

Analisis Karakteristik Tipe Fluida Mata Air Panas Di Hutan Pinus Lahendong Dengan Menggunakan Spektrofotometri

Jouhari Wote^{1)*}, Rolles Nixon Palilingan²⁾, Jeane C. Rende³⁾ dan Jeilen G. N. Nusa⁴⁾

^{1,2,3}Program Studi Fisika, Universitas Negeri Manado, Kabupaten Minahasa, 95619, Indonesia

*e-mail: 18503011@unima.ac.id

Diterima 20 April 2023; Disetujui 28 April 2023

ABSTRAK

Hutan Pinus adalah salah satu tempat wisata yang berada di Kelurahan Lahendong, memiliki manifestasi panas bumi berupa mata air panas, dimana hal ini menunjukkan bahwa daerah tersebut memiliki potensi panas bumi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tipe Fluida manifestasi mata air panas di Hutan Pinus dengan menggunakan metode geokimia. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa temperatur yang ada pada manifestasi 40°C sedangkan derajat keasaman pH air panas memiliki nilai 4 yang menunjukkan tingkat keasaman air panas bersifat asam. Tipe fluida yang ada di daerah manifestasi air panas di Hutan Pinus adalah tipe fluida air sulfat dan air sulfat merupakan fluida yang terbentuk pada kedalaman yang dangkal dan terbentuk sebagai akibat dari proses kondensasi gas panas bumi yang menuju dekat permukaan. Hal ini dikarenakan dari hasil analisis kimia menunjukkan bahwa unsur SO₄ merupakan unsur paling didominasi dan mengandung gas SO₄. Air panas yang memiliki tipe sulfat merupakan air yang terbentuk pada kedalaman dangkal dan terbentuk akibat dari proses kondensasi gas panas bumi yang menuju dekat permukaan. Gas panas bumi dengan kandungan gas (air dan karbon) pada dasarnya larut dalam kandungan fluida yang terletak pada zona dalam tetapi terpisah dari air klorida. Air sulfat biasanya berada pada batas daerah dan berjarak tidak jauh dari zona upflow utama.

Kata kunci : Hutan pinus, Mata Air Panas, Tipe Fluida

ABSTRACT

Pine Forest is one of the tourist attractions in Lahendong Village, which has geothermal manifestations in the form of hot springs, which shows that the area has geothermal potential. The purpose of this study was to determine the type of fluid manifested by hot springs in the Pine Forest using geochemical methods. The results of this study indicate that the temperature at the manifestation is 40°C while the degree of acidity of the pH of hot water has a value of 4 which indicates the acidity level of hot water is acidic. The type of fluid that exists in the manifestation area of hot water in the Pine Forest is the type of fluid sulphate water and sulfate water is a fluid that is formed at shallow depths and is formed as a result of the condensation process of geothermal gas towards near the surface. This is because the results of chemical analysis show that the element SO₄ is the most dominant element and contains SO₄ gas. Hot water that has a sulfate type is water that is formed at shallow depths and is formed as a result of the process of condensing geothermal gas towards near the surface. The geothermal gas with gas content (water and carbon) is basically dissolved in the fluid content which is located in the deep zone but separated from the chloride water. Sulphate water is usually at the boundary and not far from the main upflow zone.

Keywords : Pine Forest, Hot Springs, Fluid Type

1. PENDAHULUAN

Energi panas bumi merupakan energi panas yang tersimpan dalam batuan dan fluida yang terkandung di bawah permukaan bumi. Secara geologis, Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama di dunia yang berperan penting dalam proses pembentukan gunung api di Indonesia.

Geokimia adalah ilmu yang mempelajari kandungan unsur dan isotop dalam lapisan bumi, terutama yang berhubungan dengan kelimpahan, penyebaran serta hukum-hukum

yang mengontrolnya. Dari dasar ini berkembang beberapa cabang ilmu kimia yaitu di antaranya geokimia petroleum, geokimia mineral, geokimia panas bumi dan geokimia lingkungan

Dalam pengertian yang sempit eksplorasi geokimia adalah pengukuran secara sistematis satu atau lebih unsur jejak dalam batuan, tanah sedimen sungai aktif, vegetasi, air, atau gas, untuk mendapatkan anomali geokimia, yaitu konsentrasi abnormal dari unsur tertentu yang kontras terhadap lingkungannya.

