

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki endapan nikel laterit terbesar di dunia, khususnya di Pulau Sulawesi. Nikel umumnya diproduksi menjadi beberapa jenis seperti logam halus dari beberapa jenis tersebut lebih dari 60% digunakan sebagai bahan baku pembuatan baja tahan karat atau *stainless steel* (Herianto, 2008).

Daerah Wolo di Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara, dikenal memiliki endapan laterit yang signifikan dan berpotensi tinggi untuk dikembangkan. PT. X sebagai salah satu perusahaan tambang di daerah ini memiliki beberapa blok eksplorasi, salah satunya Blok A dan Blok B, yang keduanya menunjukkan potensi mineralisasi nikel laterit. Untuk mendukung kegiatan eksplorasi dan mengoptimalkan rencana produksi, diperlukan pemahaman mendalam mengenai karakteristik dan profil laterit di masing-masing blok. Profil laterit ini dapat mencakup ketebalan lapisan, kandungan logam, serta variasi mineralogi yang mempengaruhi nilai ekonomis cadangan yang ada.

Data logging, yaitu pencatatan data bor inti secara sistematis, merupakan metode yang efektif untuk mengidentifikasi variasi profil laterit pada kedalaman yang berbeda. Dengan menggunakan data logging yang telah dikumpulkan dari Blok A dan Blok B, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan profil laterit pada kedua blok tersebut, baik dari segi ketebalan lapisan, kadar nikel, maupun karakteristik litologi. Melalui analisis ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai distribusi nikel laterit pada masing-masing blok serta faktor-faktor geologi yang mempengaruhi variasi tersebut. Penelitian ini menjadi penting karena hasil perbandingan profil laterit pada Blok A dan Blok B dapat memberikan kontribusi bagi PT. X dalam pengambilan keputusan terkait perencanaan tambang, pengelolaan sumber daya, serta estimasi cadangan yang lebih akurat. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat mendukung optimalisasi pemanfaatan cadangan nikel laterit di wilayah Wolo dan mendukung kontribusi sektor tambang terhadap perekonomian daerah serta nasional.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah Penelitian ini dilakukan, yaitu :

1. Bagaimana perbedaan komposisi mineral dan kimia antara Blok A dan Blok B ?
2. Bagaimana variasi ketebalan lapisan laterit di kedua blok tersebut ?
3. Bagaimana perbedaan kondisi geologis atau lingkungan mempengaruhi profil laterit kedua blok ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk dapat mengetahui perbedaan komposisi mineral dan kimia antara Blok A dan Blok B
2. Mengetahui variasi ketebalan lapisan laterit di kedua blok tersebut
3. Mengetahui perbandingan profil laterit antara Blok A dan Blok B
4. Mengetahui kondisi geologi dan lingkungan dalam mempengaruhi profil laterit kedua blok

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu dapat dijadikan sebagai dasar atau acuan dalam melakukan tahapan eksplorasi lebih lanjut serta diharapkan dapat mengaplikasikan teori-teori yang didapatkan di perkuliahan pada dunia kerja nantinya.

1.5 Batasan Masalah

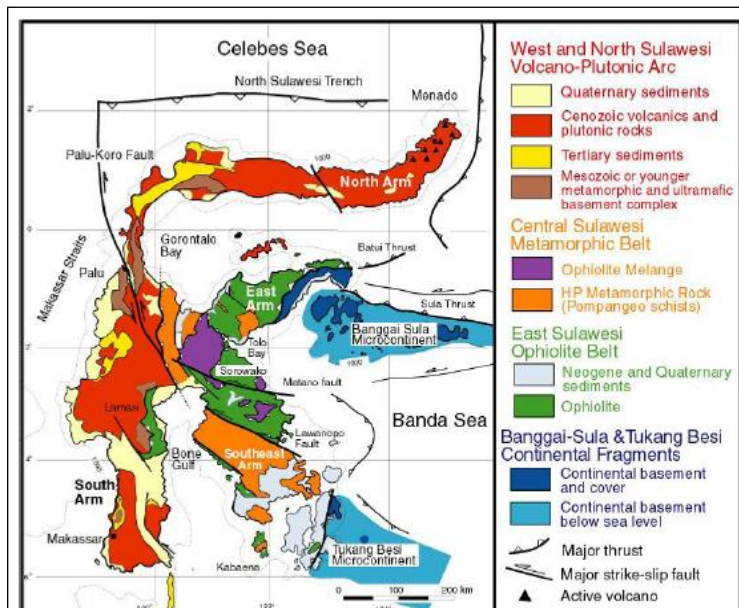
Adapun batasan masalah pada penelitian ini dibatasi pada dua area spesifik, yaitu Blok A dan Blok B yang terletak di PT. Ceria Nugraha Indotama. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa data logging, profil, morfologi, batuan dasar, dan kandungan unsur/mineral.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

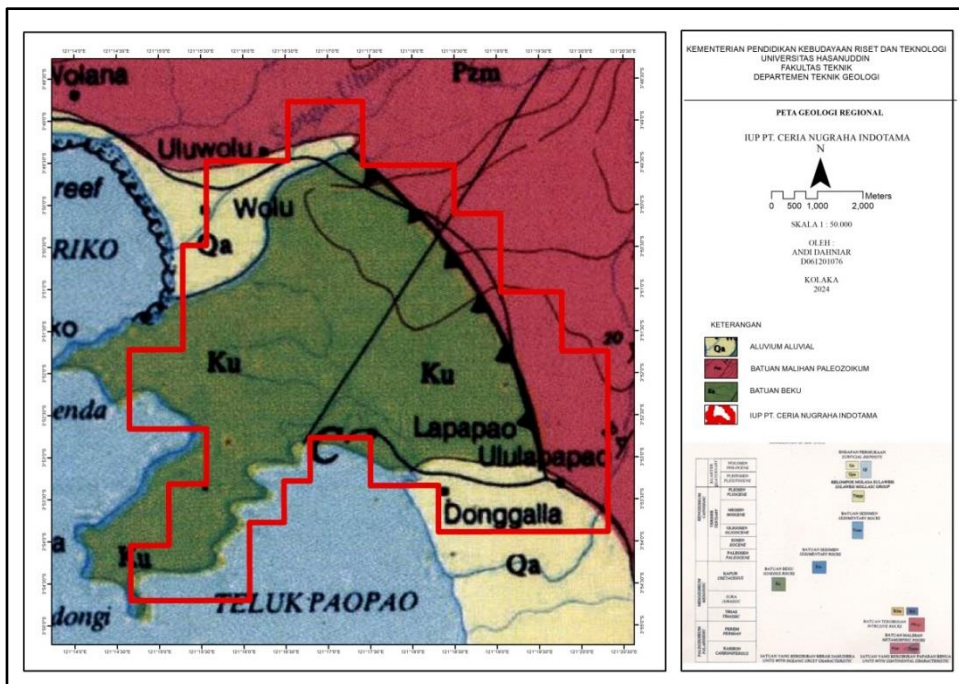
2.1 Geologi Regional

Lembar Kolaka terletak di Sulawesi Tenggara dan meliputi daerah Kabupaten Kolaka dan sekitarnya. Wilayah ini secara geografis berada pada koordinat sekitar 121° sampai 122° BT dan 3° sampai 4° LS. Secara administratif, daerah ini dikelilingi oleh Kabupaten Kolaka Utara di bagian utara, Kabupaten Bombana di bagian selatan, Kabupaten Kolaka Timur di sebelah timur, dan berbatasan langsung dengan Laut Flores di sebelah barat.

