

Studi Struktur Mikro dan Jenis Mineral Batuan Tanah Beruap di Gunung Soputan Minahasa

*) Jonathan J. Wuisan, Donny R. Wenas, Alfrie M. Rampengan, dan Cyrke A. N. Bujung

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

*e-mail: 18503016@unima.ac.id

Diterima 3 Oktober 2022; Disetujui 17 Oktober 2022

ABSTRAK

Panas bumi merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai salah satu energi terbarukan. Keberadaan sumber panas bumi ditandai dengan adanya manifestasi panas bumi yang muncul di permukaan bumi. Provinsi Sulawesi Utara merupakan salah satu daerah yang memiliki batuan alterasi yang banyak ditemukan di daerah manifestasi Panas bumi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui komposisi unsur dan jenis mineral pada batuan tanah beruap di Gunung Soputan Minahasa Provinsi Sulawesi Utara. Metode yang digunakan adalah metode electron beam pada SEM, dan metode energy dispersive X-ray spectroscopic serta spektroskopi FTIR. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa komposisi unsur batuan tanah beruap di Gunung Soputan Minahasa Provinsi Sulawesi Utara adalah Al, Si, dan Fe dengan persentase kandungan Al 8,53 persen, Si 87,13 persen, dan Fe 4,34 persen. Jenis mineral batuan pada tanah beruap di Gunung Soputan Kabupaten Minahasa diperoleh mineral kuarsa dan magnetite, yang didominasi oleh kuarsa.

Kata kunci: Panas Bumi, Komposisi Unsur, Jenis Mineral, Gunung Soputan

ABSTRACT

Geothermal is one of the natural resources that has great potential to be used as a renewable energy. The existence of geothermal sources is characterized by the presence of geothermal manifestations that appear on the earth's surface. North Sulawesi Province is one of the areas that have alteration rocks that are commonly found in geothermal manifestation areas. The purpose of this study was to determine the elemental composition and types of minerals in steaming ground at Mount Soputan in Minahasa, North Sulawesi Province. The method used is the electron beam method on SEM, and the energy dispersive X-ray spectroscopic method and FTIR spectroscopy. The results obtained indicate that the elemental composition of the steaming ground in Mount Soputan in Minahasa, North Sulawesi Province is Al, Si, and Fe with the percentage content of Al 8.53 percent, Si 87.13 percent, and Fe 4.34 percent. Types of rock minerals on the steaming ground at Mount Soputan, Minahasa Regency obtained quartz and magnetite minerals, which are dominated by quartz.

Keywords: *Geothermal, Element Composition, Types of Rock Minerals, Mount Soputan.*

1. PENDAHULUAN

Panas bumi merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai salah satu energi terbarukan. Energi panas bumi ini berasal dari aktivitas tektonik di dalam bumi. Tenaga panas bumi di Indonesia merupakan energi terbarukan yang semakin signifikan. Sebagai hasil dari geologi vulkaniknya, sering dilaporkan bahwa Indonesia memiliki 40% potensi sumber daya panas bumi di dunia, diperkirakan mencapai 28.000 megawatt (MW) (Allard, 2010). Dengan pencapaian 2.133 MW, ini menempatkan Indonesia di tempat kedua di dunia setelah Amerika Serikat dalam penghasil tenaga panas bumi (Richter, 2020).

Provinsi Sulawesi Utara merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki potensi panas bumi. Salah satu daerah yang memiliki potensi panas bumi yaitu Gunung Api

Soputan yang terletak di Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara, dengan posisi geografis di Latitude 1.1468°LU, Longitude 124.7614°BT. Berdasarkan bentuk morfologinya, Gunungapi Soputan dan sekitarnya dapat dikelompokkan ke dalam tiga satuan morfologi yang meliputi satuan morfologi tubuh Gunung Api, satuan morfologi perbukitan dan morfologi dataran (Basuki dkk, 2007).

