

Identifikasi Karakteristik dan Asal Usul Fluida Panas Bumi di Daerah Tulehu, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku Dengan Menggunakan Metode Hidrogeokimia

Identification Characteristics and Origin of The Geothermal Fluids in the Tulehu Area, Central Maluku Regency, Maluku Province Using Hydrogeochemical Methods

Gabriella Georgina Joktetimera, Agus Didit Haryanto, dan Johanes Hutabarat

Universitas Padjadjaran
Jalan Dipati Ukur No. 35 Bandung 40132 Indonesia

e-mail: gabriella.joktetimera@gmail.com

Naskah diterima 20 Januari 2025, selesai direvisi 16 Maret 2025 dan disetujui 28 April 2025

ABSTRAK

Penelitian ini berlokasi di daerah Tulehu, Provinsi Maluku yang memiliki wilayah dengan prospek potensi panas bumi yang dicirikan dengan manifestasi panas bumi berupa mata air panas yang muncul ke permukaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan asal usul fluida panas bumi dengan menggunakan metode hidrogeokimia dan isotop stabil. Penelitian dilakukan dengan mengambil 5 sampel mata air panas yang ditandai dengan kode sampel THU-1, THU-2, THU-3, THU-4 dan THU-5. Berdasarkan hasil penelitian, fluida panas bumi dari ke 5 mata air panas di daerah penelitian termasuk dalam tipe air klorida, hal ini dikarenakan dari hasil analisis kimia diketahui unsur Cl merupakan unsur yang paling dominan, dan mata air panas di daerah penelitian merupakan air meteorik yang mengalami pencampuran atau interaksi dengan batuan sekitar pada saat menuju ke permukaan.

Kata kunci: asal-usul fluida, hidrogeokimia, isotop, karakteristik, Tulehu

ABSTRACT

This research is located in the Tulehu area, Maluku Province which has geothermal potential in the form of manifestations of hot springs that emerge to the surface. This research aims to determine the characteristics and origin of geothermal fluids using hydrogeochemical and stable isotope methods. The research was carried out by taking 5 hot spring samples marked with samples codes THU-1, THU-2, THU-3, THU-4 and THU-5. Based on the research results, geothermal fluid from the 5 hot springs in the research area is included in the chloride water type, and is meteoric water that experiences mixing or interaction with surrounding rocks as it reaches the surface.

Keywords: origin, hydrogeochemistry, isotope, characteristics, Tulehu

PENDAHULUAN

Panas bumi atau sistem panas bumi secara umum dideskripsikan sebagai proses transfer panas dari suatu tempat tertentu dalam kerak bumi, dimana proses transfer terjadi dari suatu sumber panas (*heat source*) menuju ke permukaan (Hochstein, 2000). Ciri terdapatnya potensi energi panas bumi pada suatu daerah biasanya ditandai dengan adanya gejala berupa manifestasi yang muncul di permukaan. Mani-

festasi panas bumi yang muncul di permukaan bisa berupa mata air panas, tanah beruap, lumpur panas, fumarol, solfatara, *geyser*, kolam air panas, maupun batuan alterasi (Saptadji, 2009).

Berdasarkan survei geologi, Indonesia memiliki ±300 prospek panas bumi yang tersebar di sepanjang jalur vulkanik yang dimulai dari bagian barat Sumatra, berlanjut ke Pulau Jawa, Bali, Nusa Tenggara, selanjutnya berbelok ke arah utara melalui Maluku dan Sulawesi. Na-

mun dengan potensi yang sangat besar tersebut, pemanfaatan panas bumi di Indonesia masih belum maksimal. Bahkan dari 299 daerah yang memiliki potensi panas bumi, yang dimanfaatkan sebagai PLTP hanya 2,68%, sedangkan 45,15% masih dalam tahap penyelidikan awal, 13,04% dalam tahap penyelidikan pendahuluan, 36,79% dalam tahap penyelidikan rincian, dan sebanyak 2,34% dalam tahap eksplorasi atau siap dikembangkan (Qomariah, 2012).

