

Analisis Tipe Fluida Manifestasi Panas Bumi Daerah Mata Air Panas Sungai Kepangian Desa Sawangan Kabupaten Minahasa Utara

Risma P. Sambolayuk^{1)*}, Rolles N. Palilingan²⁾, Jeferson Polii³⁾, Donny R. Wenas⁴⁾

^{1,2,3,4}Program Studi Fisika, Universitas Negeri Manado, Kabupaten Minahasa, 95618, Indonesia

*E-mail: rismasambolayuk@gmail.com

Diterima 28 Agustus 2024; Disetujui 10 Oktober 2024

ABSTRAK

Panas bumi merupakan salah satu sumber energi panas yang terkandung dalam air panas, batuan, uap air serta gas dan mineral dan lainnya secara genetis tidak dapat dipisahkan dari suatu sistem panas bumi. Energi panas bumi merupakan sumber daya alam yang terbarukan dengan potensi yang tinggi. Sumber energi tersebut berasal dari pemanasan magma terhadap batuan air bersama unsur-unsur yang terkandung di dalam kerak bumi. Sulawesi Utara berpotensi sebagai daerah pengembangan panas bumi baik secara langsung maupun tidak langsung. Adanya mata air panas menunjukkan bahwa lokasi penelitian di Desa Sawangan ini memiliki potensi panas bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tipe fluida dan gugus fungsi molekul mata air panas di Desa Sawangan Kabupaten Minahasa Utara Provinsi Sulawesi Utara. Dengan metode geokimia menggunakan diagram Cl-SO₄-HCO₃ dan FTIR, diketahui bahwa tipe fluida mata air panas di Desa Sawangan bertipe Bikarbonat (HCO₃) dan gugus fungsi molekulnya adalah C=O, dimana penyusun rantai induk C mengikat HCO₃ (Bikarbonat) yang sesuai dengan hasil tipe fluida.

Kata kunci : Panas bumi, Mata Air Panas, Tipe Fluida, Gugus Fungsi, Sawangan

ABSTRACT

Geothermal is a source of heat energy contained in hot water, rocks, water vapor as well as gases and minerals and others that cannot be genetically separated from a geothermal system. Geothermal energy is a renewable natural resource with high potential. The source of this energy comes from heating magma against water rocks together with elements contained in the earth's crust. North Sulawesi has the potential to become a geothermal development area, both directly and indirectly. The existence of hot springs shows that the research location in Sawangan Village has geothermal potential. This research aims to determine the fluid type and molecular functional groups of hot springs in Sawangan Village, North Minahasa Regency, North Sulawesi Province. Using geochemical methods using Cl-SO₄-HCO₃ and FTIR diagrams, it is known that the type of hot spring fluid in Sawangan Village is Bicarbonate (HCO₃) and the molecular functional group is C=O, where the parent chain C binds HCO₃ (Bicarbonate) which corresponds to fluid type results.

Keywords : Geothermal, Hot Springs, Fluid Type, Functional Group, Sawangan

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi semakin meningkat setiap tahunnya, berbagai hal diupayakan untuk memanfaatkan potensi yang ada di Indonesia, salah satunya yaitu potensi panas bumi. Salah satu energi yang mulai dikembangkan adalah energi panas bumi. Indonesia merupakan daerah yang berpotensi akan sumber daya alam, termasuk sumber daya panas bumi (Wantalangi, 2020).

Energi panas bumi adalah sumber daya alam yang terbarukan yang sangat potensial dan terdiri dari air panas, batuan uap air, gas, mineral, dan lainnya yang secara genetis terikat pada sistem panas bumi. Energi panas bumi

adalah sumber energi yang tak tertandingi karena pemanasan magma terhadap batuan dan air di kerak bumi. Ini karena pelepasan gas dan CO₂ tidak terkondensasi lainnya sangat sedikit, sehingga energi panas bumi tidak membahayakan ekosistem. Tipe fluida panas bumi ditentukan berdasarkan tiga anion utama fluida panas bumi berupa klorida (Cl), sulfat (SO₄) dan bikarbonat (HCO₃) (Ratag, 2022).

