

ANALISIS KARAKTERISTIK FLUIDA MATA AIR PANAS DI DESA SAWANGAN KABUPATEN MINAHASA UTARA DENGAN MENGGUNAKAN GEOINDIKATOR Cl-Li-B

ANALYSIS OF FLUIDISTICS OF HOT WATER SPRINGS IN SAWANGAN VILLAGE, NORTH MINAHASA DISTRICT USING CL-Li-B GEOINDICATORS

Willy Ch. A. Poluakan¹, Armstrong F. Sompotan², Jeferson Polii³

ABSTRACT

¹Universitas negeri manado
Rinegetan, Tondano,
Indonesia
christofelabel@gmail.com

²Universitas negeri manado
Second affiliation address,
Tomohon, Indonesia
Armstrong@unima.ac.id

³Universitas negeri manado
Third affiliation address,
Tomohon, Indonesia
jefersonpolii@unima.ac.id

The need for energy in everyday life is very important, geothermal energy has the potential to become an energy source for power plants. Indonesia has one of the largest geothermal potentials, because Indonesia is located in the Ring of Fire. One of the provinces known for its abundance of geothermal energy is North Sulawesi. The purpose of this study is to determine the characteristics of this geothermal manifestation. The method used is the Cl-Li-B Geoindicator to determine the outflow zone or upflow zone of a geothermal system. The results of the study show that the manifestation has a temperature of 39°C with a pH of 6.39 containing a higher chloride (Cl) content than Lithium (Li) and Boron (B), the chloride (Cl) content has a percentage of 82.3529% while for Lithium (Li) has a percentage of 11.7647% and Boron (B) has a percentage of 5.8823%. The data shows that of the three parameters studied, the relatively low B/Cl ratio indicates that the hot spring comes from an old geothermal reservoir and chloride (Cl) has the highest percentage of content, it can be concluded that this manifestation is in the outflow zone.

Keywords: Energy, Geothermal, Geoindicator, Outflow, Upflow

1. PENDAHULUAN

Seperti yang diketahui, uap air, sumber energi terbarukan, adalah salah satu yang dapat digunakan untuk menggerakkan pembangkit listrik. Energi panas bumi lebih efisien dan efektif di bandingkan energi lain dan lebih ramah lingkungan serta bisa diperbaharui. Energi panas bumi merupakan energi yang ramah lingkungan karena fluida panas bumi setelah diubah menjadi energi listrik akan kembali ke reservoir melalui sumur injeksi.^[1]

Indonesia merupakan salah satu dari beberapa negara yang memiliki potensi sumber energi panas bumi terbesar hal ini berbanding lurus dengan aktivitas vulkanik yang terjadi di Indonesia. Indonesia merupakan salah satu daerah yang dilewati oleh *ring of fire*. Situs panas bumi yang paling aktif ditemukan di mana gempa bumi dan gunung berapi terkonsentrasi, khususnya di daerah yang disebut *ring of fire* yang mengelilingi Samudra Pasifik.^[2] Kejadian ini dikarenakan wilayah Indonesia berada pada jalur pertemuan antar lempeng bumi, yaitu, lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia yang menjadi penyebab terbentuknya banyak gunung api yang daerah sekitarnya merupakan daerah yang memiliki prospek panas bumi. Dalam zona ini, ada hal positif dan negatifnya, yang merupakan, Indonesia memiliki potensi sumber daya alam yang melimpah, salah satunya adalah potensi panas bumi, disisi lain Indonesia juga rawan akan bencana yang berkaitan dengan aktivitas vulkanik.

Indonesia sebagai negara yang paling banyak memiliki potensi panas bumi di dunia sekitar 40% di dunia yang tersebar di daerah- daerah Indonesia.^[3] Sekitar 3% atau 2.174 MW dari total energi listrik yang dihasilkan Indonesia pada tahun 2021, tersebar di beberapa daerah di Sumatera, Jawa-Bali, dan Sulawesi. Salah satu provinsi yang memiliki potensi sebagai daerah pengembangan panas bumi secara langsung maupun tidak langsung adalah Sulawesi Utara, penyebabnya adalah karena daerah Sulawesi Utara memiliki gunung api aktif.

