JAGE
Vol. 5, No. 1, Juni 2026: 22-37
doi: 10.37905/jage.v5i1.38765
ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage

Journal of Applied Geoscience and Engineering
p-ISSN 2964-478X | e-ISSN 2964-4534
Geology Engineering Study Program, Universitas Negeri Gorontalo



Paragenesis Mineral Serpentin Pada Batuan Ultramafik Daerah Tampanombo, Kabupaten Tojo Una-Una, Provinsi Sulawesi Tengah

Muslimin U. Botjing[a], Andi Arham Adam[b], Sriyati Ramadhani[c], Djamal Adi Nugroho Uno[d], Michael Sandi[e]

[a,d,e] *Program Studi S1 Teknik Geologi, Universitas Tadulako, Palu, Indonesia*

[b,c] *Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tadulako, Pali, Indonesia*

ARTICLE INFO

Sejarah artikel:
Diterima: 07 Mei 2026
Disetujui: 28 Mei 2026
Diterbitkan: 30 Juni 2026

Keywords:
petrography, prograde metamorphism, paragenesis, serpentinization, ultramafic rocks.

Corresponding author:
Djamal Adi Nugroho Uno
Email:
djamaladinugroho@untad.ac.id

ABSTRACT

The Tampanombo area, Tojo Una-Una Regency, Central Sulawesi Province, is composed of ultramafic rocks that have undergone intensive serpentinization due to interactions between primary silicate minerals and hydrothermal fluids. This study aims to examine the paragenesis of serpentine minerals in ultramafic rocks using petrographic, geochemical, and electron microscopy approaches. The methods employed include thin-section petrographic analysis, XRF, and SEM-EDS. Petrographic observations reveal characteristic serpentinization textures, including mesh texture as the initial product of olivine hydration, bastite texture formed by pyroxene replacement, and hourglass texture indicating serpentine recrystallization. Interlocking and interpenetrating textures in antigorite were also observed, indicating mutually penetrating crystal growth associated with increasing temperature and pressure during advanced metamorphic stages. The presence of type-1, type-2, and type-3 veins suggests multiple phases of fluid circulation during rock evolution. XRF analysis indicates high MgO content along with variations in SiO_2, Fe_2O_3, and LOI, reflecting different degrees of serpentinization among samples. SEM-EDS data confirm the dominance of Mg, Si, and O as the main constituent elements of serpentine minerals, as well as the presence of Fe associated with magnetite formation. Based on textural and geochemical data, the paragenesis of serpentine minerals in the study area includes three main subprocesses: hydration, serpentine recrystallization, and deserpentinization (dehydration) related to prograde metamorphism.

How to cite this article:
Botjing, M. U., Adam, A. A., Ramadhani, S., Uno, D. A. N., Sandi, M. (2026). Paragenesis Mineral Serpentin Pada Batuan Ultramafik Daerah Tampanombo, Kabupaten Tojo Una-Una, Provinsi Sulawesi Tengah. Journal of Applied Geoscience and Engineering, 5(1), 22-37. https://doi.org/10.37905/jage.v5i1.38765

1. PENGANTAR

Sulawesi Tengah merupakan salah satu daerah yang memiliki keragaman geologi yang kompleks akibat pertemuan beberapa lempeng tektonik, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Kompleksitas tektonik ini menyebabkan terbentuknya berbagai jenis batuan, termasuk batuan ultramafik yang banyak ditemukan pada kompleks ofiolit di wilayah ini. Salah satu satuan batuan ultramafik yang penting di Sulawesi Tengah terdapat pada Formasi MTosu, yang tersingkap di daerah Tampanombo, Kabupaten Tojo Una-Una.

Batuan ultramafik, seperti peridotit dan piroksenit, umumnya tersusun oleh mineral olivin dan piroksen. Batuan ini sering mengalami proses serpentinisasi, yaitu proses alterasi hidrotermal pada suhu dan tekanan rendah hingga menengah, di mana mineral primer olivin dan piroksen bereaksi dengan fluida yang kaya akan H_2O untuk membentuk mineral serpentin seperti antigorit, lizardit, dan krisotil, serta mineral sekunder lainnya seperti magnetit, brucite, dan karbonat (Evans, 2004b).

Hak Cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

doi: 10.37905/jage.v5i1.38765 ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage

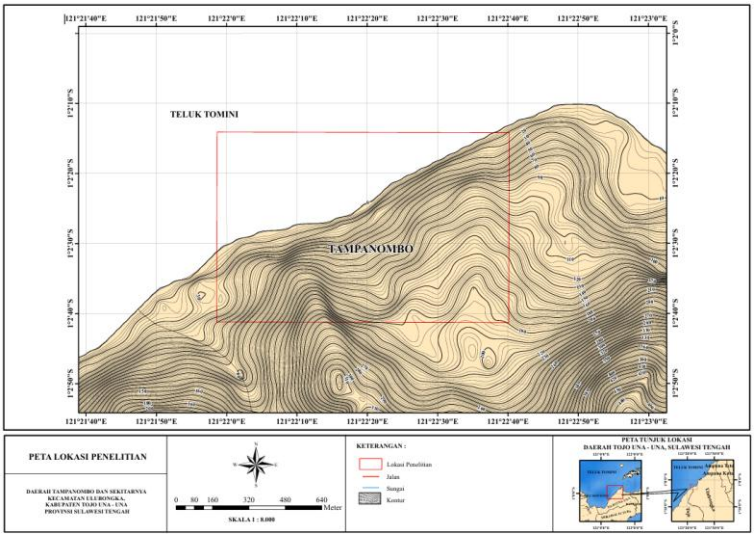
Proses ini tidak hanya mengubah komposisi mineralogi batuan, tetapi juga mempengaruhi sifat fisik, kimia, dan mekanik batuan ultramafik.

Studi tentang paragenesis mineral bertujuan untuk memahami urutan pembentukan mineral dan kondisi geologi yang menyertainya. Dalam batuan ultramafik yang teralterasi, paragenesis dapat memberikan informasi mengenai tahapan serpentinasi, mulai dari tahap awal penggantian olivin oleh serpentin hingga pembentukan mineral sekunder seperti karbonat. Pengetahuan ini penting karena dapat digunakan untuk merekonstruksi riwayat geologi dan lingkungan tektonik yang mempengaruhi pembentukan batuan tersebut (Nelson et al., 2011).

2. METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini meliputi petrografi, XRF (*X-Ray Fluorescence*), dan SEM-EDS (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy*). Analisis petrografi dilakukan untuk mengamati tekstur dan hubungan antar mineral pada sayatan tipis batuan, sehingga dapat ditentukan indikasi tahap awal hingga tahap akhir proses alterasi. Analisis ini dilakukan pada stasiun 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 11 (Gambar 1). Analisis XRF dilakukan pada stasiun 1, 2, 3, 4, dan 5 (Gambar 1) untuk mengetahui komposisi kimia unsur mayor pada batuan, khususnya rasio Mg/Si dan kandungan unsur lain yang dapat mendukung interpretasi derajat serpentinisasi. Sedangkan SEM-EDS digunakan untuk mengamati tekstur mikro dengan resolusi tinggi dan mendapatkan data semikuantitatif mengenai komposisi kimia mineral tertentu. Analisis ini dilakukan pada sampel stasiun 1 dan 5 (Gambar 1).

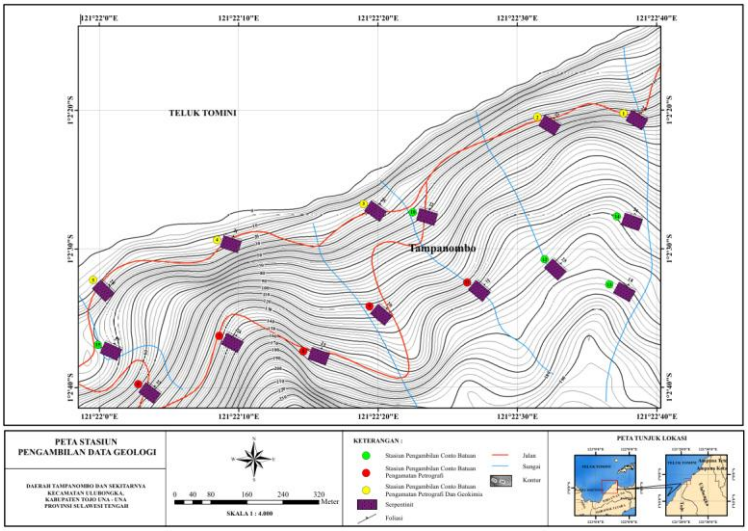
Kombinasi keempat metode ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai paragenesis mineral serpentin pada batuan ultramafik daerah Tampanombo, Tojo Una-una Sulawesi Tengah.



Gambar 1. Peta Lokasi Penellitian

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

doi: 10.37905/jage.v5i1.38765 ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage



Gambar 2. Peta Stasiun Pengambilan Sampel Serta Sebaran Jenis Analisis

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Geologi Daerah Penelitian

Pembahasan geologi daerah penelitian meliputi 3 aspek, antara lain geomorfologi, stratigrafi dan struktur geologi yang dijumpai pada daerah penelitian.

