

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK GEOKIMIA BATUAN SERPENTINIT
TERHADAP PEMBENTUKAN Fe LATERIT PADA BLOK
BELAMBUS PT SEBUKU IRON LATERITIC ORES, DAERAH
BELAMBUS KALIMANTAN SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh:

**DARMAWAN
D061 18 1033**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

**KARAKTERISTIK GEOKIMIA BATUAN SERPENTINIT
TERHADAP PEMBENTUKAN Fe LATERIT PADA BLOK
BELAMBUS PT SEBUKU IRON LATERITIC ORES, DAERAH
BELAMBUS KALIMANTAN SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh :

**DARMAWAN
D061 18 1033**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 06 Juli 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



Prof. Dr. rer. nat. Ir. A. M. Imran.
NIP. 19630605 198903 1 005



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

Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Darmawan
NIM : D061181033
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Karakteristik Geokimia Batuan Serpentininit Terhadap Pembentukan Fe Laterit Pada Blok Belambus Pt Sebuku Iron Lateritic Ores, Daerah Belambus Kalimantan Selatan}

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko. Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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

Gowa, 9 Juli 2023

Menyatakan

Darmawan

ABSTRAK

DARMAWAN. *Karakteristik Geokimia Batuan Serpentininit Terhadap Pembentukan Fe Laterit Pada Blok Belambus Pt Sebuku Iron Lateritic Ores, Daerah Belambus Kalimantan Selatan* (dibimbing oleh A. M. Imran dan Adi Tonggiroh)

Salah satu faktor yang mempengaruhi kadar Fe pada endapan Fe-laterit yaitu kondisi batuan serpentininit pada endapan laterit tersebut. Batuan serpentininit merupakan batuan yang membawa kadar Fe pada endapan laterit. Dilakukan penelitian terkait karakteristik geokimia batuan serpentininit terhadap pembentukan endapan fe-laterit blok belambus pt sebuku iron lateritic ores daerah belambus kalimantan selatan. Adapun tujuan penelitian ini antara lain: (1) untuk mengetahui sifat geokimia Ca, Mg, Si dan Fe pada zona limonit, zona saprolit dan batuan serpentininit di daerah penelitian. (2) mengetahui karakteristik profil Fe laterit pada daerah penelitian. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode pengamatan petrografi, Geokimia *X-Ray Fluorence* (XRF) dan *Inverse Distance Weighting* (IDW). Adapun hasil yang didapatkan yaitu karakteristik unsur Ca, Mg dan Si bersifat high mobile sehingga sangat mudah larut dalam proses laterisasi, secara vertikal dari permukaan ke bawah permukaan profil laterit dijumpai kelimpahan unsur-unsur tersebut sedangkan unsur Fe bersifat non mobile dan lebih terkayakan di zona limonit, secara vertikal dari permukaan ke bawah permukaan dijumpai sedikit atau berkurang kelimpahan unturnya. Berdasarkan dari hasil geokimia menunjukkan bahwa unsur Fe pada daerah penelitian mengalami enrichment pada zona limonit dengan kadar 49,13% - 52,55%. Unsur Fe yang memiliki keterdapatan yang melimpah dikarenakan dari jenis laterit yang berkembang dan didukung oleh batuan serpentininit dan batuan yang telah mengalami proses serpentinisasi sedang hingga tinggi. Proses serpentinisasi mengakibatkan pertambahan mineral-mineral magnetit pada batuan.

Kata kunci : Batuan Serpentininit, Geokimia X-RF, Fe-Laterit, Petrografi

ABSTRACT

DARMAWAN. *Geochemical characteristics of serpentinite rocks on Fe laterite formation in the Belambus Block of PT Sebuk Iron Lateritic Ores, Belambus Region, South Kalimantan (guided by A. M. Imran and Adi Tonggiroh.)*

