

Analisa Sifat Kimia Fisik Fluida dan Perkiraan Temperatur Reservoir Geotermal di Kabupaten Minahasa Selatan

Jeferson Polii^{*a}, Soenandar Milian Tompunu Tengker^{*a}

^a Universitas Negeri, Kab. Minahasa, 95618, Indonesia

INFO ARTIKEL

Diterima 20 September 2022

Disetujui 29 Oktober 2022

Key word:

Geothermal

Geochemistry

geothermometer

Kata kunci:

Panas bumi

Geokimia

geothermometer

ABSTRACT

The presence of geothermal potential in an area is indicated by the presence of surface manifestations such as hot springs, fumaroles, mud pools, steaming ground, warm ground, geysers, silica deposits, and other manifestations. Chemical and physical analysis of these manifestations can explore the value of subsurface characteristics such as reservoir type, temperature and pressure of reservoir rock formations, as well as the chemical properties of the fluid. The South Minahasa Regency which is the target of the research has geothermal manifestations such as hot springs, steaming ground, silica deposits, and others. The study was conducted to analyze the characteristics of the fluid using geochemical methods and to estimate the temperature of the geothermal reservoir in the manifestation area in South Minahasa Regency.

Geothermal manifestation in Pinaasaan village, South Minahasa Regency is a type of chloride fluid. This shows that the geothermal area is a high temperature zone and has a high permeability zone. Geothermal fluid in Pinaasaan village, South Minahasa Regency is in the area of partial equilibrium waters, which indicates that the fluid is not in a state of equilibrium. This is because the fluid has been mixed with surface water. The hot springs in Pinaasaan village are estimated to be an outflow zone from the geothermal system in the area. The estimated temperature of the geothermal reservoir in Pinaasaan Village using a silica quartz geothermometer calculation is 191°C.

ABSTRAK

Keberadaan potensi panas bumi di suatu daerah diindikasikan dengan keberadaan manifestasi permukaan seperti mata air panas, fumarol, kolam lumpur, tanah beruap, tanah hangat, *geyser*, endapan silika, dan manifestasi lainnya. Analisa kimia maupun fisik terhadap manifestasi tersebut dapat menggali nilai karakteristik bawah permukaan seperti jenis reservoir, temperatur dan tekanan formasi batuan reservoir, maupun sifat kimia dari fluidanya. Kabupaten Minahasa Selatan yang menjadi sasaran penelitian memiliki manifestasi panas bumi seperti mata air panas, tanah beruap, endapan silika, dan lainnya. Penelitian dilakukan untuk menganalisa karakteristik fluida dengan metode geokimia dan mengestimasi temperatur reservoir panas bumi di daerah manifestasi yang ada di Kabupaten Minahasa Selatan. Manifestasi panas bumi di desa Pinaasaan Kabupaten Minahasa Selatan merupakan tipe fluida klorida. Hal ini menunjukkan bahwa daerah panas bumi tersebut merupakan zona temperatur tinggi dan memiliki permeabilitas zona tinggi. Fluida panas bumi desa Pinaasaan Kabupaten Minahasa Selatan berada pada area *partial equilibrium waters*, dimana ini menunjukkan bahwa fluida tidak berada dalam keadaan setimbang. Hal ini disebabkan karena fluida telah mengalami pencampuran dengan air permukaan. Mata air panas di desa Pinaasaan diperkirakan merupakan zona outflow dari sistem panas bumi di daerah tersebut. Estimasi temperatur reservoir panas bumi di Desa Pinaasaan dengan menggunakan perhitungan geotermometer silika kuarsa diperoleh 191°C.