Berdasarkan asosiasi lingkungan geologinya, sistem panas bumi di Indonesia berada pada dua jenis lingkungan geologi yaitu sistem panas bumi vulkanik sebesar $\pm 80\%$ dan sistem panas bumi non-vulkanik $\pm 20\%$. Sistem panas bumi Indonesia umumnya memiliki korelasi dengan wilayah gunung api muda (vulkanik), namun di Indonesia dengan tatanan tektonik yang kompleks dapat pula menghasilkan sistem panas bumi di lingkungan yang tidak ada kaitannya dengan aktivitas gunung api muda (non-vulkanik). Hingga tahun 2019 telah teridentifikasi sistem panas bumi non-vulkanik di Indonesia sebanyak 136 lokasi atau sebesar 38% dari total lokasi yang ada (Humas EBTKE, 2020).

Untuk pengembangan sumber daya energi panas bumi, Indonesia sendiri sudah mulai memanfaatkan energi panas bumi secara langsung maupun secara tidak langsung. Pemanfaatan energi panas bumi di Indonesia pada umumnya dilakukan secara tidak langsung (*indirect use*) untuk pembangkit listrik dan secara langsung (*direct use*) antara lain digunakan untuk agrobisnis, pariwisata, dan industri. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) yang memproduksi saat ini semuanya berasal dari sistem panas bumi temperatur tinggi atau dari daerah dengan sistem panas bumi vulkanik (Humas EBTKE, 2020). Namun daerah dengan sistem panas bumi non-vulkanik masih belum dikembangkan dengan optimal, hal ini dikarenakan masih belum banyak pengetahuan, data, maupun penelitian lebih lanjut terkait dengan karakteristik dari daerah yang berasosiasi dengan sistem panas bumi non-vulkanik tersebut.

Untuk memperoleh data atau informasi mengenai suatu sistem panas bumi pada suatu daerah, maka perlu dilakukan penelitian terlebih dahulu. Metode yang dapat digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah metode analisis kimia (anion-kation) dan metode isotop fluida. Metode analisis kimia digunakan untuk memberikan data mengenai karakteristik fluida, sedangkan metode analisis isotop digunakan untuk mengetahui asal-usul fluida panas bumi dari sampel mata air panas yang diambil.

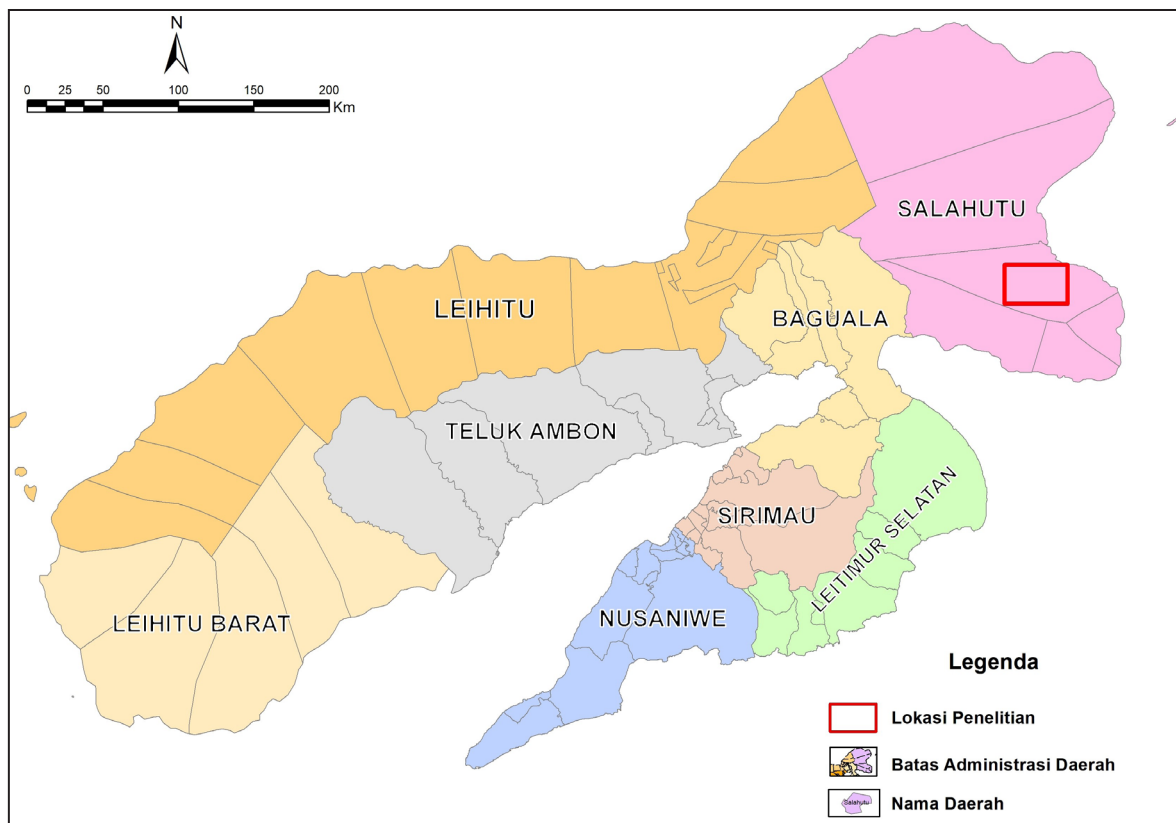
Berdasarkan pemaparan di atas, daerah Tulehu, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku dipilih menjadi daerah penelitian (Gambar 1) karena diduga mempunyai potensi panas bumi yang dapat dikembangkan, dikarenakan Provinsi Maluku merupakan salah satu daerah yang memiliki potensi panas bumi yang berasosiasi dengan sistem panas bumi non-vulkanik, dan pada daerah tersebut dijumpai manifestasi panas bumi berupa kemunculan mata air panas di permukaan sehingga menarik untuk diteliti lebih lanjut berkaitan dengan karakteristik dan asal-usul fluidanya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu analisis kimia (anion-kation) dan analisis isotop ^{18}O dan D.