Salah satu lokasi di Kabupaten Minahasa Utara, Kecamatan Airmadidi, Sungai Kepangian, Desa Sawangan, dianggap memiliki potensi panas bumi karena adanya manifestasi panas bumi dalam bentuk mata air panas. Desa Sawangan terletak di atas batuan Gunung Api muda, menurut struktur geologinya. Hal ini menunjukkan bahwa ada potensi panas bumi di daerah itu. Namun, karena kurangnya pengetahuan tentang penentuan potensi panas bumi, potensi panas bumi di daerah tersebut belum dikembangkan hingga saat ini.

Dalam menentukan karakteristik suatu manifestasi panas bumi pada suatu wilayah tentunya dapat menggunakan beberapa jenis studi seperti studi Geofisika, Geologi, dan Geokimia. Prinsip pelacakan anomali panas bumi penting melalui data kimia hampir tidak dapat ditaksir. Faktanya, banyak karakteristik kerak bumi berasal dari atau dipengaruhi oleh interaksi antara faktor kimia dan termal. Dalam kasus di mana cairan reservoir adalah air, kemungkinannya agak lebih rumit.^[4] Dalam penelitian ini, jenis studi yang akan digunakan adalah studi Geokimia dengan Geoindikator Cl-Li-B. Geoindikator Cl-Li-B dapat digunakan untuk melacak jalur sirkulasi fluida di dalam sistem panas bumi, membantu memahami pergerakan dan sifat fluida di bawah permukaan. Karena pelarutan mineral oleh panas, konsentrasi klorida tinggi dalam air panas bumi dapat menunjukkan bahwa air berasal dari lapisan bumi yang dalam dan telah dipanaskan.

2. KAJIAN PUSTAKA

Sstem Panas Bumi

Ketika panas dari dalam bumi naik ke permukaan, sistem panas bumi terjadi. Banyak elemen dan mekanisme yang kompleks terlibat dalam proses ini. Panas bumi memiliki 2 sumber utama, yaitu:

- 1). Peluruhan radioaktif, yang dimaksud merupakan proses peluruhan unsur radioaktif seperti uranium, thorium, dan kalium yang ada dalam batuan dan kerak bumi menghasilkan sebagian besar panas di Bumi. Inti bumi menghasilkan energi panas bumi, dan peluruhan lambat partikel radioaktif di dalam bumi menghasilkan suhu yang lebih panas dari permukaan matahari. Proses peluruhan ini terjadi di semua batuan.^[2]
- 2). Panas yang tersisa dari pembentukan bumi, yang dimaksudkan adalah energi panas yang dihasilkan dari tumbukan materi dan akresi yang terjadi selama pembentukan bumi, yang terjadi sekitar 4,5 miliar tahun yang lalu, masih tersimpan dalam inti bumi. Energi bumi adalah panas yang terkandung dalam tanah dan batuan pada kedalaman dangkal. Sumber daya ini disadap oleh pompa panas bumi.^[5]

Perjalanan fluida termal yang berupa air maupun uap panas dapat terakumulasi pada suatu formasi batuan yang berada di sekitar sumber panas dan daerah penampungan panas. Formasi batuan ini dikenal juga sebagai *reservoir*.

Sistem panas bumi juga dapat dikategorikan menjadi dua sistem, yaitu:

- 1.) Sistem hidrotermal, sistem ini terbentuk dari adanya proses transfer panas dari sumber panas ke permukaan dengan cara konveksi, dimana proses ini melibatkan fluida meteoric dengan maupun tanpa jejak fluida magmatik.
- 2.) Sistem vulkanik, menurut Hochstein^[6] istilah sistem vulkanik atau sistem geothermal vulkanik digunakan untuk menggambarkan sistem transfer panas yang terjadi pada gunung berapi muda yang melibatkan satu atau beberapa hal, yaitu, beberapa pembuangan fluida dengan pH netral yang dominan oleh aliran advektiv melalui pinggir, beberapa aliran *upflow* dari fluida dengan pH netral yang berasal dari *reservoir* bertemperatur tinggi, beberapa merupakan pembuangan cairan magmatic dan asam melalui saluran di daerah puncak atau melalui saluran curam yang mentransfer kondensat asam dan jejak cairan magmatik.