One of the factors that affect the Fe content in Fe laterite deposits is the condition of the serpentinite rocks in these laterite deposits. Serpentinite rocks are rocks that carry Fe levels in laterite deposits. Research related to the geochemistry of serpentinite rocks on the formation of Fe-laterite deposits of the Belambus block PT Sebuk iron lateritic ores in the Belambus area, South Kalimantan. The objectives of this study include: (1) to determine the geochemical properties of Ca, Mg, Si and Fe in the limonite, saprolite and serpentinite zones in the study area. (2) Knowing the characteristics of the Fe profile later in the study area. The method used in this research is petrographic observation method, Geochemistry X-Ray Fluorence (XRF) and Inverse Distance Weighting (IDW). The results obtained are that the characteristics of the Ca, Mg and Si elements are high mobile so they are very easily soluble in the laterization process, vertically from the surface to the bottom the surface of the laterite profile shows these elements while the Fe element is non-mobile and degrades more in the limonite zone , vertically from the surface to the bottom of the surface where there is little or less reduction in the elements. Based on the geochemical results showed that the element Fe in the study area experienced enrichment in the limonite zone with levels of 49.13% - 52.55%. The element Fe which has an abundant presence is due to the type of laterite that develops and is supported by serpentinite rocks and rocks that have undergone moderate to high serpentinization processes. The serpentinization process results in the addition of magnetite minerals in the rock.

Keywords: *Serpentinite, X-RF Geochemistry, Fe-Laterite, Petrography*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
KATA PENGANTAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II GEOMORFOLOGI.....	4
2.1 Geologi Regional.....	4
2.1.1 Stratigrafi Regional.....	5
2.1.1.1 Batuan Ultramafik (Mub).....	5
2.1.1.2 Formasi Pitap (Ksp).....	5
2.1.1.3 Formasi Haruyan (Kvh).....	5
2.1.1.4 Formasi Tanjung (Tet).....	6
2.1.1.5 Endapan Aluvium (Qa).....	6
2.1.2 Struktur Geologi Regional.....	6
2.2 Batuan Ultramafik.....	9
2.3 Serpentinisasi.....	11
2.3.1 Karakteristik Serpentinisasi pada Batuan Ultramafik.....	11

2.3.2	Proses Serpentinisasi pada Batuan Ultramafik	12
2.3.3	Mineralogi Serpentin.....	14
2.4	Endapan Laterit.....	16
2.4.1	Besi Laterit.....	20
2.4.2	Nikel Laterit.....	22
2.4.2.1	Definisi dan Tipe Endapan Nikel Laterit.....	22
2.4.2.2	Genesa Endapan Nikel Laterit.....	22
BAB III METODE PENELITIAN		24
3.1	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	24
3.2	Metode Penelitian.....	24
3.3	Tahap Penelitian.....	25
3.3.1	Tahap Persiapan	25
3.3.2	Tahap Pengumpulan Data	25
3.3.3	Tahap Pengolahan dan Analisis Data.....	26
3.3.3.1	Metode Inverse Distance Weighted (IDW).....	27
3.3.4	Tahap Penyusunan Laporan Akhir.....	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		30
4.1	Geologi Daerah Penelitian	30
4.1.1	Karakteristik Batuan Serpentin	31
4.1.1.1	Sayatan Batuan BM 256.....	32
4.1.1.2	Sayatan Batuan BM 212.....	32
4.1.1.3	Sayatan Batuan BM 184.....	33
4.1.1.4	Sayatan Batuan BM 192.....	34
4.1.1.5	Sayatan Batuan BM 266.....	35
4.2	Karakteristik Profil Endapan Laterit	37
4.3	Karakteristik Profil Endapan Laterit	39
4.4	Geokimia Profil Fe-Laterit	43
4.4.1	Titik Pengeboran 190	43
4.4.2	Titik Pengeboran 192	45
4.5	Sebaran Bijih Besi.....	47

