

**KARAKTERISTIK BATUAN SERPENTINIT DI DESA UEKULI KABUPATEN TOJO
UNA-UNA PROVINSI SULAWESI TENGAH**

¹Muslimin U. Botjing ²Andi Arham Adam. ³Sriyati Ramadhani
^{1,2,3}Program Studi S3 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako
Jl. Soekarno Hatta KM. 9 Telp. (0451) 428618
Email : mn.geo2018@gmail.com

ABSTRAK

Batuan serpentinit adalah salah satu sumber mineral magnesit ini diketahui dengan kandungan unsur magnesium (Mg) yang cukup besar. Pengujian sifat fisik dan kimia batuan serpentinit yang terdapat di lokasi-lokasi tertentu dinilai mempunyai prospek yang cukup besar untuk dapat dimanfaatkan dan dikembangkan. Penelitian dilakukan di Desa Uekuli Kabupaten Tojo Una-Una Provinsi Sulawesi Tengah dengan menggunakan metode *X-Ray Diffraction (XRD)* dan *X-Ray Fluorescence (XRF)*. Hasil analisis analisis XRD diperoleh 4 jenis mineral pada sampel uji ST 02 yaitu olivin sebanyak 3.4% lizardit 72.4% forsterit 18.6% dan ortopiroksin sebanyak 5.6%. Sedangkan pada pada stasiun 09 diperoleh 2 mineral yaitu lizardit 97.5 % sedangkan hematit sebanyak 2.5%. Sedangkan berdasarkan hasil pengujian XRF pada sampel ST 02 memiliki senyawa dominan MgO sebanyak 42.754 % dan SiO₂ sebanyak 43.185%. sama halnya dengan sampel ST 09 memiliki senyawa dominan MgO sebanyak 39.314 % dan SiO₂ sebanyak 40.866 %. Pada hasil analisis tersebut dapat dilihat bahwa kandungan Al₂O₃ dan K₂O cukup rendah sedangkan kandungan MgO dan Fe₂O₃ cukup tinggi. Tingginya kandungan MgO dan SiO₂ merupakan penciри batuan serpentinit dimana pada batuan serpentinit kaya akan mineral magnesium maupun silika.

Kata Kunci: Serpentinit, X-Ray Diffraction (XRD), X-Ray Fluorescence (XRF)

ABSTRACT

Serpentine rock is one of the mineral sources of magnesite this is known by the considerable content of the element magnesium (Mg). Testing the physical and chemical properties of serpentinite rocks found in certain locations is considered to have considerable prospects to be utilized and developed. The research was conducted in Uekuli Village Tojo Una-Una Regency Central Sulawesi Province using X-Ray Diffraction (XRD) and X-Ray Fluorescence (XRF) methods. The results of XRD analysis obtained 4 types of minerals in the ST 02 test sample namely olivine as much as 3.4% lizardite 72.4% forsterite 18.6% and orthopyroxine as much as 5.6%. While at station 09 2 minerals were obtained namely lizardite 97.5% while hematite was 2.5%. Meanwhile based on the results of XRF testing the ST 02 sample has a dominant compound of MgO as much as 42.754% and SiO₂ as much as 43.185%. Similarly the ST 09 sample has a dominant compound of MgO as much as 39.314% and SiO₂ as much as 40.866%. In the analysis results it can be seen that the content of Al₂O₃ and K₂O is quite low while the content of MgO and Fe₂O₃ is quite high. The high content of MgO and SiO₂ is a characteristic of serpentinite rocks where serpentinite rocks are rich in magnesium and silica.

Keywords: Serpentine, X-Ray Diffraction (XRD), X-Ray Fluorescence (XRF)

