Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat
Volume 21, Nomor 2, Juni 2024
1819-796X (p-ISSN); 2541-1713 (e-ISSN)

Kajian Kandungan Mineral Sinter Silika, Suhu Permukaan, dan Tipe Fluida Air Panas Waya Makawa Desa Ploly, Pulau Makian, Maluku Utara

Rohima Wahyu Ningrum[1,*)], Suryani Taib, Marwis Aswan[2)]
[1)] Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Khairun
[2)] Fakultas Teknik, Universitas Pasifik Morotai

Email korespodensi : rohima@unkhair.ac.id

DOI: https://doi.org/10.20527/flux.v21i2.17557
Submitted: 29th September, 2023; *Accepted*: 18th June, 2024

ABSTRAK- Telah diteliti kandungan mineral sinter silika mata air panas Waya Makawa di Desa Ploly, Pulau Makian, Maluku Utara dan hubungannya dengan temperatur permukaan, serta penentuan tipe fluida (air panas) Waya Makawa. Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan sampel lumpur, untuk mengetahui kandungan sinter silika dengan metode XRF. Suhu permukaan sampel air panas diukur dengan sensor suhu termokopel. Sampel air diambil dengan metode random sampling, untuk mengetahui kandungan unsur-unsur kimia dari mata air panas kemudian dianalisis dengan menggunakan diagram trilinear. Hasil uji menunjukkan kandungan mineral sampel lumpur Waya Makawa memiliki kandungan mineral silika yang cukup tinggi. Lokasi titik 1 memiliki kandungan mineral silika 54,49% dan titik 2 yaitu sebesar 57,84%. Suhu rata-rata permukaan air lokasi titik 1 sekitar 37,6^{o}C dan pada titik 2 sekitar 40,6^{o}C. Hubungan antara suhu permukaan dengan kandungan mineral yang terdapat pada air panas Waya Makawa sangat signifikan, semakin tinggi suhu maka semakin besar kandungan mineral silika pada titik tersebut. Berdasarkan analisis kandungan kimia, mata air panas Waya Makawa merupakan tipe fluida alkali klorida dan merupakan *immature water*, serta indikasi dari daerah zona permeabel tinggi (sesar/patahan). Sistem dominasi air panas ini berada pada relief rendah, mengalami alterasi dengan karakteristik silika, memiliki cadangan sinter silika, dan banyak terjadi di sistem patahan tektonik.

KATA KUNCI: *sinter silika; suhu; air panas; tipe fluida; mineral*

ABSTRACT– The silica sinter mineral content of the Waya Makawa hot spring in Ploly Village, Makian Island, North Maluku and its relationship with surface temperature, and determining the fluid type (hot water) of Waya Makawa has been studied.. The research method used is a quantitative method with mud samples to determine the content of sintered silica tested using the XRF method. The hot water sample is measured for its surface temperature using a thermocouple temperature sensor. Water samples were taken by random sampling method, to determine the content of chemical elements from hot springs and then analyzed using trilinear diagrams. The mineral content test results obtained in the Waya Makawa mud sample have a fairly high silica mineral content. Point 1 has a silica mineral content of 54.49%, while at point 2 it is 57.84%. At the location of point 1, the average surface temperature obtained is around 37.6^{o}C, while at point 2 it is around 40.6^{o}C. The relationship between surface temperature and mineral content in Waya Makawa hot water is very significant, the higher the temperature, the greater the silica mineral content at that point. The results of the chemical analysis show that the Waya Makawa hot spring is an alkaline chloride fluid type and is immature water, as well as an indication of a high permeable zone (fault). This hot water domination system is located in low relief, has been altered with silica characteristics, has silica sinter reserves, and occurs in many tectonic fault systems.

KEYWORDS : sintered silica; temperature; hot water; fluid type; mineral

PENDAHULUAN

Indonesia sangat kaya kandungan mineral bumi yang berasal dari panas bumi. Manifestasi panas bumi setiap wilayah

memiliki prospek energi panas bumi yang paling umum ditandai dengan munculnya mata air panas (Saptadji, 2001). Maluku Utara memiliki potensi energi panas bumi yang besar, manifestasi panas bumi ditandai dengan munculnya mata air panas, *fumarola*, tanah panas dan lumpur panas. Aktivitas tektonik yang kompleks di Maluku Utara menyebabkan daerah ini banyak terdapat manifestasi panas bumi dari Utara sampai Selatan salah satunya di Pulau Makian. Pulau Makian merupakan pulau gunung api yang masih aktif sampai sekarang yakni Gunung Kie Besi. Gunung Kie Besi merupakan sebuah gunung berapi tipe *stratovolcano* (Dona & Putra, 2016) yang dihasilkan dari penunjaman lempeng yang mempengaruhi wilayah Maluku Utara.

Pulau Makian memiliki salah satu manifestasi panas bumi yang ditunjukkan berupa mata air panas yang diberi nama Waya Makawa dan merupakan satu-satunya sumber mata air panas di Pulau Makian yang terletak di Desa Ploly.

