

## KARAKTERISTIK GEOKIMIA AIRPANAS DAN PERKIRAAN TEMPERATUR BAWAH PERMUKAAN PANAS BUMI DAERAH REATOA KABUPATEN MAROS

Maria<sup>1</sup>, Jefri Nainggolan<sup>1</sup>, Jamaluddin<sup>2\*</sup>, Syamsuddin<sup>1</sup>, Bambang Harimei Suprpto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar

<sup>2</sup>Program Studi Geologi, Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan

E-mail : [Jamaluddin@sttmigas.ac.id](mailto:Jamaluddin@sttmigas.ac.id)

**Abstrak.** Manifestasi panas bumi berupa mata air panas Reatoa Desa Samaenre, Kecamatan Mallawa, Kabupaten Maros sangat menarik untuk dikaji. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui karakteristik geokimia air panas dan pendugaan temperatur bawah permukaan. Metode yang digunakan dalam penelitian tersebut meliputi studi lapangan, pengambilan sampel air, analisis laboratorium dan interpretasi menggunakan diagram trilinear  $\text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ , diagram trilinear Na – K – Mg, dan diagram trilinear Cl – F – B. Tipe fluida pada daerah tersebut tergolong sebagai bikarbonat (*dilute-chloride*). Tipe fluida ini terbentuk dari pengenceran air klorida oleh air bikarbonat selama pergerakan lateral. Analisis rasio unsur kimia Na – K – Mg menunjukkan bahwa fluida tersebut termasuk dalam kategori air yang belum matang (*immature water*) yang telah bercampur dengan air dangkal yang memiliki konsentrasi silika rendah. Konsentrasi Cl yang dominan mengindikasikan bahwa fluida pada mata airpanas ini berasal dari reservoir dalam dan menandakan adanya zona permeabel. Suhu reservoir dengan metode geotermometer kimia Na/K diperkirakan sekitar 137–147 °C dan geotermometer K/Mg menunjukkan suhu berkisar antara 41.30 – 41.57 °C mengindikasikan suhu reservoir ini termasuk dari sistem reservoir bersuhu rendah.

**Kata Kunci:** Diagram Terner; Geokimia; Mata Air Panas; Reatoa.

**Abstract.** Geothermal manifestations in the Reatoa hot spring at Samaenre Village, Mallawa Subdistrict, Maros Regency are very interesting to explore. The purpose of this study is to determine the geochemical characteristics of hot water and estimate the subsurface temperature. The methods used in this research include field work, water sampling, laboratory analysis and interpretation using the  $\text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ , trilinear diagram, Na – K – Mg trilinear diagram, and Cl – F – B trilinear diagram. The fluid type in the area is classified as bicarbonate (*dilute-chloride*). This type of fluid is formed from the dilution of chloride water by bicarbonate water during lateral movement. Analysis of the Na – K – Mg chemical element ratio shows that the fluid is categorized as immature water that has been mixed with shallow water that has a low silica concentration. The dominant Cl concentration indicates that the fluid in this hot spring originates from a deep reservoir and indicates the presence of a permeable zone. The reservoir temperature using the Na/K chemical geothermometer was estimated to be around 137 – 147 °C and the K/Mg geothermometer showed temperatures ranging from 41.30 – 41.57 °C, indicating that the reservoir temperature belongs to a low-temperature reservoir system.