Sulawesi Tenggara merupakan bagian dari kompleks tektonik yang unik di Indonesia karena terletak di zona pertemuan antara tiga lempeng utama: Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Hal ini mengakibatkan Sulawesi memiliki pola tektonik kompleks yang membentuk busur-busur tektonik yang disertai aktivitas vulkanik, deformasi tektonik, dan pembentukan mineral. Adapun geologi regional daerah berdasarkan Simandjuntak, dkk (1997) Lembar Kolaka Sulawesi dengan skala 1:250.000.



Gambar 1 Geologi Regional Sulawesi (Kadarusman dkk. 2004)

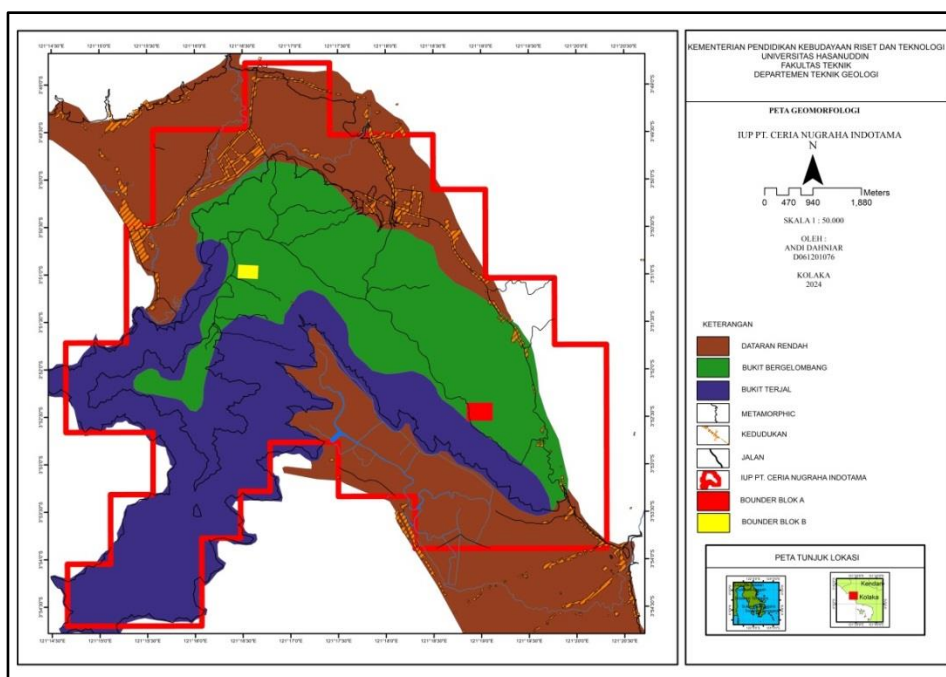


Gambar 2 Peta Geologi Lembar Lasusua-Kendari (Simandjuntak dkk., 1993).

2.2 Geomorfologi Regional Daerah Penelitian

Geomorfologi pada daerah penelitian dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu Dataran Aluvial, Perbukitan Bergelombang Rendah, dan Perbukitan Bergelombang Tinggi. Dataran Aluvial berkembang terutama di sekitar Sungai Wolo yang mengalir ke arah selatan dengan topografi yang relative datar menempati sekitar 10% daerah penelitian. Sedangkan morfologi Perbukitan Bergelombang Rendah menempati sebagian besar daerah penelitian dan sekitar 70% berupa perbukitan kecil dengan kelerengn landai 10° sampai dengan 25° . Morfologi ini memanjang timurlaut-baratdaya dan dipotong oleh dataran aluvial di sekitar Sungai Wolo pada bagian barat, serta mengelilingi Perbukitan Bergelombang Tinggi yang mengelompok di bagian tengah daerah penelitian. Perbukitan Bergelombang Tinggi tersebut menempati hampir 20% daerah penelitian memiliki kelerengn yang terjal hingga 70° di beberapa tempat (Afan, 2021).

Pada dataran aluvial laterit tidak berkembang, hanya dijumpai erosi laterit yang tertransportasi ke daerah tersebut. Pada bagian lereng bukit morfologi perbukitan bergelombang dengan kelerengn 20° umumnya keterdapatan zona lateritnya relatif tipis, akan tetapi pada bagian perbukitan bergelombang relative datar dengan kelerengn berkisar 10° sampai dengan 15° zona laterit berkembang lebih baik Pada Zona Perbukitan Bergelombang Tinggi lateritisasi juga tidak dapat berkembang dengan baik. Bahkan di beberapa tempat dapat dijumpai singkapan batuan dasar yang muncul ke permukaan. Namun demikian, di dataran yang relatif landai pada Zona Perbukitan Bergelombang Tinggi tersebut masih dapat dijumpai lateritisasi berkembang secara terbatas (Afan, 2021).



Gambar 3 Peta Geomorfologi Daerah Penelitian (Afan, 2021).

2.3 Stratigrafi Regional Daerah Penelitian

Kepingan benua di Lengan Sulawesi Tenggara diberi nama Mintakat Benua Sulawesi Tenggara (*Southeast Sulawesi Continental terrane*) dan Mintakat Matarombeo (Surono, 1994 dalam (Surono, 2013). Kompleks ofiolit di Lengan Tenggara Sulawesi merupakan bagian Lajur Ofiolit Sulawesi Timur. Batuan yang membentuk lajur ini lebih mendominasi oleh batuan ultramafik dan mafik. Batuan ultramafik terdiri atas harzburgit, dunit, werlit, lertzolit, websterit, serpentinit, dan piroksinit. Batuan sedimen tipe molasa berumur Miosen akhir – Pliosen awal membentuk Formasi Pandua. Formasi ini menindih takselaras semua formasi yang lebih tua, baik di Lajur Tinodo maupun di Lajur Hialu (Kundig, 1956 dalam (E. Rusmana, 1993).

