

Identifikasi Karakteristik Fluida dan Estimasi Temperatur Reservoir Panas Bumi di Tanjung Raya dan Palupuh, Kabupaten Agam

Ariqah Ardelia, Dwi Pujiastuti*, Ahmad Fauzi Pohan

Laboratorium Fisika Bumi, Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 7 Februari 2023
Direvisi: 8 Maret 2023
Diterima: 10 Maret 2023

Kata kunci:

Diagram segitiga
Estimasi temperatur reservoir
Fluida panas bumi

Keywords:

Triangle diagram
Reservoir temperature estimation
Geothermal Fluid

Penulis Korespondensi:

Dwi Pujiastuti
Email:
dwipujiastuti@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang identifikasi karakteristik fluida dan estimasi temperatur reservoir panas bumi di Tanjung Raya dan Palupuh, Kabupaten Agam. Sampel penelitian diambil dari 2 titik sumber mata air panas masing-masing sebanyak 500 ml pada bagian dasar, tengah dan permukaan mata air panas. Identifikasi karakteristik fluida panas bumi dilakukan menggunakan diagram segitiga Cl-Li-B untuk menentukan asal-usul dan pengenceran fluida panas bumi serta diagram segitiga Na-K-Mg untuk menentukan kesetimbangan fluida panas bumi. Estimasi temperatur reservoir panas bumi ditentukan dengan persamaan geotermometer. Konsentrasi unsur Na, K dan Mg pada masing-masing sampel diuji menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS), konsentrasi unsur Ca, Li dan B diuji menggunakan *Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectroscopy* (ICP-AES), konsentrasi unsur Cl diuji menggunakan metode titrasi dan konsentrasi senyawa SiO₂ diuji menggunakan *Visible Spectroscopy*. Berdasarkan hasil penelitian, fluida panas bumi di Tanjung Raya dan Palupuh mengalami sedikit pengenceran dan terletak jauh dari sumber panas bumi. Mata air panas di Tanjung Raya dan Palupuh berada pada daerah *immature water* yang mengindikasikan fluida panas bumi tidak mencapai kesetimbangan dan terjadi banyak pencampuran dengan air permukaan. Estimasi temperatur reservoir panas bumi yang didapatkan menggunakan persamaan geotermometer silika memiliki temperatur 164,153°C – 175,209°C, yang dapat dikategorikan sebagai sistem panas bumi bertemperatur sedang.

Research has been carried out on identifying fluid characteristics and estimating the temperature of geothermal reservoirs in Tanjung Raya and Palupuh, Agam Regency. The research samples were taken from 2 points of hot springs as much as 500 ml each at the bottom, middle, and surface of the hot springs. Identification of the characteristics of the geothermal fluid is carried out using the Cl-Li-B triangle diagram to determine the origin of the geothermal fluid and the Na-K-Mg triangle diagram to determine the equilibrium of the geothermal fluid. Geothermal reservoir temperature estimation is determined by the geothermometer equation. Elemental concentrations of Na, K, and Mg in each sample were tested using Atomic Absorption Spectroscopy (AAS), concentrations of elements Ca, Li, and B were tested using Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectroscopy (ICP-AES), the concentration of Cl elements was tested using the titration method and the concentration of SiO₂ compounds tested using Visible Spectroscopy. Based on the research results, the geothermal fluids in Tanjung Raya and Palupuh have experienced a slight dilution and are located far from geothermal sources. The hot springs in Tanjung Raya and Palupuh are in the immature water zone which indicates the geothermal fluid does not reach equilibrium and there is a lot of mixing with surface water. The estimated temperature of the geothermal reservoir obtained using the silica geothermometer equation has a temperature of 164.153°C – 175.209°C, which can be categorized as a medium-temperature geothermal system.

Copyright © 2023 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Panas bumi merupakan sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air serta batuan bersama mineral ikutan gas lainnya yang secara genetik tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi (KESDM, 2017). Sumber energi panas bumi merupakan energi yang diekstraksi dari panas yang tersimpan di dalam bumi. Indonesia memiliki potensi panas bumi sekitar 29 GW atau kurang lebih 40% potensi energi panas bumi dunia (Sukendar dkk., 2016). Salah satu provinsi yang memiliki potensi panas bumi yang cukup besar adalah Sumatera Barat yaitu sekitar 1.656 MW. Sumatera Barat memiliki manifestasi permukaan berupa mata air panas, sinter silika, fumarol, geysir, tanah hangat dan batuan teralterasi. Namun dari banyaknya potensi panas bumi yang tersebar di Sumatera Barat hanya beberapa daerah saja yang sudah memanfaatkan potensi tersebut sebagai pembangkit listrik tenaga panas bumi (KESDM, 2017). Hal ini disebabkan karena tidak adanya data eksplorasi pendahuluan pada suatu daerah sehingga belum bisa dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan potensi panas bumi di daerah tersebut.

