

Analisis Karakteristik Fluida dan Estimasi Temperatur Reservoir menggunakan Geoindikator Na-K-Mg di Kecamatan Tompaso Baru

^{*)} Tesalonika Lontoh, Heindrich Taunaumang, dan Jeferson Polii

Prodi Fisika FMIPA, Universitas Negeri Manado, Tondano, 95619, Indonesia

*e-mail: lontohtesalonika@gmail.com

Diterima 3 Oktober 2022; Disetujui 17 Oktober 2022

ABSTRAK

Panas bumi adalah sumber energi panas yang terkandung dalam air panas, batuan, uap air serta gas dan mineral lainnya yang secara genetis tidak dapat dipisahkan dari suatu sistem panas bumi. Energi ini berasal dari pemanasan air dan batuan serta unsur-unsur lain yang terkandung dalam energi panas bumi yang tersimpan di kerak bumi. Kebutuhan energi semakin meningkat, berbagai hal diupayakan untuk memanfaatkan potensi yang ada di Indonesia, salah satunya potensi panas bumi. Energi panas bumi merupakan sumber daya alam yang terbarukan dengan potensi yang tinggi dan merupakan salah satu sumber energi pilihan dalam keanekaragaman energi. Keberadaan sumber panas bumi, ditandai dengan adanya manifestasi panas bumi muncul ke permukaan, salah satunya berada di Kecamatan Tompaso Baru. Sampel fluida yang kemudian diuji laboratorium, selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan menggunakan metode geokimia fluida berupa perhitungan presentase geoindikator Na-K-Mg untuk mengetahui tipe fluida dan geotermometer untuk mengetahui estimasi temperatur reservoir. Dengan menggunakan perhitungan presentase kandungan kimia hasil uji laboratorium $\text{Na}/1000 + \text{K}/100 + \sqrt{\text{Mg}}$ dan plotting diagram ternary fluida panas bumi bertipe *partial equilibrium waters* yaitu kondisi dimana fluida sebagian telah mengalami perubahan sehingga tidak sepenuhnya berada dalam keadaan setimbang, dan perhitungan menggunakan geotermometer silika estimasi temperatur reservoir sebesar 191.1078°C yaitu jenis reservoir dengan temperatur sedang.

Kata kunci: Panas bumi, Tompaso Baru, Geoindikator, Geotermometer

ABSTRACT

Geothermal is a source of thermal energy contained in hot water, rock, water vapor, and other gases and minerals that are genetically inseparable from a geothermal system. This energy comes from heating water and rocks and other elements contained in geothermal energy stored in the earth's crust. Energy needs are increasing, various efforts are made to take advantage of the potential that exists in Indonesia, one of which is geothermal potential. Geothermal energy is a renewable natural resource with high potential and is one of the preferred energy sources in energy diversity. The existence of geothermal sources, marked by the presence of geothermal manifestations emerging to the surface, one of which is in Tompaso Baru District. The fluid samples were then tested in the laboratory, then data processing was carried out using the fluid geochemical method in the form of calculating the percentage of the Na-K-Mg geoindicator to determine the type of fluid and a geotermometer to determine the estimated reservoir temperature. By using the calculation of the percentage of chemical content from the laboratory test results $\text{Na}/1000 + \text{K}/100 + \sqrt{\text{Mg}}$ and plotting a ternary diagram of a partial equilibrium waters type of geothermal fluid, namely a condition where the fluid has partially changed so that it is not fully in equilibrium, and calculations using a silica geotermometer the estimated reservoir temperature is 191.1078°C, which is the type of reservoir with medium temperature.

Keywords: Geothermal, Tompaso Baru, Geoindicator, Geotermometer

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi semakin meningkat setiap tahunnya, berbagai hal diupayakan untuk memanfaatkan potensi yang ada di Indonesia, salah satunya potensi panas bumi. Panas bumi adalah sumber energi panas yang terkandung dalam air panas, batuan, uap air serta gas dan mineral dan lainnya yang secara genetis tidak dapat dipisahkan dari suatu sistem panas bumi. Energi panas bumi merupakan sumber daya alam yang terbarukan dengan potensi yang tinggi.

