

Analisis Tipe Fluida Mata Air Panas berdasarkan Diagram Cl-SO₄-HCO₃ di Desa Pinaesaan Kabupaten Minahasa Selatan

^{*)} Angely Syuly Ratag, Cyrke A. N. Bujung, Farly Tumimomor, dan Jeferson Polii

Prodi Fisika FMIPA, Universitas Negeri Manado, Tondano, 95619, Indonesia

*e-mail: angelyratag2000@gmail.com

Diterima 3 Oktober 2022; Disetujui 17 Oktober 2022

ABSTRAK

Panas bumi merupakan sumber energi terbarukan yang terbentuk secara alami di bawah lapisan permukaan bumi. Sumber energi tersebut berasal dari pemanasan magma terhadap batuan dan air bersama unsur-unsur yang terkandung di dalam kerak bumi. Sulawesi Utara berpotensi sebagai daerah pengembangan Panas bumi baik secara langsung maupun tidak langsung. Lokasi penelitian di Desa Pinaesaan ini memiliki potensi panas bumi karena ditandai dengan adanya mata air panas dan termasuk dalam WKP (Wilayah Kerja Panas Bumi) Kotamobagu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tipe fluida dan gugus fungsi molekul mata air panas di Desa Pinaesaan Kabupaten Minahasa Selatan. Dengan metode geokimia menggunakan diagram Cl-SO₄-HCO₃ dan FTIR, diketahui bahwa tipe fluida mata air panas di Desa Pinaesaan bertipe Klorida (Cl) dan gugus fungsi molekulnya adalah C=O, dimana penyusun rantai induk C mengikat Cl (klorida) yang sesuai dengan hasil tipe fluida.

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

ABSTRACT

Geothermal is a renewable energy source that occurs naturally beneath the earth's surface. This energy source comes from heating magma to rocks and water along with the elements contained in the earth's crust. North Sulawesi has the potential as a geothermal development area, either directly or indirectly. The research location in Pinaesaan Village has geothermal potential because it's characterized by the presence of hot springs and is included in the Geothermal Work Area Kotamobagu. The purpose of this study was to determine the type of fluid and molecular functional groups of hot springs in Pinaesaan Village, South Minahasa Regency. By geochemical method using Cl-SO₄-HCO₃ diagram and FTIR, it's known that the type of hot spring fluid in Pinaesaan Village is Chloride (Cl) type, and the molecular functional groups are C=O, where the constituents of the main chain C bind to Cl (Chloride) which corresponds to the result of fluid type.

Keywords: Geothermal, Hot Springs, Fluid Types, Functional Groups, Pinaesaan

1. PENDAHULUAN

Panas bumi merupakan sumber energi terbarukan yang terbentuk secara alami di bawah lapisan permukaan bumi. Sumber energi tersebut berasal dari pemanasan magma terhadap batuan dan air dengan komponen yang terkandung di dalam kerak bumi. Energi Panas bumi menjadi energi yang tak tertandingi dengan alasan bahwa pelepasan gas dan CO₂ tidak terkondensasi lainnya cukup sedikit sehingga energi Panas bumi tidak berbahaya dalam ekosistem (Polii, 2020).

Sulawesi Utara 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 api aktif. Potensi Panas bumi di Sulawesi Utara mencapai 20% dari potensi yang dimiliki Indonesia. Potensi Panas bumi di suatu daerah perlu dievaluasi pada setiap tahap kegiatan

untuk mengetahui berapa banyak energi yang terkandung, yaitu mulai dari tahap survei pendahuluan, eksplorasi, penilaian kelayakan hingga tahap eksploitasi dan ketika digunakan (Hidayat, 2014). Survei geologi, survei geokimia, dan survei geofisika merupakan karakterisasi yang perlu dilakukan dalam penggambaran potensi Panas bumi di suatu daerah. Desa Pinaesaan yang terletak di Kecamatan Tompaso Baru, Kabupaten Minahasa Selatan adalah daerah yang memiliki potensi Panas bumi yang ditandai dengan ditemukan manifestasi berupa mata air panas.

Metode geokimia merupakan metode eksplorasi pendahuluan Panas bumi yang digunakan untuk menentukan karakteristik kimia bawah permukaan berdasarkan informasi zat dari akuifer alami (Widiatmoko, 2019). Metode geokimia yang dipakai dalam penelitian ini menggunakan diagram ternary dalam penentuan tipe fluida mata air panas,

serta analisis berupa memperhatikan kenampakan secara fisik manifestasi panas bumi berupa warna, pH, temperatur udara dan manifestasi, serta elevasi dan koordinat kedudukan mata air panas.

