

ANALISIS KARAKTERISTIK KIMIA FISIK FLUIDA PADA MATA AIR PANAS DESA TALAWAAN BANTIK KECAMATAN WORI

ANALYSIS OF PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTIC OF FLUID IN HOT SPRINGS IN TALAWAAN BANTIK VILLAGE, WORI DISTRICT

Florstin Celine Makahinda¹, Donny R. Wenas², Armstrong F. Sompotan³

¹Universitas Negeri Manado,
Jl. Kampus Unima, Tonsaru,
Kec. Tondano Sel, Minahasa,
Indonesia
florstinceline@gmail.com

² Universitas Negeri Manado,
Jl. Kampus Unima, Tonsaru,
Kec. Tondano Sel, Minahasa,
Indonesia
d@unima.ac.id

³ Universitas Negeri Manado,
Jl. Kampus Unima, Tonsaru,
Kec. Tondano Sel, Minahasa,
Indonesia
armstrong@unima.ac.id

ABSTRACT

Geothermal is a natural heat resource derived from the interaction between heat that has been emitted by hot rocks and water. Geothermal energy is pollution-free, sustainable, or renewable. Geothermal energy appears on the surface in the form of geothermal manifestations such as warm ground, steamy ground, hot springs. North Sulawesi has the potential to be the location of direct and indirect geothermal development. This study aims to determine the fluid type and molecular functional groups of hot springs in Sawangan Village, North Minahasa Regency, because this location has geothermal potential. By using the geochemical method of making diagrams, it is known that the fluid type of hot springs in Talawaan Bantik Village, Wori District is of the Birkabonat type and the molecular functional groups are C = O and O-H, where the parent chain, C, O and H bind (Bicarbonate) which corresponds to the fluid type results.

Keywords: *Geothermal, Hot Springs, Fluid Type Characteristics, Functional Groups.*

1. PENDAHULUAN

Energi panas bumi adalah energi yang bebas polusi, berkesinambungan, atau dapat diperbarui. Energi panas bumi muncul di permukaan dalam bentuk manifestasi panas bumi seperti tanah hangat, tanah beruap, mata air panas, danau air panas, silika senter, dan batuan alterasi (Saptadji, 2009). Sumber daya energi panas bumi dapat ditemukan pada air dan batuan panas yang dekat dengan permukaan bumi atau bahkan jauh di bawah permukaan bumi.

Indonesia memiliki 40% potensi daya panas bumi global. Indonesia memiliki dua kelompok sumber panas bumi. Pertama, sumber panas bumi non-vulkanik yang tidak berada di jalur vulkanik itu sendiri. Ini termasuk sumber panas bumi di Pulau Sumatera, Jawa, Bali, NTB, NTT, Sulawesi Utara hingga Maluku Utara. Kedua, sumber panas bumi. Kedua, sumber panas bumi yang berada di sekitar jalur vulkanik. Jalan ini mencakup Bangka Belitung, Kalimantan Barat, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Tengah, Maluku, dan Papua (Direktorat Panas Bumi, 2017).

Manifestasi panas bumi dipermukaan, juga dikenal sebagai manifestasi panas bumi, sering kali menunjukkan adanya sistem panas bumi dibawah permukaan. Salah satu manifestasi dari panas bumi adalah mata air panas, yang terbentuk ketika air tanah keluar dari kerak bumi dan dipanaskan oleh aktifitas geothermal. Mata air panas yang muncul ke permukaan menunjukkan bahwa ada sistem panas bumi di bawah permukaan karena aktifitas geologi seperti vulkanisme dan tektonisme. Aktifitas geologi ini menyebabkan air di bawah permukaan menjadi mata air panas.

Survey geokimia merupakan karakterisasi yang perlu dilakukan dalam pengembangan potensi panasbumi di suatu daerah. Metode geokimia dalam eksplorasi panasbumi, dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik senyawa kimia dalam manifestasi dan distribusi anomali senyawa kimia tertentu secara lateral yang diperkirakan berhubungan dengan temperatur dan pH. Pada penyelidikan mengenai tipe fluida dan gugus fungsi molekul fluida manifestasi panasbumi pada dasarnya

merupakan sebuah penelitian terhadap suatu lapangan panasbumi untuk mengetahui prospek dari suatu lapangan panasbumi. Hasil analisis tipe fluida dan gugus fungsi molekul fluida pada permukaan daerah manifestasi berguna untuk memperkirakan sistem dan temperature reservoir, karakterisasi fluida dan sistem hidrologi di bawah permukaan.^[3]

