

Studi Struktur Mikro dan Jenis Mineral Batuan Mata Air Panas menggunakan SEM-EDX dan FTIR di Kelurahan Woloan Satu Utara Kota Tomohon

Geraldi Saputera Kapoh ^{1)*}, Donny Royke Wenas ²⁾, Alfrie M. Rampengan ³⁾

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

*E-mail: geralkapoh@gmail.com

Diterima 3 Oktober 2023; Disetujui 28 Oktober 2023

ABSTRAK

Daerah sekitar gunung api biasanya terdapat manifestasi panas bumi, salah satunya manifestasi mata air panas yang ada di Kelurahan Woloan Satu Utara Kota Tomohon. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dan komposisi unsur batuan serta jenis mineral batuan pada manifestasi mata air panas di Kelurahan Woloan Satu Utara, Kota Tomohon, Provinsi Sulawesi Utara. Penelitian dilakukan dengan menganalisis sampel batuan menggunakan SEM-EDX dan FTIR. Hasil penelitian menunjukkan komposisi unsur batuan 1 adalah O, Si, dan Al dengan persentase kandungan O 35,76%, Si 58,57%, dan Al 5,67% dan komposisi unsur batuan 2 adalah O dan Si dengan persentase O 47,68% dan Si 52,32%. Dari hasil karakterisasi FTIR, untuk batuan 1 diperoleh jenis mineral kuarsa (SiO_2) dan kaolinite ($2\text{H}_2\text{O Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$). Untuk batuan 2 diperoleh jenis mineral kuarsa.

Kata kunci : Panas Bumi, Struktur Mikro Batuan, Jenis Mineral Batuan, SEM-EDX, FTIR.

ABSTRACT

Volcanoes around area there are usually geothermal manifestations, one of which is the hot springs manifestations in North Woloan Satu Tomohon City. The purpose of this study was to determine the microstructure and elemental composition of rocks as well as the types of rock minerals in the manifestation of hot springs in Woloan Satu Utara, Tomohon City, North Sulawesi Province. The research was carried out by analyzing the rock samples using SEM-EDX and FTIR. The results showed that the elemental composition of rock 1 is O, Si, and Al with content percentages O 35,76%, Si 58,57%, and Al 5,67% and the elemental composition of rock 2 is O and Si with content percentage O 47,68% and Si 52,32%. From the results of FTIR characterization, rock 1 obtained mineral types were Quartz (SiO_2) and Kaolinite ($2\text{H}_2\text{O Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$). and for rock 2 obtained mineral types were Quartz

Keywords : Geothermal, Rock Microstructure, Rock Minerals Type, SEM-EDX, FTIR.

1. PENDAHULUAN

Energi panas bumi di Indonesia merupakan salah satu yang besar di dunia menurut data Badan Geologi-Kementerian ESDM. Indonesia memiliki potensi sebesar 40% energi panas bumi dunia. Energi panas bumi merupakan salah satu yang paling efisien dalam pemanfaatannya, terutama dalam pemanfaatan sebagai energi pembangkit tenaga listrik yaitu sebagai tenaga utama dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Adanya potensi panas bumi biasanya dapat dilihat dengan adanya manifestasi panas bumi berupa: mata air panas, tanah hangat, tanah beruap, fumarol, dan lain lain.

Sulawesi Utara adalah salah satu daerah di Indonesia yang memiliki potensi panas bumi yang besar dengan adanya beberapa gunung api

yang masih aktif. Di daerah sekitar gunung api terdapat banyak manifestasi panas bumi yang nampak, salah satunya manifestasi mata air panas yang ada di kelurahan Woloan Satu Utara. Kelurahan Woloan Satu Utara merupakan Kelurahan yang berada di Kecamatan Tomohon Barat, Kota Tomohon, Sulawesi Utara dan merupakan daerah yang berada di kawasan sekitar kaki Gunung Lokon sehingga terdapat beberapa manifestasi panas bumi yang dapat ditemukan salah satunya mata air panas.

Adanya material panas pada kedalaman beberapa ribu kilometer di bawah permukaan bumi menyebabkan terjadinya aliran panas dari sumber panas tersebut hingga ke permukaan. Hal ini menyebabkan terjadinya perubahan temperatur dari bawah hingga ke permukaan

dengan gradien temperatur rata-rata $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Di perbatasan antara dua lempeng harga laju aliran panas umumnya lebih besar yaitu dapat mencapai $70\text{-}80^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Pada dasarnya sistem panas bumi terbentuk sebagai hasil perpindahan panas dari suatu sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan secara konveksi (Saptadji, 2009).

