



Vol. 13 No. 1 (2017) Hal. 43-49
p-ISSN 1858-3075 | e-ISSN 2527-6131

SISTEM PANAS BUMI DAERAH WANAYASA, BANJARNEGARA

GEOHERMAL SYSTEM OF WANAYASA REGION, BANJARNEGARA

Sachrul Iswahyudi

Email: sachrul.iswahyudi@unsoed.ac.id

Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik Unsoed

Abstrak— Terdapat keberadaan beberapa manifestasi panas bumi berupa kolam air panas di lokasi penelitian Daerah Wanayasa, Banjarnegara. Berdasarkan informasi awal tersebut, dilakukan penelitian di dua kolam air panas di lokasi penelitian, yaitu kolam air panas Kaliputih dan Tempuran, yang bertujuan mengetahui karakteristik sistem panas bumi di lokasi penelitian dan sekitarnya. Penelitian ini menggunakan metode geokimia untuk mengetahui beberapa parameter karakteristik fluida panas bumi yang membentuk Sistem Panas bumi Wanayasa. Sampel air panas bumi dari dua lokasi manifestasi Kaliputih dan Tempuran dianalisis di laboratorium untuk mengetahui tipe air, geoindikator, dan geotermometer panas bumi untuk mendapatkan informasi model sistem panas bumi Daerah Wanayasa. Manifestasi kolam air panas Kaliputih dan Tempuran termasuk tipe air panas bumi bikarbonat dan sulfat-klorida. Tipe air panas bumi tersebut diperkirakan terbentuk di daerah *outflow* dan *upflow* sistem panas bumi. Analisis geoindikator menunjukkan kedua air kolam air panas Kaliputih dan Tempuran berasal dari satu reservoir yang sama, yaitu Reservoir Tempuran. Analisis geotermometer menunjukkan Reservoir Tempuran memiliki temperatur 168°C. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui temperatur reservoir yang lebih akurat, asal dan *recharge area* air panas bumi di kedua lokasi tersebut untuk konservasi dan kelestarian sumberdaya alam ini.

Kata kunci — Sistem panas bumi, geokimia, geotermal, kolam air panas bumi, Banjarnegara.

Abstract— There are several geothermal manifestations in the form of hot pools at the research site of Wanayasa Region, Banjarnegara. Based on the preliminary information, research was conducted in two hot springs at the research site, the hot springs of Kaliputih and Tempuran, which aimed to find out the geothermal system characteristics in the research location and its surroundings. This study uses geochemical methods to determine some characteristic parameters that form the Wanayasa Geothermal System. Geothermal water samples from two locations manifestations of Kaliputih and Tempuran were analyzed in the laboratory to determine the types of water, geoindicators and geotermometers to obtain information Wanayasa geothermal system model. Kaliputih and Tempuran manifestations hot pools are included bicarbonate and sulfate-chloride water. Those geothermal water types are formed in the outflow and upflow areas of a geothermal system. Kaliputih and Tempuran hot pool manifestations are derived from the same reservoir, the Tempuran Reservoir namely. Geothermometer analysis shows that Tempuran Reservoir has 168°C of temperature. Further research is needed to determine reservoir temperatur which is more convincing, the origin of reservoir water and recharge areas of these two hot pools for the conservation and sustainability of these natural resources.

Keywords — Geothermal system, geochemistry, geothermal, hot water pools, Banjarnegara District.

I. PENDAHULUAN

Jumlah penduduk yang semakin tinggi, dan pembangunan yang semakin pesat, memerlukan sumber energi yang semakin tinggi pula. Kebutuhan energi tersebut memerlukan sumber-sumber energi baru selain mengoptimalkan yang telah ada sebelumnya. Indonesia secara geologis terletak pada pertemuan antar beberapa lempeng tektonik. Kondisi

tersebut memungkinkan keterdapatan rangkaian gunungapi di sepanjang batas antar lempeng tektonik tersebut. Rangkaian gunungapi merupakan indikasi awal keberadaan sumber panas bagi kemungkinan keberadaan sistem dan sumber energi panas bumi *high enthalpy*. Selain itu terdapat beberapa sistem *low enthalpy* yang juga potensial dikembangkan sebagai sumber energi baru dan terbarukan [1]. Sumber energi tersebut antara lain berupa energi