BAB V PENUTUP	50
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Peta Geologi Regional Pulau Sebuku, Lembar Kota Baru, Kalimantan Selatan (Rustandi, dkk, 1995).....	4
Gambar 2 Komponen utama kompleks akresi-kolisi Kapur (Wakita, 2000).....	7
Gambar 3 Kerangka tektonik Kalimantan (Hall, 2014).....	9
Gambar 4 Ilustrasi skenario serpentinisasi pada kerak samudera (Li dan Lee, 2006)	13
Gambar 5 Dehidroksilasi pada mineral-mineral serpentin yang memiliki perbedaan struktur, yang mengontrol batas stabilitas dan laju dehidrasi (Ferrand, 2019)	15
Gambar 6 Penampang laterit hasil pelapukan (Ahmad, 2002)	19
Gambar 7 Peta tunjuk lokasi daerah penelitian.....	24
Gambar 8 Aktivitas logging	26
Gambar 9 Aktivitas Analisis Lab.....	27
Gambar 10 Diagram Alir Metode dan Tahapan Penelitian.....	29
Gambar 11 Peta geologi lokal Pulau Sebuku oleh Divisi Eksplorasi SILO. Persegi merah mewakili letak daerah penelitian terhadap peta yang di acu.....	30
Gambar 12 Kenampakan litologi Serpentin pada daerah penelitian.....	31
Gambar 13 Kenampakan petrografis batuan Serpentin dengan komposisi mineral spinel (Sp) dan serpentin (Spt)	32
Gambar 14 Kenampakan petrografis batuan Serpentin dengan komposisi mineral spinel (Sp) dan serpentin (Spt)	33
Gambar 15 Kenampakan petrografis batuan Serpentin dengan komposisi mineral spinel (Sp), serpentin (Spt) dan mineral opa (Opq).....	33
Gambar 16 Kenampakan petrografis batuan Serpentin dengan komposisi mineral serpentin (Spt) dan mineral opa (Opq)	34
Gambar 17 Kenampakan petrografis batuan Serpentin dengan komposisi mineral spinel (Sp), serpentin (Spt) dan mineral opa (Opq).....	35

Gambar 18 Kenampakan profil laterit pada daerah penelitian, yang memperlihatkan lapisan limonit, saprolit dan <i>bedrock</i>	37
Gambar 19 Kenampakan zona limonit dari titik pengeboran 216. Persegi merah menunjukkan bagian dari <i>red limonite</i> , persegi kuning menunjukkan bagian dari <i>yellow limonite</i>	38
Gambar 20 Kenampakan zona saprolit pada titik pengeboran 216. Persegi merah menunjukkan bagian dari earthy saprolite, kuning menunjukkan bagian dari saprolite, hijau tua menunjukkan bagian dari rocky saprolite, serta biru menunjukkan bagian dari hard saprolite.....	39
Gambar 21 Kenampakan zona bedrock pada titik pengeboran 216.....	39
Gambar 22 <i>Scatter plot</i> perbandingan unsur Mg vs Ca	40
Gambar 23 <i>Scatter plot</i> perbandingan unsur Mg vs Si	41
Gambar 24 <i>Scatter plot</i> perbandingan unsur Mg vs Fe.....	42
Gambar 25 Profil laterit dengan nilai Fe terendah pada titik pengeboran 190	44
Gambar 26 Profil laterit dengan nilai Fe tinggi pada titik pengeboran 192.....	45
Gambar 27 Kenampakan <i>iron gravel</i> pada daerah penelitian	47
Gambar 28 Sebaran unsur Fe pada daerah penelitian	49

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Peran beberapa elemen selama pelapukan laterit (Ahmad, 2009)	17
Tabel 2 Tingkat Serpentinisasi batuan serpentinit	36

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan keterangan
%	Persen
>	Lebih dari
±	Kurang Lebih
// - Nikol	Nikol Sejajar
X - Nikol	Nikol Silang
Si	Silika
Fe	Besi
Mg	Magnesium
Ca	Kalsium
K	Kalium
Na	Natrium
Cr	Kromium
Ti	Talium
Al	Aluminium
Ni	Nikel
Pb	Timbal
Cs	Sesium
Li	Litium
Mn	Mangan
Co	Kobalt
S	Sulfur
Cu	Tembaga
LU	Lintang Utara
BT	Bujur Timur
Sp	Spinel
Spt	Serpentin
Opq	Opaq
BM	Belambus
XRF	<i>X-Ray Fluorescence</i>
RSD	<i>Rotating Sample Dividers</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Geokimia Unsur	54
Lampiran 2 Deskripsi Petrografi.....	61
Lampiran 3 Peta-Peta	
A. Peta Sebaran Titik Bor	
B. Peta Sebaran Unsur Fe	