Batuan panas bumi memiliki komposisi yang bervariasi antara lain olivine, andesit piroksen, andesit hornblende dan gabro, batuan ubahan juga dapat dijumpai pada daerah Sulawesi Utara, biasanya ditemukan disekitar fumarol, mata air panas, tanah beruap dan sebagainya. Batuan panas bumi memiliki komposisi yang berbeda pada umumnya, yaitu pada batuan panas bumi di Gunung Soputan Minahasa. Perubahan komposisi merupakan hasil nyata dari proses reaksi kimiawi antara

fluida hidrotermal dengan batuan yang dilewatinya dan menyebabkan berubahnya mineral-mineral primer menjadi mineral ubahan (alteration minerals). Untuk itu agar mendapat informasi mengenai gugus fungsi dan komposisi mineral batuan teralterasi di daerah tersebut digunakan alat Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX) untuk mengetahui unsur serta struktur mikro permukaan material dan Spektrofotometer Fourier Transform Infra-Red (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsinya.

2. KAJIAN TEORI

Konsep Panas Bumi

Dalam Bahasa Yunani, kata “geo” berarti bumi dan kata “thermal” berarti panas. Jadi, ketika digabungkan kata geothermal memiliki arti panas bumi. Energi panas bumi sendiri dihasilkan dan disimpan di dalam inti bumi. Jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil, panas bumi merupakan sumber energi bersih dan hanya melepaskan sedikit gas rumah kaca.

Menurut UU No. 27 Tahun 2003 Tentang Panas Bumi, sumber daya panas bumi adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, dan batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetic semuanya tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan tenaga listrik atau pemanfaatan langsung lainnya.

Sistem panas bumi di Indonesia terjadi berdasarkan pergerakan lempeng. Menurut Saptadji (2001), bahwa ada tiga lempengan yang berinteraksi di Indonesia, yaitu lempeng Pasifik, lempeng India-Australia dan lempeng Eurasia. Tumbukan yang terjadi antara ketiga lempeng tektonik tersebut telah memberikan peranan yang sangat penting bagi terbentuknya sumber energi panas bumi di Indonesia.

Tumbukan antar lempeng tersebut dapat terjadi secara konvergen, divergen, ataupun transform. Akibat adanya tumbukan antar lempeng, terbentuklah zona subduksi dimana akan terjadi sistem panas bumi karena zona subduksi merupakan jalur keluarnya magma menuju permukaan. Sumber panas bumi yang terbentuk di kulit bumi berlangsung dengan suatu model sebagai berikut:

- a. Adanya sumber panas bumi, bisa berupa magma, atau sisa dari lava yang di erupsi (sisa aktif masa lalu), pergerakan sesar aktif,

- b. Persediaan air tanah yang cukup dan sirkulasinya dekat dengan sumber panas bumi, agar terbentuk uap air panas.
- c. Adanya batuan “porous” sebagai batuan reservoir yang dapat menyimpan sumber uap dan air panas.
- d. Adanya caps rock yang dapat menahan hilangnya uap dan air panas.
- e. Panasnya harus mencapai suhu tertentu, biasanya di atas 180°C.

Sistem Panas Bumi

Energi panas bumi adalah energi panas yang terdapat dan terbentuk di dalam kerak bumi. Temperatur di bawah permukaan bumi bertambah seiring bertambahnya kedalaman dengan temperatur gradien panas bumi rata-rata 250 C/km. Suhu di pusat bumi belum dapat ditentukan dengan pasti, namun diperkirakan memiliki suhu antara 4.400 – 6.000 0C. Menurut Pasal 1 UU No. 27 Tahun 2003 tentang Panas Bumi: “Panas Bumi adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, dan batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetic semuanya tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem Panas Bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan.”

Menurut Hochstein dan Brown (2000), sistem panas bumi atau Geothermal System adalah istilah umum yang digunakan untuk menggambarkan perpindahan panas secara alamiah di kerak bumi dimana panas berpindah dari sumber panas ke permukaan.

Adanya suatu sumber daya panas bumi di bawah permukaan sering kali ditunjukkan dengan adanya manifestasi panas bumi di permukaan.

Dasar Perpindahan Panas

Panas telah diketahui dapat berpindah dari tempat dengan temperature lebih tinggi ke tempat dengan temperature lebih rendah. Hukum pencampuran panas juga terjadi karena panas itu berpindah, sedangkan pada calorimeter, perpindahan panas dapat terjadi dalam bentuk pertukaran panas dengan luar sistem. Jadi pemberian atau pengurangan panas tidak saja mengubah temperature atau fasa zat suatu benda secara local, melainkan panas itu merambat ke atau dari bagian lain benda atau tempat lain. Peristiwa ini disebut perpindahan panas.

