

KARAKTERISTIK DAN TEMPERATUR BAWAH PERMUKAAN FLUIDA PANAS BUMI GUNUNG SLAMET DAN SEKITARNYA, JAWA TENGAH

Khilal Khoiri Polanunu¹, Johanes Hutabarat¹, Agus Didit Haryanto¹, Dewi Gentana¹

¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjajaran

email: hilalpolanunu@gmail.com / khilal17001@mail.unpad.ac.id

(Diterima: September 2021/Revisi: Oktober 2021 /Disetujui: November 2021)

ABSTRAK

Secara administratif daerah Gunung Slamet berada di Provinsi Jawa Tengah. Daerah tersebut memiliki potensi panas bumi. Tujuan penelitian untuk mengetahui karakteristik geokimia air (tipe, asal, dan kesetimbangan) dan perkiraan temperatur bawah permukaan (reservoir) panas bumi dengan menggunakan metode pengamatan di lapangan dan analisis data hasil laboratorium geokimia mata air panas. Hasil penelitian menunjukkan karakteristik fluida panas bumi dari MAPS dan MAPP13 memiliki tipe air bikarbonat sebagai *pheripiral waters*. MAPCB memiliki tipe air sulfat sebagai *steam heated water*, sedangkan MAPTH memiliki tipe air klorida berada pada kondisi *absorption of low B/Cl steam* dengan kandungan Cl dominan sebagai *matures waters*. MAPS, MAPCB, MAPP13 diinterpretasikan berasal dari fluida yang terbentuk pada kondisi *absorption of high B/Cl steam* dengan kandungan B dominan yang menandakan fluida panas bumi saat bergerak ke permukaan berinteraksi dengan batuan samping yang dilaluinya. Selain itu MAPS, MAPCB, dan MAPP13 masuk ke dalam zona *immature waters* dengan kandungan Mg yang tinggi. Hal ini menandakan ketiga mata air panas tersebut telah mengalami pencampuran dan pengenceran yang intensif dari air tanah dangkal yang kaya akan Mg. Berdasarkan perbedaan konsentrasi rasio Cl/B pada keempat mata air panas, diinterpretasikan di daerah penelitian memiliki dua reservoir, yaitu reservoir A (MAPS dan MAPP13) dan reservoir B (MAPCB dan MAPTH). Kemudian berdasarkan hasil perhitungan geotermometer fluida diperkirakan temperatur reservoir A berkisar 149°-158°C, sedangkan temperatur reservoir B berkisar 89°-116°C.

Kata kunci: Gunung Slamet, Manifestasi Panas Bumi Permukaan, Karakteristik Fluida Panas Bumi, Geotermometer Fluida, Temperatur Bawah Permukaan.

ABSTRACT

Administratively the area of Mount Slamet is located in Central Java Province. The area has geothermal potential. The purpose of research is to find out the geochemical characteristics of water (type, origin, and equilibrium) and estimate of subsurface temperature (reservoir) geothermal by using methods of observation in the field and analysis of data from the geochemical laboratory results of hot springs. The results showed that the characteristics of the geothermal fluids type from MAPS and MAPP13 were bicarbonate water with the condition as *pheripiral waters*. MAPCB as a chloride sulphate water type with conditions as *steam heated water*, while MAPTH as a chloride water type in *absorption of low B/Cl steam* conditions with dominant Cl content become mature water. The origin of the MAPS, MAPCB, MAPP13 fluids are formed under conditions of *absorption of high B/Cl steam* with a dominant B content which are interpreted as originating from geothermal fluid, and when they moving to the surface the fluid interacts with the side rocks in its path. In addition, MAPS, MAPCB, MAPP13 are also included in the *immature waters* zone with high Mg content. This indicates that the three hot springs have intensive experienced mixing and dilution of shallow groundwater rich in Mg. Then, based on the difference in the concentration ratio of Cl/B in hot springs, the research area is interpreted have two reservoirs, namely reservoir A and reservoir B. Then, based on the calculation of the fluid geotermometer, it is estimated that reservoir A has temperature ranges from 149° -158°C, while reservoir B has temperature ranges from 89° -116°C.

Keywords: Mount Slamet, Surface Geothermal Manifestations, Characteristics of Geothermal Fluids, Geotermometer Fluids, Subsurface Temperature.

1. PENDAHULUAN

Indonesia terkenal dengan sebutan *ring of fire* atau cincin api yaitu daerah yang sering mengalami gempa bumi dan letusan gunung berapi, yang mengelilingi cekungan Samudra Pasifik, cincin api tersebut melingkar melewati pulau Sumatra, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi Utara, dan Maluku. *Ring of fire* ini dihasilkan akibat tumbukan antar lempeng yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Panas bumi adalah sumber daya alam berupa energi panas yang terbentuk dibawah permukaan bumi. Sumber energi panas berasal dari interaksi pemanasan batuan dan air dengan unsur lain yang terperangkap di reservoir (Armstead, 1983).

