

**SKRIPSI**

**GEOKIMIA BATUAN ULTRAMAFIK TERSERPENTINISASI PADA  
BLOK X PT. BUKIT MAKMUR ISTINDO NIKELTAMA KECAMATAN  
PETASIA TIMUR, KABUPATEN MOROWALI UTARA, PROVINSI  
SULAWESI TENGAH**

**Disusun dan diajukan oleh**



**HULAIMA**

**D06181701**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR  
2022**

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**  
**” GEOKIMIA BATUAN ULTRAMAFIK TERSERPENTINISASI PADA**  
**BLOK X PT. BUKIT MAKMUR ISTINDO NIKELTAMA”**

Disusun dan diajukan oleh

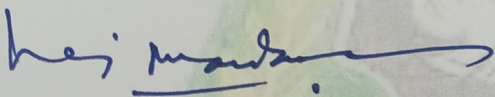
**HULAIMA**  
**D061181701**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin pada tanggal 20 Desember 2022 dan dinyatakan telah  
memenuhi syarat kelulusan

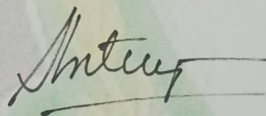
Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



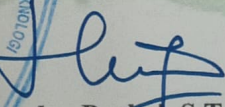
**Prof. Dr. Eng. Adi Maulana, ST, M, Phil**  
NIP. 19800428 200501 1 001



**Dr. Adi Tonggiroh, S.T., MT**  
NIP. 19650928 200003 1 002

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Geologi  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



**Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M. Eng**  
NIP. 19771214 200501 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Hulaima  
NIM : D061181701  
Program Studi : Teknik Geologi  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul

### **GEOKIMIA BATUAN ULTRAMAFIK TERSERPENTINISASI PADA BLOK X PT. BUKIT MAKMUR ISTINDO NIKELTAMA**

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambian alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila ditemukan hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Desember 2022

Yang Menyatakan

  
Hulaima  


## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis geokimia serpentin terhadap batuan ultramafik di blok x PT. Bukit Makmur Istindo Nikeltama Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah. Sampel diperoleh dari *bedrock* yang dilakukan analisis petrografi dan geokimia. Petrografi batuan dasar dilakukan untuk menganalisa komposisi mineral, dan tekstur batuan yang kemudian dikorelasikan dengan unsur geokimia dari metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) di setiap stasiun pengambilan sampel. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis batuan ultramafik yang terserpentinisasi, karakteristik serpentinisasi dan jenis mineral serpentin pada daerah penelitian. Batuan dasar di daerah penelitian terdiri dari *lherzolite* dan *harzburgit*. Jenis serpentin yang ditemukan pada daerah penelitian ada tiga yaitu lizardit, krisotil dan antigorit. Tingkat serpentinisasi pada daerah penelitian beragam yaitu tingkat serpentinisasi kuat, sedang dan lemah. Pada stasiun 2 yang menunjukkan tingkat serpentinisasi kuat dengan kandungan unsur SiO<sub>2</sub> 41,95%, MgO 39,56% dan Ni 0,4%. Pada stasiun 3,4,5 dan 6 yang menunjukkan tingkat serpentinisasi sedang dengan kandungan unsur rata-rata SiO<sub>2</sub> 36,30%, MgO 30,85% dan Ni 0,3%. Pada stasiun 1 yang menunjukkan tingkat serpentinisasi lemah dengan kandungan unsur SiO<sub>2</sub> 41,95%, MgO 39,56% dan Ni 0,3%.

**Kata kunci : Geokimia, Serpentinisasi, batuan ultramafik, XRF, Sulawesi Tengah**

## **ABSTRACT**

*This study aims to analyze serpentine geochemistry of ultramafic rocks in block x PT. Bukit Makmur Istindo Nikeltama, North Morowali Regency, Central Sulawesi Province. Samples were obtained from bedrock subjected to petrographic and geochemical analysis. Bedrock petrography was carried out to analyze the mineral composition, and rock texture which was then correlated with the geochemical elements of the X-Ray Fluorescence (XRF) method at each sampling station. This study aims to determine the types of serpentinized ultramafic rocks, characteristics of serpentinization and types of serpentine minerals in the study area. The bedrock in the study area consists of lherzolite and harzburgite. There are three types of serpentine found in the study area, namely lizardite, chrysotile and antigorite. The degree of serpentinization in the study area varies, namely the degree of serpentinization is strong, medium and weak. At station 2 which shows a strong serpentinization level with an elemental content of 41.95% SiO<sub>2</sub>, 39.56% MgO and 0.4% Ni. At stations 3,4,5 and 6 which show moderate levels of serpentinization with an average elemental content of SiO<sub>2</sub> 36.30%, MgO 30.85% and Ni 0.3%. At station 1 which shows a weak degree of serpentinization with an elemental content of 41.95% SiO<sub>2</sub>, 39.56% MgO and 0.3% Ni.*

**Keywords:** *Geochemistry, Serpentinization, ultramafic rock, XRF, Central Sulawesi*

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur patut dipanjatkan kehadiran Tuhan yang Maha Esa yang senantiasa memberikan limpahan kasih dan berkat-Nyalah, sehingga penyusunan Tugas Akhir ini dengan judul “Geokimia Batuan Ultramafik Terserpentinisasi Pada Blok X PT. Bukit Makmur Istindo Nikeltama daerah Morowali Utara, Povinsi Sulawesi Tengah” ini dapat terselesaikan.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing, mengarahkan dan membantu penulis baik secara moril maupun materil sehingga laporan ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak, di antaranya:

1. Bapak Dr. Eng Hendra Pachri, S.T ., M.Eng sebagai Ketua Departemen Tenik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Adi Maulana, S.T., M.Phil sebagai dosen pembimbing utama dan penasehat akademik yang telah membimbing selama masa perkuliahan.
3. Bapak Dr. Adi Tonggiroh, S.T .,M.T sebagai pembimbing Pendamping yang telah banyak memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis.
4. Bapak Ir. Jamal Rauf Husain, M.T dan Dr. Ir. Kaharuddin MS, M.T selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan kepada penulis sehingga laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik.