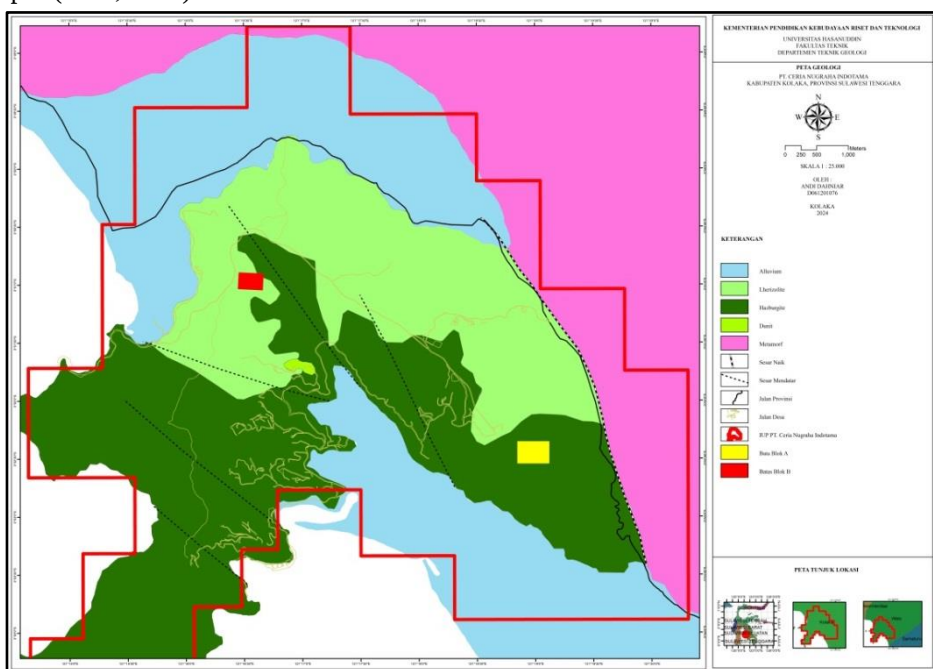
Daerah penelitian yang termaksud dalam Geologi Lembar Lasusua-Kendari merupakan bagian dari Kompleks Ofiolit (Ku) yang terdiri atas peridotit, harzburgit, dunit, gabro, dan serpentinit dan formasi Pandua (Tmpp) yang terdiri konglomerat, batupasir, dan batugamping.

Secara umum stratigrafi regional daerah penelitian termasuk pada lembar Lasusua-Kendari, pada daerah penelitian terdapat dua satuan batuan dari yang paling muda adalah sebagai berikut:

Aluvium (Qa) terdiri atas kerikil, kerakal, pasir lempung dan lumpur. Satuan ini merupakan hasil dari endapan sungai, rawa dan endapan pantai. Umur satuan ini adalah holosen (Afan, 2021).

Batuan Ofiolit (Ku) terdiri atas peridotit, dunit dan serpentinit. Serpentinit

berwarna kelabu tua sampai kehitaman; padu dan pejal. Batuannya bertekstur afanitik dengan susunan mineral antigorit, lempung dan magnetit. Umumnya memperlihatkan struktur kekar dan cermin sesar yang berukuran megaskopis. Dunit, kehitaman; padu dan pejal, bertekstur afanitik. Mineral penyusunnya ialah olivin, piroksin, plagioklas, sedikit serpentin dan magnetit; berbutir halus sampai sedang. Mineral utama olivin berjumlah sekitar 90%. Tampak adanya penyimpangan dan pelengkungan kembaran yang dijumpai pada piroksin mencirikan adanya gejala deformasi yang dialami oleh batuan ini. Di beberapa tempat dunit terserpentinkan kuat yang ditunjukkan oleh struktur sisa seperti rijang dan barik-barik mineral olivin dan piroksin, serpentin dan talkum sebagai mineral pengganti. Peridotit terdiri atas jenis harzburgit dan lherzolit. Harzburgit, hijau sampai kehitaman, holokristalin, padu dan pejal. Mineralnya halus sampai kasar, terdiri atas olivin (60%) dan piroksin (40%). Di beberapa tempat menunjukkan struktur perdaunan. Hasil penghabluran ulang pada mineral piroksin dan olivin mencirikan batas masing-masing kristal bergerigi. Lherzolit, hijau kehitaman; holokristalin, padu dan pejal. Mineral penyusunnya ialah olivin (45%), piroksin (25%), dan sisanya epidot, yakut, klorit, dan bijih dengan mineral berukuran halus sampai kasar. Satuan batuan ini diperkirakan berumur Kapur (Afan, 2021).

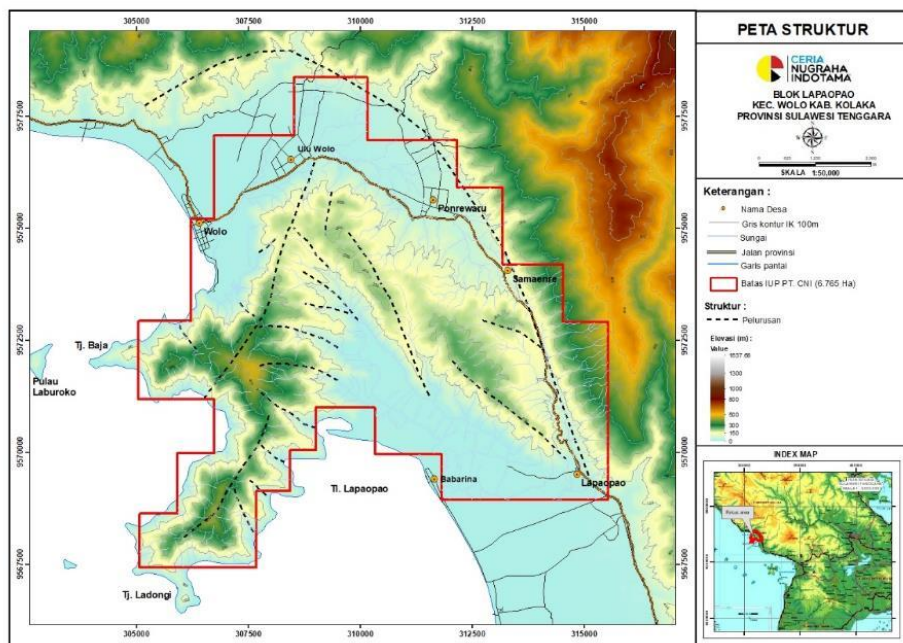


Gambar 4 Peta Geolog Daerah Penelitian (Afan, 2021).

2.4 Struktur Regional

Analisis tren struktur geologi lokal daerah penelitian . Peridotit terdorong naik dan kontak dengan batuan metamorf. Zona kontak diindikasikan oleh batuan metamorfik

terubah hingga lebih banyak *clay*, berwarna gelap dengan butiran silika. Tidak ada kontak yang jelas antar batuan karena secara ekstensif tertutup oleh endapan permukaan. Kelurusan struktur juga terdeteksi dari Citra Satelit, arah dominan yaitu baratlaut-tenggara dan timurlaut-baratdaya. Topografi curam, blok patahan batuan, tanah longsor, breksiasi peridotit atau silika dan intensitas fraktur yang tinggi umumnya ditemukan di zona kelurusan.



Gambar 5 Peta Struktur IUP PT. Ceria Nugraha Indotama (Afan, 2021).