*e-mail:

jefersonpolii@unima.ac.id

*Telp: 085240004369

Pendahuluan

Indonesia yang berada di jalur sabuk api memiliki potensi panas bumi yang melimpah. Sulawesi Utara memiliki energi panas bumi dengan potensi sumber daya sebesar 1395 MW dan potensi cadangan sebesar 1513 MW. Namun pemanfaatan energi panas bumi di Indonesia baru mencapai 1.344 MW atau sekitar 4,6 % dari total potensi Indonesia yang mencapai 29.000 MW [1]. Hal ini mengindikasikan bahwa energi panas bumi di Indonesia masih perlu dikembangkan tahap eksplorasi maupun eksploitasinya.

Indonesia memiliki sistem panas bumi dalam bentuk sistem hidrotermal. Menurut Hochstein dalam Sigurdsson [2], sistem hidrotermal adalah sistem perpindahan panas bumi dari sumber panas ke permukaan secara konveksi bebas dengan melibatkan fluida permukaan (meteorik) atau tanpa fluida magmatik. Ada 5 (lima) aspek penting di dalam sistem panas bumi hidrotermal yaitu sumber panas, reservoir, lapisan penudung atau *cap rock*, peresapan air, aliran fluida dari reservoir ke permukaan [3].

Keberadaan potensi panas bumi di suatu daerah diindikasikan dengan keberadaan manifestasi permukaan seperti mata air panas, fumarol, kolam lumpur, tanah beruap, tanah hangat, *geyser*, endapan silika, dan manifestasi lainnya. Analisa kimia maupun fisik terhadap manifestasi tersebut dapat menggali nilai karakteristik bawah permukaan seperti jenis reservoir, temperatur dan tekanan formasi batuan reservoir, maupun sifat kimia dari fluida yang ada di reservoir.

Kabupaten Minahasa Selatan yang menjadi sasaran penelitian memiliki manifestasi panas bumi seperti mata air panas, tanah beruap, endapan silika, dan lainnya. Penelitian dilakukan untuk menganalisa karakteristik fluida dengan metode geokimia dan mengestimasi temperatur reservoir panas bumi di daerah manifestasi yang ada di Kabupaten Minahasa Selatan.

Bahan dan Metode

Dalam penelitian ini, dibutuhkan data yang akan digunakan sebagai input untuk analisis lebih lanjut dan data yang diperoleh adalah data primer yaitu data dari pengukuran

langsung di lapangan berupa karakteristik air berupa pH dan temperatur dari setiap titik yang akan dilakukan pengukuran, serta data kedudukan lokasi berupa koordinat. Setelah itu dilakukan pengambilan sampel yang akan dilakukan pengukuran untuk di analisis lebih lanjut di laboratorium menggunakan Spektrofotometer untuk mengetahui komposisi kimia air. Kandungan kimia yang akan di analisis yaitu Cl, SO₄, HCO₃, SiO₂, Na, K, Ca, dan Mg. Dari hasil laboratorium yang diperoleh, kita melakukan pengolahan data yaitu menghitung presentase masing-masing unsur, setelah mendapatkan hasil presentasinya, kemudian diplot pada beberapa diagram trilinier sehingga dari hasil analisa kita dapat menentukan karakteristik fluida manifestasi dan estimasi temperatur reservoir panas bumi di Kabupaten Minahasa Selatan.

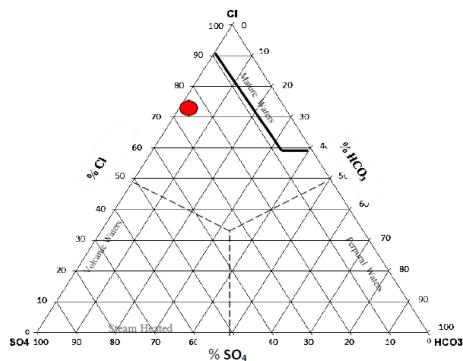
Hasil dan Pembahasan

1. Mata Air Panas

Sampel penelitian diambil di manifestasi panas bumi berupa mata air panas di desa Pinaasaan Kabupaten Minahasa Selatan. Lokasi penelitian berada pada 0°55'28,236" LU dan 124°27'49,752" BT pada elevasi 333 mdpl. Mata air panas tampak jernih, memiliki temperatur 70°C, dan pH 7. Pada daerah sekitar mata air panas terdapat endapan silika. Hal ini mencirikan sistem panas bumi dominasi air.