Daerah penelitian terletak pada daerah Gunung Slamet dan sekitarnya Provinsi Jawa Tengah. Secara geografis daerah Gunung Slamet berada pada koordinat $108^{\circ} 53' 50''$ BT - $109^{\circ} 15' 35''$ BT dan $7^{\circ} 26' 09''$ LS - $7^{\circ} 04' 34''$ LS (Gambar 1). Manifestasi mata air panas merupakan salah satu indikasi adanya potensi sumber daya panas bumi yang dapat dikaji melalui karakteristik fluida dan perkiraan temperatur bawah permukaan (reservoir) menggunakan analisis geokimia fluida panas bumi. Secara fisiografis, Gunung Slamet berada di Zona Gunung Api Kuarter yang di sekitarnya merupakan Zona Serayu utara (Bemmelen, 1949).

Geokimia panas bumi merupakan salah satu metode yang digunakan dalam melakukan eksplorasi panas bumi, dimana pada metode ini menggunakan manifestasi yang muncul pada permukaan dan dilakukan perhitungan berdasarkan komponen kimia dari air, gas dan batuan yang berada pada suatu daerah yang menjadi tempat penelitian. Karakteristik kimia air maupun gas dari suatu lapangan panas bumi merupakan informasi yang sangat penting tentang kondisi maupun hidrologi yang terdapat pada reservoir itu sendiri.



Gambar 1 Peta lokasi Penelitian

2. GEOLOGI REGIONAL

Berdasarkan peta geologi Lembar Purwokerto – Tegal (Djuri, dkk., 1996) dan peta geologi Lembar Majenang (Kastowo & Suwarna, 1996) daerah penelitian tersusun atas sebelas satuan batuan dengan urutan muda ke tua (Gambar 2) yaitu:

1. Aluvium (Qa)
Aluvium di daerah penelitian berupa kerikil, pasir, lanau, dan lempung, sebagai endapan sungai dan pantai, serta memiliki umur Holosen.
2. Endapan Lahar Slamet (Qls)
Terdiri atas lahar dengan bongkahan batuan gunung api bersusunan andesit – basal, bergaris tengah 10 – 50 cm yang oleh Gunung Slamet Tua.
3. Batuan Gunung Api Tak Terurai (Qvs)
Batuan yang terdapat pada daerah penelitian ini adalah berupa breksi gunung api, lava, dan tuff yang berumur Plistosen.
4. Lava Gunung Api (Qvls)
Satuan ini tersusun oleh lava basalt dan andesit berongga yang tersebar di sepanjang lereng timur Gunung Slamet. Formasi ini menumpang secara tidak selaras di atas Formasi Halang.
5. Formasi Gintung (Qpg)
Pada formasi ini terdapat perselingan konglomerat bersusunan andesit dengan batupasir kelabu kehijauan, batupasir gampingan, batu lempung pasir, dan batulempung dengan umur Pliosen Tengah - Akhir.
6. Formasi Tapak (Tpt)
Batuan penyusun formasi ini berupa batu pasir kasar berwarna kehijauan dan konglomerat, setempat dijumpai breksi dengan umur Pliosen Awal.
7. Formasi Kaliglagah (Tpg)
Pada bagian atas pada formasi ini terdiri dari batupasir kasar dan konglomerat, yang mengandung fosil moluska air tawar dan mamalia. Bagian bawah satuan tersusun dari batulempung hitam, napal hijau, konglomerat dan batupasir yang umumnya memperlihatkan struktur silang-siur dengan umur Pliosen Akhir.
8. Formasi Kalibiuk (Tpb)
Pada bagian bawahnya tersusun dari batulempung dan napal biru fosil, bagian tengah mengandung lensa-lensa batupasir hijau dengan moluska yang melimpah, umur Pliosen Awal – Akhir.
9. Formasi Kumbang (Tmpk)
Pada bagian bawah dari formasi ini terdiri dari breksi dengan komponen yang menyudut, dan ditemukan lapisan lava andesit, sedangkan di atasnya terdiri dari tuf yang berseling-seling dengan breksi dan batu pasir tufan. Formasi ini berumur Miosen Akhir
10. Formasi Halang (Tmph)
Formasi ini terdiri dari batupasir, andesit, konglomerat tufan dan napal yang bersisipan batupasir andesit. Formasi ini mengandung foraminifera kecil yang menunjukkan umur Miosen Akhir. Formasi ini memiliki umur Miosen Tengah – Miosen Akhir.

11. Formasi Rambatan (Tmr)

Formasi Rambatan ini terdiri atas serpih, napal dan batupasir gampingan. Napal berselang-seling dengan batupasir gampingan berwarna kelabu muda. Berumur Miosen Tengah.

Terdapat 3 (tiga) pola struktur dominan yang berkembang di Pulau Jawa (Pulunggono & Martodjojo, 1994), diantaranya:

1. Pola Meratus

Berarah Timur Laut – Barat Daya yang merupakan pola tertua dan terbentuk pada 80 – 53 juta tahun yang lalu (Kapur Akhir – Eosen Awal).