2.5 Nikel Laterit

Endapan nikel laterit terbentuk dari hasil proses pelapukan yang sangat intensif di daerah tropis pada batuan yang mengandung nikel seperti, dunit (olivin), peridotit (olivin+piroksin), dan serpentin. Proses pelapukan pada batuan asal tersebut (laterisasi) menyebabkan nikel berubah menjadi larutan dan diserap oleh mineral-mineral oksida besi yang membentuk garnierit pada lapisan saprolit. Selain nikel, kobalt juga akan terkonsentrasi pada lapisan ini pada jumlah terbatas. Adapun grade dari nikel yang dihasilkan berkisar 1,5–3% Ni (Golightly, 1981).

Laterit didefinisikan sebagai produk yang dihasilkan dari pelapukan yang kuat pada daerah-daerah tropis, lembab, dan hangat yang kaya akan lempung kalolinit sebagai oksida dan oksihidroksida dari Fe dan Al. Laterit penting secara ekonomi karena mengandung mineral bijih. Endapan laterit biasanya terbentuk melalui proses pelapukan kimia yang intensif, yaitu di daerah dengan iklim tropis subtropis. Proses pelindian batuan lapuk merupakan proses yang terjadi pada pembentukan endapan laterit, dimana proses ini memiliki penyebaran unsur-unsur yang tidak merata dan menghasilkan konsentrasi bijih yang sangat bergantung pada migrasi air tanah (Totok Darijanto, 1986).

Ketebalan profil laterit ditentukan oleh keseimbangan kadar pelapukan kimia di dasar profil dan pemindahan fisik ujung profil karena erosi. Tingkat pelapukan kimia bervariasi antara 10 – 50 m per juta tahun, biasanya sesuai dengan jumlah air yang melalui profil, dan 2 – 3 kali lebih cepat dalam batuan ultrabasa daripada batuan asam. Disamping jenis batuan asal, intensitas pelapukan, dan struktur batuan yang sangat mempengaruhi potensi endapan nikel lateritik, maka informasi perilaku mobilitas unsur selama pelapukan akan sangat membantu dalam menentukan zonasi bijih di lapangan (Totok Darijanto, 1986).

Mineral primer olivin dan piroksin merupakan mineral penyusun utama dari peridotit dan dunit yang merupakan batuan sumber dari Ni. Jenis batuan ini merupakan bagian dari kelompok batuan penyusun kerak samudra yang dikenal dengan istilah batuan ophiolite series (seperti pada *New Caledonia* dan *East Sulawesi Ophiolite* di Soroako) atau sebagai *layered mafic intrusion* seperti pada Niquelandia, Brasil. Mineral piroksin dan olivin pada batuan asalnya mengalami proses serpentinisasi oleh akibat adanya interaksi dengan air laut (*seawater*) atau selama proses *low-grade* metamorphism atau alterasi. Pada beberapa kasus proses serpentinisasi ini terjadi sebelum adanya proses laterisasi. Alterasi olivin akibat proses hidrasi akan menyebabkan perubahan menjadi silika amorphous, serpentin dan limonit (Maulana, 2017).

2.6 Genesa Endapan laterit

Batuan ultramafik seperti peridotit, dunit, serpentine mengalami pelapukan yang mengandung mineral olivin, piroksin, magnesium silikat dan besi silikat yang kaya akan Ni kira-kira 0,30%. Terbentuknya nikel berasal dari pelapukan *bedrock* yang secara intens dimana mineral-mineral primer akan terserpentinisasi dan mengalami pelapukan sehingga menghasilkan mineral-mineral sekunder, sebagian besar unsur Ca, Mg dan Si akan mengalami dekomposisi dan beberapa terkayakan secara supergen (Ni, Mn, Co, Zn) atau terkayakan secara relatif (Fe, Cr, Al, Ti, S dan Cu) (Maulana, 2017).

Air resapan yang mengandung CO² (dari udara) meresap kebawah sampai ke permukaan air tanah melindi mineral-mineral primer yang tidak stabil (olivin, piroksen dan serpentin). air meresap secara perlahan sampai mencapai batas lapisan limonit dan lapisan saprolit, kemudian mengalir secara lateral. Proses ini menghasilkan Ca dan Mg yang larut disusul dengan Si yang cenderung membentuk koloid dari partikel silika yang sangat halus, sehingga memungkinkan terbentuknya mineral baru melalui pengendapan kembali unsur-unsur tersebut. Semua hasil pelarutan akan turun ke bagian bawah mengisi celah-celah dan pori-pori batuan. muka air tanah yang berlangsung secara kontinu akan melarutkan unsur-unsur Mg dan Si yang terdapat pada bongkah-bongkah batuan asal di zona saprolit, sehingga memungkinkan penetrasi air tanah yang lebih dalam. zona saprolit dalam hal ini akan semakin bertambah ikatan-ikatan yang mengandung oksida sehingga bongkah-bongkah yang ada dalam zona ini akan terlindi dan ikut bersama-sama dengan aliran air tanah dan sedikit demi sedikit lapisan saprolit atas akan berubah sifat porositasnya dan akan menjadi lapisan limonit (Maulana, 2017).

Untuk unsur-unsur yang sukar atau tidak mudah larut akan tinggal pada tempatnya dan sisanya akan turun ke bawah bersama larutan sebagai larutan koloid. Bahan-bahan

seperti Fe, Ni dan Co akan membentuk konsentrasi residu dan konsentrasi celah pada lapisan yang disebut lapisan saprolit, berwarna coklat kuning kemerahan. Batuan asal ultramafik pada lapisan ini selanjutnya diimpregnasi oleh Ni melalui larutan yang mengandung Ni sehingga kadar Ni dapat naik. Dalam hal ini, Ni dapat mensubstitusi Mg dalam serpentin atau juga mengendap dalam rekahan bersama dengan larutan yang mengandung Mg dan Si sebagai garnierit dan krisopras (Darijanto,1986).

2.7 Faktor Pembentukan Nikel

Menurut Ahmad 2005 dalam pembentukan nikel ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses terjadinya endapan nikel laterit, yaitu :

1. Batuan Asal

Adanya batuan asal merupakan syarat utama terbentuknya endapan nikel laterit. Batuan asal dari nikel laterit adalah batuan ultrabasa. Dalam hal ini padabatuan ultrabasa terdapat unsur nikel (Ni) yang paling banyak di antara batuan lainnya. Batuan ultrabasa mempunyai komponen-komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel serta mempunyai mineral-mineral yang paling mudah lapuk atau tidak stabil, seperti olivin dan piroksin.

2. Iklim

Pergantian musim kemarau dan musim penghujan akan menyebabkan terjadinya kenaikan dan penurunan permukaan air tanah sehingga terjadi proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur. Perbedaan temperatur yang cukup besar akan membantu terjadinya pelapukan mekanis, di mana akan terjadi rekahanrekahan dalam batuan yang akan mempermudah proses atau reaksi kimia pada batuan.

3. Unsur Senyawa Kimia

Reagen-reagen kimia adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu dalam mempercepat proses pelapukan. Air tanah yang mengandung CO_2 memegang peranan penting di dalam proses pelapukan kimia. Asam-asam pada humus menyebabkan dekomposisi batuan dan dapat mengubah pH larutan. Asam-asam pada humus berkaitan erat dengan vegetasi yang ada di daerah tersebut. Vegetasi akan mengakibatkan penetrasi air dapat lebih dalam dan lebih mudah mengalir.