Tipe fluida panas bumi ditentukan berdasarkan tiga anion utama fluida panas bumi berupa klorida (Cl), sulfat (SO_4), dan bikarbonat (HCO_3). Penelitian mengenai tipe fluida dan gugus fungsi molekul Panas bumi pada dasarnya merupakan sebuah penelitian untuk mengetahui prospek dari lapangan Panas bumi. Lokasi penelitian ini memiliki potensi panas bumi karena ditandai dengan adanya mata air panas dan termasuk dalam WKP (Wilayah Kerja Panas Bumi) Kotamobagu.

2. KAJIAN TEORI

Sistem Panas bumi

Sumber panas bumi berasal dari penyebaran suhu dan energi panas di bawah permukaan bumi. Sumber panas di bawah permukaan ini berasal dari interupsi magma yang sampai ke permukaan. Magma ini terbentuk karena tumbukan antar lempeng, lempeng-lempeng ini bergerak secara bertahap dan konstan. Karena panas di dalam astenosfer dan panas akibat gesekan, ujung dari lempengan tersebut hancur meleleh dan mempunyai suhu tinggi. Pada dasarnya sistem Panas bumi terbentuk karena perpindahan panas dari suatu sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan secara konveksi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi melalui batuan, sedangkan perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya kontak antara air dengan suatu sumber panas (Saptadji, 2001).

Reservoir panas bumi yang paling umum digunakan sampai saat ini adalah reservoir dari sistem hidrotermal, yaitu sistem panas bumi dimana reservoirnya mengandung uap, air atau kombinasi keduanya, bergantung pada temperatur reservoir dan tekanannya. Fluida panas bumi yang terkandung dalam reservoir hidrotermal berasal dari air permukaan, termasuk air hujan (air meteorik) yang meresap masuk ke bawah permukaan dan terpanaskan oleh suatu sumber panas (Putri, 2019). Dibandingkan dengan temperatur reservoir minyak, temperatur reservoir Panas bumi relatif sangat tinggi, bisa mencapai 350°C .

Menurut Hochstein (1990) yang dituangkan dalam jurnal Saptadji (2001),

berdasarkan pada besarnya temperatur, sistem Panas bumi dibagi menjadi tiga, yaitu:

- a. Sistem Panas bumi bertemperatur rendah, yaitu suatu sistem yang reservoirnya berupa fluida dengan temperatur lebih kecil dari 125°C .
- b. Sistem Panas bumi bertemperatur sedang, berupa sistem yang reservoirnya mengandung fluida bertemperatur antara 125°C dan 225°C .
- c. Sistem Panas bumi bertemperatur tinggi, adalah suatu sistem yang reservoirnya berupa fluida bertemperatur di atas 225°C .

Perpindahan Panas Pada Sistem Panas bumi

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. Proses terjadinya perpindahan panas dapat terjadi secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

Panas bumi terbentuk seperti halnya dengan prinsip memanaskan air, erat kaitannya dengan arus konveksi. Air yang terdapat dalam teko yang dimasak di atas kompor, ketika panas, air akan berubah menjadi uap air. Hal yang sama persis terjadi pada pembentukan energi Panas bumi. Air tanah yang terperangkap di dalam batuan yang kedap dan terletak di atas dapur magma atau batuan yang panas karena kontak langsung dengan magma, akibatnya akan memanaskan air tanah yang terletak di atasnya sampai suhu yang cukup tinggi ($100\text{-}250^\circ\text{C}$). Jadi air tanah yang terpanaskan akan mengalami proses penguapan. Apabila terdapat rekahan atau sesar yang menghubungkan tempat terjebaknya air tanah yang dipanaskan tadi dengan permukaan maka pada permukaan akan terlihat manifestasi geothermal. Pada dasarnya sistem Panas bumi jenis hidrotermal ada sebagai hasil perpindahan panas dari suatu sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan secara konveksi.