Sulawesi Utara merupakan salah satu daerah yang memiliki sejumlah potensi panas bumi dengan ditandai adanya kemunculan gunung api aktif dan beberapa manifestasi panas bumi yang tersebar di berbagai wilayah. Hutan Pinus Lahendong merupakan daerah yang memiliki manifestasi panas bumi berupa mata air panas. Dengan adanya manifestasi mata air panas di daerah Hutan Pinus Lahendong ini memungkinkan pada daerah tersebut dapat dikembangkan lebih lanjut potensi panas bumi.

Dalam mengkaji lebih lanjut potensi panas bumi di daerah penelitian, maka diperlukan metode untuk menentukan karakteristik manifestasi panas bumi, salah satunya adalah analisis geokimia manifestasi untuk mengetahui tipe fluida mata air panas pada daerah Hutan Pinus Lahendong. Maka dari itu, berdasarkan penjelasan singkat di atas penulis bermaksud melakukan penelitian tentang Analisis Tipe Fluida Manifestasi Panas Bumi Mata Air Panas di Hutan Pinus Lahendong.

2. KAJIAN LITERATUR

Sistem Panas Bumi

Panas bumi merupakan energi panas yang terbentuk secara alami dan tersimpan dalam bentuk air panas atau uap panas pada kondisi geologi tertentu pada kedalaman beberapa kilometer di dalam kerak bumi. Hochstein dan Browne (2000) mendefinisikan sistem panas bumi sebagai perpindahan panas secara alami dalam volume tertentu di kerak bumi dimana panas dipindahkan dari sumber panas ke zona pelepasan panas. Kunci kekuatan untuk menggerakkan fluida adalah perbedaan densitas antara air resapan yang suhunya lebih rendah dan bergerak ke bawah dengan fluida panas bumi yang suhunya lebih tinggi yang kemudian muncul ke permukaan bumi oleh gaya pengapungan.

Panas bumi atau geothermal merupakan energi panas bumi yang tersimpan di dalam permukaan bumi yang terkandung dalam uap air, air panas, dan batuan bersama mineral dan gas lainnya yang secara genetis semuanya tidak dapat dipisahkan dari sistem panas bumi, dan istilah geothermal diambil dari bahasa Yunani, Geo berarti bumi dan thermal yang berarti panas. Panas bumi adalah salah satu sumber daya alam yang dapat diperbaharui dan berpotensi besar serta sebagai salah satu sumber energi yang dibutuhkan masyarakat.

Secara umum sistem panas bumi (geothermal system) dapat diartikan sebagai sistem penghantaran panas di dalam mantel atas dan kerak bumi dimana panas dihantarkan dari suatu sumber panas (heat source) menuju suatu tempat penampungan panas (heat sink).

Komponen Sistem Panas Bumi

Sistem panas bumi dijumpai pada daerah dengan gradien panas bumi relatif normal, terutama pada bagian tepi lempeng dimana gradien panas bumi biasanya mempunyai kisaran suhu yang lebih tinggi daripada suhu rata-rata (Saptadji, 2009). Terdapat empat elemen penting yang berpengaruh dalam sistem panas bumi, terutama sistem panas bumi hidrotermal yang terdapat di sebagian besar Indonesia, yaitu:

