

**Analisa Geokimia Fluida Manifestasi Panasbumi
di Permukaan Untuk Pendugaan Suhu Reservoir Berdasarkan *Solute*
Geothermometer di Daerah Sidoharjo dan Sekitarnya
Kecamatan Candirotto Kabupaten Temanggung
Provinsi Jawa Tengah**

***Geochemical Analysis of Geothermal Manifestation Fluid on The Surface for
Estimation of Reservoir Temperature Based on Solute Geothermometer
in Sidoharjo and Vicinity Candirotto District
Temanggung Regency Province of Central Java***

Venny Ayu Syafriani¹, Danis Agoes Wiloso^{2*}

¹Mahasiswa Teknik Geologi-FTM, Institut Sains & Teknologi AKPRIND, Jl. Kalisahak No. 28 Yogyakarta 55222

²Dosen Teknik Geologi-FTM, Institut Sains & Teknologi AKPRIND, Jl. Kalisahak No. 28 Yogyakarta 55222

*Email: danisagoes@akprind.ac.id

Naskah diterima: (20 Agustus 2021), direvisi: (28 September 2021), disetujui: (12 Oktober 2021)

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keadaan geologi daerah penelitian dengan menganalisis geokimia fluida serta pendugaan suhu reservoir panasbumi berdasarkan kemunculan manifestasi panasbumi berupa Mataair Hangat Gabug dan Mataair Hangat Ngapus. Metode analisis data geokimia dilakukan dengan melakukan analisis kandungan geokimia di Mataair Hangat Ngapus dan Gabug untuk mengetahui tipe fluida, tingkat kematangan fluida, dan pendugaan suhu reservoir dengan metode *solute geothermometer*. Hasil analisis geokimia fluida pada Mataair Hangat Ngapus dan Mataair Hangat Gabug menunjukkan bahwa tipe fluida dari kedua mataair tersebut merupakan bikarbonat dengan konsentrasi HCO_3 yang tinggi. Hasil perhitungan *solute geothermometer* menunjukkan suhu reservoir panasbumi pada Mataair Hangat Ngapus berkisar pada suhu $\pm 241,53^\circ\text{C}$ dan pada Mataair Hangat Gabug suhu reservoir panasbumi berada berkisar $\pm 288,96^\circ\text{C}$.

Kata kunci: Manifestasi Panasbumi, Geokimia fluida, Solute Geothermometer

ABSTRACT

This study aims to determine the geological condition of the research area by analyzing the geochemistry of fluids and estimating the temperature of the geothermal reservoir based on the geothermal manifestations in the form of Gabug Hot Springs and Ngapus Warm Springs. The geochemical data analysis method was carried out by analyzing the geochemical content in the Ngapus and Gabug Hot Springs to determine the type of fluid, the level of fluid maturity, and the estimation of reservoir temperature using the solute geothermometer method. The results of the geochemical analysis of fluids in the Ngapus Hot Springs and Gabug Hot Springs indicate that the type of fluid from the two springs is bicarbonate with a high concentration of HCO_3 . The calculation results of the solute geothermometer show that the temperature of the geothermal reservoir at the Ngapus Hot Spring is around $\pm 241.53^\circ\text{C}$ and at the Gabug Warm Spring the geothermal reservoir temperature is around $\pm 288.96^\circ\text{C}$.

Keyword: Geothermal Manifestations, Fluid Geochemistry, Solute Geothermometer

PENDAHULUAN

Dengan kondisi geologi Indonesia yang terletak pada jalur *ring of fire* dan pertemuan tiga lempeng tektonik dunia, terdapat 120 gunungapi yang tersebar dari Sabang sampai Merauke, menyebabkan Indonesia memiliki ketersediaan energi panasbumi yang cukup melimpah. Jumlah potensi sumber daya geothermal Indonesia sekitar 11.073 Megawatt listrik (MWe) dan cadangannya sekitar 17.506 MWe. Kapasitas pembangkit listrik secara nasional yang pada akhir 2016 memproduksi listrik 59,6 Gigawatt (GWe) atau 59.600 MWe (Anonim, 2017). Energi panas bumi adalah jenis energi yang bersifat terbarukan, dan memiliki nilai emisi karbon yang kecil sehingga bersifat ramah lingkungan dibandingkan energi fosil. Oleh karena itu energi jenis ini mulai banyak dilirik untuk dikembangkan sebagai energi masa depan diberbagai belahan dunia, tak terkecuali di Indonesia (Direktorat Panas Bumi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia, 2017). Dengan potensi cadangan *geothermal* dunia sebesar 40% yang berada di Indonesia, hal ini menjadi peluang yang sangat besar untuk mempelajari dan mengembangkan energi ini secara massal.