Kenampakan geomorfologi pada daerah penelitian diinterpretasi berdasarkan pendekatan morfografi dan morfometri. Berdasarkan aspek tersebut pada daerah penelitian digolongkan kedalam satuan bentang alam perbukitan rendah lereng agak curam, Satuan bentang alam ini mencakup keseluruhan daerah penelitian. Ketinggian relatif pada satuan bentang alam ini yaitu 0 – 230meter diatas permukaan laut. Kenampakan topografi dari satuan ini digambarkan oleh pola kerapatan kontur yang agak rapat dengan persentase kemiringan lereng sekitar 21 – 55 %. Berdasarkan klasifikasi ketinggian relatif dan kemiringan lereng menurut Bermana (2006), daerah penelitian digolongkan dalam satuan bentang alam perbukitan rendah lereng curam (Gambar 3).

Secara umum, litologi yang dapat ditemukan di daerah penelitian merupakan batuan metamorf. Hal ini dapat dilihat dari kenampakan karakteristik jenis litologi yang dapat diamati secara megaskopis. Kenampakan karakteristik litologi yang diamati secara megaskopis meliputi sifat fisik serta komposisi mineral yang dapat diamati secara langsung di lapangan.

Berdasarkan hal tersebut, dengan melihat kenampakan megaskopis dari litologi yang dijumpai pada daerah penelitian, maka dapat diinterpretasi bahwa litologi penyusun daerah penelitian merupakan litologi serpentinite (Gambar 4).

Pembahasan mengenai struktur geologi daerah penelitian berdasarkan pada aspek struktur geologi yang dijumpai di lapangan.

Analisa dan penentuan struktur geologi pada daerah penelitian didasarkan pada hasil pengolahan proyeksi stereograph data primer yang diperoleh dari hasil pengukuran kekar sistematik. Data kekar yang dianalisis merupakan data hasil pengukuran kekar sistematik yang dijumpai di stasiun 2 pada litologi serpentinite (Gambar 5a).

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

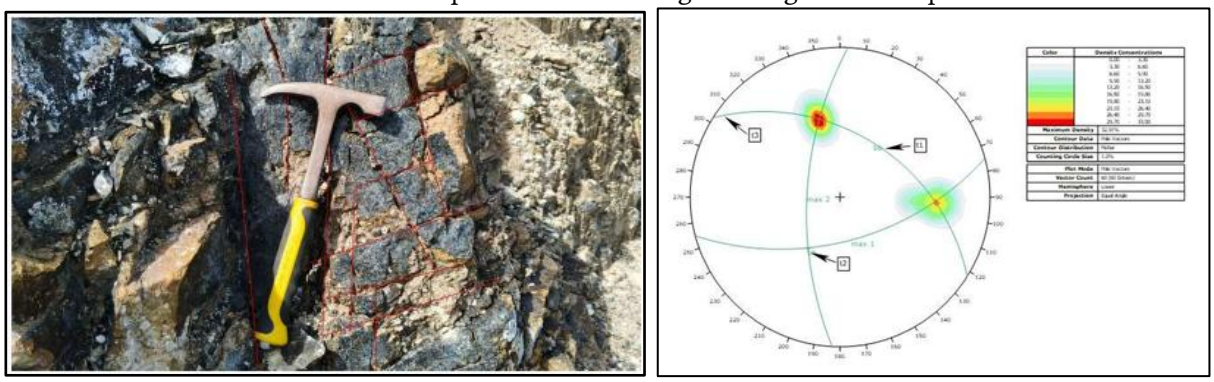
doi: 10.37905/jage.v5i1.38765 ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage



Gambar 3. Kenampakan Bentang Alam Daerah Penelitian



Gambar 4. Kenampakan Stasiun 5 dengan litologi batuan serpentinite



(a) (b)

Gambar 5. Kenampakan Kekar Sistematis Pada Stasiun 2 (a) dan Hasil pengolahan data kekar gerus pada stasiun 2 dengan analisis streograf (b)

Berdasarkan hasil pengolahan data kekar pada stasiun 2 dengan menggunakan proyeksi stereograph, maka diperoleh nilai tegasan utama (σ1) N42°E/42°, tegasan menengah (σ2) N212°E/47° dan tegasan minimum (σ3) N304°E/3°. Dari hasil tersebut, maka diketahui bahwa arah tegasan utama yang bekerja pada daerah penelitian berarah timur laut – barat daya dan tegasan minimum berarah barat laut - tenggara. (Gambar 5b)

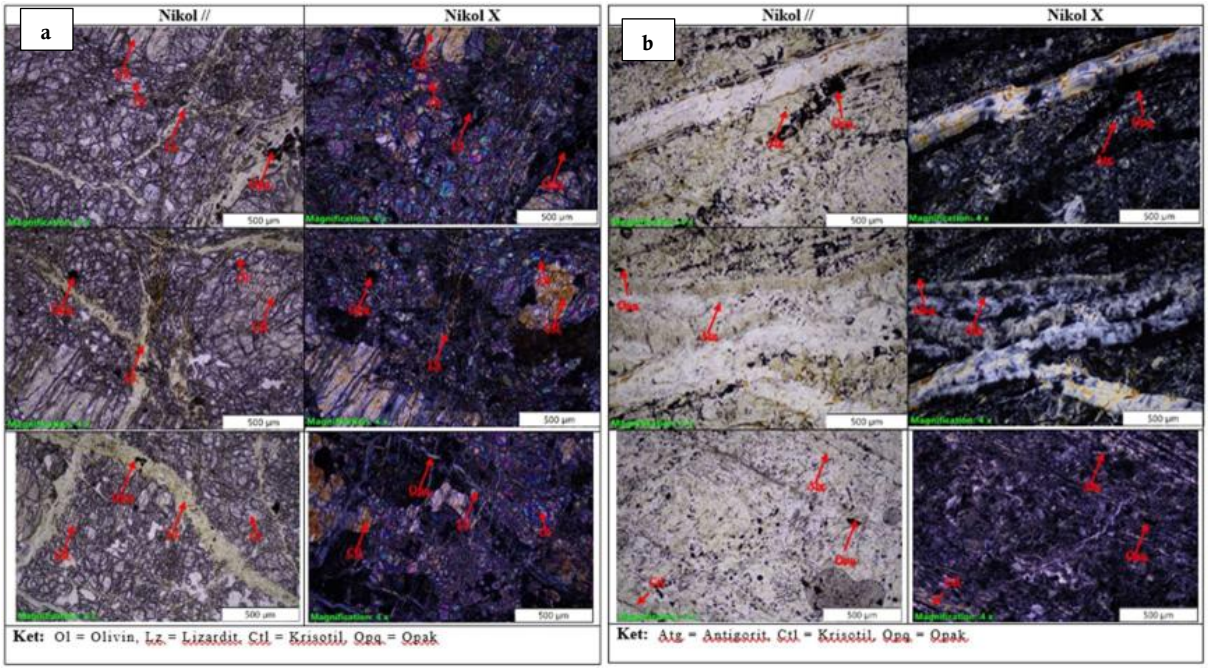
3.2 Karakteristik Batuan Serpentinit Daerah Penelitian

Berdasarkan pengamatan pada 11 sayatan tipis batuan daerah penelitian dengan kode sampel 1/SPT/MS, 2/SPT/MS, 3/SPT/MS, 4/SPT/MS, 5/SPT/MS, 6/SPT/MS, 7 /SPT/MS, 8/SPT/MS, 9/SPT/MS, 11/SPT/MS, 15/SPT/MS didapatkan karakteristik batuan yang terlihat yaitu berwarna putih kecoklatan pada kenampakan nikol sejajar dan abu-abu kehitaman pada

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

doi: 10.37905/jage.v5i1.38765 ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage

kenampakan nikol silang, tekstur mesh, bastite, Hourglass, Interpenetrating, dan Interlocking struktur masif, ukuran mineral penyusun < 0,012 mm. Terdiri dari mineral olivine, lizardit, krisotil, klorit dan opak. Berdasarkan karakteristik diatas didapatkan jenis batuan yaitu serpentinit berdasarkan klasifikasi SCMR 2007 (Gambar 6a) dan (Gambar 6b).



Gambar 6. Sayatan tipis batuan serpentinit pada stasiun 5 (a) dan stasiun 15 (b) di Daerah Tampanombo.

Batuan yang diteliti memperlihatkan keberadaan beragam mineral, meliputi mineral primer, mineral sekunder dari kelompok serpentin, mineral hidrosilikat lainnya, serta sejumlah kecil mineral oksida. dan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Presentase mineral primer dan sekunder dari 11 sayatan tipis batuan serpentinit (Ol = Olivin, Lz = Lizardit, Ctl = Krisotil, Atg = Antigorit, Opq = Opak, Chl

Kode Sampel	Presentase Mineral						
	Ol	Lz	Ctl	Atg	Chl	Opq	
1/SPT/MS	10	50	25	-	10	5	100
2/SPT/MS	5		35	55	-	5	100
3/SPT/MS	5	45	45	-	-	5	100
4/SPT/MS	2	40	50	-	-	8	100
5/SPT/MS	12	55	30			3	100
6/SPT/MS	2	-	45	50		3	100
7/SPT/MS	3	65	30			2	100
8/SPT/MS	5	55	35			5	100
9/SPT/MS	-	80	15			5	100
11/SPT/MS	5	60	30			5	100
15/SPT/MS	-	-	15	70		15	100

Mineral serpentin yang teridentifikasi di area studi meliputi lizardit, krisotil, dan antigorit. Di antara ketiganya, krisotil merupakan mineral yang paling melimpah dan dijumpai pada seluruh sayatan tipis dengan tekstur bastit.