1. Sumber Panas (Heat Source), Panas dapat berpindah secara konduksi, konveksi dan radiasi. Pada sistem panas bumi, perpindahan panas umumnya secara konduksi dan konveksi. Transfer panas secara konduksi pada batuan terjadi akibat adanya interaksi atomik atau molekul penyusun batuan dalam mantel, sedangkan perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang diikuti oleh perpindahan massa (molekul).
2. Fluida Panas Bumi, Fluida panas bumi berasal dari air permukaan (air meteorik) yang masuk ke bawah permukaan melalui rekahan maupun ruang antar butiran batuan membentuk sistem kantong fluida/reservoir.
3. Reservoir, Fluida panas bumi berasal dari air permukaan (air meteorik) yang masuk ke bawah permukaan melalui rekahan maupun ruang antar butiran batuan membentuk sistem kantong fluida/reservoir.
4. Batuan Penutup (Caprock), Lapisan penutup (caprock) berfungsi sebagai penutup reservoir untuk mencegah keluar atau bocornya fluida panas bumi dari reservoir. Batuan penutup harus berupa lapisan batuan yang bersifat kedap atau memiliki permeabilitas rendah

Ilustrasi proses terbentuknya suatu sistem panas bumi dapat dianalogikan seperti ceret yang berisi air dan dipanaskan oleh api, seiring dengan meningkatnya tekanan dan temperatur dalam wadah tersebut maka air akan

mengalami perubahan fasa membentuk uap air. (Herman, D.Z, 2003).

Jenis-Jenis Manifestasi Panas Bumi di Permukaan

1. Tanah hangat (*Warm Ground*), Adanya sumber daya panas bumi yang ada dibawah permukaan tanah dapat ditunjukkan antara lain adanya tanah yang hangat atau temperatur dipermukaan di tempat tersebut lebih tinggi dari temperatur tanah yang ada disekitarnya.
2. Permukaan tanah beruap, Di beberapa daerah tempat dimana uap panas (steam) nampak keluar dari permukaan tanah. Jenis manifestasi ini disebut steaming ground dimana uap panas tersebut berasal dari suatu lapisan tipis dekat permukaan yang mengandung air panas yang mempunyai temperatur sama atau lebih besar dari titik didihnya (boiling point).
3. Mata air hangat atau panas (hot or warm spring), Mata air panas ini terbentuk karena aliran air panas atau hangat dari bawah permukaan melalui rekahan-rekahan batuan. Istilah hangat digunakan bila temperatur air lebih kecil dari 500°C dan istilah panas bila temperatur lebih besar 500°C.
4. Geyser, Geyser didefinisikan sebagai mata air panas yang menyembur ke udara secara intermitten (pada selang waktu tak tentu) dengan ketinggian air sangat beraneka ragam, yaitu dari kurang satu meter hingga ratusan meter.
5. Kubangan lumpur panas (*mud pools*), Kubangan lumpur panas (*mud pools*) umumnya mengandung non-condensable gas (CO₂) dengan sejumlah kecil uap panas. Lumpur terdapat dalam keadaan cair karena kondensasi uap panas. Sedangkan letupan-letupan yang terjadi adalah karena pancaran CO₂.

Geokimia Panas Bumi

Geokimia adalah ilmu yang mempelajari kadungan unsur isotop dalam lapisan bumi, terutama yang berhubungan dengan kelimpahan (abundant), penyebaran secara hukum-hukum yang mengontrolnya. Dari dasar ini berkembang beberapa cabang ilmu geokimia di antaranya geokimia panas bumi, geokimia

mineral, geokimia petroleum dan geokimia lingkungan.

Geokimia fluida panas bumi memiliki komposisi yang beragam dan komposisi tersebut mengindikasikan suatu kondisi geologi dan sistem panas bumi pada daerah sekitar manifestasi tersebut. Analisis geokimia dilakukan untuk mengetahui jenis manifestasi, karakteristik kandungan kimia dalam manifestasi dan distribusi anomali kandungan kimia tertentu secara lateral yang diperkirakan berhubungan dengan temperatur, pH, dan debit, sehingga dapat mendukung tahap eksplorasi yang akan dilakukan. Salah satu metode yang digunakan dalam eksplorasi geokimia untuk mengestimasi temperatur permukaan reservoir adalah dengan menggunakan metode geothermometer.

