

Analisis Tipe Fluida Dan Geotermometer Reservoir Panas Bumi Berdasarkan Data Geokimia Air Daerah Gunung Pandan, Bojonegoro, Jawa Timur

Onggi Yudha Pratama¹, Hanindya Ramadhani¹, Herning Dyah K W¹, Paramita Tedja T¹

¹ Jurusan Teknik Geologi, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional

Korespondensi : onggi_zap@yahoo.co.id

ABSTRAK

Gunung Pandan merupakan salah satu gunungapi yang terletak di Kabupaten Bojonegoro, Provinsi Jawa Timur yang muncul pada awal Pleistosen – Kuartar (Dyuffjes, 1938 dalam van Bemmelen, 1949). Manifestasi panas bumi berupa mata air panas dan *mudpool* membuktikan adanya potensi energi panas bumi yang ada di daerah tersebut. Untuk itu perlu adanya suatu penelitian untuk mengetahui potensi panas bumi di Gunung Pandan melalui manifestasi permukaan yang ada salah satunya dengan analisis geokimia fluida manifestasi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini berupa pengambilan sample air berdasarkan prosedur menurut Nicholson (1993) yang kemudian dilakukan analisis kimia air. Berdasarkan analisis jenis aliran, fluida manifestasi panas bumi Gunung Pandan berada pada zona *outflow* dengan proses yang berkembang di bawah permukaan berupa aliran lateral, pencampuran dengan air tanah, dan pendinginan secara konduktif. Sedangkan untuk tipe fluida yang ada di Gunung Pandan berdasarkan *ternary diagram* Cl – SO₄ – HCO₃ berupa *chloride water* dan *dilute chloride water*. Berdasarkan geotermometer Na-K-Mg, suhu bawah permukaan berkisar pada 160-190°C. Namun dikarenakan fluida panas bumi berasosiasi dengan travertine maka dilakukan penghitungan geotermometer Na-K-Ca dengan koreksi Mg, hasilnya diperoleh suhu reservoir berkisar 90°C dan termasuk pada sistem panas bumi bersuhu rendah. Penyelidikan bawah permukaan diperlukan untuk mengetahui lebih lanjut tentang sistem panas bumi Gunung Pandan.

Kata kunci: geokimia, Gunung Pandan, panas bumi, geotermometer

ABSTRACT

Mount Pandan is one of the volcanoes located in Bojonegoro Regency, East Java Province which appeared at the beginning of the Pleistocene - Quaternary (Dyuffjes, 1938 in van Bemmelen, 1949). Geothermal manifestations such as hot springs and mudpool prove the potential of geothermal energy in the area. This is the reason for the authors to research geothermal potential in Mount Pandan. The method used in this study is water sampling based on procedures according to Nicholson (1993), which was then carried out by chemical analysis of water. Based on the type of flow analysis, Mount Pandan's geothermal geothermal manifestations are in the outflow zone with processes that develop below the surface in the form of lateral flow, mixing with groundwater, and conductive cooling. As for the type of liquid present on Mount Pandan based on the ternary diagram Cl - SO₄ - HCO₃ in the form of chloride water and dilute chloride water. Based on the geotermometer Na-K-Mg, the subsurface temperature ranges from 160-190°C. However, because of the geothermal fluid associated with travertine, the Na-K-Ca geotermometer is calculated by Mg correction, the results obtained are reservoir temperatures ranging from 90°C and included in low temperature geothermal systems. Subterranean investigations are needed to find out more about the geothermal system of Mount Pandan.

Keyword : geochemistry, Mount Pandan, geothermal, geotermometer

1. PENDAHULUAN

Gunung Pandan terletak di Kecamatan Gondang, Kabupaten Bojonegoro, Provinsi Jawa Timur. Secara geografis berada pada koordinat 07°24'29.4" LS dan 111°46'02.7" BT, serta 07°29'36.2" LS dan 111°50'57.1"BT. Pada Peta Rupa Bumi Lembar Gondang 1508-521 berskala 1 : 25.000 (Gambar 1A) dan pada Peta Geologi Regional Lembar Bojonegoro 1508 – 5 skala 1 : 100.000. Pada tahun 2012, Dinas ESDM Jawa Timur menemukan manifestasi panas bumi di lereng utara Gunung Pandan. Kondisi ini memicu para peneliti untuk memahami lebih lanjut tentang Gunung Pandan khususnya di lereng bagian utara.