Keberadaan sumber panas bumi ditandai dengan adanya manifestasi panas bumi muncul ke permukaan, salah satunya berada di Sulawesi Utara tepatnya di Kabupaten Minahasa Utara, Desa Sawangan, yaitu berupa mata air panas. Sulawesi Utara terdapat

memiliki potensi sebagai daerah pengembangan panas bumi baik secara langsung maupun tidak langsung, dikarenakan Sulawesi Utara merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki banyak gunung aktif. Di Sulawesi Utara terdapat lokasi-lokasi manifestasi panas bumi berupa mata air panas, *fumarole*, *steaming ground*, *warm ground*, kolam lumpur panas dan batuan teralterasi. Dengan adanya salah satu manifestasi tersebut maka daerah tersebut terdapat potensi panas bumi.

Dengan latar belakang tersebut, penulis mengkaji lebih lanjut lagi tentang potensi panas bumi yang ada di daerah mata air panas Sungai Kepangian Desa Sawangan, Kabupaten Minahasa Utara tersebut. Pada lokasi ini juga banyak ditemukan manifestasi. Manifestasi yang sering ditemukan di lokasi ini ialah manifestasi mata air panas dan juga kolam air panas.

2. KAJIAN LITERATUR

Sistem Panas Bumi

Sistem panas bumi biasanya disebut sebagai sistem perpindahan panas di mantel dan kerak atas, di mana panas dipindahkan dari sumber panas (*heat source*) ke reservoir atau penampungan panas (*heat sink*). Dalam sistem ini, panas dipindahkan dari sumber panas di dalam bumi ke permukaan bumi.

Dalam sistem panas bumi, proses perpindahan panas melibatkan fluida termal dalam bentuk uap atau air panas di antara sumber panas dan daerah penampungan panas. Fluida termal dapat berupa batuan yang sudah mencair, air panas, gas, uap, atau zat lainnya. Formasi yang ditemukan pada batuan ini disebut sebagai reservoir.

Energi Panas Bumi

Daerah panas bumi bersuhu tinggi yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik tidak ditemukan di banyak tempat di Bumi, meskipun energi panas bumi atau geothermal energi dapat ditemukan di banyak tempat di Bumi. Teori Tektonik Lempeng dapat digunakan untuk mempelajari lebih lanjut tentang daerah panas bumi dengan suhu tinggi.

Energi panas alami yang ditransfer melalui proses konduksi dan konveksi ke permukaan Bumi dikenal sebagai energi panas

bumi. Secara umum, perubahan temperatur terhadap kedalaman kerak bumi adalah sekitar 30°C/km, dan temperaturnya dapat mencapai 105°C. Namun, temperatur ini tidak menguntungkan sebagai sumber panas bumi.

Dari perspektif geologi, sumber energi panas bumi. Ia berfungsi seperti kompor. Magma juga menghantarkan panas ke batuan konduktif di sekitarnya. Panas tersebut secara konduktif menghantarkan panas ke batuan di sekitarnya. Panas juga menyebabkan fluida hidrotermal konveksi di dalam pori-pori batuan. Kemudian, fluida hidrotermal ini akan bergerak ke atas tetapi tidak sampai ke permukaan karena tertahan oleh lapisan batuan yang tidak dapat mengalir. Lokasi di mana fluida ini terakumulasi disebut reservoir, atau lebih tepatnya reservoir panas bumi. Karena lapisan batuan yang tidak dapat mengalir, fluida hidrotermal di reservoir terpisah dari groundwater yang lebih dangkal. Tiga komponen umumnya terdiri dari sistem panas bumi: (1) batuan reservoir; (2) fluida reservoir, yang berfungsi untuk menghantarkan panas ke permukaan tanah, (3) batuan panas atau magma sebagai sumber panas (Suparno, 2009).

Fluida Panas Bumi

Data kimia fluida panas bumi sangat bermanfaat karena dapat memberikan perkiraan tentang sistem panas bumi di bawah permukaan, seperti temperatur, jenis reservoir, dan sumber air. Mereka juga dapat mengetahui sifat fluida, terutama tentang korosifitasnya dan kecenderungannya untuk membentuk endapan padat, yang diperlukan untuk perencanaan sistem pemipaan dan pembangkit listrik. Kandungan kimia fluida panas bumi di satu berbeda dari satu tempat ke tempat lain. Ini tidak hanya berbeda dari lapangan ke lapangan, tetapi juga berbeda dari yang diperoleh dari lapangan ke lapangan meskipun keduanya berada di lokasi yang sama (Ratag, 2002).