Dari hasil pengamatan terhadap jenis-jenis batuan, batuan dapat di kelompokkan menjadi tiga kelompok besar, yaitu batuan beku, batuan sedimen, dan batuan malihan atau metamorfis. Kajian-kajian yang telah dilakukan oleh para ahli geologi terhadap batuan menyimpulkan bahwa antara ketiga kelompok tersebut terdapat hubungan yang erat satu dengan lainnya, dan batuan beku dianggap sebagai nenek moyang dari batuan lainnya. Dari sejarah pembentukan bumi diperoleh bahwa pada awalnya seluruh bagian luar dari bumi ini terdiri dari batuan beku. Dengan perjalanan waktu serta perubahan keadaan, maka terjadilah perubahan-perubahan yang disertai dengan pembentukan kelompok-kelompok batuan yang lainnya. Proses perubahan dari satu kelompok batuan ke kelompok lainnya merupakan suatu siklus yang dinamakan daur batuan.

Mineral adalah bahan padat anorganik yang memiliki struktur kristal dan komposisi kimia yang khas pada setiap mineralnya yang berarti terdiri dari unsur-unsur tertentu dalam proporsi tertentu. Pembentukan mineral dapat melalui proses yang sangat panjang, fluida termal yang bereaksi dengan batuan yang kontak dengan fluida tersebut dapat mengubah komposisi keduanya baik batuan maupun fluida itu sendiri. Sistem panas bumi yang aktif adalah tempat dimana reaksi-reaksi ini terjadi dan dapat dilakukan pengukuran fisik dan kimia secara langsung, seperti kristalisasi dari larutan cair atau pendinginan magma. Kondisi fisik dan kimia di suatu lingkungan tertentu dapat mempengaruhi bagaimana mineral dapat terbentuk, misalnya temperatur, tekanan, kelembaban, dan kimia dalam batuan di sekitarnya memiliki peran penting dalam pembentukan mineral.

Karakterisasi struktur mikro pembentuk batuan menggunakan spektroskopi *Scanning Electron Microscopic (SEM)*, *Energy Dispersive X-Ray spectrometric (EDX)* dan jenis mineral menggunakan *Fourier Transform Infra Red (FTIR)* merupakan kajian penting yang dapat memberikan informasi tentang jenis-jenis mineral yang terdapat dalam batuan

(Wenas, et al., 2018). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur mikro dan komposisi unsur batuan pada mata air panas di kelurahan Woloan Satu Utara Kota Tomohon serta jenis mineral batuan pada mata air panas di kelurahan Woloan Satu Utara Kota Tomohon.

2. KAJIAN LITERATUR

Sistem Panas Bumi

Energi panas Bumi atau Geothermal dapat di definisikan sebagai panas yang berasal dari bawah permukaan bumi yang terjadi karena aktivitas non-vulkanik maupun aktivitas vulkanik. Menurut Undang-Undang No. 27 Tahun 2003, panas bumi adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, dan batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetik semuanya tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan.

Keberadaan material panas pada kedalaman beberapa ribu kilometer di bawah permukaan bumi menyebabkan adanya aliran panas dari sumber panas tersebut hingga ke permukaan. Hal ini menyebabkan terjadinya perubahan temperatur dari bawah hingga ke permukaan dengan gradien temperatur rata-rata $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Di perbatasan antara dua lempeng harga laju aliran panas umumnya lebih besar yaitu dapat mencapai $70\text{-}80^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Pada dasarnya sistem panas bumi terbentuk sebagai hasil perpindahan panas dari suatu sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan secara konveksi (Saptadji, 2009)

Manifestasi Panas Bumi

Manifestasi panas bumi merupakan gejala alam yang terjadi ketika adanya aktivitas panas bumi di bawah permukaan akibat konduksi panas atau aktivitas magma dan kemudian muncul ke permukaan yang biasanya ditandai dengan munculnya fluida panas melalui rekahan-rekahan. Dari karakterisasi manifestasi panasbumi di permukaan serta kandungan kimia air kita dapat membuat berbagai perkiraan mengenai sistem panasbumi di bawah permukaan.