Keberadaan manifestasi panas bumi yang tersebar di sekitar Gunung Pandan berupa mata air panas dan lumpur panas membuktikan adanya potensi energi panas bumi yang ada di daerah tersebut. Untuk itu perlu adanya suatu penelitian untuk mengetahui potensi panas bumi di Gunung Pandan melalui manifestasi permukaan yang ada salah satunya dengan analisis geokimia fluida manifestasi.

Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui tipe fluida dan temperatur reservoir dari sistem panas bumi yang ada di Gunung Pandan. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi awal untuk penelitian yang lebih detail sehingga potensi panas bumi yang ada di Gunung Pandan dapat dipelajari secara maksimal.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini berupa pengambilan sampel air berdasarkan prosedur menurut Nicholson (1993) yang kemudian dilakukan analisis kimia air. Hasil dari analisis laboratorium tersebut kemudian dihitung *error analysis* atau *ion balance* untuk mengetahui tingkat validasi data.

3.1. Geologi Regional Daerah Penelitian

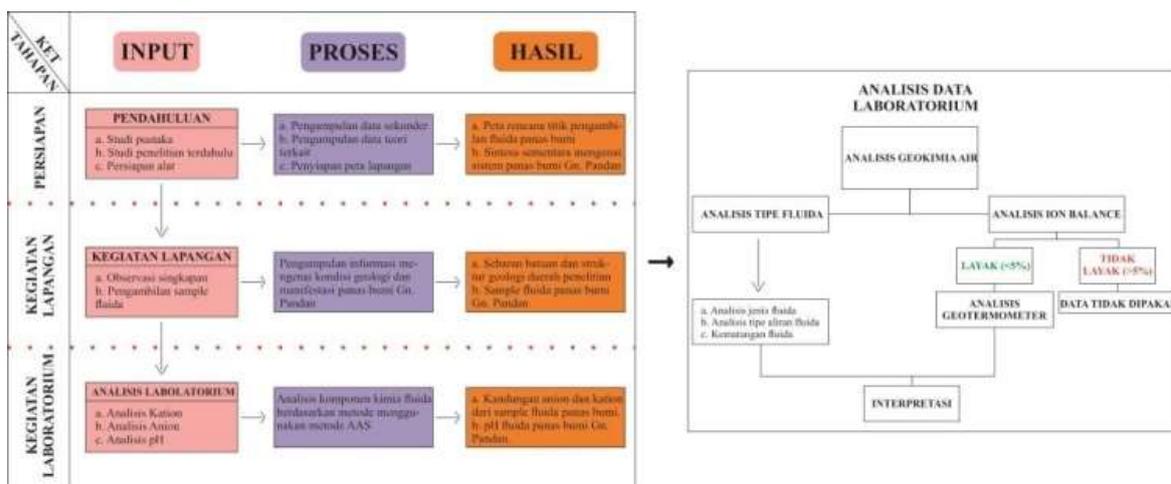
Ditinjau dari fisiografisnya, daerah penelitian termasuk ke dalam Zona Kendeng. Zona Kendeng meliputi deretan pegunungan dengan arah memanjang timur - barat (T-B) yang terletak langsung di sebelah utara Subzona Ngawi. Pegunungan ini tersusun oleh batuan sedimen laut yang telah mengalami deformasi secara intensif membentuk suatu antiklinorium (rangkainan perbukitan antiklin kecil yang tersusun secara paralel dan membentuk struktur antiklin lebih besar). Stratigrafi penyusun Zona Kendeng merupakan endapan laut dalam di bagian bawah yang semakin ke atas berubah menjadi endapan laut dangkal dan akhirnya menjadi endapan non laut. Endapan di Zona Kendeng merupakan endapan turbidit klastik, karbonat dan vulkaniklastik.