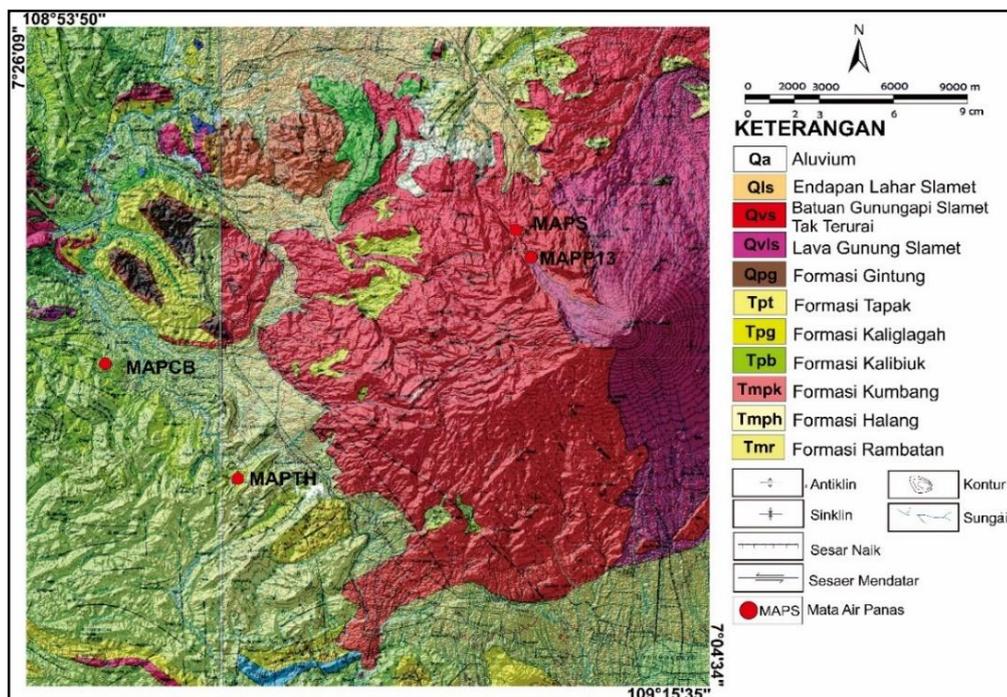
2. Pola Sunda

Berarah utara – selatan yang terbentuk pada 53 – 32 juta tahun yang lalu (Eosen Awal – Oligosen Awal).

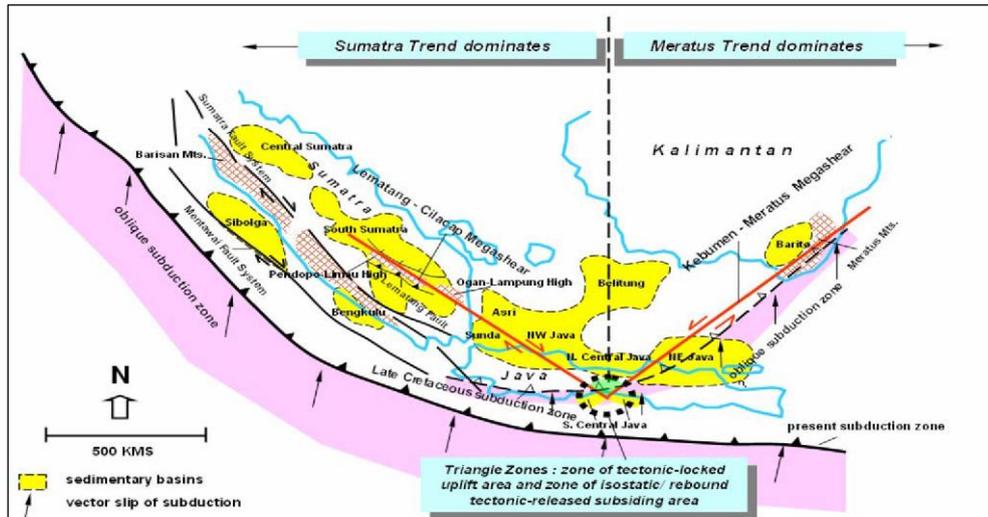
3. Pola Jawa

Berarah Barat – Timur merupakan pola struktur termuda yang terbentuk pada Kala Neogen yang mengaktifkan pola sebelumnya dan mengakibatkan Pulau Jawa mengalami pola kompresi dengan tegasan berarah utara – selatan.

Terdapat arah lain di luar ketiga arah dominan pola struktur Jawa Tengah, yaitu arah Sumatra (barat laut – tenggara) (Untung & Sato, 1978). Arah Sumatra dengan umur Kapur Akhir – Paleosen terutama terdapat di Jawa Barat dan menghilang di sebelah timur Jawa Tengah, hal sebaliknya berlaku untuk struktur – struktur arah Meratus yang sangat dominan di Laut Jawa sebelah utara Jawa Timur (Satyana & Purwaningsih, 2002) (Gambar 3).