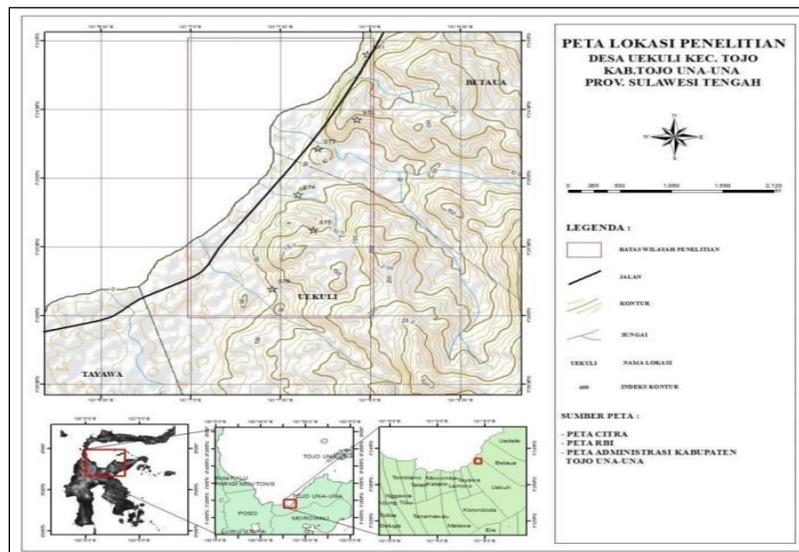
1. Pendahuluan

Serpentinit merupakan batuan hasil alterasi hidrotermal dari batuan Ultrabasa bila mineral-mineral olivin dan piroksin jika teralterasi akan membentuk mineral serpentin. Serpentinit sangat umum memiliki komposisi batuan berupa monomineralik serpentin batuan tersebut dapat terbentuk dari serpentinisasi dunit dan peridotit (Waheed 2002).

Berdasarkan kajian data peta geologi lembar Poso potensi batuan serpentinit di Daerah Uekuli Kecamatan Tojo Kabupaten Tojo Una-Una Provinsi Sulawesi Tengah terbentuk dari proses pengangkatan yang disertai proses patahan menjadikan wilayah ini memiliki potensi sebaran batuan serpentinit yang cukup luas. Sebaran batuan Serpentinit ini dijumpai membentuk perbukitan mulai dari Kecamatan Tojo di hingga di Kecamatan Tojo Barat Namun belum ada penelitian lebih lanjut yang menyangkut batuan serpentinit dan pemanfaatannya. Berdasarkan uraian diatas maka diperlukan melakukan penelitian untuk mengetahui karakterstik batuan serpentinit dan pemanfataanya di daerah penelitian dengan menggunakan analisis Petrografi Dan Geokimia.

1.1. Lokasi Penelitian

Secara administratif daerah penelitian meliputi wilayah Daerah Uekuli Kecamatan Tojo Kabupaten Tojo Una-Una Provinsi Sulawesi Tengah dan secara geografis terletak pada koordinat 121007'00" – 12108'00" Bujur Timur dan 01024'00" – 01025'00" Lintang Selatan (Gambar 1.1). Daerah ini terpetakan dalam Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1 : 25.000 terbitan Badan Informasi Geospasial (BIG), dapat dicapai dengan transportasi darat dari Palu melewati daerah Kabupaten Parigi Moutong dan Kabupaten Poso dengan menggunakan kendaraan beroda dua ataupun roda empat. Perjalanan ditempuh sekitar kurang lebih 7 jam dengan jarak kurang lebih 283 km dari Kota Palu.



Gambar 1. Peta Tunjuk Lokasi Penelitian

1.2. Geologi Regional

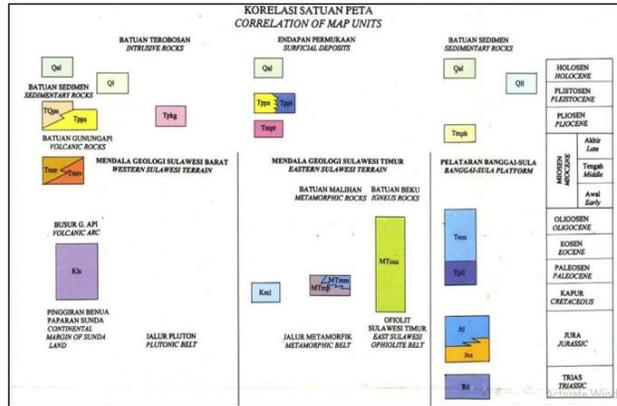
Berdasarkan orogenesisnya jalur Tengah atau Zone Poso batas Barat jalur ini adalah Medianline. Zona ini merupakan Graben yang memisahkan antara Zona Barat dan Timur. Dibagian Utara Zone ini terdapat Ledok Tomini dan di Selatannya terdapat Ledok Bone. Daerah ini ditandai oleh mayoritas batuan Epi sampai Mesometamorfik crystal line schist yang kaya akan muscovite (Van Bemmelen 1949).

Batuan kompleks ofiolit dan sedimen pelagis di Lengan Timur dan Tenggara Sulawesi dinamakan Sabuk Ofiolit Sulawesi Timur. Sabuk ini terdiri atas batuan mafik dan ultramafik disertai batuan sedimen pelagis dan melange di beberapa tempat. Batuan ultramafik dominan di Lengan Tenggara tetapi batuan mafiknya dominan lebih jauh ke utara terutama di sepanjang pantai utara lengan Tenggara Sulawesi. Sekuen ofiolit yang lengkap terdapat di Lengan Timur meliputi batuan mafik dan ultramafik pillow lava dan batuan sedimen pelagis yang didominasi limestone laut dalam serta interkalasi rijang berlapis. Berdasarkan data geokimia sabuk Ofiolit Sulawesi Timur ini diperkirakan berasal dari mid- oceanic ridge (Surono 1995. dalam Sompotan 2012).