5. Bapak Alwansyah, S.T., selaku Kepala Teknik Tambang Bapak Gunawan Wibowo, S.T, selaku *operation manager* dan Bapak Alit Saripuddin selaku *support manager* PT. Bukit Makmur Istindo Nikeltama.
6. Bapak Wawan Setiawan S,T selaku pembimbing kerja praktik penulis. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Budhi Satriyo Nugroho, S.T selaku kepala divisi *operation*, Bapak Deni Kurniawan Setiadi, S.E., selaku HRD PT Bukit Makmur Istindo Nikeltama, Bapak Yulius selaku HRGA PT Bukit Makmur Istindo Nikeltama, Bapak Putu Sukha S,T selaku *Spt. Mine Plan Engineer* (MPE), Bapak Odang selaku *Spt. Surveyor*. Bapak Iwan Wahyudi, S.E., selaku kepala divisi HSE, Bapak Laode selaku Humas PT. Bumanik.
7. Seluruh saudara – saudari seperjuanganku XENOLITH 2018 yang telah memberikan masukan dan dukungan dalam penyusunan laporan ini.
8. Terima kasih sedalam-dalamnya kepada orang tua penulis, yang telah memberikan dukungan dan senantiasa selalu mendoakan yang kemudian menjadi sumber semangat bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini masih sangat jauh dari kesempurnaan, sehingga segala saran dan kritik yang sifatnya membangun sangat diperlukan dalam penyempurnaan laporan ini semoga laporan ini dapat berguna bagi semua pihak yang menggunakannya.

Makassar, Desember 2022

Hulaima

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
HALAMAN SAMPUL .....	i
HALAMAN TUJUAN .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
ABSTRAK .....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Lokasi dan Kesampaian Daerah .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Geologi Regional Sulawesi .....	5
2.2 Fisiografi Regional .....	6
2.3 Stratigrafi Regional .....	7
2.4 Teori Ringkas .....	8
2.4.1 Batuan Ultramafik .....	8
2.4.2 Serpentiisasi .....	12
2.5 Tingkat Serpentinisasi .....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	18
3.1 Metode Penelitian .....	18
2.4 Tahapan Penelitian .....	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	22
4.1 Geologi Daerah Penelitian .....	22
4.1.1 Fisiografi Daerah Penelitian .....	22
4.1.2 Geomorfologi Daerah Penelitian .....	22



4.1.3	Struktur Daerah Penelitian .....	23
4.2	Batuan Ultramafik pada daerah Penelitian .....	24
4.3	Geokimia Batuan Ultramafik .....	25
4.3.1	Analisis Data <i>Bedrock</i> .....	25
4.3.2	Perbandingan unsur pada sampel .....	34
4.4	Derajat serpentinisasi.....	36
BAB V PENUTUP.....		41
5.1	Kesimpulan.....	41
5.2	Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA .....		43

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 1.1 Peta Tunjuk Lokasi Daerah Penelitian .....	4
Gambar 2.1 Peta Geologi Daerah Sulawesi .....	6
Gambar 2.2 Sekuen Ofiolit .....	8
Gambar 2.3 Klasifikasi batuan ultrabasa .....	20
Gambar 4.1 Kenampakan lapangan perbukitan denudasional daerah penelitian.....	23
Gambar 4.2 Kekar Sistematis pada batuan peridotit pada daerah penelitian .....	24
Gambar 4.3 Kenampakan litologi peridotit pada daerah Penelitian dengan arah N 245° E .....	25
Gambar 4.4 Kenampakan <i>bedrock</i> batuan peridotit pada stasiun 1 .....	26
Gambar 4.5 Kenampakan petrografis batuan <i>lherzolite</i> terserpentinisasi pada stasiun 1 .....	26
Gambar 4.6 Kenampakan <i>bedrock</i> batuan peridotit pada stasiun 2 .....	27
Gambar 4.7 Kenampakan petrografis batuan <i>harzburgit</i> terserpentinisasi pada stasiun 2 .....	27
Gambar 4.8 Kenampakan <i>bedrock</i> batuan peridotit pada stasiun 3 .....	28
Gambar 4.9 Kenampakan petrografi batuan <i>lherzolite</i> terserpentinisasi pada stasiun 3 .....	28
Gambar 4.10 Kenampakan <i>bedrock</i> batuan peridotit pada stasiun 4 .....	32
Gambar 4.11 Kenampakan petrografis batuan <i>lherzolite</i> terserpentinisasi pada stasiun 4 .....	32
Gambar 4.12 Kenampakan <i>bedrock</i> batuan peridotit pada stasiun 5 .....	33
Gambar 4.13 Kenampakan petrografis batuan <i>lherzolite</i> terserpentinisasi pada stasiun 5 .....	33
Gambar 4.14 Kenampakan <i>bedrock</i> batuan peridotit pada stasiun 6 .....	34
Gambar 4.15 Kenampakan petrografis batuan <i>lherzolite</i> terserpentinisasi pada stasiun 6 .....	35

Gambar 4.16 Grafik unsur SiO <sub>2</sub> dan MgO pada <i>bedrock</i> .....	36
Gambar 4.17 Grafik unsur Ni dan MgO pada <i>bedrock</i> .....	37