Perpindahan panas secara konduksi terjadi melalui batuan, sedangkan perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya kontak antara air dan suatu sumber panas. Perpindahan panas secara konveksi pada dasarnya terjadi

karena adanya gaya apung (buoyancy). Karena gaya gravitasi, air cenderung bergerak ke bawah. Meskipun demikian, apabila air tersebut bersentuhan dengan suatu sumber panas maka perpindahan panas akan terjadi sehingga temperatur air menjadi lebih tinggi dan air menjadi lebih ringan. Keadaan ini membuat air yang lebih panas bergerak naik ke atas dan air yang lebih dingin bergerak turun ke bawah, menyebabkan terjadinya sirkulasi air atau arus konveksi.

Manifestasi Panas bumi

Terlepas dari bagian-bagian penyusun sistem Panas bumi, keberadaan suatu sistem Panas bumi digambarkan dengan adanya kehadiran manifestasi panas di permukaan. Sistem Panas bumi konvektif yang memiliki aliran fluida dari daerah recharge masuk ke dalam reservoir kemudian keluar ke permukaan melalui daerah upflow dan outflow, fluida akan bereaksi dengan batuan sekitar dan kemudian keluar melalui rekahan-rekahan dalam batuan. Interaksi fluida dengan batuan sekitarnya menghasilkan mineral-mineral ubahan, namun fluida yang keluar melalui rekahan akan menghasilkan air panas atau uap panas. Gejala-gejala seperti itu yang disebut sebagai manifestasi Panas bumi. Beberapa contoh manifestasi Panas bumi, meliputi : Tanah hangat, permukaan tanah beruap, mata air panas atau hangat, kolam air panas, telaga air panas, kubangan lumpur panas, silika sinter, fumarol dan geyser. Sumber mata air panas terbentuk karena adanya aliran air panas/hangat dari bawah permukaan melalui rekahan batuan. Istilah hangat digunakan jika suhu air lebih kecil dari 50°C dan istilah panas digunakan jika suhu air lebih besar dari 50°C. Mata air panas yang bersifat asam umumnya merupakan manifestasi permukaan dari suatu sistem Panas bumi yang didominasi uap. Sementara, mata air panas yang bersifat netral biasanya merupakan manifestasi permukaan dari suatu sistem Panas bumi yang didominasi air. Mata air panas yang bersifat netral, yang merupakan manifestasi permukaan dari sistem dominasi air, biasanya jenuh dengan silika.

Fluida Panas bumi

Data kimia fluida Panas bumi sangat bermanfaat, diantaranya untuk memberikan perkiraan mengenai sistem Panas bumi yang ada di bawah permukaan, seperti : temperatur dan jenis reservoir, asal-usul air, serta untuk

mengetahui sifat fluida khususnya tentang korosifitasnya dan kecenderungannya untuk membentuk endapan padat (scale) yang dibutuhkan untuk perencanaan sistem pemipaan dan sistem pembangkit listrik. Kandungan kimia fluida Panas bumi di suatu tempat berbeda dengan di tempat lainnya, tidak hanya dari lapangan ke lapangan, tetapi juga dengan yang didapatkan dari suatu tempat dan tempat lainnya meskipun keduanya terdapat di lapangan yang sama. Konsentrasi ion yang berbeda-beda dapat disebabkan karena banyak hal, antara lain adalah karena perbedaan :

- a. Temperatur
- b. pH
- c. Kandungan Gas
- d. Sumber air
- e. Jenis batuan
- f. Kondisi dan lamanya interaksi air batuan
- g. Adanya percampuran antara air dari satu sumber dengan sumber lainnya.

Tipe fluida panas bumi dan karakteristiknya adalah sebagai berikut:

- a. Air Klorida (Cl)
Air Klorida (*Chloride Water*), jenis air ini adalah tipe fluida Panas bumi yang ditemukan pada suatu area dengan sistem temperatur tinggi. Daerah yang memiliki mata air panas yang mengalir dalam skala besar dengan konsentrasi Cl yang tinggi berasal dari reservoir dalam, dan merupakan karakteristik dari zona permeabel pada area tersebut.
- b. Air Sulfat (SO₄)
Air Sulfat (*Sulphate Water*), jenis air Panas bumi ini dikenal juga dengan Air Asam Sulfat (*Acid-Sulphate Water*), merupakan fluida yang terbentuk pada kedalaman dangkal dan terbentuk sebagai akibat dari proses kondensasi gas Panas bumi yang menuju dekat permukaan.
- c. Air Bikarbonat (HCO₃)
Air Bikarbonat (*Bicarbonate Water*), air tipe ini banyak mengandung CO₂. Jenis tipe fluida ini disebut juga dengan *neutral bicarbonate-sulphate waters*, merupakan produk dari proses kondensasi gas dan uap menjadi mata air bawah tanah yang miskin oksigen.