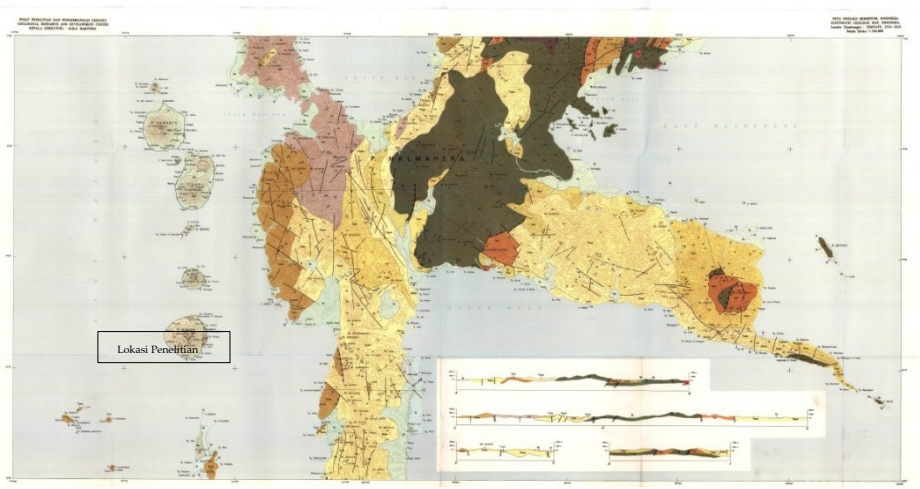
Pemanfaatan air panas tersebut masih berupa wisata pemandian air panas, dan belum pernah ada survei untuk mengetahui potensi energi panas bumi maupun ekplorasi lebih lanjut. Suhu permukaan pada air panas Waya Makawa cukup tinggi, sehingga menarik untuk dilakukan penelitian karena suhu merupakan parameter dominan daerah panas bumi. Suhu permukaan air panas sangat berpengaruh terhadap kandungan mineral yang ada di dalam air panas tersebut. Suhu dan pH dari bawah permukaan sangat mempengaruhi terbentuknya endapan silika di permukaan (Noguchi, 1982).

Silika (SiO_2) merupakan golongan oksida dan dapat dimanfaatkan sebagai piranti semikonduktor, pembuatan keramik, bahan baku industri kaca, dan bahan baku pembuatan sel surya (Munasir et al., 2012). Mata air panas yang mengandung unsur silika terdapat pada sinter silika yang berasal dari reservoir panas bumi bersuhu tinggi yang muncul ke permukaan sebagai manifestasi panas bumi. Selain itu kandungan unsur kimia pada air panas dapat dijadikan penentu dalam penentuan tipe air panas.

Maka dari itu perlu dilakukan penelitian yang merupakan studi awal tentang kajian kandungan mineral sinter silika, suhu permukaan air panas, dan penentuan tipe air panas Waya Makawa di Desa Ploly Pulau Makian Maluku Utara,. Diharapkan dengan penelitian tersebut selanjutnya dapat mengetahui potensi energi panas bumi air panas Waya Makawa dan dieksplorasi sesuai dengan potensinya.

Sinter silika di karakterisasi dengan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) dan *Conductivity meter*. Metode XRF digunakan sebagai teknik analisis dalam menentukan komposisi unsur dari suatu material endapan yang berada di sekitar mata air panas (Kriswarini et al., 2010). Sedangkan untuk mata air panas dilakukan uji laboratorium dengan ph meter dan dikarakterisasi dengan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) .

Kondisi geologi di daerah Halmahera Selatan pada Gambar 1 khususnya Pulau Makian memiliki jenis batuan didominasi oleh batuan beku. Karakteristik dan persebaran batuan beku sesuai dengan daerah pembentukannya yakni sebagai hasil dari erupsi Gunung Kie Besi. Gunung Kie Besi merupakan pulau gunung api, berbentuk strato dengan kerucut terpancung, dimana pada puncaknya terdapat sebuah kawah besar. Kawah Gunung Kie Besi berukuran sekitar 1500 x 1400 m. Di bagian tengah merupakan kubah lava yang terbentuk pasca letusan 1988. Di bagian timur laut terdapat sebuah telaga dimana airnya sudah berkurang karena erupsi tahun 1988 lalu. Stratigrafi Gunung Kie Besi dapat dikelompokkan ke dalam 23 satuan batuan, yang bersumber dari 3 periode erupsi (Sasongko & Mulyana R, 1999). Dijumpai kenampakan sesar di Gunung Kie Besi (Sasongko & Mulyana R, 1999), yaitu: dua buah sesar di lereng bagian utara, yang arahnya relatif utara-selatan dimana blok bagian timurnya merupakan bagian blok yang turun. Sebuah sesar lainnya di lereng timur tenggara, dengan arah relatif barat tenggara, dimana blok yang turun yaitu blok bagian utara.