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1 Analisa serpentinisasi daerah penelitian menurut Schwartz .....	19
Tabel 3.1 <i>Flowchart</i> penelitian .....	26
Tabel 4.1 Data hasil analisis unsur SiO <sub>2</sub> dan MgO pada <i>bedrock</i> .....	36
Tabel 4.2 Data hasil analisis unsur Ni dan MgO pada <i>bedrock</i> .....	37
Tabel 4.3 Komposisi mineralogi jenis serpentin batuan dasar pada daerah penelitian .....	39
Tabel 4.4 Analisa serpentinisasi daerah penelitian menurut Schwartz .....	41

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Secara regional, geologi Pulau Sulawesi terkenal dengan sebaran batuan ultrabasa yang cukup luas dengan potensi mineral yang dimilikinya. Sebaran batuan ultrabasa ini dikenal dengan istilah ESO (*East Sulawesi Ophiolite*), dan mineral yang berpotensi masuk dalam kelompok endapan laterit.

Proses serpentinisasi yang terjadi pada batuan peridotit akibat pengaruh larutan hydrothermal, akan mengubah batuan peridotit menjadi batuan serpentin atau batuan peridotit terserpentinisasi. Sedangkan proses kimia dan fisika dari udara, air serta pergantian panas dingin yang secara berlanjut, menyebabkan disitengrasi dan dekomposisi pada batuan induk.

Penjelasan mengenai mineralogi dan tingkat serpentinisasi pada batuan ultramafik sangat penting untuk mempelajari genesis dan proses geologi yang berlangsung dalam proses serpentinisasi yang dapat menambah pengetahuan mengenai proses serpentinisasi pada batuan ultramafik terkhusus pada daerah Morowali Utara serta menjadi bahan referensi untuk peneliti selanjutnya. Penelitian mengenai geokimia dan petrologi telah banyak dilakukan namun, penelitian tentang mineralogi dan tingkat serpentinisasi batuan ultramafik masih belum banyak dilakukan.

Berdasarkan hal diatas, maka sangat penting untuk melakukan penelitian Tugas Akhir tentang "Geokimia Batuan Ultramafik Terserpentinisasi pada Blok X PT. Bukit Makmur Istindo Nikeltama" daerah Morowali Utara, Povinsi

Sulawesi Tengah dengan tujuan untuk menentukan Geokimia Batuan Ultramafik Terserpentinisasi pada PT. Bukit Makmur Istindo Nikeltama. Hal ini bisa digunakan sebagai bahan referensi baik dalam explorasi maupun exploitasi endapan nikel di daerah Pit PT. Bukit Makmur Istindo Nikeltama.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian yang dilakukan pada PT Bukit Makmur Istindo Nikeltama adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan jenis batuan ultramafik pada daerah penelitian.
2. Bagaimana menentukan karakteristik serpentinisasi pada daerah penelitian.
3. Bagaimana menentukan jenis mineral serpentinisasi pada daerah penelitian?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan Penelitian yang dilakukan pada PT. Bukit Makmur Istindo Nikeltama adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui jenis batuan ultramafik yang terserpentinisasi pada daerah penelitian.
2. Mengetahui karakteristik serpentinisasi pada daerah penelitian
3. Mengetahui jenis mineral serpentinisasi pada daerah penelitian.

## **1.4 Batasan Masalah**

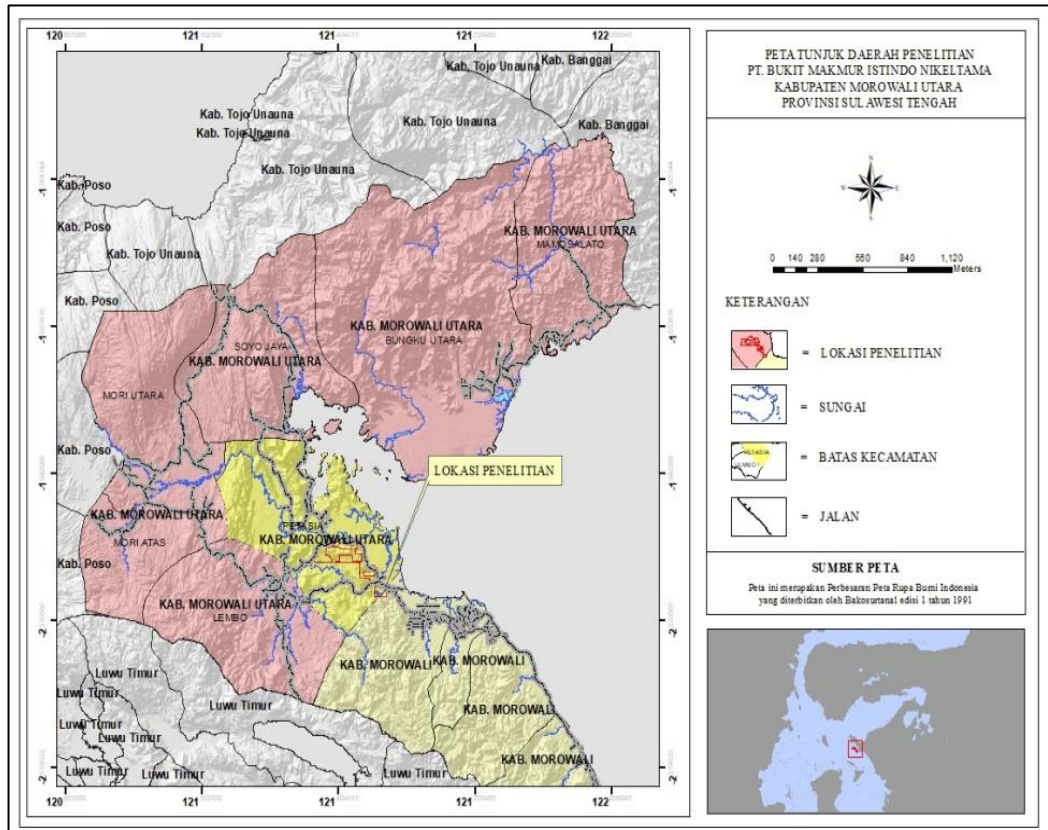
Pada penelitian yang akan dilakukan ini dibatasi pada pengambilan data lapangan berupa batuan dasar di daerah penelitian serta akan dilakukan analisis kandungan mineral serpentin terhadap batuan dan analisis untuk mengetahui

geokimia serpentinisasi pada batuan ultramafik dengan metode menggunakan sayatan tipis atau petrografi dan *X-Ray Fluorescence* (XRF).