East Sulawesi Ophiolite Belt (ESO) berupa kompleks ofiolit dan sedimen pelagik yang tersebar di Lengan Timur dan Tenggara Sulawesi. Seri ofiolit lengkap dapat ditemukan di Lengan Timur yang terdiri dari batuan mafik ultramafik lava bantal dan batuan sedimen pelagik berupa batugamping laut dalam perselingan rijang. Ofiolit ini terdiri dari sekuen dunit lherzolit dan harzburgit akumulasi ultramafik gabro sheeted dykes dan lava bantal. Asal dari ESO ini menunjukkan bahwa batuan ini berasal dari lingkungan mid – oceanic ridge zona supra-subduction dan oceanic plateau. Pada umumnya batuan mafik-ultramafic di Lengan Tenggara Sulawesi sudah mengalami pensesaran dan deformasi kuat. Dibeberapa tempat batuan ini bercampur dengan batuan yang berasal dari kepingan benua membentuk batuan campur aduk (mélange). Batuan mafik-ultramafic di Lengan Tenggara Sulawesi tersusun oleh dunit peridotite piroksenit dan serpentinit serta mikrogabbro dan basalt. Peridotite terdiri atas harzburgit dan lhezorlite.

Tatanan stratigrafi daerah penelitian terbentuk oleh beberapa jenis batuan. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Poso Skala 1:250.000 oleh Surono dkk. tahun 1997 (Gambar 1.1).

Kompleks Ultrabasa (MTosu) merupakan bagian dari jalur ofiolit Sulawesi terdiri atas harzburgit lherzolit wherlit websterit dunit piroksenit dan serpentinit. Satuan ini diduga telah mengalami beberapa kali pengalih tempatan sejak kapur sampai Miosen Tengah. Kompleks Pompangeo (MTmp) terdiri atas sekis grafit batusabak gneis serpentinit kuarsit batugamping malih dan setempat breksi. Sekis terdiri atas sekis mika sekis mika yakut sekis serisit sekis muskovit sekis klorit - serisit sekis hijau sekis glaukupan sekis purripelit dan sekis amfibolit. Gneis terdiri atas gneis albit - muskovit gneis kuarsa - biotit dan gneis epidot - muskovit - plagioklas. Umur satuan diduga lebih tua dari kapur dan tebalnya diduga ribuan meter.



Gambar 2. Korelasi Satuan Peta Geologi Lembar Poso (Modifikasi dari Surono dkk. 1997)

2. Landasan Teori

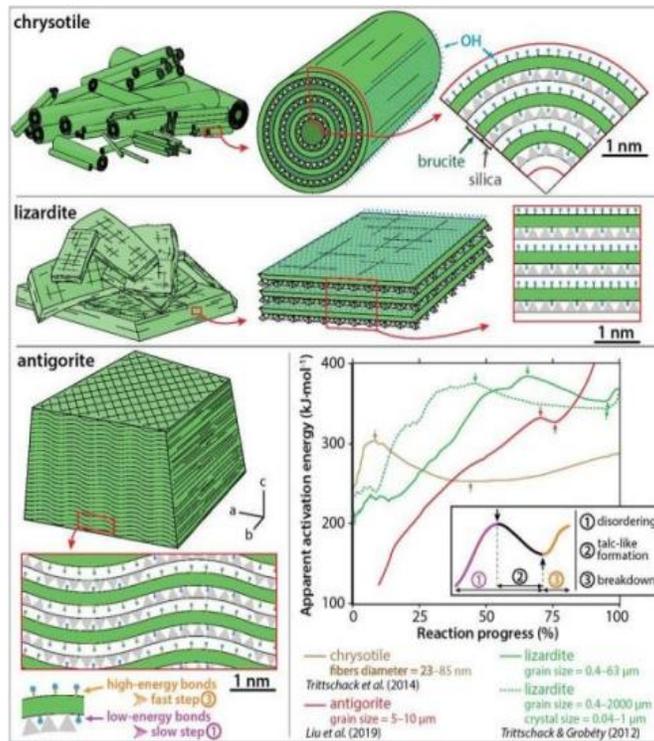
Serpentin menurut Ahmad (2006) dibentuk oleh alterasi hidrotermal dari mineral-mineral feromagnesian seperti olivin piroksen dan amfibol. Serpentin magnesian murni mengandung sekitar 13% air pada sistem kristalnya yang akan keluar pada suhu > 800°C. Serpentin sangat umum dijumpai sebagai produk ubahan dari mineral aslinya terbentuk sebagai pseudomorph. Selain itu serpentin juga dapat mengisi rekahan pada batuan. Berbagai macam mineral serpentin ditemukan dalam lantai samudra seperti lizardit dan antigorite yang berbentuk platy dan krisotil yang menyerabut. Mengenali jenis serpentin dapat membantu mengetahui kondisi temperature dan suhu saat serpentinisasi.