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

doi: 10.37905/jage.v5i1.38765 ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage

Lizardit diperkirakan merupakan mineral serpentin yang pertama kali terbentuk pada tahap awal serpentinisasi pada suhu 400–600°C (Andreani dkk., 2007), yang ditandai dengan berkembangnya tekstur *mesh rim*. Selanjutnya, lizardit berserat mengalami rekristalisasi menjadi lizardit granular bertekstur *hourglass*. Kehadiran lizardit granular yang berasosiasi dengan lizardit dan krisotil menunjukkan bahwa proses rekristalisasi berlangsung setelah alterasi, kemungkinan pada suhu di bawah 300 °C dan turut dipengaruhi oleh pelapukan.

Krisotil terbentuk pada kisaran suhu 400–500 °C melalui reaksi hidrasi forsterit dengan air (Oud, 2010). Mineral ini ditemukan pada bagian tepi dan inti tekstur *mesh* serta pada rekahan, yang mengindikasikan pembentukannya terjadi setelah tahap hidrasi awal melalui proses rekristalisasi dan penggantian (*replacement*) terhadap lizardit.

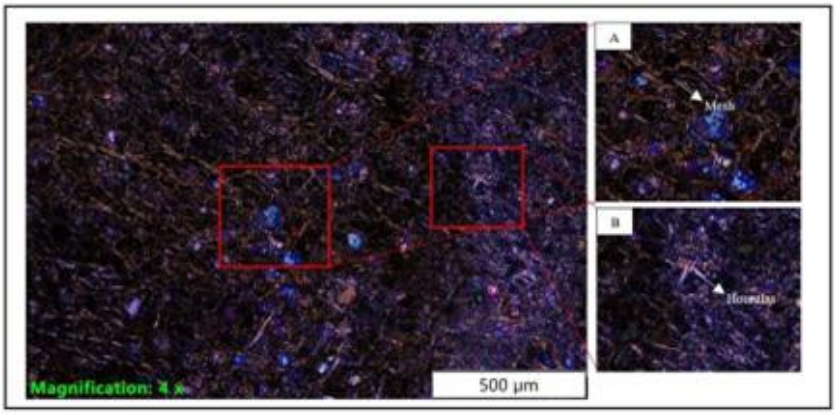
Antigorit dijumpai dengan tekstur nonpseudomorf, *hourglass*, *interlocking*, dan *interpenetrating*. Jumlahnya lebih sedikit dibandingkan dengan lizardit, sehingga diinterpretasikan sebagai mineral yang terbentuk pada tahap serpentinisasi yang lebih lanjut melalui proses rekristalisasi dan *replacement* terhadap lizardit.

Berdasarkan hubungan tekstural tersebut, urutan pembentukan mineral serpentin di area studi diperkirakan dimulai dari lizardit, diikuti oleh krisotil, kemudian antigorit sebagai fase serpentinisasi yang paling akhir.

3.3 Tekstur Batuan Serpentinit

Batuan serpentinit memiliki dua tekstur utama, yaitu tekstur pseudomorf dan nonpseudomorf. Selain itu, mineral serpentin juga dapat hadir sebagai pengisi rekahan maupun sebagai hasil pelapukan. Tekstur pseudomorf mencerminkan bentuk dan struktur mineral asal sebelum mengalami serpentinisasi, yang masih ditandai oleh pola rekahan dan belahan mineral primer (Razak dkk., 2024). Berdasarkan pengamatan mikroskopis, tekstur pseudomorf yang dijumpai di daerah penelitian meliputi tekstur *mesh* dan *hourglass* pada olivin serta tekstur *bastite* pada piroksen. Tekstur *mesh* umumnya berkembang pada tahap awal serpentinisasi, ketika bagian tepi olivin telah tergantikan oleh mineral serpentin, sedangkan inti mineral masih tersisa (Gambar 7A). Sebaliknya, tekstur *hourglass* menunjukkan serpentinisasi yang telah berlangsung lebih lanjut hingga olivin tergantikan hampir atau seluruhnya oleh mineral serpentin (Gambar 7B). Mineral serpentin yang mendominasi tekstur *mesh* di daerah penelitian adalah lizardit. Tekstur pseudomorf dijumpai pada stasiun 1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, dan 11.

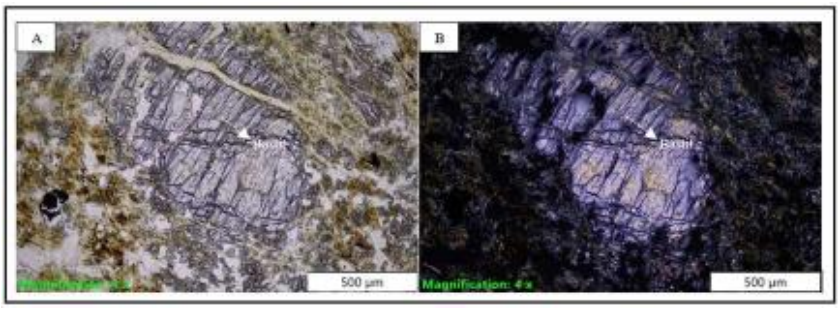
Menurut Razak et al. (2024), lizardit yang berkembang pada *mesh rim* merupakan polimorf serpentin yang dominan terbentuk selama proses serpentinisasi dasar laut. Pada daerah penelitian, lizardit dijumpai dengan tekstur *mesh* dan *bastite*, yang mengindikasikan proses serpentinisasi pada mineral primer. Tekstur *bastite* terbentuk sebagai hasil alterasi mineral piroksen sehingga masih mempertahankan bentuk memanjang atau berserat yang mengikuti morfologi kristal piroksen asal (Gambar 8). Tekstur ini lebih umum dijumpai pada sampel dengan tingkat serpentinisasi yang tinggi.



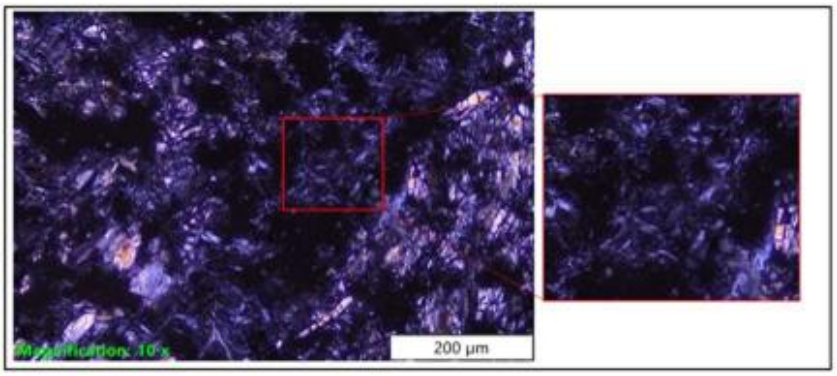
Gambar 7. Sayatan tipis batuan serpentin dengan kode sampel 9/SRT/MS (A) kenampakan tekstur *mesh* dengan *mesh rim* dan *mesh center* yang mesih terlihat jelas serta relik mineral olivine masih nampak (B) kenampakan tekstur *hourglass* yang menampakan *mesh rim* dan *mesh center*

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

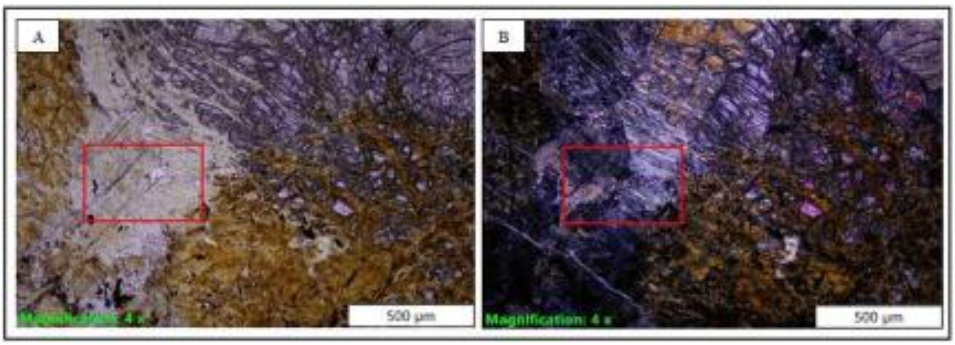
doi: 10.37905/jage.v5i1.38765 ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage



Gambar 8. Sayatan tipis batuan dengan kode sampel 8/SRT/MS (A) kenampakan PPL (B) Kenampakan XPL, tekstur *bastite* yang merupakan ubahan dari mineral pirosen dan tergantikan oleh mineral serpentin yaitu krisotil.