Penggunaan energi baru dan terbarukan, lebih ramah terhadap lingkungan dan ekonomis. Sekitar 40% cadangan energi panas bumi di dunia berada di Indonesia, oleh karena hal itu Indonesia diperkirakan memiliki cadangan energi panas bumi terbesar di dunia. Sulawesi Utara merupakan provinsi yang paling maju dalam pemanfaatan energi panas bumi untuk pembangkit listrik dan sekitar 40% pasokan listriknya berasal dari energi panas bumi.

Keberadaan sumber panas bumi, di tandai dengan adanya manifestasi panas bumi muncul

ke permukaan, salah satunya berada di Sulawesi Utara tepatnya di Kabupaten Minahasa Selatan, Kecamatan Tompo Baru, Desa Pinaasaan, yaitu berupa mata air panas.

Mata air panas di desa Pinaasaan kecamatan Tompo Baru, berada pada Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) Kotamobagu. Menurut buku potensi jilid 2 (2017), sistem ini mempunyai zona upflow di sekitar Gunung Ambang dengan outflow ke arah barat daya dan timur laut. Sistem panas bumi lapangan Kotamobagu merupakan sistem dominan air dengan kemungkinan zona uap, pH netral, namun masih memiliki kandungan gas magmatik dengan NCG solfatara sekitar 2% dengan temperatur sekitar 300-340°C. Sistem panas bumi Kotamobagu dikontrol oleh struktur kaldera besar Gunung Ambang dan beberapa arah patahan NE-SW dan NW-SE. Struktur – struktur patahan yang terdapat di daerah ini yang mengontrol kemunculan manifestasi dipermukaan bumi berupa mata air panas dan solfatara.

Metode Geokimia geoindikator Na-K-Mg merupakan metode yang dapat digunakan untuk menentukan karakteristik fluida dengan perhitungan presentase hasil uji laboratorium dan plot diagram ternary, serta perhitungan menggunakan geotermometer merupakan metode yang dapat memprediksi temperatur reservoir.

2. KAJIAN TEORI

Energi Panas Bumi

Sistem panas bumi atau geothermal system secara umum dapat didefinisikan sebagai sistem perpindahan panas di mantel dan kerak atas, di mana panas dipindahkan dari sumber panas (heat source) ke reservoir atau penampungan panas (heat sink).

Energi panas bumi atau *geothermal energy* dapat ditemukan di banyak tempat di bumi. Namun daerah panas bumi bersuhu tinggi yang digunakan dan dimanfaatkan untuk pembangkit listrik yang tidak ditemui di banyak tempat. Untuk mempelajari lebih lanjut tentang daerah panas bumi dengan suhu tinggi, menunjuk pada Teori Tektonik Lempeng (Suparno, 2009).

Pada dasarnya sistem panas bumi terbentuk sebagai akibat dari penghantaran panas dari sumber panas ke sekitarnya yang terjadi secara konveksi dan secara konduksi. Penghantaran panas yang terjadi konveksi yaitu karena adanya kontak antara air dan suatu sumber panas, sedangkan penghantaran panas

yang terjadi secara konduksi yaitu melalui batuan.

Fluida panas bumi dapat berupa cair atau uap tergantung pada temperatur dan tekanan yang mempengaruhinya. Suatu fluida berada dalam keadaan cair jika pada tekanan tertentu suhunya lebih rendah dari titik didihnya atau suhu saturasi fluida berada dalam keadaan uap jika pada tekanan tertentu suhunya lebih tinggi dari temperatur saturasi atau titik didih (Saptadji, 2001).

Lapisan batuan dibawah permukaan yang mengalirkan dan menyimpan fluida termal (uap atau air panas) yang disebut reservoir. Reservoir biasanya adalah batuan yang memiliki permeabilitas dan porositas yang baik. Yang berperan mengalirkan fluida termal disebut permeabilitas dan yang berperan dalam menyimpan fluida termal disebut porositas.