**Keywords:** Ternary Diagrams; Geochemistry; Hot Spring; Reatoa.

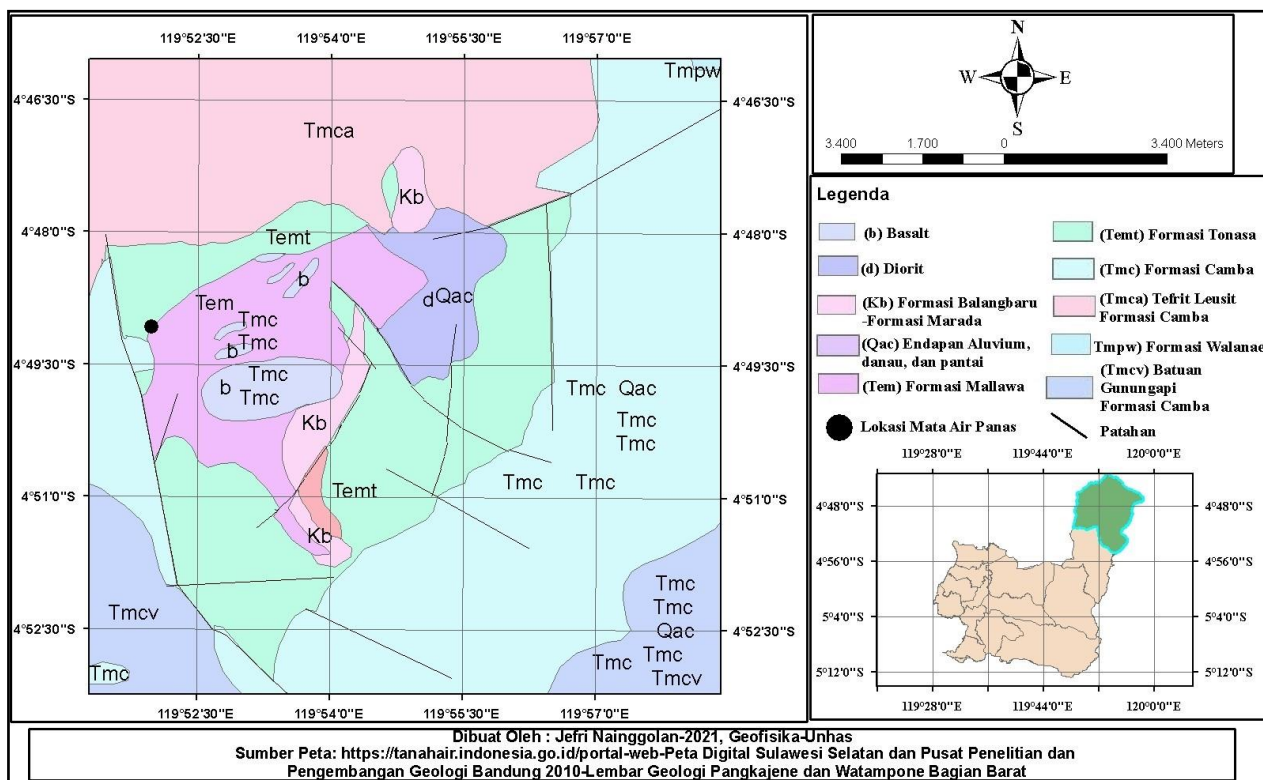
### PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi panas bumi yang sangat besar dan menjadikannya salah satu negara dengan sumber daya panasbumi terbesar di dunia. Potensi ini tersebar di berbagai wilayah, salah satunya adalah daerah Reatoa di Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan. Keberadaan airpanas di permukaan di daerah ini menjadi indikasi penting adanya aktivitas panasbumi di bawah permukaan. Pemanfaatan energi panasbumi dari daerah ini berpotensi besar untuk memberikan kontribusi signifikan terhadap diversifikasi sumber energi nasional, mendukung pengurangan emisi gas rumah kaca, serta memenuhi kebutuhan energi yang berkelanjutan. Manifestasi panasbumi berupa tanah panas, *geyser*, fumarol, uap panas, sinter silika, dan mata air panas menunjukkan adanya sistem panas bumi di bawah permukaan (Saptadji, 2001; Jamaluddin dan Umar, 2017; Umar dkk., 2020a).

Dalam mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya panas bumi, pemahaman yang mendalam tentang karakteristik geokimia air panas dan perkiraan temperatur bawah permukaan sangatlah penting. Analisis geokimia air panas melibatkan studi mengenai komposisi kimia, pH, dan kandungan mineral dalam air panas yang dapat memberikan informasi tentang sumber panas dan interaksi antara air dan batuan di bawah

permukaan. Sementara itu, perkiraan temperatur bawah permukaan adalah kunci untuk menilai kelayakan teknis dan ekonomis pengembangan sumber daya panas bumi (Wowa dan Wiloso, 2017; Umar dkk., 2020b). Berdasarkan peta geologi regional lembar Pangkajene dan Watampone bagian barat, daerah penelitian berada pada Formasi Mallawa (Tem) dan Formasi Tonasa (Temt). Formasi Mallawa (Tem) tersusun atas batupasir, konglomerat, batulanau, batulempung dan napal dan Formasi Tonasa (Temt) yang terdiri dari batugamping (Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung, 2010) (Gambar 1).

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik geokimia airpanas sehingga mendapatkan pemahaman mengenai tipe, asal fluida panas bumi, dan menentukan perkiraan temperatur bawah permukaan pada daerah penelitian. Kajian geokimia airpanas dilakukan untuk mengetahui karakteristik reservoir panasbumi. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui dan mengkaji potensi untuk pengembangan dari suatu sumberdaya panas bumi di Daerah Reatoa Kabupaten Maros. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih akurat mengenai potensi panas bumi di daerah Reatoa dan mendukung pengembangan energi panasbumi di wilayah tersebut. Selain itu, penelitian ini juga akan memberikan kontribusi penting bagi pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan dan peningkatan kesejahteraan masyarakat lokal melalui pemanfaatan energi terbarukan.