Jenis Sumber Daya Panas Bumi

Sumber daya hidrotermal adalah satu-satunya sistem panas bumi yang telah dikembangkan secara komersial untuk menghasilkan tenaga listrik pada tahun 2007, menurut Dipippo (2012). Selain itu, empat jenis sumber daya panas bumi lainnya juga akan segera mencapai tahap komersial. Reservoir yang dipengaruhi oleh geopressured, reservoir batuan yang dingin dan kering, reservoir

magma, dan reservoir hidrotermal adalah beberapa bentuk energi panas bumi.

Mekanisme Perpindahan Panas

Perpindahan panas (*heat transfer*) merupakan proses berpindahnya energi kalor atau panas (*heat*) karena adanya perbedaan temperatur. Dimana, energi panas akan berpindah dari temperatur media yang lebih tinggi ke temperatur media yang lebih rendah. Proses perpindahan panas akan terus berlangsung hingga terjadi kesetimbangan temperatur pada kedua media tersebut (Ratag, 2022). Menurut Buchori (2004), dalam mekanisme perpindahan panas terbagi atas tiga yaitu: konduksi (hantaran), konveksi, dan radiasi (sinaran).

a. Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah proses perpindahan panas jika panas mengalir dari tempat yang suhunya lebih rendah, tetapi media untuk perpindahan panas tetap. Perpindahan panas secara konduksi tidak hanya terjadi pada padatan saja tetapi bisa juga terjadi pada cairan ataupun gas, hanya saja konduktivitas terbesar ada pada padatan. Jadi, konduktivitas padatan lebih besar daripada konduktivitas cairan dan gas.

Jika media perpindahan panas konduksi berupa gas, molekul-molekul gas yang suhunya tinggi akan bergerak dengan kecepatan yang lebih tinggi dari pada molekul gas yang suhunya lebih rendah. Jika ada perbedaan suhu, molekul-molekul pada daerah yang suhunya tinggi akan memberikan panasnya kepada molekul yang lebih rendah pada saat terjadi tumbukan dengan molekul yang suhunya lebih besar.

Jika perpindahan panas konduksi berupa cairan, mekanisme perpindahan panas yang terjadi dengan konduksi dengan media gas, hanya kecepatan gerak molekul cairan lebih lambat dari pada molekul gas. Tetapi jarak antara molekul-molekul cairan lebih pendek daripada jarak antara molekul-molekul pada cairan lebih pendek dari pada jarak antara molekul-molekul pada fase gas.

b. Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses perpindahan panas di mana cairan atau gas uamh suhunya tinggi mengalir ke tempat yang suhunya lebih rendah memberikan panas pada permukaan yang suhunya lebih rendah.

Perpindahan panas terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir

di sekitarnya. Jadi, perpindahan panas ini memerlukan media menghantar berupa fluida (cairan atau gas).

c. Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran/sinar/radiasi gelombang elektromagnetik. Perpindahan panas berlangsung elektromagnetik dengan panjang gelombang pada interval tertentu. Jadi perpindahan panas radiasi tidak memerlukan media, sehingga perpindahan dapat berlangsung dalam ruang hampa udara. Contohnya panas matahari yang sampai ke bumi.

Manifestasi Panas Bumi Permukaan

Keberadaan sumber energi panas bumi di bawah permukaan, seringkali ditunjukkan dengan adanya kemunculan manifestasi paans bumi di permukaan. Manifestasi panas bumi permukaan diperkirakan terbentuk oleh adanya patahan yang memungkinkan fluida panas bumi (air dan uap panas) mengalir ke permukaan dan merambatkan panas dari bawah permukaan. Selain komponen penyusun sistem panas bumi, keberadaan suatu sistem panas bumi ditandai dengan adanya manifestasi panas bumi di permukaan. Berbeda dengan sistem minyak-gas, adanya sumber daya panas bumi di bawah permukaan seringkali ditunjukkan oleh adanya manifestasi panas bumi di permukaan (*geothermal surface manifestasion*), seperti mata air panas, kubangan lumpur panas (*mod pools*), yaitu mata air panas, kolam air panas, sering dimanfaatkan oleh masyarakat untuk mandi, berendam, mencuci, masak, dan lain-lain. Manifestasi panas bumi di permukaan diperkirakan terjadi karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan diperkirakan terjadi karena adanya rekahan-rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi (uap dan air panas) mengalir ke permukaan.