Gambar 9. Sayatan tipis XPL batuan serpentinit dengan kode sampel 6/SRT/MS memperlihatkan kenampakan tekstur *interpenetrating* pada mineral antigorite.



Gambar 10. Sayatan batuan serpentinit (A) PPL (B) XPL dengan kode sampel 3/SRT/MS memperlihatkan tekstur *interlocking* dimana serpentinisasi telah terjadi dengan sempurna dan mineral serpentin saling mengunci.

Tekstur nonpseudomorf merupakan tekstur ketika mineral primer telah sepenuhnya tergantikan oleh mineral serpentin sehingga bentuk mineral asal tidak lagi dapat dikenali. Pada daerah penelitian, tekstur nonpseudomorf yang dijumpai meliputi *interpenetrating* dan *interlocking*. Tekstur *interpenetrating* dicirikan oleh kristal berbentuk bilah (*blade*) atau lembaran memanjang yang saling menembus, umumnya tersusun oleh mineral antigorit (Gambar 9). Perkembangan awal tekstur ini tampak sebagai lembaran atau kipas yang tumbuh pada lizardit maupun mineral silikat primer.

Tekstur *interlocking* dicirikan oleh butiran mineral yang tidak beraturan dan saling mengunci (Gambar 10). Menurut Wicks dan O'Hanley (1988), tekstur *interlocking* pada antigorit merupakan tekstur transisional antara tekstur pseudomorf dan nonpseudomorf. Di daerah penelitian, tekstur nonpseudomorf dijumpai pada stasiun 2, 6, dan 15.

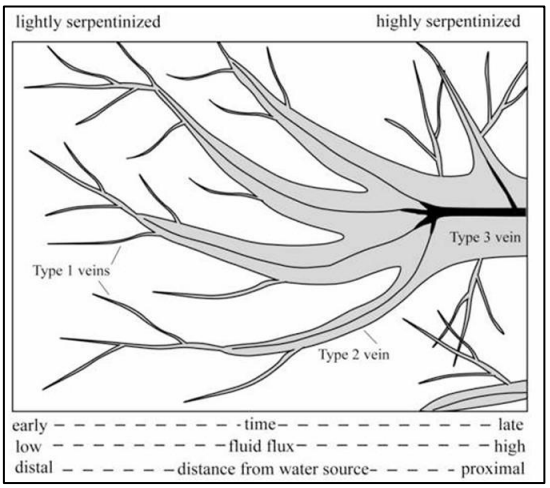
3.4 Derajat Serpentinisasi

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

doi: 10.37905/jage.v5i1.38765 ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage

Tingkat serpentinisasi di daerah penelitian ditentukan berdasarkan klasifikasi tahapan pembentukan vein serpentin menurut Frost et al. (2013). Hasil pengamatan menunjukkan adanya tiga generasi vein, yaitu vein tipe 1, tipe 2, dan tipe 3 (Gambar 11).

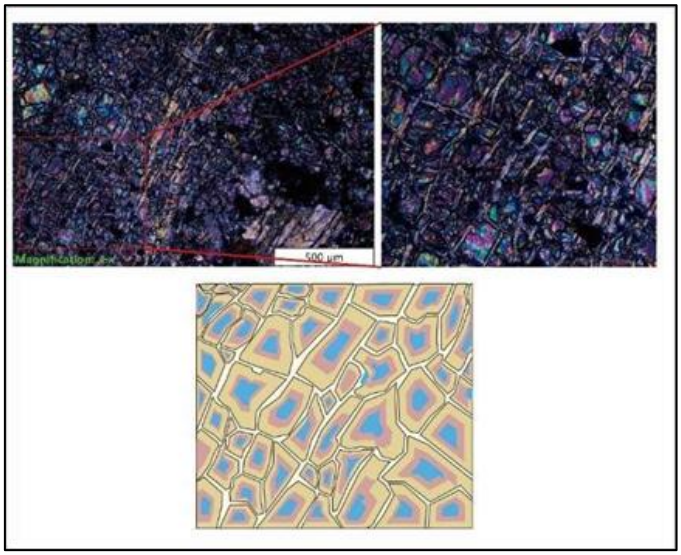
Vein tipe tipe 1 dapat diidentifikasi dari kelimpahan lizardit dan brusit, serta tidak adanya magnetit. Vein tipe 1 ini ditemukan dalam bukaan berukuran kecil (50 – 100 μm) dan umumnya tidak melebihi ukuran satu kristal olivin. Pada daerah pemetaan vein tipe 1 dapat teramati pada beberapa sayatan yaitu pada sayatan dengan kode sampel 5/SRT/MS yang dicirikan oleh hadirnya lizardit (Lz), krisotil (Ctl) membentuk tekstur *mesh* pada olivin (Gambar 12).



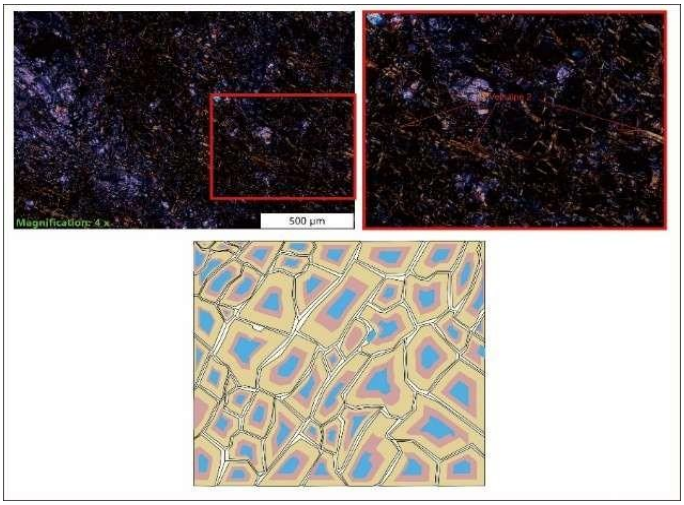
Gambar 11. Sketsa perkembangan vein serpentin tipe 1, 2, dan 3 Vein tipe 1 terbentuk pada tahap awal serpentinisasi, kemudian berkembang menjadi vein tipe 2 dan tipe 3 seiring bertambahnya waktu, meningkatnya fluks fluida, serta kedekatan dengan sumber fluida. Perkembangan ini mencerminkan peningkatan derajat serpentinisasi.

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

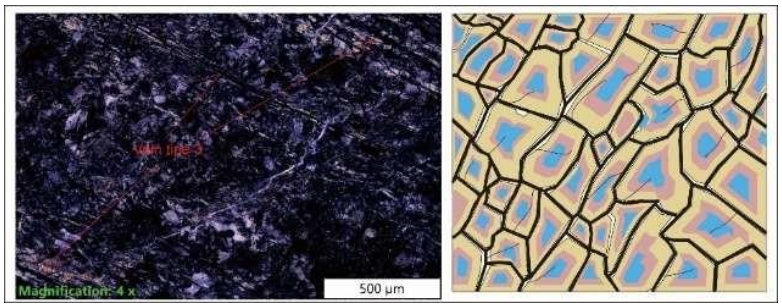
doi: 10.37905/jage.v5i1.38765 ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage



Gambar 5. Foto sayatan petrografi dengan kode sampel 5/SRT/MS dan sketsa vein generasi pertama (V1) dengan tekstur pseudomorf (*mesh*) olivine pada stasiun 5



Gambar 13. Foto sayatan petrografi dengan kode sampel 11/SRT/MS dan sketsa vein generasi kedua (V2) dengan tekstur pseudomorf (*mesh*) olivine pada stasiun 11



Gambar 14. Foto sayatan petrografi dengan kode sampel 15/SRT/MS dan sketsa vein generasi ketiga (V3) dengan tekstur pseudomorf (*mesh*) olivine pada stasiun 15