**Gambar 1.** Peta geologi daerah penelitian (modifikasi Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung, 2010).

## METODOLOGI

Pengambilan data sampel dilakukan di Dusun Realolo, Desa Samaenre, Kecamatan Mallawa, Kabupaten Maros. Posisi kecamatan Mallawa secara geografis berada pada 119°47'11"- 119°57'35" BT dan 4°43'39"- 4°54'49" LS. Adapun metoda yang digunakan dalam penelitian tersebut meliputi studi lapangan, pengambilan sampel air, analisis laboratorium dan interpretasi. Penentuan kandungan Bikarbonat ( $\text{HCO}_3$ ) digunakan metode titrasi. Kemudian untuk menentukan konsentrasi Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) digunakan Spektofotometer portabel Hach DR 2800 (pereaksinya adalah Barium Klorida ( $\text{BaCl}_2$ ), dan untuk Klorida (Cl) menggunakan metode argentometri. Analisis unsur Na (Natrium), K (Kalium), dan Mg (Magnesium) menggunakan metode Spektofotometer serapan atom (AAS). Alat ini merupakan gabungan dari spektrometer yang menghasilkan

sinar dari spektrum dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer yaitu pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau yang diabsorpsi. Unsur F (Fluor) menggunakan metode spektrofotometri dengan SPADNS (natrium 2-(para sulfonilazo) 1,8-dihidroksi-3,6-naftalen disulfonat, larutan pereaksi) dan B (Boron) menggunakan metode spektrofotometri dengan menambah larutan kurkumin. Adapun analisis menggunakan diagram  $\text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ , diagram trilinear Na – K – Mg, dan diagram trilinear Cl – F – B (Giggenbach, 1991; Xu dkk., 2019).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Fluida Mata Air Panas

Data yang diperoleh dari tiga titik mata air panas melalui pengukuran secara langsung di lapangan dan hasil analisis sampel fluida (air) dari laboratorium dalam satuan *part per million* (ppm) dapat dilihat pada Tabel 1. Temperatur air panas pada ketiga titik ini menunjukkan bahwa air memiliki suhu yang relatif rendah untuk kategori air panas panasbumi. Suhu ini mengindikasikan bahwa sumber air panas berasal dari kedalaman yang tidak terlalu dalam atau mengalami pencampuran dengan air permukaan yang lebih dingin. Nilai pH yang berada di kisaran 8,21 hingga 8,50 menunjukkan bahwa air panas ini bersifat basa. pH basa menunjukkan kehadiran ion karbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) yang dapat berasal dari interaksi air dengan batuan karbonat atau mineral yang mengandung karbonat. Nilai TDS dan daya hantar listrik (DHL) yang rendah mengindikasikan bahwa air tersebut memiliki sedikit kandungan mineral dan zat-zat terlarut lainnya. Kandungan ion bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) yang relatif tinggi menunjukkan bahwa air panas ini kemungkinan besar telah berinteraksi dengan batuan karbonat. Kehadiran bikarbonat juga dapat berkontribusi terhadap sifat basa air ini.

Kandungan sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) menunjukkan variasi yang signifikan antar titik pengukuran. Tingginya konsentrasi sulfat di Titik 2 mungkin menunjukkan adanya pengaruh dari aktivitas vulkanik atau adanya batuan yang mengandung sulfat. Kandungan klorida ( $\text{Cl}^-$ ) yang tinggi di Titik 1 menunjukkan bahwa airpanas ini berinteraksi dengan batuan yang mengandung klorida atau adanya pengaruh dari air laut atau endapan garam. Nilai yang lebih rendah di Titik 2 dan 3 menunjukkan variasi dalam sumber atau jalur aliran airpanas. Kandungan natrium (Na) menunjukkan Titik 1 memiliki konsentrasi tertinggi. Ini dapat menunjukkan variasi dalam jenis batuan yang berinteraksi dengan air panas di masing-masing titik. Kalium (K) dengan konsentrasi yang sangat rendah menunjukkan bahwa sumber mineral kalium tidak dominan di area ini. Variasi kecil antar titik menunjukkan bahwa kalium tidak merupakan komponen utama dalam air panas ini. Konsentrasi magnesium (Mg) yang rendah menunjukkan bahwa interaksi dengan batuan magnesium atau dolomit juga rendah. Hal ini konsisten dengan karakteristik air yang memiliki mineralisasi rendah. Fluorida (F) menunjukkan variasi yang signifikan antar titik dengan konsentrasi tertinggi di Titik 2 menunjukkan adanya sumber batuan atau mineral yang mengandung fluorida di dekat Titik 2. Boron (B) di semua titik menunjukkan konsentrasi yang sangat rendah ( $< 0.032$  ppm). Variasi dalam kandungan ion seperti  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , dan F menunjukkan bahwa air ini dipengaruhi oleh berbagai jenis batuan dan mungkin aktivitas vulkanik di daerah tersebut. Tingginya kandungan bikarbonat dan pH yang basa mendukung hipotesis interaksi dengan batuan karbonat.

**Tabel 1.** Data pengukuran langsung di lapangan dan hasil analisis di laboratorium

Lokasi	Temperatur manifestasi (°C)	pH	DHL (µs/cm)	TDS (ppm)	Hasil analisis unsur/senyawa (mg/L=ppm)							
					$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	Na	K	Mg	F	B
<b>Titik 1</b>	33,4 °C	8,21	196	98	80	10	73.84	2.17	0.13	0.12	0.3578	$< 0.032$
<b>Titik 2</b>	34,4°C	8,40	175	89	64	24	45.44	0.76	0.04	0.04	0.8356	$< 0.032$
<b>Titik 3</b>	33,7°C	8,50	186	93	52	5	46.86	1.87	0.1	0.13	0.7936	$< 0.032$