Gambar 1. Peta Geologi Ternate, Maluku Utara. Sumber: (Iler, 1979)

Kandungan mineral yang terbawa oleh aliran air panas dari reservoir akan mengendap di suatu tempat sumber air panas. Dimana mineral ini merupakan informasi dari parameter fisik dari bawah permukaan bumi (Singarimbun & Irsamukhti, 2011). Senyawa Silika (SiO_2) banyak ditemukan pada pasir kuarsa yang terdiri dari kristal-kristal silika dan mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan sehingga akhirnya mengendap di sekitar sumber air panas (Iler, 1979).

Aplikasi dengan menggunakan bahan silika telah banyak dilakukan sebagai bahan penguat (*mechanical property*) dan meningkatkan daya tahan (*durability*) seperti material *building* untuk bahan campuran pada beton (Collepardi et al., 2002). Selain itu Silika juga dapat dimanfaatkan sesuai dengan keperluannya seperti pada industri ban, karet, gelas, semen, tekstil, kertas, kosmetik, elektronik, pasta gigi, dan lain-lain. Sinter silika merupakan manifestasi panas bumi dari fluida yang berasal dari reservoir panas bumi mempunyai cukup silika dan mengendap jika suhu menurun hingga 50^{o}C (Wohletz dan Heiken, 1992).

Air panas merupakan air yang bersumber dari air tanah dengan suhu tinggi akibat pemanasan secara geotermal, kemudian muncul ke permukaan bumi melalui rekahan-rekahan batuan. Tipe fluida di bawah permukaan dapat diketahui dengan sifat kimia air panas. Manifestasi panas bumi yang didominasi uap biasanya kandungan air panasnya bersifat asam, sedangkan manifestasi panas bumi di permukaan yang didominasi air kandungan air panasnya akan bersifat netral. Untuk menentukan potensi reservoir energi panas bumi baru, maka dapat diketahui dari konduktivitas panas pada batuan yang dapat menghantarkan panas ke permukaan bumi melewati batuan (Endovani & Putra, 2016).

Endapan sinter silika yang ada di sekitar mata air panas dapat diketahui kandungan unsur material yang terkandung di dalamnya dengan menggunakan metode analisis XRF (*X-Ray Fluorescence*) (Kriswarini et al., 2010). Panas bumi dapat dibedakan menjadi empat tipe, berdasarkan pada kandungan unsur kimianya. Pertama tipe air panas bumi menurut (Saptadji, 2001), antara lain Air alkali klorida *(alkali chloride water).* Air ini akan memiliki kandungan Cl tinggi (400 sampai 1800 ppm), Na, K dan SiO2 tinggi pH 6 sampa 7,5. Kedua Air asam sulfat *(acid sulphate water).* Biasa terdapat pada *volcanic geothermal areas*, dimana uap air terkondensasi menjadi air permukaan atau juga berasal dari oksidasi H_2S yang terjadi di "*vadose zone*" (daerah diatas permukaan air). Air ini mengandung sulfat (SO_4) cukup tinggi, dengan Cl dan HCO_3 sangat rendah dan pH rendah (< 2 sampai 3). Ketiga, Air asam sulfat-klorida *(acid sulphate-chloride water).* Air ini terjadi karena adanya percampuran antara air alkali klorida dan air asam sulfat, dimana ion H_2S teroksidasi menjadi SO_4. Air ini memiliki

Cl dan SO_4 tinggi serta pH < 2 sampai 5. Keempat, Air bikarbonat *(bicarbonate water).* Pada beberapa tempat, air karbonat tercampur karena adanya lapisan limestone di bawah permukaan. Di permukaan, dicirikan dengan adanya endapan $CaCO_3$ di sekitar air panas. Air ini memiliki kandungan klorida rendah dengan HCO_3 tinggi, dan pH 5 sampai 6.

METODE PENELITIAN

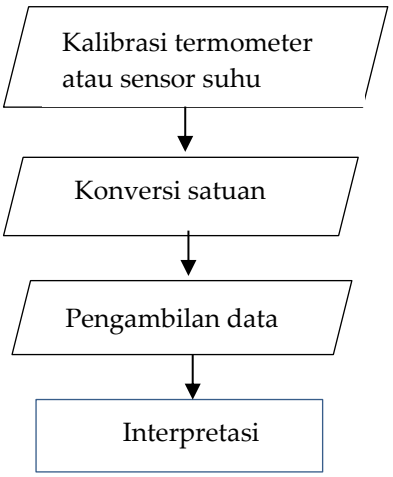
Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan sampel penelitian diuji dengan menggunakan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*), *conductivitymeter*, dan sensor suhu. Untuk uji laboratorium, sampel air diambil dengan metode *Purposive sampling* untuk mengetahui unsur-unsur kimia dari mata air panas dengan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Secara administrasi lokasi penelitian terletak di Mata Air Panas Waya Makawa, Desa Ploly, Pulau Makian, Maluku Utara ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2. Lokasi Penelitian. Sumber: Google Earth, 2020

Sampel dalam penelitian ini adalah endapan sinter silika berupa lumpur, suhu permukaan air panas, dan sampel air di mata air panas Waya Makawa, Desa Ploly, Pulau Makian, Maluku Utara. Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