Menurut penyelidikan, perpindahan tenaga panas dapat dibagi dalam beberapa golongan cara perpindahan.

a. Konduksi

Konduksi adalah perpindahan panas melalui zat padat yang tidak ikut mengalami perpindahan. Artinya, perpindahan panas/kalor pada suatu zat tersebut tidak disertai dengan perpindahan partikel-partikelnya. Perpindahan panas secara konduksi terjadi melalui batuan.

b. Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas melalui aliran yang zat perantaranya ikut berpindah. Jika partikel berpindah dan mengakibatkan kalor merambat, terjadilah konveksi. Konveksi terjadi pada fluida.

c. Radiasi

Radiasi adalah perpindahan panas tanpa zat perantara. Radiasi biasanya disertai cahaya.

Batuan

Batuan merupakan kumpulan mineral yang sudah dalam keadaan membeku. Dari hasil pengamatan terhadap jenis-jenis batuan, batuan dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok besar.

a. Batuan Beku

Batuan beku atau yang disebut sebagai batuan igneus merupakan jenis batuan dimana proses pembentukannya terjadi dari magma yang telah mengalami pembekuan atau pendinginan. Batuan ini biasanya ada didalam mantel atau kerak bumi. Saat ini setidaknya sudah terdapat 700 jenis batuan beku yang dapat diidentifikasi dan sebagian besar terdapat di bawah kerak bumi.

b. Batuan Sedimen

Batuan sedimen merupakan jenis batuan yang terbentuk di atas permukaan bumi dan dibekukan pada suhu dan tekanan udara yang rendah. Batuan sedimen sebenarnya merupakan bentukan dari batuan yang pernah ada sebelumnya yang sudah terkena berbagai jenis pelapukan dan erosi tanah. Material hasil dari pelapukan dan erosi ini kemudian mengendap di dalam sebuah cekungan dan berkumpul menjadi satu sehingga lambat laun karena adanya tekanan udara dan suhu yang rendah menjadikan kumpulan tersebut sebuah batu baru. Material tersebut kemudian mengeras atau membentuk dan

mengalami litifikasi sehingga menjadikan sebuah batuan sedimen.

c. Batuan Metamorf

Batuan metamorf atau yang juga sering disebut sebagai batuan malihan. Batuan metamorf merupakan sebuah batuan yang mengalami perubahan atau transformasi dari batuan lainnya yang sudah ada sebelumnya dan dibersama dengan adanya proses metamorfosa sehingga membentuk bentuk baru yang berbeda dengan jenis batuan sebelumnya. Jumlah dari batuan metamorf di dalam bumi ini cukup banyak dan pembentukannya sangat mudah karena adanya kedalaman tempat yang sangat dalam, adanya tekanan udara yang sangat rendah atau tinggi dan tekanan dari batuan yang sudah ada di atasnya.

Proses pembentukan batuan metamorf juga bisa terjadi karena adanya tabrakan lempeng benua yang bisa menyebabkan adanya tekanan horizontal, distorsi dan gesekan pada lempeng tersebut. Batuan metamorf juga bisa terbentuk karena adanya pemanasan dari magma yang ada di dalam perut bumi

Alterasi dan Mineral

Alterasi mineral mengacu pada berbagai proses alam yang mengubah komposisi kimia mineral atau kristalografi (Kerr, 1947). Alterasi merupakan komposisi mineralogy batuan (dalam keadaan padat) karena adanya pengaruh suhu dan tekanan yang tinggi dan tidak dalam kondisi isokimia menghasilkan mineral lempung, kuarsa, oksida atau sulfida logam. Proses alterasi merupakan peristiwa sekunder, berbeda dengan metamorfisme yang merupakan peristiwa primer. Alterasi terjadi pada intrusi batuan beku yang mengalami pemanasan dan pada struktur tertentu yang meningkatkan masuknya air meteoric (meteoric water) untuk dapat mengubah komposisi mineralogy batuan.

Mineral merupakan padatan anorganik alami yang memiliki struktur kristal dan komposisi kimia yang berbeda. Jenis-jenis mineral yang terdapat pada batuan, yaitu:

a. Quartz (kuarsa), dilihat dari ciri-ciri fisiknya seperti kalsit, kuarsa juga memiliki warna yang bervariasi yang umumnya putih, ungu, coklat, bahkan tak berwarna. Hal ini karena magma yang menyusun mineral tersebut bersifat asam.