Dalam buku Saptadji (2009) berdasarkan besar temperatur, Hochstein (1990) mengelompokkan sistem panas bumi menjadi tiga, yaitu:

- Jenis reservoir dengan temperatur yang tinggi, yaitu reservoir panas bumi yang memiliki fluida dengan temperatur di atas 225°C.
- Jenis reservoir bertemperatur sedang, yaitu suatu Panas bumi yang reservoirnya mengandung fluida bertemperatur antara 125°C dan 225°C.
- Jenis reservoir bertemperatur rendah, yaitu suatu panas bumi yang reservoirnya memiliki fluida yang bertemperatur lebih rendah dari 125 °C.

Caprock merupakan lapisan batuan yang memiliki porositas dan permeabilitas yang rendah. Lapisan batuan ini berfungsi sebagai penutup reservoir untuk mencegah keluar atau bocornya fluida panas bumi.

Keberadaan sumber energi panas bumi dibawah permukaan, seringkali ditunjukkan dengan adanya kemunculan manifestasi panas bumi dipermukaan.. Kemunculan manifestasi panas bumi pada permukaan disuatu tempat merupakan tahap awal yang dicari dan dikunjungi dalam tahap eksplorasi. Perkiraan sistem panas bumi dibawah permukaan, dapat dilihat dari karakteristik manifestasi yang keluar pada permukaan serta kandungan kimia air seperti jenis serta temperatur reservoir. Petunjuk adanya sumber panas bumi dibawah permukaan salah satunya yaitu adanya mata air panas atau hangat yang muncul pada

permukaan. Jika temperatur air lebih besar dari 50°C disebut dengan istilah panas dan jika temperatur air kurang dari 50°C disebut dengan istilah hangat.

Geokimia

Analisis dengan metode geokimia tidak hanya dilakukan pada gas atau fluida pada manifestasi panas bumi dipermukaan, tetapi juga untuk melihat kandungan gas dan unsur-unsur yang terkandung dalam tanah pada daerah lainnya yang terbentuk karena adanya aktifitas hidrotermal. Hasil dari analisis gas, isotop air dan kimia fluida dari manifestasi yang keluar dipermukaan bermanfaat untuk memperkirakan asal atau sumber air, sistem hidrologi, karakteristik fluida serta estimasi temperatur reservoir. Analisis geokimia dalam penelitian ini adalah menggunakan geoindikator, geotermometer.

Geoindikator

Geoindikator merupakan metode untuk menentukan zona upflow dan outflow pada sistem panas bumi. Zat-zat terlarut dalam dua kategori yaitu tracer dan geoindikator (Giggenbach, 1988)

Menurut Giggenbach and Goguel (1989) beberapa tipe geoindikator panas bumi yaitu:

- Geoindikator $Cl - SO_4 - HCO_3$

Metode yang digunakan dalam penentuan fluida reservoir yang dilakukan untuk menentukan karakteristik suatu reservoir adalah menggunakan diagram ternary $Cl - SO_4 - HCO_3$. Parameter yang digunakan dalam kandungan relatif adalah kandungan klorida (Cl), bikarbonat (HCO_3) serta sulfat (SO_4)

- Geoindikator $Cl - Li - B$

Untuk mengevaluasi proses pendidihan dan pengenceran berdasarkan perbandingan konsentrasi Cl/100 dan B/4 yang telah diubah dalam satuan persen yaitu menggunakan diagram segitiga Cl-Li-B.