Kenampakan manifestasi mata airpanas di tiga titik di Daerah Reatoa Desa Samaenre, Kecamatan Mallawa, Kabupaten Maros (Gambar 2). Manifestasi pada Titik 1 terlihat sebagai kolam yang cukup besar dengan air yang jernih dan aliran air yang masuk dari tebing. Kolam ini mungkin telah dibangun untuk

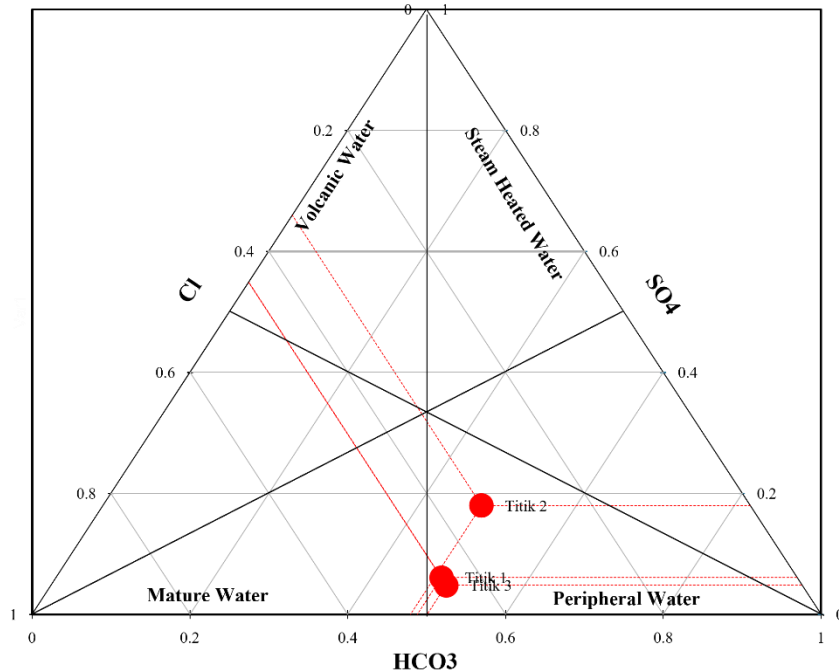
menampung air panas yang keluar dari sumbernya. Suhu air panas di Titik 1 adalah 33,4°C dengan pH 8,21 menunjukkan bahwa air berada pada kondisi hangat dan memiliki sifat basa. pH basa mengindikasikan adanya kehadiran ion bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) yang tinggi (Gambar 2a). Manifestasi di Titik 2 menunjukkan air yang mengalir di atas permukaan batuan dengan tumbuhan merambat di sekitarnya. Suhu air panas di Titik 2 adalah 34,4°C dengan pH 8,40 menunjukkan air lebih hangat dibandingkan Titik 1 dan juga bersifat basa (Gambar 2b). Manifestasi di Titik 3 terlihat sebagai mata air yang muncul dari batuan dengan aliran air yang mengalir ke bawah. Lingkungan sekitar terlihat alami dengan daun-daun dan tumbuhan di sekitarnya. Suhu air di Titik 3 adalah 33,7°C dengan pH 8,50 menunjukkan air panas pada titik tersebut berada pada kondisi hangat dan bersifat basa (Gambar 2c).



**Gambar 2.** Kenampakan manifestasi mata air panas (A) Titik 1, (B) Titik 2, dan (C) Titik 3.

Tipe fluida panas bumi pada daerah penelitian ditentukan berdasarkan tiga anion utama fluida panas bumi berupa klorida ( $\text{Cl}$ ), sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), dan bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) (Gambar 3). Berdasarkan nilai persentase kandungan ion pada sampel fluida mata air panas yang telah dianalisa, diketahui mata air panas yang ada di Desa Reatoa termasuk dalam tipe air bikarbonat (*Dilute-Chloride*) ditandai dengan tingginya kandungan ion bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) dibanding dengan ion klorida ( $\text{Cl}$ ) dan sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Tipe ini mengindikasikan bahwa fluida tersebut kemungkinan besar mengalami interaksi yang signifikan dengan batuan karbonat atau menerima pengaruh dari aktivitas hidrotermal yang menghasilkan gas  $\text{CO}_2$ . Gas  $\text{CO}_2$  yang dilepaskan dalam proses hidrotermal tersebut kemudian larut dalam air dan membentuk ion bikarbonat. Hal ini juga menunjukkan bahwa fluida mungkin berasal dari sumber yang relatif dangkal atau telah berinteraksi dengan formasi geologi yang kaya akan karbonat. Daerah penelitian terletak di daerah dengan formasi geologi yang kaya akan batuan karbonat seperti batu kapur dan dolomit yang dapat dengan mudah bereaksi dengan air panas dan menghasilkan ion bikarbonat. Air yang berinteraksi dengan batuan karbonat seperti kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) dan dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) cenderung melarutkan mineral-mineral tersebut. Proses ini menghasilkan ion bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) di dalam air dan biasanya memiliki pH yang netral hingga sedikit basa (sekitar pH 7-8) dikarenakan bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) dapat bertindak sebagai buffer, menetralkan asam dan basa dalam air.