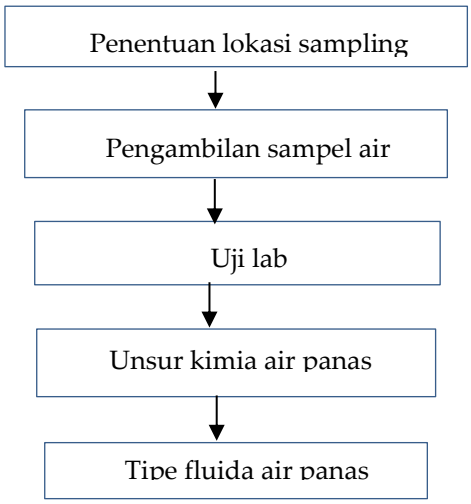
1. Karakterisasi sinter silika
   Endapan lumpur di sekitar air panas sebelum dianalisis menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*), maka terlebih dahulu diberikan perlakuan berupa preparasi.
2. Pengukuran suhu permukaan air panas
   Pengukuran suhu permukaan dilakukan secara *in situ* pada air panas Waya Makawa dengan menggunakan sensor suhu berupa termokopel.
3. Uji Laboratorium sampel air panas
   Sampel air yang diambil kemudian dilakukan uji laboratorium untuk mengetahui kandungan kimia.

Air panas diambil secara *in situ* di beberapa titik secara *random sampling* pada sumber mata air panas dengan menggunakan sensor suhu termokopel. Tahapan yang dilakukan sebelum pengambilan sampel adalah mengukur suhu permukaan air panas dengan menggunakan sensor suhu dengan skema seperti Gambar 3.



Gambar 3. Skema Pengolahan Data suhu permukaan

Untuk uji lab, sampel air diambil dengan metode *Purposive sampling* untuk mengetahui unsur-unsur kimia dari mata air panas yang ditunjukkan pada Gambar 4. Air diambil pada kedua lokasi dengan dua ulangan, dengan penambahan HNO3 sebagai pengawet pada kadar 0,1% dari volume sampel. Sinter silika diberi label A, B, C, dan D sesuai dengan pengambilan sampel pada lima titik yang berbeda secara *purpossive sampling*. Setelah itu sampel yang dicuci dengan Aquades kemudian diendapkan. Untuk mempercepat pengendapan, maka sinter silika yang berbentuk koloid diletakkan di atas magnet permanen, kemudian dikeringkan di di bawah lampu selama 24 jam. Setelah itu, sampel digerus dan didapatkan silika bubuk.



Gambar 4. Skema Pengolahan Data Tipe air panas bumi

Sampel endapan silika yang peroleh akan diuji dengan metode analisis XRF (*X-Ray Fluorescence*) untuk mengetahui kandungan mineral materialnya. Kemudian untuk sampel air diukur nilai resistivitas material dengan menggunakan alat *conductivitymeter*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel sinter silika yang diambil dari Air Panas Waya Makawa, Desa Ploly Pulau Makian berwarna hitam pekat. Sebelum sampel dianalisis dengan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*), maka akan diberikan perlakuan dalam bentuk preparasi. Preprasi dapat dilihat pada Gambar 5 dimulai dengan mengambil sampel yang telah dimasukkan dalam wadah. Sampel sebanyak 30 gr dipindahkan ke gelas ukur untuk dicuci dengan Aquades 100 ml sebanyak 15 kali. Setelah itu dipindahkan ke cawan petri untuk dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100^{o}C sampai kering. Fasa kering ini dapat dilihat sampel berwarna hitam sedikit kecokelatan, selain itu hasilnya sampel A lebih kasar dibandingkan dengan sampel B. Pencucian ini dimaksudkan untuk mengurangi residu yang tidak diinginkan saat karakterisasi.

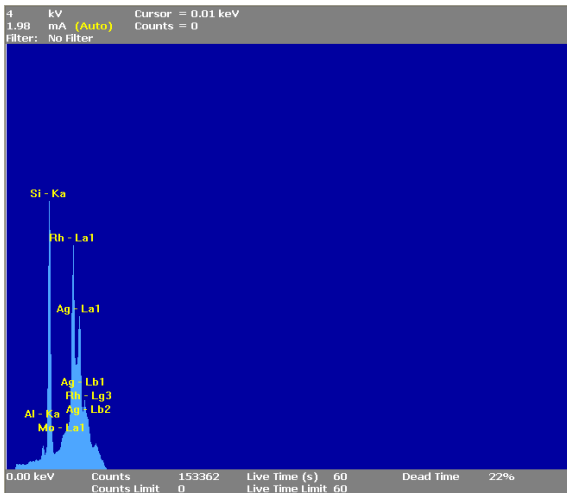
Gambar 5. Preparasi sampel sinter silika uji XRF. (a) Pencucian Sinter Silika dengan Aquades, (b) Sinter Silika fasa koloid setelah dicuci, (c) Pengeringan Sinter Silika dalam Oven, (d) Sinter Silika fasa kering

Kandungan mineral pada lumpur yang diperoleh dengan menggunakan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) dapat dilihat pada gambar 2 yaitu grafik berwarna biru sampel A pada range 40,96 keV dan B pada range 5,12 keV. Keduanya menunjukkan struktur yang muncul mendominasi Si (K_{α}) yaitu fasa dari mineral silika dibandingkan dengan kandungan mineral yang lain