Salah satu daerah yang menunjukkan kenampakan manifestasi panas bumi adalah Desa Talawaan-Bantik, Kecamatan Wori, Kabupaten Minahasa Utara, dimana terdapat sumber mata air panas. Melalui Desa Talawaan-Bantik, saya ingin mempelajari mengenai keberadaan manifestasi. Berdasarkan informasi tersebut saya ingin meneliti dan mengetahui lebih lanjut tentang karakteristik mata air panas yang ada didesa talawaan bantik serta kaitanya dengan sistem panas bumi.

Di Desa Talawaan-Bantik, Kecamatan Wori, Kabupaten Minahasa Utara, dengan titik koordinat $1^{\circ}16'2716''$ north dan $124^{\circ}53'70604''$ east. Saya ingin mempelajari manifestasi panas bumi, karena di sana ada sumber mata air panas. Berdasarkan informasi ini, saya ingin melakukan penelitian lebih lanjut tentang karakteristik sifat mata air panas di Desa Talawaan Bantik dan hubunganya dengan sistem panas bumi.

2. METODE PENELITIAN

Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Oktober 2024 Lokasi penelitian terletak di Desa Taalawan-Bantik, Kecamatan Wori, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara, dengan Titik Koordinat X = 124,8855 dan Y = 01,2732. Lokasi penelitian ini dapat ditempuh dengan jarak 30 menit dari pusat Kota Manado dengan menggunakan transportasi darat.

Alat dan Bahan

1. Alat penelitian
 - GPS : digunakan untuk menentukan titik koordinat
 - pH meter : digunakan untuk mengukur pH fluida yang ada didaerah penelitian
 - Termometer : digunakan untuk.
 - Botol Sampel digunakan untuk menyimpan sampel
 - Box : digunakan untuk tempat menyimpan botol sampel
 - Spektroskopi FTIR : digunakan untuk menganalisis dan mengidentifikasi senyawa kimia bedasarkan inteaksi molekul dengan adiai infamerah
 - Spektrofotometer : digunakan untuk menentukan unsur-unsur kimia
 - Kamera Hp : digunakan untuk pengambilan dokumentasi yang dilakukan dalam penelitian
 - Alat tulis : digunakan untuk mencatat data-data yang diambil dalam penelitian
 - Laptop : digunakan untuk penolahan data.
2. Bahan penelitian
 - Mata air panas manifestasi panas bumi.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi observasi lapangan, yaitu beada di Desa Talawaan Bantik, Kecamatan Wori. Penentuan titik, pengambilan data di lapangan yaitu berupa data fisik dari manifestasi mata air panas yang ada, pengambilan sampel untuk dianalisis di laboratorium, kemudian dilakukan pengolahan data dan analisis datadengan menggunakan alat spektroskopi FTIR

Desain Penelitian

Gambar penelitian ini merupakan sebuah rancangan jenis penelitian deskriptif. Pada gambar di atas menjelaskan bahwa penelitian ini berdasarkan latar belakang masalah yang berkaitan dengan judul penelitian, kemudian menggunakan studi literatur yang dapat membantu dalam proses penelitian. Setelah mempelajari studi literatur langkah selanjutnya menentukan Lokasi tempat penelitian. Setelah itu penelitian pertama dilakukan dengan mensurvei lapangan, selanjutnya dilakukan analisis terhadap manifestasi yang ada, yaitu analisis lapangan untuk mengetahui ciri fisik manifestasi dan analisis laboratorium untuk mengetahui kandungan kimia yang terdapat dalam manifestasi air panas dilokasi penelitian. Dari data yang ada hasil analisis selanjutnya dilakukan pengolahan untuk mengetahui tipe dan gugus fungsi pada seyawa yang ada pada manifestasi mata air panas yang berada didaerah penelitian.

