

Karakteristik Kimia Fisik Fluida Mata Air Panas dan Estimasi Temperatur Reservoir di Sekitar Rano Raindang Desa Leilem Kecamatan Sonder Kabupaten Minahasa

Asmaul Husna^{1)*}, Royke Donny Wenas²⁾, Cyrke Adfie Netty Bujung³⁾, Sixtus Iwan Umboh⁴⁾

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

*E-mail: ulhusna3099@gmail.com

Diterima 11 April 2024; Disetujui 30 April 2024

ABSTRAK

Untuk memenuhi kebutuhan energi dimasa mendatang pemerintah Indonesia mengembangkan sumber-sumber energi alternatif salah satunya adalah energi panas bumi. Rano Raindang merupakan salah satu daerah yang memiliki lapangan panas bumi dikarenakan adanya beberapa manifestasi panas bumi seperti mata air panas. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengkaji tipe fluida, estimasi temperatur reservoir dan gugus fungsi mata air panas. Metode yang digunakan berupa geoindikator Na, K, Mg, Cl, SO₄, HCO₃, dengan kombinasi spektrofotometri dan spektroskopi FTIR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tipe fluida mata air panas di sekitar Rano Raindang dengan geoindikator Na, K, Mg adalah *immature waters*, hal ini dikarenakan tipe fluida mata air panas di sekitar Rano Raindang telah mengalami proses pencampuran, sedangkan geoindikator Cl, SO₄, HCO₃ adalah tipe bikarbonat (HCO₃), hal ini sesuai dengan hasil pengukuran menggunakan spektroskopi FTIR. Estimasi temperatur reservoir di daerah tersebut memiliki temperatur 193,66°C dan termasuk kedalam sistem panas bumi bertemperatur sedang, hal ini dikarenakan suhu di sekitar Rano Raindang berada diantara 125-225°C. Gugus fungsi molekul mata air panas di sekitar Rano Raindang memiliki gugus fungsi C=O, dan O-H.

Kata kunci : Rano Raindang, Panas Bumi, Tipe Fluida, Temperatur Reservoir, Gugus Fungsi.

ABSTRACT

To meet future energy needs, the Indonesian government has developed alternative energy sources: geothermal energy. Rano Raindang is one of the areas with a geothermal field due to several geothermal manifestations, such as hot springs. This study aims to examine the fluid type, the reservoir temperature estimation, and the functional group of hot springs. The method used is a geoindicator of Na, K, Mg, Cl, SO₄, and HCO₃, combining spectrophotometry and FTIR spectroscopy. Research results show that the type of hot spring fluid around Rano Raindang with geoindicators Na, K, Mg is immature waters, this is because the type of hot spring fluid around Rano Raindang has undergone a mixing process, while the geoindicators Cl, SO₄, HCO₃ are bicarbonate (HCO₃) types. This corresponds to the results of measurements using FTIR spectroscopy. The estimated reservoir temperature in the area is 193.66 °C and is included in the medium-temperature geothermal system, as the temperature around Rano Raindang is between 125–225 °C. The functional group of hot spring molecules around Rano Raindang has functional groups C=O and O-H.

Keywords : Rano Raindang, Geothermal, Fluid Type, Reservoir Temperature, Functional Group.

1. PENDAHULUAN

Diperkirakan bahwa potensi energi panas bumi di Indonesia mencapai 40% dari cadangan dunia. Pemerintah Indonesia mengembangkan sumber energi alternatif selain bahan bakar fosil untuk memenuhi kebutuhannya di masa mendatang, energi panas bumi merupakan salah satu dari sumber energi alternatif tersebut (Wawondatu dkk, 2022).

Sulawesi Utara merupakan salah satu daerah yang memiliki potensi panas bumi sebesar 80 MW yang disebabkan oleh beberapa gunung api yang masih aktif (Prasetyo dkk, 2018). Oleh karena itu, Sulawesi Utara dapat

menjadi tempat pengembangan panas bumi secara langsung maupun tidak langsung dan mata air panas dapat ditemukan di berbagai tempat, seperti di sekitar Rano Raindang desa Leilem, kecamatan Sonder, kabupaten Minahasa. Daerah Sungai ini mengalir menuju Laut Sulawesi dengan kecenderungan selatan-utara.

Evaluasi harus dilakukan pada setiap tahap kegiatan mulai dari survei pendahuluan, eksplorasi, penilaian kelayakan, dan eksploitasi untuk menentukan potensi karakteristik mata air panas suatu wilayah (Wawondatu dkk, 2022). Untuk menggambarkan potensi panas

bumi di suatu wilayah, perlu dilakukan beberapa survei, seperti survei geologi, survei geokimia, dan survei geofisika. Metode geokimia merupakan metode eksplorasi pendahuluan panas bumi yang digunakan untuk mengetahui karakteristik kimia fisik bawah permukaan berdasarkan data kimia dari mata air panas (Wawondatu dkk, 2022).