Kemunculan manifestasi paans bumi pada permukaan di suatu tempat merupakan tahap awal yang dicari dan dikunjungi dalam tahap eksplorasi. Perkiraan sistem panas bumi di bawah permukaan, dapat dilihat dari dari karakteristik manifestasi yang keluar dari permukaan serta kandungan kimia air seperti jenis serta temperatur reservoir.

Daerah dimana terdapat manifestasi panas bumi di permukaan biasanya merupakan daerah yang pertama kaali dicari dan dikunjungi pada tahap eplorasi. Dari karakterisasi manifestasi

panas bumi di permukaan serta kandungan kimia air kita dapat membuat berbagai perkiraan mengenai sistem panas bumi di bawah permukaan, misalnya mengenai jenis dan temperatur reservoir.

Jenis-jenis manifestasi permukaan, yaitu: tanah hangat (*warm ground*), tanah beruap (*steaming ground*), mata air panas atau hangat, kolam air panas, telaga air panas, fumarol, geyser, kubangan lumpur panas, silika sister, dan batuan yang mengalami alterasi (Saptadji, 2001).

Gugus Fungsi

Suatu senyawa organik terdiri dari campuran atom C, H, O, dan N. Atom-atom ini terhubung dengan sangat baik dan memiliki struktur campuran yang berbeda, serta memiliki sifat dan kapasitas yang berbeda. Sifat suatu zat sangat penting dan terkait erat dengan pemanfaatannya. Sifat suatu zat biasanya ditentukan oleh struktur tertentu pada molekulnya yang disebut gugus fungsional. Gugus fungsional berbeda-beda untuk setiap zat. Gugus atom yang menentukan sifat kimia suatu golongan senyawa karbon dikenal sebagai gugus fungsi.

Spektrometri Inframerah

Transisi antara tingkat energi getaran (vibrasi) yang berbeda menyebabkan spektrum inframerah molekul. Panjang gelombang absorpsi suatu jenis ikatan bergantung pada jenis getarannya. Akibatnya, berbagai jenis ikatan, seperti C-H, C-C, C=O, C=C, dan O-H, menyerap radiasi inframerah pada panjang gelombang yang berbeda. Oleh karena itu, adanya gugus fungsi dalam molekul dapat diidentifikasi dengan spektrometri inframerah.

Menurut Ratag (2022) sebuah ikatan dalam suatu molekul bisa mengalami berbagai vibrasi molekul. Umumnya, ada dua tipe vibrasi molekul:

- Stretching* atau vibrasi regang/ulur adalah vibrasi sepanjang ikatan yaitu terjadi perpanjangan atau pemendekan ikatan.
- Bending* (vibrasi lentur/tekuk) merupakan vibrasi yang disebabkan oleh sudut ikatan sehingga terjadi pembesaran atau pengecilan sudut ikatan. Gerakan vibrasi yang teramati dalam spektrum inframerah jika menghasilkan perubahan momen dipol

($\mu \neq 0$) sedangkan jika ($\mu = 0$) akan teramati dalam spektrum raman.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di salah satu manifestasi air panas di Sungai Kepangian, Desa Sawangan Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- GPS
- Termometer
- pH
- Botol sampel
- Box
- Spektrofotometer
- Spektroskopi FTIR
- Kamera Handpone
- Alat tulis-menulis
- PC (*personal computer*)

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan cara mengumpulkan data secara langsung di lapangan manifestasi mata air panas. Data yang diukur berdasarkan sifat fisik yaitu nilai pH, temperatur permukaan dan temperatur udara di lokasi penelitian. Kemudian sampel fluida mata air panas yang telah diambil akan dibawa ke Laboratorium PT. Water Laboratory Nusantara Indonesia (WLN), dan dianalisis untuk mengetahui komposisi kandungan kimiawi fluida mata air panas. Hasilnya kemudian diolah menggunakan metode Diagram Ternary untuk mengetahui tipe fluida dan melalui pengujian menggunakan Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*) untuk mengetahui gugus fungsi molekul.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan pengamatan di lokasi penelitian diperoleh data berupa pH, temperatur udara dan temperatur manifestasi, serta koordinat mata air panas di Desa Sawangan. Ciri-ciri mata air panas di Desa Sawangan adalah air panas ini tampak sedikit jernih, tercium bau belerang dan airnya mengalir cukup deras. Hasil perhitungan pH diperoleh 6,34 atau asam. Selanjutnya temperatur manifestasi mata air panas adalah 39°C dan temperatur udara adalah 29,6°C. Kemudian koordinat GPS menunjukkan X = 1,39192 dan Y = 124, 944448.

