung ± mineral opak (**gambar 3**). Batuan ini telah terkekarkan diisi oleh epidot, klorit, kuarsa, dan sebagian diisi oleh mineral opak.



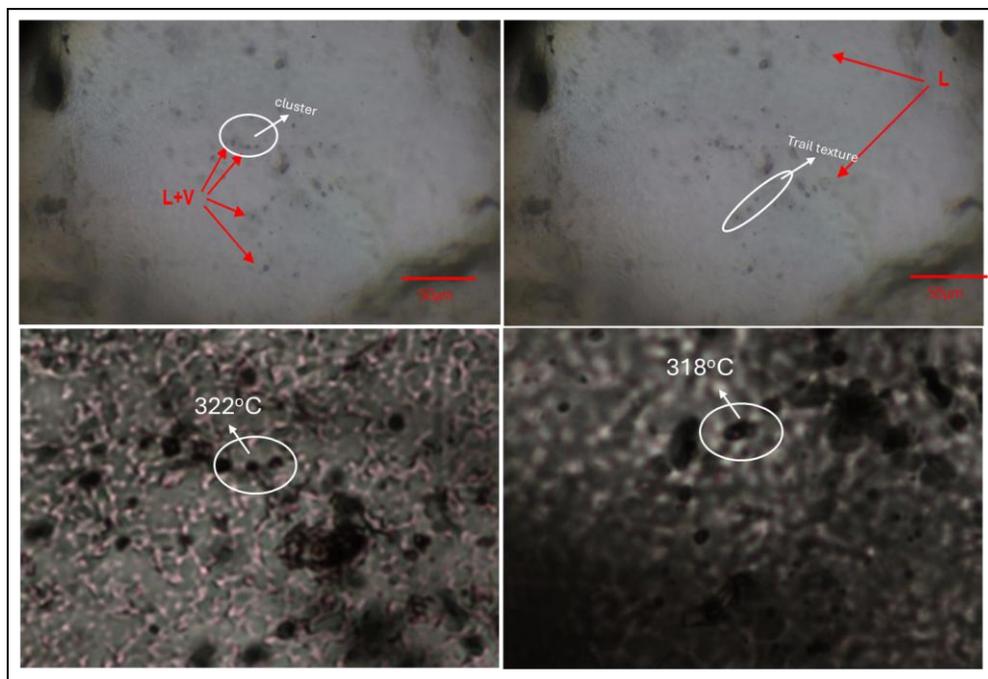
Gambar 3. Fotomikrograf sekis biotit klorit memperlihatkan tesktur porfiroklas (a dan b), terkekarkan yang sebagian diisi oleh kuarsa, epidot, klorit, dan mineral opak (c dan d) (ep=epidot, chl=klorit, qtz=kuarsa, Op=mineral opak).

Untuk mengidentifikasi temperatur pembentukan batuan ini, maka dilakukan pengukuran inklusi fluida yang terjebak pada kuarsa. Jenis inklusi fluida yang diamati adalah fluida primer. Inklusi fluida dalam sampel AP 1 memiliki tekstur isolated, cluster, dan sebagian memperlihatkan trail texture (**gambar 4**). Inklusi fluida pada sampel AP 1 didominasi oleh inklusi fluida dua fase-liquid + gas (L+V) dengan diameter mulai dari < 50 µm dan rasio

volume berkisar 20%. Selain itu, terdapat inklusi fluida fase Tunggal (L) yang memiliki ukuran < 50 µm. Pada sampel AP 2, pengukuran inklusi fluida yang didominasi oleh dua fase-likuid+gas (L+V) dengan diameter < 50 µm dan rasio volume berkisar 20%, dan fase Tunggal (L). Lebih lanjut lagi, pada **gambar 5** memperlihatkan koeksistensi inklusi fluida berupa likuid+gas dan likuid yang terperangkap pada kuarsa.



Gambar 4. Ilustrasi *cluster* dan *trail texture* dan komposisi fluida yang terjebak dalam kuarsa pada sampel AP 1.



Gambar 5. Ilustrasi inklusi fluida (AP 2) memperlihatkan *cluster* dan *trail texture* dan komposisi fluida yang berbeda dalam kuarsa.