Perlu dilakukan penelitian pada manifestasi permukaan untuk menentukan karakteristik potensi panas bumi di suatu wilayah, salah satunya adalah dengan mengetahui karakteristik kimia fisik pada manifestasi berupa karakteristik tipe fluida, estimasi temperatur reservoir dan gugus fungsinya. Penelitian ini ditunjukan untuk mengkaji karakteristik, estimasi temperatur reservoir dan gugus fungsi fluida pada manifestasi panas bumi yang berada di sekitar Rano Raindang. Maka dilakukan penelitian ini dengan judul “Karakteristik Kimia Fisik Fluida Mata Air Panas dan Estimasi Reservoir di Sekitar Rano Raindang Desa Leilem, Kecamatan Sonder, Kabupaten Minahasa”.

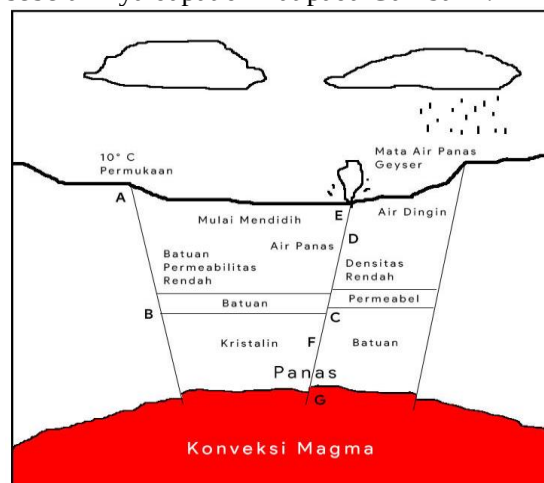
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik tipe fluida mata air panas di Rano Raindang Desa Leilem, Kecamatan Sonder, Kabupaten Minahasa. Penggunaan geoindikator Na, K, Mg dan geoindikator Cl, SO₄, HCO₃ dilakukan untuk mendapatkan informasi tersebut. Selain itu, juga ingin diketahui estimasi temperatur reservoir panas bumi dan gugus fungsi molekul fluida mata air panas di daerah tersebut. Manfaat dari penelitian ini adalah untuk studi pendahuluan dalam memanfaatkan manifestasi panas bumi dan sebagai referensi bagi peneliti selanjutnya.

2. KAJIAN LITERATUR

Sistem Panas Bumi

Sistem panas bumi adalah sistem panas alami yang keluar ke permukaan bumi dari dalam perut bumi. Panas ini dapat berasal dari lava magma, tubuh intrusi, atau proses pembebanan. Fluida panas bumi adalah media yang menghantarkan panas dari sumber panas ke permukaan bumi. Lokasi yang dapat memanfaatkan energi panas bumi harus memiliki kondisi geologi tertentu, termasuk lapisan penutup, struktur geologi, sumber panas, dan fluida yang berfungsi menghantarkan panas. Ada tiga jenis sistem panas bumi, yaitu sistem hidrotermal, sistem vulkanik, dan sistem vulkanik-hidrotermal

yang merupakan kombinasi dari kedua sistem sebelumnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Sistem Panas Bumi (Masriat dkk, 2021)

Karakteristik Kimia Fisik

Menurut Jamaluddin & Umur, (2017) keberadaan mata air panas di suatu daerah dapat terbentuk karena dua hal, yaitu tektonik aktif dan vulkanisme.

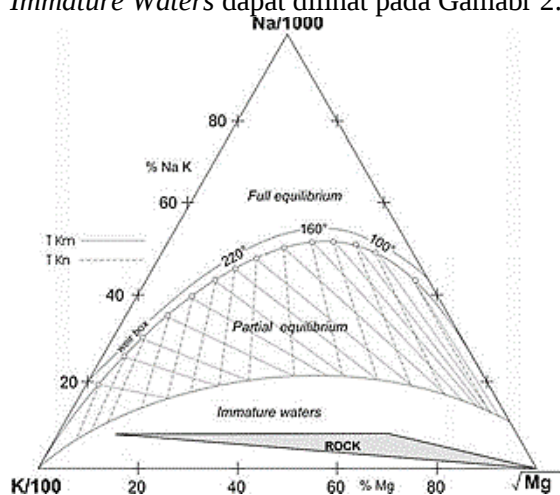
- Tektonik aktif, ditandai dengan air panas dengan suhu permukaan yang tinggi di atas 100°C, suhu konstan, ditemukan endapan sinter, sulfat dan belerang, memiliki kandungan ion sulfat dan unsur belerang yang tinggi akibat reaksi oksidasi dari H₂S di permukaan tanah dan elemen volatil magma dari aktivitas vulkanik.
- vulkanisme, ditandai dengan air panas dengan suhu permukaan rendah antara 20°C–100°C, ditemukan dalam bentuk travertine, dan memiliki kandungan ion sulfat dan unsur belerang yang relatif lebih rendah.