panas bumi yang ada di Daerah Wanayasa dan sekitarnya. Keberadaan sumber energi tersebut antara lain diindikasikan oleh keberadaan dua kolam air panas di daerah tersebut. Kedua kolam air panas tersebut adalah Kolam air panas Kaliputih dan Tempuran. Penelitian yang dilakukan sebelumnya menunjukkan kolam air panas Kaliputih memiliki tipe air panas bumi bikarbonat [2]. Analisis tersebut belum mencakup Kolam air panas Tempuran dan pembahasan karakteristik geoindikator, geotermometer dan zona-zona *upflow* dan *outflow* sistem panas bumi berdasarkan data laboratorium analisis air panas bumi. Penelitian ini diharapkan dapat melengkapi informasi-informasi yang belum tercakup tersebut.

II. LOKASI STUDI

Penelitian berada di lokasi sekitar Desa Wanayasa, Kecamatan Wanayasa, Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah. Pengambilan sampel air panas bumi dilakukan pada tanggal 11 Maret 2015. Penelitian difokuskan pada dua manifestasi panas bumi berupa kolam air panas. Kolam air panas pertama dan kedua berturut-turut adalah Kaliputih dengan koordinat lokasi 7°13'54,48" LS dan 109°43'49,68" BT dengan elevasi 1125 meter di atas permukaan laut dan Tempuran dengan koordinat 7°14'14,81" LS dan 109°44'23,19" BT dengan elevasi 1110 meter di atas permukaan laut. Lokasi penelitian dapat diakses menggunakan kendaraan roda dua atau empat dengan waktu tempuh sekitar 2 jam dari Kampus Teknik Unsoed. Hal ini seperti terlihat pada Gambar-1.



Gambar-1. Peta Lokasi Studi.

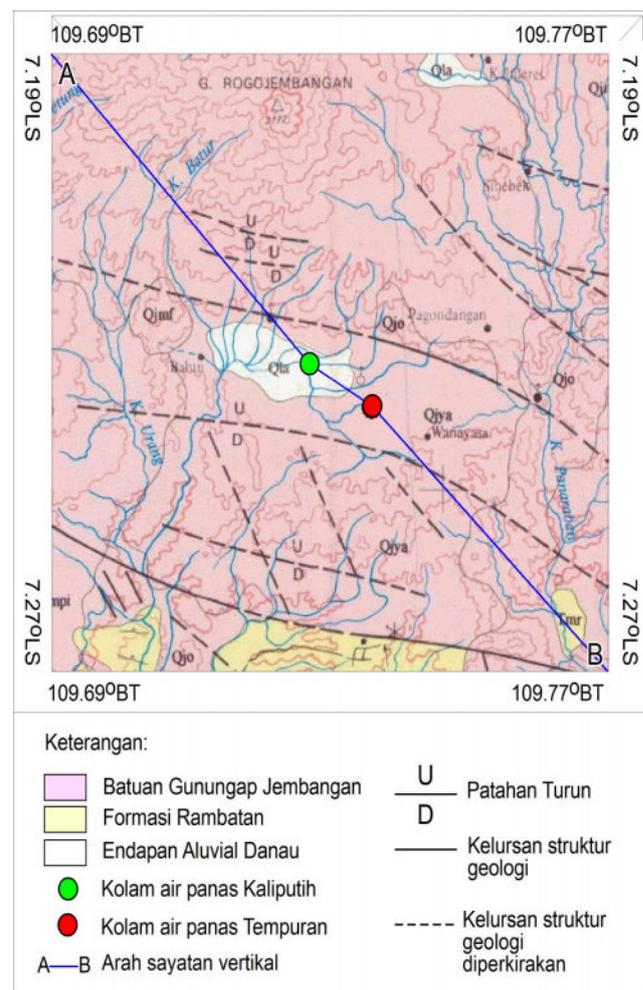
III. GEOLOGI REGIONAL

Secara regional daerah penelitian termasuk dalam Zona Serayu Utara [3]. Lokasi studi secara umum memiliki morfologi berupa perbukitan dan dataran produk gunungapi. Elevasi daerah penelitian

berkisar antara 1050-1400 meter dari permukaan laut. Tingkat kelerengan pada daerah perbukitan berkisar antara 30-20% dan 2% pada daerah dataran [4]. Secara regional lokasi penelitian tersusun atas litologi berikut ini, seperti terlihat pada Gambar-2 [5].