Gugus Fungsi

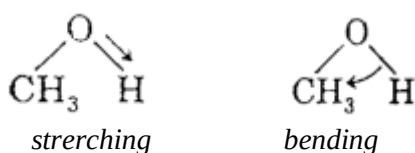
Suatu senyawa organik adalah senyawa yang pada dasarnya tersusun atas campuran atom C, H, O, dan N. Atom-atom tersebut berikatan dalam suatu kesesuaian yang luar biasa dan struktur campuran yang berbeda dengan sifat dan kapasitas yang unik. Sifat suatu zat adalah suatu hal yang vital dan terkait erat dengan pemanfaatannya. Sifat suatu zat biasanya ditentukan oleh suatu struktur khusus pada molekul zat tersebut yang dikenal dengan gugus fungsional. Suatu zat memiliki gugus fungsional yang berbeda-beda. Gugus fungsi diartikan juga sebagai gugus atom yang menjadi keunikan suatu golongan senyawa karbon dalam menentukan sifat kimianya.

Spektrometri Inframerah

Spektrum inframerah suatu molekul adalah hasil transisi antara tingkat energi getaran (vibrasi) yang berlainan. Panjang gelombang dari absorpsi suatu tipe ikatan, bergantung pada jenis getarannya. Oleh karena itu, tipe ikatan yang berlainan (C-H, C-C, C=O, C=C, O-H, dan sebagainya) menyerap radiasi inframerah pada panjang gelombang yang berlainan. Jadi, spektrometri inframerah bisa dipakai dalam mengidentifikasi adanya gugus fungsi dalam suatu molekul.

Menurut Wenas (2009) 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 (Gambar 1) yang teramati dalam spektrum inframerah jika menghasilkan perubahan momen dipol ($\mu \neq 0$) sedangkan jika ($\mu = 0$) akan teramati dalam spektrum raman.



Gambar 1. Vibrasi molekul *stretching* dan *bending*

Dengan ini, suatu ikatan tertentu dapat menyerap energi lebih dari satu panjang gelombang.

3. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi yang dijadikan sebagai tempat penelitian terletak di Desa Pinaesaan Kecamatan Tompaso Baru Kabupaten Minahasa Selatan. Lokasi ini terletak pada koordinat GPS X=0.92451 dan Y=124.46382 dengan elevasi 333 mdpl.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- GPS
- Termometer
- pH Meter
- Spektrofotometer
- Botol Sampel
- Spektroskopi FTIR
- Masker dan Sarung Tangan
- Gayung
- Kamera

Pada rancangan penelitian ini, pertama-tama penulis melihat adanya fenomena untuk diteliti sehingga perlu dilakukan studi literatur melalui buku dan referensi dari internet untuk mengetahui maupun memahami informasi yang berkaitan dengan penelitian tersebut. Selanjutnya dilakukan survei pendahuluan di lokasi penelitian yang meliputi pengamatan secara visual tentang kondisi daerah yang akan diteliti kemudian menentukan parameter-parameter apa saja yang nantinya akan diukur atau diteliti.

Selanjutnya dilakukan pengukuran secara langsung di lapangan yang meliputi pengukuran pH, temperatur, koordinat dan pengambilan sampel fluida. Kemudian sampel fluida mata air panas yang telah diambil akan dianalisis di laboratorium PT. Water Laboratory Nusantara Indonesia (WLN), 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 pengukuran dan pengamatan di lokasi penelitian pada tanggal 12 Januari 2022 pukul 10.00 WITA diperoleh data berupa pH, temperatur udara dan temperatur manifestasi, serta elevasi dan koordinat

kedudukan mata air panas di Desa Pinaesaan. Ciri-ciri mata air panas di Desa Pinaesaan adalah bergelembung dan warna air jernih. Hasil perhitungan pH diperoleh 7 atau netral. Selanjutnya temperatur udara adalah 28°C dan temperatur manifestasi mata air panas adalah 70°C. Kemudian koordinat GPS menunjukkan X = 0.92451 dan Y = 124.46382 dengan elevasi 333 mdpl.