Manifestasi Panas Bumi

Energi panas bumi menciptakan manifestasi panas bumi di permukaan. Manifestasi ini menunjukkan lokasi sistem panas bumi di bawah permukaan. Contohnya adalah fumarole, mata air panas, lumpur panas, dan geiser. Air panas dengan suhu di bawah 50°C disebut hangat, sedangkan di atas 50°C disebut panas. Sifat asam atau netral dari mata air panas mengindikasikan dominasi uap atau air dalam sistem panas bumi. Di sekitar mata air panas, dapat terbentuk teras silika atau travertine tergantung pada kandungan air panas.

Fluida Panas Bumi

Data kimia fluida panas bumi berguna untuk memperkirakan sistem panas bumi di bawah permukaan, seperti temperatur, jenis reservoir, dan sumber air. Kandungan kimia fluida panas bumi dapat berbeda di tempat-tempat yang berbeda disebabkan oleh temperatur, pH, sumber air, jenis batuan, kondisi intraksi batuan, dan pencampuran antara air dari sumber yang berbeda. Diagram segitiga ternary yang mengandung Na, K, dan Mg dapat menunjukkan kesetimbangan reaksi air batuan. Diagram tersebut terbagi menjadi tiga tipe fluida panas bumi: *Full Equilibrium Waters*, *Partial Equilibrium Waters*, dan *Immature Waters* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Ternary Na, K, Mg

Dimana variabel S merupakan penjumlahan konsentrasi $[Na]/1000$, $[K]/100$, dan $[Mg]^{1/2}$. Semua konsentrasi dinyatakan dalam mg/L.

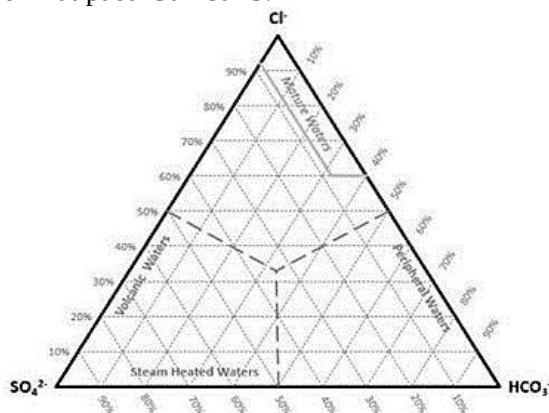
Geoindikator Cl , HCO_3 , SO_4 dapat membantu dalam mengidentifikasi jenis fluida panas bumi. Air klorida biasanya ditemukan pada sistem temperatur tinggi dan memiliki konsentrasi Cl yang tinggi. Air bikarbonat terbentuk ketika uap dan gas terkondensasi ke air permukaan tanpa banyak oksigen. Air asam sulfat terbentuk setelah gas H_2S dioksidasi di dekat permukaan. Menggunakan formula seperti $\Sigma \text{ Konsentrasi} = Cl + SO_4 + HCO_3$ dan persentase komponen, diagram ternary dapat digunakan untuk menentukan tipe mata air panas yang sesuai.

Prosedur dan formula yang digunakan untuk menghitung proporsi masing-masing ion kemudian diplot pada diagram ternary.

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

2. Hitung proporsi relatif dari masing-masing komponen jumlah di atas persen.
3. Diagram ternary ini dibentuk untuk membantu menentukan sampel dari mata air mana yang paling sesuai untuk perhitungannya.

Gambar ternary Cl , SO_4 , HCO_3 dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Ternary Cl , SO_4 , HCO_3 (Simmons, S.F, 1998)

Estimasi Temperatur Reservoir

Estimasi temperatur reservoir panas bumi digunakan untuk menentukan potensi sistem panas bumi. Data fluida panas bumi memberikan perkiraan tentang karakteristik sistem panas bumi, seperti suhu dan jenis reservoir. Reservoir panas bumi dengan suhu rendah (kurang lebih $125^\circ C$) hanya dapat digunakan untuk penggunaan langsung di lapangan. Reservoir panas bumi dengan suhu sedang ($125-225^\circ C$) dapat digunakan untuk produksi listrik dengan memompa suhu agar menghasilkan jumlah air yang cukup. Reservoir panas bumi dengan suhu lebih dari $225^\circ C$ masuk dalam kategori suhu tinggi dan bisa langsung digunakan untuk pembangkit listrik. Geotermometer adalah salah satu cara untuk menghitung temperatur reservoir panas bumi menggunakan konsentrasi silika dalam air.