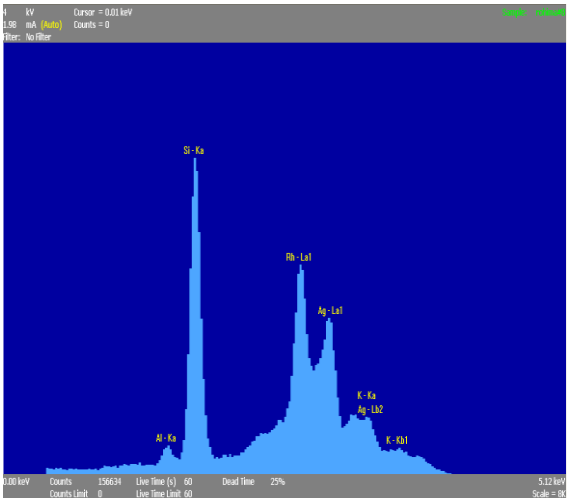
Hasil laboratorium uji kandungan mineral yang diperoleh (Tabel 1) lumpur Waya Makawa diketahui bahwa pada lokasi penelitian memiliki kandungan mineral silika yang di atas 50%. Titik 1 memiliki kandungan mineral silika 54,49%, sedangkan pada titik 2 lebih tinggi yaitu sebesar 57,84%.

Tabel 1. Kandungan Mineral Sampel Lumpur. Sumber: Analisis Data (2020)

Mineral	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	Al_2O_3	TiO_2
Titik 1 (Sampel A)	54,49 %	25,03%	9,89%	7,59%	1,38%
Titik 2 (Sampel B)	57,84%	21,12%	11,26%	6,66%	1,21%



(a)



(b)

Gambar 6. (a) Grafik Sampel A pada titik 1, dan (b) Grafik Sampel B pada titik 2

Silika juga puncak lebih tinggi dibanding mineral lain dilihat dilihat dari grafik sampel A pada titik 1, dan sampel B titik 2 yang ditunjukkan pada Gambar 6. Hal ini disebabkan karena pada titik 1 lebih banyak mengandung feri oksida (Fe_2O_3). Terdapatnya kandungan yang didominasi Fe dan Al yang merupakan penyusun batuan andesit yang membentuk silika di sekitar sumber air panas Waya Makawa (Yuliandini & Putra, 2013).

Batuan reservoir memiliki karakteristik yang berbeda-beda, hal ini menyebabkan adanya perbedaan kandungan mineral pada tempat terbentuknya air panas. Karakteristik batuan *reservoir* seperti suhu dapat mempengaruhi perbedaan kandungan mineral yang membentuk endapan silika (Dona & Putra, 2016) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

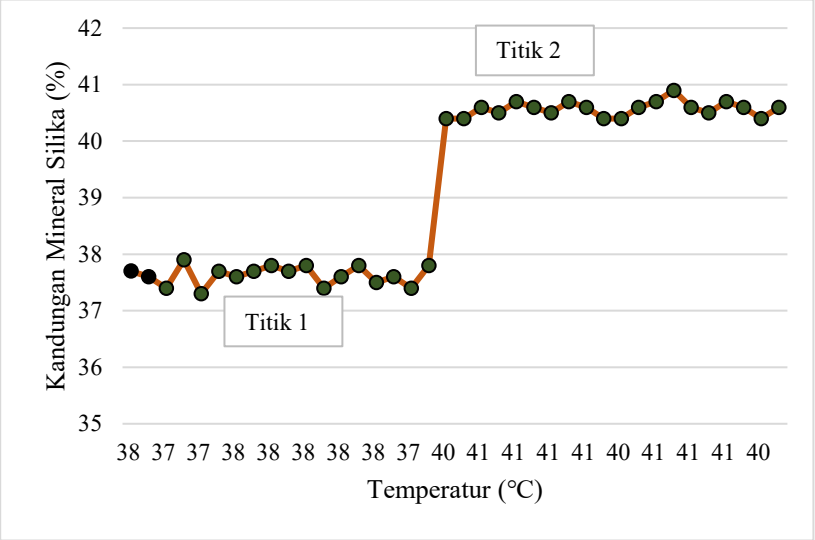
Data suhu permukaan yang diperoleh pada tabel 1, diperoleh menggunakan sensor suhu didapatkan rata-rata temperatur pada titik 1 yaitu 37,6^{o}C, sedangkan pada titik 2 meningkat 40,6^{o}C, diketahui bahwa, semakin ke dalam maka suhu akan menjadi lebih tinggi dari suhu permukaan yang terukur. Untuk mengetahui potensi energi panas bumi maka harus melakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan Geotermometer Na-K-Ca, sehingga dapat mengetahui suhu reservoir panas bumi.