Sebelum melakukan analisis laboratorium, terlebih dahulu dilakukan pengumpulan data primer dimana peneliti melakukan pengamatan, pengukuran, serta pengambilan sampel secara langsung terhadap objek penelitian yaitu mata air panas di daerah penelitian. Pengamatan dan pengambilan data antara lain mengambil data koordinat lokasi pengambilan sampel, mengukur sifat fisik mata air panas seperti pengukuran temperatur air, pH, dan deskripsi (warna, bau, rasa), mengambil sampel dari mata air panas. Data yang diambil sesuai dengan SOP, berikut SOP yang harus dilakukan pada saat melakukan pengambilan sampel air panas:

Identifikasi Karakteristik dan Asal Usul Fluida Panas Bumi di Daerah Tulehu, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku Dengan Menggunakan Metode Hidrogeokimia



Gambar 1. Peta lokasi penelitian.

1. Pertama, botol sampel berukuran 500ml dicuci sebanyak tiga kali menggunakan air pada mata air panas pada stasiun pengamatan. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan residu pada botol.
2. Kedua, setelah dicuci, masukkan sampel mata air panas pada botol sampel menggunakan gayung dan cecoran. Pada saat pengisian sampel di dalam botol,

Analisis dilakukan di laboratorium Hidrogeologi dan Hidrogeokimia ITB terhadap 5 sampel mata air panas yang telah diambil yaitu THU-1, THU-2, THU-3, THU-4 dan THU-5, hasil analisis laboratorium tersebut nantinya diolah dan digunakan untuk menentukan karakteristik fluida. Untuk menentukan karakteristik fluida, hasil analisis kimia anion-kation akan di plot pada diagram ternary dari unsur Cl , SO_4 , HCO_3 , Cl , Li , B , Na , K dan Mg . Sedangkan untuk menentukan asal-usul fluida, hasil analisis isotop akan di plot pada grafik ^{18}O dan D .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan mengambil 5 sampel mata air panas di daerah Tulehu, yang diberi kode sampel THU-1, THU-2, THU-3, THU-4 dan THU-5. Mata air panas pada daerah penelitian memiliki temperatur yang berkisar antar $87\text{--}99^\circ\text{C}$. Hasil pengukuran sifat fisik mata air panas di tampilkan pada Tabel 1, hasil analisis laboratorium kimia anion-kation dan isotop ditampilkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Diagram ternary $\text{Cl}\text{--}\text{SO}_4\text{--}\text{HCO}_3$ digunakan untuk menentukan tipe fluida panas bumi berdasarkan hasil plotting dari kandungan unsur Cl (klorida), SO_4 (sulfat) dan HCO_3 (bikarbonat) dari ke 5 sampel mata air panas yang ada. Dari hasil perhitungan dan plotting diagram, memperlihatkan tipe fluida panas bumi dari ke 5 sampel mata air merupakan tipe air klorida pada zona *mature waters* (Gambar 2), hal ini dikarenakan dari hasil analisis kimia diketahui unsur Cl merupakan unsur yang paling dominan.