Geotermometer kuarsa umumnya baik digunakan untuk reservoir bertemperatur $> 150^\circ C$. Di bawah $150^\circ C$ kandungan silika dikontrol oleh kalsedon.

Gugus Fungsi

Senyawa organik terdiri dari kombinasi atom C, H, O, dan N yang memberikan sifat dan fungsi tertentu. Gugus fungsi dalam molekul menentukan sifat senyawa dan dapat dianalisis menggunakan alat FTIR. Menurut Wenas & Bujung, (2018) FTIR merupakan teknik untuk

menganalisis senyawa untuk mendapatkan spektrum yang baik. Selain itu, teknik ini juga peka terhadap mineral umum tertentu dan dapat membedakan senyawa polimorf dengan komposisi kimia yang sama, tetapi dengan struktur kristal yang berbeda.

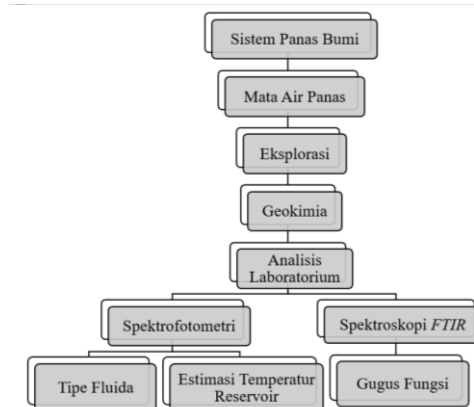
Alat *FTIR* memecah sinar dan mengubahnya menjadi spektra inframerah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Ikatan Gugus Fungsi dan Senyawa

Gugus	Jenis Senyawa	Daerah Serapan (cm^{-1})
C-H	Alkana	2850-2960, 1350-1470
C-H	Alkena	3020-3080, 675-870
C-H	Aromatik	3000-3100, 675-870
C-H	Alkuna	3300
C=C	Alkena	1640-1680
C=C	Aromatik (Cincin)	1500-1600
C-O	Alkohol, Eter, Asam Karboksilat, Ester	1080-1300
O-H	Alkohol, Penal (Monometer)	3610-3640
O-H	Alkohol, Fenol (Ikatan H)	2000-3600 (lebar)
O-H	Asam Karboksilat	3000-3600 (lebar)
N-H	Amina	3310-3500
C-N	Amina	1180-1360
-NO ₂	Nitro	1515-1560, 1345-1385

Kerangka Pemikiran

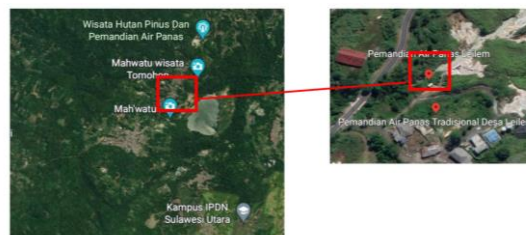
Sistem panas bumi yang keluar dari bawah permukaan ditandai dengan munculnya mata air panas yang berasal dari reservoir yang merupakan batuan yang mampu menyimpan dan mengalirkan fluida panas bumi keluar dari rekahan batuan. Salah satu jenis manifestasi yaitu, mata air panas yang dapat ditentukan karakteristik tipe fluida, estimasi temperatur reservoir dan gugus fungsi dengan menggunakan metode geokimia fluida. Kerangka pemikiran menggambarkan alur pemikiran dari peneliti dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kerangka Pemikiran

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di sekitar Rano Raindang di Desa Leilem, Kecamatan Sonder, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.

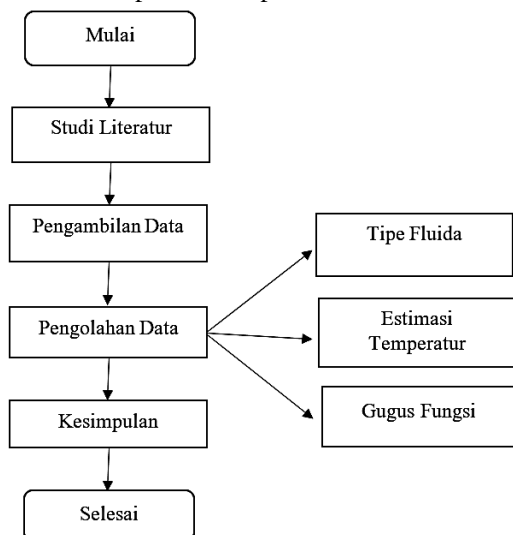


Gambar 5. Lokasi Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini termasuk GPS untuk menentukan koordinat lokasi penelitian dan manifestasi, termometer untuk mengukur suhu manifestasi, kertas lakmus untuk mengukur pH air di daerah manifestasi, botol sampel untuk mengambil dan menganalisis fluida di laboratorium, spektrofotometri untuk menganalisis unsur-unsur kimia dalam fluida, spektroskopi *FTIR* untuk menganalisis gugus fungsi, gayung untuk mengambil sampel mata air panas, handphone untuk mendokumentasikan kegiatan, box sampel untuk menampung sampel mata air panas, alat tulis untuk mencatat data hasil penelitian, laptop dan *Microsoft Excel* untuk mengolah data.