Gambar 1. Peta administrasi wilayah penelitian, BAKOSURNATAL (2000)

2. METODE PENELITIAN

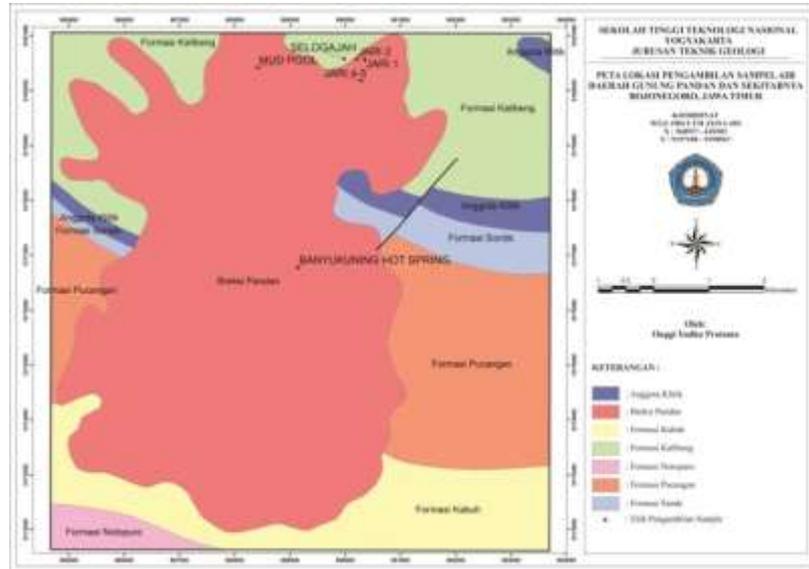
Dalam penelitian ini penulis menggunakan beberapa metode yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini. Metode - metode tersebut dijabarkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir metode penelitian

Pada tahap persiapan penulis melakukan studi pustaka, studi penelitian terdahulu, dan persiapan alat yang diperlukan saat di lapangan. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan observasi kondisi geologi di

lapangan dan melakukan pengambilan sampel. Pengambilan sampel dilakukan sesuai prosedur menurut Nicholson (1993) di 9 titik yang telah direncanakan (Gambar 3). Dari 9 titik pengambilan sampel fluida, 8 sampel merupakan titik pengambilan sampel mata air panas dan satu titik merupakan lokasi pengambilan sampel kolam lumpur (*mud pool*). Dari 9 sampel ini kemudian dimasukan ke laboratorium Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BBTKLPP) Yogyakarta untuk dilakukan uji laboratorium.



Gambar 3. Peta administrasi wilayah penelitian, BAKOSURNATAL (2000)

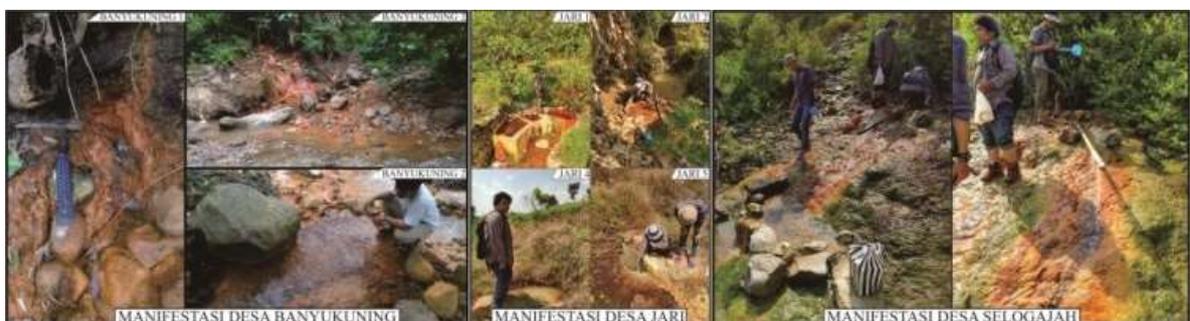
Data hasil uji laboratorium kemudian dianalisis persentase *ion balance* dari masing-masing sampel. Kemudian untuk mengetahui karakter fluida panas bumi, analisis yang dilakukan dengan memasukan hasil uji laboratorium ke dalam beberapa *ternary diagram* seperti, *ternary diagram Cl – SO₄ – HCO₃* (Simmons, 1989) untuk menentukan tipe fluida, *ternary diagram Na – K – Mg* (Simmons, 1989) untuk menentukan tingkat kematangan dan geotermometer reservoir, serta *ternary diagram C – Li – B* (Simmons, 1989) untuk menentukan asal fluida. Kemudian untuk analisis geotermometer menggunakan metode Na – K – Ca dengan koreksi Mg (Fournier dan Trudell, 1973).