Kabupaten Agam merupakan salah satu daerah di Sumatera Barat yang diindikasikan memiliki potensi panas bumi. Keadaan geologi di Kabupaten Agam berupa lapisan batuan yang terdiri dari batuan endapan permukaan, sedimen, metamorfik, vulkanik dan intrusi. Batuan vulkanik dapat dijumpai pada Gunung Merapi, Gunung Singgalang dan Danau Maninjau (Pemerintah Kabupaten Agam, 2017). Manifestasi permukaan yang terdapat di Kabupaten Agam adalah berupa mata air panas yang terdapat di Kecamatan Tanjung Raya dan Kecamatan Palupuh. Adanya sistem panas bumi di bawah permukaan dapat ditandai dengan munculnya mata air panas yang mengindikasikan bahwa terdapat sumber air panas yang terkumpul dalam suatu reservoir panas bumi (Arrahman dan Putra, 2015).

Agar dapat diketahui potensi panas bumi di Kabupaten Agam yang nantinya dapat dikembangkan sebagai pembangkit listrik tenaga panas bumi, maka perlu dilakukan eksplorasi pendahuluan. Salah satunya adalah dengan eksplorasi geokimia. Eksplorasi geokimia dilakukan untuk menentukan karakteristik fluida panas bumi dan estimasi temperatur reservoir panas bumi (Saptadji, 2009). Karakteristik fluida panas bumi yaitu berupa tipe fluida, kesetimbangan, sumber panas, proses pendidihan dan pengenceran fluida panas bumi di daerah tersebut. Penentuan karakteristik fluida panas bumi dapat ditentukan dengan tiga jenis diagram segitiga fluida yaitu diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃, Cl-Li-B dan Na-K-Mg. Diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ digunakan untuk menentukan tipe fluida mata air panas. Diagram Cl-Li-B untuk menentukan asal-usul dan pengenceran fluida mata air panas dengan perbandingan konsentrasi Cl/100 dan B/4 yang telah dikonversi dalam satuan persen. Diagram Na-K-Mg digunakan untuk menentukan kesetimbangan fluida mata air panas dengan persentase Na/1000, K/100 dan Mg^{1/2} (Giggenbach, 1991). Eksplorasi geokimia lainnya adalah estimasi temperatur reservoir panas bumi. Metode yang dapat digunakan untuk mengestimasi temperatur reservoir panas bumi berdasarkan keberadaan zat terlarut dalam fluida panas bumi adalah metode geotermometer (Tala dkk., 2020). Metode geotermometer memiliki tingkat *error* yang relatif rendah dan tidak bergantung terhadap keberadaan endapan silika. Dalam menentukan geotermometer yang tepat untuk memperkirakan temperatur reservoir dapat ditentukan dengan memperhatikan unsur paling dominan pada fluida panas bumi dan karakteristik fluida panas bumi tersebut.

Penelitian tentang tipe fluida panas bumi telah dilakukan oleh Burhan dan Putra (2017) yang meneliti 46 titik sampel mata air panas yang tersebar di Sumatera Barat, termasuk Kabupaten Agam. Penelitian ini hanya menggunakan diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ untuk menentukan tipe fluida mata air panas dan didapatkan bahwa tipe fluida mata air panas di Kabupaten Agam merupakan tipe air bikarbonat. Analisis geokimia air pada mata air panas di Desa Sulli, Kecamatan Salahutu, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku telah dilakukan oleh Wattimanela dkk. (2021). Berdasarkan kandungan zat terlarut dan karakteristik fluida panas bumi pada daerah penelitian, persamaan geotermometer yang paling tepat untuk memperkirakan temperatur reservoir adalah persamaan geotermometer Na-K-Ca (Fournier dan Truesdell, 1973) dengan perkiraan temperatur reservoir daerah penelitian yaitu 115,21°C - 177,31°C.