Pada tahap persiapan penelitian, peneliti akan menentukan rumusan masalah dan tujuan penelitian, menggali informasi terkait melalui studi literatur, serta melakukan survei lapangan untuk meninjau kondisi lokasi penelitian. Setelah itu, peneliti akan mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan, dan melakukan pengambilan data di lapangan, termasuk pengukuran pH, suhu udara, suhu mata air

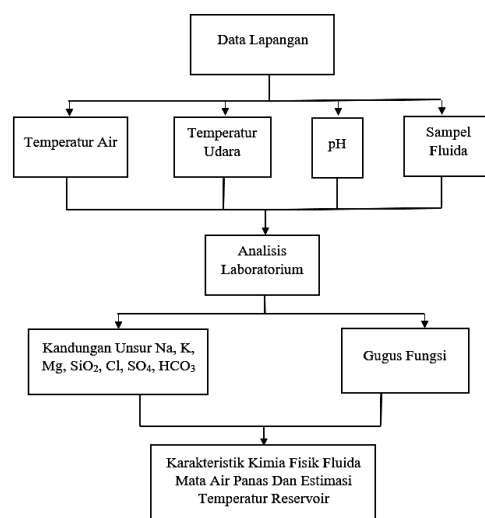
panas, dan pengambilan sampel fluida. Sampel fluida kemudian akan diuji di laboratorium menggunakan spektrofotometri, dan data hasil laboratorium akan diolah dengan metode geokimia untuk mendapatkan informasi mengenai tipe fluida, estimasi temperatur reservoir, dan gugus fungsi. Tahap terakhir adalah menarik kesimpulan berdasarkan hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Alir Desain Penelitian

Teknik Analisis Data

Langka pertama yang dilakukan adalah pengambilan data di lapangan berupa pengukuran pH, temperatur udara, temperatur mata air panas, koordinat, dan pengambilan sampel fluida. Pengambilan sampel fluida yang diteliti di lapangan kemudian akan diuji di Water Laboratory Nusantara (WLN) untuk dianalisis dan mendapatkan kandungan unsur Na, K, Mg, SiO₂, Cl, SO₄, HCO₃. Sampel fluida mata air panas juga dianalisis menggunakan spektroskopi FTIR guna mengetahui gugus fungsinya. Setelah mendapatkan hasil persentase dari masing-masing kandungan unsur, kemudian ditentukan tipe fluida mata air panas menggunakan diagram ternary, estimasi temperatur reservoir menggunakan geotermometer silika dan spektroskopi FTIR untuk mengetahui gugus fungsi dan senyawa fluida mata air panas. Teknik pengolahan data dan analisis data dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram Alir Teknik Pengolahan Data dan Analisis Data

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Kimia Fisik Mata Air Panas di Sekitar Rano Raindang

Pengambilan sampel mata air panas di sekitar Rano Randang desa Lailam, secara geografis mata air panas terletak pada koordinat GPS, sampel mata air panas berada pada 1°16'0"U & 124°49'7"T dengan elevasi 800 m, temperatur udaranya mencapai 32°C sedangkan temperatur mata air panas yang terukur sebesar 85°C dan hasil perhitungan pH mata air panas menggunakan kertas lakmus diperoleh pH 5 yang bersifat asam.

Sesuai dengan hasil kenampakan fisik mata air panas pada lokasi manifestasi ini adalah warna air berkeruh, terdapat endapan lumpur, bergelembung, dan berbau belerang. Berdasarkan pengambilan sampel di lapangan dilakukan pada tanggal 17 Oktober 2023 pukul 10.00 WITA.

Setelah dilakukan pengukuran fisik mata air panas di lapangan, selanjutnya dilakukan pengambilan sampel fluida mata air panas dengan menggunakan botol sampel dan box sebagai pelindung botol sampel, selanjutnya sampel mata air panas di analisis di Laboratorium PT Water Laboratory Nusantara (WLN) Indonesia, untuk memperoleh data kandungan kimia fluida mata air panas di sekitar Rano Raindang dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Data di Lapangan

Temperatur Lokal (°C)		pH	Komposisi Kimia (mg/L)			
T _{mata air panas}	T _{udara}		Natrium (Na)	Kalium (K)	Magnesium (Mg)	Silika (SiO ₂)
85°C	32°C	5	37,2	10,0	33,0	246