1. Batuan Gunungapi Jembangan, yang terdiri atas litologi lava andesit dan klastika gunungapi. andesit hipersten-augit, hornblenda, serta basalt olivin (Qjm, Qjo, Qjya, Qjmf).
2. Formasi Rambatan (Tmr), yang tersusun atas litologi batupasir gampingan, mengandung foraminifera kecil, dengan tebal lebih dari 300 meter.
3. Intrusi diorit berumur tersier (Tpd).

Litologi penyusun daerah penelitian secara regional merupakan endapan batuan Gunungapi Sindoro, Dieng, Jembangan, serta endapan aluvial danau. Stratigrafi daerah penelitian tersusun atas litologi breksi, aliran lava dan endapan aluvial produk erupsi gunungapi yang berumur kuartar [5].



Gambar-2. Peta Geologi Lokasi Studi [5].

IV. METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini, sebagai berikut.

1. Survei lapangan
 Pada metode ini dilakukan observasi manifestasi sistem panas bumi berupa dua kolam air panas, yaitu Kaliputih dan Tempuran. Hasil observasi direkam sebagai data dan informasi berupa temperatur, pH, dimensi dan karakteristik lain masing-masing kolam air panas tersebut. Pada metode ini juga dilakukan pengambilan sampel air panas bumi untuk analisis laboratorium *major element*. Sampel air panas bumi diambil dari pusat keluar air kemudian ditampung dalam botol sampel ukuran 500 mili liter dengan terlebih dahulu disaring dengan kertas saring untuk selanjutnya dianalisis di laboratorium kimia air.
2. Analisis laboratorium
 Sampel air panas bumi dari dua lokasi manifestasi Kaliputih dan Tempuran dilakukan analisis *major element* di Laboratorium Lingkungan, Fakultas Biologi, Unsoed. Unsur-unsur air panas bumi yang dianalisis meliputi anion (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Li^+) dan kation (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-). Data hasil analisis laboratorium ion-ion utama tersebut berupa nilai dengan satuan mg/L. Hasil analisis laboratorium tersebut kemudian diuji kelayakannya dengan analisis keseimbangan ion (*ion balance*). Hasil analisis dikatakan layak untuk digunakan untuk analisis lebih lanjut jika nilai keseimbangan ion kurang dari 5%.
3. Analisis Tipe Air Panas bumi
 Analisis ini dilakukan untuk mengetahui jenis dan genesa air panas bumi. Selanjutnya analisis ini digunakan untuk interpretasi zona *upflow* atau *outflow* sistem panas bumi. Analisis tipe air dilakukan dengan cara memetakan komposisi proporsional tiga komponen ion hasil analisis laboratorium, yaitu: Cl^- , SO_4^{2-} dan HCO_3^- .
4. Analisis Geoindikator
 Analisis ini dilakukan untuk mengetahui asal reservoir air panas bumi, apakah berasal dari satu atau lebih reservoir yang ada. Analisis ini dilakukan dengan cara memetakan ion-ion Cl^- , Li^+ dan B.
5. Analisis Geotermometer
 Analisis ini dilakukan untuk mengetahui temperatur reservoir bawah permukaan asal air panas bumi yang muncul di permukaan. Analisis geotermometer dilakukan secara grafis dengan

cara memetakan proporsi komposisi tiga ion-ion Na^+ , K^+ dan Mg^{2+} . Disamping itu, penentuan temperatur reservoir juga dilakukan dengan kompilasi data alterasi batuan dan metode geotermometer Silika dengan beberapa pertimbangan.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengamatan dan Observasi Lapangan

Pengamatan dan observasi lapangan mendapatkan informasi karakteristik manifestasi kolam air panas. Selain melakukan pengamatan, pada tahap ini juga dilakukan pengambilan sampel air panas bumi dari dua manifestasi tersebut. Hal ini seperti diuraikan pada Tabel-1, Gambar-3 dan Gambar-4 berikut ini.

Tabel-1. Karakteristik manifestasi panas bumi.