Variabel penelitian dan teknik pengumpulan data

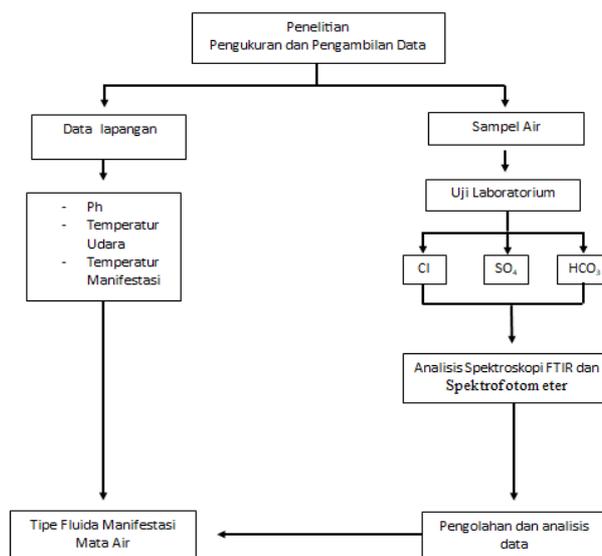
Variabel penelitian ini dibagi menjadi 2 tahap, yaitu :

1. Tahap pemetaan geologi daerah penelitian meliputi pengamatan lapangan dan pengambilan sampel air.
2. Tahap pengamatan kondisi manifestasi permukaan aktif dari system panas bumi, terutama pengamatan dan analisis fluida panas bumi, pada tahap kedua ini pengambilan sampel dilakukan untuk menganalisis kondisi fluida panas bumi daerah penelitian, khususnya kondisi geokimia system panas bumi.

Teknik pengumpulan data

1. Pengukuran suhu dengan menggunakan thermometer, dan pengambilan data penunjang penelitian seperti koordinat pH.
2. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara mengambil botol Sampel air panas dari area manifestasi dan sumbernya dan dimasukkan ke dalam botol sampel.
3. Setelah sampel diambil di lokasi penelitian, dibawa ke Laboratorium untuk diuji. Pada pengumpulan data ini akan digunakan dua Tabel pengumpulan data, yaitu data lapangan dan analisis laboratorium.

Teknik pengolahan dan analisis data



Gambar 1. Teknik Pengolahan dan Analisis Data

Gambar 1. menunjukkan teknik pengolahan data dan analisis data untuk menentukan kandungan kimia fluida. Langkah pertama yang dilakukan yaitu melakukan pengukuran dilapangan, untuk memperoleh nilai pH, temperatur udara dan temperatur manifestasi, setelah itu mengambil sampel air dari manifestasi panas bumi yaitu berupa mata air panas, kemudian sampel yang diambil dibawa ke laboratorium untuk dianalisis untuk memperoleh data kimia air. dan kemudian dianalisis menggunakan spektroskopi Ftir dan Spektrometer untuk memperoleh senyawa kimia. Selanjutnya dari data kimia air tersebut ditentukan tipe air dari manifestasi mata air panas dan pola aliran fluida manifestasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Analisis Karakteristik Kimia Fisik Fluida

Dalam penelitian, analisis karakteristik fisik fluida di desa talawaan bantik. Secara geografis, mata air panas terletak pada titik $X = 124,8855$ dan $Y = 01,2732$ dilakukan penelitian pada pukul 10.00 witadengan suhu manifestasinya adalah 38°C dan suhu udara di sekitarnya adalah $29,8^{\circ}\text{C}$ Hasil pengukuran pH manifestasi mata air panas menunjukkan nilai 6,20. Oleh karena itu, karena pHnya kurang dari 7, manifestasi mata air panas di desa talawaan bantik ini menunjukkan sifat asam.

Sesuai dengan hasil pengamatan pada lokasi manifestasi, kondisi fisik yang diamati yaitu airnya yang cukup jernih dan mengalir. Berikut data hasil pengamatan dan pengukuran dilapangan

Analisis Karakteristik Kimia Fisik Fluida

Dalam penelitian, analisis karakteristik fisik fluida di desa talawaan bantik. Secara geografis, mata air panas terletak pada titik $X = 124,8855$ dan $Y = 01,2732$ dilakukan penelitian pada pukul 10.00 witadengan suhu manifestasinya adalah 38°C dan suhu udara di sekitarnya adalah $29,8^{\circ}\text{C}$ Hasil pengukuran pH manifestasi mata air panas menunjukkan nilai 6,20. Oleh karena itu, karena pHnya kurang dari 7, manifestasi mata air panas di desa talawaan bantik ini menunjukkan sifat asam.