Keanekaragaman sifat batuan dan instabilitas panas menyebabkan sistem panas bumi mempunyai karakteristik sifat yang unik, yaitu berbeda satu dengan lainnya, tidak hanya jenis-jenis manifestasi permukaan dan karakteristik reservoirnya, tetapi juga dari kandungan kimia dalam air dan gas.

Di lihat dari konsentrasi ion yang terkandung di dalam air, para ahli membedakan air panas bumi menjadi tiga, yaitu Alkali Klorida, air Asam Sulfat, dan air Bikarbonat.

Alkali Klorida, tipe air panas ini disebut juga Alkali-klorida atau netral klorida, yaitu tipe fluida pada air fluida pada sistem dengan temperatur tinggi daerah yang mengandung panas, sumber panas dan konsentrasi fluida yang besar dari reservoir yang dalam serta pada zona permeable.

Menurut (Ellis, J. A dan Mahon J.A W,1997) Klorida merupakan jenis air utama di dalam reservoir panas bumi(dalam bentuk NaCl). Keberadaan fluida ini mengindikasikan bahwa sumber air panas daerah tersebut merupakan zona *Upflow* yang dekat dengan reservoir panas bumi. Sifat-sifatnya secara umum adalah:

- Mengandung kation utama : Na,K,Ca dan Mg
- Kaya SiO₂ dan sering terdapat HCO₃
- Perbandingan Cl/SO₄ umumnya tinggi.
- Berasosiasi dengan gas CO₂ dan H₂S
- pH sekitar netral, dapat sedikit asam dan basa tergantung CO₂ terlarut. CO₂ menyebabkan meningkatnya kadar keasaman fluida.

- Mata air panasnya umumnya jernih kebiruan pada material natural.
- Terbentuknya endapan di permukaan sekitar mata air panas sinter silika (SiO_2).
- Merupakan fluida yang ideal untuk di gunakan sebagai geothermoeter baik geothermometer alkali maupun silika

Asam Sulfat, tipe air ini di sebut juga acit-sulfar water yaitu terbentuk akibat kondensasi gas-gas geothermal dekat permukaan. Gas-gas bersamaan dengan uap air dan unsur volatil lainnya terbentuk dalam fluida secara terpisah dengan tipe air klorida melalui proses pemanasan.

Asam Sulfat, tipe air ini di sebut juga acit-sulfar water yaitu terbentuk akibat kondensasi gas-gas geothermal dekat permukaan. Gas-gas bersamaan dengan uap air dan unsur volatil lainnya terbentuk dalam fluida secara terpisah dengan tipe air klorida melalui proses pemanasan.

Geoindikator dan Tracer

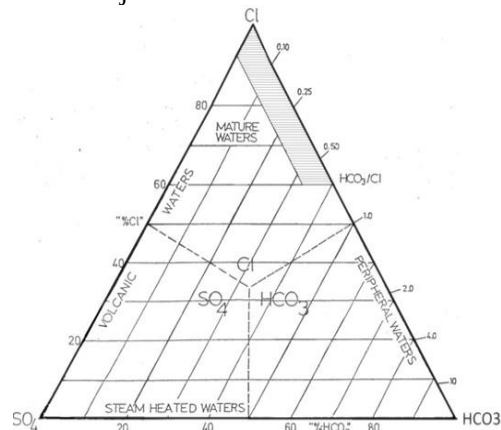
Giggenbach (1988) membagi zat-zat terlarut dalam dua kategori yaitu tracer dan geoindikator. Geoindikator adalah unsur reaktif yang berubah sesuai lingkungannya sehingga mencerminkan kondisi lingkungan yang dilewatinya. Unsur-unsur yang tergolong menjadi geoindikator adalah Na, K, Mg, Ca, dan SiO_2 . Geoindikator digunakan untuk mengetahui proses dan pola aliran. Tracer bersifat inert atau tidak bereaksi terhadap lingkungan sekitarnya sehingga digunakan untuk menentukan asal-usul fluida. Unsur-unsur yang tergolong menjadi tracer adalah He, Ar, Cl, B, Li, Rb, Cs, dan N_2 .