Manifestasi	Diskripsi Singkat Kolam Air Panas
Kolam Air Panas Kaliputih	Temperatur manifestasi kolam air panas kurang lebih 43°C. Luas kolam air panas ini memiliki luas sekitar 12,5 m ² , terdapat gelembung gas yang muncul di permukaan manifestasi, sedikit berbau belerang, terdapat endapan berupa belerang di sekitar kolam air panas, diperkirakan muncul melalui rekahan, memiliki pH 8,24.
Kolam Air Panas Tempuran	Temperatur manifestasi kurang lebih 37°C. Luas kolam air panas ini sekitar 24 m ² , terdapat gelembung gas yang muncul di manifestasi, sedikit berbau belerang di sekitar kolam air panas. Kolam air panas ini diperkirakan muncul melalui depresi dan rekahan, dengan pH 5,87.

B. Analisis Laboratorium Sampel Air Panas bumi

Analisis laboratorium air dari dua manifestasi panas bumi seperti terlihat pada Tabel-2 berikut ini. Analisis kesetimbangan ion (*ion balance*) terhadap hasil analisis laboratorium kedua sampel air panas bumi memiliki nilai kurang dari 1% untuk manifestasi Kaliputih dan 44% untuk manifestasi Tempuran (Tabel-2). Analisis laboratorium sampel air dikatakan layak dan akurat jika nilai *ion balance* kurang dari 5%, dengan anggapan telah terjadi kesetimbangan ion dalam sistem tersebut. Dengan demikian, sampel manifestasi Kaliputih dapat disimpulkan layak dan akurat untuk dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut (tipe air panas, geoindikator dan geotermometer reservoir panas bumi).



Gambar-3. Manifestasi kolam air panas Kaliputih.



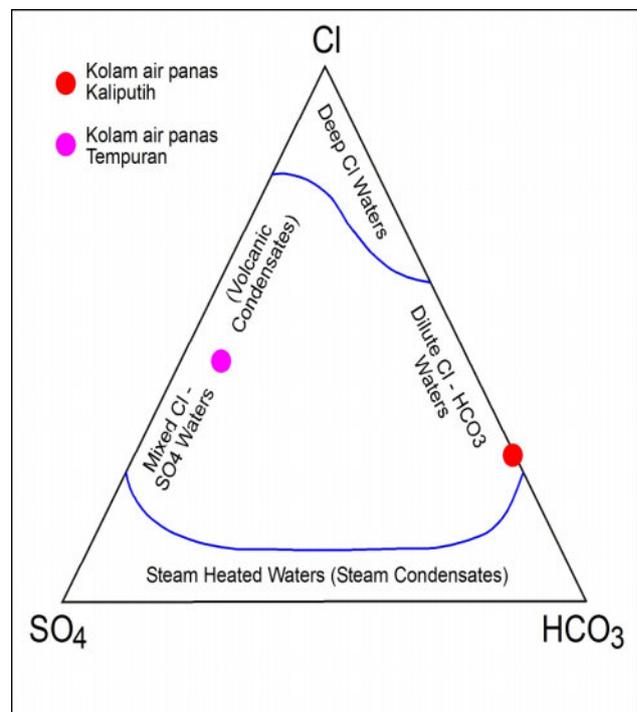
Gambar-4. Manifestasi kolam air panas Tempuran.

C. Tipe Air Panas bumi

Analisis tipe air panas bumi dilakukan berdasarkan data analisis laboratorium dari Tabel-2. *Plotting* proporsi komposisi dari ketiga unsur Cl^- , SO_4^{2-} dan HCO_3^- untuk analisis tipe air panas bumi. Seperti terlihat pada Gambar-5, sampel air panas bumi dari lokasi Kaliputih (berwarna merah) termasuk dalam tipe air bikarbonat dengan kandungan HCO_3^- dominan tapi memiliki komposisi Cl^- yang signifikan. Air panas bumi tersebut diinterpretasikan terjadi karena pengenceran air reservoir panas bumi oleh air meteorik dangkal (dilute $\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^-$ waters). Diinterpretasikan, air panas bumi dari lokasi ini terbentuk relatif jauh dari reservoir panas bumi (*outflow*) karena telah mengalami pengenceran oleh air meteorik.

Tabel-2. Hasil analisis laboratorium dan perhitungan *ion balance* air panas bumi manifestasi.