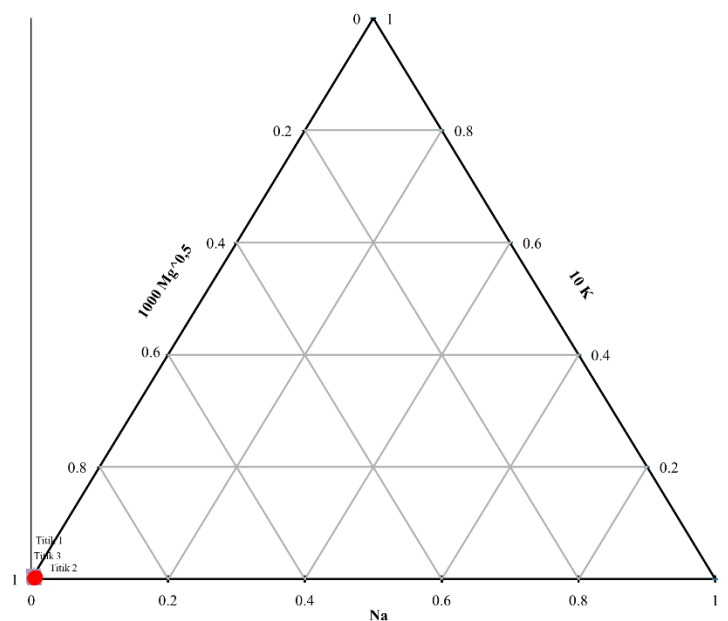
Airpanas yang memiliki kandungan bikarbonat dominan biasanya ditemukan di daerah yang cukup jauh dari sumber panas (*heat source*), seperti daerah vulkanik (Ekananda dkk, 2017). Daerah yang lebih dekat dengan sumber panas, proses geotermal cenderung menghasilkan air yang lebih asam dengan kandungan sulfur yang lebih tinggi (misalnya, H<sub>2</sub>S atau SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>).



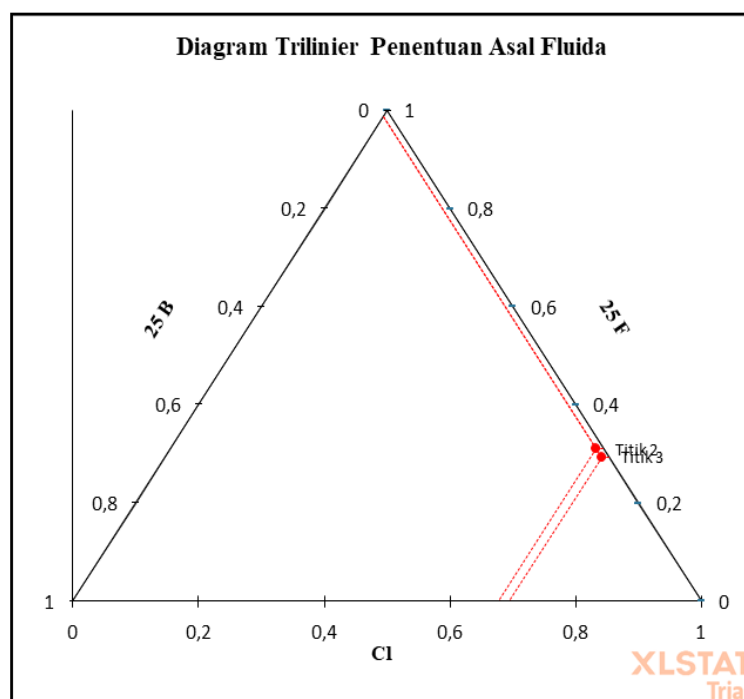
**Gambar 3.** Diagram trilinear dari Cl, SO<sub>4</sub>, dan HCO<sub>3</sub> untuk menentukan jenis fluida panasbumi.

Diagram trilinear Na-K-Mg untuk mengetahui tingkat kematangan fluida panasbumi pada daerah penelitian (Gambar 4). Fluida pada Titik 1, 2, dan 3 yang ditunjukkan dalam diagram trilinear memiliki konsentrasi magnesium yang dominan dibandingkan dengan kalium dan natrium yang mengindikasikan bahwa air ini tergolong sebagai fluida belum matang (*immature water*). *Immature water* ini telah bercampur dengan air yang lebih dangkal dan memiliki konsentrasi silika yang rendah menunjukkan bahwa air tersebut belum mengalami proses interaksi geokimia yang signifikan dengan batuan dalam jangka waktu yang lama. Dominansi Mg dapat mengindikasikan pengaruh dari proses hidrotermal yang kuat atau interaksi dengan formasi geologi yang kaya magnesium, seperti olivin atau piroksen yang merupakan indikator potensial dari sumber fluida bawah tanah yang dalam dan relatif tidak terpengaruh oleh sirkulasi air dangkal. Kondisi ini juga menunjukkan bahwa batuan reservoir terletak pada kondisi temperatur dan tekanan yang tinggi dimana sebelum mencapai permukaan juga telah mengalami pengenceran oleh air permukaan (*meteoric water*) (Aribowo dan Nurohman, 2012).