Geoindikator $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$

Penggunaan komponen anion yang berupa Cl, SO_4 , dan HCO_3 bermanfaat untuk mengetahui komposisi fluida panas bumi karena anion-anion tersebut merupakan zat terlarut yang paling banyak dijumpai dalam fluida panas bumi. Cl, SO_4 , dan HCO_3 dapat digunakan untuk menginterpretasi kondisi dan proses yang berlangsung di dekat permukaan (kurang dari 1 km).

Berdasarkan diagram Ternary $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$ jika hasil plot konsentrasi Cl tinggi dalam mata air mengindikasikan air berasal langsung dari reservoir, dengan minimal pencampuran atau pendinginan secara

konduksi. Kadar Cl rendah pada air (yang tidak menunjukkan karakteristik uap-panas) dari mata air panas adalah karakteristik dari pengenceran air tanah. Konsentrasi dapat berkisar dari <10 sampai >100000 mg/kg, namun nilai-nilai orde 100 mg/kg adalah khas dari klorida-jenis air.



Gambar 1. Diagram Ternary $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$ (Simmons, 1998)

Diagram Ternary Plot

Diagram Ternary (Gambar 1) yang di gunakan untuk mengklasifikasikan air panas bumi berdasarkan proporsi relatif ion-ion klorida, sulfat dan bikarbonat (Nicholson, 1993).

Berikut adalah tahapan dan formula yang di gunakan dalam menghitung proporsi masing-masing ion untuk kemudian di plot pada diagram Ternary.

1. Jumlah konsentrasi klorida (ppm), sulfat (ppm), dan bikarbonat (ppm).

$$\sum \text{Konsentrasi} = \text{Cl} + \text{SO}_4 + \text{HCO}_3 \quad (1)$$

2. Hitunglah proporsi relatif dari masing-masing komponen jumlah di atas dalam persen.

$$\% \text{Cl} = (\text{Cl} / \sum \text{konsentrasi}) 100 \quad (2)$$

$$\% \text{SO}_4 = (\text{SO}_4 / \sum \text{konsentrasi}) 100 \quad (3)$$

$$\% \text{HCO}_3 = (\text{HCO}_3 / \sum \text{konsentrasi}) 100 \quad (4)$$

Posisikan masing-masing mata air pada diagram Ternary Plot. Diagram ini membantu menentukan sampel dari mata air mana yang paling sesuai untuk perhitungan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Hutan Pinus Lahendong pada tanggal 8 agustus 2022 jam 11.20. Hutan Pinus Lahendong terletak di Kelurahan Lahendong, Kecamatan Tomohon Selatan, Kota Tomohon, Provinsi Sulawesi Utara.

Variabel Penelitian

Pada penelitian ini, variabel yang digunakan untuk menjabarkan dalam penelitian adalah tipe fluida air panas. Parameter utama dalam variabel penelitian ini adalah temperatur, pH, dan konsentrasi kandungan mata air panas.

Teknik Pengumpulan Data

Data yang diambil di lapangan berupa sampel air panas pada manifestasi mata air panas. Dari data tersebut kemudian dianalisis di laboratorium air tepatnya PT. Water Laboratory National Manado untuk diuji unsur-unsur kimia yang terkandung dalam sampel mata air panas tersebut.

Teknik Pengolahan Data dan Analisis Data

Kegiatan pertama yang dilakukan adalah pengukuran langsung parameter fisik seperti temperatur udara, temperatur air, koordinat, pH air, kemudian setelah pengambilan data-data tersebut, dilakukan analisis labotarium untuk melihat kandungan kimia pada sampel yang sudah di ambil pada daerah manifestasi. Penelitian ini menggunakan metode spektroskopi ICP-OES untuk menganalisis kandungan kimia fluida air panas, dengan cara mengubah data hasil kandungan anion Cl, SO₄, dan HCO₃ dalam bentuk persentase, kemudian menganalisis tipe fluida reservoir menggunakan diagram ternary Cl-SO₄-HCO₃ sehingga dari diagram ini dapat ditentukan tipe fluida manifestasi mata air panas pada daerah manifestasi hutan Pinus Lahendong.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Temperatur dan pH Air Panas Hutan Pinus Lahendong