Berdasarkan polimorfismenya serpentin terbagi menjadi tiga jenis meliputi antigorit lizardit dan krisotil (klinokrisotil parakrisotil dan orthokrisotil). Pada Gambar 2.3 Ferrand (2019) mengilustrasikan bentuk-bentuk polimorf serpentin.

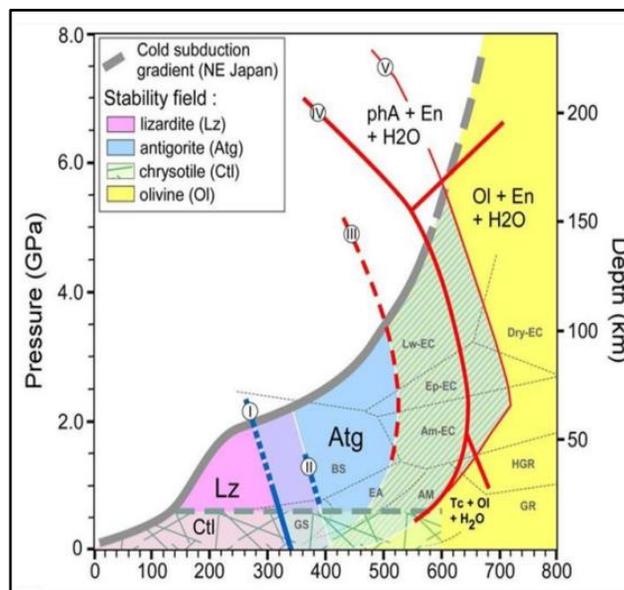
Penyebab suatu batuan mengalami proses metamorfisme ialah mineral pada suatu batuan hanya akan stabil pada kisaran suhu tekanan dan kondisi kimia tertentu. Jika suhu tekanan dan kondisi kimia dari batuan tersebut mengalami perubahan yang drastis mineral penyusun batuan tersebut akan berubah secara kimia yang akan menghasilkan mineral baru yang lebih stabil.

Proses metamorfisme sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang sering disebut dengan agen metamorfisme (*metamorphic agent*) di antaranya ialah komposisi batuan asal (protolith) selain suhu dan tekanan cairan dan waktu.

Mineral krisotil terbentuk pada suhu 0-320°C dan akan mulai berubah menjadi mineral lizardit kedalaman >30 km dibawah permukaan dan tekanan 0 7GPa. Mineral lizardit akan berubah menjadi antigorit pada 320°C yang akan mengkristal sempurna pada suhu 390°C dan tekanan tinggi (>0 7GPa). Dekomposisi antigorit akan terjadi mulai pada suhu 460°C dan kemudian akan hilang secara total pada suhu antara 650°C dan 700°C dan tekanan 2 0 GPa.



Gambar 3. Dehidroksilasi pada mineral-mineral serpentin yang memiliki perbedaan struktur yang mengontrol batas stabilitas dan laju dehidrasi (Ferrand 2019).



Gambar 4 Diagram tekanan – suhu dari stabilitas jenis serpentin dari percobaan dan observasi petrologi pada serepentinit alami (gulliot dkk. 2015).

Proses serpentinisasi akan menyebabkan perubahan tekstur mineralogi dan senyawa pada mineral olivin maupun piroksin pengurangan atau perubahan komposisi unsur Mg Ni dan Fe pada mineralnya (Waheed 2009).

Tabel 1. Generalisasi kondisi pembentukan polimorf serpentin (Evans 2004)

Jenis	Lizardit	Krisotil	Antigorit
Perkiraan Temperatur	50 – 300°C	0 – 400°C	320 – 600°C
Saturasi Fluida	Kecil	Besar	Kecil
Shear Stress	Stabil	Tidak stabil	Stabil
Konsep Pembentukan	Hidrasi peridotit	Vein replacement	Rekristalisasi serpentin

Berdasarkan analisa kimia mineral Serpentin memiliki susunan rumus kimia ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$) adalah batuan yang memiliki kandungan unsur Magnesium (Mg) hingga mencapai 40%. Meskipun secara empiris tiga anggota kelompok mineral serpentin yaitu lizardit krisotil dan antigorit memiliki formula sama ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$) Namun secara alami jarang kalaupun ada hanya mengandung magnesium silicon atau air. Rumus umum serpentin adalah $(X_6Y_4O_{10}(OH)_8)$. X mewakili Mg^{2+} Fe^{2+} Fe^{3+} Co^{2+} Ni^{2+} Mn^{2+} Mn^{3+} Cr^{3+} Cu^{2+} Al^{3+} dan Ti^{4+} dalam koordinasi octahedral. Y mewakili Si^{4+} Al^{3+} B^{3+} dan Fe^{3+} dalam koordinasi tetrahedral dan OH mewakili OH Cl F dan Br.