Fluida dengan konsentrasi Cl yang dominan dibandingkan dengan B dan F menunjukkan asal-usul dari reservoir dalam dan pergerakan melalui zona permeabel seperti patahan dan erupsi breksi yang memungkinkan air dari kedalaman untuk bergerak ke permukaan (Gambar 5). Airpanas yang bergerak menuju ke permukaan adalah fluida yang berasal dari *heat source* dimana pendinginan oleh batuan yang dilalui oleh fluida menuju permukaan memiliki peran sangat sedikit dikarenakan unsur Cl mudah berpindah, bersifat susah untuk bereaksi, dan bersifat tetap sehingga dapat diketahui asal-usul fluidanya. Jika dilihat kembali pada pH yang didapatkan dari semua titik mata air panas berada pada pH netral-basa dengan konsentrasi Cl yang tinggi. Hal ini dikarenakan hilangnya karbon dioksida pada pemanasan fluida yang menyebabkan air menjadi semakin basa dapat menentukan besarnya pH tersebut (Nicholson, 1993; Aribowo dan Nurohman, 2012). Berdasarkan konsentrasi dari Boron yang diperoleh, fluida selama mengalami pergerakan menuju permukaan melewati batuan sedimen yang tidak kaya organik dikarenakan konsentrasinya yang rendah.



Gambar 4. Diagram trilinear dari Na, K, dan Mg pada sampel panas bumi di daerah Reatoa, Kabupaten Maros.

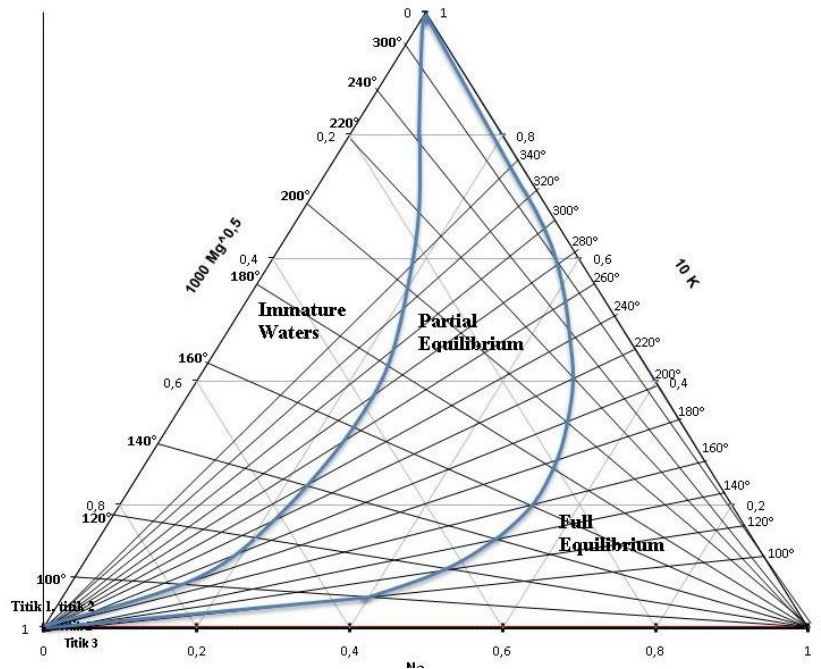


Gambar 5. Diagram trilinear dari Cl, F, dan B pada sampel panas bumi di daerah Reatoa, Kabupaten Maros.

### Geotermometer Kimia

Perkiraan suhu reservoir yang didapatkan pada ketiga titik mata air panas dengan geotermometer Na/K adalah sekitar 137-147°C. Reaksi kesetimbangan kimia antara Na dengan K yang menghasilkan rasio Na/K terjadi di bawah permukaan (reservoir), sehingga sifat fluida masih murni dalam menggambarkan kondisi reservoir. Ketika air menuju ke permukaan, batuan sekitarnya tidak akan bereaksi dengan unsur Na dan K. Kondisi ini dikenal sebagai kondisi *full equilibrium* (kesetimbangan penuh) dengan suhu yang diperoleh dari hasil perhitungannya diduga sebagai suhu reservoirnya (Gambar 6). Fluida yang berasal dari reservoir menuju ke permukaan akan mengalami pencampuran dengan air meteorik yang masuk ke bawah permukaan. Fluida dari reservoir yang mengandung unsur Na dan K akan bereaksi dengan air meteorik yang mengandung unsur

Mg. Fluida yang berasal dari reservoir ketika bercampur dengan air meteorik mengandung unsur Na, K, dan sedikit unsur Mg. Reaksi kesetimbangan kimia yang terjadi tentu saja akan berkurang karena ada unsur tambahan Mg tetapi, masih tetap mencerminkan keadaan reservoir. Kondisi seperti ini biasa dikenal sebagai *partial equilibrium*. Ketika air dari resevoir semakin mendekati permukaan maka unsur Mg yang dikandung akan semakin besar dan menyebabkan reaksi antara Na dan K semakin kacau. Peristiwa ini dikenal dengan *immature waters*.