3. HASIL DAN ANALISIS

Hasil analisis geokimia fluida panas bumi Gunung Pandan dibagi menjadi beberapa bagian, antara lain :

3.1. Manifestasi Fluida Panas Bumi Gunung Pandan

Sebagai gunung api yang pernah aktif, Gunung Pandan meninggalkan bukti bahwa masih menyimpan tenaga panas di bawah permukaan bumi dengan munculnya beberapa manifestasi fluida panas bumi di permukaan. Manifestasi fluida yang dijumpai di sekitar Gunung dan diambil sampelnya untuk di analisis ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Manifestasi fluida panas bumi di lereng utara Gunung Pandan.

Manifestasi mata air panas di Desa Jomblang (Banyukuning) umumnya berasosiasi dengan Fe dan lempung limonit (bewarna coklat). Hal ini kemungkinan terjadi akibat adanya pelarutan Fe di dekat

permukaan dari mineral yang ada di dalam batuan oleh zat asam yang tercampur di dalam air klorida (Nicholson, 1993). Untuk manifestasi di Desa Jari dibagi menjadi 4 lokasi pengambilan sampel dimana hampir di setiap lokasi memiliki karakteristik manifestasi yang sama. Pada manifestasi di Desa Jari umumnya masih di dominasi oleh endapan Fe/limonit clay di permukaannya walaupun tidak sebanyak yang ditemukan pada manifestasi Banyukuning. Selain itu pada manifestasi di Desa Jari memiliki aroma belerang yang kuat hingga lemah. Manifestasi panas bumi pada daerah Selogajah memiliki karakteristik yang tidak jauh berbeda dengan manifestasi di Desa Jari hanya saja pada manifestasi di desa Selogajah berasosiasi dengan endapan trevertine yang cukup melimpah. Hasil dari observasi data lapangan disajikan dalam Tabel 1.

Sampel	Suhu Sampel	Suhu udara / Kelembaban	Warna	Bau	DHL	TDS	Debit	pH Lapangan	Keterangan
Banyukuning 1	35C	29,8C / 68%	Bening	Karat	2682	1037 ppm	0,378 L/s	6	Endapan Limonit,trevertain
Banyukuning 2	35C	29C / 65%	Bening	Karat	2524	1276 ppm	0,3L/s	6	Endapan Limonit
Banyukuning 3	32C	29C / 67%	Bening	Karat	3056	1455 ppm	0,227L/s	7	Endapan Limonit
Jari 1	43C	31,8C / 55%	Bening	Belerang	6036	2500 ppm	2,38L/s	7	trevertine,endapan besi (karat)
Jari 2	43C	30C / 60%	Bening	Belerang tipis	9552	4776 ppm	0,118L/s	7.5	Endapan limonit,trevertine
Selogajah	55C	30,5C / 71%	Bening	Belerang	7264	3863 ppm	1,72L/s	8.5	Endapan limonit,trevertine
Jari 3	58C	35C / 49%	Bening	Belerang menyengat	6052	2995 ppm	2,11L/s	8.9	trevertine, sedikit silika
Jari 4	44C	36C / 44%	Sedikit keruh	tidak berbau	9300	4650 ppm	0,87L/s	4	Endapan besi
Kramat	46C	35,4C / 49%	abu-abu gelap	belerang menyengat	9404	5765 ppm	2,3L/s	8	berbau menyengat