Pengambilan data suhu dilakukan pengulangan di setiap titik sebanyak 20 kali. Rata-rata temperatur permukaan pada titik 1 terlihat lebih rendah dibandingkan titik 2. Perbedaan ini tidak terlalu signifikan, karena diambil dari mata air yang sama dan hanya dibatasi oleh dinding pembatas. Selain itu, titik 1 lebih banyak dipakai untuk tempat pemandian air panas oleh masyarakat setempat, sedangkan titik 2 kurang dipakai untuk aktivitas warga.

Tabel 2. Suhu Permukaan Air Panas di Lokasi pengambilan sampel. Sumber: Analisis Data (2020)

Titik	Rata-rata Suhu Air Panas (^{o}C)
1	37,6
2	40,6

Sesuai dengan hasil analisis statistik korelasi sederhana didaptkan nilai r sebesar 0,72 yang menunjukkan terdapat hubungan yang kuat antara suhu permukaan air panas Waya Makawa dari kandungan mineralnya dapat dilihat pada Gambar 7. Hasil uji laboratorium dengan menggunakan metode analisis XRF (*X-Ray Fluorescence*) diperoleh kandungan mineral silika pada titik 1 lebih rendah dibandingkan dengan titik 2. Ini sejalan dengan R.Fournier (Fournier, 1981) mengatakan bahwa kandungan mineral silika yang semakin besar dikandung suatu material maka keadaan suhunya akan semakin tinggi, ini menjelaskan bahwa mineral silika sebagai fungsi suhu dan tidak dipengaruhi oleh tekanan ataupun suhu dari luar. Mineral silika dan suhu permukaan air panas memiliki hubungan yang linear (Noguchi, 1982).



Gambar 7. Grafik Interaksi Endapan Silika (%) terhadap suhu permukaan Air Panas (℃) Waya Makawa.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Kandungan Unsur Kimia Sumber: Analisis data (2020)

Unsur	Satuan	Sampel A	Sampel B	Rata-rata
Suhu (T)	°C			
pH lab.	-	7,71	7,70	7,70
Natrium (Na)	mg/L	0,39	0,67	0,53
Kalium (K)	mg/L	1,99	2,08	2,03
Mangan (Mn)	%	0,535	0,43	0,49
Kalsium (Ca)	%	7,07	8,05	7,56
Silika (SiO_2)	mg/L	0,49	0,39	0,44
Sulfat (SO_4)	mg/L	26,41	25,38	25,89
HCO_3	mg/L	105,22	86,92	96,07
Klorida (Cl)	-	392,64	254,71	323,68
Sulfida (H_2S)	mg/L	< 0,001	< 0,001	-
Besi (Fe)	%	17,51	14,77	16,14
DHL	mS/cm	1,59	1,56	1,57
TDS	g/L	1,02	0,99	1,01
Salinitas	%	0,08	0,08	0,08

Hasil pengukuran unsur kimia di laboratorium untuk sampel fluida yang berasal dari 2 titik di lokasi air panas Waya Makawa, diperoleh beberapa kandungan kimia yang menjadi penentu tipe fluida dan ditunjukkan pada Tabel 3.

Nilai pH pada air permukaan akan lebih besar dibandingkan pada air di kedalaman. Nilai pH yang diperoleh dapat digunakan untuk mengindikasikan tipe fluida (air panas) dan tergantung dari unsur-unsur kimia yang terkandung di dalamnya (Jamaluddin & Umar, 2017). Mata air panas yang termasuk dalam kategori netral ini merupakan mata air panas yang bukan tipe fluida asam sulfat, sulfat klorida, dan karbonat. Hal ini karena pH netral akan mencegah terjadinya pelarutan logam berat (Ningrum et al., 2019).

Penentuan karakteristik sistem panas bumi termasuk tipe fluida dilakukan dengan analisis geokimia (Emianto & Aribowo, 2011). Data pengukuran unsur kimia yang digunakan untuk penentuan tipe fluida adalah kandungan relatif klorida (Cl), sulfat (SO_4), dan

bikarbonat (HCO_3). Hasil pengukuran kandungan unsur kimia di laboratorium untuk 2 titik lokasi, diperoleh kandungan relatif klorida (Cl) rata-rata mencapai 323,68 mg/L, kandungan relatif sulfat (SO_4) rata-rata berkisar 25,89 mg/L, dan kandungan relatif bikarbonat (HCO_3) rata-rata berkisar 96,08 mg/L.

Data kandungan relatif rata-rata Cl, SO4, dan HCO3 dilakukan perhitungan tipe fluida (air panas) sehingga diperoleh persentase senyawa dan kandungan dengan menggunakan formula menurut Nicholson, 1993. Diperoleh kandungan rata-rata kandungan Cl, SO_4, dan HCO_3 adalah 445,65 m sedangkan untuk hasil persentase (%) rata-rata senyawa dari tiap kandungan relatif Cl, SO_4, dan HCO_3 dapat dilihat pada Tabel 4.