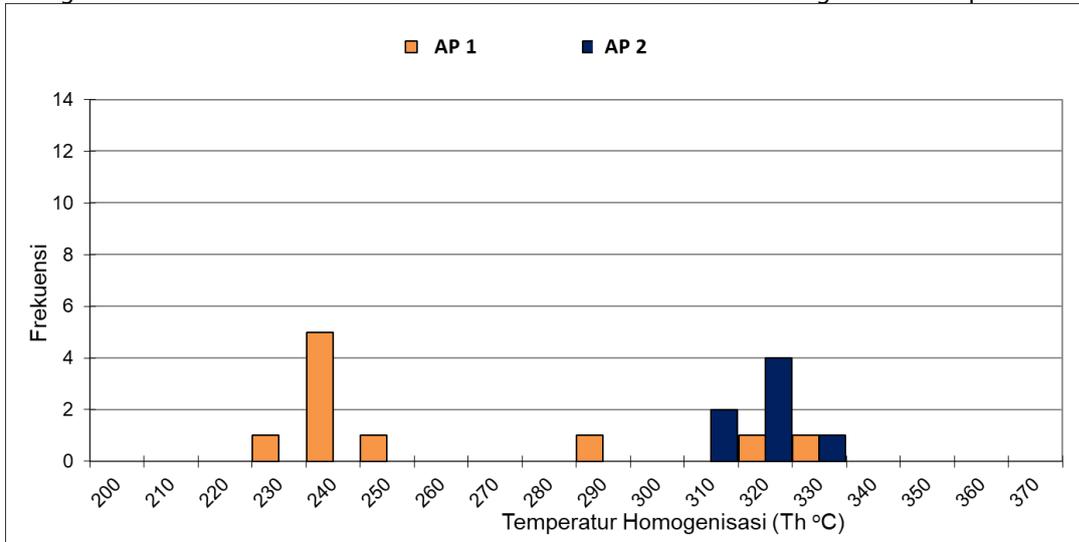
Pengukuran mikrotermometer dilakukan untuk menentukan temperatur homogenisasi (Th), temperatur leleh (Tm), dan kisaran salinitas. Pengukuran dilakukan sebanyak 10 sampel pada AP 1 dan 7 sampel pada AP 2. Berdasarkan pengamatan yang kemudian diproyeksikan ke dalam histogram (**Gambar 6**) didapatkan bahwa kisaran Th sampel AP 1 adalah antara 230°C dan 250°C, dengan puncak sekitar 240°C. Sampel AP 2

menunjukkan kisaran temperatur homogenisasi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan AP 1, yaitu antara 310°C dan 330°C, dengan puncak sekitar 320°C. Distribusi dengan puncak yang berbeda pada kedua sampel menunjukkan bahwa mereka mungkin telah terbentuk dalam kondisi temperatur yang berbeda.

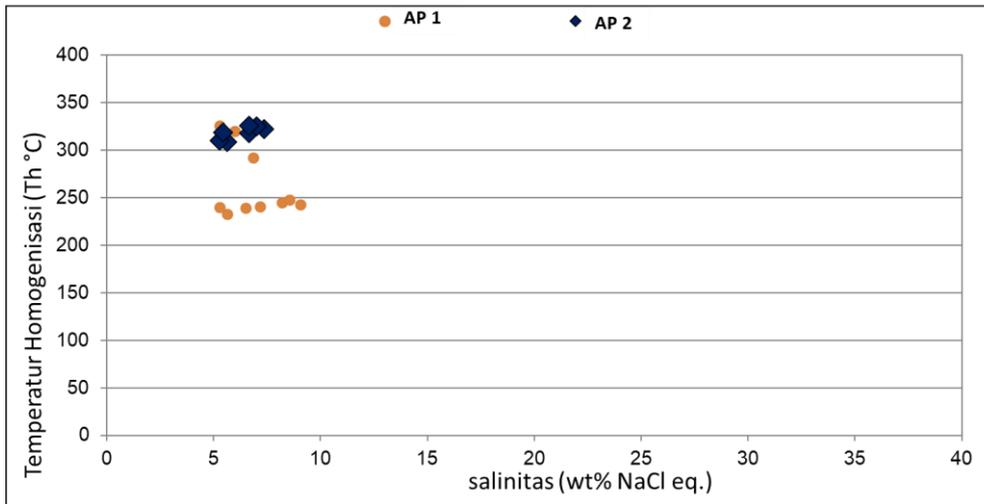
Gambar 7 menggambarkan hubungan antara temperatur homogenisasi (Th) dan