Tabel 1. Sifat fisik dari 5 sampel mata air panas

No.	Kode ampel	Koordinat	T Air (°C)	pH	Deskripsi
1	THU-1	3°35'53"LS- 128°21'09"BT	87	6.5	Agak keruh, memiliki bau sulfur, memiliki rasa
2	THU-2	3°38'09"LS- 128°18'42"BT	91	6.6	Jernih, tidak berbau, tidak memiliki rasa
3	THU-3	3°35'37"LS- 128°18'29"BT	98	6.6	Jernih, tidak berbau, tidak memiliki rasa
4	THU-4	3°35'32"LS- 128°18'30"BT	96	6.5	Jernih, tidak berbau, tidak memiliki rasa
5	THU-5	3°35'25"LS- 128°18'32"BT	99	6.4	Jernih, tidak berbau, tidak memiliki rasa

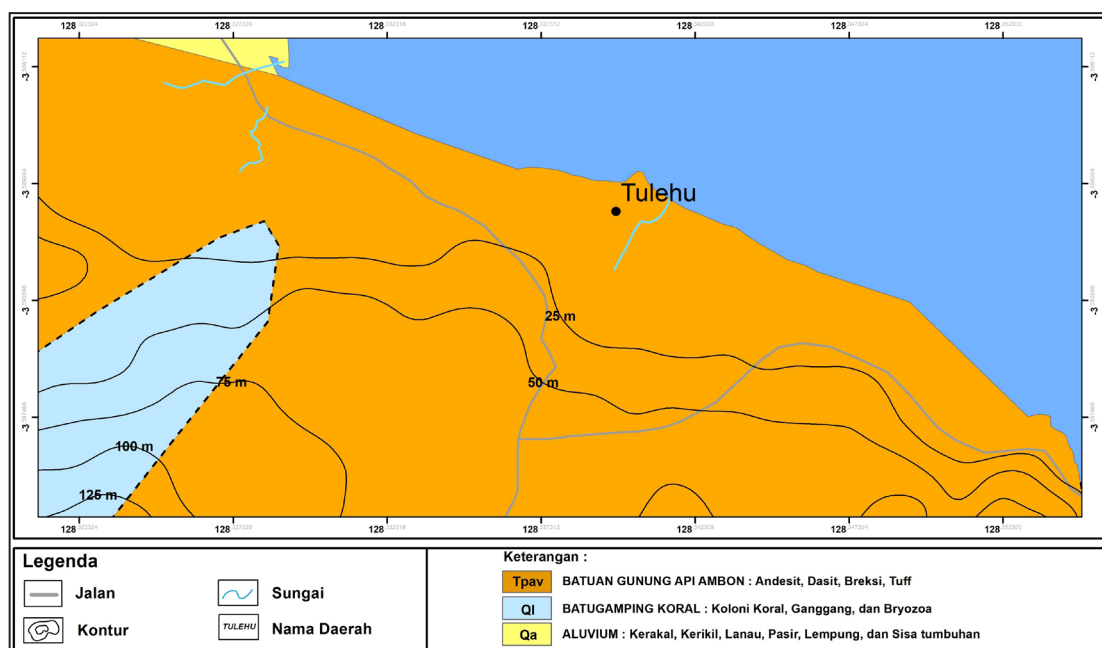
Tabel 2. Hasil analisis anion-kation dari 5 sampel mata air panas