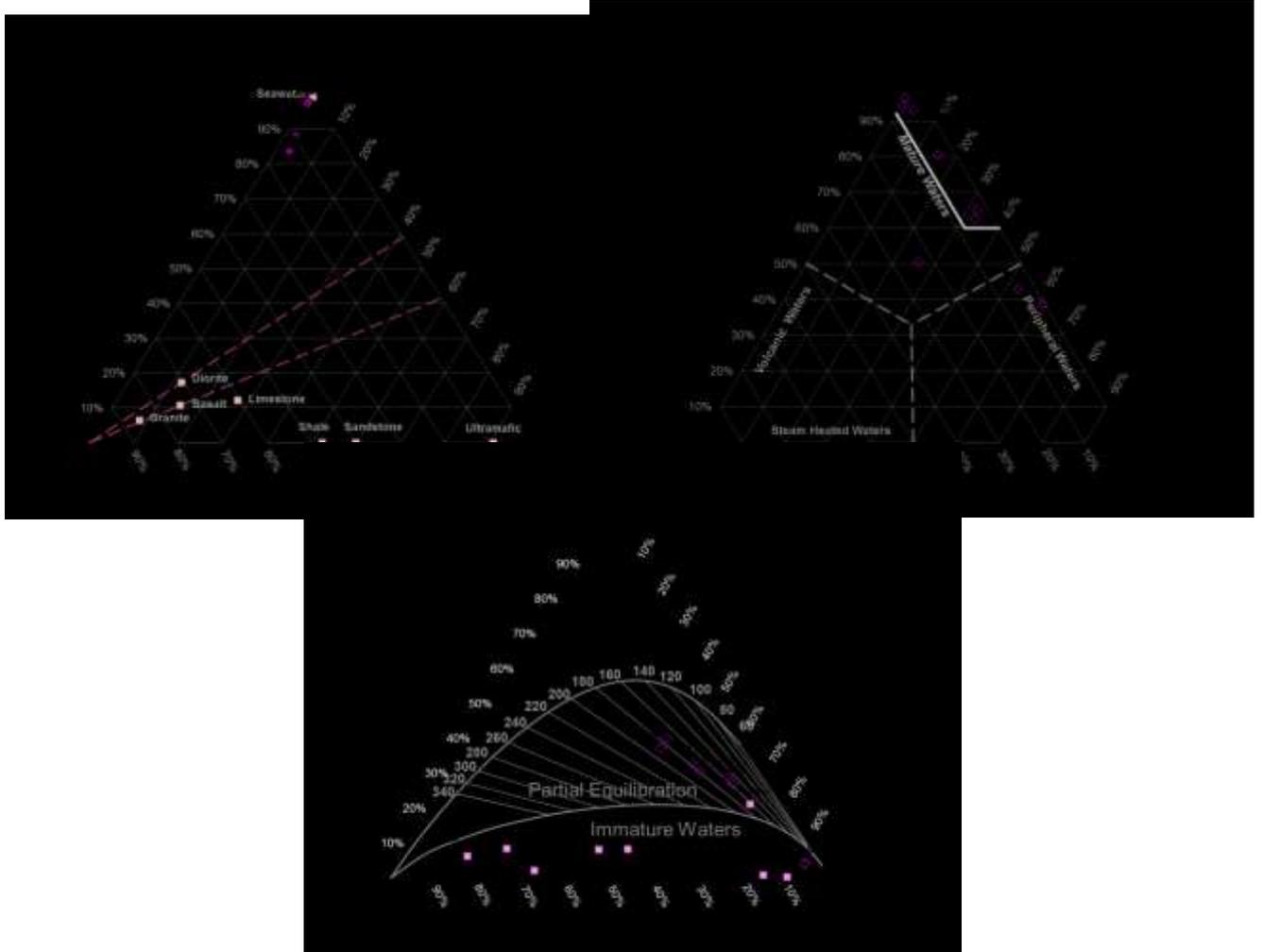
Tabel 1. Hasil observasi lapangan manifestasi fluida panas bumi Gunung Pandan.