### **1.5 Lokasi dan Kesampaian Daerah**

Provinsi Sulawesi Tengah memiliki luas  $\pm 61.841,29 \text{ km}^2$  terletak pada posisi antara  $119^\circ 22' 00'' - 124^\circ 22' 00''$  Bujur Timur dan antara  $2^\circ 28' 00''$  Lintang Utara –  $3^\circ 48' 00''$  Lintang Selatan. Secara administratif daerah penelitian mencakup Kabupaten Morowali Utara di Provinsi Sulawesi Tengah. Secara Astronomis letak Kabupaten Morowali Utara berada pada  $1^\circ 31' 00'' - 3^\circ 04' 00''$  Lintang Selatan dan  $121^\circ 02' 00'' - 123^\circ 15' 00''$  Bujur Timur.

Lokasi penelitian berada di Kecamatan Petasia Timur, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah dan dapat ditempuh melalui jalur udara dari Kota Makassar menuju Morowali dengan menggunakan pesawat terbang dengan waktu tempuhnya selama  $\pm 1$  jam. Setelah itu untuk mencapai lokasi dapat ditempuh menggunakan sarana transportasi darat dengan waktu tempuh sekitar 1 jam 30 menit. Lokasi penelitian juga dapat ditempuh menggunakan transportasi darat berupa bis dengan waktu tempuh  $\pm 16$  jam.



**Gambar 1.1** Peta tunjuk lokasi daerah penelitian



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Geologi Regional Sulawesi**

Terletak pada zona konvergen antara tiga lempeng lithosfer, yaitu lempeng Australia yang bergerak ke utara, pergerakan ke barat lempeng Pasifik, dan lempeng Eurasia di bagian selatan – tenggara (Herman dan Hasan Sidi, 2000). Berdasarkan asosiasi litologi dan perkembangan tektonik, Sulawesi dan sekitarnya dibagi dalam 5 provinsi tektonik, yaitu Busur vulkanik Tersier Sulawesi bagian barat, Busur vulkanik Minahasa Sanghihe, Sabuk Metamorfik Cretaceous – paleogene yang berasosiasi dengan lapisan sedimen pelagik, Sabuk ofiolit kapur Sulawesi bagian timur, Fragmen benua mikro Paleozoic Banggai – Sula yang berasal dari benua Australia (Hamilton, 1979).

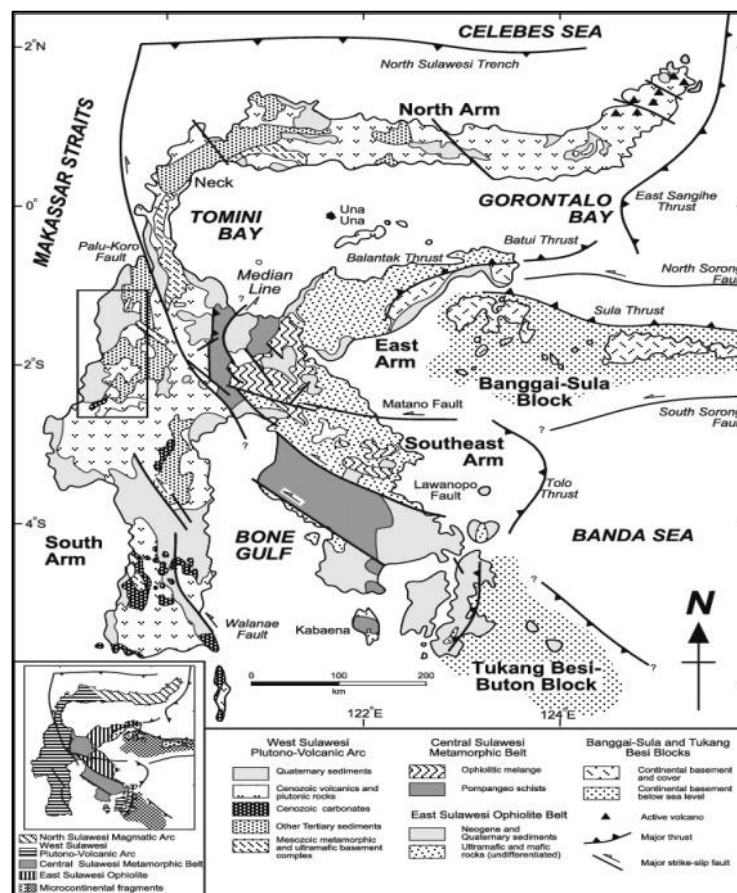
Batuan dan struktur dari bagian timur dan tenggara Sulawesi terdiri dari busur asimetrik dari ofiolit, melange, sedimen imbrikasi, dan batuan metamorf hasil dari subduksi (Hamilton, 1979). Geologi Sulawesi timur tersusun oleh dua zona melange, yang terangkat sebelum dan sesudah Miosen. Melange yang terletak pada bagian selatan dan barat tersusun dari batuan sekis yang berorientasi ke arah tenggara dengan disertai beberapa batuan ultramafik relatif kecil yang penyebarannya terbatas.