Batuan

Hasil pengamatan terhadap jenis batuan, batuan dapat di kelompokkan menjadi tiga kelompok besar, yaitu batuan beku, batuan sedimen, dan batuan metamorf. Menurut Devita (2017), pada

awalnya magma yang keluar dari perut bumi dan membeku karena proses pendinginan menghasilkan batuan beku. Batuan yang lebih dahulu terbentuk mengalami pelapukan dan erosi yang kemudian lapukannya di angkut oleh air dan udara kemudian diendapkan dan berakumulasi di dalam cekungan pengendapan. Material-material sedimen itu kemudian terkompaksi, mengeras, mengalami litifikasi, dan terbentuklah batuan sedimen. Batuan beku dan batuan sedimen dapat berubah bentuk dalam waktu yang sangat lama akibat adanya perubahan temperatur serta tekanan yang kemudian menjadi batuan metamorf. Dengan perjalanan waktu serta perubahan keadaan, maka terjadilah perubahan-perubahan yang disertai dengan pembentukan kelompok-kelompok batuan yang lainnya. Proses perubahan dari satu kelompok batuan ke kelompok lainnya merupakan suatu siklus yang dinamakan daur batuan.

Alterasi Batuan

Alterasi batuan merujuk pada perubahan dalam komposisi, tekstur, atau sifat fisik dari batuan yang terjadi akibat berbagai proses geologis dan kimia. Ini bisa terjadi pada batuan beku, batuan sedimen, atau batuan metamorf. Perubahan ini dapat diakibatkan oleh beberapa faktor seperti suhu, tekanan, komposisi fluida (khususnya pH), dan lamanya reaksi (Browne, 1984). Interaksi antara fluida hidrotermal dengan batuan yang dilewatinya akan menyebabkan terubahnya mineral-mineral primer menjadi mineral ubahan, maupun mineral itu sendiri. Alterasi umumnya terjadi Bersama dengan terbentuknya pengisian rekahan-rekahan oleh fluida hidrotermal yang membentuk urat. Batuan dapat teralterasi dalam persebaran tertentu dan menghasilkan komposisi mineral alterasi yang khas. Pola yang dihasilkan dari persebaran dan komposisi mineral ini membentuk zona alterasi (Idrus dkk, 2021). Proses ini berlangsung dalam jangka yang panjang selama berjuta-juta tahun dan hasil akhir dari proses ini adalah pembentukan tanah, perubahan bentuk lanskap, dan bahkan pembentukan sumber daya alam seperti tambang mineral.

Mineral

Mineral adalah bahan padat anorganik yang memiliki struktur kristal dan komposisi kimia yang khas pada setiap mineralnya yang berarti terdiri dari unsur-unsur tertentu dalam proporsi

tertentu. Pembentukan mineral dapat melalui proses yang sangat panjang, fluida termal yang bereaksi dengan batuan yang kontak dengan fluida tersebut dapat mengubah komposisi keduanya baik batuan maupun fluida itu sendiri. Sistem panas bumi yang aktif adalah tempat dimana reaksi-reaksi ini terjadi dan dapat dilakukan pengukuran fisik dan kimia secara langsung (Browne, 1978), seperti kristalisasi dari larutan cair atau pendinginan magma. Kondisi fisik dan kimia di suatu lingkungan tertentu dapat mempengaruhi bagaimana mineral dapat terbentuk, misalnya temperatur, tekanan, kelembaban, dan kimia dalam batuan di sekitarnya memiliki peran penting dalam pembentukan mineral.

3. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian dilakukan di manifestasi Mata Air Panas yang berada di kelurahan Woloan Satu Utara, Kota Tomohon, Sulawesi Utara. Dengan titik koordinat: 1°19'35"LU 124°49'10"BT.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah GPS, Scanning Electron Microscopic-Energy Dispersive X-Ray spectrometric (SEM-EDX), Fourier Transform Infra Red (FTIR), dan palu geologi. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu bongkahan batuan di daerah manifestasi mata air panas yang berada di kelurahan Woloan Satu Utara, Kota Tomohon, Sulawesi Utara.