Pada umumnya dalam batuan Serpentin ini dijumpai juga mineral magnesit yaitu mineral dengan senyawa kimia Magnesium Oksida (MgO) berwarna abu-abu lunak mudah digali lapuk berurat magnesit rapat berstruktur lapisan dan foliasi atau menyerpih. Mineral Magnesit pada umumnya dijumpai berbentuk urat-urat halus berukuran rata-rata 2 mm s/d 4 mm namun kadang juga dijumpai lensa-lensa. Pada serpentin dapat dihasilkan dari mantel oleh hidrasi dari mantel ultramafik (mantel peridotit dan dunit). Dibawah pegunungan tengah samudera (*Mid Oceanic Ridge*) pada temperatur.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Can 2008) tentang efek pengisi partikulat serpentin dievaluasi pada komposit PP/serpentin dengan kadar 2 5 10 dan 20 wt%. Studi ini meneliti bagaimana serpentin berperan sebagai pengisi baik dalam bentuknya yang murni maupun setelah mengalami perlakuan permukaan. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa serpentin layak untuk dijadikan sebagai bahan filler untuk komposit.

Dalam konstruksi komposit adalah material yang terdiri dari dua atau lebih bahan yang digabungkan untuk mendapatkan sifat mekanis fisik dan kimia yang lebih baik dibandingkan dengan bahan individualnya. Penggunaan material komposit dalam konstruksi bertujuan untuk meningkatkan kekuatan ketahanan serta efisiensi struktur (Irmawati 2022).

Luasnya pemakaian beton disebabkan oleh karena terbuat dari bahan-bahan yang mudah diperoleh dan mudah diolah/dibentuk sehingga menjadikan beton sebagai material mempunyai sifat yang dituntut sesuai dengan keadaan. (Irmawati 2022).

Beton dapat mempunyai kuat tekan yang sangat tinggi tetapi kuat tariknya sangat rendah. Untuk mengatasi hal ini maka beton diperkuat dengan batang baja tulangan sehingga terbentuk suatu struktur komposit yang kemudian dikenal dengan sebutan struktur beton bertulang. Untuk struktur tertentu yang tidak menginginkan retak tarik pada beton misalnya dilakukan dengan memberi tegangan tekan awal sebelum struktur dibebani yang dikenal dengan sebutan beton prategang (prestressed concrete) (Irmawati 2022).

Metode perhitungan yang digunakan dalam perencanaan campuran beton adalah metode SNI 03-2834-2000. Adapun tahapan yang dilakukan dalam perencanaan campuran beton adalah sebagai berikut ini.

1. Menetapkan kuat tekan beton ($f'c$) pada umur 28 hari. Kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari adalah 50 MPa
2. Menetapkan nilai deviasi standar (S)

Tabel 2. Nilai Deviasi Standar untuk berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	Standar Deviasi (Mpa)
Memuaskan	2 8
Sangat baik	3 5
Baik	4 2
Cukup	5 6
Jelek	7 0
Tanpa Kendali	8 4

3. Metode Penelitian

Sampel yang diperoleh dilapangan kemudian dipreparasi sesuai dengan metode uji laboratorium. Jumlah sampel uji adalah $\frac{1}{4}$ dari jumlah sampel yang diperoleh dilapangan yang dianggap dapat mewakili tiap karakteristik sampel yang dijumpai dilapangan. Sampel batuan dipreparasi dipreparasi dalam bentuk bubuk yang beratnya tidak kurang dari 5 gram sebagai bahan uji *X-ray Diffraction (XRD)* dan *X-Ray Flourescence (XRF)*.

Dalam pembuatan sampel mineral serpentin harus dihancurkan dalam bentuk yang lebih kecil kemudian digiling menjadi material yang lebih halus dengan ukuran umum 75 hingga 150 mikrometer. Mineral serpentin yang telah digiling kemudian diayak untuk memisahkan partikel dengan ukuran yang seragam. Jenis serpentin yang diperoleh dari hasil pengujian *X-ray Diffraction (XRD)* dan *X-Ray Flourescence (XRF)* untuk memperoleh sifat beton yang sesuai standar SNI.