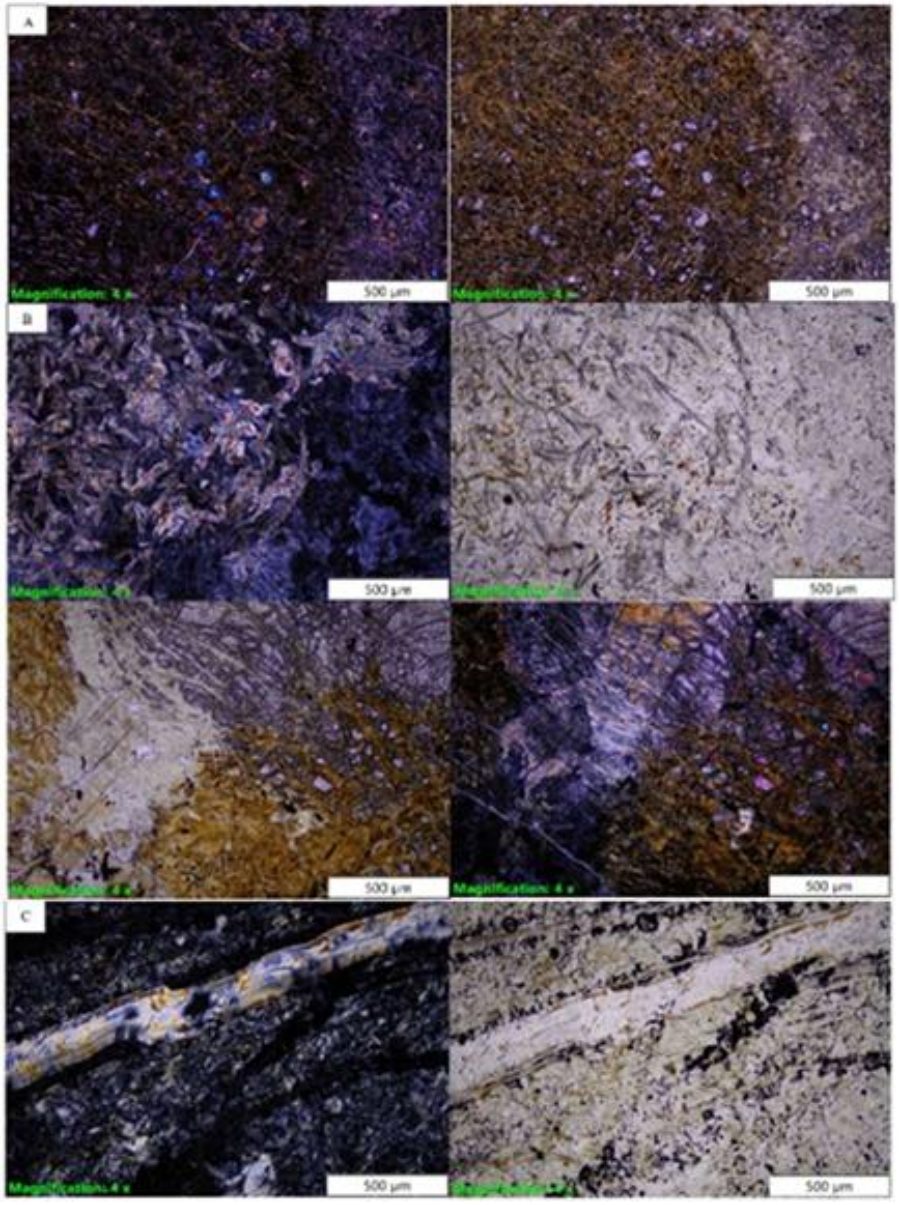
Asosiasi mineral dan tipe vein pada sayatan 5/SRT/MS mengindikasikan tingkat serpentinisasi tinggi yang berlangsung pada rentang suhu 400-600°C (Oud, 2010). Vein tipe 2 memiliki lebar celah 0,01 - 0,1 mm yang membentang melintasi kristal olivin dan memotong vein tipe 1. Karakteristik utamanya adalah keberadaan mineral lizardit, krisotil, dan magnetit di bagian inti vein, dengan jumlah brusit yang lebih sedikit dibandingkan dengan vein tipe 1. Vein tipe 2 memintas kristal olivin dan menghasilkan tekstur *mesh* pada olivin. Pada sayatan 11/SRT/MS, terdapat lizardit dan magnetit, serta krisotil yang membentuk vein berpotongan (Gambar 13).

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

doi: 10.37905/jage.v5i1.38765 ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage

Generasi vein tipe 2 serpentin memiliki komposisi mineral yang didominasi oleh lizardit atau krisotil dan magnetit dengan persistensi hingga beberapa centimeter. Mineral tersebut merupakan komposisi utama urat serpentin. Proses serpentinisasi ini terjadi pada temperatur 300-400°C (Oud, 2010). Vein tipe 3 relatif mudah dibedakan terhadap vein tipe 1 dan 2. Mineral pengisi vein didominasi oleh lizardit bersama dengan magnetit (opak) yang melimpah dengan bukaan lebih besar dari vein tipe 1 dan 2 (Gambar 14).

Vein tipe 1 mengindikasikan serpentinisasi yang mendahului proses pengalihtempatan. Retakan serpentin hanya ditemukan secara sporadis pada batas olivin, dengan sebagian membentuk pola mesh. Vein tipe 2 mencerminkan proses yang terjadi selama pengalih-tempatan, yang ditandai dengan akumulasi magnetit granular yang mengisi bagian tengah vein bersama dengan mineral lizardit dan sejumlah kecil brusit. Evolusi pascapengalih-tempatan diidentifikasi dengan keberadaan vein tipe 3, beberapa di antaranya menunjukkan kontinuitas dan lebar yang lebih signifikan dibandingkan tipe vein lainnya, dan umumnya terdiri atas krisotil dengan kandungan magnetit yang melimpah.



Gambar 15. Kompilasi sayatan petrografi yang menunjukkan paragenesis mineral serpentin: (A) tekstur *mesh* yang didominasi lizardit dan krisotil sebagai penciri tahap hidrasi awal; (B) krisotil berserat (*fibrous chrysotile*) yang menggantikan (*replacement*) lizardit serta tekstur *interlocking* sebagai indikasi proses rekristalisasi; dan (C) tekstur *interpenetrating* pada antigorit sebagai penciri proses deserpentinisasi.

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

doi: 10.37905/jage.v5i1.38765 ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage

3.5 Paragenesis Mineral Serpentin

Serpentinisasi di daerah Tampanombo menunjukkan tiga mekanisme utama, yaitu hidrasi, rekristalisasi serpentin, dan deserpentinisasi. Tahap awal serpentinisasi diperkirakan terjadi pada lingkungan pemekaran lantai samudra pada suhu sekitar 300–600 °C (Oud, 2010). Fase ini dicirikan oleh pembentukan lizardit dan krisotil dengan tekstur *mesh*, yang merupakan indikator hidrasi awal mineral olivin (O'Hanley, 1992; Malvoisin dkk., 2012).

Pada tahap berikutnya, selama proses pengangkatan orogenik dengan suhu lebih rendah (<300 °C), terjadi rekristalisasi serpentin yang menghasilkan lizardit dan krisotil berserat sebagai pengisi rekahan, disertai pembentukan tekstur *hourglass*, *bastite*, serta antigorit. Bastit terbentuk melalui proses *replacement* terhadap piroksen, sedangkan antigorit berkembang menggantikan lizardit dan krisotil sebelumnya dengan tekstur *hourglass*, *interlocking*, dan *interpenetrating* (Oud, 2010).

Secara umum, serpentinisasi di daerah penelitian diawali oleh proses hidrasi yang diikuti rekristalisasi, keduanya merupakan bagian dari serpentinisasi retrograd. Namun, kehadiran tekstur *interpenetrating* pada antigorit mengindikasikan terjadinya deserpentinisasi, yaitu transformasi lizardit atau krisotil menjadi antigorit melalui proses dehidrasi pada suhu lebih tinggi (>350 °C) (Evans & Frost, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa evolusi serpentinisasi di daerah penelitian tidak hanya dikendalikan oleh hidrasi, tetapi juga oleh pemanasan ulang selama perkembangan tektonik.

Tabel 2. Interpretasi Fase Paragenesis Mineral Serpentin Pada Lokasi Penelitian

Suhu (°C)	Mineral Serpentin	Tekstur Struktur	Tipe Vein	Sub - Proses	Foto Sayatan Tipis
500	Lizardit	*Mesh*	Tipe 1	Hidrasi	
400	Lizardit Krisotil	*Mesh Bastite*	Tipe 1	Hidrasi	
	Lizardit Krisotil Antigorit	*Mesh Bastite Hourglass Interpenetrating*	Tipe 1&2	Hidrasi Rekristalisasi Dehidrasi	
300	Lizardit Krisotil Antigorit	*Mesh Bastite Hourglass Interlocking*	Tipe 1&2	Hidrasi Rekristalisasi	
	Lizardit Krisotil Antigorit	*Mesh Bastite Hourglass Interlocking Interpenetrating Kink band*	Tipe 1,2&3	Hidrasi Rekristalisasi	
200	Lizardit Krisotil Antigorit	*Mesh Bastite Hourglass Interlocking Interpenetrating*	Tipe 1,2&3	Hidrasi Rekristalisasi	

3.6 Geokimia Batuan Serpentinit dan Indikasi Paragenesis

Data geokimia digunakan untuk menunjang hasil interpretasi paragenesis mineral serpentin di daerah penelitian. Dalam hal ini data geokimia yang dipakai yaitu analisis XRF pada stasiun 1 – 5 serta analisis SEM-EDS pada stasiun 1 dan 5.

a. X-Ray Fluorence

Hasil analisis XRF pada sampel ST1 hingga ST5 menunjukkan kecenderungan geokimia yang sangat konsisten dengan tahapan paragenesis serpentin pada batuan ultramafik daerah penelitian (Tabel 3).