Jenis-Jenis Manifestasi Panas Bumi di Permukaan

Menurut Saptadji^[7], ada beberapa jenis manifestasi panas bumi pada permukaan, antara lain:

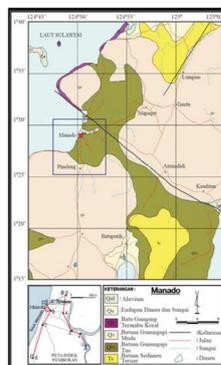
- 1.) Mata air panas atau hangat, salah satu tanda adanya sumber daya panasbumi di bawah permukaan adalah mata air panas atau hangat yang terbentuk karena aliran air panas atau hangat dari bawah permukaan melalui rekahan batuan. Temperatur air disebut "hangat" jika kurang dari 50°C, dan "panas" jika memiliki temperatur air yang lebih tinggi dari 50°C.

Sifat air permukaan seringkali digunakan untuk memperkirakan jenis *reservoir* di bawah permukaan.

- Mata air panas yang bersifat asam biasanya merupakan manifestasi permukaan dari suatu sistim panas bumi yang didominasi uap.
 - Sedangkan mata air panas yang bersifat netral biasanya merupakan manifestasi permukaan dari suatu sistim panasbumi yang didominasi air. Mata air panas yang bersifat netral, yang merupakan manifestasi permukaan dari sistim dominasi air, umumnya jenuh dengan silika.
 - Apabila laju aliran air panas tidak terlalu besar umumnya di sekitar mata air panas tersebut terbentuk teras-teras silika yang berwarna keperakan (*silica sinter terraces* atau *sinter platforms*). Bila air panas banyak mengandung *Carbonate* maka akan terbentuk teras-teras travertine (*travertine terrace*).
 - Namun di beberapa daerah, yaitu di kaki gunung, terdapat mata air panas yang bersifat netral yang merupakan manifestasi permukaan dari suatu sistim panasbumi dominasi uap.
- 2.) Kolam Air Panas, Adanya kolam air panas di alam merupakan bukti adanya sumber daya panasbumi di bawah permukaan. Adanya aliran air panas dari bawah permukaan melalui rekahan batuan menyebabkan kolam air panas ini terbentuk. Karena panas berpindah dari permukaan air ke atmosfer, permukaan air menguap. Luas area kolam, suhu permukaan, dan kecepatan angin sebanding dengan jumlah panas yang hilang ke atmosfer.

Struktur Geologi

Sulawesi dan sekitarnya adalah tempat tiga lempeng besar berkumpul: lempeng Indo-Australia bergerak ke utara, lempeng Pasifik bergerak ke barat, dan lempeng Eurasia bergerak ke selatan-tenggara. Ada juga lempeng yang lebih kecil, lempeng Filipina. Proses tumbukan keempat lempeng ini menyebabkan Pulau Sulawesi memiliki empat lengan yang masing-masing memiliki proses tektonik yang berbeda, yang membentuk mosaik geologi yang lengkap.^[8]



Gambar 1. Peta Struktur Geologi Manado^[8]