- Geoindikator $Na - K - Mg$

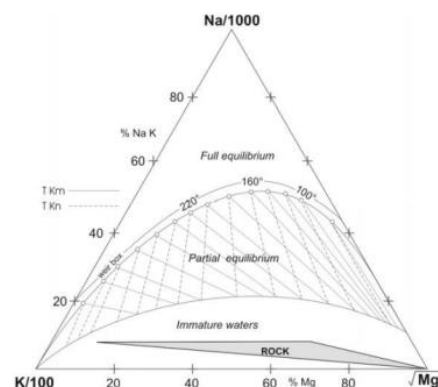
Geoindikator Na-K-Mg dapat menunjukkan kesetimbangan reaksi dari air batuan. (Giggenbach, 1988). Dengan menggunakan plot diagram ternary dari prentetase $Na/1000 + K/100 + \sqrt{Mg}$ dengan persamaan sebagai berikut.

$$\sum Kadar = \frac{Na}{1000} + \frac{K}{100} + \sqrt{Mg} \quad (1)$$

$$\% Na = \frac{\frac{Na}{1000}}{\sum kadar} \times 100 \% \quad (2)$$

$$\% Mg = \frac{\sqrt{Mg}}{\sum kadar} \times 100 \% \quad (3)$$

$$\% K = \frac{\frac{K}{100}}{\sum kadar} \times 100 \% \quad (4)$$



Gambar 1. Digram Ternary Na-K-Mg (Giggenbach)

Tipe fluida panas bumi pada diagram ternary Na-K-Mg terbagi atas tiga, yaitu:

- Full Equilibrium Waters* adalah kondisi dimana fluida panas bumi berada dalam keadaan setimbang.
- Partial Equilibrium Waters* adalah kondisi dimana fluida sebagian telah mengalami perubahan sehingga tidak sepenuhnya berada dalam keadaan setimbang.
- Immature Waters* adalah kondisi dimana fluida tersebut sudah tidak dalam keadaan setimbang dan telah bercampur dengan air meteorik atau air tanah.

Geotermometer

Perhitungan geotermometer adalah suatu persamaan yang menggunakan konsentrasi dari unsur kimia fluida untuk memperkirakan temperatur reservoir (Saptadji, 2009). Geotermometer air dapat diterapkan pada manifestasi yaitu berupa sumur bor maupun mata air alami maupun. Perhitungan geotermometer air dihitung berdasarkan solubilitas mineral silika dan reaksi pertukaran ion Na-K-Ca (Nicholson, 1993).

Persamaan Geotermometer yang dipakai dalam perkiraan temperatur bawah permukaan (Reservoir) ditunjukkan pada Tabel 1.

mineral silikat dalam batuan dan konsentrasi pada umumnya 100-300 ppm.

Tabel 1. Beberapa Persamaan Geotermometer Silika (Aribowo, 2011)

Geotermometer	Persamaan	Referensi
Quartz-no steam loss	$T = 1309 / (5.19 - \log C) - 273.15$	Fournier (1977)
Quartz-maximum steam loss at 100°C	$T = 1522 / (5.75 - \log C) - 273.15$	Fournier (1977)
Quartz	$T = 42.198 + 0.28831C - 3.6686 \times 10^{-4} C^2 + 3.1665 \times 10^{-7} C^3 + 77.034 \log C$	Fournier and Potter (1982)
Quartz	$T = 53.500 + 0.11236C - 0.5559 \times 10^{-4} C^2 + 0.1772 \times 10^{-7} C^3 + 88.390 \log C$	Arnorsson (1983)
Chalcedony	$T = 1032 / (4.69 - \log C) - 273.15$	Fournier (1977)
Chalcedony	$T = 1112 / (4.91 - \log C) - 273.15$	Arnorsson (1983)
Cristobalite	$T = 1000 / (4.78 - \log C) - 273.15$	Fournier (1977)
Opal	$T = 781 / (4.51 - \log C) - 273.15$	Fournier (1977)
Amorphous silica	$T = 731 / (4.52 - \log C) - 273.15$	Fournier (1977)

a. Geotermometer Silika

Geotermometer silika lebih baik digunakan pada temperatur reservoir yang tidak terlalu tinggi (Aulia, 2014). Perhitungan suhu reservoir panas bumi menggunakan geotermometer silika melibatkan konsentrasi mineral Silika (SiO_2) yang terkandung dalam sampel air panas. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan geotermometer silika, maka didapatkan perkiraan suhu reservoir (Arrahman, 2015).