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

doi: 10.37905/jage.v5i1.38765 ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage

Tabel 3. Tabel hasil XRF stasiun 1 - 5

Oksida	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5
MgO	43.018	42.754	42.174	48.246	41.235
SiO_2	30.491	43.185	30.488	31.427	35.011
Fe_2O_3	11.562	6.241	10.770	10.218	7.538
Al_2O_3	0.908	0.749	0.977	0.883	0.687
CaO	1.614	0.07	1.302	1.256	4.064
Na_2O	0.792	0.154	1.868	0.897	1.595
LE / LOI (%)	10.418	6.110	11.156	5.935	8.806

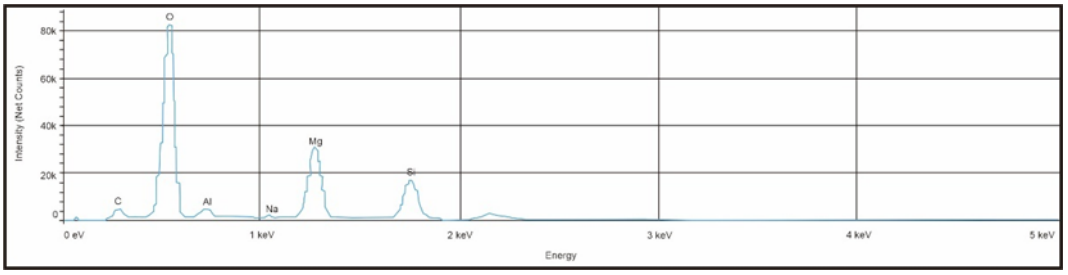
Secara keseluruhan, data XRF mendukung urutan paragenesis serpentin yang jelas pada daerah penelitian, dimulai dari tahap awal hidrasi olivin (*mesh-lizardite*), dilanjutkan tahap rekristalisasi (*hourglass–antigorite*), hingga indikasi awal metamorfisme prograde dan deserpentinisasi pada sampel tertentu.

b. SEM – EDS

Analisis SEM – EDS di daerah penelitian dilakukan pada 2 stasiun yaitu stasiun 1 dan stasiun 5 yang dianggap merepresentasi dan mendukung analisis lainya untuk dapat menjelaskan urutan paragenesa mineral serpentin yang ada di daerah penelitian.

Spektrum SEM–EDS (Gambar 16) menunjukkan komposisi unsur utama penyusun serpentinit pada area analisis. Puncak dominan O (oksigen) dengan intensitas tinggi mengindikasikan bahwa sampel didominasi oleh fase silikat terhidrasi, yang konsisten dengan mineral serpentin. Kehadiran Mg dengan intensitas tinggi menunjukkan dominasi Mg-silikat, karakteristik mineral serpentin seperti lizardite, chrysotile, dan antigorit, yang terbentuk dari alterasi batuan ultramafik kaya olivin dan piroksen. Unsur Si dengan intensitas menengah memperkuat interpretasi bahwa fase utama berupa magnesium silikat terhidrasi. Sementara itu, unsur Al dan Na terdeteksi dalam jumlah kecil yang kemungkinan berasal dari mineral aksesoris atau substitusi minor dalam struktur serpentin, sedangkan puncak C dengan intensitas rendah umumnya berkaitan dengan kontaminasi permukaan selama proses preparasi SEM.

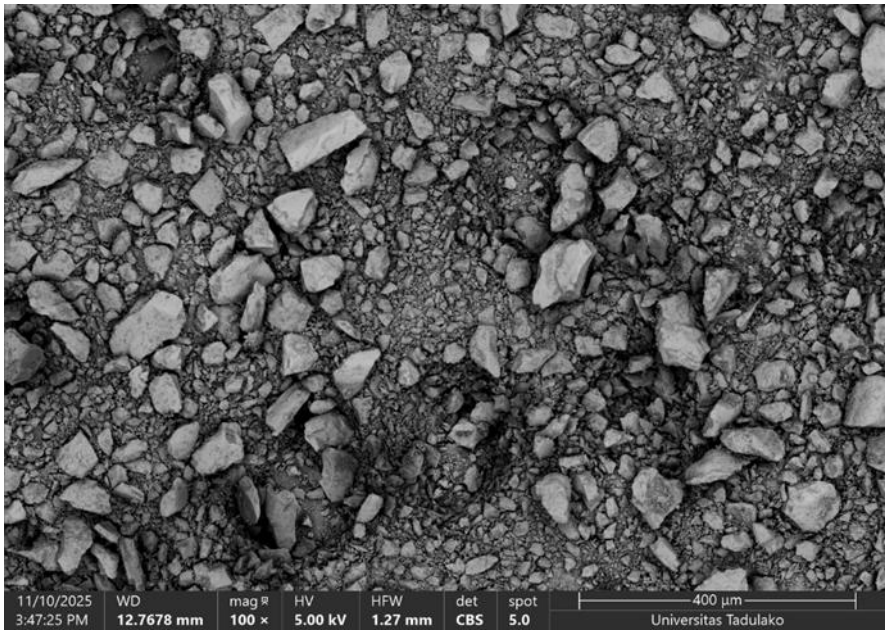
Citra SEM pada sampel ST1 (Gambar 17) memperlihatkan morfologi butiran yang didominasi oleh bentuk *fibrous* dan *platy/flaky* yang tersusun rapat. Morfologi ini merupakan karakteristik mineral serpentin tipe chrysotile dan lizardite, yang umumnya berkembang pada tahap awal hingga menengah proses serpentinisasi akibat hidrasi olivin dan piroksen (Lacinska dkk., 2016). Kenampakan tersebut mengindikasikan bahwa sampel ST1 merekam tahap serpentinisasi awal (hidrasi), yang sejalan dengan kemunculan tekstur mesh pada pengamatan petrografi serta kandungan MgO dan LOI yang relatif tinggi pada analisis XRF. Oleh karena itu, sampel ST1 dapat diinterpretasikan sebagai bagian batuan yang didominasi oleh serpentin generasi awal, sebelum mengalami rekristalisasi lanjut atau metamorfisme pada kondisi temperatur yang lebih tinggi (Evans, 2004; O'Hanley, 1996).



Gambar 16. Grafik EDS Stasiun 1

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

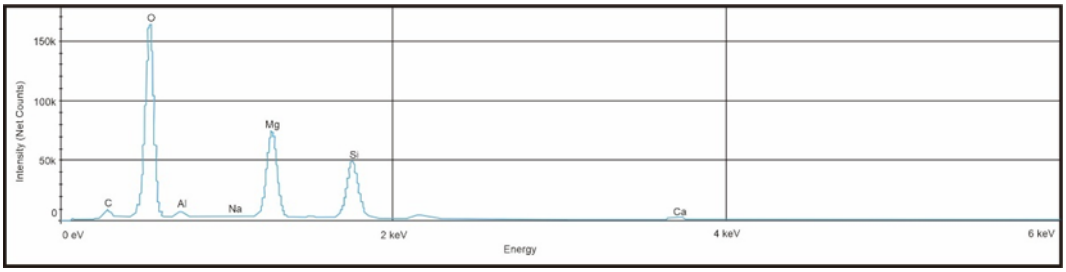
doi: 10.37905/jage.v5i1.38765 ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage



Gambar 17. Hasil SEM-EDS Stasiun 1

Spektrum SEM–EDS pada sampel ST5 (Gambar 18) menunjukkan komposisi unsur dominan Mg–Si–O, yang mencerminkan keberadaan mineral magnesium silikat terhidrasi sebagai fase utama. Puncak O dengan intensitas sangat tinggi mengindikasikan dominasi mineral silikat terhidrasi, sedangkan puncak Mg yang tinggi menunjukkan karakter Mg-rich yang khas pada mineral serpentin seperti lizardit, krisotil, dan antigorit. Kehadiran Si dengan intensitas menengah–tinggi semakin menegaskan bahwa fase utama berupa magnesium silikat, bukan karbonat atau oksida sederhana. Unsur Al dan Na muncul sebagai puncak minor yang kemungkinan berasal dari substitusi terbatas dalam struktur serpentin atau kontribusi mineral silikat sekunder seperti klorit maupun sisa piroksen teralterasi. Sementara itu, puncak Ca yang sangat kecil mengindikasikan keberadaan fase minor, yang kemungkinan berkaitan dengan urat karbonat atau silikat kalsium hasil interaksi fluida pada tahap lanjut serpentinisasi. Puncak C dengan intensitas rendah diinterpretasikan sebagai karbon nonstruktural yang berasal dari proses preparasi sampel.