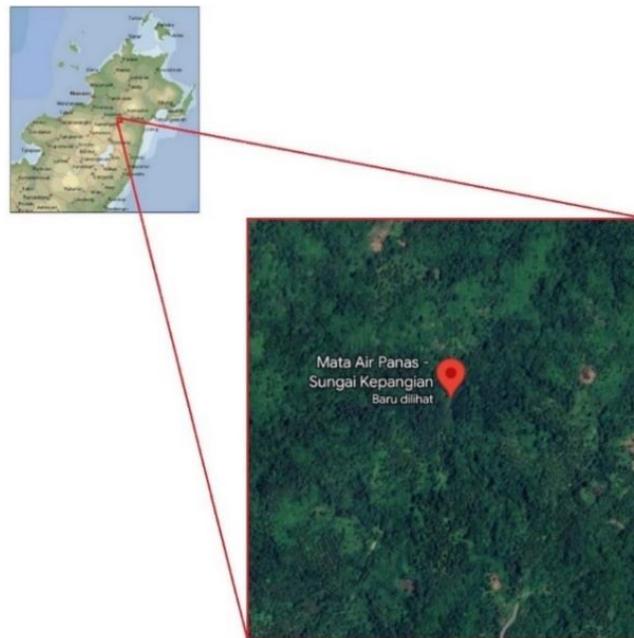
Dalam penelitian^[14] menyatakan bahwa; Cl dan B adalah elemen konservatif dalam sistem panas bumi. Unsur-unsur tersebut tetap dalam fase fluida dan belum seimbang. Unsur-unsur konservatif adalah geoinikator terbaik dari asal usul sistem panas bumi. Rasio B / Cl dan diagram terner Cl-Li-B digunakan untuk menunjukkan sumber fluida. Semua perairan panas bumi memiliki kandungan Cl yang tinggi relatif terhadap Li dan B, menunjukkan bahwa mereka berasal dari sistem hidrotermal tua dan fluida bermigrasi dari batuan bawah tanah tua.

Dengan menggunakan geoinikator Cl-Li-B kita dapat meneliti kandungan relatif Cl, Li, dan B, terutama informasi yang terkait dengan kondisi di bawah permukaan yang dapat mencapai kedalaman 5 km. Diagram Ternary juga digunakan untuk meneliti proses pendidihan dan pengenceran berdasarkan konsentrasi Cl/100 dan B/4 yang telah dikonversi kedalam satuan persen. Metode ini juga dapat menentukan zona *upflow* dan zona *outflow* dari suatu sistem panas bumi.

3. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Airmadidi, diperlihatkan pada gambar 3. tepatnya pada mata air panas yang ada di sekitar Sungai Kepangian, Jalan Sawangan, Desa Sawangan, Kecamatan Airmadidi, Kabupaten Minaasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara.



Gambar 3. Titik Daerah Penelitian, Sungai Kepangian (Sumber : Google Earth).

Alat dan Bahan

- GPS (*Google Maps*), digunakan untuk menentukan titik koordinat manifestasi. *Soil Thermometer*, digunakan untuk menentukan temperatur manifestasi.



Gambar 4. Soil Thermometer.

- 4 in 1 Lutron LM-8000, digunakan untuk mengukur temperatur udara daerah penelitian.



Gambar 5. Lutron LM-8000 4 in 1

- Kamera (*Smartphone*), digunakan sebagai alat dokumentasi saat kegiatan lapangan.
- Alat Tulis menulis, digunakan untuk mencatat hasil di lapangan.
- Botol sampel, digunakan sebagai wadah fluida.



Gambar 6. Botol Sampel Air

Botol sampel telah disediakan oleh WLN, terbuat dari polietilena dengan densitas tinggi (HDPE), yang dikenal memiliki titik leleh yang tinggi, kestabilan termal, dan ketahanan terhadap berbagai bahan kimia. Botol sampel telah disterilkan oleh pihak WLN.

- Box, digunakan sebagai tempat penyimpanan botol sampel.