Lokasi	Kaliputih		Tempuran	
Parameter				
Suhu Air	43° C		37° C	
pH	8,2		5,9	
Parameter	(mg/L)	mol eq	(mg/L)	mol eq
SiO_2	165,0	-	135,0	-
B	5,9	-	0,2	-
Ca^{2+}	140,0	7,0	8,1	0,4
Mg^{2+}	133,0	10,9	0,5	0,0
Na^+	348,0	15,1	0,3	0,0
K^+	70,0	1,8	56,2	1,4
Li^+	2,6	0,4	0,1	0,0
Total mol eq kation		35,2		1,9
Cl^-	491,0	13,8	13,8	0,4
SO_4^{2-}	4,0	0,1	14,9	0,3
HCO_3^-	1348,0	22,1	2,2	0,0
Total mol eq anion		36,0		0,7
<i>Ion balance</i>		1,1		44,3



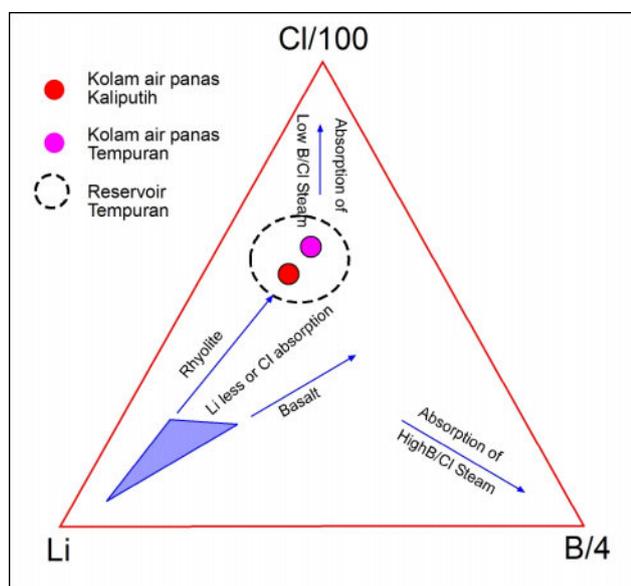
Gambar-5. Analisis tipe air panas bumi.

Sampel air panas bumi dari lokasi Tempuran (berwarna merah-ungu) tergolong dalam tipe air panas bumi sulfat-klorida, dengan kandungan SO_4^{2-} dan Cl^- sama dominan dan HCO_3^- yang minim. Air panas dari lokasi ini diinterpretasikan terbentuk dari

kondensasi fluida vulkanik saat naik ke permukaan (ditandai oleh komposisi SO_4^{2-} yang signifikan). Diperkirakan air panas bumi ini terbentuk dekat dengan reservoir panas bumi (*upflow*).

D. Geoindikator Air Panas bumi

Analisis geoindikator air panas bumi dilakukan terutama untuk mengetahui asal reservoir air panas bumi. Analisis ini dilakukan berdasarkan proporsi komposisi tiga ion air panas bumi hasil analisis laboratorium pada Tabel-2, yaitu Cl^- , Li^+ dan B. *Plotting* ketiga ion tersebut seperti terlihat pada Gambar-6 berikut ini.



Gambar-6. Analisis geoindikator air panas bumi.

Seperti terlihat pada Gambar-6 di atas, sampel air panas bumi dari kedua lokasi penelitian terletak pada *cluster* yang sama. Diinterpretasikan, kedua air panas bumi tersebut berasal dari satu reservoir panas bumi yang sama, yaitu Reservoir Tempuran.

Plotting geoindikator sampel air panas bumi memperlihatkan kecenderungan komposisi ion Cl^- yang dominan. Adanya kondisi tersebut diinterpretasikan kontribusi air reservoir panas bumi yang lebih tinggi daripada pengenceran oleh air meteorik permukaan dan interaksi dengan batuan samping walaupun kedua proses terakhir tersebut juga terjadi.