Gambar 2 Peta Geologi Regional Daerah Penelitian (Modifikasi dari Peta Geologi Lembar Purwokerto – Tegal (Djuri, dkk.,1996) dan Peta Geologi Lembar Majenang (Kastowo & Suwarna, 1996).



Gambar 3 Pola Struktur Indonesia Bagian Barat Memperlihatkan Posisi Tektonik Jawa Tengah dan Dua Sesar Mendatar Regional yang Mengapitnya (Satyana & Purwaningsih, 2002)

3. METODOLOGI

Pada penelitian ini dilaksanakan dengan jangka waktu enam bulan, dimulai dari bulan November 2020 sampai bulan Mei 2021. Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: kompas, GPS, pH meter, plastik sampel, HCl, palu geologi, termometer air, stopwatch, kamera, botol sampel, buku lapangan, peta *shuttle radar topography mission – digital elevation model* (SRTM-DEM) dan peta rupa bumi Indonesia (RBI).

Observasi lapangan dilakukan pengamatan batuan, morfologi, indikasi struktur geologi dan keberadaan, serta sifat fisik manifestasi panas bumi. Analisis laboratorium pada empat sampel air panas dilakukan untuk mendapatkan nilai konsentrasi unsur kimia fluida panas bumi. Pengambilan sampel air panas dilakukan sesuai dengan prosedurnya yaitu air dimasukkan ke dalam botol yang sudah dibilas. Pastikan tidak terbentuk gelembung udara di dalam botol kemudian tutup rapat botol, pastikan tidak ada udara yang masuk. Kemudian diberi label sesuai dengan lokasi pengambilan.

Dari hasil analisis kimia air kemudian diploting ke dalam 3 diagram segitiga. Diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ untuk menentukan tipe fluida, diagram segitiga Cl-Li-B untuk memperkirakan asal dan pergerakan fluida dan diagram segitiga Na-K-Mg untuk mengetahui kesetimbangan fluida.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian untuk mengetahui karakteristik (tipe, asal dan kesetimbangan) fluida panas bumi berdasarkan data hasil analisis laboratorium geokimia dari 4 (empat) lokasi sampel mata air panas Sigeong (MAPS), Cipanas Buaran (MACB), Pancuran 13 (MAPP13) dan Tirta Husada (MAPTH). Untuk menentukan tipe, asal dan kesetimbangan fluida panas bumi digunakan senyawa Cl, SO₄, HCO₃, Li, B, Na, K dan Mg yang sudah di persentasekan (Tabel 1).

Tabel 1 Konsentrasi ppm dan Persentase Unsur/Senyawa Cl, SO₄, HCO₃, Li, B, Na, K dan Mg

Mata Air Panas	Konsentrasi ppm (mg/L)							
	Cl	SO ₄	HCO ₃	Li	B	Na	K	Mg
MAPS	31,83	52,76	425,35	0,06	4,66	96,47	26,20	34,20
MAPCB	37,52	2,79	38,25	0,01	3,73	49,00	0,58	0,17
MAPP13	15,39	38,21	367,40	1,44	17,42	46,04	20,21	34,20
MAPTH	428,68	4,30	19,24	3,73	0,02	186,08	2,79	0,00
Mata Air Panas	Persentase (%)							
	Cl	SO ₄	HCO ₃	Li	B	Na	K	Mg
MAPS	5,34	23,27	71,39	7,48	72,66	1,55	4,22	94,22
MAPCB	29,87	39,68	30,45	1,51	70,23	10,49	1,24	88,27
MAPP13	2,94	26,99	70,07	3,55	82,79	0,76	3,32	95,93
MAPTH	82,52	13,77	3,70	5,99	18,46	86,96	13,04	0,00