2. Analisa Sampel Menggunakan Diagram Trilinier Cl-SO₄-HCO₃

Tipe fluida mata air panas dapat ditentukan berdasarkan analisa geokimia mata air panas di lokasi penelitian dan juga menggunakan klasifikasi diagram trilinier berdasarkan kandungan relatif anion klorida, sulfat dan bikarbonat. Setelah mendapatkan hasil kandungan anion dari klorida, sulfat dan bikarbonat dari sampel tersebut, maka selanjutnya dilakukan perhitungan persentase terlebih dahulu sebelum menentukan tipe fluida mata air panas dari sampel yang sudah diambil di daerah penelitian. Hasil plot pada diagram trilinier Cl-SO₄-HCO₃ ditunjukkan dalam gambar 1.



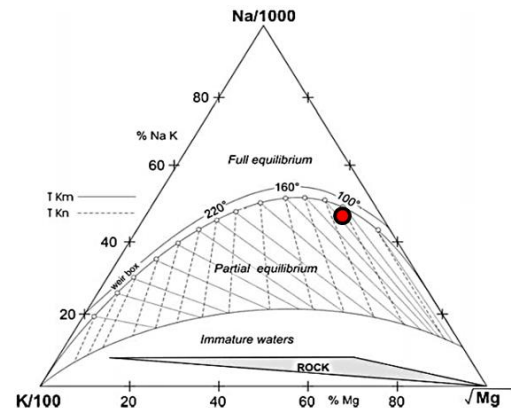
Gambar 1. Hasil Plotting Diagram Ternary Cl-SO₄-HCO₃

Hasil plotting pada diagram ternary Cl-SO₄-HCO₃ menunjukkan bahwa fluida manifestasi berada pada area Cl. Hal ini menunjukkan bahwa fluida manifestasi panas bumi berupa mata air panas di desa Pinaasaan Kabupaten Minahasa Selatan merupakan tipe klorida. Fluida manifestasi bertipe klorida berasal dari reservoir dalam dan sering ditemukan di daerah panas bumi bersistem temperatur tinggi. Fluida tipe klorida ini menunjukkan bahwa daerah Pinaasaan Kabupaten Minahasa Selatan merupakan daerah panas bumi dengan permeabilitas tinggi. Zona permeabilitas tinggi ini terbentuk karena adanya patahan, breksi hasil erupsi vulkanik, ataupun conduit [4]. Selain itu, manifestasi dengan kandungan klorida yang tinggi tapi sedikit unsur bikarbonat dan sulfat kemungkinan menunjukkan daerah outflow. Walaupun demikian, penelitian lain menunjukkan bahwa topografi dari daerah manifestasi juga memiliki peranan terhadap pola aliran hidrologi di daerah tersebut [5].

3. Analisa Sampel Menggunakan Diagram Trilinier Na-K-Mg

Analisa kesetimbangan fluida manifestasi panas bumi dapat dilakukan dengan geoindikator Na-K-Mg [6]. Geoindikator ini merupakan gabungan dari persamaan Na/K dan K-Mg. Na/K menunjukkan kesetimbangan reaksi di dalam reservoir yang cenderung lambat, dan K-Mg menunjukkan kesetimbangan reaksi mendekati permukaan yang relatif cepat. Itulah sebabnya geoindikator Na-K-

Mg dapat menganalisa gejala pada fluida dari reservoir sampai mendekati permukaan. Hasil plot pada diagram trilinier Na-K-Mg ditunjukkan dalam gambar 2.