Parameter (mg/L)	Kode Sampel				
	THU-1	THU-2	THU-3	THU-4	THU-5
SiO ₂	194.28	198.66	202.30	199.28	197.27
B	5.20	6.71	6.77	6.07	6.56
Al ³⁺	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02
Fe ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca ²⁺	111.88	167.66	185.10	162.60	173.04
Mg ²⁺	16.52	11.20	10.58	10.90	12.40
Na ⁺	701.38	1043.92	1033.42	903.66	991.06
K ⁺	94.58	99.82	99.40	85.48	93.12
Li ⁺	2.10	2.24	2.18	1.94	2.14
As ³⁺	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
NH ₄ ⁺	<0.01	n.d	n.d	n.d	n.d
F ⁻	0.67	0.82	0.84	0.80	0.83
Cl ⁻	1236.96	1818.02	1847.88	1585.34	1764.84
SO ₄ ²⁻	4.35	22.68	23.23	20.66	20.10
HCO ₃ ⁻	391.62	393.45	386.74	402.60	378.20
CO ₃ ²⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NO ₃ ⁻	<0.01	<0.01	<0.01	2.38	2.52
Ion Balance (%)	-3	-4	-4	-4	-5

Kemunculan mata air panas di permukaan diperkirakan sebagai outflow yang keberadaannya sangat dimungkinkan dipengaruhi oleh air permukaan. Mata air panas dengan unsur klorida yang tinggi, memiliki sedikit unsur bikarbonat dan sulfat mengindikasikan daerah outflow pada reservoir panas bumi (Powell, 2010).

Diagram ternary Cl-Li-B digunakan untuk mengevaluasi proses pendidihan dan pengenceran berdasarkan perbandingan konsentrasi unsur Cl-Li-B yang telah diubah dalam satuan persen. Perhitungan kandungan relatif unsur Cl-Li-B dilakukan agar dapat memberikan hasil mengenai asal fluida panas bumi pada lokasi penelitian (Ardelia, drr., 2023).

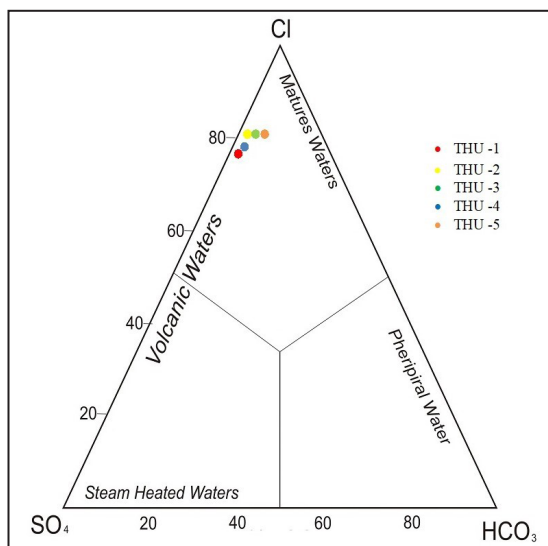
Berdasarkan hasil perhitungan presentase kandungan Cl-Li-B menunjukkan bahwa kandungan Cl merupakan kandungan unsur yang paling dominan dibandingkan dengan kandungan Li



Gambar 2. Peta geologi regional daerah penelitian

dan B. Sedikitnya kandungan B pada fluida panas bumi mengindikasikan bahwa selama perjalanan menuju ke permukaan, terjadi sedikit pengenceran oleh batuan (Giggenbach, 1991).

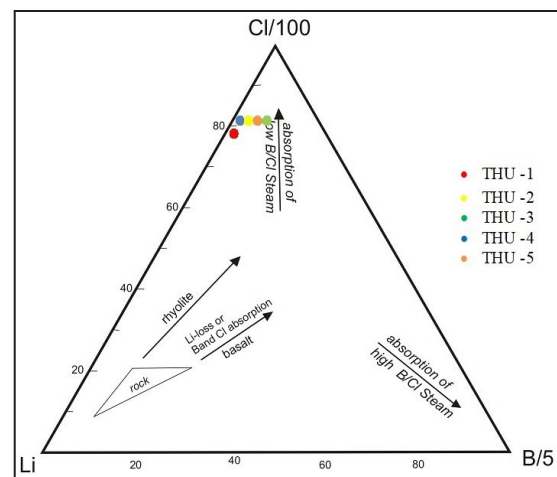
Dari hasil plotting pada diagram ternary, memperlihatkan bahwa ke 5 sampel mata air panas berada pada posisi yang sama yaitu “*absorption of low B/Cl Steam*” (Gambar 3), maka diinterpretasikan bahwa ke 5 sampel mata air panas berasal dari reservoir yang sama, juga mengindikasikan mata air panas di daerah penelitian tidak dipengaruhi oleh aktivitas gunung api.