Gambar 6. Diagram trilinear Na, K, dan Mg yang digunakan untuk pendugaan suhu reservoir

Tabel 3. Data hasil analisis laboratorium

Geotermometer Kimia		Titik 1 (°C)	Titik 2 (°C)	Titik 3 (°C)
Kation (Na/K)	$T (^{\circ}\text{C}) = (933 / (0,993 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	147.971	137.546	138.799
K/Mg	$T (^{\circ}\text{C}) = (4410 / (14 + \log (\text{K}/\sqrt{\text{Mg}})) - 273$	41.574	41.301	41.443

Suhu yang diperoleh dari hasil perhitungan geotermometer K/Mg sangat bagus untuk merepresentasikan keadaan saat reaksi antara fluida-batuan terjadi sebelum memasuki tahap *discharge* (Nicholson, 1993). Kesetimbangan fluida dari reservoir terjadi ketika berada di dekat permukaan menyebabkan Konsentrasi Mg akan semakin membesar karena suhunya rendah. Suhu yang diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan geotermometer K/Mg berkisar sekitar 41°C yang diduga bahwa semua titik manifestasi memiliki fluida yang termasuk *immature waters*. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa perhitungan geotermometer K/Mg lebih efektif jika menggunakan geotermometer K/Mg untuk kasus fluida reservoir dekat permukaan. Pada gambar 6, diperlihatkan kembali diagram segitiga Na, K, dan Mg dengan pendugaan suhu reservoir berdasarkan plot yang telah dilakukan. Diagram ini menggabungkan geotermometer Na/K dan K/Mg untuk menyempurnakan kekurangan dari masing-masing geotermometer yang mana kesetimbangan antara K dan Na terjadi pada suhu tinggi, berbanding terbalik dengan reaksi kesetimbangan Mg dan K yang terjadi pada suhu rendah (Fournier, 1979; O'Brien, 2010).

### Keadaan Geologi Daerah Penelitian

Daerah penanabumi di Reatoa, Kabupaten Maros tampaknya didominasi oleh berbagai jenis batuan sedimen dan vulkanik, seperti batupasir, napal, breksi, batulempung, dan konglomerat (Gambar 7). Munculnya manifestasi mata airpanas adalah karena peristiwa tektonik, yaitu adanya sesar yang juga sama-sama terbentuk ketika sesar walanae terbentuk (Anas, 2020). Hal ini diperkuat dengan rasio Na/K dari tabel 2 yang mendekati rendah (dikatakan rendah bila  $< 15$  ppm dengan masing-masing rasio yang dimiliki titik manifestasi 1, 2, dan 3 adalah 16.69 ppm, 19 ppm, dan 18.7 ppm). Rasio Na/K yang rendah biasanya terjadi pada fluida yang menuju permukaan melalui struktur (sesar) serta mengalami pendinginan konduktif (O'Brien, 2010). Namun, terdapat beberapa kemunculan bebatuan yang membuktikan bahwa peristiwa vulkanik berperan dalam pembentukan manifestasi ini, seperti ditemukan beberapa singkapan batuan hasil erupsi gunung api seperti breksi dan konglomerat yang merupakan bagian dari batuan gunungapi Formasi Camba (Tmcv). Selain itu, seperti pada gambar 7c ditemukan pula singkapan batugamping yang merupakan bagian dari Formasi Tonasa (Temt) di sekitar manifestasi mata air panas. Diduga hal ini merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi fluida yang cenderung bertipe bikarbonat dan konsentrasi Mg yang tinggi, karena batugamping dan juga silika kaya unsur Mg sehingga mempengaruhi konsentrasi dari Mg pada fluida manifestasi panas bumi (Minissale, 2018).



Gambar 7. Kenampakan singkapan batuan yang ada di daerah penelitian.

## PENUTUP

### Simpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian tentang karakteristik geokimia airpanas dan perkiraan temperatur bawah permukaan panas bumi daerah Reatoa Kabupaten Maros, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Suhu fluida mata air panas dari ketiga titik pengukuran berada pada rentang  $33,7-34,4^{\circ}\text{C}$ , sedangkan pH nya bersifat netral cenderung ke basa yang diduga karena fluida yang telah terkontaminasi oleh produk basa seperti sabun. Tipe fluida dari masing-masing manifestasi mata air panas merupakan tipe bikarbonat, karena ditemukan senyawa yang paling dominan adalah senyawa bikarbonat. Kematangan fluida berada pada zona *immature waters*. Asal fluida dapat dikatakan bahwa fluida yang berkonsentrasi Cl yang dominan diduga berasal langsung dari reservoir.
- 2) Hasil perhitungan geotermometer kimia Na/K didapatkan suhu reservoir untuk masing-masing titik manifestasi berada pada rentang dibawah  $150^{\circ}\text{C}$ , yaitu  $137^{\circ}\text{C} - 147^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan hasil geotermometer K/Mg, didapatkan suhu reservoir  $41.30 - 41.57^{\circ}\text{C}$ . Berdasarkan hasil perhitungan, diduga suhu reservoir ini termasuk dari sistem reservoir bersuhu rendah.
- 3) Secara geologi, formasi yang mendominasi daerah manifestasi adalah Formasi Mallawa dan terdapat batuan hasil vulkanik Formasi Camba dan juga sesar Walanae yang menjadi pemicu munculnya mata air panas dengan pembuktian rasio Na/K yang mendekati rendah sehingga manifestasi dikategorikan sebagai mata air panas tekto-vulkanik. Keberadaan Gamping Formasi Tonasa yang ditemukan diduga menjadi penyebab fluida bertipe bikarbonat dan konsentrasi Mg yang dimiliki tinggi.