Setelah dilakukan pengujian *X-ray Diffraction* (XRD) dan *X-Ray Fluorescence* (XRF) akan dilakukan interpretasi dari hasil uji laboratorium maka dapat dilakukan penilaian terhadap mineral serpentin sebagai bahan semen. Dari pengujian ini dapat diketahui jenis serpentin yang dianggap layak untuk dijadikan sebagai bahan polimer pada pembuatan beton.

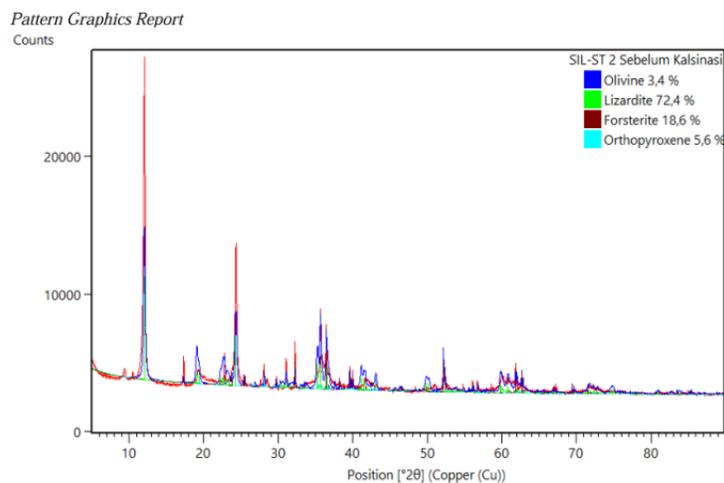
Hasil analisa parameter dalam penentuan standar deviasi kemudian dibandingkan dengan SNI 03-2834-2000 tentang nilai deviasi sebagai standar untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan. Dari hasil analisa ini maka dapat diketahui seberapa baik mineral serpentin untuk dijadikan sebagai polimer dalam konstruksi.

4. Hasil Dan Pembahasan

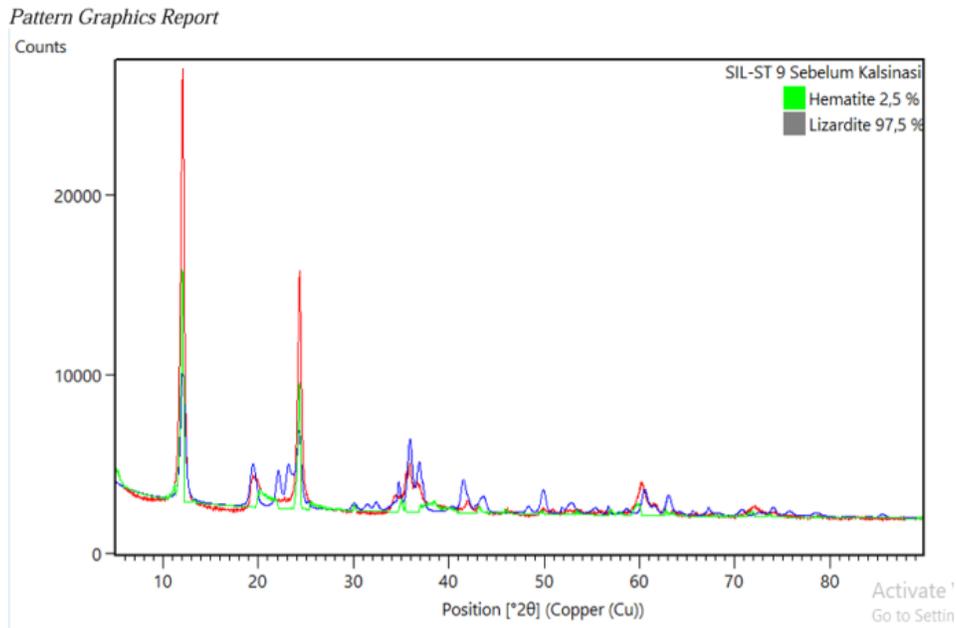
Berasarkan pengujian X-Ray Diffraction (XRD) dari sampel litologi yang belum dilakukan proses kalsinsi pada stasiun 02 dijumpai 4 mineral yaitu olivin sebanyak 3.4% lizardit 72.4% forsterit 18.6% dan ortopiroksin sebanyak 5.6%. Sedangkan pada pada stasiun 09 diperoleh 2 mineral yaitu lizardit 97.5 % sedangkan hematit sebanyak 2.5%. Tabulasi dari mineral ini dapat dilihat pada Tabel 3. Sedangkan hasil pengujian XRD dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Tabel 3. Persentase Mineral sampel uji berdasarkan analisis XRD

No	Kode Sampel	Komposisi Mineral	Persentase Mineral (%)
1	ST 02	Olivin	3.4
		Lizardit	72.4
		Forsterit	18.6
		Ortopiroksin	5.6
2	ST 09	Lizardit	97.5
		Hematit	2.5