Geotermometer Na-K

Geotermometer Na-K (Giggenbach, 1988) bisa diterapkan untuk reservoir air klorida dengan nilai Temperatur $>180^\circ C$. Keunggulan yang dimiliki geotermometer ini yaitu tidak banyak terpengaruh oleh steam loss, tetapi geotermometer ini kurang bagus jika diaplikasikan untuk temperatur $<100^\circ C$.

Persamaan yang dapat digunakan untuk menentukan temperatur bawah permukaan menggunakan geotermometer dalam kandungan Na-K pada table 2.

Tabel 2. Beberapa Persamaan Geotermometer Na-K (Aribowo, 2011)

Persamaan	Referensi
$T = [855.6 / (0.857 + \log(Na/K))] - 273.15$	Truesdell (1976)
$T = [833 / (0.780 + \log(Na/K))] - 273.15$	Tonani (1980)
$T = [1319 / (1.699 + \log(Na/K))] - 273.15$ (250-350°C)	Arnorsson et al. (1983)
$T = [1217 / (1.483 + \log(Na/K))] - 273.15$	Fournier (1979)
$T = [1178 / (1.470 + \log(Na/K))] - 273.15$	Nieva and Nieva (1987)
$T = [1390 / (1.750 + \log(Na/K))] - 273.15$	Giggenbach (1988)

Geotermometer silika dibuat berdasar kelarutan berbagai jenis silika dalam air sebagai fungsi dari temperatur yang ditentukan dengan simulasi/eksperimen. Reaksi yang menjadi dasar pelarutan silika dalam air adalah: $SiO_2(s) + 2H_2O \rightarrow H_4SiO_4$ Pada kebanyakan sistem Panas bumi, fluida di kedalaman mengalami ekuilibrium dengan kuarsa (Aribowo, 2011).

Perkembangan geotermometer silika terdapat pada Tabel 1 Variabel C adalah konsentrasi silika (mg/L). Konsentrasi silika dikontrol oleh kelarutan berbagai

Konsentrasi Na dan K terkait oleh interaksi fluida batuan yang tergantung temperatur. Serta Na merupakan kation utama pada fluida Panas bumi (konsentrasi 200-2000 ppm), konsentrasi K biasanya 1/10 Na Rasio Na/K semakin kecil, biasanya menunjukkan temperatur semakin tinggi (Aribowo, 2011).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada Mata Air Panas desa Pinaesaan, Kecamatan Tompas Baru, Kabupaten Minahasa Selatan, Provinsi Sulawesi Utara.

Teknik penelitian untuk pengumpulan dan analisis data, dengan mengetahui masalah dalam penelitian yaitu melihat keadaan sekitar untuk menentukan rumusan masalah dan tujuan penelitian, kemudian dilakukan studi literatur, survey lapangan secara langsung di lokasi, mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Selanjutnya masuk pada kegiatan lapangan yaitu dilakukan pengukuran parameter fisis dan pengambilan sampel fluida yang akan di uji parameter geokimia di laboratorium untuk menentukan kandungan empat parameter uji yaitu Natrium (Na),

belerang, pengambilan sampel dilakukan pada pukul 11.00 Wita. Berdasarkan hasil pengukuran parameter fisis dilapangan dapat dilihat bahwa temperatur manifestasi di desa Pinaesaan mencapai 70°C yang artinya manifestasi tersebut termasuk dalam kategori mata air panas karena temperatur manifestasi melebihi 50°C.

Setelah pengukuran parameter fisis dilapangan, dilakukan pengambilan sampel fluida pada manifestasi dengan menggunakan botol sampel dan box sebagai pelindung botol sampel, selanjutnya dilakukan analisis data di laboratorium PT. Water Laboratory Nusantara (WLN) Indonesia, untuk memperoleh parameter geokimia fluida. Hasil pengujian sampel dilaboratorium ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Sampel Laboratorium

Sampel	Parameter				Total (mg/L)
	Silika (SiO_2)	Natrium (Na)	Kalium (K)	Magnesium (Mg)	
Fluida	32.8	558	7.86	0.26	588.92

Kalium (K), Magnesium (Mg), Silika (SiO_2) pada fluida.