Pada tanggal 24 April 2024 telah dilakukan pengambilan sampel fluida mata air panas. Sampel fluida mata air panas di Desa Sawangan ini diambil dengan menggunakan botol sampel dan disimpan dalam box untuk melindungi botol sampel agar suhu dan kandungan ion sampel tidak berubah. Sampel yang diambil selanjutnya dibawa ke laboratorium PT. Water Laboratory Nusantara (WLN) Indonesia dan dilakukan analisis data serta pengujian sampel untuk memperoleh parameter geokimia fluida dan diperoleh data hasil pengujian seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan senyawa kimia fluida Sampel Komposisi Kimia

Air Panas	(Cl)	(SO ₄)	(HCO ₃)
	2.8	5	110

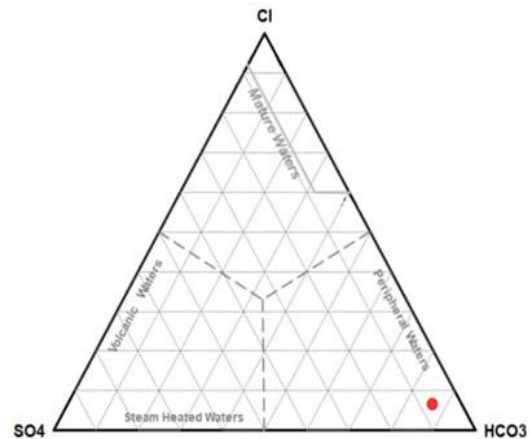
Berdasarkan hasil laboratorium yang ditunjukkan pada Tabel 1 komposisi kimia fluida dari sampel mata air panas Desa Sawangan memiliki nilai kandungan Klorida dan kandungan Sulfat yang rendah, dimana kandungan Klorida (Cl) yaitu 2,8 mg/L dan kandungan sulfat (SO₄) yaitu 5 mg/L dibandingkan dengan kandungan bikarbonat (HCO₃) yang tinggi yaitu 110 mg/L. Untuk menentukan tipe fluida berdasarkan diagram ternary, maka dilakukan perhitungan terlebih dahulu untuk mengetahui proporsi masing-masing ion.

Berdasarkan perhitungan, data persentase senyawa yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Persentase senyawa kimia fluida

Presentase (%)			Total
Cl	SO ₄	HCO ₃	
2,4 %	4,2 %	93,4 %	100 %

Selanjutnya hasil perhitungan persentase diatas kemudian di plot menggunakan diagram ternary Cl-SO₄-HCO₃ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Plot Diagram Ternary Persentase Cl-SO₄-HCO₃

Berdasarkan hasil penelitian dan nilai persentase kandungan ion pada sampel fluida mata air panas yang telah dianalisa komposisi kimianya terutama kandungan ion Klorida (Cl), Sulfat (SO₄), dan Bikarbonat (HCO₃) maka diketahui bahwa mata air panas yang ada di Desa Sawangan ini termasuk dalam tipe air Bikarbonat (HCO₃), ditandai dengan tingginya kandungan ion Bikarbonat (HCO₃) dibandingkan dengan ion Klorida (Cl) dan Sulfat (SO₄).