Gambar 5. Grafik pengujian XRD dari sampel uji ST 02



Gambar 6. Grafik pengujian XRD dari sampel uji ST 09

Berdasarkan hasil pengujian *X-Ray Fluorescence (XRF)* menunjukkan bahwa pada sampel ST 02 memiliki senyawa dominan MgO sebanyak 42.754 % dan SiO₂ sebanyak 43.185%. sama halnya dengan sampel ST 09 memiliki senyawa dominan MgO sebanyak 39.314 % dan SiO₂ sebanyak 40.866 % . Tabulasi pengujian XRF dari kedua sampel uji dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian XRF Dari Dua Sampel Uji

ST 02			ST 09		
Komposisi kimia	Hasil Uji	Satuan	Komposisi kimia	Hasil Uji	Satuan
LE (Light Element)	6.110	%	LE (Light Element)	8.282	%
SiO ₂	43.185	%	SiO ₂	40.866	%
MgO	42.754	%	MgO	39.314	%
Fe ₂ O ₃	6.241	%	Fe ₂ O ₃	8.795	%
Al ₂ O ₃	0.749	%	Al ₂ O ₃	1.155	%
NiO	0.314	%	CaO	0.619	%
Na ₂ O	0.154	%	NiO	0.345	%
Cr ₂ O ₃	0.131	%	Cr ₂ O ₃	0.255	%
MnO	0.108	%	MnO	0.106	%
CaO	0.070	%	Cl	830.600	ppm
SO ₃	0.058	%	SO ₃	488.000	ppm
Eu ₂ O ₃	0.038	%	Eu ₂ O ₃	444.600	ppm
Cl	0.025	%	SnO ₂	260.900	ppm
K ₂ O	0.024	%	TiO ₂	227.400	ppm
SnO ₂	0.020	%	K ₂ O	173.200	ppm

TiO ₂	0.006	%	ZnO	60.500	ppm
TeO ₂	0.004	%	TeO ₂	49.900	ppm
V ₂ O ₅	0.003	%	V ₂ O ₅	39.700	ppm
ZnO	0.003	%	CuO	36.900	ppm
CuO	0.001	%	Sb ₂ O ₃	15.400	ppm
Sb ₂ O ₃	0.001	%	SrO	3.200	ppm
As ₂ O ₃	6.500	pmm	Re	2.300	ppm
Re	3.200	pmm	As ₂ O ₃	2.000	ppm
SrO	1.400	ppm	Na ₂ O	bdl	ppm
La ₂ O ₃	bdl	ppm	La ₂ O ₃	bdl	ppm

Pada hasil analisis tersebut dapat dilihat bahwa kandungan Al₂O₃ dan K₂O cukup rendah sedangkan kandungan MgO dan Fe₂O₃ cukup tinggi. Tingginya kandungan MgO dan SiO₂ merupakan penciri batuan serpentininit dimana pada batuan serpentininit kaya akan mineral magnesium maupun silika.

5. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis geokimia ketiga kelompok batuan yang telah dilakukan uji RXD sampel 02 sampel 09 yang masuk dalam klasifikasi batuan serpentine adalah sample 09 dengan komposisi mineral Lizardit 97, 5 dan mineral Hematit 2,5 klasifikasi serpentine sample.
2. Berdasarkan analisa XRF memiliki komposisi yang hampir sama. Dimana kandungan silika dioksida (SiO₂) berkisar 48,7wt % - 50,5 wt %, alumina (Al₂O₃) 1.79 wt % - 3.96 wt %, besi (II) Oksida (Fe₂O₃) berkisar 9.72 – 10.3 wt %, magnesium (MgO) 32.3 wt % - 38.0 wt %, kalsium (CaO) 0.316 wt % - 1.97 wt %, mangan (Mn) 0.135 wt % - 0.138 wt %, klorin (Cl) 0.220 wt % - 1.11 wt %, potassium (K₂O) 0.0487 wt % - 0.0552 wt % , sulfur trioksida (SO₃) 0.169 wt % - 0.396 wt %, nikel (Ni) 0.783 wt % - 0.889 wt %, kromium (Cr) 0.627 wt % - 0.722 wt %, cobalt (Co) 0.0279 , tembaga (Cu) 0.0117 wt %.
3. Saran penelitian selanjutnya, perlu dilakukannya penelitian mengenai cadangan dan pemanfaatan dari batuan serpentininit.