Setelah sampel fluida diambil dan diuji di laboratorium menggunakan Spektrofotometri, selanjutnya dilakukan pengolahan data hasil laboratorium dengan menggunakan metode geokimia geoindikator menghitung presentase Na-K-Mg kemudian dari hasil perhitungan dilakukan plot diagram ternary untuk mengetahui tipe fluida dan geotermometer untuk menentukan estimasi suhu reservoir, dan tahap terakhir yaitu menarik kesimpulan dari hasil penelitian berdasarkan rumusan masalah dan tujuan dalam penelitian. Penelitian ini dilakukan secara sistematis dengan dengan prosedur penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan sampel dilakukan pada mata air panas yang berlokasi di area persawahan warga desa Pinaesaan, secara geografis mata air panas terletak pada titik koordinat $X = 0.92451$ dan $Y = 124,46382$ dengan elevasi 333 m, dengan temperatur udara pada area manifestasi yaitu 28°C sedangkan temperatur pada mata air panas yaitu 70°C dan memiliki nilai pH 7 yang bersifat netral. Sesuai dengan hasil pengamatan pada lokasi manifestasi, kondisi fisik yang diamati yaitu air yang jernih, bergelembung, terdapat endapan lumpur, serta sedikit berbau

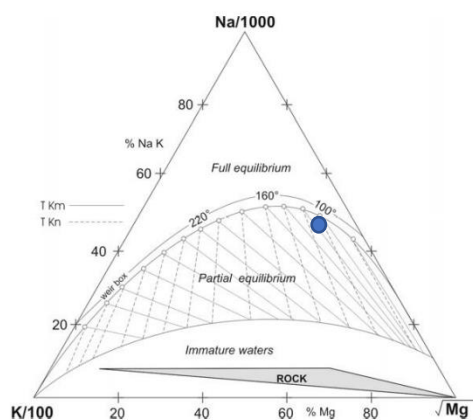
Berdasarkan Tabel 3. dapat dilihat bahwa kandungan ion tertinggi adalah Natrium (Na) yaitu 558 mg/L, kemudian ion Silika (SiO_2) yaitu 32.8, di ikuti ion Kalium (K) yaitu 7,86 mg/L dan kandungan ion pada Magnesium (Mg) adalah yang terendah yaitu 0,26 mg/L. Untuk menentukan tipe fluida pada mata air panas menggunakan analisis geokimia fluida, peneliti menggunakan plot diagram ternary berdasarkan hasil uji laboratorium berdasarkan nilai ion Natrium (Na), Kalium (Kalium), dan Magnesium (Mg) yang terkandung pada sampel. Dilakukan perhitungan persentase kandungan menggunakan geoindikator Na-K-Mg.

Metode yang di kembangkan oleh Giffenbach (1988), yaitu dengan plot data pada diagram ternary $Na/1000 = K/100 + \sqrt{Mg}$. Perhitungan Geoindikator Na-K-Mg berdasarkan data hasil analisis laboratorium pada unsur $Na/1000 = 558 \text{ mg/L}$, $K/100 = 7.86 \text{ mg/L}$, dan $\sqrt{Mg} = 0.26 \text{ mg/L}$.

Oleh karena itu, untuk mengetahui persentase senyawa dan Σ kadar digunakan persamaan 1,2,3,4. Berdasarkan hasil analisis diperoleh seperti pada Tabel 4. Tabel 4. Menampilkan data persentase kandungan kimia pada sampel yang diuji.