4. Topografi

Keadaan topografi setempat akan sangat memengaruhi sirkulasi air beserta reagen-reagen lain. Untuk daerah yang landai, maka air akan bergerak perlahan-lahan sehingga akan mempunyai kesempatan untuk mengadakan penetrasi lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan. Akumulasi endapan umumnya terdapat pada daerah-daerah yang landai sampai kemiringan sedang, hal ini menerangkan bahwa ketebalan pelapukan mengikuti bentuk topografi. Pada daerah yang curam, secara teoritis, jumlah air yang meluncur (*run off*) lebih banyak daripada air yang meresap sehingga dapat menyebabkan pelapukan kurang intensif.

5. Waktu

Waktu merupakan faktor yang sangat penting dalam proses pelapukan, transportasi, dan konsentrasi endapan pada suatu tempat. Untuk terbentuknya endapan nikel

laterit membutuhkan waktu yang lama, mungkin ribuan atau jutaan tahun. Bila waktu pelapukan terlalu muda maka terbentuk endapan yang tipis. Waktu yang cukup lama akan mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena akumulasi unsur nikel cukup tinggi. Banyak dari faktor tersebut yang saling berhubungan dan karakteristik profil di satu tempat dapat digambarkan sebagai efek gabungan dari semua faktor terpisah yang terjadi melewati waktu, ketimbang didominasi oleh satu faktor saja.

6. Struktur

Struktur geologi yang penting dalam pembentukan endapan laterit adalah rekahan (*joint*) dan patahan (*fault*). Adanya rekahan dan patahan ini akan mempermudah rembesan air ke dalam tanah dan mempercepat proses pelapukan terhadap batuan induk. Selain itu rekahan dan patahan dapat pula berfungsi sebagai tempat pengendapan larutan-larutan yang mengandung nikel (Ni) sebagai vein-vein. Seperti diketahui bahwa jenis batuan beku mempunyai porositas dan permeabilitas yang kecil sekali sehingga penetrasi air sangat sulit, maka dengan adanya rekahan-rekahan tersebut akan memudahkan masuknya air dan proses pelapukan yang terjadi akan lebih intensif.

2.8 Profil Endapan Laterit

Profil laterit dapat dibagi menjadi beberapa zona, lapisan-lapisan pada profil laterit dari endapan nikel laterit dibedakan menjadi beberapa zona menurut Achmad (2002).

1. Lapisan Tanah Penutup (*Overburden*)

Lapisan ini terletak di bagian atas permukaan, lunak dan berwarna coklat kemerahan hingga gelap dengan kadar air antara 25 % sampai 35 %, kadar nikel sangat rendah dan di permukaan atas dijumpai lapisan iron capping yang mempunyai ketebalan berkisar antara 1–12 meter, merupakan kumpulan massa goethite dan limonite. Iron capping mempunyai kadar besi yang tinggi namun mempunyai kadar nikel yang rendah. Terkadang terdapat mineral-mineral *hematite*, *chromiferous*.

2. Lapisan Limonit

Lapisan ini terletak di bawah lapisan tanah penutup, berbutir halus, berwarna merah-cokelat atau kuning, agak lunak, berkadar air antara 30%–40%, mengandung kadar Ni 1.5 %, Fe 44 %, MgO 3 %, SiO₂ %, lapisan kaya besi dari tanah limonit menyelimuti seluruh area dengan ketebalan rata-rata 3 meter. Lapisan ini tipis pada lereng yang terjal, dan setempat hilang karena erosi. Sebagian dari nikel pada zona ini hadir di dalam mineral manganese oxide, lithiophorite. Terkadang terdapat mineral talc, tremolite, chromiferous, quartz, gibbsite, maghemite. Lapisan limonit yang dijumpai di daerah *west block* (*unserpentinized*) Soroako umumnya mempunyai nikel lebih tinggi dibandingkan dengan limonit di daerah *East block* (*Serpentinized*). Limonit dibedakan menjadi 2, yaitu: *red limonite* yang biasa disebut hematit dan *yellow limonite* yang disebut goethite. Biasanya pada mineral goethite nikel berasosiasi dengan Fe dan mengganti unsur Fe sehingga pada zona limonit terjadi pengayaan unsur Ni.

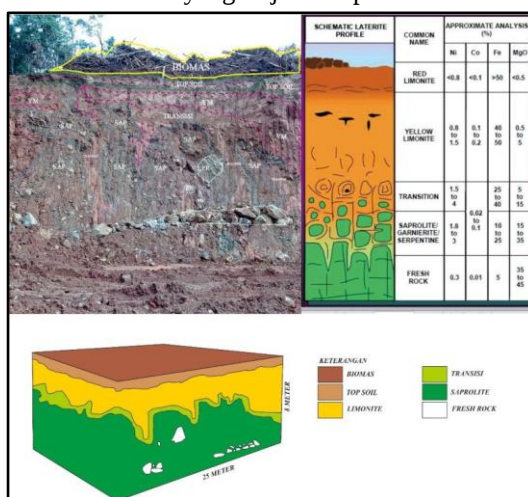
3. Lapisan Bijih (*Saprolit*)

Lapisan ini merupakan hasil pelapukan batuan dasar (*bedrock*), berwarna kuning kecokelatan agak kemerahan, terletak di bagian bawah dari lapisan limonit berkadar

menengah, dengan ketebalan rata-rata 7 meter. Lapisan ini biasa terdiri dari campuran dari sisa-sisa batuan, butiran halus limonit, saprolit, vein dari endapan garnierit, nickeliferous quartz, mangan dan pada beberapa kasus terdapat *silica boxwork* yang akan membentuk suatu zona transisi dari limonit ke *bedrock*. Terkadang terdapat mineral kuarsa yang mengisi rekahan, mineral-mineral primer yang terlapukkan seperti klorit. Pada lapisan ini juga dijumpai mineral garnierit sebagai hasil proses leaching yang biasanya diidentifikasi sebagai *colloidal talc*. Struktur dan tekstur batuan asal masih terlihat. Lapisan ini terdapat bersama batuan yang keras atau rapuh dan sebagian saprolit. Mempunyai komposisi umum yaitu Ni 1.85 %, Fe 16 %, MgO 25%, SiO₂ 35%. Lapisan ini merupakan lapisan yang bernilai ekonomis untuk ditambang sebagai bijih.