Penelitian ini akan lebih baik lagi jika penelitian memiliki perhitungan geotermometer bervariasi dengan menambahkan analisis SiO<sub>2</sub> dan Ca serta Li dalam plotting diagram segitiga Cl-Li-B untuk penentuan asal fluida dan juga menyertakan data isotop dalam menentukan apakah fluida berasal dari magmatik atau meteorik dan juga dalam penggunaan geotermometer. Pengujian unsur dan senyawa pada batuan dilakukan berdasarkan analisis XRD dan XRF.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aribowo, Y dan Nurohman, H. (2012), "Studi Geokimia Air Panas Area Prospek Panasbumi Gunung Kendalisodo Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah", *Teknik*, XXXIII (1), hal. 32-36.
- Ekananda, P. A. (2017), "Distribusi Dan Karakteristik Manifestasi Geothermal Berdasarkan Data Mineral Alterasi Dan Geokimia: Studi Kasus Gedongsongo, Ungaran, Jawa Tengah", *Proceeding, Seminar Nasional Kebumihan Ke-10*. Hal. 1555-1565.
- Fournier, R.O., (1979). A revised equation for the Na/K geothermometer. *Geotherm. Resour. Counc. Trans.* 3, 221–224.
- Giggenbach, W. F. (1991), *Chemical Techniques in Geothermal Exploration, Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development*. pp. 119-142.
- Jamaluddin dan Umar, E.P. (2017), "Karakteristik Fisik dan Kimia Mata air Panas Daerah Barasanga Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara", *Jurnal Geocelebes*, Vol.1, No.2. hal. 62-65. <https://doi.org/10.20956/geocelebes.v1i2.2291>.
- Nicholson, K. N. (1993), *Geothermal Fluids. Chemistry and Exploration Techniques*. Berlin: Springer Verlag, Inc.
- O'Brien, J. M. (2010), *Hydrogeochemical Characteristics of the Ngatamariki Geothermal Field and Comparison with the Orakei Korako Thermal Area, Taupo Volcanic Zone, New Zealand*. Tesis Master pada Geological Sciences, University of Canterbury, Selandia Baru: Tidak diterbitkan.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung, (2010), *Peta Geologi Regional Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat*. Sulawesi lembar skala 1:250.000.
- Saptadji, N. M. (2001), *Diktat Kuliah Teknik Eksploitasi Panas bumi*, Bandung: Departemen Teknik Perminyakan ITB.
- Umar, E.P. dan Jamaluddin. (2018), "Karakteristik Endapan Sinter Travertin Fisik Panasbumi Barasanga Kabupaten Konawe Utara, Sulawesi Tenggara", *Jurnal Geocelebes*, Vol. 2, No. 2, hal. 64-69. <https://doi.org/10.20956/geocelebes.v2i2.4830>.
- Umar, E.P., Husain, J.R., Muharni, S., Jamaluddin. Dan Massinai, M.A. (2020a), "Pengaruh Struktur Geologi terhadap Kemunculan Mata Air Panas Daerah Sulili Pinrang Sulawesi-Selatan", *Jurnal Geocelebes*, Vol. 4, No.1, hal. 41-45. <http://dx.doi.org/10.20956/geocelebes.v4i1.9542>
- Umar, E.P., Nawir, A., Husain, J.R., Tamar, K.R., Maria., Jamaluddin., dan Wakila, M.H. (2020b), "Analisis Fluida dan Pemanfaatan Mata Air Panas Daerah Sulili Kabupaten Pinrang Provinsi Sulawesi-Selatan", *Jurnal Geosaintek*, Vol. 6, No. 3, hal. 161-170. <http://dx.doi.org/10.12962/j25023659.v6i3.8108>
- Xu, P., Zhang, Q., Qian, H., Li, M., & Hou, K. (2019). Characterization of geothermal water in the piedmont region of Qinling Mountains and Lantian-Bahe Group in Guanzhong Basin, China. *Environmental Earth Sciences*, 78(15), 442. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.28.1.211>
- Wowa, F. dan Wiloso, D. A. (2017), "Studi Geokimia Untuk Pendugaan Suhu Reservoir Panas Bumi Berdasarkan Analisis Solute Geothermometer Di Desa Pablengan, Kecamatan Matesih, Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah", *Proceeding Seminar Nasional Kebumihan Ke-10*. hal. 1499-1532.