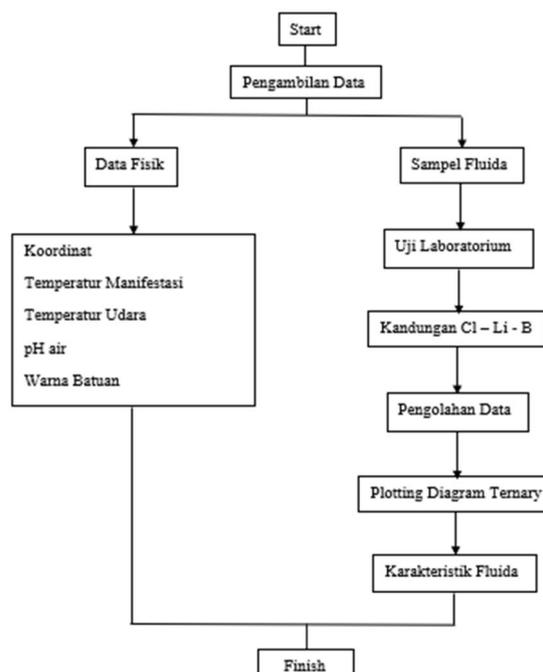
Gambar 7. Cooler Box

Cooler box yang telah disediakan oleh WLN, terbuat dari bahan isolasi termal untuk menjaga suhu agar tetap stabil, digunakan sebagai tempat penyimpanan botol sampel.

Metode Penelitian

Untuk melakukan penelitian dengan benar dan menghasilkan hasil yang optimal, desain atau tahapan penelitian harus dibuat sebelum memulainya.

- Dalam persiapan untuk pelaksanaan penelitian, hal yang akan dilakukan pertama yaitu studi literatur, dimana peneliti akan mempelajari teori yang berkaitan dengan masalah yang akan dibahas.
- Pengambilan data parameter fisik lapangan seperti koordinat lokasi, temperatur manifestasi, temperatur udara, pH air, juga warna air.
- Mengambil sampel air panas dari manifestasi yang kemudian akan diuji di laboratorium.
- Pengujian sampel fluida akan dilaksanakan di Water Laboratory Nusantara (WLN) Manado untuk mengidentifikasi kandungan Cl-Li-B.
- Plotting kandungan Cl-Li-B pada diagram ternary. Sesudah pengujian sampel dilaksanakan dan kandungan pada sampel telah diidentifikasi, maka akan dilakukan pengolahan data.



Gambar 8. Diagram Alir Desain Penelitian

Variabel Penelitian

Karakteristik fluida

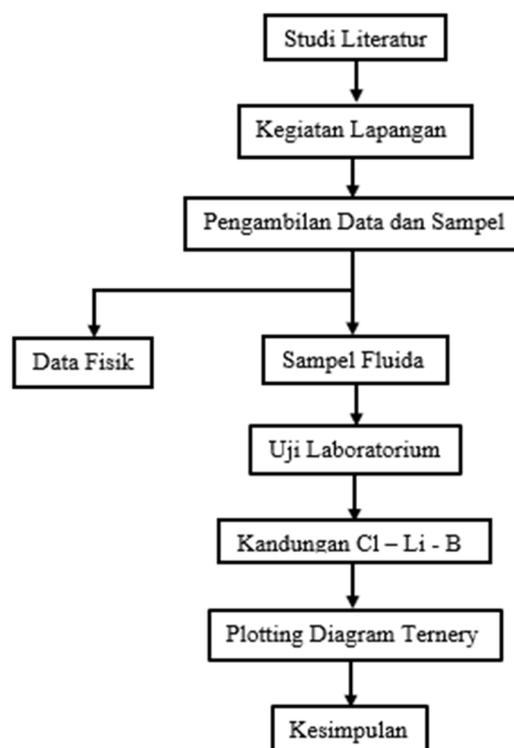
Parameter fisis lapangan, seperti pH fluida, temperatur udara, temperatur manifestasi, dan titik koordinat lokasi, diukur untuk menentukan karakteristik fluida. Selanjutnya, sampel fluida diambil untuk diuji dan diukur parameter geokimia di laboratorium dengan menggunakan spektrofotometer. Untuk menentukan karakteristik fluida, persentase geoindikator Cl-Li-B dihitung dan diplot pada diagram ternary.

Teknik Pengumpulan Data :

- Sampel dikumpulkan dengan cara mengambil sampel air panas yang berasal dari manifestasi yang kemudian akan dimasukkan ke dalam botol sampel.
- Sampel yang sudah diperoleh akan dibawa ke laboratorium untuk diuji.