- b. Albite, merupakan salah satu mineral yang masuk di dalam kelompok feldspar dengan kelas silikat dan sub kelas tektosilikat. Warna dari mineral albit ini biasanya berwarna putih atau tidak berwarna, dengan kilap mineral menyerupai kaca dan akan berubah menjadi kilap tanah lapuk.
- c. Biotite, berbentuk pipih, Kristal berlembar, dan merupakan bidang belahan dari mineral biotite. Berwarna hitam atau coklat namun muscovite berwarna terang, abu-abu terang. Mineral mika bersifat lunak dan dapat digores kuku.
- d. Palygorskite merupakan silikat magnesium berserat. Mineral ini terjadi di sedimen dari danau dan endapan garam, di tanah gurun, dan di material berkapur.
- e. Calcite, tersusun dari calcium carbonate (CaCO_3). Umumnya berwarna putih transparan dan mudah digores dengan pisau. Kebanyakan dari binatang laut terbuat dari calcite mineral yang berhubungan dengan lime stone batu gamping.

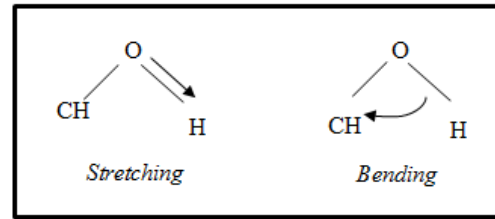
FTIR atau *Fourier Transform Infra-Red* merupakan sebuah Teknik untuk memperoleh spektrum inframerah dari penyerapan atau emisi zat padat atau cair. Secara sederhananya, prinsip kerja FTIR adalah untuk mengidentifikasi senyawa, mendeteksi gugus fungsi, dan menganalisis campuran dan sampel yang dianalisis. Suatu ikatan dalam sebuah molekul dapat mengalami berbagai vibrasi molekul. Secara umum terdapat dua tipe vibrasi molekul:

a. *Stretching* (Vibrasi Regang/Ulur)

Vibrasi sepanjang ikatan sehingga terjadi perpanjangan atau pemendekan ikatan.

b. *Bending* (Vibrasi Lentur/Tekuk)

Vibrasi yang disebabkan oleh sudut ikatan sehingga terjadi pembesaran atau pengecilan sudut ikatan. Gerakan vibrasi yang teramati dalam spektrum inframerah jika menghasilkan perubahan momen dipol ($\mu \neq 0$) sedangkan jika ($\mu = 0$) akan teramati spektrum raman.



Gambar 1. Tipe Vibrasi Molekul

Oleh karena itu suatu ikatan tertentu dapat menyerap energi lebih dari satu panjang gelombang. Contohnya, ikatan O-H menyerap energi pada frekuensi 3330 cm^{-1} ; energi pada panjang gelombang ini menyebabkan kenaikan vibrasi regang (*stretching vibration*) ikatan O-H itu. Suatu ikatan O-H itu juga menyebabkan pada kira-kira 1250 cm^{-1} ; energi pada Panjang gelombang ini vibrasi yang berlain-lainan ini ini disebut cara vibrasi fundamental (*fundamental mode of vibration*).

Tabel 1. Jenis Mineral Berdasarkan Bilangan Gelombang (Wave Number)

No	Nama Mineral	Observed Wave Number (cm^{-1})
1.	Quartz	460 – 462
		510 – 514
		693 – 695
		777 – 779
		1080 – 1084
		1160 – 1164
2.	Hermatite	1610 – 1614
		1870 – 1875
		537 – 540
3.	Maghemite	723 – 728
4.	Microcline Felspar	585 – 588
5.	Palygorskite	516 – 518
		1626 – 1630
		1676 – 1680
6.	Magnetite	630 – 634
7.	Orthoclase Felspar	572
		636 – 638
8.	Gibbsite	667 – 670
9.	Biotite	962 – 965
10.	Montmonillonite	720 – 724
		789
		962 – 965
		1012 – 1016
11.	Kaolinite	1036 – 1038
		3398 – 3402
		3652 – 3656
		3692 – 3696
12.	Albite	1008 – 1112

13.	Calcite	1423 – 1427
14.	Araginite	1784 – 1789
15.	Illite	752 – 756
16.	Organic Carbon	2854 – 2857 2924 – 2928

SEM-EDX

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah jenis mikroskop elektron yang menghasilkan Gambar sampel dengan memindai permukaan dengan sinar elektron yang terfokus dengan pembesaran hingga skala tertentu. Elektron berinteraksi dengan atom dalam sampel, menghasilkan berbagai informasi tentang topografi permukaan dan komposisi sampel. SEM memiliki perbesaran 10 – 3000000x, depth of field 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, depth of field yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri.