Daerah penelitian yang terletak di Kabupaten Temanggung, yang secara fisiografis masuk kedalam zona gunungapi kuartar dan berada diantara dua gunung, yaitu Gunung Sindoro (aktif) disebelah Barat daerah penelitian, dan Gunung Sumbing di Selatan daerah penelitian. Kondisi ini menyebabkan adanya kemungkinan ditemukan manifestasi panasbumi disekitar daerah tersebut, dan benar saja, setelah pelaksanaan kegiatan

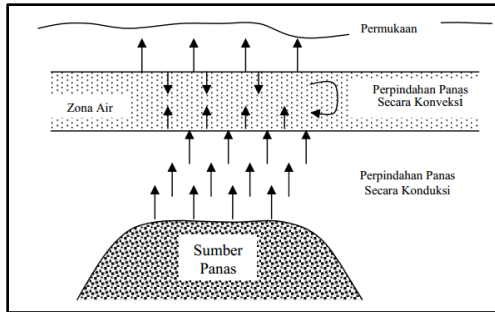
pemetaan geologi berskala detail 1:25.000, dijumpai adanya mataair pada sisi Timur daerah penelitian, yaitu di Dusun Ngapus, Desa Sidoharjo, Kecamatan Candiroto, Kabupaten Temanggung, Jawa Tengah dan satu titik lagi dijumpai di Dusun Gabug, Desa Sidoharjo, Kecamatan Candiroto, Kabupaten Temanggung, Jawa Tengah. Kedua mataair tersebut memiliki ciri yang mengindikasikan keduanya merupakan manifestasi permukaan berupa mataair hangat dengan suhu <50°C.

Adanya manifestasi panasbumi, mengindikasikan daerah tersebut memiliki sumberdaya energi panasbumi yang dapat dimanfaatkan baik secara langsung maupun tidak langsung oleh masyarakat sekitar. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian khusus untuk mempelajari manifestasi panasbumi pada lokasi-lokasi tersebut, mengingat sangat minimnya penelitian terdahulu terkait panasbumi di sekitar daerah Temanggung, khususnya di Dusun Gabug, Desa Sidoharjo dan Dusun Ngapus, Desa Kemiriombo, Temanggung, Jawa Tengah diharapkan penelitian ini dapat memberikan manfaat baik secara akademis berbasis riset, dan dapat dimanfaatkan untuk masyarakat sekitar daerah penelitian.

DASAR TEORI

Sumber energi panasbumi berasal dari magma yang berada jauh di dalam bumi. Magma tersebut menghantarkan panas secara konduktif pada batuan sekitarnya. Panas tersebut juga mengakibatkan aliran konveksi fluida hidrotermal di dalam pori-pori batuan, kemudian fluida hidrotermal bergerak ke atas namun tidak sampai ke

permukaan karena tertahan oleh lapisan batuan yang bersifat impermeabel, fluida akan keluar apabila ada retakan atau patahan yang sampai permukaan (Gambar 1).



Gambar 1. Perpindahan panas di bawah permukaan bumi (Saptaadji, 2012)

Suatu sistem panasbumi tersusun atas dua komponen utama, yaitu batuan dan fluida panasbumi, dimana fluida menempati pori-pori(celah) yang ada didalam batuan. Fluida panas bumi terbagi atas dua macam, yaitu (Sumotarto, 2018):

- a. Fluida Primer, adalah fluida yang berada di reservoir yang terisolasi dalam sistem panasbumi. Fluida primer dapat berupa :
 - cairan (disebut *liquid dominated systems*)
 - cairan dengan sejumlah kecil uap (disebut *boiling geothermal systems*), dan
 - fluida dominan uap dengan sedikit cairan (disebut *vapour dominated systems*).
- b. Fluida Sekunder, adalah fluida yang telah mengalami proses pendidihan, pemisahan fase dingin, oksidasi dan pencampuran (*mixing*) sebelum muncul di permukaan. Fluida sekunder dapat berupa:
 - Uap panasbumi

- Larutan panasbumi yang mendidih (dalam beberapa kasus mengalami pendinginan)
- Larutan campuran (*mixed solution*) yang melibatkan air tanah dangkal dan larutan panasbumi (mendidih atau tidak) dengan uap;
- Air permukaan yang terpanaskan uap.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian terbagi atas tahap pengumpulan data baik primer maupun sekunder, tahapan penelitian lapangan (pengambilan data-data geologi, pengamatan kondisi manifestasi, dan pengambilan sampel fluida) dan tahap pengolahan data, yaitu menggabungkan data dan melakukan analisis geokimia dan *geothermometer* pada dua titik mataair hangat yang dijumpai.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian tempat dijumpainya keberadaan manifestasi panasbumi permukaan berupa dua titik mataair hangat berada di Timur Daerah Penelitian yang berjarak tempuh ± 1 jam ke arah Barat Laut dari Kota Temanggung.