Tipe Fluida Mata Air Panas Menggunakan Geoindikator Na, K, Mg

Penentuan jenis tipe fluida mata air panas dapat diketahui dengan menggunakan unsur Na, K, Mg dan SiO_2 . Data ini diolah dengan menghitung presentase unsur Na, K, Mg, untuk menentukan tipe fluida pada mata air panas menggunakan analisis geokimia fluida, kemudian hasil presentase unsur tersebut, peneliti menggunakan plot diagram ternary berdasarkan hasil uji laboratorium berdasarkan nilai Na, K, Mg yang terkandung dalam sampel. Selanjutnya dilakukan perhitungan presentase kandungan menggunakan

Geoindikator Na, K, Mg, yaitu dengan menjumlahkan semua unsur Na, K, Mg.

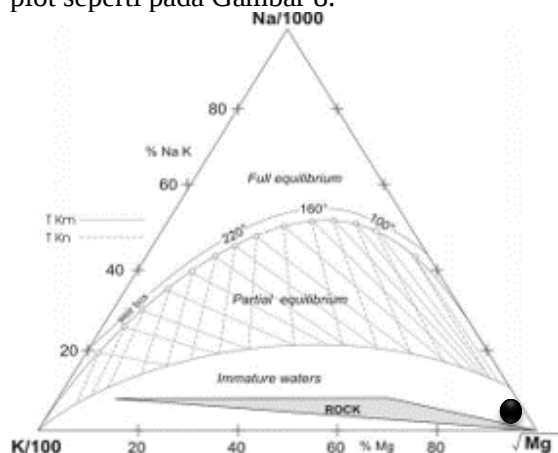
Untuk menentukan tipe fluida mata air panas berdasarkan diagram ternary plot, maka perlu dilakukan perhitungan penjumlahan konsentrasi $[\text{Na}]/1000$, $[\text{K}]/100$, dan $[\text{Mg}]^{1/2}$ dan persentase masing-masing unsur Na, K, Mg. Perhitungan dilakukan menggunakan aplikasi *Microsoft Excel* untuk memperoleh hasil.

Maka hasil yang diperoleh secara umum dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Presentase Kandungan Na, K, Mg

Lokasi Penelitian	Satuan	Kandungan			Konsentrasi
		Natrium (Na)	Klium (K)	Magnesium (Mg)	
Rano	Mg/L	37,2	10,0	33,0	80,2
	%	0,6324	1,7001	97,6673	100

Selanjutnya hasil persentase unsur yang telah diperoleh diplot dalam diagram *ternary* plot seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Ternary Daerah di Sekitar Rano Raindang

Berdasarkan hasil perhitungan kandungan unsur Na, K, Mg dalam diagram segitiga Na, K, Mg pada Gambar 8 menunjukkan bahwa mata air panas yang berada di sekitar Rano Raindang bertipe *immature waters* dan memiliki kadar unsur Mg yang cukup tinggi yaitu 97,6673% dibandingkan unsur Na dan K. sampel yang berada di daerah *immature waters* menandakan bahwa mata air panas di daerah tersebut tidak mencapai kesetimbangan atau telah mengalami reaksi dengan unsur lain saat fluida berusaha bergerak naik kepermukaan. Menurut Jamlean dkk (2022), kadar Mg yang tinggi menandakan bahwa mata air panas mengalami pencampuran dengan air meteorik atau air tanah yang

memiliki konsentrasi Mg yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa fluida panas bumi daerah penelitian telah mengalami interaksi dengan batuan panas dan terjadi pencampuran dengan air permukaan yang cukup banyak.

Dilihat pada Tabel 3, persentase Na yang didapat berada di 0,6324%. Na merupakan unsur yang di kontrol oleh interaksi fluida dengan batuan panas pada sistem panas bumi. Sedangkan untuk persentase K berada di 1,7001%. K merupakan unsur yang dikontrol oleh interaksi fluida panas bumi dengan batuan panas pada sistem panas bumi dengan reservoir bertemperatur tinggi.

Tipe Fluida Mata Air Panas Menggunakan Geoindikator Cl, SO_4 , HCO_3

Pengambilan sampel fluida mata air panas dianalisis di WLN (Water Laboratory Nusantara) untuk mengetahui kandungan kimia fluida. Hasil yang diperoleh dilaboratorium ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Data di Lapangan

Komposisi Kimia Fluida			
Klorida (Cl)	Sulfat (SO_4)	Bikarbonat (HCO_3)	Satuan
169	87	325	mg/L

Berdasarkan hasil laboratorium yang ditunjukkan pada Tabel 4 komposisi kimia fluida dari sampel mata air panas di sekitar Rano Raindang dengan nilai kandungan tertinggi

adalah kandungan Bikarbonat (HCO_3) yang berjumlah 325 mg/L, kemudian kandungan klorida (Cl) yang berjumlah 169 mg/L, dan kandungan dengan jumlah terendah adalah Sulfat (SO_4) yang berjumlah 87.