Menurut Asrori (2013) fungsi utama dari SEM antara lain dapat digunakan untuk mengetahui informasi-informasi mengenai:

- Topografi, yaitu ciri-ciri permukaan dan teksturnya (kekerasan, sifat memantulkan cahaya, dan sebagainya).
- Morfologi, yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek (kekuatan, cacat pada Integrated Circuit (IC) dan chip, dan sebagainya).
- Komposisi, yaitu data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam objek (titik lebur, kereaktifan, kekerasan, dan sebagainya).
- Informasi kristalografi, yaitu informasi mengenai bagaimana susunan dari butir-butir di dalam objek yang diamati (konduktifitas, sifat elektrik, kekuatan, dan sebagainya).

Energy Dispersive X-Ray (EDAX) digunakan untuk analisis elemental kimia bahan. Kemampuan karakterisasi sebagian besar disebabkan oleh prinsip dasar bahwa setiap elemen memiliki struktur atom yang unik yang memungkinkan serangkaian puncak unik pada spektrum emisi elektromagnetiknya (yang merupakan prinsip utama spektroskopi).

3. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Gunung Soputan, Desa Noongan Tiga, Kecamatan Langowan Barat, Kabupaten Minahasa, Provinsi Sulawesi Utara tepatnya pada koordinat 1.146766°LU, 124.761349°BT. Pengambilan data di lapangan dilakukan pada Selasa, 3 Mei 2022.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- GPS
- Tempat Sampel
- Telepon Pintar
- Alat Tulis Menulis
- Masker
- Sarung Tangan
- Laptop
- SEM-EDAX
- FTIR

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini di ambil dari metode studi literatur, dan metode analisa laboratorium. Setelah menemukan fenomena alam yang terjadi, langkah pertama yang dilakukan yaitu studi literatur sebagai teori dasar penelitian, kemudian dilanjutkan dengan tahap persiapan penelitian dengan mempersiapkan perlengkapan alat dan bahan yang akan dipakai dalam penelitian, selanjutnya mempersiapkan peta geologi atau peta lokasi penelitian. Kemudian masuk dalam kegiatan lapangan di Gunung Soputan, Minahasa dimana dilakukan pengambilan data fisik di lapangan diantaranya pengambilan titik koordinat dan sampel batuan yang akan dianalisis di laboratorium.

Sampel batuan yang diambil di lapangan akan di bawa ke laboratorium untuk di analisis menggunakan alat SEM-EDX dan FTIR. Selanjutnya preparasi sampel untuk mendapatkan serbuk, yaitu dengan menghancurkan sampel batuan sampai menjadi halus sekali atau menjadi serbuk agar pengujian hasil batuan dapat diketahui dengan baik. Sampel batuan dicoating untuk mendapatkan sampel yang konduktif, kemudian pengujian dengan SEM-EDX dan FTIR, serta analisis data untuk mengetahui komposisi unsur dan jenis mineral dalam sampel batuan (Wenas, et al, 2018).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisik Batuan

Data yang diperoleh dari lapangan dapat dilihat pada Tabel 2.

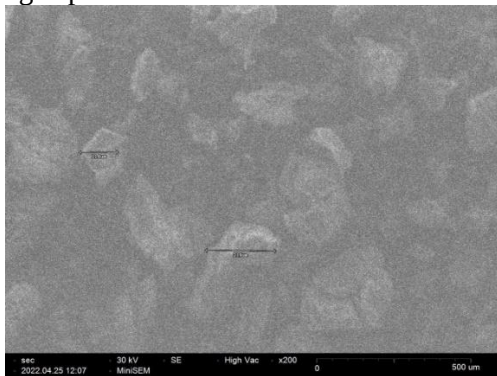
Tabel 2. Pengumpulan Data di Lapangan

Manife stasi	Sam pel	Koordinat		War na
		N	E	
Tanah	Sam			Putih
beruap	pel	1.146	124.761	-
	Titik	766	349	Kuni
	1			ng

Sampel batuan diambil di sekitar manifestasi panas bumi tanah beruap. Sifat fisik batuan dilihat dari warna, tekstur, densitas, struktur dan komposisi mineral. Sampel yang telah diambil merupakan batuan yang berwarna putih, berpori dan terdapat warna kuning.