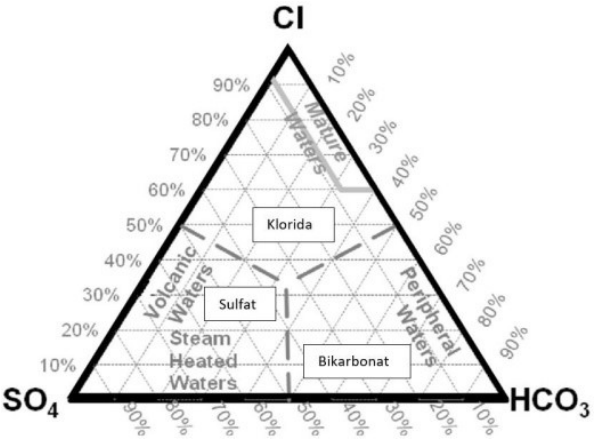
Tabel 4. Persentase kandungan relatif unsur Cl, SO_4, dan HCO3. Sumber: Analisis data (2020

Unsur	Persentase (%)
Klorida (Cl)	72,15
Sulfat (SO4)	5,98
HCO3	21,88

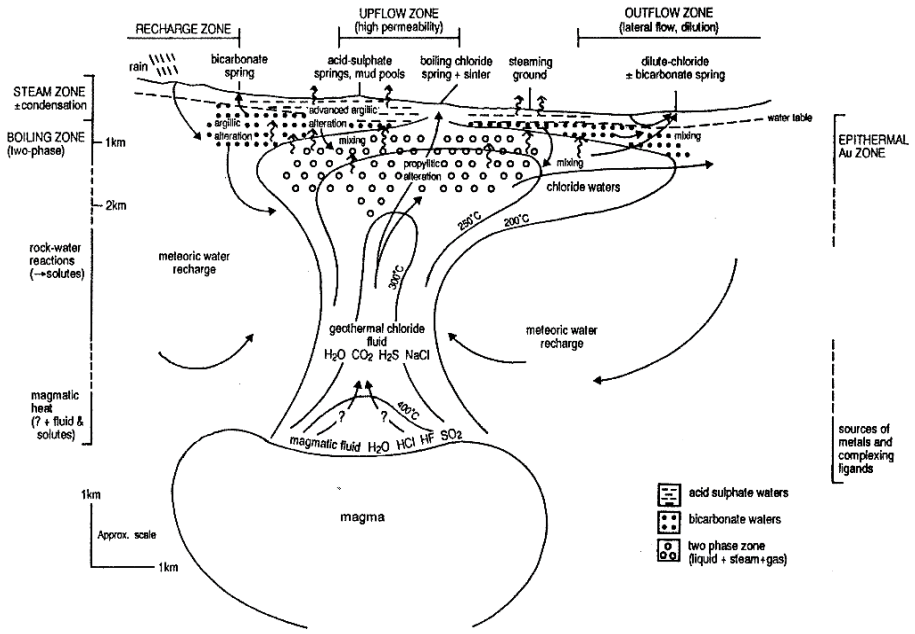
Hasil persentase (%) rata-rata senyawa dari tiap kandungan relatif Cl, SO_4, dan HCO_3 yang telah diperoleh, selanjutnya dianalisis dengan menggunakan diagram Trilinear oleh Nicholson, 1993 dalam menentukan tipe fluida (air panas) yang ditunjukkan pada Gambar 3. Terlihat dari dominannya kandungan unsur relatif klorida (Cl) rata-rata mencapai 323,68 mg/L atau persentase senyawa berkisar 72,15 %. Maka, berdasarkan analisis dengan menggunakan diagram trilinear dalam penentuan tipe fluida (air panas), dapat disimpulkan bahwa air panas Waya Makawa merupakan tipe air alkali klorida dan merupakan *immature water*, serta indikasi dari daerah zona permeabel tinggi (sesar). Kandungan Cl yang tinggi disebabkan adanya aliran langsung dengan reservoir dalam dari sistem panas bumi atau pencampuran air laut dengan air termal atau air permukaan (Ningrum et al., 2019). Kandungan kimia pada air panas Waya Makawa masih aman untuk dijadikan tempat wisata pemandian umum air panas.

Daerah ini dikontrol oleh topografi lokal yang sangat signifikan pada hidrologi di daerah mata air panas. Sistem dominasi air panas ini berada pada relief rendah yang ditunjukkan pada Gambar 8, mengalami alterasi dengan karakteristik silika, memiliki cadangan sinter silika, dan banyak terjadi di sistem patahan tektonik.

Komposisi kimia yang diperoleh secara lengkap di semua titik mata air panas di di suatu daerah dapat kita gunakan untuk menghasilkan distribusi spasial berbagai jenis air panas. Informasi mengenai kondisi struktur bawah permukaan dan sistem hidrologinya akan lebih detil ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 8. Diagram Trilinear Tipe Fluida (air panas) . Sumber: (Nicholson, 1993)



Gambar 9. Struktur sistem geotermal yang didominasi cairan dalam pengaturan relief rendah.
Sumber: (Nicholson, 1993)**.**