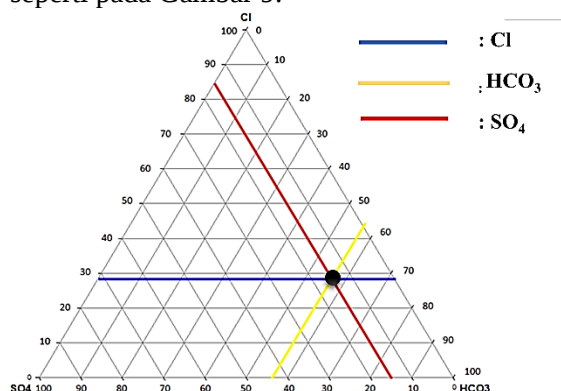
Untuk menentukan tipe fluida mata air panas berdasarkan diagram ternary plot, maka

perlu dilakukan perhitungan penjumlahan konsentrasi $\text{Cl} + \text{SO}_4 + \text{HCO}_3$ dan persentase masing-masing unsur Cl, SO_4 , HCO_3 . Perhitungan dilakukan menggunakan aplikasi *Microsoft Excel* untuk memperoleh hasil seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Presentase Kandungan Cl, SO_4 , HCO_3

Lokasi Penelitian	Satuan	Kandungan			Konsentrasi
		Klorida (Cl)	Sulfat (SO_4)	Bikarbonat (HCO_3)	
Rano	ml/L	169	87	325	581
Raindang	%	29,09	14,97	55,94	100

Selanjutnya hasil persentase ion yang telah diperoleh diplot dalam diagram *ternary* plot seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram Ternary Daerah di Sekitar Rano Raindang

Berdasarkan nilai persentase kandungan unsur pada sampel fluida mata air panas yang telah di analisis komposisi kimianya terutama kandungan anion Klorida (Cl), Sulfat (SO_4), dan Bikarbonat (HCO_3) serta hasil plot diagram ternary, maka dapat diketahui bahwa mata air panas yang berada di sekitar Rano Raindang ini termasuk dalam tipe air bikarbonat (HCO_3), ditandai dengan tingginya kandungan bikarbonat (HCO_3) yaitu 55,94% dibandingkan dengan ion klorida (Cl) yang sebesar 29,09% dan Sulfat (SO_4) yang sebesar 14,97%.

Sebagaimana dinyatakan oleh Haryanto dkk, (2021). Terbentuk ketika uap dan gas kondensasi ke dalam air permukaan yang tidak memiliki banyak oksigen. Jenis pertama memiliki kandungan klorida (Cl) rendah dan kandungan bikarbonat (HCO_3) tinggi. Uap yang kaya akan karbondioksida (CO_2) terkondensasi relatif dekat ke permukaan, yang menyebabkan kandungan HCO_3 meningkat. Jenis kedua memiliki kandungan klorida yang

relatif lebih tinggi dari jenis pertama dan kandungan HCO_3 tinggi. Ini karena klorida bergerak relatif horizontal (sebagai *outflow*) selama perjalanannya mengalami perubahan HCO_3 akibat reaksi dengan batuan sampling atau hasil pelarutan dari CO_2 dengan air tanah dangkal.

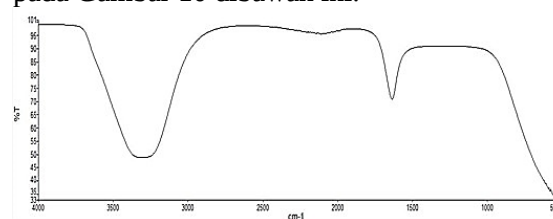
Estimasi Temperatur Reservoir

Setelah analisis kimia untuk mengidentifikasi karakteristik fluida, persamaan geotermometer silika dapat digunakan untuk mengestimasi temperatur reservoir. Menurut Aribowo (2011), memiliki data konsentrasi silika pada fluida akan memungkinkan kita untuk memperkirakan temperatur fluida berdasarkan variasi kelarutan atau konsentrasi silika pada variasi temperatur.

Berdasarkan perhitungan di atas, maka didapatkan temperatur pada daerah di sekitar Rana Raindang sebesar $193,66^\circ\text{C}$, yang menunjukkan temperatur reservoir ini termasuk reservoir bertipe suhu sedang. Hal ini dikarenakan suhu di sekitar Rano Raindang berada diantara $125\text{--}225^\circ\text{C}$.

Gugus Fungsi Molekul Mata Air Panas di Sekitar Rano Raindang

Dari spektroskopi *FTIR* dengan sampel fluida didapatkan spektrum inframerah seperti pada Gambar 10 dibawah ini.