Lokasi pertama adalah Mataair Hangat Ngapus berada di Dusun Ngapus, Desa Sidoharjo, Kecamatan Candiroto, Kabupaten Temanggung, Jawa Tengah. Dan lokasi manifestasi kedua adalah Mataair Hangat Gabug berada di Dusun Gabug, Desa Kemiriombo, Kecamatan Gemawang, Kabupaten Temanggung, Jawa Tengah (Gambar 2).



Gambar 2. Lokasi titik mataair hangat

Pengujian unsur kimia, di lakukan dengan memasukkan sampel mataair dengan masing-masing bervolume 1 liter, sampel tersebut kemudian diuji di Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BBTKLPP) Yogyakarta. Adapun unsur-unsur yang diuji adalah Natrium (Na), Kalium (K), Silikat (SiO_2/Si), Klorida (Cl), Sulfat (SO_4), Alkanitas (HCO_3), Kalsium (Ca), dan Magnesium (Mg) lihat Tabel 1.

Pengolahan data geokimia terdiri atas tiga tahap yaitu, analisis *diagram ternary* $\text{SO}_4\text{-Cl-HCO}_3$ untuk penentuan tipe/jenis fluida, analisis *diagram ternary* Na-K-Mg untuk mengetahui kedalaman dan tingkat kematangan fluida panasbumi dan pendugaan suhu reservoir menggunakan metode *solute geothermometer*.

Tabel 1. Hasil pengujian unsur kimia di Laboratorium

Parameter yang diuji	Hasil Uji (mg/L)	
	Mataair Hangat Gabug	Mataair hangat Ngapus
Natrium (Na)	43	25
Kalium (K)	1	1
Silikat (SiO_2/Si)	14,545	15,105
Klorida (Cl)	13,0	3,5
Sulfat (SO_4)	18	14
Alkanitas (HCO_3)	219,6	279,0
Kalsium (Ca)	32,16	60,3
Magnesium (Mg)	4,88	14,65

HASIL DAN PEMBAHASAN

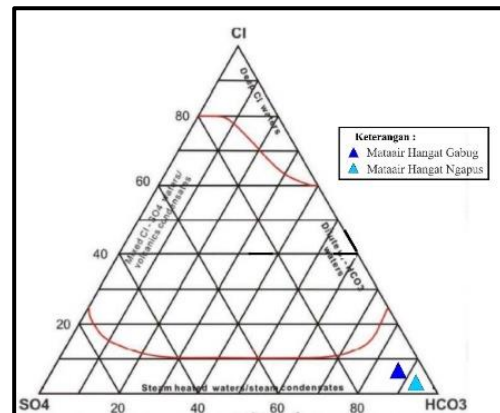
Objek pengamatan di lapangan adalah geomorfologi (morfologi), sebaran litologi (dan tingkat pelapukannya), pengukuran struktur geologi (apabila dijumpai), pengamatan kondisi manifestasi (suhu, arah aliran, ada/tidaknya alterasi, pH) serta pengambilan sampel air pada kedua titik manifestasi.

Berdasarkan kemunculannya kedua manifestasi dijumpai pada lereng gunung yang kemungkinan merupakan zona outflow suatu sistem panasbumi. Litologi penyusun kedua manifestasi berupa Breksi Basalt Penyatan, dan ditemui adanya endapan karbonat disekitar manifestasi, dan tidak dijumpai adanya struktur geologi di lapangan, namun terlihat jelas kelurusannya pada DEM.

Kondisi kedua manifestasi berupa aliran sungai dengan debit sedang, dengan pH 6, dan suhu permukaan 25°C (Mataair Hangat Ngapus) dan 29°C (Mataair Hangat Gabug).