4. Lapisan Batuan Dasar (*Bedrock*)

Lapisan batuan dasar merupakan bagian terbawah dari suatu profil nikel laterit. Lapisan ini merupakan batuan ultrabasa yang tidak atau belum mengalami pelapukan. Blok batuan *bedrock* (batuan dasar) secara umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis lagi (kadar logam sudah mendekati atau sama dengan batuan dasar). Berwarna kuning pucat sampai abu-abu kehijauan. Zona ini biasanya memperlihatkan rekahan-rekahan (frakturisasi) yang kuat, kadang membuka dan terisi oleh mineral garnierit dan silika akibat proses pelindihan. Frakturisasi ini diperkirakan menjadi penyebab adanya suatu gejala yang sering disebut dengan *root zone* yaitu zona *high grade* Ni, akan tetapi posisinya tersembunyi. Ketebalan dari masing-masing lapisan tidak merata, bergantung dari morfologi dan relief, umumnya endapan laterit akan banyak terakumulasi pada bagian bawah bukit dengan relief yang landai. Pada relief yang terjal endapan laterit akan semakin menipis.



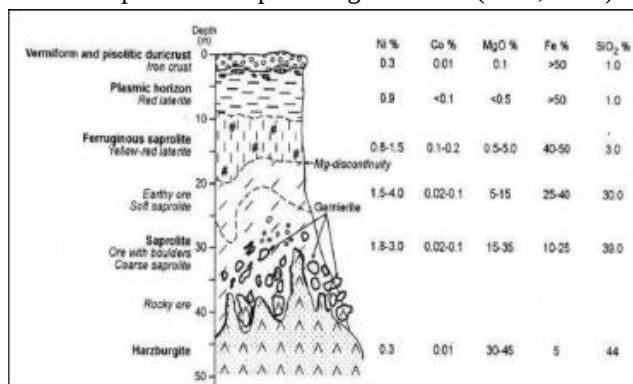
Gambar 6 Profil Laterit (Elias,2002).

2.9 Klasifikasi Endapan Nikel Laterit

Brand, dkk (1998) membedakan tiga jenis deposit pokok, berdasarkan mineralisasi bijih yaitu *Hydrous Silicate Deposit*, *Clay Silicate Deposit* dan *Oxides Deposit*.

a. *Hydrous Silicate Deposit*

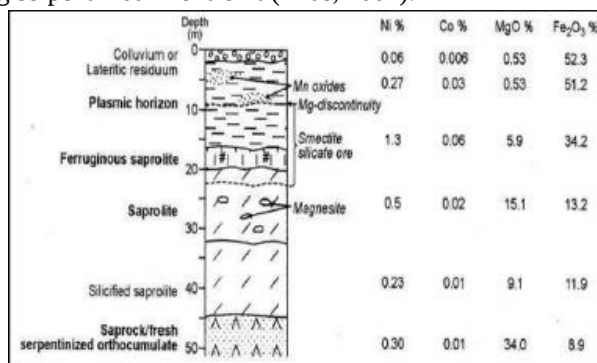
Pada endapan tipe *hydrous silicate* bagian bawah zona saprolit (horizon bijih) didominasi oleh mineral-mineral *hydrous* Mg-Ni silikat setempat pada zona saprolit, urat-urat halus dan *boxwork* dapat terbentuk. Rekahan dan batas-batas antar butir dapat terisi oleh mineral silikat dan mineral yang kaya dengan nikel. Sebagai contoh garnierit dapat memiliki kandungan nikel sampai dengan 40%. Nikel akan mengalami pelindian dan limonit pada fase Fe-oksihidroksida akan bergerak turun ke bawah sebelum terendapkan kembali sebagai mineral *hydrous silicate* atau menggantikan dalam ubahan serpentinit. Pengkayaan Ni melalui proses supergen ini sangat penting untuk pembentukan endapan *hydrous silicate* pada kadar yang ekonomis. Pada endapan tipe *hydrous silicate*, posisi muka air tanah relatif dalam, kondisi ini menyebabkan infiltrasi air yang dalam sehingga nikel lebih banyak terakumulasi pada zona saprolit bagian bawah (Elias, 2002).



Gambar 7 Tipe Hydrous Silicate (Elias,2002).

b. *Clay Silicate Deposit*

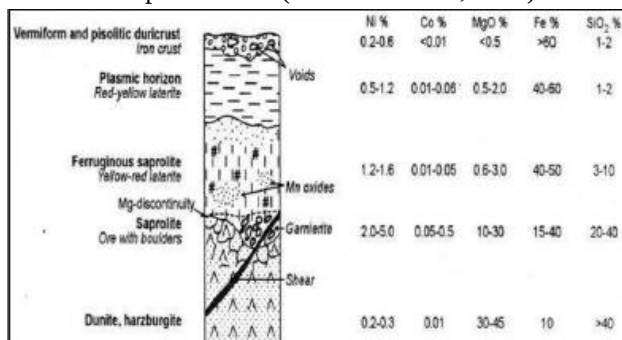
Kondisi pelapukan yang tidak berjalan dengan baik seperti pada iklim dingin dan iklim panas, silika tidak tercuci sebagaimana di lingkungan tropis lembab. Silika tersebut kemudian bergabung bersama Fe dan Al membentuk zona dimana lempung smektit (nontronit) mendominasi. Silika sisa dari pembentukan nontronit kemudian terendapkan sebagai nodul opal atau kalsedon dalam lempung. Profil laterit seperti ini biasanya ditindih oleh lapisan tipis yang kaya Fe oksida di bagian atasnya dan didasari oleh lapukan saprolit yang mengandung serpentin dan nontronit (Elias, 2002).



Gambar 8 Tipe Clay Silicate (Elias,2002).

c. Oxide Deposit

Dengan adanya air, mineral pembentuk batuan primer (terutama olivin dan/atau serpentin, *orthopyroxene* dan yang kurang umum adalah *clinopyroxene*) dipecah oleh hidrolisis yang melepaskan unsur penyusunnya sebagai ion dalam larutan berair. Olivin adalah mineral yang paling tidak stabil dan merupakan yang pertama mengalami pelapukan. Di lingkungan tropis yang lembab, Mg^{2+} nya benar-benar tercuci dan hilang karena air tanah, dan Si sebagian besar tercuci dan dibuang. Fe^{2+} juga dilepaskan namun dioksidasi dan diendapkan sebagai hidroksida besi, awalnya bersifat amorf atau kurang kristalin tapi secara progresif mengkristal ulang dengan tanaman geotit yang membentuk pseudomorph setelah olivin. *Orthopyroxene* dan *serpentine hydrolisis* setelah olivin, juga melepaskan Mg, Si dan digantikan oleh pseudomorph goethitik. Transformasi tekstur isovolumetrik dan batuan primer, namun seiring dengan hancurnya mineral primer, bergantung pada tekstur primer yang hilang karena pemadatan yang menghasilkan geotit dengan tekstur masif. Transformasi mineralogi yang melibatkan hilangnya Mg dan konsentrasi residu Fe menghasilkan tren kimia yang jelas dan familiar pada laterit Mg yang menurun ke atas dan Fe meningkat ke atas melalui profil laterit (Butt dan Morris, 2005).



Gambar 9 Tipe Oxide Deposit (Elias,2002).