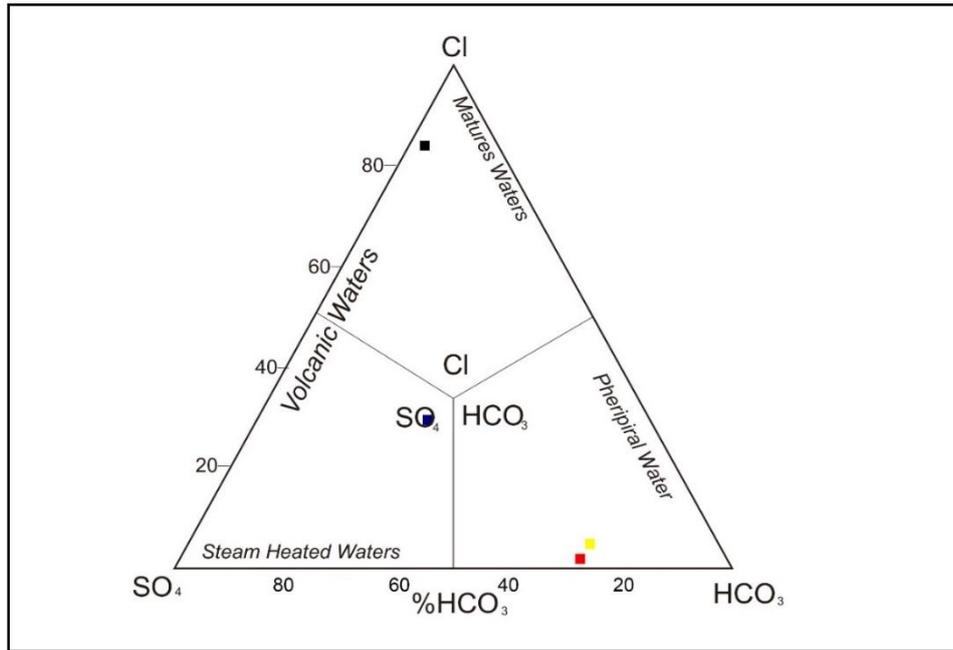
Tipe Fluida

Dalam menentukan karakteristik tipe air panas dilakukan plotting rasio berdasarkan unsur Cl-SO₄-HCO₃ yang diolah terlebih dahulu dengan menghitung nilai persentase dari masing-masing unsur/senyawa kimia dari keempat sampel tersebut (Tabe 1).

Berdasarkan hasil perhitungan dan hasil plotting pada diagram Cl-SO₄-HCO₃ (Gambar 4). Memperlihatkan MAPS dan MAPP13 termasuk ke dalam tipe air panas bikarbonat. Tipe air ini merupakan tipe fluida panas bumi yang terbentuk akibat kondensasi uap dan gas ke dalam air permukaan yang minim oksigen. Kandungan HCO₃ yang relatif tinggi pada kedua mata air panas dapat terjadi karena uap yang kaya akan karbondioksida (CO₂) terkondensasi relatif dekat ke permukaan dan menyebabkan kandungan HCO₃ lebih dominan dibanding dengan unsur Cl dan SO₄.

Pada MAPCB, menunjukkan rasio konsentrasi antara HCO₃, Cl, dan SO₄, relatif berimbang, yaitu Cl=29,87%, SO₄=39,68%, HCO₃=30,45%. Menurut Nicholson, (1993) tipe klorida-sulfat dapat terbentuk dari interaksi antara air klorida dan air sulfat di bawah permukaan yang telah mengalami pencampuran (*mixing*) dengan air permukaan yang kaya akan HCO₃, dimana hidrogen sulfida (H₂S) dalam air klorida teroksidasi menjadi ion sulfat (SO₄²⁻). Konsentrasi kandungan unsur Cl dan SO₄ relatif seimbang menandakan mata air panas dikontrol kegiatan vulkanik dimana uap tekondensasi menjadi air di permukaan dan memiliki konsentrasi SO₄ yang tinggi pada manifestasi permukaan dikarenakan kondensasi uap air di permukaan, dan akan meningkat seiring dengan peningkatan proses oksidasi H₂S. Terdapatnya kandungan klorida yang relatif seimbang dengan kandungan SO₄, diperkirakan kemunculan mata air panas MAPCB sebagai *upflow* dari suatu sistem panas bumi dan dipengaruhi proses kondensasi dari aktifitas vulkanik.

Pada MAPTH berada pada posisi mengarah dan mendekati ke puncak segitiga Cl sebagai tipe air klorida. Mata air panas klorida (Cl) terbentuk sebagai *mature water* dengan kandungan Cl=82,52%, lebih dominan dibandingkan dengan kandungan SO₄ dan HCO₃.



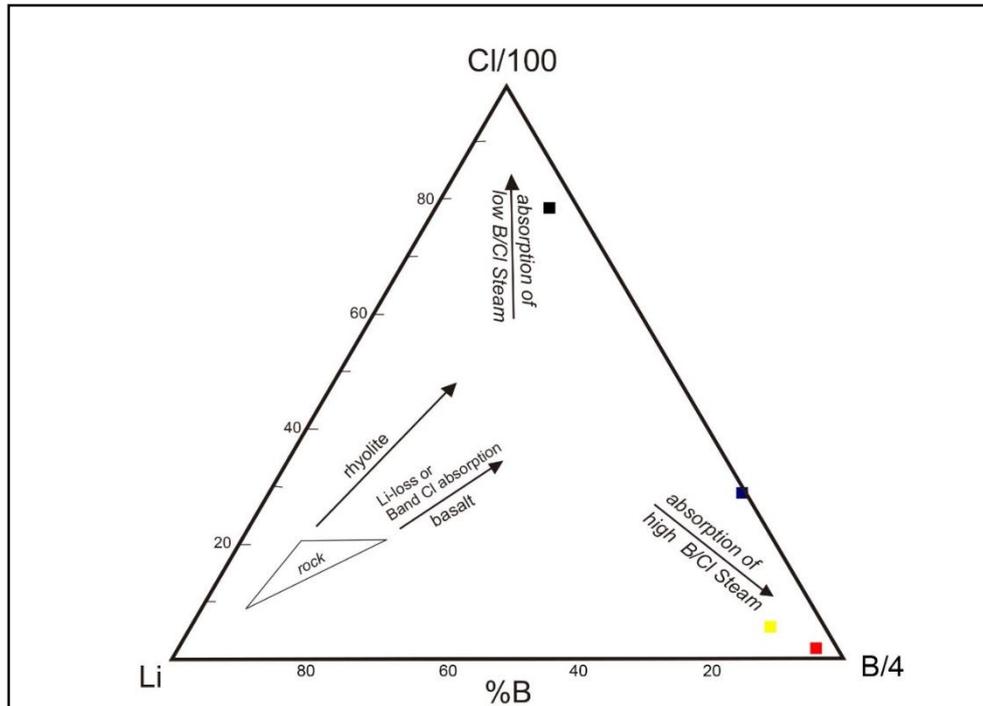
Gambar 4 Tipe air panas daerah penelitian pada segitiga Cl-SO₄-HCO₃ (Giggenbach,1988)