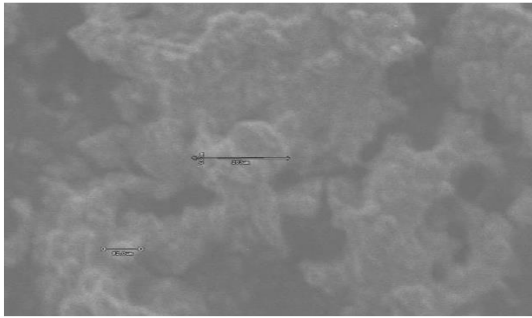
Penelitian ini dimulai dengan studi literatur yaitu dari buku-buku ataupun internet dan penelitian-penelitian terkait, selanjutnya merumuskan masalah apa yang dapat dikaji dalam penelitian tersebut, kemudian pada tahap persiapan dilakukan dengan observasi daerah penelitian, persiapan alat, dan transportasi menuju daerah penelitian, pengambilan sampel batuan dan titik koordinat pada daerah penelitian. Selanjutnya preparasi sampel untuk mendapatkan serbuk, yaitu dengan menghancurkan sampel batuan sampai menjadi serbuk agar pengujian hasil batuan dapat diketahui dengan baik. Selanjutnya, pengujian menggunakan 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

Hasil kandungan dan spektra pada batuan yang dianalisis terlihat secara jelas dengan menggunakan SEM-EDX. Pengujian ini

merupakan hasil analisis dan pengolahan data yang dilakukan dengan menggunakan metode electron beam pada SEM dan pada EDX menggunakan metode energy dispersive x-ray spectrometric. Data SEM digunakan untuk mengidentifikasi jenis mineral secara deskriptif berdasarkan morfologi mineral dan EDX mengidentifikasi kandungan unsur pada sampel untuk memastikan kandungan mineral tersebut.

Gambar 1 menunjukkan morfologi hasil analisis menggunakan SEM-EDX pada sampel batuan 1.



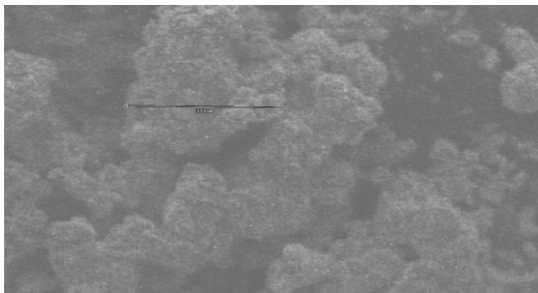
Gambar 1. Hasil SEM pada sampel batuan 1

Dari Gambar 1, hasil SEM pada sampel batuan 1 dengan perbesaran 250 kali, tampak butiran yang tidak homogen. Hasil analisis EDX untuk sampel batuan 1, diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis EDX untuk batuan 1

Element	Atomic (%)	Error (%)
O	35,76	9,37
Al	5,67	14,86
Si	58,57	8,84

Dari Tabel 1, terlihat bahwa unsur Al memiliki persentase terendah yaitu 5,67 persen, Si memiliki persentase tertinggi 58,57 persen dan O 35,76 persen. Gambar 2 menunjukkan hasil SEM untuk batuan 2.



Gambar 2. Hasil SEM pada sampel batuan 2

Dari Gambar 2, hasil SEM pada sampel batuan 2 dengan perbesaran 250 kali, tampak juga butiran yang tidak homogen.

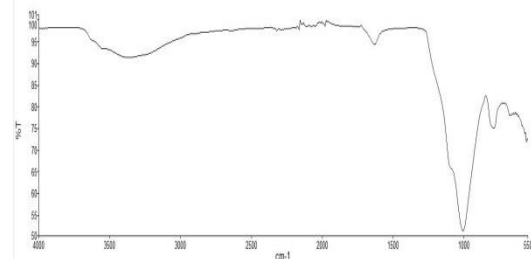
Hasil analisis EDX untuk sampel batuan 2, diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis EDX untuk batuan 2

Element	Atomic (%)	Error (%)
O	47,68	9,21
Si	52,32	8,63

Pada Tabel 2 memperlihatkan persentase unsur yang terkandung pada batuan 2, yaitu oksigen O 47,68 persen dan silika Si 52,32 persen.