Pada tanggal 12 Januari 2022 telah dilakukan pengambilan sampel fluida mata air panas dan dibawa di PT. Water Laboratory Indonesia kemudian dianalisis selama 14 hari menggunakan Spektrofotometer dan diperoleh data hasil pengujian seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Laboratorium menggunakan Spektrofotometer

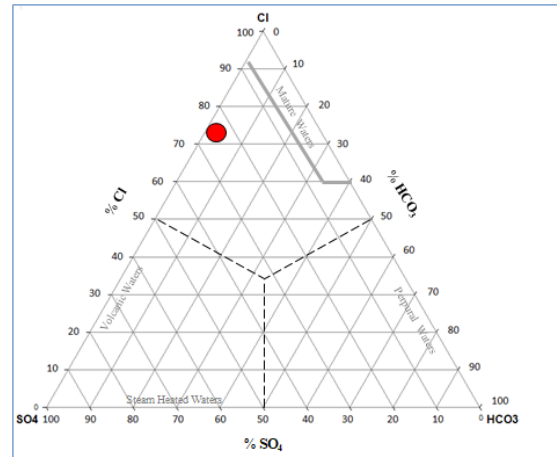
Satuan	Kandungan			ΣKonsentrasi
	Cl	SO ₄	HCO ₃	
mg/L	1090	381	18	1489
%	73	26	1	100

Berdasarkan hasil laboratorium yang ditunjukkan pada Tabel 1 komposisi kimia fluida dari sampel mata air panas Desa Pinaesaan memiliki nilai kandungan tertinggi Klorida (Cl) yang berjumlah 1090 mg/L, kemudian kandungan Sulfat (SO₄) yang berjumlah 381 mg/L, dan kandungan terendah yaitu Bikarbonat (HCO₃) yang berjumlah 18 mg/L. Untuk menentukan tipe fluida berdasarkan diagram ternary, maka dilakukan perhitungan terlebih dahulu untuk mengetahui proporsi masing-masing ion dan hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Persentase Kandungan Cl, SO₄, HCO₃

Lokasi	Komposisi Kimia Fluida			Satuan
	Cl	SO ₄	HCO ₃	
Desa Pinaesaan	1090	318	18	mg/L

Selanjutnya hasil persentasi kandungan ion yang diperoleh diplot dalam diagram ternary seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 2. Diagram Ternary Plot Manifestasi

Panas bumi Desa Pinaesaan

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

Hal ini juga dibuktikan dengan hasil plotting presentase masing-masing ion pada diagram ternary dan menunjukkan titik pertemuan antara ion Klorida (Cl), Sulfat (SO₄), Bikarbonat (HCO₃) berada pada daerah Klorida (Cl) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Kandungan Cl yang tinggi diasosiasikan dengan naiknya fluida Panas bumi yang mengandung gas terutama CO₂ kemudian mengalami kondensasi di dalam akuifer dangkal. Hal ini didukung dengan ditemukannya sejumlah mata air lain yang terdapat di desa Pinaesaan. Manifestasi Panas bumi di desa Pinaesaan termasuk dalam kategori mata air panas karena memiliki suhu di atas 50°C yaitu 70°C.

Mata air panas di Desa Pinaesaan ini berupa tipe fluida yang berasal dari reservoir, sampel dari mata air panas ini menunjukkan dominasi air yang bersumber dari reservoir. Tipe air panas Klorida sebagai air panas yang belum mengalami pencampuran dengan fluida lainnya saat sedang mengalir menuju permukaan (Widiatmoko, 2019).

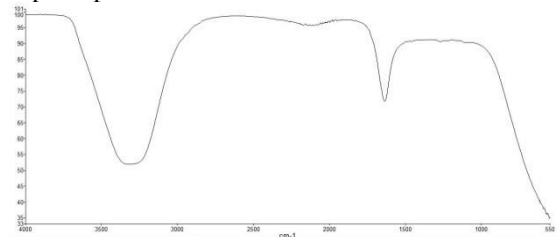
Mata air panas yang memiliki unsur klorida yang tinggi, mempunyai sedikit unsur bikarbonat dan unsur sulfat menunjukkan

daerah outflow pada reservoir Panas bumi (Paais, 2021).

Jenis air dominan klorida ini adalah tipe fluida Panas bumi yang didapatkan pada sebagian besar daerah dengan sistem temperatur tinggi. Area yang menunjukkan mata air panas yang mengalir dalam jumlah besar dengan nilai klorida yang tinggi muncul dari reservoir dalam, dan sebagai indikasi dari zona permeabel pada daerah tersebut. Tetapi, area ini bisa jadi juga tidak terletak di atas zona *upflow* utama, sebab ada sebagian hal-hal lain lain diantaranya pengaruh topografi yang bisa juga memberikan efek besar dalam mengontrol hidrologi (Putri, 2017).