Asal Air Panas Bumi

Hasil perhitungan kandungan Cl-Li-B yang didapatkan dari data analisis laboratorium geokimia yang kemudian diolah menjadi Cl/100, Li, dan B/4 untuk mendapatkan hasil persentase (%) dari masing - masing unsur Cl, Li dan B. Berdasarkan hasil perhitungan dan hasil plotting pada diagram segitiga Cl-Li-B (Gambar 5), sampel MAPTH berada pada kondisi B/Cl dan Li rendah dan muncul ke permukaan pada *absorption of low B/Cl steam*. Hal ini diinterpretasikan MAPTH merupakan air panas yg berasal dari reservoir panas bumi yang jauh di kedalaman bergerak lateral jauh ke permukaan mengalami pelarutan (*leaching*) dan pencampuran (*mixing*) serta mengalami pengenceran (*diluted*) dengan batuan samping yang dilaluinya.

Hasil plotting dan perhitungan pada diagram Cl-Li-B dari MAPS, MAPCB, dan MAPP13 berada pada kondisi “*absorption of high B/Cl steam*”, kandungan Cl lebih tinggi dari Li dan nilai rasio B/Cl relatif tinggi, diinterpretasikan mata air panas ini berasal dari reservoir yang telah dipengaruhi oleh air tanah dangkal (*meteoric water*) yang kaya akan boron. Terdapat sumber reservoir yang berbeda di daerah penelitian, diindikasikan oleh adanya konsentrasi rasio Cl/B, maka MAPS dan MAPP13 merupakan sistem panas bumi reservoir A yang memiliki konsentrasi rasio Cl/B sekitar 0,04 - 0,07 mg/L, sedangkan MAPCB dan MAPTH merupakan sistem panas bumi reservoir B memiliki konsentrasi rasio Cl/B sekitar 0,43- 4,47 mg/L.

Reservoir A yang memunculkan mata air panas MAPS dan MAPP13 sebagai reservoir panas bumi dengan kadar Cl relatif lebih minim dari kadar B dan sedikit Li. Melihat kondisi geologi dan terdapatnya perbedaan rasio Cl/B pada sistem MAPS dan MAPP13 (reservoir A) dengan MAPCB dan MAPTH (reservoir B), diinterpretasikan ke duanya berasal dari suatu reservoir yang berbeda (perbedaan “usia” sistem panas bumi). Sistem panas bumi yang dianggap lebih tua umumnya memiliki rasio Cl/B yang lebih rendah (Giggenbach, 1991).



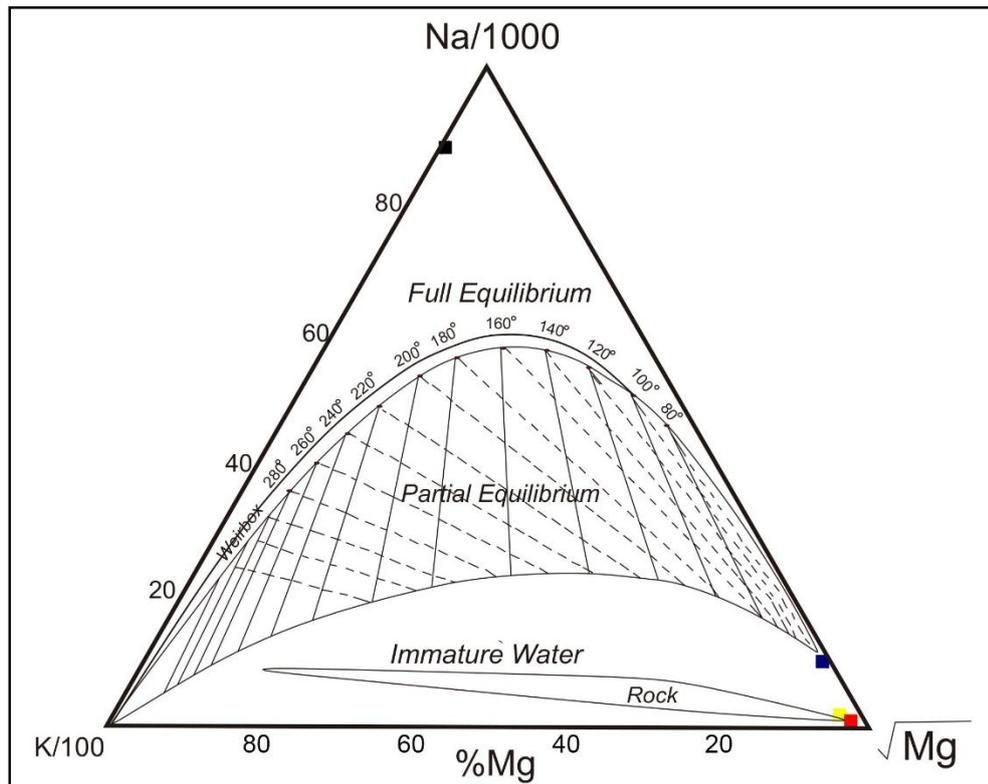
Gambar 5 Diagram segitiga Cl-Li-B (Giggenbach,1988)