salinitas (wt%.NaCleq). Pada sampel AP 1, temperatur homogenisasi yang lebih rendah dan terkonsentrasi pada nilai salinitas yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan AP 2. Ini menunjukkan lingkungan yang lebih dingin selama terjebak pada kuarsa, kemungkinan lebih dekat ke kondisi

permukaan. Sementara itu, pada sampel AP 2, temperatur homogenisasi lebih tinggi, berkisar antara 310°C hingga 340°C, yaitu Th yang lebih tinggi, menunjukkan fluida terjebak dalam kondisi yang lebih panas, berpotensi pada kedalaman yang lebih besar atau lebih dekat dengan sumber panas.



Gambar 6. Histogram pengukuran mikro-termometri fluida yang terjebak dalam kuarsa pada sekis biotit klorit.



Gambar 7. Diagram Th vs salinitas memperlihatkan ada perbedaan yang cukup lebar dalam temperatur, sementara salinitas memperlihatkan relatif sedikit berbeda pada ke dua sampel batuan.

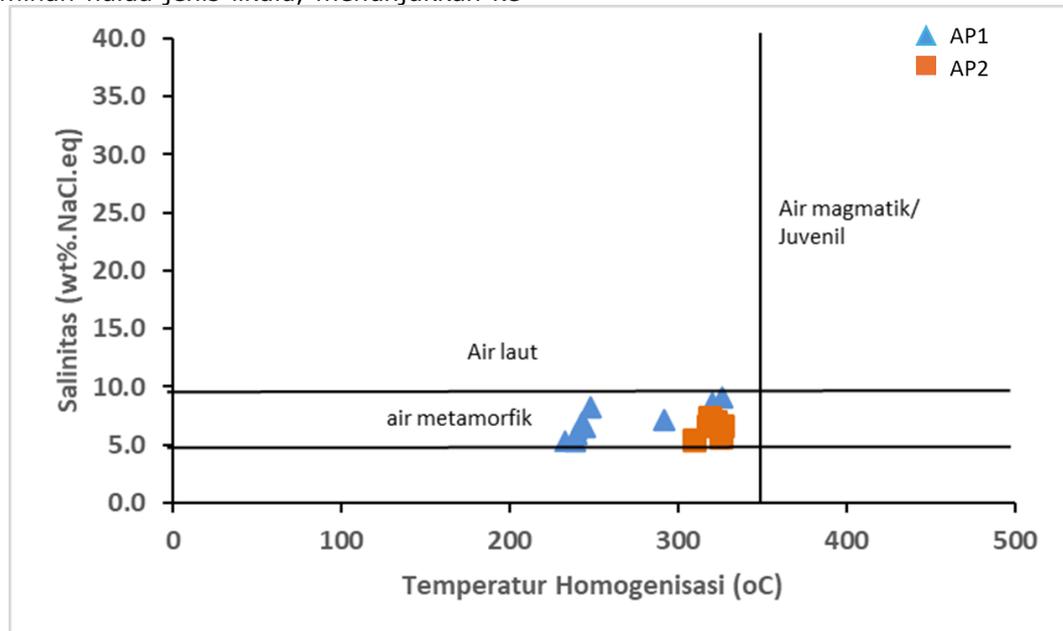
Identifikasi petrografi karakteristik fluida yang terjebak dalam mineral kuarsa sangat penting untuk mengetahui fluida tersebut telah mengalami perubahan yang cukup besar dari waktu ke waktu atau fluida tersebut telah terperangkap dalam mineral selama metamorfosis (Crawford and Hollister, 1986). Hasil identifikasi fluida yang terjebak dalam kuarsa berupa tekstur *cluster* menunjukkan bahwa fluida yang terbentuk bersamaan dengan metamorfisme berlangsung, sementara *trail texture*

terbentuk pada akhir metamorfisme sampai ke pos metamorfisme. Lebih lanjut lagi, sumber fluida yang terjebak pada kuarsa menunjukkan pada kedua sampel tersebut berasal dari air metamorfik (gambar 8). Ini menunjukkan bahwa fluida tersebut merupakan generasi yang terbentuk bersamaan dengan proses metamorfisme (setelah Pirajno, 2009).