E. Geotermometer Air Panas bumi

Tipe air panas bumi kedua sampel menunjukkan tipe air bikarbonat untuk sampel Kaliputih dan sulfat-klorida untuk sampel Tempuran (Gambar-5). Dengan demikian sampel Tempuran tidak valid

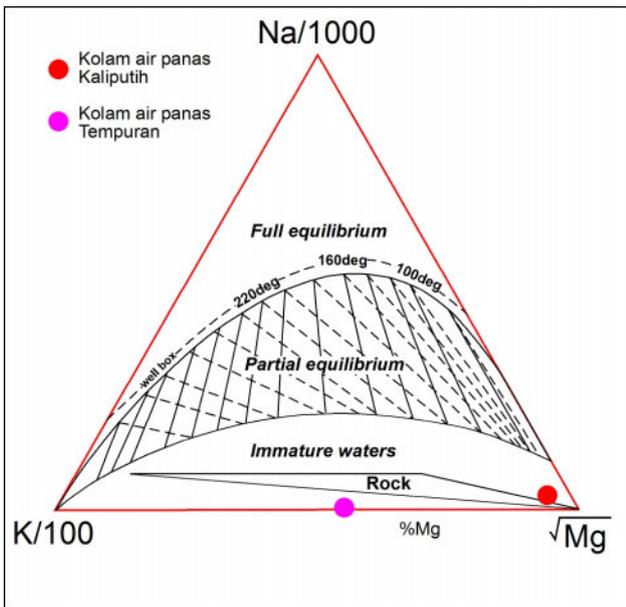
digunakan untuk analisis geotermometer air reservoir. Karakteristik air panas bumi yang asam pada sampel Tempuran menyebabkan interaksi air panas bumi dengan batuan samping sehingga akan mengacaukan perhitungan temperatur.

Sampel air panas dari Kaliputih masih tetap memperlihatkan karakteristik reservoir panas bumi, terlihat dari kandungan klorida yang tinggi, sehingga masih dapat digunakan untuk perhitungan temperatur reservoir. Sampel Kaliputih juga memperlihatkan kandungan bikarbonat yang tinggi hasil dari interaksi dengan air meteorik. Perhitungan temperatur reservoir akan menggunakan beberapa metode, yaitu geotermometer Na-K, K-Mg, Silika, dan keberadaan mineral alterasi yang ada di lokasi studi.

Analisis laboratorium keseimbangan ion (*ion balance*) memperlihatkan hanya air panas bumi dari sampel Kaliputih yang memiliki nilai kurang dari 5% (Tabel-2). Dengan demikian, hanya sampel air panas bumi Kaliputih yang layak digunakan untuk analisis lebih lanjut. Hasil *plotting* metode grafis geotermometer Na-K-Mg memberi petunjuk karakteristik air panas bumi dari lokasi Kaliputih dan Tempuran berupa *immature water* (Gambar-7). Nilai Mg yang tinggi pada sampel Kaliputih menunjukkan proses interaksi air panas bumi dengan air meteorik permukaan dan batuan samping yang menghasilkan *immature water* [1]. Pada sampel dari lokasi Tempuran, diinterpretasikan merupakan campuran air reservoir dan kondensat fluida vulkanik. Penggunaan metode geotermometer Na-K dan K-Mg ini kurang sesuai dengan kondisi manifestasi air panas yang ada.

Selain manifestasi panas bumi kolam air panas Kaliputih dan Tempuran, juga terdapat alterasi batuan sebagai produk interaksi fluida panas bumi dan batuan pada lokasi penelitian. Hasil analisis laboratorium X-RD sampel batuan alterasi pada lokasi pengamatan menunjukkan asosiasi jenis mineral lempung kaolinit sebagai mineral kunci dan kuarsa dan kristobalit sebagai mineral asesoris (Gambar-8). Asosiasi mineral tersebut mengindikasikan tipe alterasi argilit dengan temperatur pembentukan sekitar 180°C [4].

Alterasi batuan merupakan produk lampau dari sistem panas bumi yang mungkin mengalami perubahan atau tetap berlangsung sampai sekarang. Geotermometer alterasi mineral digunakan sebagai pembandingan terhadap metode perhitungan yang lain. Diperlukan perhitungan temperatur reservoir dari sampel air kolam air panas yang merupakan produk dari sistem panas bumi saat ini.



Gambar-7. Analisis geotermoter grafis air panas bumi.



Gambar-8. Batuan alterasi kaolinit.

Perhitungan temperatur reservoir juga menggunakan geotermometer silika *no steam loss* yang didasarkan data keberadaan batuan alterasi. Metode silika *no steam loss* digunakan dengan pertimbangan temperatur air panas bumi permukaan yang tidak mencapai titik didih [6] dengan Persamaan-1.