Tabel 4. Persentase Kandungan Kimia

Presentase (%)			
Na	K	Mg	Total
48.67	6.86	44.47	100%

**Gambar 2.** Plot Presentase Diagram Ternary Daerah Manifestasi Mata Air Panas

Berdasarkan hasil perhitungan kandungan $\text{Na}/1000 + \text{K}/100 + \sqrt{\text{Mg}}$ dan hasil presentase menggunakan persamaan Σ kadar kemudian hasil diplot menggunakan diagram ternary Na-K-Mg yang ditunjukkan pada Gambar 2. yang menunjukkan manifestasi mata air panas berada pada *Partial equilibrium waters* yaitu kondisi dimana fluida sebagian telah mengalami perubahan sehingga tidak sepenuhnya berada dalam keadaan setimbang.

Hal ini menunjukkan bahwa fluida panas sedikit bercampur dengan air permukaan. Unsur Na yang tinggi dalam sistem panas bumi adalah fluida yang berinteraksi dengan batuan panas dalam sistem reservoir dengan temperatur tinggi. Unsur Mg yang tinggi pada fluida panas bumi menunjukkan fluida panas bumi telah terjadi pencampuran dengan air pada permukaan (Nicholson, 1993).

Unsur K dikontrol oleh interaksi fluida dengan batuan panas dalam sistem panas bumi reservoir yang bertemperatur tinggi. Unsur K yang sedikit pada manifestasi mata air panas menunjukkan bahwa aliran fluida panas bumi ke permukaan bergerak lambat. Hal ini juga menunjukkan adanya campuran pada mata air panas dari fluida panas bumi dan air permukaan yang dekat dengan permukaan. Selanjutnya, proses pendinginan yang bersifat konduktif (Nicholson, 1993).

Menurut Suharmanto, 2018 hal ini menggambarkan keadaan mata air panas kemungkinan berasal langsung dari kedalaman yang bertemperatur tinggi dan menunjukkan

bahwa keadaan mata air panas di desa Pinaasaan relatif sedikit sekali terpengaruh dengan air permukaan atau pengenceran air meteorik sehingga hasil analisa pendugaan ini dapat digunakan untuk menentukan perkiraan temperatur reservoir dan menunjukan ciri zona upflow pada sistem Panas bumi non vulkanik. Pada manifestasi mata air panas desa Pinaasaan memiliki nilai ion Na dan Cl yang cukup tinggi. Tingginya ion Na dan Cl pada fluida adalah hasil dari penetralan gas-gas asam yang keluar dari magma dengan batuan sekitar (Giggenbach, 1988).

Geotermometer Silika

Setelah dilakukan analisis kimia penentuan karakteristik fluida dapat diketahui estimasi temperatur reservoir, menggunakan persamaan geotermometer silika. Menurut Aribowo (2011), berdasarkan data percobaan variasi kelarutan atau konsentrasi silika pada variasi temperatur, maka kita bisa mengetahui estimasi temperatur fluida apabila kita memiliki data konsentrasi silika pada fluida (dari analisa kimia sampel air). Berbagai jenis persamaan geotermometer silika ditunjukkan pada Tabel 2.1 (hasil simulasi dari beberapa peneliti), di mana penerapannya bergantung pada keadaan fluida dan jenis endapan silika yang ditemui (keterangan : C = konsentrasi SiO_2 pada fluida dalam ppm).

Perhitungan Geotermometer silika dalam analisa estimasi temperatur reservoir ini menggunakan persamaan geotermometer kuarsa pada table yang dikemukakan oleh Arnorsson (1985).

$$T = 191.1078^\circ\text{C}$$

Geotermometer kuarsa umumnya baik digunakan untuk reservoir bertemperatur $>150^\circ\text{C}$. Di bawah $>150^\circ\text{C}$ kandungan silika dikontrol oleh kalsedon (Aribowo, 2011). Geotermometer silika sudah dikembangkan oleh beberapa ahli. Pemakaian geotermometer silika harus mempertimbangkan karakteristik dari manifestasi panas bumi yang ada pada sampel. Geotermometer amorphous silica tidak cocok digunakan diduga karena kandungan sinter silika yang tidak dominan terdapat di sekitar mata air panas di daerah penelitian. Geotermometer silika chalcedony, opal, dan cristobalite juga tidak cocok digunakan pada daerah penelitian karena kandungan silika daerah tersebut sangat rendah. Geotermometer silika quartz-no steam loss dan silika quartz-maximum steam loss pada 100°C tidak cocok

digunakan pada daerah penelitian karena hasil estimasi temperatur reservoir pada daerah penelitian mendekati temperatur permukaan. Oleh sebab itu, geotermometer silika yang cocok digunakan pada daerah penelitian adalah geotermometer silika quartz atau geotermometer kuarsa (Utami, 2018).