Melange berumur (Miosen – Miosen akhir) menutupi bagian tengah dan timur laut Sulawesi. Proses pengangkatan secara intensif terjadi di sini (Golightly, 1979 dalam Suratman 2000) Diperkirakan bahwa pengangkatan ini disebabkan oleh sesar turun dari kerak lautan sekitar kepulauan Banggai. Di bagian selatan

zona melange ini terdapat kompleks batuan ultrabasa Sorowako – Bahudopi yang dimana merupakan termasuk ke dalam daerah penelitian, pada daerah Sorowako – Bahudopi pengangkatannya relatif tidak terlalu intensif dengan luas sekitar 11.000 km, diselingi oleh blok – blok sesar dari batugamping laut dalam yang berumur Kapur dan diselingi rijang (Golightly, 1979 dalam Suratman 2000).

## 2.2 Fisiografi Regional

Secara umum daerah Sulawesi dapat dikategorikan dalam tatanan geologi yang kompleks, karena terletak pada zona konvergen di antara tiga lempeng lithosfer, yaitu lempeng Australia yang bergerak ke utara, lempeng pasifik yang bergerak ke barat dan barat laut, dan lempeng Eurasia bergerak ke arah utara.



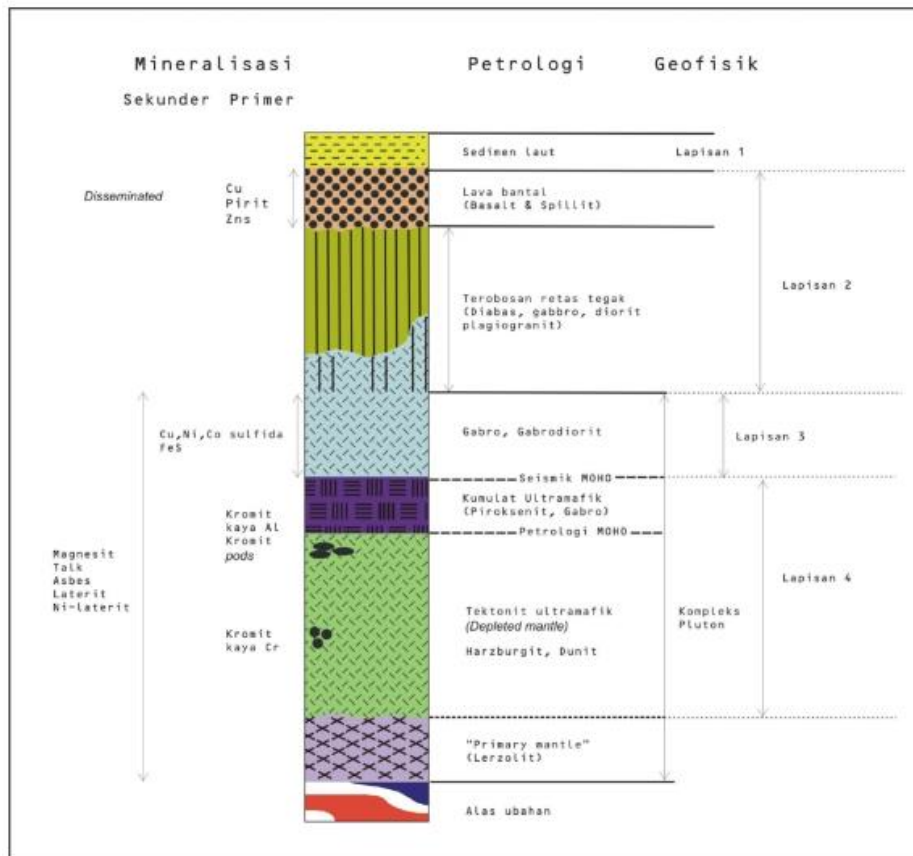
Gambar 2.1 Peta Geologi Daerah Sulawesi (Hall dan Wilson, 2000 dalam Armstrong, 2012)

Sulawesi Tengah tersusun oleh Kompleks Pompangeo, batugamping malih, dan ofiolit. Kompleks Pompangeo tersusun oleh sekis, grafit, batusabak, genes, serpentinit, kuarsit, dan batugamping malih (Simandjuntak dkk dalam Surono, 2013). Berdasarkan pentarikan, K – Ar terhadap Kompleks Pompangeo berumur 111 juta tahun (Parkinson, 1998 dalam Surono, 2013). Batugamping malih yang terdiri atas pualam dan batugamping terdaunkan yang diduga berasal dari sedimen pelagos laut dalam dan berumur lebih tua daripada Kapur (Simandjuntak, 1993 dalam Surono, 2013). Ofiolit juga disebut Lajur Ofiolit Sulawesi Timur, yang didominasi oleh batuan ultrabasa dan basal serta sedimen pelagik. Batuan ultramafik terdiri atas harzburgit, dunit, werlit, lherzolite, websterit, serpentinit dan peridotit.

### **2.3 Stratigrafi Regional**

Daerah teilitan termasuk kedalam Formasi Kompleks Ultramafik (Simandjuntak dkk, 1993). Menurut Ahmad (2009), batuan ultramafik adalah batuan yang kaya akan kandungan mineral mafik (ferromagnesia) dan mengandung mineral olivin, piroksen, hornblenda, dan mika. Batuan ultramafik memiliki indeks bias lebih dari 70. Batuan ultramafik itu sendiri terdiri dari peridotit, dunit, serpentinit, harzburgit, wherlit, lherzolite.