Sesuai dengan hasil pengamatan pada lokasi manifestasi, kondisi fisik yang diamati yaitu airnya yang cukup jernih dan mengalir. Berikut data hasil pengamatan dan pengukuran dilapangan:

Tabel 1. Data Pengukuran Lapangan

Manifestasi	Koordinat		Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)		pH
	X	Y	T_{udara}	$T_{\text{manifestasi}}$	
Mata Air Panas	124,8855	01,2732	$29,8^{\circ}\text{C}$	38°C	6,20

Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan seperti yang ditunjukkan pada table 1. dapat dilihat bahwa temperatur manifestasi di desa talawaan bantik yaitu 38°C Yang artinya manifestasi tersebut termasuk dalam kategori mata air hangat karena temperature manifestasi di bawah 50°C .

Setelah pengukuran dilapangan, dilakukan pengambilan sampel fluida pada manifestasi dengan menggunakan botol sampel, kemudian dilakukan analisis data dilaboratorium PT. Water Laboratory Nusantara (WLN), untuk memperoleh Kandungan relatif anion utama dari mata air panas tersebut. Hasil analisis kimia air panas ditunjukkan pada table 2:

Tabel 2. Hasil Analisis Laboratorium

Unsur	Satuan	Mata Air Panas
Cl	Mg/l	2,5
SO ₄	Mg/l	5
HCO ₃	Mg/l	213

Berdasarkan hasil analisis sampel di laboratorium, seperti yang terlihat pada table 2. dapat dilihat bahwa data kimia sampel mata air panas di desa talawaan bantik memiliki kandungan klorida (Cl) dan kandungan sulfat (SO₄) yaitu rendah yang dimana kandungan klorida (Cl) 2,8 mg/L dan kandungan sulfat (SO₄) 5 mg/L dibandingkan dengan kandungan bikarbonat (HCO₃) yang tinggi yaitu 110 mg/L. untuk menentukan tipe fluida pada mata air panas menggunakan analisis geokimia fluida, peneliti menggunakan plot diagram ternary berdasarkan kandungan ion klorida (Cl), sulfat (SO₄) dan bikarbonat (HCO₃) yang terkandung pada sampel.

Analisis Tipe Fluida Manifestasi

Analisis Tipe fluida mata air panas dapat ditentukan berdasarkan analisis geokimia mata air panas di lokasi penelitian dan juga menggunakan klasifikasi diagram trilinear berdasarkan kandungan relative anion Klorida (Cl), Sulfat (SO₄) dan bikarbonat (HCO₃). Pengolahan data untuk penentuan tipe air panas dilakukan dengan menghitung persentase unsur Cl, SO₄, HCO₃. Kemudian data tersebut di plot dalam diagram segitiga Giggenbach penelitian perhitungan dilakukan dengan menggunakan software excel yang ada pada laptop serta menggunakan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut:

- Jumlah kandungan kimia Cl, SO₄, HCO₃

$$\begin{aligned} \sum \text{konsentrasi} &= \text{Cl} + \text{SO}_4 + \text{HCO}_3 \\ &= 2,5 + 5 + 213 \\ &= 220,5 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

- Persentase Kandungan Anion:

a. Persentase kandungan Klorida : % Cl = $(2,5/220,5) \times 100$

$$= 0,011337 \times 100$$

$$= 1,1$$

b. Persentase kandungan Sulfat : % SO₄ = $(5/220,5) \times 100$

$$= 0,022675 \times 100$$

$$= 2,3$$

c. Persentase kandungan Bikarbonat : % HCO₃ = $(213/220,5) \times 100$

$$= 0,965986 \times 100$$

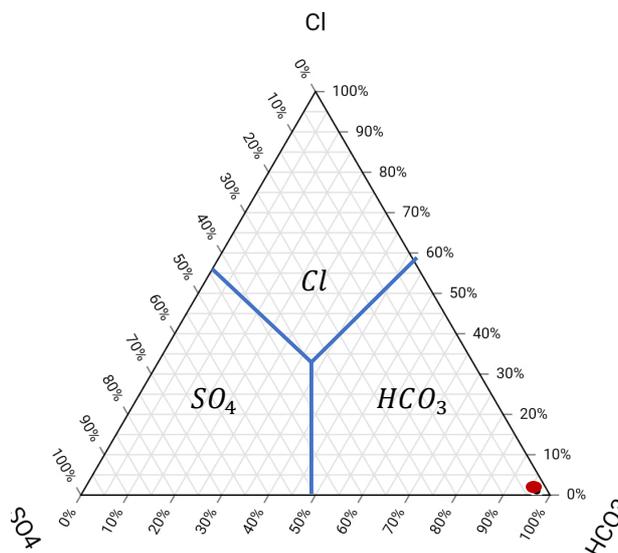
$$= 96,6$$

Dari hasil persentase yang dilakukan maka diperoleh hasil seperti pada table 3:

Tabel 3. Persentase Kandungan Cl – SO₄ – HCO₃

Lokasi Penelitian	Data Kimia (mg/L)			Total	Persentase (%)			Total
	Cl	SO ₄	HCO ₃		Cl	SO ₄	HCO ₃	
Desa Talawaan Bantik	2,5	5	213	220,5	1,1	2,3	96,6	100

Setelah hasil perhitungan persentase diperoleh, seperti yang terlihat pada table 3 di atas, hasil tersebut diplot dalam diagram ternary kandungan unsur $Cl - SO_4 - HCO_3$, yang menghasilkan plot hasil seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Plot Diagram Ternary Persentase $Cl - SO_4 - HCO_3$

Berdasarkan plot diagram ternary kandungan $Cl - SO_4 - HCO_3$ seperti yang ditunjukkan pada gambar 2, maka dapat dilihat bahwa manifestasi mata air panas di desa Talawaan Bantik ini memiliki tipe fluida bikarbonat (HCO_3). Hal ini ditandai dengan tingginya kandungan ion bikarbonat (HCO_3) pada manifestasi mata air panas di Desa Talawaan Bantik tersebut jika dibandingkan dengan kandungan ion klorida (Cl) dan kandungan ion sulfat (SO_4), serta dapat juga dilihat pada hasil plot diagram yang ada pada gambar 4.0 dimana menunjukkan titik pertemuan antara ion klorida, sulfat dan bikarbonat berada pada daerah bikarbonat, yang menunjukkan bahwa tipe fluida manifestasi mata air panas di Desa Talawaan Bantik sudah jelas adalah bikarbonat (HCO_3).

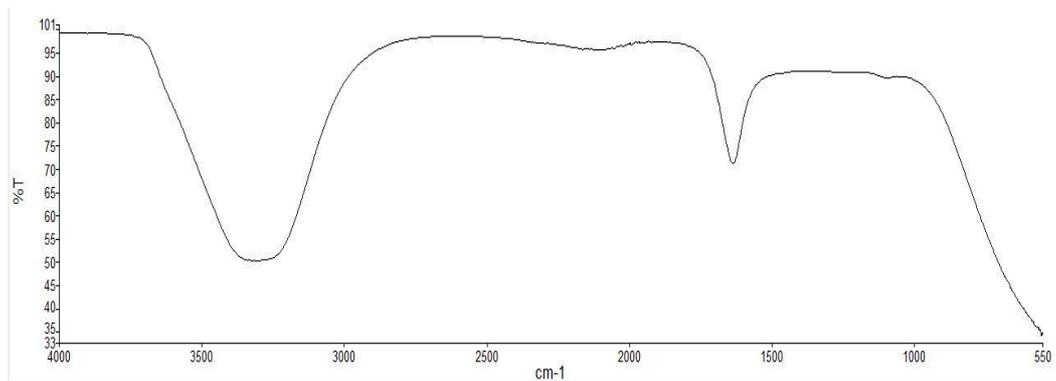
Gugus Fungsi

Berikut ini adalah hasil analisis laboratorium menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi dan senyawa pada sampel fluida.

Tabel 4. Tabel hasil analisis laboratorium menggunakan FTIR

No.	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Gugus Fungsi	Senyawa
1.	1697	C=O	Aldehida, Keton, Asam Karboksilat, Ester
2.	3375,5	O-H	Ikatan hidrogen

Dari Tabel 4, dapat dilihat bahwa pada daerah bilangan gelombang $1697cm^{-1}$ merupakan gugus fungsi C=O dengan molekul aldehida, keton, asam karboksilat, ester. Pada bilangan gelombang $3375,5cm^{-1}$ memiliki gugus fungsi O-H dengan senyawa ikatan hidrogen (*hydrogen bonding*).