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat izin, rahmat serta hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Proposal Penelitian yang berjudul **“Karakteristik Geokimia Batuan Serpentininit Terhadap Pembentukan Fe Laterit Pada Blok Belambus PT Sebuku Iron Lateritic Ores, Daerah Belambus Kalimantan Selatan”** ini dengan baik. Pembuatan laporan tugas akhir ini merupakan salah satu tahap yang dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing, mengarahkan dan membantu penulis baik berupa bantuan moril maupun materil dalam penyusunan, khususnya kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. rer. nat. Ir. A. M. Imran dan Bapak Prof. Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T sebagai pembimbing penulis dalam skripsi ini yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga selama memberikan bimbingan dalam pengerjaan laporan ini.
3. Ibu Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T dan Bapak Kifayatul Khair Masyhuda Zulkifli, S.T., M.T sebagai dosen penguji yang memberikan masukan kepada penulis dengan baik.
4. Bapak dan Ibu dosen pada Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmunya selama ini.
5. Bapak dan Ibu staf administrasi Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya selama ini.
6. Kedua Orang Tua penulis, yang tidak henti-hentinya memberikan penulis segala bentuk dukungan baik secara moril maupun materil.
7. Teman-teman Teknik Geologi angkatan 2018 atas segala dukungan dan bantuannya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini masih sangat jauh dari kesempurnaan, sehingga segala saran dan kritik yang sifatnya membangun sangat diperlukan dalam penyempurnaan proposal ini.

Akhir kata penulis mohon maaf kepada semua pihak apabila terdapat kesalahan kata dalam proposal ini dan semoga laporan tugas akhir ini dapat berguna bagi semua pihak yang menggunakannya. Aamiin.

Gowa, 9 Juli 2023

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batuan ultramafik hadir dalam bumi sebagai komponen utama penyusun mantel atas di bawah kerak benua atau kerak samudera. Secara sederhana batuan beku ultramafik adalah batuan beku yang secara kimia mengandung kurang dari 45% SiO₂ dari komposisinya. Kandungan mineralnya didominasi oleh mineral-mineral berat dengan kandungan unsur-unsur seperti Fe (besi) dan Mg (magnesium) (Ahmad, 2006).

Di Indonesia batuan ultramafik banyak tersingkap terutama di bagian tengah dan timur Indonesia, seperti di Kalimantan, Sulawesi, Halmahera, Busur Banda dan Papua. Pada faktanya, Indonesia merupakan salah satu daerah yang memiliki singkapan batuan ultramafik di permukaan terbesar di dunia (Kadarusman, 2009). Sehingga membuat penelitian mengenai batuan ini menjadi sesuatu yang cukup penting pada saat ini terutama untuk memahami potensi keberadaan mineral bijih ekonomis. Di dunia pertambangan, keberadaan batuan ultramafik menjadi sesuatu yang sangat menarik, karena batuan ultramafik merupakan sumber dari beberapa mineral bijih seperti nikel, kromit dan besi.

Berdasarkan karakteristik geologi dan tatanan tektoniknya, di Pulau Kalimantan, terdapat potensi sumber daya mineral yang cukup besar salah satu sumbernya adalah endapan Fe-laterit. Endapan Fe-laterit dapat dijumpai di Kalimantan Selatan khususnya di Pulau Sebuku karena tersusun oleh batuan ultramafik yang memiliki konsentrasi mineral piroksen dan olivin yang tinggi sehingga berpotensi membentuk endapan Fe-laterit. Endapan laterit pulau Sebuku memiliki karakteristik yang berbeda dengan jenis laterit yang berkembang di daerah lain. Endapan laterit memiliki kandungan besi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan nikel.

Proses pembentukan endapan Fe-laterit dikendalikan oleh beberapa faktor seperti batuan asal, iklim, reagen-reagen kimia, struktur, topografi serta waktu.

Berdasarkan faktor tersebut dapat diketahui hubungan antara karakteristik kimia, mineralogi, dan genesis dari mineral Ca, Mg, Si dan Fe pada endapan laterit.