Teknik Pengolahan dan Analisis Data

Untuk koordinat lokasi penelitian, pH air, temperatur udara, temperatur manifestasi, dan warna air akan diketahui melalui pengambilan data di lapangan. Dari hasil pengujian sampel kita akan memperoleh data yang akan diolah dengan cara menghitung presentase dari setiap unsur. Plotting kandungan Cl-Li-B pada diagram ternary akan dilakukan setelah hasil presentasi dari tiap unsur diperoleh dan pengolahan data untuk menentukan karakteristik dari sampel fluida yang diperoleh dari manifestasi.



Gambar 9. Diagram Alir Teknik Pengolahan dan Analisis Data

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Dari pengukuran parameter fisis yang dilakukan di Mata Air Panas Sungai Kepangian, temperatur manifestasi pada saat pengambilan data adalah 39°C, dengan temperatur udara pada saat pengambilan data adalah 28°C dan air pada manifestasi panas bumi memiliki pH 6,39. Pada manifestasi panas bumi ini dapat terlihat mengeluarkan uap yang terbilang sedikit, dengan warna air yang jernih. Pada titik manifestasi air panas yang lainnya juga memiliki temperatur yang lebih rendah, yaitu 37°C dan memiliki pH 7.12.

Tabel 1. Hasil Pengamatan di Lapangan.

No.	Koordinat		Tempratur Manifestasi	Tempratur Udara	pH	Warna Air
	x	y				
1.	716345	153924	39°C	28°C	6,39	Bening
2.	715342	153913	37°C	28°C	7,12	Bening

Berdasarkan data lapangan di atas, temperatur permukaan manifestasi 39°C menunjukkan bahwa sumber mata air panas di wilayah tersebut adalah mata air hangat. Titik nomor 1 pada tabel ditentukan sebagai tempat penelitian, dikarenakan suhu yang dimiliki lebih tinggi daripada titik yang lainnya. Ciri fisik lokasi manifestasi mata air panas adalah air panas mengalir dari celah batuan, air jernih, dan sumur berukuran 5x6,5cm. Pengukuran dilakukan di lokasi pada pukul 13.05 WITA.

Hasil dari pengujian sampel di laboratorium menunjukkan kandungan kimia dalam fluida mata air panas yang diperlihatkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Laboratorium, Kandungan Kimia Pada Sampel Fluida.

Sampel	Data Kimia (mg/L)		
	Cl	Li	B
Mata Air Panas Sungai Kepangian	2,8	0,004	0,008

Berdasarkan tabel 2, diperlihatkan bahwa kandungan kimia dalam fluida manifestasi mata air panas di Mata Air Panas Sungai Kepangian memiliki kandungan Cl (Klorida) yang lebih tinggi dibandingkan dengan kedua parameter lainnya yaitu 2.8 mg/L, memiliki kandungan Litium yang rendah yaitu 0,004 mg/L, dan dengan kandungan B (Boron) dengan jumlah 0,008 mg/L.

Dalam menentukan asal fluida mata air panas berdasarkan analisis geokimia di daerah penelitian digunakan diagram ternary berdasarkan kandungan relatif klorida, litium dan boron. Kandungan Cl, Li, dan B yang telah diperoleh harus melalui perhitungan presentase terlebih dahulu dengan menggunakan faktor skala, karena adanya perbedaan nilai konsentrasi yang sangat besar diantara ketiga unsur tersebut. Berikut ini perhitungan presentase masing-masing unsur:

$$\begin{aligned}
 S &= \Sigma \text{Kadar} = (\text{Cl}/100) + \text{Li} + (\text{B}/4) \\
 &= (2,8/100) + 0,004 + (0,008/4) \\
 &= 0,034
 \end{aligned}$$