Analisis Geokimia Fluida

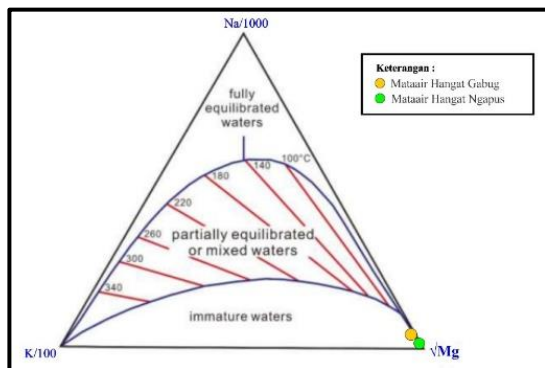
Berdasarkan diagram ternary $\text{SO}_4\text{-Cl-HCO}_3$ didapatkan bahwa jenis air/tipe fluida pada kedua titik mataair adalah sama, yaitu bikarbonat (HCO_3)



Gambar 3. Diagram Ternary $\text{SO}_4\text{-Cl-HCO}_3$

Berdasarkan diagram Ternary Na-K-Mg, kedua mataair panas terletak pada sudut *immature water* (Gambar 4). Kondisi ini memperlihatkan tingkat kematangan fluida yang muncul pada kedua titik manifestasi, hal ini juga menjelaskan bahwa temperatur manifestasi yang muncul ke permukaan cenderung rendah serta dipengaruhi interaksi antar fluida hydrothermal dengan unsur-unsur batuan yang dilewati seperti silika.

Kondisi *immature water* ini juga mengindikasikan fluida panasbumi tersebut berada pada kedalaman yang sangat dalam atau jauh dari sumbernya (reservoir), reservoir terletak pada kondisi temperatur dan tekanan yang tinggi dimana sebelum mencapai permukaan juga telah mengalami pengenceran oleh air permukaan (*meteoric water*).



Gambar 4. Diagram Ternary Na-1000/K-100/√Mg

Penentuan suhu bawah permukaan dengan menggunakan persamaan *geothermometer* Na-K-Ca dari Giggenbach, 1988 maka diketahui suhu reservoir pada mataair hangat Ngapus sebesar 241,53°C dan Mataair Hangat Gabug adalah 288,96 °C (Gambar 5 dan Gambar 6).

$$t^{\circ}C = \left(\frac{1647}{\log\left(\frac{25}{1}\right) + \beta \log\left(\frac{\sqrt{60,3}}{25}\right) + 2,47} \right) - 273,15$$

$$t^{\circ}C = \left(\frac{1647}{\log(25) + \beta \log\left(\frac{7,76}{25}\right) + 2,47} \right) - 273,15$$

$$t^{\circ}C = \left(\frac{1647}{1,39 + \beta \log(0,2014) + 2,47} \right) - 273,15$$

$$t^{\circ}C = \left(\frac{1647}{1,39 + \frac{4}{3}(0,50) + 2,47} \right) - 273,15$$

$$t^{\circ}C = \left(\frac{1647}{1,39 + (-0,66) + 2,47} \right) - 273,15$$

$$t^{\circ}C = 241,53^{\circ}C$$

Gambar 5. Pehitungan *Solute Geothermometer* Na-K-Ca pada Mataair Hangat Ngapus

$$t^{\circ}C = \left(\frac{1647}{\log\left(\frac{43}{1}\right) + \beta \log\left(\frac{\sqrt{82,16}}{43}\right) + 2,47} \right) - 273,15$$

$$t^{\circ}C = \left(\frac{1647}{\log(43) + \beta \log\left(\frac{9,57}{43}\right) + 2,47} \right) - 273,15$$

$$t^{\circ}C = \left(\frac{1647}{1,63 + \beta \log(0,131) + 2,47} \right) - 273,15$$

$$t^{\circ}C = \left(\frac{1647}{1,39 + \frac{4}{3}(-0,88) + 2,47} \right) - 273,15$$

$$t^{\circ}C = \left(\frac{1647}{1,39 + (-1,17) + 2,47} \right) - 273,15$$

$$t^{\circ}C = \left(\frac{1647}{2,93} \right) - 273,15$$

$$t^{\circ}C = 562,11 - 273,15$$

$$t^{\circ}C = 288,96^{\circ}C$$

Gambar 6. Pehitungan *Solute Geothermometer* Na-K-Ca pada Mataair Hangat Gabug

PEMBAHASAN

Berdasarkan kondisi geologinya, kedua titik pengambilan sampel berada pada satuan batuan breksi basalt Penyatan, yang berada dalam lingkup lingkungan vulkanik kuartar.

Diperkirakan, pembentukan sistem panasbumi pada daerah ini, berkaitan dengan aktivitas vulkanisme yang ada disekitarnya, yang juga berasosiasi dengan aktivitas sesar (pada Kala Plio-Plistosen berarah Timur-Barat) dimana panas yang ditimbulkan berasal dari peningkatan gradien termal dikedalaman. Selain itu, di daerah penelitian juga dijumpai adanya batuan terobosan (intrusi) yang diperkirakan terjadi di Kala Miosen-Pliosen, yang diindikasikan sebagai sumber panas alternatif dalam sistem panasbumi di daerah penelitian (Thaden, dkk, 1996).