Salah satu faktor penting yang menjadi penunjang terjadinya proses laterisasi sehingga membentuk endapan Fe-laterit yaitu dari batuan serpentinit yang terdapat pada daerah penelitian tersebut. Pelapukan pada batuan serpentinit menyebabkan unsur-unsur dengan mobilitas rendah sampai tinggi seperti Ca, Fe, Si dan Mg mengalami pengayaan secara residual dan sekunder (Burger, 1996). Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka hal tersebutlah yang melatar belakangi penulis melakukan penelitian dengan judul : “Karakteristik Geokimia Batuan Serpentinit Terhadap Pembentukan Endapan Fe Laterit Blok Belambus PT Sebuku Iron Lateritic Ores Daerah Belambus Kalimantan Selatan”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Bagaimana sifat geokimia Ca, Mg, Si dan Fe pada zona limonit, zona saprolit dan batuan serpentinit di daerah penelitian.
2. Bagaimana karakteristik profil Fe laterit pada daerah penelitian.

1.3 Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian adalah untuk mengetahui kondisi laterisasi daerah penelitian menggunakan data bor pada batuan serpentinit.

Adapun tujuan dilaksanakannya penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui sifat geokimia Ca, Mg, Si dan Fe pada zona limonit, zona saprolit dan batuan serpentinit di daerah penelitian.
2. Mengetahui karakteristik profil Fe laterit pada daerah penelitian

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian kali ini memberikan manfaat baik secara akademis maupun non akademis, yaitu sebagai berikut:

1. Manfaat Akademis Penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai karakteristik batuan serpentinit dan laterit di Pulau Sebuku.
2. Manfaat Non Akademis Penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai letak keberadaan mineral bijih khususnya Fe dengan yang

memiliki nilai ekonomis untuk dapat ditambang sesuai dengan hasil studi karakterisasinya. Dan hal ini sedikit banyaknya akan membantu perusahaan dalam melakukan kegiatan eksplorasi.

1.5 Batasan Masalah

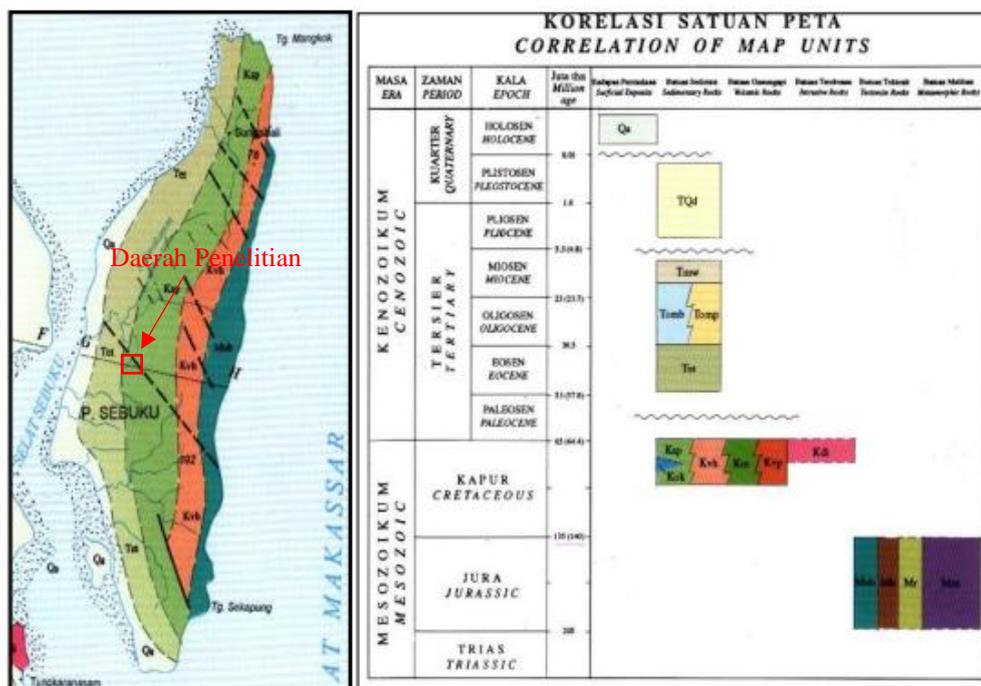
Pada penelitian yang dilakukan, penulis membatasi masalah yang akan dibahas yaitu karakteristik batuan asal terhadap pembentukan endapan laterit, berdasarkan intensitas serpentinisasinya, mineral penyusunnya, dan geokimia batuan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Secara geografis posisi Pulau Sebuku terletak antara $4^{\circ} 9' 27'' - 4^{\circ} 5' 35''$ LU dan $117^{\circ} 31' 39'' - 117^{\circ} 35' 55''$ BT. Geologi Pulau Sebuku masuk dalam Peta Geologi Regional Lembar Kotabaru. Secara fisiografis, lembar Kotabaru termasuk dalam Anak Cekungan Asam-asam dan anak Cekungan Pasir (Rustandi dkk., 1995). Anak Cekungan Asam-Asam termasuk ke dalam Cekungan Barito, sedangkan Anak Cekungan Pasir termasuk ke dalam Cekungan Kutai. Cekungan Barito dengan Anak Cekungan Asam-Asam dipisahkan oleh Pegunungan Meratus dan dengan Anak Cekungan Pasir dipisahkan oleh Pegunungan Kukusan. Kedua anak cekungan tersebut, pada bagian Barat dibatasi oleh Pegunungan Meratus, Timur oleh Tinggian Pulau Laut, Selatan oleh Laut Jawa, dan Utara oleh Tinggian Lintang Paternosfer (Rustandi, dkk., 1995), (Gambar 1).