Kesetimbangan Air Panas Bumi

Dari data hasil analisis laboratorium geokimia air dilakukan perhitungan nilai $\text{Na}/1000$, $\text{K}/100$, dan $\sqrt{\text{Mg}}$ (Tabel 1) yang kemudian diolah untuk menghasilkan nilai persentase (%) dari ketiga unsur dan diplot ke dalam diagram segitiga Na-K-Mg.

Berdasarkan hasil plotting unsur kimia air panas pada diagram segitiga Na-K-Mg (Gambar 6), memperlihatkan MAPS, MAPCB, dan MAPP13 pada zonasi konsentrasi Mg yang dominan dibandingkan dengan kandungan unsur Na dan K. Konsentrasi Mg yang relatif tinggi dikarenakan adanya peningkatan kandungan Mg pada fluida yang disebabkan oleh adanya proses pencampuran fluida panas dengan air tanah dangkal membentuk *immature water*. Kondisi *immature water* mengindikasikan bahwa batuan reservoir terletak pada kondisi temperatur dan tekanan yang tinggi dimana fluida sebelum sampai ke permukaan telah mengalami pengenceran dan peleburan yang cukup intensif oleh air tanah dangkal (*meteoric water*) yang kaya akan kandungan Mg.

Pada MAPTH menunjukkan konsentrasi Na yang dominan (86,96 mg/L) dimana mata air ini berada pada kondisi kesetimbangan penuh, hal ini diinterpretasikan dalam reservoir reaksi kimia antara Na dengan K merupakan reaksi kesetimbangan kimia sehingga rasio Na/K yang dihasilkan masih murni dalam kondisi reservoir. Unsur Na dan K merupakan unsur yang tidak mudah larut sehingga saat air bergerak ke permukaan, unsur Na dan K tidak akan bereaksi dengan batuan sekitar. Hasil plotting MAPTH pada diagram segitiga Na-K-Mg memperlihatkan mata air panas ini masuk ke dalam zona kesetimbangan penuh dimana MAPTH diasumsikan terbentuk pada kisaran temperatur yang relative sama dengan temperatur reservoir yaitu ; 140°-160°C, sedangkan pada MAPS, MAPCB, dan MAPP13 diasumsikan memiliki kisaran temperatur yaitu; 89°-116°C.



Gambar 6 Diagram segitiga Na-K-Mg (Giggenbach, 1988)

Perkiraan Temperatur Bawah Permukaan

Berdasarkan data hasil analisis geokimia laboratorium mata air panas dan karakteristik mata air panas kemudian dilakukan perhitungan geotermometer fluida melalui persamaan Silika (SiO_2) *no steam loss* dan Silika (SiO_2) *maximum steam loss* (Fournier & Rowe, 1977), untuk mata air panas MAPS dan MAPP13. Hasil perhitungan perkiraan temperatur reservoir A berkisar 149°C - 158°C , sedangkan berdasarkan persamaan Na-K (Giggenbach, 1988; Fournier, 1979), untuk mata air panas MAPCB dan MATH diperkirakan temperatur reservoir B berkisar 89°C - 116°C .

Secara keseluruhan hasil perhitungan temperatur perkiraan temperatur reservoir A dan B dapat dilihat pada tabel 2. Reservoir A masuk ke dalam kategori sistem panas bumi bersuhu sedang, sedangkan reservoir B masuk ke dalam kategori sistem panas bumi bersuhu rendah (Hochstein, 2000).

Terdapatnya perbedaan hasil perhitungan temperatur bawah permukaan dengan menggunakan geotermometer fluida, hal ini sangat dimungkinkan karena pada saat fluida panas bumi dari bawah permukaan (reservoir) suatu sistem panas bumi dalam perjalanannya ke permukaan mengalami kontaminasi dengan unsur-unsur kimia lainnya baik unsur kimia dari batuan maupun mengalami pencampuran (*mixing*) atau pengenceran (*diluted*) dengan fluida dangkal membentuk kesetimbangan baru. Sedangkan hasil perhitungan geotermometer gas, memperlihatkan adanya kesesuaian dengan hasil analisis mineral alterasi dan pengukuran temperatur bawah permukaan karena gas yang terkandung dalam fumarol merupakan keluaran langsung dari reservoir (Gentana, dkk., 2020).