KESIMPULAN

Beradasarkan analisis pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa hasil uji kandungan mineral pada sampel lumpur Waya Makawa memiliki kandungan mineral silika lebih dari 50%. Titik 1 memiliki kandungan mineral silika 54,49%, sedangkan pada titik 2 lebih tinggi yaitu sebesar 57,84%. Temperatur permukaan yang diperoleh menggunakan sensor suhu didapatkan rata-rata temperatur pada titik 1 37,6^{o}C, sedangkan pada titik 2 meningkat 40,6^{o}C. Hubungan antara suhu permukaan silika dengan kandungan mineral yang terdapat pada air panas Waya Makawa sangat signifikan, semakin tinggi suhu maka semakin besar kandungan mineral silika yang terdapat pada titik tersebut. Hasil analisis kandungan kimia menunjukkan bahwa air panas Waya Makawa merupakan tipe fluida alkali klorida dan merupakan *immature water*, serta indikasi dari daerah zona permeabel tinggi dan banyak terjadi di sistem patahan tektonik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Universitas Khairun atas Hibah Penelitian Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Khairun Anggaran Tahun 2020 yang telah diberikan untuk menyelesaikan penelitian ini dengan baik dan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

Collepardi, M., Olagot, J. J. O., Skarp, U., & Troli, R. (2002). Influence Of Amorphous Colloidal Silica On The Properties Of Self-Compacting Concretes. *Proceedings of the International Conference "Challenges in Concrete Construction - Innovations and Developments in Concrete Materials and Construction" Dundee, Scotland, UK, 9-11 September 2002.*, 473 – 483.

Dona, R. M., & Putra, A. (2016). Hubungan Karakteristik Sinter Silika dan Temperatur Permukaan Mata Air Panas Studi Kasus : Mata Air Panas Bawah Kubang , Garara dan. *Jurnal Fisika Unand*, *5*(3), 199–204.

Emianto, Y. B., & Aribowo, Y. (2011). Studi Geokimia Fluida Panasbumi Daerah Prospek Panasbumi Nglimut, G. Ungaran Kecamatan Limbangan, Kabupaten Kendal Jawa Tengah. *Jurnal Teknik*, *32*(3), 230–233.

Endovani, R., & Putra, A. (2016). Analisis Konduktivitas Termal dan Porositas Sinter Silika Sumber Mata Air Panas di Sapan Maluluang , Kecamatan Alam

Pauh Duo , Kabupaten Solok Selatan. *Jurnal Fisika Unand*, *5*(1), 65–72.

Fournier, R. . (1981). Application of Water Geochemistry Geothermal Exploration and Reservoir Engineering, "Geothermal System: Principles and Case Histories." *Geothermal System: Principles and Case Histories. John Wiley & Sons*.

Iler, R. K. (1979). *Chemistry of Silica - Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties and Biochemistry-John Wiley & Sons (1979).pdf*. John Wiley & Sons, Inc.

Jamaluddin, & Umar, E. P. (2017). Karakteristik Fisik Dan Kimia Mataair Panas Daerah Barasanga Kabupaten Konawe Utara ,. *Jurnal Geocelebes*, *1*(2), 62–65.

Kriswarini, R., Anggraini, D., Djamaludin, A., Analisis, U., Mg, U., Dan, M., Dalam, F., & Aluminum, P. (2010). Validasi Metoda Xrf (X-Ray Fluorescence) Secara Tunggal Dan Simultan Untuk Analisis Unsur Mg , Mn Dan Fe Dalam Paduan Aluminum. *Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir*, *November*, 273–278.

Munasir, Widodo, Triwikantoro, Zainuri, M., & Darminto. (2012). Perbandingan Massa Kalium Hidroksida Pada Ekstraksi Sio2 Orde Nano. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Pendidikan Sains VII UKSW*, 40–44.

Nicholson, K. (1993). *Geothermal Fluids (Chemistry and Exploration Techniques)*. Springer-Verlag.

Ningrum, R. W., Aryuni, V. T., & Pambudi, N. A. (2019). Geothermal system characteristics on Northern Ternate region , Indonesia based on interpretation of magnetic anomalies Geothermal system characteristics on Northern Ternate region , Indonesia based on interpretation of magnetic anomalies. *3rd International Geothermal Conference GEOHEAT 2019*, 10. https://doi.org/10.1088/1755-1315/367/1/012027

Noguchi, K. (1982). Geochemical Nature of Hot Spring Waters in Hot Springs National Park of Arkansas. *Journal of the Balneological Society of Japan*, *33*(2), 77–82.

Saptadji, N. M. (2001). *Teknik panasbumi*. ITB.

Sasongko, Y., & Mulyana R, D. (1999). *Laporan Pemetaaan Geologi Gunungapi Kie Besi (Makian)*.

Singarimbun, A., & Irsamukhti, R. (2011). Estimasi distribusi temperatur, entalpi dan tekanan dalam reservoir panas bumi. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, *01*(01), 31–39.

Wohletz, K., & Heiken, G. (1992). *Volcanology and Geothermal Energy*. University of California Press.

Yuliandini, A., & Putra, A. (2013). Pngaruh Formasi Batuan Terhadap Karakteristik Hidrokimia Lima Sumber Mata Air Panas di Kecamatan Alam Pauah Duo, Kabupaten Solok Selatan. *Jurnal Fisika Unand*, *2*(4), 212–219.