Hasil pengukuran inklusi fluida yang terjebak dalam kuarsa pada batuan sekis biotit klorit dan sekis klorit yang diwakili oleh kedua

sampel memperlihatkan dua rezim temperatur yang berbeda. Kisaran temperatur homogenisasi fluida 310°C hingga 340°C pada AP 2 dengan dominan fase likuid+gas menunjukkan lingkungan termal sedang. Kisaran temperatur ini mungkin menunjukkan kondisi panas bumi yang lebih dalam atau lebih intens. Sementara itu, pada sampel AP 1, temperatur homogenisasi fluida yang terjebak pada kuarsa relatif lebih rendah dari AP 2, yaitu 230°C - 250°C dengan dominan fluida jenis likuid, menunjukkan ke

lingkungan yang lebih dingin atau fase temperatur yang lebih rendah dalam proses metamorfisme, berpotensi lebih dekat ke permukaan bumi. Perubahan komposisi fluida likuid ke gas diduga terjadi selama proses tahap peningkatan derajat metamorfisme sebagai hasil dari terurainya mineral hidrous yang terjebak dalam inklusi primer dalam kuarsa (**Ohyama and Tsunogae, 2008**), sementara komposisi fluida berupa likuid berasosiasi dengan proses penurunan derajat metamorfisme.



Gambar 8. Ilustrasi sumber fluida yang terjebak pada kuarsa seluruhnya berasal dari air metamorfik (setelah Pirajno, 2009).

Untuk memahami proses geodinamika yang mengubah sebuah terrain geologi, pertamanya kita harus memahami bagaimana kondisi P-T berevolusi selama metamorfisme. Berdasarkan kumpulan mineral, sekis biotit klorit yang tersusun atas kuarsa+plagioklas+biotit terbentuk sekitar 400°C (**Bucher dan Grapes, 2011**), termasuk ke dalam fasies sekis hijau. Proses metamorfisme diduga berkaitan dengan *burial metamorphism*, ditandai dengan tekstur plagioklas yang masih memperlihatkan relik berasal dari protolith vulkanik; dan struktur eye's texture serta struktur milonit berkaitan dengan deformasi plastis (ductile) akibat pembebanan. Hasil perhitungan dari data T_h , T_m , dan salinitas (**Roedder, 1984**), didapatkan bahwa batuan metamorf ini terbentuk pada tekanan 92,64 Bar - 113,34 Bar pada kedalaman 1.226,39 meter - 1.377,81 meter (**Haas, 1971**). Batuan ini selanjutnya mengalami ekshumasi ditandai dengan kehadiran struktur *brittle* dan kehadiran klorit menggantikan biotit. Hasil pengukuran pada

sampel AP1 terbentuk pada temperatur 233°C dan tekanan 13.47 Bar - 111.28 Bar. Ini menunjukkan bahwa batuan tersebut telah terangkat ke permukaan sampai kedalaman 45,24 meter. Proses ekshumasi ini diperkirakan terjadi pada umur Miosen (**Ahnaf, Patonah, dan Permana, 2019**).

KESIMPULAN

Batuan metavulkanik di daerah penelitian terdiri dari sekis biotit klorit dan sekis klorit berasosiasi dengan proses *burial metamorphism*. Inklusi fluida primer yang terperangkap dalam kuarsa pada batuan ini berasosiasi dengan sin-metamorfisme sampai pos-metamorfisme dicirikan dengan rezim temperatur inklusi fluida menunjukkan dua lingkungan yang berbeda: lingkungan termal moderat dengan fase likuid + gas yang dominan, dan lingkungan termal yang lebih rendah dengan dominan fase likuid yang semuanya berasal dari air metamorfik. Sekis biotit klorit termasuk dalam fasies sekis hijau, terbentuk pada temperatur 310 °C - 340°C dan tekanan 92,64 Bar - 113,34