3.2. Geoindikator dan tracer

Giggenbach (1988) membagi zat-zat terlarut dalam dua katagori yaitu tracer dan geoindikator. *Tracer* secara geokimia bersifat inert (misalnya Li, Rb, Cl dan B) yang bila ditambahkan ke dalam fluida akan bersifat tetap dan dapat dilacak asal usulnya. Geoindikator adalah zat terlarut yang bersifat reaktif dan mencerminkan lingkungan ekuilibrium/ kesetimbangan, misalnya Na dan K. Hasil dari analisis laboratorium (Tabel 2) kemudian masukan kedalam dimasukkan kedalam *tenary diagram* untuk dilakukan analisis geoindikator dan *tracer*, dengan hasil sebagai seperti pada Gambar 4.

Kode Sample	BK 01	BK 02	BK 03	JR 01	JR 02	JR 04	JR 05	JR 03	KRAMT 01
Lokasi	Banyukuning			Jari			Selogajah	Kramat	
pH	7.98	7.72	6.82	7.72	2.65	7	6.4	7.4	6.74
Li	-	-	-	0.28	0.53	-	0.42	-	-
Na	407.00	434.00	434	3481	7994	5,913.00	5,190.00	6025	9132
K	39	38	36	108	338	282	167	272	492
Ca	216	216	264	352	196	608	596	568	368
Mg	92.34	89.91	94.77	55.89	72.9	116.64	155.52	92.34	111.78
SiO ₂	9.40	10.32	11.982	11.211	12.899	14.382	11.402	12.064	23.441
B	-	-	-	<0.0120	<0.0120	-	<0.0120	-	-
Cl	639.80	629.80	924.7	4189.7	6897.9	5,398.30	4548.6	6,098.10	5498.3
F	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SO ₄	7.00	31.00	37	295	266	536	2141	227	309
HCO ₃	1,006.50	976.00	1037	2098.4	0	3824.7	3086.6	1878.8	28.7
Ion Balance	3%	30%	9%	5%	29%	5%	13%	26%	46%

Tabel 2. Hasil analisis geokimia fluida panas bumi Gunung Pandan.



Gambar 4. Hasil analisis pada ternary diagram. (A) ternary diagram Cl – Li – B , (B) ternary diagram Cl – HCO₃ – SO₄ (C) ternary diagram Na – K – Mg

Berdasarkan nilai presentase ion klorida (Cl), litium (Li) dan boron (B) pada sampel mata air panas yang telah dianalisis kandungan unsur-unsur kimianya, menunjukkan bahwa mata air panas daerah penelitian didominasi oleh klorida (Cl) yang mengindikasikan bahwa fluida panas bumi berasal dari reservoir yang dalam. Kemudian dilihat dari perbandingan B/Li yang rendah. Hal ini menunjukkan bahwa daerah penelitian termasuk ke dalam zona *upflow* dari sistem panas bumi Gunung Pandan. Namun jika ditelaah lebih lanjut adanya litologi berfraksi halus (matriks dari breksi) dapat menyebabkan turunnya kandungan unsur B akibat terserap kedalam lempung. Penurunan kadar ini tentunya akan mengakibatkan *error* dalam penghitungan ratio B/Li. Hal ini dibuktikan dengan analisis Na-K-Mg dimana ratio perbandingan Na/K lebih dari 15 kali yang berarti fluida panas bumi lebih mengindikasikan adanya aliran lateral, pencampuran dengan air tanah, dan pendinginan secara konduktif atau secara tidak langsung merujuk ke wilayah/zona *outflow* (Nicholson, 1993). Kemudian jika dilihat dari rasio perbandingan B/Cl dimana nilai B yang rendah (<10ppm) maka dapat ditarik sebuah hipotesa bahwa reservoir daerah penelitian tidak berasosiasi dengan batuan sedimen yang kaya akan material organik melainkan berasosiasi dengan batuan vulkanik (Nicholson, 1993).