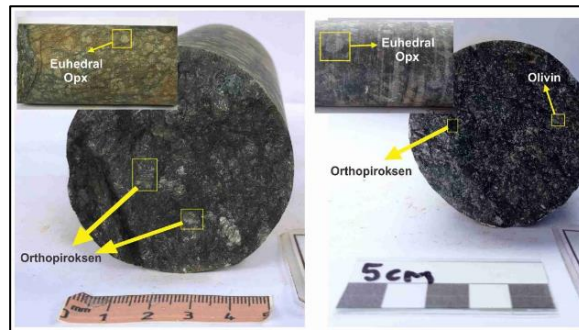
2.10 Batuan Asal Nikel Laterit

Batuan asal dari nikel laterit ini berasal dari batuan ultramafik, 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). Berikut adalah jenis – jenis dari batuan ultramafik menurut (Ahmad, 2002), antara lain:

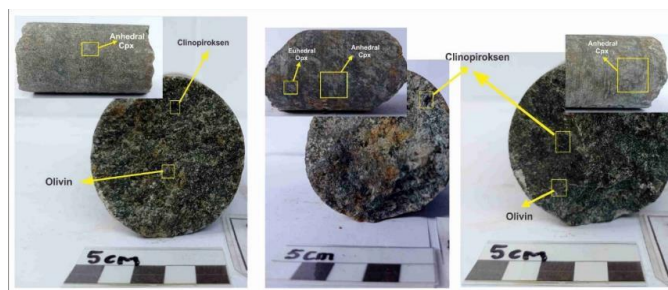
1. Peridotit

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 anhedral. Komposisinya terdiri dari olivin dan piroksin.

Mineral asesorisnya berupa plagioklas, hornblende, biotit dan garnet.



Gambar 10 Kenampakan Megakopis Hazburgit



Gambar 11 Kenampakan Megakopis Lherizolit

2. Piroksinit

Piroksinit merupakan kelompok batuan ultramafik monomineral dengan kandungan mineral yang hampir sepenuhnya adalah piroksin. Dalam hal ini Piroksinit di klasifikasikan lebih lanjut apakah masuk kedalam Piroksin ortorombik atau monoklin.

- a. *Orthopyroxenites: Bronzitites*
- b. *Clinopyroxenites: Diopsidites; diallagites*

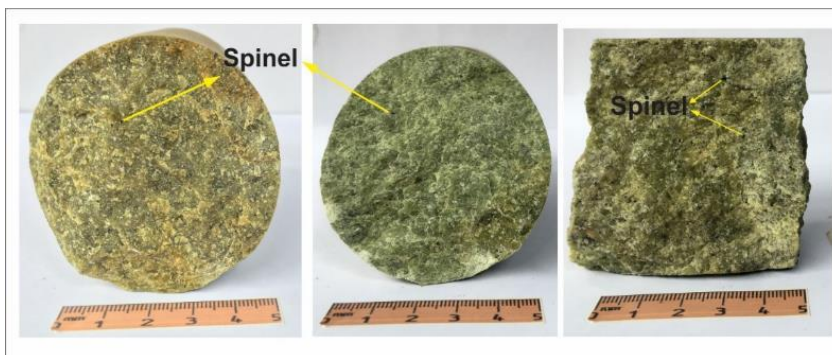
3. Hornblendit

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) menyatakan bahwa dunit memiliki komposisi mineral hampir seluruhnya adalah monomineralik olivine (umumnya magnesit 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 anhedral yang saling mengikat. Terbentuk batuan yang terdiri dari olivine murni (dunit) misalnya, membuktikan bahwa larutan magma (liquid) berkomposisi olivine memisah dari larutan yang lain.



Gambar 12 Dunit

5. Serpentininit

Serpentininit 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, peridotite. Serpentininit dapat dihasilkan dari mantel oleh hidrasi dari mantel ultramafik (mantel peridotit dan dunit). Dibawah pegunungan tengah samudera (*mid Oceanic Ridge*) pada temperatur <500oC.

2.11 Serpentinisasi

2.11.1 Karakteristik Serpentinisasi

Serpentinisasi merupakan proses yang dapat mengubah mineral primer pada batuan ultramafik menjadi mineral sekunder seperti serpentin. Apabila batuan mengandung mineral serpentin dalam jumlah yang melimpah, batuan tersebut disebut sebagai serpentininit. Saat lantai kerak samudera tersingkap, batuan akan mengalami interaksi dengan fluida hidrotermal pada batas lempeng divergen, mengalami berbagai macam proses yang dapat mengubah komposisinya termasuk interaksi dengan intrusi batuan mafik seperti gabbro (Escartin dan Canat, 1999). Dimitriev dan Sharaskin (1975) dalam Hekinian (1982) mengklasifikasikan stadia serpentinisasi menjadi dua fase, meliputi proses serpentinisasi seragam dari mineral asal (pseudomorfisme) tanpa bekas ubahan tekstur batuan asal, serta pembentukan vein, veinlet dan fase mineral lain dari rekristalisasi serpentin.

Li dan Lee (2006) mengemukakan bahwa mekanisme serpentinisasi pada batuan ultramafik di kerak samudera dapat terbagi menjadi empat, yaitu infiltrasi air laut dalam kerak samudera, pelapukan batuan yang telah terangkat ke permukaan pada zona infiltrasi air laut pada zona subduksi, zona *detachment fault*, serta zona dehidrasi pada zona subduksi sehingga fluida lepas dari baji mantel. Menurut Gill (2010), tekstur *seriate* dan *hourglass* pada mineral primer menandakan kuat bahwa proses serpentinisasi berjalan lambat.

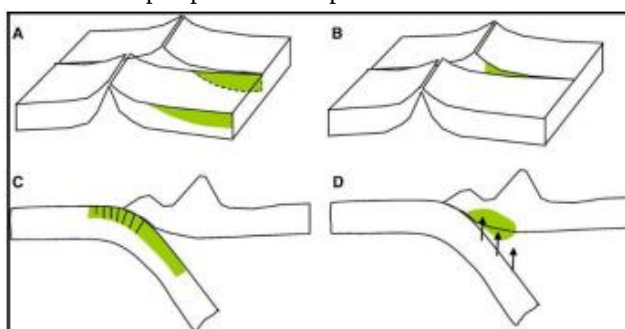
Menurut Maffione (2014), proses serpentinisasi pada batuan ultramafik melewati tahapan pengubahan pada suhu yang rendah dan penambahan ikatan H₂O (hidrasi) oleh fluida pada rentang suhu 200-400oC, dan dapat berubah apabila berada dalam kondisi statis

dan reduksi. Apabila melebihi kondisi suhu tersebut, mineral olivin atau piroksen akan terubahkan yang terjadi pada kondisi reduction atau alterasi retrograde (Winter, 2001). Mineral yang paling rentan terkena proses serpentinisasi adalah orthopiroksen dan olivin, sedangkan menurut Moeskops (1977), klinopiroksen cenderung resisten terhadap perubahan. Sisa-sisa tekstur olivin derajat relik akan terlihat sebagai tekstur *mesh structure* dan orthopiroksen dengan lamela pada tekstur bastit (Groppo dkk., 2006).