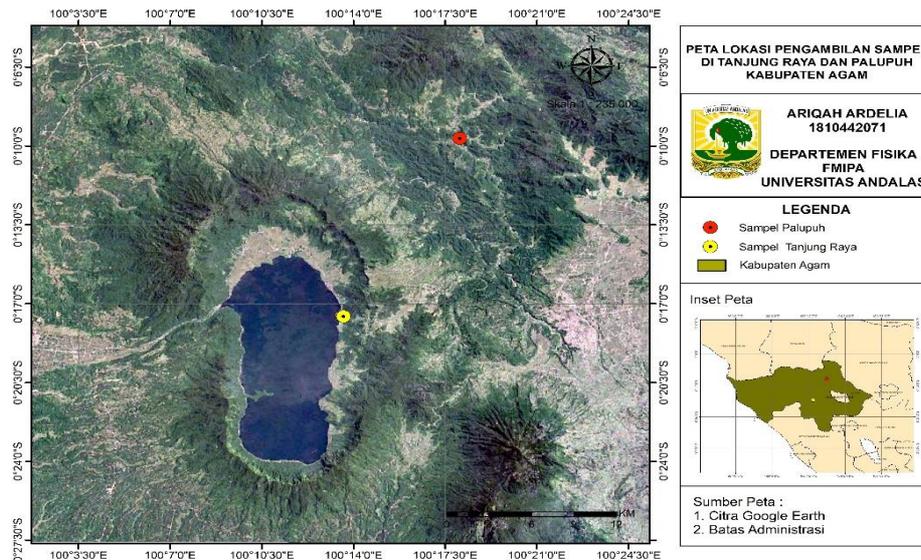
Berdasarkan hasil penelitian Burhan dan Putra (2017) yang mengindikasikan terdapatnya potensi panas bumi di Tanjung Raya dan Palupuh, Kabupaten Agam, maka diperlukan penelitian lebih lanjut menggunakan diagram segitiga Cl-Li-B dan diagram segitiga Na-K-Mg untuk menentukan karakteristik mata air panas yaitu proses pengenceran fluida, kesetimbangan fluida dan asal-usul fluida mata air panas bumi (Burhan dan Putra, 2017). Penelitian ini juga memperkirakan temperatur reservoir

panas bumi di Tanjung Raya dan Palupuh, Kabupaten Agam dengan menggunakan metode geotermometer yang paling tepat untuk mata air panas tersebut.

II. METODE

2.1 Lokasi Penelitian

Pengambilan sampel diambil di dua titik sumber mata air panas di Tanjung Raya dan Palupuh, Kabupaten Agam, Sumatera Barat seperti pada Gambar 1. Sampel diambil sebanyak masing-masing 500 ml di setiap titik sesuai dengan standar SNI pengambilan sampel fluida pada bagian dasar, tengah dan permukaan mata air panas. Sehingga secara keseluruhan diperoleh tiga sampel untuk setiap titik.



Gambar 1 Lokasi penelitian

2.2 Pengambilan Data

2.2.1 Pengukuran pH dan temperatur permukaan

Pengukuran pH air panas dilakukan menggunakan pH meter dan temperatur permukaan air panas diukur menggunakan termometer digital. Pengukuran dilakukan langsung di lapangan untuk semua sumber mata air panas. Hasil pengukuran sampel akan dijadikan sebagai data pendukung untuk menganalisis karakteristik jenis reservoir panas bumi pada lokasi penelitian

2.2.2 Pengukuran konsentrasi sampel

Pengujian konsentrasi unsur Na, K, dan Mg dilakukan dengan alat *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) di Laboratorium Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Padang. Pengujian konsentrasi Ca, Li, B dilakukan dengan menggunakan alat *Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy* (ICP-AES), konsentrasi Cl menggunakan alat titrasi dan konsentrasi SiO₂ menggunakan alat *Visible Spectroscopy* di Laboratorium Air, Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Andalas. Pengujian konsentrasi semua unsur dilakukan untuk semua sampel mata air panas.