Gambar 3. Diagram ternary Cl-SO₄-HCO₃;menunjukkan ke 5 sampel mata air panas memiliki tipe air klorida (Giggenbach, 1989).

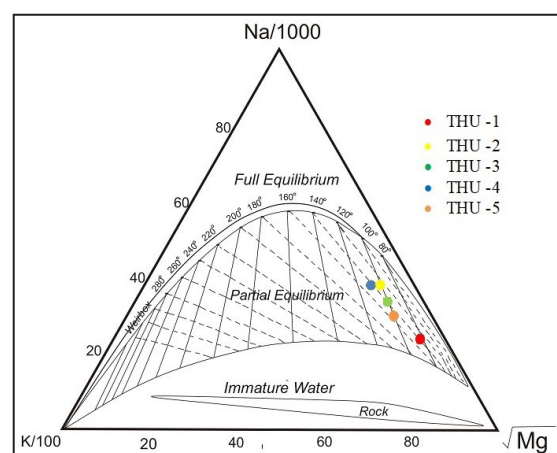
Diagram ternary Na-K-Mg digunakan untuk mengetahui kesetimbangan fluida panas bumi. Berdasarkan hasil perhitungan kandungan unsur dan plotting pada diagram, memperlihatkan ke 5 sampel mata air panas THU-1, THU-2, THU-3, THU-4 dan THU-5 berada pada satu zona yang sama yaitu “*partial equilibrium*” (Gambar 4). Kandungan Mg yang tinggi dibandingkan dengan kandungan Na dan K, mengindikasikan bahwa mata air panas tersebut dipengaruhi oleh pelarutan air tanah (Nicholson, 1993).

Komposisi isotop ¹⁸O dan D dalam panas bumi digunakan untuk menentukan asal-usul fluida panas bumi (Zhao, dr., 2018). Pada penelitian

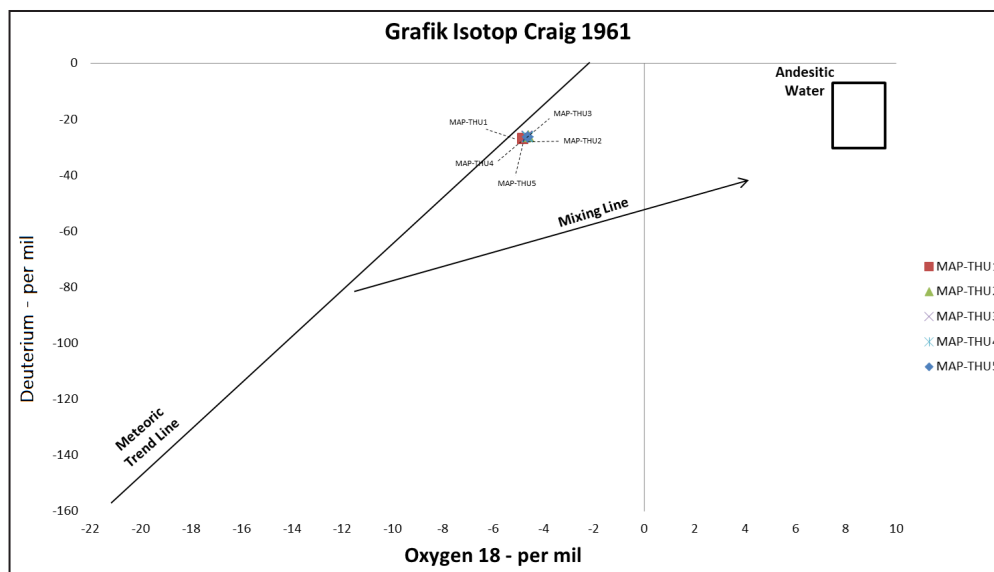


Gambar 4. Diagram ternary Cl-Li-B;menunjukkan ke 5 sampel mata air panas berada pada posisi yang sama yaitu “*absorption of low B/Cl steam*” (Giggenbach, 1989).

ini dilakukan analisis isotop stabil terhadap 5 sampel mata air panas. Berdasarkan hasil plotting pada diagram grafik isotop menunjukkan bahwa ke 5 sampel mata air panas berada di dekat garis meteorik (Gambar 6), maka mengindikasikan bahwa sampel mata air panas di daerah penelitian berasal dari air meteorik, namun sampel mata air panas mengalami pergeseran ke arah isotop (*oxygen shifting*), sehingga dapat diindikasikan bahwa fluida panas bumi dari sampel THU-1, THU-2, THU-3, THU-4 dan THU-5 mengalami interaksi dengan batuan sekitar yang memiliki temperatur rendah-sedang sebelum akhirnya menuju ke permukaan (Nicholson, 1993).