Pengambilan sampel air panas dilakukan secara langsung di daerah wisata Hutan Pinus tepatnya di kelurahan Lahendong, Kecamatan Tomohon Selatan, Kota Tomohon pada tanggal 8 Agustus 2022 jam 11.30. Pengukuran temperatur permukaan air panas menggunakan termometer sedangkan pH air panas menggunakan kertas lakmus dan penentuan koordinat lokasi air panas diukur menggunakan GPS.

Manifestasi air panas di daerah Hutan Pinus Lahendong berada pada koordinat 1°17'3"N & 124°49'22"E dengan temperatur permukaan air panas yang terukur sebesar 40°C dan temperatur udara 25°C, sedangkan derajat keasaman pH air panas memiliki nilai 4

yang menunjukkan tingkat keasaman air panas bersifat asam. Berdasarkan pengukuran temperatur air panas yang ada di Hutan Pinus Lahendong termasuk dalam kategori mata air panas bertemperatur tinggi. Kenampakan fisik dari manifestasi yang diamati di lokasi penelitian menunjukkan adanya gelembung air yang keluar, airnya berkeruh, dan tercium belerang di air panas tersebut.

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Temperatur dan pH Air Panas

Titik Kordinat Lokasi		Tempe ratur (°C)		Ph	keterangan
X	Y	T _m	T _u		
1°17'3"N	124°49'22"E	40°C	25°C	4	Adanya gelembung air yang keluar airnya berkeruh dan tercium belerang

Tipe Fluida Mata Air Panas Hutan Pinus Lahendong

Pengukuran sampel air panas di Hutan Pinus diukur menggunakan spektrofotometri untuk diuji dan analisis kandungan anion dalam air panas tersebut. Jenis anion yang digunakan dalam menentukan tipe fluida adalah Cl, SO₄, dan HCO₃.

Berdasarkan hasil pengujian sampel air panas di Hutan Pinus didapatkan kandungan sampel SO₄ sebesar 317 mg/L, diikuti oleh kandungan Cl 0,5 mg/L, dan HCO₃ < 1 mg/L. Dari hasil pengujian sampel tersebut bahwa tipe fluida yang ada di daerah manifestasi air panas di Hutan Pinus adalah tipe fluida air sulfat. Hal ini dikarenakan dari hasil analisis kimia menunjukkan bahwa unsur SO₄ merupakan unsur paling didominasi dan mengandung gas SO₄. Air panas yang memiliki tipe sulfat merupakan air yang terbentuk pada kedalaman dangkal dan terbentuk akibat dari proses kondensasi gas panas bumi yang menuju dekat permukaan. Gas panas bumi dengan kandungan gas (air dan karbon) pada dasarnya larut dalam kandungan fluida yang terletak pada zona dalam tetapi terpisah dari air klorida. Air sulfat biasanya berada pada batas daerah dan berjarak tidak jauh dari zona *upflow* utama.

Berdasarkan hasil uji sampel mata air panas yang di peroleh di labotarium PT. Water Laboratory Nusantara Indonesia, di dapatkan hasil seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Sampel Fluida Air Panas

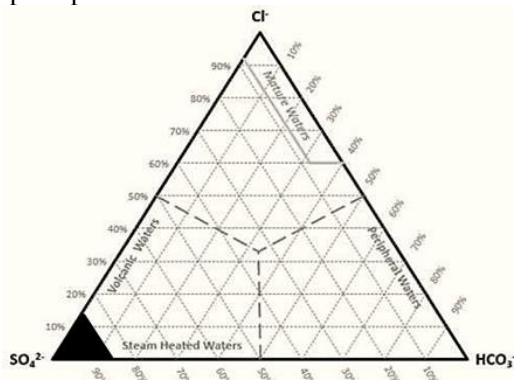
Sampel Fluida Air Panas mg/L			Total
Cl	SO_4	HCO_3	
0,5	317	< 1	318,5