2.3 Pengolahan dan Analisis Data

Untuk mendapatkan konsentrasi unsur Cl, Li, B, Na, K, Mg, Ca, dan SiO₂ di setiap titik maka konsentrasi fluida pada bagian dasar, tengah dan permukaan mata air panas yang telah didapatkan dirata-ratakan agar dihasilkan konsentrasi sesungguhnya untuk setiap titik. Data konsentrasi unsur Cl, Li, B yang telah diketahui disubstitusikan ke dalam Persamaan 1 sampai Persamaan 4 untuk diketahui persentase unsur yang nantinya akan diplot pada diagram segitiga Cl-Li-B untuk menentukan asal-usul dan pengenceran fluida panas bumi. Variabel *S* merupakan penjumlahan konsentrasi $[Cl]/100$, $[Li]$, dan $[B]/4$ yang dinyatakan dalam besaran mg/kg atau ppm. $[Cl]$ adalah konsentrasi Cl, $[Li]$ adalah konsentrasi Li, dan $[B]$ adalah konsentrasi B.

$$S = ([Cl]/100) + [Li] + ([B]/4) \quad (1)$$

$$\%Cl = [Cl] / S \quad (2)$$

$$\%Li = ([Li] / S) \times 100 \quad (3)$$

$$\%B = (([B] / 4) / S) \times 100 \quad (4)$$

Data konsentrasi unsur Na, K, dan Mg yang telah diketahui disubstitusikan ke dalam Persamaan 5 sampai Persamaan 8 untuk diketahui persentase unsur yang nantinya akan diplot pada diagram segitiga Na-K-Mg untuk menentukan kesetimbangan fluida panas bumi. Variabel S merupakan penjumlahan $[Na]$, $10[K]$, dan $1000[Mg]^{\frac{1}{2}}$ dan semua konsentrasi dinyatakan dalam mg/kg atau ppm. $[Na]$ adalah konsentrasi Na, $[K]$ adalah konsentrasi K, dan $[Mg]$ adalah konsentrasi Mg.

$$S = ([Cl] / 100) + [Li] + ([B] / 4) \quad (5)$$

$$\%Na = ([Na] / S) \times 100 \quad (6)$$

$$\%K = ((10[K] / S) \times 100) \quad (7)$$

$$\%Mg = \left(\left(\left(1000[Mg]^{\frac{1}{2}} \right) / S \right) \right) \times 100 \quad (8)$$

Data hasil plot kedua diagram yang merupakan karakteristik fluida panas bumi berupa asal-usul, pendidihan, pengenceran dan kesetimbangan fluida panas bumi akan dianalisis untuk menentukan unsur paling dominan pada air panas tersebut agar dapat ditentukan persamaan geotermometer yang paling tepat untuk digunakan dalam mengestimasi temperatur reservoir panas bumi pada daerah penelitian. Jenis-jenis geotermometer yang dapat digunakan untuk memperkirakan temperatur reservoir, yaitu geotermometer silika, geotermometer Na-K, dan geotermometer Na-K-Ca.

Geotermometer silika paling tepat digunakan untuk fluida panas bumi yang berada pada daerah *immature water* pada diagram segitiga Na-K-Mg (Zhang dkk., 2007). Geotermometer silika dikembangkan oleh beberapa ahli yang persamaannya dapat dilihat pada Tabel 1. Variabel C pada persamaan geotermometer silika merupakan konsentrasi silika (SiO_2) yang dinyatakan dalam mg/L atau ppm.

Tabel 1 Persamaan Geotermometer silika

Geotermometer	Persamaan	Referensi
<i>Quartz no steam loss</i>	$T = 1.309 / (5,19 - \log C) - 273,15$	Fournier (1977)
<i>Quartz maximum steam loss at 100°C</i>	$T = 1.522 / (5,75 - \log C) - 273,15$	Fournier (1977)
<i>Quartz</i>	$T = 42,198 + 0,28831C - 3,6686 \times 10^{-4}C^2 + 3,1665 \times 10^{-7}C^3 + 77,034 \log C$	Fournier and Potter (1982)
<i>Quartz</i>	$T = 53,500 + 0,11236C - 0,5559 \times 10^{-4}C^2 + 0,1772 \times 10^{-7}C^3 + 88,390 \log C$	Arnorsson (1985)
<i>Chalcedony</i>	$T = 1.032 / (4,69 - \log C) - 273,15$	Fournier (1977)
<i>Chalcedony</i>	$T = 1.112 / (4,91 - \log C) - 273,15$	Arnorsson (1983)
<i>Cristobalite</i>	$T = 1.000 / (4,78 - \log C) - 273,15$	Fournier (1977)
<i>Opal</i>	$T = 781 / (4,51 - \log C) - 273,15$	Fournier (1977)
<i>Amorphous silica</i>	$T = 731 / (4,52 - \log C) - 273,15$	Fournier (1977)