Hasil pengujian air pada laboratorium (Tabel 1), menunjukkan bahwa unsur yang dominan pada kedua fluida mataair hangat adalah HCO_3 . Namun terdapat beberapa unsur yang memiliki perbedaan signifikan pada kedua titik mataair hangat, yaitu pada kandungan unsur;

- Natrium (Na), pada Mataair Hangat Gabug lebih tinggi dibandingkan Mataair Hangat Ngapus.
- Klorida (Cl), pada Mataair Hangat Gabug lebih tinggi dibandingkan Mataair Hangat Ngapus.
- Kalsium (Ca), pada Mataair Hangat Ngapus lebih tinggi dibandingkan Mataair Hangat Gabug.
- Magnesium (Mg), pada Mataair Hangat Ngapus lebih tinggi dibandingkan Mataair Hangat Gabug.

Perbedaan konsentration unsur/ion yang berbeda antar satu lokasi dengan lokasi yang lain dapat disebabkan oleh banyak hal, antara lain:

- Temperatur
- Kandungan gas

- Sumber air
- Jenis batuan
- Kondisi dan lamanya interaksi air dengan batuan
- Adanya pencampuran antara air dari satu sumber dengan air dari sumber lainnya

Fluida panasbumi yang muncul di permukaan merupakan zona *outflow*, akibat naiknya fluida secara lateral/vertikal pada lereng gunung. Berdasarkan analisis tipe fluida dengan diagram *ternary* HCO_3 -Cl- SO_4 , diketahui kedua titik mataair hangat (Gabug dan Ngapus) memiliki tipe fluida bikarbonat dengan dominasi unsur HCO_3 , kondisi ini dapat terjadi akibat produk dari proses kontak dengan batuan yang dilewati sebelum sampai ke permukaan. Litologi tempat keluarnya manifestasi adalah satuan breksi basalt Penyatan dan di bawahnya terdapat Formasi Kerek yang memiliki anggota batuan karbonatan, sehingga kandungan Ca pada fluida tinggi, hal ini juga didukung dengan pH pada air mendekati netral dan ditemukannya endapan karbonat di kedua titik di sekitar manifestasi.

Berdasarkan diagram *ternary* Na-K-Mg, kedua mataair hangat tersebut berada pada zona *immature water* yang mengindikasikan bahwa batuan reservoir terletak pada kondisi temperatur dan tekanan yang tinggi dimana sebelum mencapai permukaan terjadi pencampuran atau pengenceran oleh air permukaan (*meteoric water*).

Pendugaan suhu reservoir dengan pendekatan *solute geothermometer* diperoleh bahwa suhu pada Mataair Hangat Gabug sebesar 288,96 °C dan Mataair Hangat Ngapus sebesar 241,53°C. Kedua manifestasi termasuk kedalam

sistem/reservoir panasbumi entalpi tinggi karena memiliki suhu $>200^{\circ}\text{C}$.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis geokimia fluida pada dua titik manifestasi permukaan berupa Mataair Hangat Ngapus dan Mataair Hangat Gabug yang ketahu bahwa tipe fluide kedua mata air ini berjenis bikarbonat dengan konsentrasi HCO_3 yang tinggi, dan berada pada *zona immature water*. Hasil perhitungan *solute geothermometer* menunjukkan suhu reservoir pada Mataair Hangat Ngapus berkisar pada suhu $\pm 241,53^{\circ}\text{C}$ dan pada Mataair Hangat Gabug suhu reservoir berada pada suhu $\pm 288,96^{\circ}\text{C}$.

Daerah sekitar manifestasi Mataair Hangat Gabug berdekatan dengan beberapa wisata curug/air terjun, hal ini bisa dikembangkan sebagai klaster area geowisata yang dapat menunjang ekonomi masyarakat sekitar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Venny Ayu Syafitri yang telah mengijinkan untuk mempublikasikan hasil penelitiannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2017, *Indonesia Energy Outlook 2017*, Dewan Energi Nasional, ISSN 2527-3000, Jakarta
- Direktorat Panas Bumi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia, 2017, *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1*, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- Giggenbach, W. F., 1988, Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators, *Chemistry*, Vol. 52, Elsevier, hal 2749-2765.
- Saptaadji, N. 2012, *Buku Teknik Panas Bumi*. ITB Press. Bandung
- Sumotarto, U, 2018. *Eksplorasi Panas Bumi*. Penerbit Ombak, Yogyakarta.
- Thaden. R.E, Harli Sumadirdja, Paul W richards, 1996, *Peta Geologi Regional Lembar, Magelang-Semarang*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.