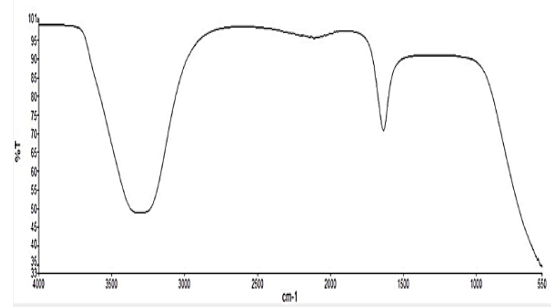
Hal ini juga dibuktikan dengan hasil plotting persentase masing-masing ion pada diagram ternary dan menunjukkan titik pertemuan antara ion Klorida (Cl), Sulfat (SO₄), Bikarbonat (HCO₃) berada pada daerah bikarbonat (HCO₃), yang menunjukkan bahwa tipe fluida manifestasi mata air panas di Desa Sawangan sudah jelas adalah tipe air Bikarbonat (HCO₃), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Tipe air ini merupakan tipe kaya fluida CO₂ rich fluida atau disebut juga *netral bicarbonate water* yang dihasilkan oleh kondensasi uap air dan gas. Tipe ini merupakan non vulkanogenik dan sistem temperatur tinggi dengan pH mendekati netral akibat reaksi dengan batuan sekitarnya. Fluida yang mempunyai kandungan HCO₃ yang relatif tinggi dari pada SO₄ dan mempunyai pH mendekati normal (sekitar 6-8), sangat dipengaruhi oleh air permukaan dan air bikarbonat yang terlarut. Pada umumnya berada pada ketinggian yang lebih rendah dibandingkan dengan tipe sulfat (SO₄) (Kamil dkk, 2020).

Air bikarbonat adalah jenis fluida panas bumi yang dihasilkan dari kondensasi

uap dan gas ke dalam air permukaan yang tidak memiliki oksigen. Tipe air panas ini terdiri dari dua jenis yaitu jenis pertama yang memiliki kandungan klorida (Cl) dan bikarbonat (HCO_3) yang tinggi (Masriat dkk, 2021). Air tipe ini banyak mengandung CO_2 . Jenis tipe ini disebut juga dengan netral *bicarbonate-sulphate waters*, merupakan produk dari proses kondensasi gas dan uap menjadi mata air bawah tanah yang miskin oksigen. Air bikarbonat banyak ditemukan pada area non-volcanogenic dengan temperatur yang tinggi (Emianto, 2011). Kandungan HCO_3 yang tinggi diduga berasosiasi dengan naiknya fluida panas bumi yang mengandung gas terutama CO_2 kemudian mengalami kondensasi di dalam akuifer dangkal. Hal ini sesuai dengan karakterisasi FTIR (Ronaldo, dkk).

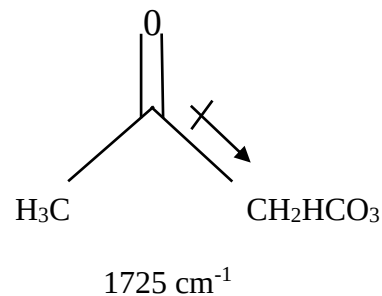
Fluida mata air panas yang berada pada zona peripheral water mengalami banyak pencampuran dengan air tanah dan CO_2 dari sumber panas bumi dan duduknya juga dengan data yang tidak terlalu panas (Putra, dkk 2019). Sumber air tanah yang diinterpretasikan sama yaitu batuan yang memiliki kandungan Ca yang tinggi dan lapukan batuan plagioklas Ca atau didominasi oleh air meteorik (Hisan, dkk 2020). Hasil analisis kimia menunjukkan bahwa larutan bikarbonat (HCO_3) adalah unsur yang paling dominan (anion utama) dan mengandung gas CO_2 . Pada sistem yang dominan oleh batuan vulkanik, air bikarbonat biasanya terbentuk di daerah dekat permukaan dan di daerah marginal, di mana gas CO_2 dan uap air terkondensasi ke dalam air tanah. Kondensasi uap ini kemudian dapat memanaskan air tanah atau terpanaskan oleh uap (*steam*) sehingga membentuk larutan bikarbonat (HCO_3). Air bikarbonat terbentuk di bawah muka air tanah dan umumnya bersifat asam lemah, tetapi dengan hilangnya CO_2 terlarut, derajat keasaman air ini dapat meningkat menjadi netral atau sedikit basa (Nidya, dkk).