Hasil analisis FTIR untuk sampel batuan 1 ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil spektra FTIR untuk batuan 1

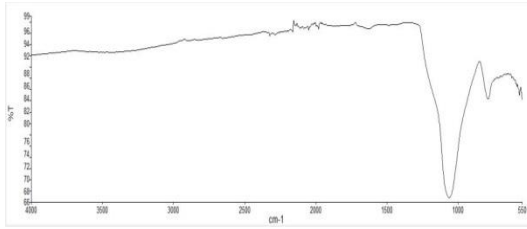
Gambar 3 adalah hasil analisis FTIR yang menunjukkan jenis-jenis mineral yang terkandung dalam sampel batuan 1 berdasarkan bilangan gelombang (cm^{-1}) pada sumbu horizontal dan transmisi (%T) pada sumbu vertikal. Dari Gambar 3, diperoleh Tabel 3.

Tabel 3. Daerah serapan senyawa sampel batuan 1

No.	Daerah serapan senyawa (cm^{-1})	Jenis mineral
1	778,9	Quartz
2	1012,3	Kaolinite
3	1613,5	Quartz
4	3399,1	Kaolinite

Berdasarkan Tabel 3, dapat dijelaskan bahwa bilangan gelombang $778,9 \text{ cm}^{-1}$ merupakan mineral kuarsa (SiO_2). Bilangan gelombang $1012,3 \text{ cm}^{-1}$ merupakan mineral kaolinite, bilangan gelombang $1613,5 \text{ cm}^{-1}$ merupakan mineral kuarsa dan bilangan gelombang $3399,1 \text{ cm}^{-1}$ merupakan mineral kaolinite ($2\text{H}_2\text{O Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$).

Untuk sampel batuan 2, hasil spektra FTIR diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Spektroskopi FTIR untuk batuan 2

Gambar 4 adalah hasil analisis FTIR yang menunjukkan jenis-jenis mineral yang terkandung dalam sampel batuan 2 berdasarkan bilangan gelombang (cm^{-1}) pada sumbu horizontal dan transmisi (%T) pada sumbu vertikal. Berdasarkan Gambar 4, diperoleh Tabel 4.

Tabel 4. Daerah serapan senyawa batuan 2

No.	Daerah serapan senyawa (cm^{-1})	Nama Mineral
1	778,3	Quartz
2	1081,5	Quartz

Dari Tabel 4, untuk sampel batuan 2 diperoleh bilangan gelombang $778,3 \text{ cm}^{-1}$ merupakan jenis mineral kuarsa dan bilangan gelombang $1081,5 \text{ cm}^{-1}$ juga merupakan jenis mineral kuarsa.

Dari hasil karakterisasi FTIR, untuk batuan 1 diperoleh jenis mineral kuarsa dan kaolinite. Untuk batuan 2 diperoleh jenis mineral kuarsa. Hal ini sesuai dengan hasil karakterisasi menggunakan EDX.

5. KESIMPULAN

Komposisi unsur batuan 1 di manifestasi mata air panas Kelurahan Woloan Satu Utara Kota Tomohon adalah O, Si, dan Al dengan persentase kandungan O 35,76 persen, Si 58,57 persen, dan Al 5,67 persen. Komposisi unsur batuan 2 di manifestasi mata air panas Kelurahan Woloan Satu Utara Kota Tomohon adalah O dan Si, dengan persentase O 47,68 persen dan Si 52,32 persen. Jenis mineral batuan 1 diperoleh mineral kuarsa (SiO_2) dan kaolinite ($2\text{H}_2\text{O Al}_2\text{O}_3 2\text{SiO}_2$). Untuk batuan 2 diperoleh jenis mineral kuarsa.

6. REFERENSI

Browne, P.R.L. 1984. Hydrothermal Alteration In Active Geothermal Fields. Annual Review Of Earth and Planetary Sciences Vol. 6;229-248, New Zealand.

Hochstein, M. P. 1994. Classification of Surface Discharge Features and Heat Loss Surveys, Universitas of Auckland, Auckland, 43-108.

Idrus, A., Anastasia D., Titisari. 2021. Buku Panduan Praktikum Geologi Sumber Daya Mineral. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Saptadji, N. 2009. Karakteristik Reservoir Panas Bumi, Bandung.

Saptadji, N. (2006). Update on Geothermal Development in Indonesia, Proc. New Zealand Geothermal Workshop 2006, Auckland, New Zealand.

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.