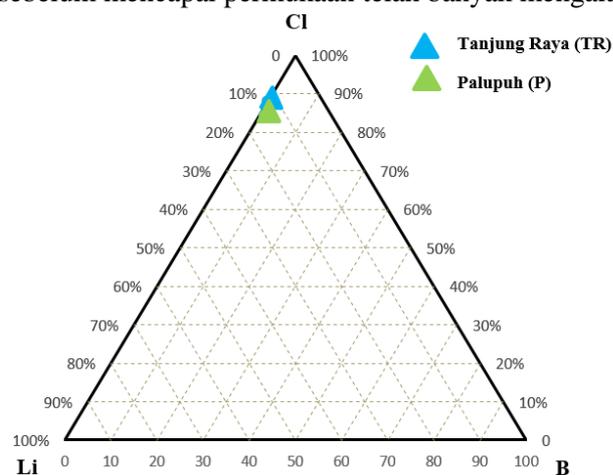
Geotermometer Na-K paling tepat digunakan untuk reservoir dengan tipe air klorida dengan temperatur lebih tinggi dari 180°C (Aribowo, 2011). Sedangkan geotermometer Na-K-Ca dapat digunakan pada fluida yang memiliki temperatur lebih rendah dan tipe air dengan konsentrasi Ca yang tinggi (Aribowo, 2011). Setelah ditentukan persamaan geotermometer yang paling tepat digunakan pada daerah penelitian, kemudian konsentrasi Na, K, Ca, dan SiO_2 disubstitusikan kedalam persamaan geotermometer yang paling tepat untuk mengestimasi temperatur reservoir panas bumi.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Karakteristik Fluida Panas Bumi

3.1.1 Diagram segitiga Cl-Li-B

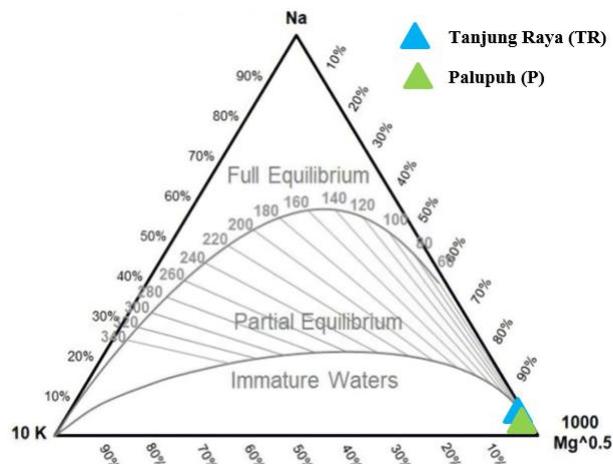
Diagram Cl-Li B (Gambar 2) menunjukkan fluida berada pada daerah dominan Cl yang mengindikasikan bahwa fluida yang naik ke permukaan berasal langsung dari sumber panas dan tidak terjadi pendinginan oleh batuan di sekitar aliran fluida atau fluida tersebut dipengaruhi oleh aktivitas vulkanik. Kedua sampel yang terletak jauh dari unsur B mengindikasikan bahwa terjadi sedikit pengenceran oleh batuan yang dilewati aliran air panas. Unsur B merupakan unsur yang sulit bereaksi sehingga hanya terjadi sedikit asosiasi panas bumi dengan batuan sedimen yang kaya zat organik (Nicholson, 1993). Unsur Li merupakan unsur yang mudah terserap mineral klorit, lempung dan kuarsa sehingga konsentrasi Li sebelum mencapai permukaan telah banyak mengalami pengurangan.



Gambar 2 Hasil plot diagram segitiga Cl-Li-B dimana kedua sampel berada pada daerah dominan Cl

3.1.2 Diagram Segitiga Na-K-Mg

Berdasarkan hasil plot diagram segitiga Na-K-Mg (Gambar 3) didapatkan hasil yaitu semua sampel berada pada daerah *immature water* dimana konsentrasi Mg jauh lebih tinggi dibandingkan dengan unsur Na dan K. Hal ini menandakan fluida panas bumi pada daerah penelitian mengalami pelarutan dengan batuan dekat permukaan dan mengalami banyak pencampuran dengan air permukaan (Wattimanela dkk, 2021). Fluida panas bumi pada daerah *immature water* berarti fluida tidak mencapai kesetimbangan atau telah bereaksi dengan unsur lain dalam perjalanannya menuju permukaan (Aribowo, 2011).