Gambar 5. Diagram ternary Na-K-Mg;menunjukkan ke 5 sampel mata air panas berada dalam satu zona yang sama “*partial equilibrium*” (Giggenbach, 1989).



Gambar 6. Grafik isotop ^{18}O dan D.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dari hasil analisis kimia menunjukkan ke 5 sampel mata air panas di daerah penelitian merupakan tipe air klorida, dan berada pada satu zona kesetimbangan yang sama yaitu zona partial equilibrium. Dari hasil analisis isotop ^{18}O dan D, ke 5 sampel mata air panas di daerah penelitian berasal dari air meteorik, dan fluida panas bumi dari sampel mata air panas yang diambil mengalami interaksi dengan batuan sekitar sebelum menuju ke permukaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh dosen dan staff akademik Universitas Padjadjaran, serta seluruh pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardelia, dr., 2023. Identifikasi Karakteristik Fluida dan Estimasi Temperatur Reservoir Panas Bumi di Tanjung Raya dan Palupuh, Kabupaten Agam. *Jurnal Fisika Unand* 12(3):394-400.
- Craig, H., 1961. *Isotopic variations in meteoric waters*. *Science*, 133(3465), pp.1702-1703.

EBTKE., 2020. Potensi Besar Belum Termanfaatkan, 46 Proyek Panas Bumi Siap Dijalankan. Diakses Pada Juli 2023. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/03/27/2518/potensi.besar.belum.termanfaatkan.46.proyek.panas.bumi.siap.dijalankan>.

Giggenbach, W.F., 1989. The chemical and isotopic position of the Ohaaki Field within the Taupo Volcanic Zone. *Proc. N.Z. Geothermal Workshop* 11, 81-88.

Giggenbach, W.F., 1991. Chemical techniques in geothermal exploration. *Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development* 119-144.

Hochstein, M.P and Browne., 2000. *Surface Manifestation of Geothermal System With Volcanic Heat Sources*, In *Encyclopedia of Volcanoes*, Edit by H. Sigurdson. San Diego: Akademik Press: 835-865.

Nicholson. K., 1993. *Geothermal Fluids, Chemistry & Exploration Techniques*, Berlin: Springer Verlag.

Powell, T and Cumming, W., 2010 *Spreadsheets for Water and Gas Geothermal Geochemistry* (California: Stanford University, Stanford).

Qomariah. (2012). *Neraca Panas Bumi 2012. Artikel*. Badan Geologi Kementerian ESDM.

- Saptadji, N.M., 2009, Karakteristik Reservoir Panas Bumi, *Training Advanced Geothermal Reservoir Engineering*, 6-7 Juli, Bandung.
- William Simon Tala, dr., 2020. Karakteristik Geokimia Air Panas dan Perkiraan Temperatur Bawah Permukaan Panas Bumi Daerah Oma dan Tulehu Kabupaten Maluku Tengah. Vol 4, No 4 (2020): *Padjadjaran Geoscience Journal* – Artikel.
- Wahyuni, Nurseffi Dwi. 2012. Indonesia Bakal Jadi Penghasil Listrik Panasbumi Terbesar di Dunia. *Artikel*. <http://bisnis.liputan6.com.read/461333/indonesia-bakal-jadi-penghasil-listrik-panas-bumi-terbesar-di-dunia>. Diakses pada Juni 2023.
- Zhao, B. B., Chen, Y. Q. 2011. Singular value decomposition (SVD) for extraction or gravity anomaly associated with gold mineralization in Tongshi gold field. Western Shandong Uplifted Block, Eastern China. *Nonlin. Processes Geophys.*, 18, 103-109.