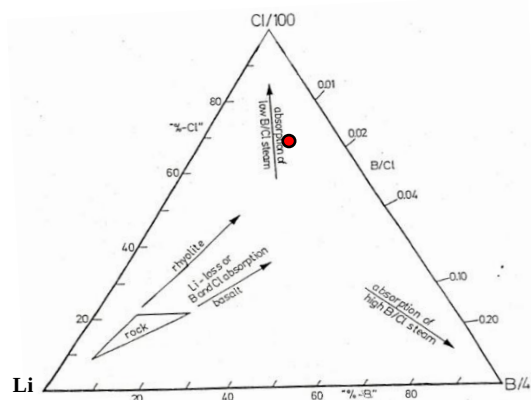


Gambar 2. Hasil Plotting Diagram Ternary Na-K-Mg

Hasil plotting pada diagram ternary Na-K-Mg menunjukkan bahwa sampel fluida berada pada area *partial equilibrium waters*, dimana ini menunjukkan bahwa fluida tidak berada dalam keadaan setimbang. Fluida diperkirakan berasal dari kedalaman dengan temperature tinggi tetapi sedikit bercampur dengan air permukaan atau air meteorik [7].

4. Analisa Sampel Menggunakan Diagram Trilinier Cl-Li-B

Diagram ternary Cl-Li-B dapat digunakan untuk menentukan asal fluida manifestasi panas bumi. Plot pada diagram ternary Cl-Li-B dilakukan dengan menghitung presentase kandungan klorida, litium, dan boron pada manifestasi panas bumi berupa mata air panas di desa Pinaasaan. Hasil plot pada diagram trilinier Na-K-Mg ditunjukkan dalam gambar 3.



Gambar 4.1 Hasil Plotting Diagram Ternary Cl-Li-B

Diagram ternary Cl-Li-B dapat digunakan untuk menentukan zona upflow dan zona outflow dari manifestasi panas bumi. Berdasarkan perbandingan unsur klorida, litium, dan boron pada fluida manifestasi panas bumi berupa mata air panas di desa Pinaesaan Kabupaten Minahasa Selatan, diperoleh bahwa fluida manifestasi tersebut dominan memiliki kandungan klorida. Rumbia dkk [10] mengemukakan fluida dengan kandungan dominan klorida menunjukkan adanya proses penyerapan yang rendah terhadap gas boron dan fluida tersebut berasal dari sistem hidrotermal lama. Menurut Nicholson [8], tingginya kandungan klorida menunjukkan bahwa area sistem panas bumi merupakan zona outflow. Sehingga bisa disimpulkan bahwa mata air panas di desa Pinaesaan merupakan zona outflow dari sistem panas bumi di daerah tersebut.

5. Estimasi Temperatur Reservoir

Estimasi temperatur reservoir panas bumi di Desa Pinaesaan menggunakan perhitungan geotermometer silika kuarsa yang dikemukakan oleh Arnorsson [9]. Bentuk perhitungannya sebagai berikut.

$$T = 53.500 + 0.11236C - 0.5559 \times 10^{-4} C^2 + 0.1772 \times 10^{-7} C^3 + 88.390 \log C$$
 dimana C adalah konsentrasi SiO_2 pada fluida dalam ppm. Dengan memasukan nilai konsentrasi SiO_2 pada sampel mata air panas di Desa Pinaesaan Kabupaten Minahasa Selatan sebesar 32,8 ppm ke persamaan geotermometer silika di atas,

maka di peroleh estimasi temperatur reservoir sebesar 191°C.

Geotermometer silika kuarsa cenderung baik digunakan untuk perhitungan temperatur reservoir di atas 150°C [10]. Penggunaan geotermometer yang tepat mempertimbangkan kondisi di lapangan panas bumi yang diteliti. Geotermometer silika amorf tidak terlalu tepat digunakan untuk perhitungan estimasi temperatur di area mata air panas Pinaesaan karena endapan silika yang tidak terlalu dominan. Geotermometer silika kalsedon, opal, dan kristobalit juga tidak terlalu tepat karena hanya sedikit endapan silika di sekitar lokasi penelitian. Geotermometer silika quartz-no steam loss dan silika quartz-maximum steam loss pada 100°C tidak terlalu cocok karena hasil perhitungan perkiraan temperatur mendekati nilai temperatur. Oleh sebab itu, geotermometer silika yang cocok digunakan pada daerah penelitian adalah geotermometer kuarsa [2].