Tabel 2 Hasil perhitungan geotermometer silika (SiO₂), dan geotermometer Na-K

Mata Air Panas	Geotermometer Silika (SiO ₂)		SiO ₂	
	<i>Maximum Steam Loss</i> (Fournier, 1977)	<i>No Steam Loss</i> (Fournier, 1977)		
MAPS	149°C	153°C	138,62	
MAPP13	150°C	158°C	141,54	
Mata Air Panas	Geotermometer Na-K		Na	K
	(Fournier, 1979)	(Giggenbach, 1988)		
MAPCB	89°C	105°C	49,00	0,58
MAPTH	100°C	116°C	186,08	2,79

5. KESIMPULAN

Karakteristik geokimia fluida di daerah Gunung Slamet dan sekitarnya, dibedakan atas dasar; tipe airnya yaitu: MAPS dan MAPP13 merupakan tipe air bikarbonat dengan kondisi *pheripiral water*, MAPCB merupakan tipe air sulfat klorida dengan kondisi *steam heated water*, MAPTH merupakan tipe air klorida dengan kondisi *mature water*. MAPS MAPP13 dan MAPCB terbentuk pada kondisi *absorption of high B/Cl steam* dan masuk ke dalam zona *immatures water*, sedangkan MAPTH terbentuk pada kondisi *absorption of low B/Cl steam* dan masuk pada zona kesetimbangan penuh. Reservoir A memiliki konsentrasi rasio Cl/B yang lebih rendah dari konsentrasi rasio Cl/B reservoir B, menunjukkan reservoir A lebih tua dibanding reservoir B. Berdasarkan perhitungan geotermometer fluida diperkirakan temperatur reservoir A berkisar 149° -158°C, sedangkan temperatur reservoir B berkisar 89° -116°C.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada jajaran pihak PPSDM yang memberikan kesempatan bagi penulis untuk menerbitkan tulisan ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih untuk para penelaah (*reviewer*) yang telah memberi masukan yang sangat bermanfaat dalam tulisan ini. Terima kasih juga untuk seluruh pihak yang membantu dan mendoakan penulis dalam kelancaran menulis tulisan ini, semoga kebaikannya dibalas oleh Tuhan yang Maha Esa.

DAFTAR PUSTAKA

- Armstead, H. & Christopher, H. (1983). *Geothermal Energy: Its Past, Present and Future Contribution to The Energy Needs of Man*, E. & F.N Spon, New York.
- Bemmelen, R.W. Van. (1949). *The Geology of Indonesia*, Vol IA, The Haque Martinus Nijhoff, Netherland.
- Djuri, M., Samodra, H., Amin, T., & Gafoer, S. (1996). *Peta Geologi Lembar Purwokerto dan Tegal (Edisi Ke-2 ed.)*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Fournier, R. O. & Rowe, J. J. (1977). Estimation of Underground Temperatures from the Silica Content of Water from Hot Springs and Wet-Steam Wells. *American Journal of Science*, Vol. 264.
- Fournier, R. O. (1979). "A Revised Equation for The Na/K Geotermometer." California: U.S Geological Survey.

- Gentana, D., Haryanto, D.A., & Hutabarat, J. (2020). Geochemical and Isotope Analysis in Geothermal System of Mt. Rendingan and Its Surrounding, Lampung Province, Southern Part of Sumatra. *Proceeding 5th International Conferences of Geological Engineering Faculty (ICGEF 2020)*.
- Giggenbach, W.F. (1991). Chemical Techniques in Geothermal Exploration: In Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development. *UNITAR/UNDP Centre on Small Energy Resources*, p. 119-144.
- Giggenbach, W.F. (1988). Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Indicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol. 52 No.12, pp. 2749-2765.
- Hochstein, M.P. & Browne, P.R.L. (2000). *Surface Manifests of Systems with Volcanic Heat Source*. Encyclopedia of Volcanoes Academic Press, pp. 835-855.
- Kastowo, & Suwarna, N. (1996). *Peta Geologi Lembar Majenang, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Nicholson, K. (1993). *Geothermal Fluids, Chemistry & Exploration Techniques*, Berlin: Springer Verlag, Inc, pp. 1-18.
- Pulunggono, A., & Martodjojo, S. (1994). Perubahan tektonik Paleogen–Neogen merupakan peristiwa terpenting di Jawa. *Proceedings Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa*, (pp. 37-50).
- Satyana, A. & Purwaningsih, M.E.M (2002). Lekukan Struktur Jawa Tengah: Suatu Segmentasi Sesar Mendatar. *Basement Tectonic of Central Java: Indonesian Association of Geologist (IAGI) Yogyakarta – Central Java Section*.
- Untung, M., & Sato, Y. (1978). *Gravity and Geological Studies in Jawa, Indonesia*. Geological Survey of Indonesia, Bandung dan Geological Survey of Japan, Tokyo.