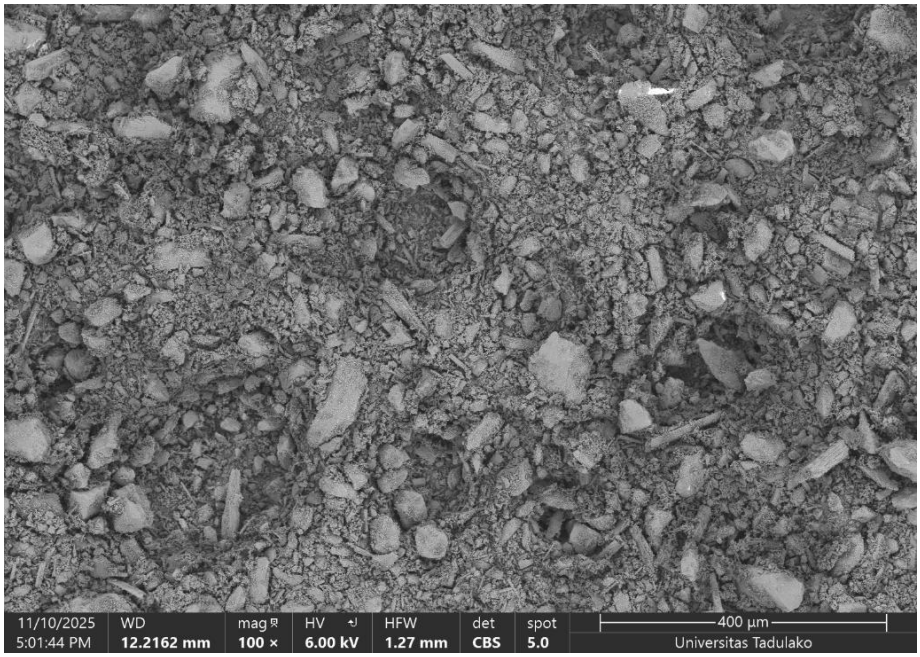
Citra SEM menunjukkan bahwa sampel ST5 (Gambar 19) memiliki morfologi butiran yang lebih kasar dan masif dibandingkan ST1, didominasi bentuk lamellar atau blade-like dengan hubungan antarbutir berupa tekstur interlocking dan interpenetrating. Morfologi ini umum dijumpai pada mineral serpentin tipe antigorit, yang lebih stabil pada kondisi tekanan dan temperatur lebih tinggi dibandingkan lizardit dan krisotil (Evans, 2004; Lacinska dkk., 2016). Kehadiran tekstur interpenetrating mengindikasikan pertumbuhan kristal baru yang saling menembus dan berkaitan dengan peningkatan kondisi P–T, yang berasosiasi dengan proses rekristalisasi serpentin lanjut serta kemungkinan awal deserpentinisasi (dehidrasi) selama metamorfisme prograde (Evans & Frost, 2021). Dengan demikian, sampel ST5 diinterpretasikan merekam tahap transisi dari serpentinisasi retrograd menuju kondisi metamorfisme prograde.



Gambar 6. Grafik EDS stasiun 5

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

doi: 10.37905/jage.v5i1.38765 ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage

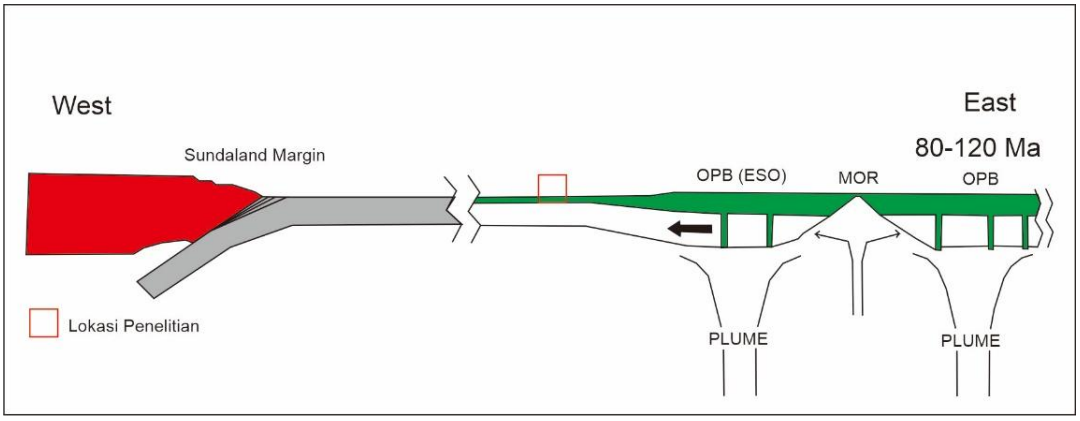


Gambar 19. Hasil SEM-EDS stasiun 5

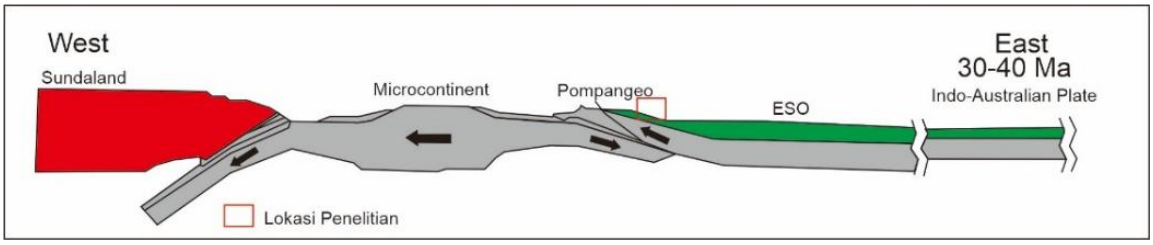
3.7 Interpretasi Tektonik Berdasarkan Indikasi Paragenesis

Berdasarkan indikasi paragenesis yang telah didapatkan pada daerah penelitian dapat dilakukan interpretasi untuk mendapatkan model perkembangan tektonik pada daerah penelitian.

Serpentinisasi fase awal terjadi sebelum pengalihtempatan East Sulawesi Ophiolite (ESO) dengan terjadinya proses hidrasi pada serpentinit yang membentuk mineral serpentin bertekstur *mesh* dan pada fase ini mineral serpentin yaitu lizardit pertama muncul namun pseudomorfnya yaitu mineral olivin dan piroksen masih dapat dikenali. Fase ini terbentuk pada suhu 400 – 600 °C dan membentuk vein tipe 1.



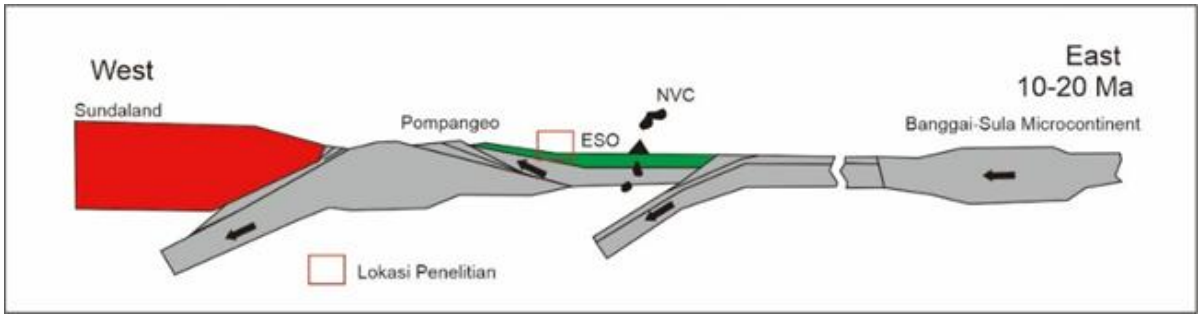
Gambar 20. Interpretasi kondisi tektonik pada fase awal serpentinisasi (Modifikasi kadarusman, 2004).



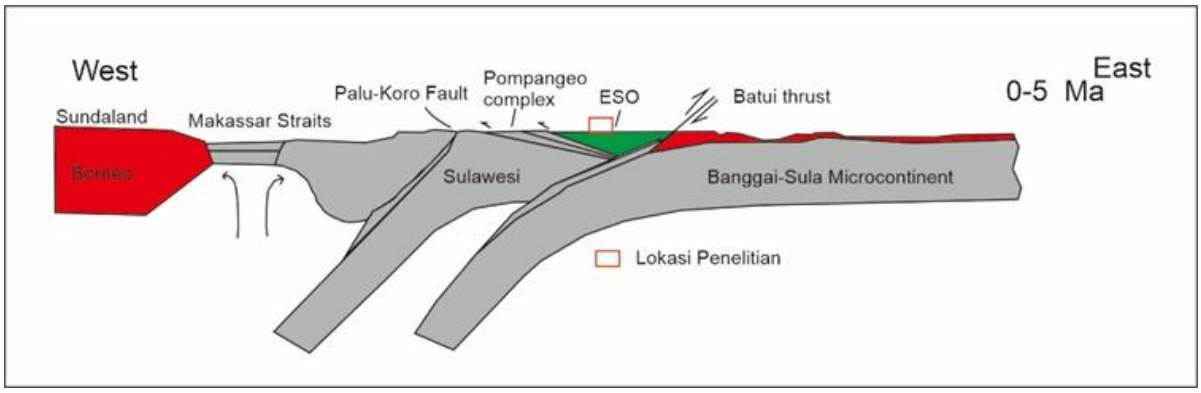
Gambar 21. Interpretasi kondisi tektonik pada saat pengalihtempatan ESO pada fase selanjutnya (Modifikasi kadarusman, 2004).

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

doi: 10.37905/jage.v5i1.38765 ejurnal.ung.ac.id/index.php/jage



Gambar 7. Interpretasi kondisi tektonik setelah pengalihtempatan ESO serta terjadi aktivitas vulkanisme oleh NVC (Modifikasi Kadarusman, 2004).



Gambar 23. Interpretasi fase akhir tektonik daerah penelitian (Modifikasi Kadarusman, 2004).