Pada stratigrafi Sulawesi tengah juga banyak di kontrol oleh sikuen ofiolit, sikuen ofiolit terdiri dari beberapa lapisan dari batuan beku ultrabasa maupun basa, hingga batuan sedimen di atasnya. Urutan sikuen ofiolit sebagai berikut:



Gambar 2.2 Sikuen Ofiolit lengkap (Menurut Moores. dkk (1982) dalam Ishlah, 2012)

## 2.4 Teori Ringkas

### 2.4.1 Batuan Ultramafik (*Ultramafic Rock*)

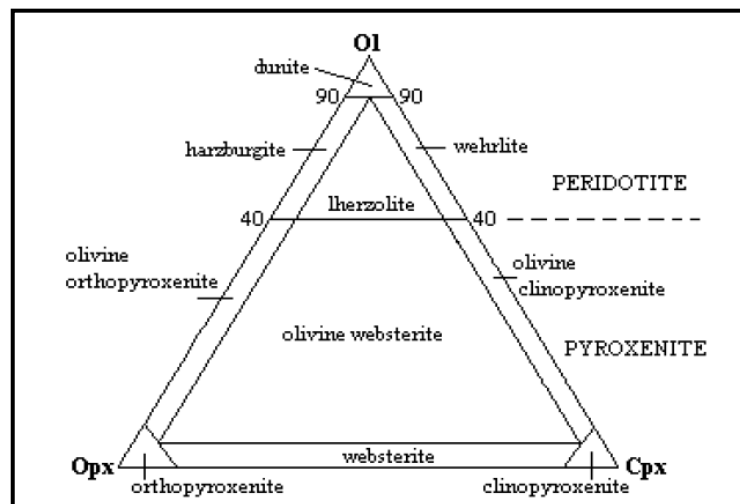
Secara terminologi batuan ultrabasa (*ultrabasic rock*) atau juga dikenal sebagai batuan ultramafik (*ultramafic rock*) diketahui kaya akan mineral – mineral mafik (*ferro-magnesian*) seperti olivine, piroksin dan ampibol. Kebanyakan batuan ultramafik mengandung kurang dari 45% silica. Batuan ultramafik umumnya mengandung . 18% MgO, tinggi FeO, rendah kalium (K), dan biasanya terdiri dari lebih besar dari 90% mineral mafik (berwarna gelap, magnesium dan besi tinggi).

Menurut Ahmad (2002), Batuan Ultramafik merupakan batuan yang terdiri dari mineral-mineral yang bersifat mafik (*ferromagnesian*), seperti olivin,

piroksin, hornblend dan mika. Semua batuan ultramafik memiliki indeks warna >70%.

Perlu diperhatikan bahwa istilah “ultrabasa” dan “ultramafik” tidak identik. Sebagian besar batuan ultramafik juga ultrabasa, sementara tidak semua batuan ultrabasa yang ultramafik. Dengan demikian batuan yang kaya akan feldspathoid merupakan ultrabasa namun bukan batuan ultramafik, karena tidak mengandung mineral ferromagnesian (Ahmad, 2002).

Berdasarkan klasifikasi dari Streckeisen (1976) memperlihatkan klasifikasi untuk batuan ultramafik (Gambar 2.5). Dimana dalam klasifikasi ini batuan intrusi dan ekstrusi dipisahkan. Klasifikasi ini membagi batuan ultramafik berdasarkan kandungan mineraloginya, yang terbagi dalam empat jenis mineral.



Gambar 2.3 Klasifikasi Batuan Ultrabasa berdasarkan Streckeisen (1976)

Berikut adalah jenis – jenis dari batuan ultramafik, antara lain:

1. Peridotit

Peridotit biasanya membentuk suatu kelompok batuan ultramafik yang disebut ofiolit, umumnya membentuk tekstur kumulus yang terdiri dari atas

harsburgit, lertzolit, werlite dan dunit. Peridotit tersusun atas mineral – mineral holokristalin dengan ukuran medium – kasar dan berbentuk anedral. Komposisinya terdiri dari olivin dan piroksin. Mineral asesorisnya berupa plagioklas, hornblende, biotit dan garnet.

## 2. Piroksinit

Menurut Ahmad (2002), piroksinit merupakan kelompok batuan ultramafik monomineral dengan kandungan mineral yang hampir sepenuhnya adalah piroksin. Dalam hal ini Piroksinit diklasifikasikan lebih lanjut apakah masuk kedalam Piroksin ortorombik atau monoklin.

- a. Orthopyroxenites: Bronzites
- b. Clinopyroxenites: Diopsidites; diallagites

Piroksen peridotit adalah salah satu dari banyaknya batuan ultramafik yang umum. Berdasarkan pada tipe piroksen, peridotit dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- Harzburgit : olivine + orhopiroksen (enstatit atau bronzit)
- Wehrlit : olivine + klinopiroksen (diopsid atau dialag)
- Lertzolit : olivin + ortopiroksen + klinopiroksen

## 3. Hornblendit

Hornblendit merupakan batuan ultramafik monomineral dengan komposisi mineral sepenuhnya hornblende.

## 4. Dunit

Merupakan batuan yang hampir murni olivin (90-100%), umumnya hadir sebagai forsterit atau kristolit, terdapat sebagai sill atau korok-korok halus (dalam dimensi kecil). Ahmad (2002), menyatakan bahwa dunit memiliki komposisi

mineral hampir seluruhnya adalah monomineralik olivine (umumnya magnesia olivin), mineral asesorisnya meliputi kromit, magnetit, ilmenit dan spinel. Pembentukan dunit berlangsung pada kondisi padat atau hampir padat (pada temperatur yang tinggi) dalam larutan magma dan sebelum mendingin pada temperatur tersebut, batuan tersebut siap bersatu membentuk massa olivine anedral yang saling mengikat. Terbentuk batuan yang terdiri dari olivine murni (dunit) misalnya, membuktikan bahwa larutan magma (liquid) berkomposisi olivine memisah dari larutan yang lain.