$$\% \text{Cl} = ((\text{Cl}/100) / S) \times 100$$

$$= ((2,8/100) / 0,034) \times 100$$

$$= 82,3529\%$$

$$\%Li = (Li/S) \times 100$$

$$= (0,004/0,034) \times 100$$

$$= 11,7647\%$$

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

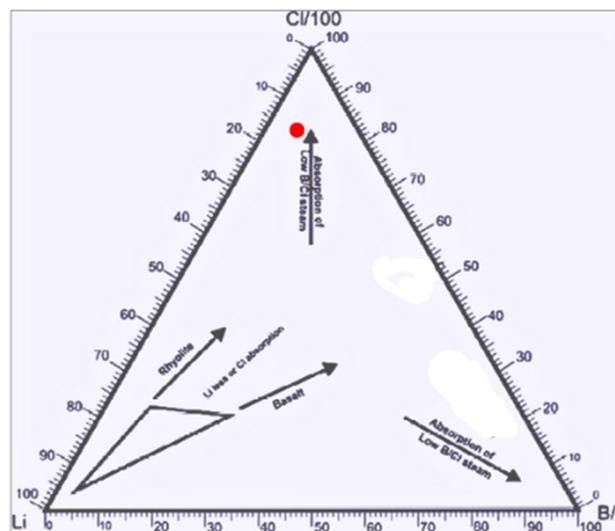
$$= ((0,008/4) / 0,034) \times 100$$

$$= 5,8823\%$$

Tabel 3. Jumlah Presentase Kandungan Unsur Cl, Li, dan B.

Sampel	Data Kimia (mg/L)			Presentase (%)		
	Cl	Li	B	Cl	Li	B
Mata Air Panas Sungai Kepangian	2,8	0,004	0.008	82,3529	11,7647	5,8823

Berdasarkan perhitungan presentase unsur Cl, Li, dan B, maka didapatkan hasil yang diperlihatkan pada tabel 3, data kemudian dilakukan plot berdasarkan data yang diperoleh pada diagram ternary untuk geoinдикator Cl-Li-B seperti yang diperlihatkan pada gambar 10.



Gambar 10. Diagram Ternary Manifestasi Mata Air Panas Sungai Kepangian.

Berdasarkan perhitungan dari presentase kandungan Cl (klorida), Li (Lithium), dan B (Boron) maka dapat diketahui bahwa kandungan Cl (klorida) sangat dominan dibandingkan dengan unsur-unsur lainnya. Dapat dilihat pada hasil plot unsur Cl-Li-B yang ditunjukkan pada diagram ternary bahwa fluida mata air panas di Mata Air Panas Sungai Kepangian berada pada daerah yang memiliki unsur Cl (klorida) yang dominan.

Pengukuran suhu dan pH yang dilakukan pada manifestasi menunjukkan bahwa manifestasi mata air panas memiliki suhu 39°C dan pH 6,39, dimana mengindikasikan bahwa kandungan air pada mata air panas ini memiliki sifat yang sedikit asam. Warna air pada manifestasi memiliki warna bening, disekitar mata air panas, batuan memiliki warna putih terutama di bagian dimana terjadi kontak langsung antar air panas dan batuan.

Penggunaan Diagram Cl-Li-B juga bisa menjadi penentu zona *outflow* maupun zona *upflow* dari suatu sistem panas bumi. Menurut Nicholson K. (1993), jumlah unsur Cl (klorida) yang tinggi menunjukkan bahwa proses aliran fluida biasanya terjadi secara *outflow*, seperti yang terlihat pada manifestasi panas bumi, Mata Air Panas Sungai Kepangian, yang memiliki konsentrasi unsur klorida (Cl) yang paling tinggi dibandingkan dengan kedua unsur lainnya, hal ini menandakan bahwa mata air panas ini merupakan zona *outflow*.

5. KESIMPULAN

Melalui hasil penelitian dan pembahasan yang telah diperoleh maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa, mata air panas di Sungai Kepangian memiliki suhu 39°C, dengan pH 6,39 dan suhu udara 29,6°C. Dari data fisik yang didapatkan dapat dikatakan bahwa manifestasi ini termasuk dalam kategori mata air hangat dan memiliki pH yang sedikit lebih condong dalam kategori asam.

Berdasarkan plotting diagram ternary Cl-Li-B, fluida mata air panas memiliki kandungan Cl (klorida) yang tinggi dengan presentase 82,3529%, sedangkan Li (lithium) memiliki presentase kandungan 11,7647% dan B (Boron) dengan presentase kandungan 5,8823%, hal ini menandakan bahwa fluida berada di zona *outflow*. Fluida mata air panas juga memiliki kandungan Li (Lithium) yang rendah yang mengindikasikan adanya mineral lain seperti klorit dan lempung pada jalur aliran, sehingga unsur Li (Lithium) mudah terserap. Rendahnya unsur B (Boron) pada fluida dapat disebabkan oleh banyaknya interaksi dengan sedimen yang dilalui.