Berdasarkan hasil plotting pada diagram Cl-SO₄-HCO₃ (Simmons,1998) manifestasi fluida panas bumi di Desa Banyukuning 2 dan 3 (BK 02, BK 03) menunjukkan tipe fluida *dilute chloride water*. Hal ini dikarenakan kandungan unsur Cl pada manifestasi BK 02 dan 03 tidak terlalu besar (<700 mg/L), padahal pada umumnya tipe *chloride water* memiliki kandungan unsur Cl >1.000mg/L hingga 100.000mg/L (Nicholson, 1993). Pengenceran ini dapat berasal dari pencampuran dengan air tanah ketika fluida reservoir mengalir secara lateral atau mengalami kontak dengan batuan samping sehingga melarutkan semen dari batuan samping (Nicholson, 1993). Hal ini dibuktikan dengan adanya endapan *limonit clay* yang penulis interpretasikan sebagai hasil pelarutan semen dari batuan samping (breksi andesit).

Pada manifestasi air panas di Desa Jari 1 dan 2 (JR 1 dan JR 2) memiliki tipe fluida berupa *chloride water* dimana kandungan unsur Cl berkisar >4.000mg/L. Tipe fluida ini diinterpretasikan berasal dari dalam reservoir yang naik ke atas permukaan melalui rekahan yang ada. Sedangkan pada manifestasi air panas Jari

3 dan 4 (JR 4 dan JR 5) memiliki tipe fluida *dilute chloride water* yang berarti air dari reservoir telah mengalami pengenceran pada saat perjalanan menuju ke permukaan.

Hasil analisis fluida di Desa Selogajah (Selogajah) menunjukkan tipe fluida *chloride water* dimana kandungan unsur Cl berkisar pada 6.000mg/L. Sedangkan untuk manifestasi *mud pool* di Desa Kramat memiliki tipe fluida berupa *chloride water* dengan kandungan unsur Cl berkisar pada 5.400mg/L.

Dari hasil *plotting* pada diagram Na – K – Mg didapatkan hasil bahwa manifestasi fluida panas bumi di Desa Banyukuning (BK 1-3) termasuk ke dalam fluida yang masih *immature*. Hal ini ditunjukkan dengan kada Mg yang sangat tinggi pada hasil analisis laboratorium. Sehingga dapat diinterpretasikan bahwa fluida di Banyukuning masih dipengaruhi oleh (*meteoric water*) serta batuan sampung (*wall rock*). Sedangkan pada manifestasi di Desa Jari, Selogajah, dan Kramat menunjukkan tipe fluida berada pada *partial equilibration* yang berarti fluida tersebut menuju ke proses kesetimbangan dengan *host rock*. Sehingga pada fluida di ketiga lokasi penelitian dapat digunakan untuk analisis suhu reservoir meskipun belum sepenuhnya seimbang (*fully equilibrium*). Suhu bawah permukaan (reservoir) menurut *tenary diagram* diatas menunjukkan kisaran 160-190°C. Jika mengacu kepada klasifikasi menurut Banderiter dan Cormy (2000) suhu reservoir pada daerah penelitian termasuk kategori menengah.

3.3. Geotermometer

Dalam melakukan penghitungan geotermometer penulis membatasi data yang digunakan harus memenuhi syarat yaitu fluida panas bumi harus bertipe *chloride water* dengan tingkat kematangan minimal berupa *partial equilibrium* dan memiliki *ion balance* kurang dari 6%. Jika fluida panas bumi memenuhi syarat yang ada, kemudian dimasukkan ke dalam rumus penghitungan geotermometer. Rumus perhitungan geotermometer K-Na-Ca sebagai berikut :

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1647}{\left\{ \log\left(\frac{\text{Na}}{\text{K}}\right) + b[\log(\text{Ca}_2^1 / \text{Na}) + 2.06] + 2.47 \right\}} - 273$$

Dimana $t > 70^{\circ}\text{C}$ dengan Na, K, dan Ca = konsentrasi dalam (mg/kg)

Setelah dilakukan penghitungan dan koreksi Mg, didapatkan hasil perhitungan dengan geotermometer Na-K seperti pada Tabel 3.