2.11.2 Proses Serpentinisasi

Serpentinisasi batuan ultramafik menurut Maffione dkk (2014) terjadi pada suhu rendah yang berasal dari proses hidrasi fluida pada suhu 200-400°C. Secara simpel bentuk dari reaksi serpentinisasi dapat dijelaskan sebagai berikut: Olivin ± Piroksen + Air = Serpentin + Brusit ± Magnetit ± Talk ± Tremolit + Hidrogen Mekanisme serpentinisasi peridotit dari kerak samudera menurut Li dan Lee (2006) dapat dibagi menjadi empat, yaitu :

1. Infiltrasi air laut dalam kerak samudera melalui rekahan samudera
 2. Pelapukan peridotit laut yang telah terangkat ke permukaan pada zona rekahan atau detachment fault sudut rendah.
 3. Infiltrasi air laut ke dalam sesar ekstensi yang terbentuk akibat pembengkokkan slab subduksi
 4. Dehidrasi pada zona subduksi yang diikuti oleh lepasnya fluida dari material baji mantel
- Skenario serpentinisasi A, C, dan D merupakan proses in situ karena prosesnya sebagian besar terjadi di dalam kerak samudera atau baji mantel, sedangkan skenario B merupakan proses serpentinisasi eks situ karena prosesnya dipengaruhi oleh proses pelapukan. Ahmad (2006) menambahkan bahwa proses serpentinisasi tidak selalu terbentuk di dalam dasar laut dengan suhu pembentukan yang mencapai lebih dari 200°C, akan tetapi proses serpentinisasi juga dapat hadir secara sekunder dari pelapukan kimia pada laterit batuan ultramafik di permukaan.



Gambar 13 Proses Serpentinisasi (Li dan Lee, 2006)

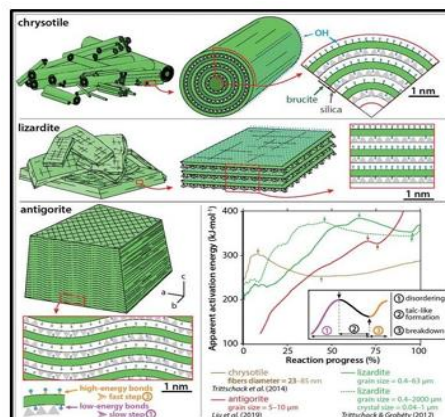
Pada tahap awal serpentinisasi dengan suhu sekitar 200-300°C, serpentin akan mulai menggantikan olivin. Kemudian pada tahap selanjutnya serpentin akan mulai menggantikan ortopiroksen pada suhu sekitar 300-400°C. Proses serpentinisasi pada tingkat ini juga diikuti oleh peningkatan unsur Pb, Cs dan Li. Hal ini berdasarkan atas studi batuan

metabasaltik dan metasedimen tekanan tinggi, yang memberikan hasil bahwa mobilitas dari unsur litofil (Pb, Cs dan Li) meningkat pada kedalaman 90 km yang sesuai dengan suhu 400°C (Deschamps dkk, 2010). Proses serpentinisasi menurut berkembang melalui beberapa reaksi bergantung pada lingkungan alterasi fluida-batuan-nya (Maffione dkk 2014).

Pada sistem yang didominasi oleh batuan, di mana masuknya air cukup terbatas dan aktivitas besi, magnesium dan silika dikontrol oleh komposisi batuan asalnya. Pada sistem ini urat yang terbentuk berukuran kecil (50-100 μm) yang biasanya terisi oleh serpentin kaya besi dan brusit. Di sisi lain sistem yang berkembang pada lingkungan yang didominasi oleh fluida akan memiliki kondisi yang lebih oksidasi, dan pada lingkungan ini akan terbentuk urat yang lebih tebal yang terisi oleh serpentin, brusit, dan magnetit. Magnetit yang ada pada urat terbentuk merupakan hasil ekstraksi besi dari brusit dan serpentin. Serpentinisasi pada batuan ultramafik umumnya berasosiasi dengan pembentukan magnetit (Maffione, 2014), sehingga batuan yang telah mengalami proses serpentinisasi biasanya memiliki tingkat kemagnetan yang lebih kuat dibandingkan batuan yang tidak mengalami proses serpentinisasi (Ahmad, 2006). Sifat kemagnetan pada peridotit sendiri menurut Maffione dkk (2014) erat kaitannya dengan derajat serpentinisasi.

2.11.3 Mineralogi Serpentin

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 $> 800^\circ\text{C}$. Serpentin sangat umum dijumpai sebagai produk ubahan dari mineral aslinya, terbentuk sebagai pseudomorph. Selain itu serpentin juga dapat mengisi rekahan pada batuan. Whittaker (1954) menyatakan bahwa struktur kristal dari krisotil adalah berdasarkan kisinya yang silindris dan karakteristik tabularnya yang diamati dalam mikroskop elektron. Berdasarkan polimorfismenya, serpentin terbagi menjadi tiga jenis, meliputi antigorit, lizardit, dan krisotil (klinokrisotil, parakrisotil, dan orthokrisotil). Ferrand (2019) mengilustrasikan bentuk-bentuk polimorf serpentin.



Gambar 14 Mineral Serpentin (Ferrand, 2019).

Tiga bentuk serpentinit yang umum dijumpai pada batuan menurut (Ferrand, 2019) yaitu sebagai berikut:

1. Lizardit Lizardit merupakan bentuk serpentinit yang paling umum dijumpai dan biasanya berbentuk masif. Akan tetapi jika dilihat menggunakan mikroskop, lizardit berbentuk seperti serabut-serabut halus. Struktur mineralnya tersusun atas susunan layer planar. Lizardit umumnya berwarna hijau terang sampai hijau medium tetapi dapat sangat bervariasi karena kehadiran mineral lain.
2. Antigorit Antigorit merupakan serpentinit yang berbentuk seperti mika, bersisik, berlapis atau foliasi. Struktur mineralnya tersusun atas susunan layer undulating. Lapisannya umumnya saling menyatu tetapi mungkin juga terpisah pada beberapa foliasi yang sangat tipis. Antigorit umumnya berwarna hijau terang sampai hijau medium tetapi dapat sangat bervariasi (kehadiran magnetit mungkin akan memberikan warna abu-abu, coklat atau hitam, begitu juga kehadiran hematit akan memberikan warna coklat dan merah).
3. Krisotil Krisotil berbentuk serabut yang sangat halus dengan serabut yang biasanya fleksibel dan mudah dipisahkan. Struktur mineralnya tersusun atas susunan layer yang menggulung. Krisotil umumnya terbentuk pada urat. Krisotil umumnya berwarna hijau kekuningan, putih atau abu-abu. Nama lain dari krisotil yang sangat populer di seluruh dunia yaitu asbestos. Menurut perhitungan Powell (1998, dalam Palandri dan Reed, 2004), antigorit lebih stabil dibandingkan krisotil pada suhu 25-350°C. Krisotil sendiri terbentuk secara alami pada suhu di bawah 350°C.