Dalam menentukan jenis tipe fluida mata air panas berdasarkan analisis karakteristik geokimia panas bumi, peneliti menggunakan klasifikasi parameter diagram Ternary $Cl-SO_4-HCO_3$ yang berdasarkan kandungan relatif anion klorida, sulfat, dan bikarbonat yang diperoleh. Langkah pertama dalam menentukan tipe fluida adalah dengan menghitung persentase kandungan fluida. Dari hasil perhitungan persentase kandungan fluida tersebut, diplotting dalam diagram Ternary.

Tabel 3. Data Hasil Persentase Kandungan Fluida Air Panas

Data Kandungan (mg/L)			Presentase Kandungan (%)		
Cl	SO_4	HCO_3	Cl	SO_4	HCO_3
0,5	317	< 1	0,15	99,52	0,31

Berdasarkan hasil persentase yang telah didapatkan, maka dilakukan plotting diagram Ternary, sehingga mendapatkan hasil plot seperti pada Gambar 2 berikut ini.

**Gambar 2.** Diagram Ternary $Cl-SO_4-HCO_3$ Manifestasi Panas Bumi Hutan Pinus Lahendong

Hasil analisis plotting yang didapatkan pada diagram Ternary $Cl-SO_4-HCO_3$ dapat diketahui bahwa jenis tipe fluida air panas di manifestasi Hutan Pinus Lahendong memiliki tipe fluida air sulfat. Hal tersebut dapat dilihat pada hasil plot yang menunjukkan kandungan SO_4 paling dominan di bagian pojok bawah pada diagram Ternary tersebut (Gambar 2). Selain itu, air yang memiliki jenis sulfat dapat diinterpretasikan sebagai air hasil pemanasan oleh uap *steam heated water* karena air jenis

sulfat yang dihasilkan berasal dari proses pemanasan uap yang sudah melarutkan batuan sampling saat perjalanannya menuju ke permukaan dan air jenis sulfat ini juga tidak mewakili komposisi air reservoir secara keseluruhan.

Tingginya kandungan sulfat dalam sampel air panas mengindikasikan juga kandungan klorida dan bikarbonat dalam mata air panas rendah (Yufita dkk, 2020). Hal ini sesuai dengan hasil analisis karakteristik sampel yang mendapatkan bahwa kandungan sulfat dari sampel air panas tersebut cukup besar nilainya yang berarti kandungan sulfat tinggi dibandingkan klorida dan bikarbonat

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di lapangan dan analisis geokimia mata air panas daerah penelitian hutan pinus Lahendong, maka dapat disimpulkan bahwa tipe fluida mata air panas di Hutan Pinus Lahendong bertipe air sulfat. Hal ini menandakan kandungan sulfat dalam air yang tinggi.

6. REFERENSI

- Ellis, A.J. dan Mahon, W. A.J.(1977). Chemistry And Geothermal System. Academic Press. New York.
- Giggenbach, W.F. (1988). Geothermal Solute Equilibria. Derivition of Na-K-Mg-Ca Geoindicators. *Geochemica Cosmochimica Acta*, 54(12), 2749-2765.
- Hocstein,M.P., & Browne, P.R.L. (2000). Surface Manifestation of Geothermal Systems with Volcanic Heat Sources. Academic Press.
- 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. Springer-Verlac Inc: Berlin.
- Saptadji,M.N. (2009). Karakterisasi Reservoir Panas Bumi. Bandung: Geothermal ITB, Institut Teknologi Bandung.
- Yufita, E., Isa, M., Vijaya, A.E. (2020). Kajian Senyawa Kimia Air Pada Kawasan Panas Bumi: Studi Kasus Fluida Panas Bumi Jaboi, Pulau Weh. *Journal of Aceh Physics Society*, Vol.9(1), e-ISSN: 2355-8229