Gambar 3. Spektrum Inframerah Spektroskopi FTIR

Pembahasan

Dari hasil pengukuran dan pengamatan yang telah dilakukan di lapangan untuk temperatur dan pH air, dapat dilihat bahwa temperatur air manifestasi berada pada 38°C dan temperatur udara berada pada 63°C dan pH bernilai 6,20 nilai temperature dan saturasi bergantung pada tekanan dan kandungan-kandungan kimia dari fluida tersebut. Kemudian dilakukan pengambilan sampel fluida dan dilakukan analisis data di laboratorium. Setelah mendapatkan hasil perhitungan persentase setiap ion dari unsur Cl bernilai 2,5, SO_4 bernilai 5 dan HCO_3 bernilai 213 kemudian diplot ke dalam diagram trilinear dengan hasil persentase Cl bernilai 1,1 %, SO_4 bernilai 2,3 % dan HCO_3 bernilai 96,6 %. Kemudian menganalisa hasil berdasarkan karakteristik spektroskopi FTIR dapat diketahui. Dari Tabel 3.4, dapat dilihat bahwa pada daerah bilangan gelombang 1697cm^{-1} merupakan gugus fungsi C=O dengan molekul aldehida, keton, asam karboksilat, ester. Pada bilangan gelombang $3375,5\text{cm}^{-1}$ memiliki gugus fungsi O-H dengan senyawa ikatan hidrogen (*hydrogen bonding*). Nilai gelombang $3375,5\text{cm}^{-1}$ berdasarkan jurnal Skoog, 1998. Jadi, jelas bahwa gugus fungsi yang diperoleh adalah unsur-unsur H, C dan O, hal ini sesuai dengan hasil karakterisasi menggunakan Spektrofotometer diperoleh bahwa mata air panas yang berada di kawasan Desa Talawaan Bantik termasuk dalam tipe air bikarbonat (HCO_3). Tipe air ini merupakan tipe kaya fluida karbon dioksida CO_2 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 HCO_3 yang relatif tinggi dari pada SO_4 dan mempunyai pH mendekati normal (sekitar 6-8), sangat dipengaruhi oleh air permukaan dan air bikarbonat terlarut. Pada umumnya terdapat pada ketinggian yang lebih rendah dibandingkan dengan tipe sulfat (SO_4).^[4]

Mata air panas di Desa Talawaan Bantik Kecamatan Wori ini termasuk dalam kategori aliran hidrotermal. Aliran ini biasanya diklasifikasikan berdasarkan asal panasnya, yaitu hasil dari aktivitas vulkanik geothermal dibawah permukaan bumi. Tipe aliran pada mata air panas tersebut kemungkinan besar terkait dengan aliran bertekanan, tekanan dari aktivitas geologi dapat memaksa air panas keluar ke permukaan.

Air bikarbonat merupakan tipe fluida panas bumi yang terbentuk akibat kondensasi uap dan gas ke dalam air permukaan yang minim oksigen. Tipe air panas ini terdiri 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 alam akuifer dangkal. Hal ini sesuai dengan karakterisasi FTIR.^[7]

Fluida mata air panas yang berada pada zona peripheral water mengalami banyak pencampuran dengan air tanah dan CO_2 dari sumber panas bumi danuduknya juga dengan data yang tidak terlalu panas . Sumber air tanah yang diinterpretasikan sama yaitu batuan yang memiliki kandungan Ca yang tinggi dan lapukan batuan Plagioklas Ca atau didominasi oleh air meteorik. Dari hasil analisis kimia diketahui bahwa unsur HCO_3 (bikarbonat) merupakan unsur yang paling dominan (anion utama) dan mengandung gas CO_2 . Pada sistem yang di dominasi oleh batuan vulkanik, air bikarbonat umumnya terbentuk di daerah marginal dan dekat permukaan, dimana gas CO_2 bersama dengan uap air terkondensasi ke dalam air tanah, kondensasi uap tersebut dapat memanaskan air tanah atau terpanaskan oleh uap (*steam heated*) sehingga membentuk larutan bikarbonat (HCO_3). Air HCO_3 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 .