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan geotermometer silika quartz (Arnorsson, 1985), didapatkan temperatur pada daerah Pinaesaan sebesar 191.1078°C, yang menunjukkan temperatur reservoir ini termasuk reservoir bertipe suhu sedang. Menurut Saptadji (2009) sistem panas bumi bertemperatur tinggi dan sedang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga panas bumi. Akan tetapi, masih dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk memutuskan kelayakan daerah penelitian sebagai daerah pengembangan pembangkit listrik panas bumi seperti besarnya potensi dan cadangan panas bumi, kedalaman reservoir, dan lainnya.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian ini yaitu fluida mata air panas pada lokasi penelitian dengan temperatur pada mata air panas yaitu 70°C dengan temperatur udara 28°C dan memiliki nilai pH 7. Temperatur pada lokasi penelitian sebesar 191.1078°C, yang menunjukkan temperatur reservoir ini termasuk reservoir bertipe suhu sedang yang berarti dapat digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga panas bumi.

6. REFERENSI

- Arnorsson, "The Use of Mixing Models and Chemical Geothermometers For Estimating Underground Temperatures in Geothermal Systems", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 23, 299-335 (1985).
- Arrahman, R., Putra, A. (2015). Perkiraan Suhu Reservoir Panas Bumi Dari Sumber Mata Air Panas Di Nagari Panti, Kabupaten Pasaman Menggunakan Persamaan Geotermometer Sebagai Dasar Penentuan Potensi Panas Bumi. *Jurnal Fisika Unand* Vol. 4, No. 4, 391-396.
- Aribowo, Y. (2011). Prediksi Temperatur Reservoir Panas bumi Dengan Menggunakan Metoda Geotermometer Kimia Fluida. *TEKNIK*, 234-238.
- Aulia, M.Z., "Karakterisasi Sistem Panas Bumi "TP" dengan Analisis Data Geokimia dan Model Magnetotellurik untuk Menentukan Lokasi Titik Bor Eksplorasi", Skripsi, Universitas Lampung, 2014.
- Direktorat Panas Bumi, Direktorat Jenderal EBTKE Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi, Badan Geologi. (2017). *POTENSI PANAS BUMI INDONESIA*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Giggenbach, W. F. (1998). Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 2749-2765.
- Giggenbach, W. F., Goguel (1989). *Collection and analysis of geothermal and volcanic water and gas discharges*. Pertone: Departement of Scientific and Industrial Research. Chemistry Division.
- Nicholson, K., "Geothermal Fluids", Springer Verlag Inc., Berlin, 1993.
- Saptadji, N. (2009). *Karakteristik Reservoir. Training "Advanced Geothermal Reservoir Engineering, 1-14*
- Saptadji, N. (2001). *Teknik panas bumi*. Bandung: Departemen Teknik Perminyakan Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral Institut Teknologi Bandung
- Suharmanto, P. (2018). Delineasi Zona Prospek Sistem Panas bumi Daerah 'P' Menggunakan Pemodelan Multi Dimensi Data Magnetotellurik Terintegrasi Data Geologi Dan Geokimia. *Faktor Exacta* 11 (3): 253-265.
- Suparno, S. (Energi Panas bumi. Department Fisika-FMIPA Universitas Indonesia
- Utami, Z., & Putra, A. (2018). Penentuan Karakteristik Fluida dan Estimasi Temperatur Reservoir Panas Bumi di Sekitar Gunung Talang. *Jurnal Fisika Unand*, 130-137.