Gambar 1 Peta Geologi Regional Pulau Sebuku, Lembar Kota Baru, Kalimantan Selatan (Rustandi, dkk, 1995).

2.1.1 Stratigrafi Regional

Stratigrafi Regional Pulau Sebuku, lembar Kota Baru, Kalimantan Selatan menurut Rustandi, dkk (1995) secara umum terbagi menjadi 4 formasi yaitu Batuan Ultramafik, Formasi Pitap, Formasi Haruyan, Formasi Tanjung, dan Endapan Aluvium.

2.1.1.1 Batuan Ultramafik (Mub)

Batuan ultramafik adalah batuan tertua yang terbentuk saat Zaman Jura. Batuan ini terdiri dari harzburgit, dunit, dan piroksenit yang telah mengalami serpentinisasi, gabro, dan basal. Batuan ini tersingkap sangat luas dari utara hingga selatan bagian timur pulau (Rustandi dkk., 1986 dalam U.R Irfan 2015). Mikrodiorit berukuran 1-2 meter dijumpai dengan arah N290°E. Satuan batuan ultramafik bersentuhan secara tektonik dengan satuan di sekitarnya (Rustandi dkk., 1986).

2.1.1.2 Formasi Pitap (Ksp)

Formasi yang berumur Kapur Akhir ini terendapkan di lingkungan laut dangkal. Diendapkan secara tidak selaras di atas batuan ultramafik (Mub) dan menjemari dengan Formasi Haruyan. Litologinya terdiri atas perselingan konglomerat, batupasir wake, batulanau bersisipan dengan batugamping, breksi polimik, batulempung, konglomerat, dan basalt. Konglomerat umumnya berlapis baik, komponennya terdiri atas basalt, batulempung, batuan ultramafik, rijang, batugamping, gabro, dan diabas yang menghalus ke arah atas. Ketebalan formasi ini diperkirakan 1000 – 1500 meter (Nurhakim dkk., 2011).

2.1.1.3 Formasi Haruyan (Kvh)

Formasi Haruyan berumur Kapur Akhir. Ketebalannya mencapai 1.250 m dan menjemari dengan Formasi Pitap. Adapun penyebarannya terutama ditemukan di daerah perbukitan. Litologinya terdiri dari lava basalt, breksi polimik, dan tuf. Komponen breksi terdiri dari basalt, rijang, batulanau, dan greywacke (Rustandi dkk., 1986, Nurhakim dkk., 2011).