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di lapangan dan hasil analisa di laboratorium terkait sampel mata air panas di Desa Talawaan Bantik dan juga hasil spektrum dengan menggunakan spektroskopi FTIR serta pengolahan data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa daerah manifestasi mata air panas di Desa Talawaan Bantik Kecamatan Wori ini memiliki karakteristik tipe fluida bikarbonat (HCO_3). Hasil spektrum dengan menggunakan spektroskopi FTIR menunjukkan daerah spektrum O-H $3375,5\text{ cm}^{-1}$ dan spektrum C=O 1697 cm^{-1} . Tipe air ini merupakan tipe fluida panas bumi yang terbentuk akibat kondensasi uap dan gas ke dalam air permukaan yang miskin oksigen. Air bikarbonat banyak ditemukan pada area non-volcanogenic dengan temperatur yang tinggi. 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.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih disampaikan kepada dosen dan mahasiswa yang sudah membantu dalam penelitian manifestasi ini serta berbagai pihak yang senantiasa membantu dan mendukung selama penelitian ini berlangsung sampai proses publikasi ini selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saptadji, N. (2005). Sekilas tentang panas bumi. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- [2] Direktorat panas bumi, 2017
- [3] Wenas R Donny, C. A. (2018). ANALYSIS OF MINERAL COMPOSITION OF ALTERATION ROCK IN WARM GROUND AND STEAMING GROUND IN LAHENDING NORTH SULAWESI UTARA SEM-EDX AND FTIR. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4,28) (2018), 364-367.
- [4] Kamil, L., Okto, A., & Muliddin. (2020). Karakteristik Fluida Reservoir Mata Air Panas daerah Buranga Kecamatan Bonegunu Kabupaten Buon Utara Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Geologi Terapan*, Vol. 02 No. 02.
- [5] Masriat, R., Haryanti, A., D., & Hutabarat, J. (2021). Karakteristik Air Panas dan Estimasi Temperatur Reservoir Daerah Cisolok Cisukarame, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat. i-ISSN: 2597-4033, Vol. 5, No.1.

- [6] Emianto, Y. B., & Aribowo, Y. (2011). Studi Geokimia Fluida Panas Bumi Daerah Prospek Panas Bumi Nglimut, G. Ungaran Kecamatan Limbangan, Kabupaten Limbangan Jawa Tengah. *TEKNIK - Vol. 32 No. 3. ISSN 0852- 1697.*
- [7] Toar, R. J., Wenas, D. R., & Mandang, T. (2021). PENENTUAN TIPE FLUIDA DAN GUGUS FUNGSI MANIFESTASI PANAS BUMI KAWAH TUA GUNUNG API SOPUTAN. *Jurnal FisTa: Fisika dan Terapannya*, 2(1), 49-54.
- [8] Hakim Razali Ahmad Y. A. (2023, Desember). ANALISIS GEOKIMIA MANIFESTASI AIR PANAS DI DESA BOJONG KONENG SUKABUMI. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan Unisba Press. 2023, 3, 125-132.1*
- [9] B. Adhitya1, D. M. (2023, Mei 2). GEOKIMIA MANIFESTASI MATA AIR PANAS DESA MUARA MADRAS. *Jurnal Pertambangan*, 7, 46-52.
- [10] Bujung N. A Cyrke, F. D. (2020, Februari 29). KARAKTERISTIK RESERVOIR PANAS BUMI BERDASARKAN. *JSME (JURNAL SAINS, MATEMATIKA, DAN EDUKASI)*, 8, 42-49.
- [11] Gupta, A. D. (2022). GEOCHEMISTRY AND UTILIZATION OF WATER FROM THERMAL SPRINGS OF. *Jour. Geol. Soc. India (2022) 98:237-244, 237-244.*
- [12] Jamaluddin1*, E. P. (2017, Oktober 2). KARAKTERISTIK FISIK DAN KIMIA MATAAIR PANAS. *Jurnal Geoelebes, 1, 62-65*
- [13] Rizky Nurul Aulia*, I. N. (2022). KARAKTERISTIK FLUIDA PANAS BUMI BERDASARKAN ANALISIS GEOKIMIA AIR PANAS DAERAH WAWOLESEA KABUPATEN KONAWE UTARA SULAWESI TENGGARA. *Jurnal Geoelebes Vol. 6 No. 1, April 2022, 64-71.*
- [14] Wawondatu, Geraldy D. R. (2022, Oktober).STUDI SPEKTROSKOPI FTIR UNTUK KARAKTERISASI KIMIA FISIK FLYIDA MATA AIR PANAS DI DESA TEMPANG KABUPATEN MINAHASA. *Jurnal FisTa: Fisika dan Terapannya*, 3, 93-97.
- [15] Almuhsinin., & Putra, A. (2019). Klasifikasi Mata Air Panas Berdasarkan Diagram Segitiga fluida di Batu Balang dan Muaro Paaiti Kabupaten 50 Kota. *Jurnal Fisika. Vol. 8, No 4.*