#### 5. Serpentin

Serpentin merupakan batuan hasil alterasi hidrotermal dari batuan ultramafik, dimana mineral-mineral olivin dan piroksin jika teralterasi akan membentuk mineral serpentin. Serpentin sangat umum memiliki komposisi batuan berupa monomineralik serpentin, batuan tersebut dapat terbentuk dari serpentinisasi dunit, peridotit (Ahmad, 2002). Serpentin dapat dihasilkan dari mantel oleh hidrasi dari mantel ultramafik (mantel peridotit dan dunit). Dibawah pegunungan tengah samudera (mid Oceanic Ridge) pada temperatur <500°C.

Akibat tingkat alterasi yang tinggi pada peridotit terserpentinisasi, maka cukup sulit untuk mengetahui komposisi fase mineralnya. Pembentukan mineral sekunder seperti serpentin, klorit, brisit, kalsit, apatit, amfibol, mika, dan hematit sangat terlihat. Relik mineral primer seperti Cr-Al-spinel, klinopiroksen, orthopiroksen, dan olivine ditemukan pada batuan ini dan mungkin mempresentasikan komposisi utama dari peridotit yang belum terserpentinisasi.

- Serpentin

Merupakan mineral hidrous yang terbentuk akibat reaksi air dengan mineral mafik primer, terutama olivine dan piroksen. 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.

- Olivin

Merupakan mineral dengan relief tinggi dan warna intefrensi tinggi. Mineral olivin pada peridotit mempunyai beberapa ratus hingga ribu ppm unsur Ca (yang dimana merupakan komponen larnite,  $\text{CaSiO}_4$ ). Pertukaran  $\text{Ca}^{2+}$  antara klinopiroksen dan olivine telah digunakan sebagai geobarometer untuk spinel peridotit karena batuan ini tidak mempunyai reaksi yang peka terhadap tekanan. Lherzolite cenderung mempunyai komposisi olivine lebih sedikit dari harzburgit.

- Spinel

Mineral ini terdapat sebagai campuran kromit dan spinel lain dengan bentuk euhedral – anhedral. Komposisi tertinggi yang terdapat adalah Cr-spinel (35- 41%) dan Al-spinel (20-33%). Cr-spinel pada harzburgit mempunyai kandungan FeO dan  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  lebih rendah dari dunit, wehrlit, dan olivin gabro. Dapat berupa kumulat atau desiminasi pada relik olivin.

- Piroksin

Ortopiroksen pada peridotit dari sekumpulan menunjukkan jenis estatit. Klinopiroksen dan ortopiroksen dipisahkan berdasarkan sudut pepadaman dan warna intefrensi.

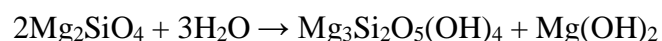


#### 2.4.2 Serpentinisasi

Serpentinisasi merupakan proses ubahan mineral yang dianggap sebagai metamorfisme temperatur rendah dan terjadi pada batuan mafik hingga ultramafik terutama peridotit dan dunit (Lucas, dkk., 2009). Pengetahuan tentang serpentinisasi dan kemampuan mengidentifikasi mineral-mineral serpentin sangat bermanfaat bagi eksplorasionis yang sedang melakukan eksplorasi utamanya endapan laterit nikel. Seperti telah diketahui bahwa mayoritas produksi bijih laterit nikel secara global berasal dari hasil pelapukan kimia batuan ultramafik terserpentinkan dan hanya sebagian kecil yang berasal dari batuan ultramafik tak terserpentinkan (Freyssinet dkk, 2005).

Pada prinsipnya, serpentinisasi merupakan proses alterasi hidrotermal *retrograde* batuan ultramafik seperti dunit, peridotit, dan piroksenit atau proses metamorfisme *prograde* batuan serpentin yang telah ada. Hadirnya *brucite* menunjukkan bahwa serpentinisasi terjadi pada kondisi temperature rendah (Moody, 1976). Akan tetapi pada zona pelapukan, *brucite* sangat rentan terhadap pelapukan sehingga akan berubah dengan cepat menjadi hidromagnesit. *Brucite* cenderung tidak muncul pada serpentin yang berasal dari peridotit yang kaya piroksin (> 40%).

Reaksi serpentinisasi secara kimia dapat dituliskan sebagai berikut :

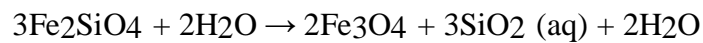


Forsterit    Serpentin    Brusit



Enstatit    Serpentin

Pada kondisi Oksidasi anaerob, oksidasi besi di dalam olivin dan piroksen oleh air pada saat serpentinisasi menyebabkan terbentuknya hidrogen yang dituliskan:



Fayalit      Magnetit



Ferrosilit      Magnetit

Pada rumus diatas menjelaskan bahwa oksigen penting dalam pembentukan magnetit yang mana oksigen tersebut diekstrak dari dekomposisi air dan menghasilkan hidrogen. Pada kondisi tertentu dengan hadirnya karbon dioksida, proses serpentinisasi dapat membentuk magnetit dan magnesit.



Oleh karena reaksi diatas, salah satu faktor tingginya tingkat serpentinisasi pada sebuah batuan ultramafik dapat diukur dari tingkat kemagnetanya. Dimana semakin tinggi serpentinisasi akan menghasilkan tingkat kemagnetan dan ukuran butir magnetit (Malvoisin et al, 2012).