Fluida juga menunjukkan rasio B/Cl yang rendah sehingga dapat disimpulkan bahwa Mata Air Panas Sungai Kepangian memiliki fluida panas bumi berasal dari sistem hidrotermal yang sudah tua dan fluida mengalir dari batuan dasar yang tua. Asal fluida adalah reservoir panas bumi yang memiliki pencampuran minimal dan pendinginan secara konduksi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin mengucapkan terimakasih sebanyak banyaknya kepada seluruh pihak terutama dosen-dosen, pembimbing, penguji, dan teman-teman seperjuangan yang telah membantu dalam seluruh proses penelitian yang telah dilaksanakan oleh penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ratumbusang, R., Sompotan, A., and Polii, J., 2022. "Analisis Karakteristik Fluida Dan Temperatur Reservoir Dengan Menggunakan Diagram Ternary Cl-Li-B Pada Manifestasi Panas Bumi Di Desa Kaleosan, Minahasa Utara." Jurnal FisTa: Fisika dan Terapannya, Vol. 3, No. 1.
- [2] Mooney, C., 2011. "Geothermal Power" Scientific American.
- [3] Arikalang, M., Palilingan, R., dan Polii, J., 2022. "Karakteristik Fluida Panas Bumi Menggunakan Geoindikator Cl-Li-B Di Daerah Desa Bakan." Jurnal FisTa: Fisika dan Terapannya, Vol. 3, No. 1.
- [4] Tonani, F., 1970. "Geochemical Methods of Exploration for Geothermal Energy." Geothermics, Vol. 158.
- [5] U.S. Department of Energy. 1997. "Geothermal Energy... Power from the Depths."
- [6] Hochstein, M. P., and Sudarman, S., 2015. "Indonesian Volcanic Geothermal Systems." World Geothermal Congress 2015 (April): 11.
- [7] Saptadji, N. M., 2001. "Teknik Panasbumi." Institut Teknologi Bandung.

- [8] Sompotan, A., 2012. "Struktur Geologi Sulawesi." Perpustakaan Sains Kebumihan Institut Teknologi Bandung.
- [9] Banks, D., 2017. "Geochemistry and Hydrochemistry (Geothermal Best Practice Guide)." DESTRESS H2020 Project Best Practice series (November).
- [10] Mwangi, S. M., 2013. "Application of Geochemical Methods in Geothermal Exploration in Kenya." Procedia Earth and Planetary Science, Vol. 7, No. 12.
- [11] D'amore, F., and Panichi, C., 1985. "Geochemistry in Geothermal Exploration." International Journal of Energy Research, Vol. 9, No. 3.
- [12] Trompetter, W. J., Reyes, A. G., Vickridge, I. C., dan Markwitz, A., 1999. "Lithium and Boron Distributions in Geological Samples." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B, Vol. 158, No. 1.
- [13] Cullen, J. T., Hurwitz, S., Barnes, J. D., Lassiter, J. C., Penniston-Dorland, S., Meixner, A., Wilckens, F., Kasemann, S. A., McCleskey, R. B., 2021. "The Systematics of Chlorine, Lithium, and Boron and $\Delta^{37}\text{Cl}$, $\Delta^7\text{Li}$, and $\Delta^{11}\text{B}$ in the Hydrothermal System of the Yellowstone Plateau Volcanic Field." Geochemistry, Geophysics, Geosystems, Vol. 22, No. 4.
- [14] Strelbitskaya, S., and Radmehr, B., 2010. "Geochemical Characteristics of Reservoir Fluid from NW-Sabalan Geothermal Field, Iran." Proceedings World Geothermal Congress.
- [15] Nicholson, K., 1993. "Geothermal Fluids: Chemistry and Exploration Techniques". Springer-Verlag.