2.1.3.4 Formasi Tanjung (Tet)

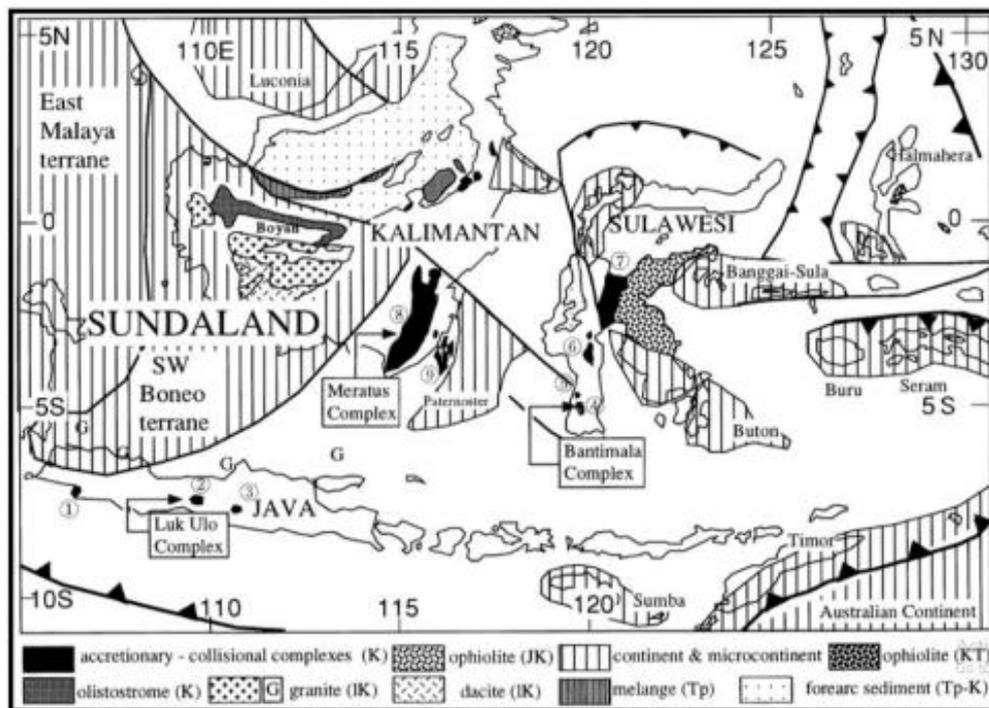
Formasi Tanjung berumur Eosen dan diendapkan secara tidak selaras di atas batuan-batuan yang berumur Kapur (Formasi Pitap dan Formasi Haruyan). Formasi ini diendapkan di lingkungan fluvial di bagian bawah dan beralih ke delta di bagian atas dengan perkiraan ketebalan 1.500 meter. Litologinya terdiri dari perselingan konglomerat dan batupasir, batulempung dengan sisipan serpih, batubara, dan batugamping. Setempat dijumpai singkapan batugamping dengan foraminifera besar. Formasi ini tersingkap di bagian selatan-barat pulau (Rustandi dkk., 1986; Nurhakim dkk., 2011).

2.1.1.5 Endapan Aluvium (Qa)

Endapan ini merupakan hasil erosi dari batuan-batuan lebih tua yang prosesnya masih berlangsung hingga masa kini. Endapan Aluvium banyak terdapat sebagai endapan rawa, sungai, dan pantai yang tersebar di sepanjang barat Pulau Sebuku. Endapan yang berumur paling muda ini terdiri atas kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung, dan lumpur (Nurhakim dkk., 2011).

2.1.2 Struktur Geologi Regional

Menurut van Bemmelen (1949), berdasarkan strukturnya Kalimantan dapat dibagi menjadi 3 zona, yaitu zona barat laut – barat dan sentral, zona tenggara serta zona timur laut-utara. Zona tenggara sendiri terdiri atas Pegunungan Meratus, Pulau Laut, dan Antiklinorium Samarinda. Wakita dkk (1998) menyebut basement daerah Meratus sebagai Kompleks Meratus. Kompleks Meratus tersebar pada Pegunungan MeratusBobaris dan Pulau Laut (Gambar 2). Komposisi batuan di Kompleks Meratus terdiri atas batuan metamorf tekanan tinggi (Sekis Hauran dan Filit Palaihari), batuan ultramafik (Ofiolit Meratus), dan batuan bancuh yang berisi rijang, batugamping, dan basalt di dalam matriks lempung. Rentang umur batuan di Meratus Kompleks yaitu dari mulai Jura-Kapur Akhir (Wakita, 2000).



Gambar 2 Komponen utama kompleks akresi-kolisi Kapur (Wakita, 2000).