Kelompok mineral serpentin mempunyai struktur lapisan/filosilikat. Dimana rumus kimia dasarnya adalah  $\text{X}_6\text{Y}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$  dimana variable X berupa Magnesium dengan peluang untuk tergantikan oleh nikel kobalt, mangan besi dan seng.

Menurut Whittaker dan Zussman (1956) dalam Wicks (1977) berdasarkan polymorfismenya, serpentin dibedakan atas 3 yaitu krisotil, lizardit, dan antigorit adapun penjelasan ketiga jenis mineral serpentin sebagai berikut:

## 1. Krisotil

Krisotil adalah mineral yang paling berkembang di lingkungan tektonik aktif, lithotype yang berasosiasi memperlihatkan derajat metamorfosa sekis hijau. Mineral ini tumbuh pada lingkungan mikro seperti pori, void dan vein. Berdasarkan studi, krisotil terbentuk dari serpentinit yang telah mengalami rekristalisasi yang mana mineral serpentin akan membentuk tekstur yang saling mengunci melaporkan bahwa krisotil berfoliasi biasanya merupakan mineral dominan pada zona gerusan suhu rendah yang memperlihatkan hancuran *ductile-brittle*, yang mana akan menghasilkan serpentin planar (lizardit dan antigorit) pada suhu lebih tinggi. Krisotil terbentuk pada temperature 0 - 400° C tekanan <1.0 Gpa.

## 2. Lizardit

Lizardit mempunyai struktur Kristal yang datar (*flat*) yang tersusun oleh substitusi dari Mg dan Si dengan Al dan Fe. Lizardit merupakan mineral sering menjadi pseudomorf langsung olivine pada *mesh* tekstur daripada krisotil (O' Hanley, dalam Evans, 2004). Lizardit lebih stabil daripada krisotil, tetapi krisotil dapat lebih stabil bila kondisi rasio air/batu tinggi, terutama pada sistem celah (Evans 2004). Kebanyakan dari serpentinit yang mengandung banyak lizardit terbentuk pada hidrasi langsung dari peridotit pada temperature rendah (O' Hanley, dalam Evans, 2004). Tektur *bastite* merupakan pseudomorf piroksen yang tersusun sebagian besar atas lizardit.

### 3. Antigorit

Pada zona subduksi, antigorite merupakan mineral serpentin yang paling stabil pada suhu dan tekanan tinggi. Mineral lizardit akan berubah menjadi antigorite pada 390°C dan tekanan tinggi (>0.7 GPa). Dekomposisi antigorite akan terjadi mulai pada suhu 4600°C dan kemudian akan hilang secara total pada suhu antara 650°C dan 700°C.

#### 2.5 Tingkat Serpentinisasi

Tingkat serpentinisasi berkorelasi dengan warna batuan. Semakin tinggi tingkat serpentinisasi, maka warna batuan semakin gelap, hal ini disebabkan karena pembentukan mineral serpentin juga disertai dengan pembentukan mineral opaq terutama magnetit. Tekstur batuan semakin halus dengan meningkatnya derajat serpentinisasi. Demikian pula dengan kerentanan magnetik akan meningkat dengan bertambahnya tingkat serpentinisasi.

Schwartz (2013) membagi tingkat serpentinisasi berdasarkan tekstur batuan serpentin. Tekstur bastite mencirikan tingkat serpentinisasi derajat rendah dengan suhu 200 -300 °C dengan tekanan < 4 kbar, tekstur *mesh* mencirikan tingkat serpentinisasi derajat rendah dengan suhu 320 -360 °C dengan tekanan 4-11 kbar, tekstur *hourglass* mencirikan tingkat serpentinisasi derajat sedang dengan suhu 340 – 390°C dengan tekanan 10 - 12 kbar, tekstur blades mencirikan tingkat serpentinisasi derajat tinggi dengan suhu dan tekanan tinggi (> 380°C) dengan tekanan 12 kbar. Tabel (2.1).

**Tabel 2.1.** Analisa serpentinisasi daerah penelitian menurut Shwartz

<b>Tekstur</b>	<b>Perkembangan mineral</b>	<b>Mineral</b>	<b>Kondisi Pembentukan (Shwartz, 2012)</b>
<i>Bastite</i>	Umuya Ortopyroksen yang terserpentinisasi pada awal serpentinisasi	Umunya Lizardit dan mineral Piroksen	Awal metamorfisme dengan suhu 200 -300 °C dengan tekanan < 4 kbar
<i>Mesh</i>	Olivin / ortopyroksen pada serpentinisasi awal dan <i>sea and island</i>	Umumnya Lizardit dengan <i>outline</i> Krisotil dan Magnetit	Awal metamorfisme dengan suhu 320 – 360°C dengan tekanan 4 – 11 kbar
<i>Hourglass</i>	Perkembangan lanjut dari <i>sea and island</i>	Lizardit mulai berkurang dan tergantikan oleh mineral Antigorit dengan <i>outline</i> mineral Magnetit, mineral Klorit mulai tumbuh	Metamorfisme lanjutan dengan suhu 340 – 390°C dengan tekanan 10 - 12 kbar
<i>Blades / Flaky</i>	Merupakan perkembangan lanjutan dari <i>sea and island</i> , yaitu <i>Oceanic Island</i>	Antigorit mulai mendominasi dengan, dengan alterasi mineral Klorit menjadi <i>outline</i> mulai menggantikan mineral Magnetit,	Terbentuk pada suhu dan tekanan tinggi (> 380°C) dengan tekanan 12 kbar
<i>Vein / Veinlet</i>	-	Sebagian besar krisotil. Lizardit, krisotil, dan kalsit ditemukan setempat	Terbentuk dalam berbagai kondisi