Bar dengan kedalaman sampai 1.377,81 meter. Selanjutnya batuan ini mengalami penurunan derajat metamorfisme sampai 233°C dan tekanan 13.47 Bar dan kedalaman 45,24 meter yang diduga berkaitan dengan proses *uplifting* pada kala Miosen.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahnaf, J.S., Patonah, A., Permana, H. (2019). Petrogenesis of Volcanic Arc Granites from Bayah Complex, Banten, Indonesia. *Journal of Geoscience Engineering Environment and Technology*. <https://doi.org/10.25299/jgeet.2019.4.2.3171>
- Barker, A.J. (1990). Introduction to Metamorphic Textures and Microstructures.
- Bodnar, R. (1993). Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol.57, No.3, p. 683-684. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(93\)90378-A](https://doi.org/10.1016/0016-7037(93)90378-A).
- Bodnar, J. (2003). Reequilibration of fluid inclusions. In I. Samson, A. Anderson, & D. Marshall, eds. *Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation*. Mineral. Assoc. Canada, Short Course 32, 213-230.
- Bucher, K., Grapes, R. (2011). *Petrogenesis of metamorphic rocks*, 8th ed. Springer, London New York.
- Crawford, M.L., Hollister, L.S. (1986). Metamorphic fluids: the evidence from fluid inclusions. in *Fluid-rock interaction during metamorphism*. Springer-Verlag 1-35.
- Hass, J.L., (1971). The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. *Economic Geology*, 66: 940-946.
- Hall, R. (2012). Late Jurassic-Cenozoic reconstructions of the Indonesian region and the Indian Ocean. *Tectonophysics* 570-571, 1-41. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.04.021>.
- Kerkhof, Alfons., Kronz, A., Simon, K. (2014). Deciphering fluid inclusions in high-grade rocks. *Geoscience Frontiers*. Volume 5, Issue 5, p. 683-695.
- Metcalfe, I. (2017). Tectonic evolution of Sundaland. *Bull. Geol. Soc. Malaysia* 63, 27-60. <https://doi.org/10.7186/bgsm63201702>
- Ohyama, H., Tsunogae, T. (2008). Fluid inclusions study of Abukuma metamorphic rocks from the Hanazono district, northeast Japan. *J. Mineral. Petrol. Sci.* 102, 325-336. <https://doi.org/10.2465/jmps.061113>
- Patonah, A., Permana, H. (2018). Basement characteristic Western Part of Java, Indonesia; case study in Bayah Area, Banten Province. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.* 8, 2135-2141. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.5.5907>
- Patonah, A., Syafri, I., Yuningsih, E.T., Murphy, D. (2022). Historical metamorphism of mica schist in Bayah Dome, Western Java, Indonesia: Fluid Inclusion Study. *Journal of Engineering Science and Technology*. The Seventh Annual Applied Science and Engineering Conference 2022, p. 42-53.
- Penniston-Dorland, S. (2024). Fluids in metamorphic systems. *Treatise on Geochemistry* (Third Edition). Vol. 2, p. 495-531. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99762-1.00040-1>.
- Pirajno, F. (2009) *Hydrothermal Mineral Deposits, Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist*. 1992 Edition, Springer, p. 706.
- Prihatmoko, S., Idrus, A. (2020). Low-sulfidation epithermal gold deposits in Java, Indonesia: Characteristics and linkage to the volcano-tectonic setting. *Ore Geol. Rev.* 121, 103490. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103490>.
- Roedder, E. (1984). Fluid inclusion, *Reviews in Mineralogy*. Mineral. Soc. Am. 12, 646.
- Sudjatmiko and Santosa. (1992). *Peta Geologi Lembar Leuwidamar skala 1:100.000*. Bandung.
- Sukarna, D., Mangga, S.A. and Brata, K. (1993). Geology of the Bayah area: implications for the Cenozoic evolution of West Java, Indonesia, *Geology of Society Malaysia*, 33, pp. 163-180.
- Yulianto, I., Hall, R., Clement, B., Elder, C.R. (2007). Structural and stratigraphic evolution of the offshore Malingping Block, West Java, Indonesia, in *Proceeding Indonesian Petroleum Association*, p. 13p. Available at: <https://doi.org/10.29118/ipa.2540.07.q.036>