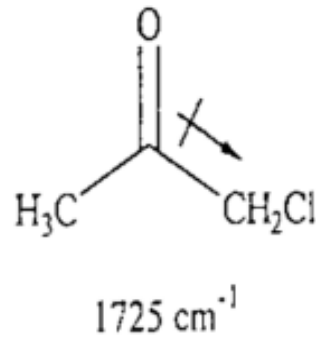
Tipe fluida hidrotermal air klorida dicirikan dengan kandungan Cl^- dominan, umumnya mengandung 1.000-10.000 ppm Cl^- . Tipe air klorida, menunjukkan jenis fluida hidrotermal dalam sumber fluida berupa air reservoir yang ditemukan pada sistem temperatur tinggi. Adanya tipe air klorida, pada umumnya mengindikasikan zona permeabilitas tinggi yang terbentuk oleh patahan, breksi hasil erupsi ataupun kondukte. Adapun kemunculannya bisa dipakai dalam analisis geotermometer atau penentuan temperatur reservoir Panas bumi (Trisnaning, 2021).

Sampel fluida mata air panas kemudian dianalisis menggunakan Spektroskopi FTIR. Dari hasil analisis sampel fluida mata air panasnya didapatkan spektrum inframerah seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektrum inframerah Spektroskopi FTIR

Hasil spektrum gelombang sampel fluida mata air panas 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 Cl (klorida) (Gambar 4).



Gambar 4. Ikatan gugus fungsi $\text{C}=\text{O}$ dan penyusun rantai induk C mengikat Cl

Hal ini membuktikan bahwa hasil pengujian menggunakan spektroskopi FTIR sesuai dengan hasil pengujian menggunakan spektrofotometer yang diperoleh tipe fluida klorida (Cl).

5. KESIMPULAN

Hasil penelitian di lapangan dan analisa uji laboratorium, tipe fluida mata air panas di Desa Pinaesaan Kabupaten Minahasa Selatan memiliki tipe Klorida (Cl). Gugus fungsi molekul fluida mata air panas di Desa Pinaesaan Kabupaten Minahasa Selatan memiliki gugus fungsi $\text{C}=\text{O}$, dimana penyusun rantai induk C mengikat Cl (Klorida) yang sesuai dengan hasil tipe fluida.

6. REFERENSI

- Hidayat, R., Putra, A. J. J. I. F., dan Andalas, U. (2014). Penentuan Tipe Fluida Sumber Mata Air Panas di Kecamatan Gunung Talang, Kabupaten Solok. 6(2), 74-80.
- Paais, C., Haryanto, A. D., Hutabarat, J., dan Gentana, D. J. G. J. (2021). Geokimia Air Panas Dan Pendugaan Temperatur Bawah Permukaan Pada Potensi Panas Bumi Daerah Tawiri, Kecamatan Teluk Ambon, Kota Ambon, Provinsi Maluku. 5(2), 138-149.
- Polii, J., dan Rampengan, A. M. (2020). Analisa Geokimia Fluida Manifestasi Permukaan Di Daerah Panas bumi Lahendong. 5(1), 45-48.
- Putri, T. D., dan Putra, A. (2017). Analisis Pengaruh Temperatur Pemanasan Terhadap Sifat Fisis Sinter Silika dan Tipe Fluida (Air) pada Mata Air Panas Sapan Maluluang, Kecamatan

- Alam Pauh Duo, Kabupaten Solok Selatan. 6(1), 1-8.
- Saptadji, N. M. (2001). *Teknik Panas bumi*: Institut Teknologi Bandung.
- Trisnaning, P. T., dan Fatimah, F. J. A. J. I. B. T. (2021). Tipe Fluida Hidrotermal Sepanjang Manifestasi Panas Bumi Di Daerah Ungaran Dan Sekitarnya. 13(2), 95-102.
- Wenas, D. R. (2009). *Spekstroskopi Atom dan Molekul*.
- Widiatmoko, F. R. J. J. I. (2019). Pendekatan Analisa Geokimia Dengan Multivariate Analysis Untuk Mengetahui Tipe Mata Air Panas: Studi Kasus Lapangan Panas Bumi Mapos, Nusa Tenggara Timur. 23(2), 71-78.