Fase selanjutnya terbentuk pada saat pengalihtempatan East Sulawesi Ophiolite (ESO) hal ini dibuktikan dengan kehadiran vein tipe 2 oleh lizardit dan krisotil yang disertai dengan kehadiran mineral magnetit. Terdapat pula struktur Kink Band yang merupakan bukti terjadinya pengangkatan dan aktivitas tektonik yang masif terjadi proses pengangkatan ini diperkirakan terbentuk pada suhu 400 – 300 ºC.

Pada fase ketiga terjadi aktivitas vulkanik pada East Sulawesi Ophiolite (ESO) oleh pembentukan Neogen Vulcaniclastic Rock (NVC). Akibat aktivitas ini terjadi kenaikan suhu pada lokasi penelitian sehingga terjadi proses metamorfisme prograde sehingga memicu sub – proses deserpentinisasi pada mineral serpentin. Hal ini dibuktikan dengan kehadiran tekstur interpenetrating pada mineral antigorit. Proses ini diperkirakan terbentuk pada suhu 350 – 500 ºC.

Fase terakhir terjadi setelah proses pengalihtampatan terjadi yang ditandai dengan kehadiran vein tipe 3 yang menandakan terjadi rekristalisasi pada suhu < 300 ºC. pada fase ini terjadi proses metamorfisme retrograde yaitu metamorfisme yang berlangsung seiring dengan penurunan suhu.

4. KESIMPULAN

Litologi yang didapatkan pada lokasi penelitian adalah batuan serpentinit dengan komposisi mineral yaitu lizardit, krisotil, antigorit, klorit dan opak. Penentuan nama batuan didasarkan pada pengamatan petrografi dengan menggunakan klasifikasi SCMR, 2007. Tekstur yang didapatkan pada batuan serpentinit daerah penelitian yaitu mesh, bastite, hourglass, interlocking dan interpenetrating. Tipe vein yang teramati merupakan vein tipe 1,2 dan 3. Serta struktur mikro yang dijumpai adalah kink band.

Berdasarkan indikasi tekstural dan tipe vein, maka dapat disimpulkan paragenesis mineral serpentin di daerah penelitian menunjukkan tiga mekanisme utama, yaitu hidrasi, rekristalisasi serpentin dan deserpentinisasi. Hidrasi terjadi pada suhu 600 - 400ºC, deserpentinisasi terjadi pada suhu 350 - 400ºC serta reksristalisasi serpentin terjadi pada suhu <300 ºC. Hidrasi terjadi sebelum pengalihtempatan ESO sedangkan deserpentinisasi terjadi pada saat pengalihtempatan ESO dan rekristalisasi terjadi setelah pengalihtempatan seiring dengan penurunan suhu.

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

5. REFERENSI

Andreani, M., Baronnet, A., Boullier, A. M., & Gratier, J. P. (2004). A microstructural study of a "crack-seal" type serpentine vein using SEM and TEM techniques. European Journal of Mineralogy, 16(4), 585–595. https://doi.org/10.1127/0935-1221/2004/0016-0585

Andreani, M., Mével, C., Boullier, A. M., & Escartín, J. (2007). Dynamic control on serpentine crystallization in veins: Constraints on hydration processes in oceanic peridotites. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 8(2). https://doi.org/10.1029/2006GC001373

Banerjee, R., Ray, D., & Ishii, T. (2015). Mineral chemistry and alteration characteristics of spinel in serpentinised peridotites from the Northern Central Indian Ridge. Journal of the Geological Society of India, 86(1), 41–51. https://doi.org/10.1007/s12594-015-0279-3

Deer, W. A., Howie, R. A., & Zussman, J. (1992). An Introduction to the Rock-Forming Minerals. Longman Scientific & Technical.

Dilek, Y., & Furnes, H. (2011). Ophiolite genesis and global tectonics: Geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere. Geological Society of America Bulletin, 123(3–4), 387–411.

Evans, B. W. (2004a). The Serpentine Multisystem Revisited. Geological Society of America Special Paper, 373, 1–20. https://doi.org/10.1130/0-8137-2373-6.1

Evans, B. W. (2004b). The serpentinite multisystem revisited: Chrysotile is metastable. International Geology Review, 46(6), 479–506.

Evans, B. W. (2008). Control of Serpentinization by Heat Flow and Fluid Flux. American Journal of Science, 308(7), 936–979.

Evans, B. W. (2010). Serpentine and serpentinization: Mineralogy, petrology, and tectonics. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 70(1), 131–170.

Frost, B. R., Evans, K. A., Swapp, S. M., Beard, J. S., & Mothersole, F. E. (2013). The process of serpentinization in dunite from new caledonia. Lithos, 178, 24–39. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.02.002

Ghoneim, M. F., Saleem, I. A., & Hamdy, M. M. (2003). Origin of magnesite veins in serpentinites from Mount El-Rubshi and Mount El-Maiyit, Eastern Desert Egypt. Archiwum Mineralogiczne, 2002(printed), 41–63. papers2://publication/uuid/DF1D24A4-945A-46B5-9808-315E8FA1A484

Hall, R. (2002). Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: Computer-based reconstructions, model, and animations. Journal of Asian Earth Sciences, 20(4), 353–434.

Hall, R., & Wilson, M. E. J. (2000). Neogene sutures in eastern Indonesia. Journal of Asian Earth Sciences, 18(6), 781–808.

Hamilton, W. (1979). Tectonics of the Indonesian region (Vol. 1078). US Geological Survey Professional Paper.

Hurlbut, C. S. J. (1972). Dana's Manual of Mineralogy. Wiley International Edition, Harvard University.

Hurlbut, C. S., & Klein, C. (1977). Manual of Mineralogy (19th (ed.)). Wiley International Edition, Harvard University.

Iyer, K. (2007). Mechanisms of serpentinization and some geochemical effects. September, 144.

Kelemen, P. B., & Hirth, G. (2012). Reaction-driven cracking during serpentinization. Earth and Planetary Science Letters, 345–348, 81–89.

Kusumadinata, K. (1979). Data Dasar Gunungapi Indonesia. Direktorat Vulkanologi, Bandung.

Lacinska, A. M., Styles, M. T., Bateman, K., Wagner, D., & Hall, M. R. (2016). 2 2016. 153– 169.

Nelson, Criado, E., Recio, P., Martinez, R., De Aza, A. H., Valle, F. J., & Mañueco, C. (2011). La porcelana de sepiolita de Bartolomé Sureda (1802-1808). Investigación arqueométrica sobre la Real Fábrica de Buen Retiro. Boletin de la Sociedad Espanola de Ceramica y Vidrio, 50(6), 311–328. https://doi.org/10.3989/cyv.402011

Nugraha, A., & al., et. (2022). Geological structure and tectonic evolution of Central Sulawesi. Geological Society of Indonesia Journal, 8(2), 133–150.

O'Hanley, D. S. (1996a). Serpentinites: Records of Tectonic and Petrological History. Oxford University Press.

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.

O'Hanley, D. S. (1996b). Serpentinites: Records of Tectonic and Petrological History. Oxford University Press.

Oud, K. (2010). S Erpentinization and Fracture Formation in Peridotites on. July, 92.

Razak, M., Irhan Mais Cendra Jaya, R., Ihksan Juarsan, L., Razak Haraty, S., Pramadana, R., & Hasria. (2024). Studi paragenesis serpentin pada batuan utramafik Kompleks Ofiolit Daerah Baula dan Pomalaa, Sulawesi Tenggara. Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral, 25(2), 95–106. https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v25i2.761

Rouméjon, S., & Cannat, M. (2014a). Geochemistry, Geophysics, Geosystems. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 15, 4692–4711. https://doi.org/10.1002/2013GC005148. Received

Rouméjon, S., & Cannat, M. (2014b). Serpentinization of mantle-derived peridotites at midocean ridges: Mesh texture development in the context of tectonic exhumation. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 15(6), 2354–2379. https://doi.org/10.1002/2013GC005148

Rusmana D., E. . S. S. (1993). Peta Geologi Lembar Poso, Sulawesi (Skala 1:250.000). Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Simandjuntak, T.O, S. dan J. . S. (1991). Geologi Lembar Poso, Sulawesi.

Simandjuntak J.B., T. O. . S. S. (1993). Peta Geologi Regional Sulawesi Skala 1:1.000.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Sudradjat R.; Darno, M., A. . S. (1985). The 1983 eruption of Colo Volcano, Una-Una Island, Central Sulawesi. Volcanological Survey of Indonesia Bulletin, 19(2), 45–60.

Sukamto, R. (1975). Geological Map of the East Sulawesi Sheet, Scale 1:250,000. Geological Survey of Indonesia, Bandung.

Sutanto. (1992). Penginderaan Jauh untuk Geologi. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Una-Una, B. T. (2024). Profil Geologi Kabupaten Tojo Una-Una. Pemerintah Kabupaten Tojo Una-Una.

Utami, N. (2021). Petrologi Batuan Ultramafik di Daerah Tanjung Api, Kabupaten Tojo UnaUna. Repository Universitas Tadulako.

Wicks, F. J., & O'Hanley, D. S. (1988). Serpentine minerals: Structures and petrology. In Hydrous Phyllosilicates (Vol. 19, hal. 91–168). Mineralogical Society of America.

hak cipta© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo
Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0.