Gambar 10. Spektrum *FTIR* mata air panas di sekitar Rano Raindang

Berikut ini hasil analisis laboratorium menggunakan *FTIR* untuk mengetahui gugus fungsi dan senyawa pada sampel fluida. Menurut Wawondatu dkk (2022), dalam sampel fluida mata air panas, hasil spektrum gelombang jelas menunjukkan spektrum tertinggi 2102 cm^{-1} memiliki gugus fungsi O-H dengan senyawa Alkohol dan Fenol (ikatan H), dan gugus fungsi C=O dengan senyawa Aldehida, Keton, Asam Karboksilat, dan Ester pada spektrum gelombang 1691 cm^{-1} . Hal ini sesuai dengan hasil pengukuran menggunakan spektroskopi *FTIR* yang diperoleh bahwa mata air panas yang berada di sekitar Rano Rainandang ini termasuk dalam tipe air bikarbonat (HCO_3) dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Analisis Laboratorium Menggunakan *FTIR*

No.	Bilangan Gelombang	Gugus Fungsi	Senyawa
1.	1691	C=O	Aldehida, Keton, Asam, Karboksilat, Estes
2.	2102	O-H	Alkohol, Fenol (Ikatan H)

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tipe fluida yang menggunakan geoindikator Na, K, Mg menunjukkan mata air panas di sekitar Rano Rainandang adalah *immatur waters*. Hal ini dikarenakan tipe fluida mata air panas di sekitar Rano Rainandang telah mengalami proses pencampuran.
2. Tipe fluida yang menggunakan geoindikator Cl, SO_4 , HCO_3 menunjukkan mata air panas di sekitar Rano Rainandang memiliki tipe fluida bikarbonat (HCO_3). Hal ini sesuai dengan hasil pengukuran menggunakan spektroskopi *FTIR*.
3. Estimasi temperatur reservoir panas bumi di sekitar Rano Rainandang diperkirakan memiliki temperatur $193,66^\circ\text{C}$ dan termasuk kedalam sistem panas bumi bertemperatur sedang. Hal ini dikarenakan suhu di sekitar Rano Rainandang berada diantara $125\text{--}225^\circ\text{C}$.

4. Gugus fungsi molekul mata air panas di sekitar Rano Rainandang memiliki gugus fungsi C=O, dan O-H.

Berdasarkan hasil penelitian tipe fluida, estimasi temperatur reservoir dan gugus fungsi mata air panas di sekitar Rano Rainandang, maka saran yang dapat penulis berikan adalah sebaiknya dilakukan penelitian yang lebih lanjut pada daerah panas bumi di sekitar Rano Rainandang dengan menggunakan metode lain untuk lebih mengetahui karakteristik tipe fluida, temperatur reservoir, dan gugus fungsi.

6. REFERENSI

- Aribowo, Y. (2011). Prediksi Temperatur Reservoir Panasbumi dengan Menggunakan Metoda Geotermometer Kimia Fluida. *Teknik*, 32(3), 234-238.
- Jamaluddin, J., & Umar, E. P. (2017). Karakteristik Fisik dan Kimia Mataair Panas Daerah Barasanga Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Geocelesbes*, 1(2), 62-65
- Jamlean, V., Bujung, C. A., & Rampengan, A. M. (2022). Studi Kimia Fisik Fluida Pada Manifestasi Panas Bumi Danau Linow. *Jurnal FisTa: Fisika dan Terapannya*, 3(2), 33-38.
- Masriat, R., Haryanto, A. D., Hutabarat, J., & Gentana, D. (2021). Karakteristik Air Panas dan Estimasi Temperatur Reservoir Daerah Cisolok-Cisukarame, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat. *Geoscience Journal*, 5(1), 40-48.
- Prasetyo, R., LaksmiNingpuri, N., & Satrio, S. (2018). Karakteristik Kimia dan Isotop Fluida Panas Bumi Daerah Gunung Tampomas, Jawa Barat. *Riset Geologi dan Pertambangan*, 28(1), 1-11.
- Simmons, S. F. (1998). Geochemistry Lecture Note. *Unifersity Of Auckland*
- Wawondatu, G., Wenas, D. R., & Tumimomor, F. R. (2022). Studi Spektroskopi Ftir Untuk Karakterisasi Kimia Fisik Fluida Mata Air Panas di Desa Tempang Kabupaten Minahasa. *Jurnal FisTa: Fisika dan Terapannya*, 3(2), 39-43.
- Wenas, D. R., & Bujung, C. A. (2018). Analysis of Mineral Composition of Alteration Rock in Warm Ground and Steaming Ground in Lahendong North Sulawesi Using SEM-EDX & FTIR. *International Journal of Engineering & Technology*, 364-367.