Kode Sample	JR 01
Lokasi	Desa Jari
Na-K-Ca	148.2
R factor Mg corr	18.4
ΔTR<5	48.5
ΔTR>5	58.5
Na-K-Ca Mg Corr	89.7

Tabel 3. Hasil perhitungan geotermometer Na-K-Ca.

Dari hasil penghitungan geotermometer fluida panas bumi, didapatkan suhu 89.7°C pada manifestasi Jari 1 (JR 1). Hal ini mengindikasikan bahwa suhu reservoir cenderung rendah. Untuk manifestasi di tempat lain tidak penulis tampilkan karena tidak memenuhi syarat yang sudah dipaparkan sebelumnya.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis data geokimia fluida panas bumi yang ada di Gunung Pandan menunjukkan bahwa umumnya lokasi pengambilan sampel merupakan zona *outflow* dari suatu sistem panas bumi yang ada di Gunung Pandan dan sekitarnya. Ditinjau dari karakteristik tipe fluida, secara umum manifestasi panas bumi di Gunung Pandan bertipe *chloride water – chloride dilute water* dimana fluida bertipe chloride water berasal langsung dari reservoir meskipun pada kenyataannya sudah bercampur/bereaksi dengan air permukaan atau batuan sampung. Secara analisis geotermometer didapatkan panas bumi Gunung Pandan memiliki suhu reservoir 90°C yang termasuk dalam panas bumi suhu rendah. Secara pemanfaatan skala besar belum dapat digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga panas bumi. Hal didasarkan pada beberapa negara besar yang memanfaatkan energi panas bumi bersuhu tinggi hingga sedang sebagai energi pembangkit listrik atau Pembangkit Listrik Tenaga Panasbumi (PLTP).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. 2012. “*Laporan Pendahuluan Pekerjaan : Survey Pendahuluan Geologi, Geokimia, Geofisika Gunung Pandan (Kab. Nganjuk, Kab. Madiun, dan Kab. Bojonegoro) Provinsi Jawa Timur, Surabaya*” Report, 2012. (unpublished).
- [2] Giggenbach and Goguel. 1989. *Chemical Techniques in Geothermal Exploration*. Chemistry Division, DSIR, Private Bag, New Zealand
- [3] Goff, F. Dan Janik, C. J, 200, *Geothermal Systems*, in Sigurdsson, H., dkk., eds. *Encyclopedia of Volcanoes* : Academic Press, New York, p.817-834
- [4] Hochstein, M.P dan Browne, P.R.L., 2000. *Surface Manifestation Of Geothermal with Volcanic Heat Source*, In *Encyclopedia of Volcanoes*, H. Sigurdsson, B.F. Houghton, S.R. Mc Nutt, H. Rymer dan J. Stix (eds). Academic Press
- [5] Nicholson K. 1993. *Geothermal Fluids Chemistry and Exploration Technique*. School of applied sciences, the Robert Gordon University Aberdeen AB1 1HG, Scotlandia. United Kingdom.
- [6] Pringgoprawiro H., dan Sukido., 1992, *Peta Geologi Lembar Bojonegoro, Jawa*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- [7] Pringgoprawiro, H. (1983), *Biostratigrafi dan Paleogeografi Cekungan Jawa Timur Utara, Suatu Pendekatan Baru*; Disertasi Doktor. ITB, Bandung.
- [8] Sumayadi, Mamay. 2014. *Geokimia Panas Bumi Gunung Slamet Jawa Tengah*. Seminar Nasional Fakultas Geologi, Bandung. 1
- [9] Van Bemmelen, R.W., 1949, *The Geology of Indonesia*, vol.1.A : General Geology, Martinus Nijhof, The Hague, 684 hal.