DAFTAR PUSTAKA

- Aflah N. Muchlis. Halimi C. & Nufus H. (2014). Classification Of Jades (Giok) Beutong Aceh Based On Mineral Composition. *Jurnal Natural*. Vol.14. No. 2 19-21.
- Ardiansyah E. Y. Tibri T. & Orwadana M. E. (2019). Potensi Serpentininit Untk P emanfaatan Bahan Baku Pupuk Mineral. *Saintek ITM Volume 32 Nomor 1*. 2-5.
- Asikin S. (1974). *Geologi Struktur Indonesia*. Jurusan Teknik Geologi Institut Teknologi Bandung.
- Atmadja S. R. Maury R. C. Bellon H. Pringgoprawiro H. Polve M. & Priadi. (1974). Tertiary magmatic belts in Java. *Journal of Southeast Asian Earth 578 Sciences* 9(I/2) 13–27.
- Can Semra. (2008). *Characterization Of Serpentininit Filled Polypropylene*. Middle East Technical University. Thesis.
- Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta. Evans B.W. (2004). *The Serpentinite Multisystem Revisited: Chrysotile Is Metastable*. *International Geology Review* Vol 46.
- Gulliot S. Schwartz S. Reynard B. Agard P. dan Prigent C. (2015) Tectonic significance of serpentinites. *International Journal of Geotectonics and the Geologu and physics of the interior earth* No 646.

- Hess Harry. H. (1955). Serpentine orogeny and epeirogeny in Poldervaart Arie ed. Crust of the Earth. Geol. Soc. America Spec. Paper 62 p. 391-408. Hurlbut JR Cornelius. (1972). Dana's manual of Mineralogy. Harvard University. Wiley International Edition
- Maulana A. (2019). Petrologi. Yogyakarta: Penerbit Ombak.
- Moody J.B. (1976). Serpentinization : a review. Lithos vol. 9 pp. 125-127.
- Muksin Irwan. Kusdarto. & Setiyawan Wawan. (2014). Inventarisasi Mineral Bukan Logam Di Kabupaten Tojo Una-Una Dan Kabupaten Banggai Provinsi Sulawesi Tengah. Proceeding Pemaparan Hasil-Hasil Kegiatan Lapangan Tahun 2014 Pusat Sumber Daya Geologi Hal. 2-3.
- Nelson A S. (2011). Phyllosilicates (Micas Chlorite Talc & Serpentinite).
- O'Hanley D. & Offler R. (1992). Characterization Of Multiple Serpentinization Woodsreef New South Wales. Canadian Mineralogist Vol 30.
- O'Hanley D.S. (1996). Serpentinites: Records of Tectonic and Petrological History. New York and Oxford (Oxford University Press).
- Palandri J.L. & Reed M.H. (2004). Geochemical models of metasomatism in ultramafic systems: serpentinization rodingitization and sea floor carbonate chimney precipitation Geochim Cosmochim. Acta 68 1115– 1133.
- Sarimai. Ratnawulan. Ramli. (2016). Pengaruh Waktu Milling Terhadap Dan Ukuran Butir forsterite (Mg₂SiO₄) Mineral Serpentin Dari Kabupaten Solok Selatan. Pillar Of Physics Vol. 8. 3-6.
- Sufriadin A. Idrus. Pramumijoyo I.W. Warmada I. Nur Suharto. (2009). Serpentinisasi pada batuan ultramafik dan aplikasinya terhadap eksplorasi endapan nikel laterit. Proceedings of International Conference on Earth Science and Technology. Yogyakarta. 6th – 7th August C011 – C018. (ISBN: 978979175494-1).
- Sukandarrumidi. (2009). Geologi Mineral Logam. Yogyakarta. Gadjah Mada University Press. Surono. (2012). Geologi Lengan Tenggara Sulawesi. Badan Geologi Kementrian.
- Tonggiroh A. (2019). Geokimia Serpentinisasi Ultramafik dan Potensi Sumberdaya Mineral di Sulawesi Selatan-Sulawesi Tenggara. Makassar: CV. Social Politic Genius (SIGn); Makassar.
- Van Bemmelen R.W. (1949). The Geology of Indonesia. Martinus Nyhoff Netherland: The Haque.
- Vivi Febrini. Ratnawulan. Gusnedi. (2014). Pengaruh Kalsinasi Terhadap Struktur Kristal Serpentin Yang Terdapat Di Jorong Sungai Padi Nagari Lubua Gada ng Kecamatan Sangir Kabupaten Solok. PILLAR OF PHYSICS. Vol. 4. 97-98.
- Waheed A. (2002). Chemistry Mineralogy and Formation of Nickel. Laterite. PT Inco Indonesia.
- Whittaker Eric J. W. & Zussman Jack. (1956). The characterization of Serpentinite minerals by X-ray diffraction Mineralog. Mag. v. 31 p. 107- 126.
- Wicks F.G. dan Whittaker E.J.W. (1977) Serpentine texture and serpentinisation. Canadian Mineralogist 15 459–488.