Kesimpulan

1. Manifestasi panas bumi di desa Pinaesaan Kabupaten Minahasa Selatan merupakan tipe fluida klorida. Hal ini menunjukkan bahwa daerah panas bumi tersebut merupakan zona temperatur tinggi dan memiliki permeabilitas zona tinggi.
2. Fluida panas bumi desa Pinaesaan Kabupaten Minahasa Selatan berada pada area *partial equilibrium waters*, dimana ini menunjukkan bahwa fluida tidak berada dalam keadaan setimbang. Hal ini disebabkan karena fluida telah mengalami pencampuran dengan air permukaan.
3. Mata air panas di desa Pinaesaan merupakan diperkirakan merupakan zona outflow dari sistem panas bumi di daerah tersebut.
4. Estimasi temperatur reservoir panas bumi di Desa Pinaesaan dengan menggunakan perhitungan geotermometer silika kuarsa diperoleh 191°C.

Daftar Pustaka

1. Suharmanto, P.; Fitria, A.N.; Ghaliyah, S. Indonesian Geothermal Energy Potential as

- Source of Alternative Energy Power Plant. *KEn* **2015**, 1, 119, doi:10.18502/ken.v1i1.325.
2. Sigurdsson, H. *Encyclopedia of Volcanoes*; Academic Press: San Diego, 2000; ISBN 978-0-08-054798-5.
3. DiPippo, R. *Geothermal Power Plants: Principles, Applications and Case Studies*; 2. ed., Repr.; Elsevier, BH: Oxford Heidelberg, 2009; ISBN 978-0-7506-8620-4.
4. Trisnaning, P.T.; Fatimah, F. Tipe Fluida Hidrotermal Sepanjang Manifestasi Panas Bumi Di Daerah Ungaran Dan Sekitarnya. *Angkasa* **2021**, 13, doi:10.28989/angkasa.v13i2.944.
5. Putri, T.D.; Putra, A. Analisis Pengaruh Temperatur Pemanasan Terhadap Sifat Fisis Sinter Silika Dan Tipe Fluida (Air) Pada Mata Air Panas Sapan Maluluang, Kecamatan Alam Pauh Duo, Kabupaten Solok Selatan. *JFU* **2017**, 6, 1–8, doi:10.25077/jfu.6.1.1-8.2017.
6. Giggenbach, W.F. Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **1988**, 52, 2749–2765, doi:10.1016/0016-7037(88)90143-3.
7. Suharmanto, P.; Daud, Y.; Zarkasyi, A. Delineasi Zona Prospek Sistem Panasbumi Daerah 'P' Menggunakan Pemodelan Multi Dimensi Data Magnetotelurik Terintegrasi Data Geologi Dan Geokimia. *FaktorExacta* **2018**, 11, doi:10.30998/faktorexacta.v11i3.2714.
8. Nicholson, K. *Geothermal Fluids: Chemistry and Exploration Techniques*; Springer-Verlag: Berlin; New York, 1993; ISBN 978-3-540-56017-3.
9. Arnórsson, S. The Use of Mixing Models and Chemical Geothermometers for Estimating Underground Temperatures in Geothermal Systems. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **1985**, 23, 299–335, doi:10.1016/0377-0273(85)90039-3.
10. Aribowo, Y. Prediksi Temperatur Reservoar Panasbumi Dengan Menggunakan Metoda Geotermometer Kimia Fluida. *TEKNIK* **2011**, 32, 234–238, doi:10.14710/teknik.v32i3.1743.