Analisis Komposisi Mineral Batuan

Gambar 2 merupakan struktur mikro dari sampel batuan di sekitar manifestasi tanah beruap yang dianalisis menggunakan SEM dengan perbesaran 200 $\times$.

**Gambar 2.** Hasil Analisa SEM pada Sampel Batuan Manifestasi Panas Bumi Tanah Beruap

Bisa dilihat ada warna putih pada Gambar 2. yang menunjukkan butiran batuan yang telah ditumbuk hingga halus dan ada warna lebih terang yang dipengaruhi oleh unsur penyusunnya. Berdasarkan hasil pengukuran EDX, terdapat unsur Al, Si, dan Fe. Kandungan unsur yang tinggi yaitu Silika (Si) (Tabel 3).

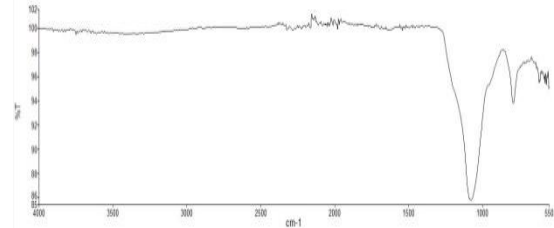
Tabel 3. Hasil pengukuran EDX pada sampel batuan manifestasi panas bumi tanah beruap

Element	Atomic %	Error %
Al K	8,53	9.8
Si K	87,13	3.55
Fe K	4,34	17.66

Hasil Analisis FTIR

Analisis sifat fisis batuan manifestasi ini dilakukan bertujuan untuk memperjelas jenis-jenis mineral yang terkandung pada sampel batuan tersebut. Analisis ini menggunakan alat

spektrofotometer infra merah yaitu Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infra Red*). Dari hasil analisa sampel batuan manifestasi panas bumi tanah beruap di laboratorium fisika menggunakan alat spektroskopi FTIR didapatkan hasil seperti pada Gambar 3.

**Gambar 1.** Hasil Analisa Sampel Menggunakan FTIR

Berdasarkan Gambar 3, dibuatlah Tabel 3.

Tabel 1. Daerah Serapan Senyawa Batuan

No.	Daerah serapan senyawa (cm-1)	Jenis Mineral
1	1080,3	Quartz
2	633,5	Magnetite

5. KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian ini yaitu unsur batuan tanah beruap di Gunung Soputan Kabupaten Minahasa Provinsi Sulawesi Utara adalah Al, Si, dan Fe dengan persentase kandungan Al 8,53 persen, Si 87,13 persen, dan Fe 4,34 persen. Jenis mineral batuan pada tanah beruap di Gunung Soputan Kabupaten Minahasa diperoleh mineral kuarsa dan magnetite, yang didominasi oleh kuarsa. manifestasi panas bumi Gunung Soputan Minahasa dengan menggunakan FTIR yaitu Quartz, Hermatite. Gugus fungsinya C-O Eter, C-H Alkena.

6. REFERENSI

- Allard, T. (2010). Indonesia's Hot Terrain Set to Power Its Future. The Sidney Morning Herald.
- Asrori, Z. (2013). Sintesis Karbon dari Tempurung Kelapa dengan Metode Simple Heating dan Pemurnian Karbon dengan Metode Redoks untuk Aplikasi Bahan Target Karbon (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Basuki dkk, Pengamatan Terpadu Gunung Api Soputan, Sulawesi Utara, Juni 2007, PVMBG.

- Hochstein, M. P., & Browne, P. R. (2000). Surface Manifestations of Geothermal Systems with Volcanic Heat Sources. *Encyclopedia of Volcanoes*, 1, 835-855.
- Kerr, P. F. (1947). Alteration Studies: *American Mineralogist*, Volume 32, 158-162
- Richter, A. (2020). The Top 10 Geothermal Countries 2019. *Think GeoEnergy - Geothermal Energy News*.
- Saptadji, N. M. (2001). *Teknik Panas Bumi*. Bandung, Penerbit ITB.
- Wenas, D.R., Bujung, C.A.N. (2018). Analysis of Mineral Composotin of Alteration Rock in Warm Ground and Steaming Ground in Lahendong North Sulawesi Using SEM-EDX and FTIR. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.28,) 364-367.