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1309}{5.19 - \log \text{SiO}_2} - 273 \quad (1)$$

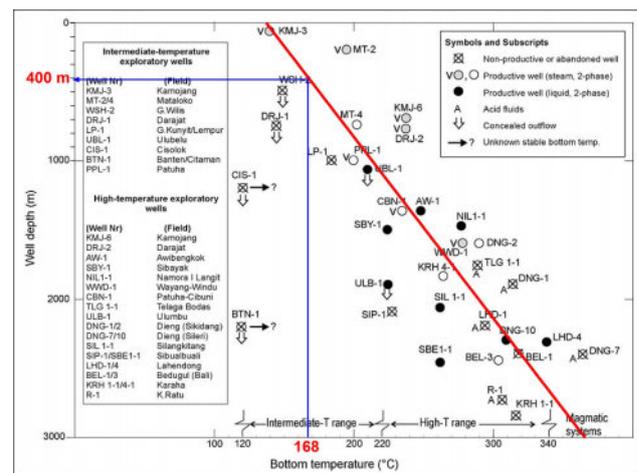
Perhitungan temperatur Reservoir Tempuran (dari sampel Kaliputih) dengan menggunakan metode kuarsa *no stem loss* Persamaan-1 menghasilkan nilai 168° C. Kedua nilai perhitungan temperatur metode mineral alterasi (180° C) dan silika *no steam loss* (168° C) tidak jauh berbeda. Metode geotermometer silika *no steam loss* lebih

memperlihatkan kondisi (temperatur) sistem saat ini. Diinterpretasikan sistem mengalami pendinginan dari temperatur 180° C menjadi 168° C.

Dari uraian di atas, diperkirakan temperatur reservoir panas bumi di lokasi penelitian 168° C. Perhitungan temperatur reservoir ini masih memerlukan koreksi dan kompilasi lebih lanjut dengan penggunaan metode geotermometer lain, seperti geotermometer isotop atau landaian suhu.

F. Kedalaman reservoir panas bumi

Penentuan kedalaman reservoir panas bumi dilakukan dengan membandingkan temperatur reservoir dengan temperatur reservoir panas bumi dari data beberapa pengeboran sumur panas bumi yang ada di Indonesia [7]. Data pengeboran sumur panas bumi tersebut selain memiliki data temperatur reservoir juga memiliki data kedalaman sumur, sehingga dapat diperkirakan kedalaman Reservoir Tempuran. Hal ini seperti terlihat pada Gambar-9.



Gambar-9. Penentuan kedalaman Reservoir Tempuran berdasarkan data kedalaman dan temperatur reservoir yang dibuat oleh Hochstein dan Sudarman [7].

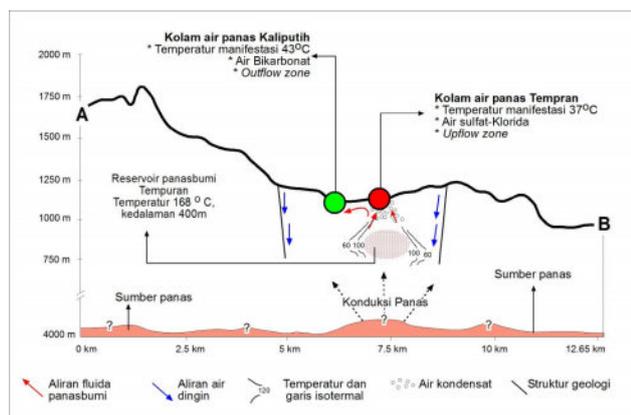
Perhitungan geotermometer sebelumnya, Reservoir Tempuran memiliki temperatur 168° C. Dengan demikian, berdasarkan *plotting* pada Gambar-9, Reservoir Tempuran diperkirakan berada pada kedalaman 400 meter dari permukaan.

G. Model Sistem Panas Bumi Wanayasa

Model sistem panas bumi memerlukan informasi asal air panas bumi selain informasi lain yang telah dibahas sebelumnya. Interpretasi asal air panas bumi memerlukan analisis isotop *deutrium* dan oksigen-18 yang tidak dilakukan dalam penelitian ini. Terdapat kontribusi air meteorik permukaan pada Sistem Panas bumi Dieng [8]. Daerah penelitian terletak

dekat dengan lapangan panas bumi Dieng. Berdasarkan informasi awal tersebut, fluida Reservoir Tempuran diinterpretasikan berasal dari air meteorik lokal dan bersirkulasi membentuk sistem panas bumi siklik. Informasi awal tersebut masih harus dikonfirmasi dengan penelitian asal air panas bumi melalui analisis isotop air.