Gambar 3 Hasil plot diagram segitiga Na-K-Mg dimana kedua sampel berada daerah *immature water*

Emianto dan Aribowo (2011) menyatakan bahwa manifestasi permukaan pada daerah *immature water* cenderung memiliki temperatur permukaan yang rendah akibat pengaruh dari interaksi fluida panas bumi dengan unsur hidrotermal seperti silika. Temperatur fluida panas bumi pada daerah

penelitian adalah 39,6°C dan 44,1°C. Fluida yang berada pada daerah *immature water* mengindikasikan bahwa fluida panas bumi telah bercampur dengan air permukaan yang lebih dingin sehingga temperatur fluida panas bumi yang sampai ke permukaan telah mengalami penurunan.

3.2 Estimasi Temperatur Reservoir Panas Bumi

Pada diagram segitiga Na-K-Mg (Gambar 3) semua sampel berada pada daerah *immature water*. Zhang dkk. (2007) menyatakan bahwa geotermometer yang paling tepat digunakan pada daerah *immature water* adalah geotermometer. Aribowo (2011) menyatakan bahwa geotermometer Na-K kurang tepat digunakan pada fluida panas bumi yang memiliki temperatur kurang dari 180°C. Maka dari itu, geotermometer Na-K-Ca juga tidak cocok digunakan sebab geotermometer Na-K-Ca lebih tepat digunakan pada daerah yang memiliki konsentrasi Ca yang tinggi (Aribowo, 2011).

Maka persamaan geotermometer yang paling tepat dalam mengestimasi temperatur reservoir panas bumi pada daerah penelitian adalah geotermometer silika. Dengan menggunakan persamaan geotermometer silika diperoleh nilai estimasi temperatur reservoir panas bumi di dua titik mata air panas, seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Estimasi temperatur reservoir geotermometer silika

Geotermometer Silika	Referensi	Estimasi Temperatur Reservoir (°C)	
		TR	P
<i>Quartz no steam loss</i>	Fournier (1977)	67,6	57,4
<i>Quartz maximum steam loss at 100°C</i>	Fournier (1977)	72,7	63,6
<i>Quartz</i>	Fournier and Potter (1982)	152,4	151,1
<i>Quartz</i>	Arnorsson (1985)	175,2	164,2
<i>Chalcedony</i>	Fournier (1977)	35,7	25,2
<i>Chalcedony</i>	Arnorsson (1983)	39,1	29,1
<i>Christobalite</i>	Fournier (1977)	18,3	8,6
<i>Opal</i>	Fournier (1977)	-26,1	-35,1
<i>Amorphous silica</i>	Fournier (1977)	-42,6	-50,9

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa geotermometer silika *chalcedony* (Fournier, 1977), *chalcedony* (Arnorsson, 1983), *christobalite*, *Opal*, dan *amorphous silica* tidak sesuai digunakan dalam mengestimasi temperatur reservoir panas bumi pada daerah penelitian karena temperatur reservoir yang dihasilkan lebih rendah dari temperatur permukaan mata air panas. Temperatur batuan akan semakin tinggi apabila letaknya semakin kedalam bumi, sehingga dapat diartikan bahwa temperatur reservoir panas bumi akan lebih tinggi daripada temperatur permukaan mata air panas (Herman, 2003). Oleh karena itu, persamaan geotermometer silika yang paling tepat digunakan pada daerah penelitian adalah persamaan geotermometer silika *quartz* oleh Arnorsson (1985) yang dibuat dengan mempertimbangkan kondisi manifestasi panas bumi yakni persamaan geotermometer ini lebih sesuai digunakan pada manifestasi sumber mata air hangat. Hal ini berkaitan dengan pernyataan Saptadji (2009) yaitu apabila temperatur air lebih kecil dari 50°C digunakan istilah mata air hangat. Pernyataan tersebut relevan dengan kondisi fluida panas bumi pada daerah penelitian yang merupakan mata air hangat dengan temperatur 39,6°C dan 44,1°C sehingga persamaan geotermometer *quartz* oleh Arnorsson (1985) paling tepat digunakan pada daerah penelitian.