Sampel fluida mata air panas kemudian dianalisis menggunakan Spektroskopi FTIR. Dan hasil analisis sampel fluida mata air panasnya didapatkan spektrum inframerah seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrum Inframerah Spektroskopi FTIR

Hasil spektrum gelombang sampel fluida mata air panas pada gambar 2 menunjukkan daerah spektrum 3318 cm^{-1} dan spektrum 1725 cm^{-1} . Pada spektrum gelombang 1725 cm^{-1} terdapat ikatan gugus fungsi $\text{C}=\text{O}$ dan penyusun rantai induk C mengikat HCO_3 (Bikarbonat) seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Ikatan gugus fungsi $\text{C}=\text{O}$ dan penyusun rantai induk C mengikat HCO_3

Hal ini membuktikan bahwa hasil pengujian menggunakan spektroskopi FTIR sesuai dengan hasil pengujian menggunakan spektrofotometer yang diperoleh tipe fluida Bikarbonat.

5. KESIMPULAN

Hasil penelitian di lapangan dan hasil analisa uji laboratorium terkait sampel mata air panas di Desa Sawangan Kabupaten Minahasa Utara serta pengolahan data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa tipe fluida manifestasi mata air panas di Desa Sawangan ini memiliki tipe fluida Bikarbonat (HCO_3). Gugus fungsi molekul fluida mata air panas di Desa Sawangan Kabupaten Minahasa Utara memiliki gugus fungsi $\text{C}=\text{O}$, dimana penyusun rantai induk C mengikat HCO_3 (Bikarbonat) yang sesuai dengan hasil tipe fluida.

6. REFERENSI

- Almuhsinin., & Putra, A. (2019). Klasifikasi Mata Air Panas Berdasarkan Diagram Segitiga fluida di Batu Balang dan Muaro Paaiti Kabupaten 50 Kota. *Jurnal Fisika*. 8 (4), 394-400.
- Buchori, L. (2004). *Buku Ajar "Perpindahan Panas Bagian I"*. Semarang: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Dipippo, R. (2012). *Geothermal Power Plants: principles, Applicatons, Case, Studies and Enviromental Impact – 3rd ed.* Amsterdan, Belanda; ELSEVIER
- Emianto, Y.B., & Aribowo, Y. (2011). *Studi geokimia fluida panas bumi daerah prospek panas bumi Nglitut, G. Ungaran Kecamatan Limbangan, Kabupaten Limbangan Jawa Tengah*. 32(3), 230-233
- Hisan, G. K., Bernaldo, P. A., Jasaputra, L. D., & Arhananta, (2020). Hidrokimia Air Tanah manifestasi Gedongsongo Panas Bumi Ungaran, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia. 2(1), 489-493.
- Kamil, L., Okto, A., & Muliddin, (2020). *Karakteristik fluida terservoir mata air panas daerah Buranga Kecamatan Bonegunu Kabupaten Buon Utara Provinsi Sulawesi Tenggara*. *Jurnal Geologi Terapan*, 2(2).
- Masriat, R., Haryanti, A.,D., & Hutabarat, J. (2021). *Karakteristik air panas dan estimasi temperatur reservoir daerah Cisolok – Cisukarame, Kabupateen Sukabumi, Provinsi Jawa Barat*. 5(1), 40-48.
- Nidya, F., Suharno., Zarkasyi, A., & Sugianto, A. *Analisis karakteristik panas bumi daerah outflow Gunung Arjung-Welirang Berdasarkan geologi, geokimia, dan geofisika (3G)*. Jurusan geofisika Universitas Lampung dan ²Pusat Sumber Daya Geologi Bandung.
- Ratag, A. S. 92020). *Analisis Tipe Fluida Berdasarkan Diagram Cl-SO₄-HCO₃ Desa Pinaesaan Kabupaten Minahasa Selatan*. 3(2), 1-7.
- Toar, R. J., & Wenas, D.,R., & Mandang, T. (2021). *Penentuan Tipe Fluida dan Gugus Fungsi Manifestasi Panas Bumi kawah Tua Gunung Api Soputan*. 2(1), 49-54.
- Saptadji, N. M. (2001). *Teknik Panas Bumi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Suparno, S. (2009). *Energi Bumi "A present from the heart of the earth" – edisi I*. Departemen Fisika – FMIPA Universitas Indonesia.
- Wantalangi, W., Paliling, R., N., & Polii, J. (2020). *Analisa tipe fluida manifestasi panas bumi di Desa Kaleosan Kabupaten Minahasa Utara*. *Charm Sains*. 1(3), 139-142.