Asal air sistem panas bumi Reservoir Tempuran diinterpretasikan berasal dari air meteorik yang mengisi reservoir melalui struktur-struktur geologi yang ada di sekitarnya, seperti yang terlihat pada peta geologi pada Gambar-2. Fluida panas bumi mencapai permukaan berupa kolam air panas Tempuran (*Upflow*). Selain itu sebelum mencapai permukaan, fluida panas bumi mengalami aliran lateral dan muncul di permukaan sebagai kolam air panas Kaliputih (*outflow*). Adanya interaksi yang lebih intensif pada manifestasi Tempuran karena sifat air yang lebih asam menyebabkan temperatur manifestasi Tempuran (37° C) lebih rendah daripada Kaliputih (43° C) (Gambar-10).



Gambar-10. Model Sistem Panabumi Wanayasa (arah sayatan A-B seperti terlihat pada Gambar-2).

VI. PENUTUP

A. Kesimpulan

Ketersediaan kolam air panas Kaliputih dan Tempuran mencerminkan keberadaan sistem panas bumi yang ada di Daerah Wanayasa. Air panas kolam Kaliputih tergolong air panas bumi bikarbonat yang terbentuk dari pengenceran air reservoir oleh air meteorik permukaan dan mengindikasikan zona *outflow* sistem panas bumi. Kolam air panas Tempuran memiliki tipe air panas bumi sulfat-klorida yang diinterpretasikan terbentuk dari kondensasi fluida vulkanik pada zona *upflow* sistem panas bumi. Kolam air panas Kaliputih dan Tempuran berasal dari reservoir panas bumi yang sama, yaitu reservoir Tempuran. Temperatur

reservoir Tempuran sekitar 168° C dengan kedalaman reservoir sekitar 400 meter. Air panas kolam Kaliputih dan Tempuran berasal dari air meteorik di sekitar lokasi.

B. Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut dan konfirmasi untuk perhitungan temperatur dan kedalaman reservoir Tempuran melalui metode analisis isotop air atau landaian suhu. Studi melalui metode analisis isotop air juga diperlukan untuk interpretasi asal air panas bumi reservoir Tempuran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fahrurrozie A, Saputra MP, Nugraha T. *The Application of Na-K-Mg, Na-K/Mg-Ca and K-Mg/Quartz Diagrams to Evaluate Water Geochemistry in West Java Geothermal Prospects, Indonesia*. Proceedings World Geothermal Congress 2015. Australia. 19-25 April 2015.
- [2] Direktorat Panas Bumi. *Profil Potensi Panas Bumi Indonesia*. Cetakan ke-2. Jakarta: Direktorat Jenderal EBTKE, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Dirjen EBTKE. 2012.
- [3] Bemmelen RW. *The Geology of Indonesia*. Vol. IA. The Hague: Government Printing Office. 1949.
- [4] Putra AP. *Geologi dan Manifestasi Kimia Fluida Panas Bumi Daerah Wanayasa dan Sekitarnya, Kecamatan Wanayasa, Kabupaten Banjarnegara Provinsi Jawa Tengah*. Laporan Tugas Akhir. Purbalingga: Teknik Geologi Universitas Jenderal Soedirman. 2015.
- [5] Condon WH, Pardyanto L, Ketner KB, Amin TC, Gafoer S, Samodra H. *Peta Geologi Lembar Banjarnegara dan Pekalongan, Jawa, Skala 1:100.000*. Edisi Kedua. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. 1996.
- [6] Nicholson K. *Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques*. Berlin: Springer Verlag. 1993.
- [7] Hochstein MP, Sudarman S. History of geothermal exploration in Indonesia from 1970 to 2000. *Geothermics, ScienceDirect, Elsevier*. 2008.
- [8] Savitri KP, Naafianto DR, Prasetyo FXC, Utami P, Harijoko A, Nurpratama IM, Kusumo M. *Geologi dan Alterasi Hidrotermal Kompleks Gunung Dieng*. Bandung: Prosiding The 12th Annual Indonesia Geothermal Association Meeting and Conference. 6-8 November 2012.