Dari hasil perhitungan menggunakan persamaan geotermometer *quartz* (Arnorsson, 1985), didapatkan estimasi temperatur reservoir panas bumi yaitu 164,2°C – 175,2°C yang termasuk sistem panas bumi bertemperatur sedang (125°C - 225°C). Sistem panas bumi yang memiliki temperatur reservoir kurang dari 200°C memiliki potensi energi kecil yaitu sekitar 50 MW (Badan Geologi, 2009). Reservoir panas bumi yang termasuk sistem panas bumi bertemperatur sedang dapat digunakan untuk pemanfaat langsung seperti kolam terapi pemandian air panas dan juga dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga panas bumi (Saptadji, 2009).

IV. KESIMPULAN

Fluida panas bumi di Tanjung Raya dan Palupuh, Kabupaten Agam diindikasikan mengalami sedikit pengenceran oleh batuan yang dilewati aliran air panas dan terletak jauh dari sumber panas bumi. Mata air panas di Tanjung Raya dan Palupuh, Kabupaten Agam berada di daerah *immature water* pada diagram segitiga Na-K-Mg. Hal ini menunjukkan bahwa fluida panas bumi pada daerah penelitian tidak mencapai kesetimbangan atau telah mengalami pelarutan dengan batuan serta banyak pencampuran dengan air permukaan. Persamaan geotermometer yang paling tepat digunakan pada daerah penelitian adalah persamaan geotermometer silika *quartz* oleh Arnorsson (1985) dengan estimasi temperatur reservoir panas bumi yaitu 164,2°C – 175,2°C dengan rata-rata temperatur reservoir panas bumi sebesar 169,7°C. Maka estimasi temperatur reservoir panas bumi di Tanjung Raya dan Palupuh termasuk ke dalam sistem panas bumi bertemperatur sedang.

DAFTAR PUSTAKA

- Aribowo, Y. (2011), “Prediksi Temperatur Reservoir Panasbumi Dengan Menggunakan Metoda Geotermometer Kimia Fluida”, *Teknik*, Vol. 32 No. 3, pp. 234–238.
- Arrahman, R. and 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, pp. 391–396.
- Badan Geologi. (2009), *Tipe Sistem Panas Bumi Di Indonesia Dan Estimasi Potensi Energinya*, Jakarta.
- D, B. and Putra, A. (2015), “Pemetaan Tipe Mata Air Panas di Sumatera Barat”, *Prosiding Seminar Nasional Fisika Universitas Andalas (SNFUA) 2015*.
- Giggenbach, W.F. (1991), *Chemical Techniques in Geothermal Exploration*, UNDP Publication, New York.
- Herman, D.Z. (2003), *Studi Sistem Panas Bumi Aktif Dalam Rangka Penyiapan Konservasi Energi Panas Bumi*, Yogyakarta.
- Nicholson, K. (1993), *Geothermal Fluids: Chemistry and Exploration Techniques*, *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 52, doi: 10.1016/0375-6742(95)90013-6.
- Saptadji, N.M. (2019), “Teknik Panasbumi”, *Skripsi*, Vol. 33 No. 1, p. 360.
- Sukendar, P.M., Sasmito, B. and Wijaya, A.P. (2016), “Analisis Sebaran Kawasan Potensial Panas Bumi Gunung Salak Dengan Suhu Permukaan, Indeks Vegetasi, dan Geomorfologi”, *Jurnal Geodesi Undip*, Vol. 5, pp. 66–75.
- Tala, W.S., Haryanto, A.D., Hutabarat, J. and Gentana, D. (2020), “Karakteristik Geokimia Air Panas dan Perkiraan Temperatur Bawah Permukaan Panas Bumi Daerah Oma dan Tulehu Kabupaten Maluku Tengah”, *Padjadjaran Geoscience Journal*, Vol. 4 No. 4, pp. 338–348.
- Wattimanela, J., Haryanto, A.D., Hutabarat, J. and Gentana, D. (2021), “Karakteristik Geokimia Air Panas dan Perkiraan Temperatur Reservoir Panas Bumi Daerah Suli, Kecamatan Salahutu, Kabupaten Maluku Tengah Provinsi Maluku”, Vol. 5 No. 2.
- Zhang, X., Guo, Q., Li, J., Liu, M., Wang, Y. and Yang, Y. (2007), “Estimation of reservoir temperature using silica and cationic solutes geothermometers: a case study in the Tengchong geothermal area”, *Chinese Journal of Geochemistry*, Vol. 34 No. 2, pp. 233–240, doi: 10.1007/s11631-015-0037-7.