Kegiatan tektonik Pulau Laut dan Pulau Sebuku (Rustandi dkk (1995)) diduga telah berlangsung sejak jaman Jura, yang menyebabkan bercampurnya batuan ultramafik, batuan bancuh, batuan malihan, dan rijang radiolarian. Pada zaman Kapur Awal atau mungkin lebih tua, terjadi kegiatan magmatisme. Magma ini menerobos batuan yang dihasilkan pada zaman Jura. Semua batuan tersebut merupakan alas Formasi Pitap dan anggotanya, yang berumur Kapur Awal bagian atas. Pada Kapur Akhir bagian bawah terjadi kegiatan tektonik yang menyebabkan tersesarkannya batuan ultramafik ke atas Formasi Pitap.

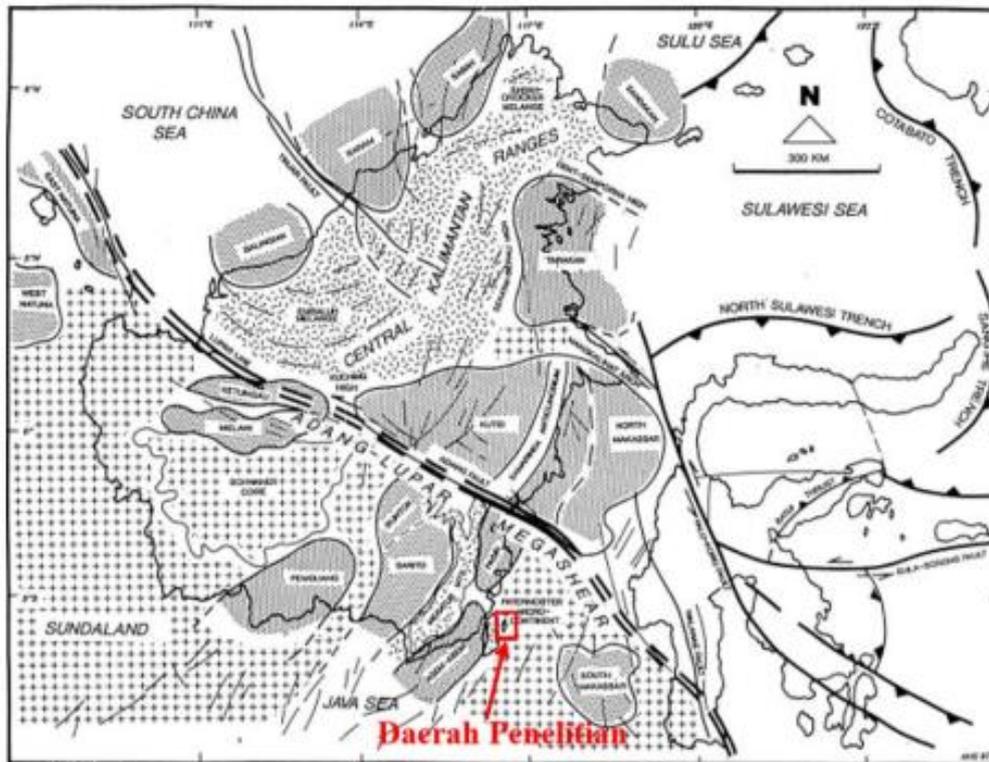
Pada Kapur Akhir bagian atas terjadi genang laut, sementara itu terjadi pula kegiatan vulkanik yang menghasilkan endapan Formasi Manunggal fasies sedimen dan fasies vulkanik. Pada awal Paleosen terjadi pengangkatan yang kemudian diikuti oleh pendataran sampai Eosen dan menghasilkan Formasi Tanjung bagian bawah. Kemudian diikuti kembali genang laut yang menghasilkan Formasi Tanjung bagian atas. Pada Kala Oligosen genang laut mencapai puncaknya dan terbentuklah paparan karbonat yang sangat luas sehingga dihasilkan Formasi Berai yang menutupi seluruh batuan yang lebih tua.

Kegiatan ini dibarengi pengendapan klastika yang menyusun Formasi Pamaluan (Rustandi dkk, 1995).

Paparan laut berkembang sampai Miosen Awal, kemudian terjadi susut laut pada Miosen Tengah dan terbentuklah endapan darat yang menyusun Formasi Warukin. Pada Miosen Akhir, terjadi lagi kegiatan tektonik yang kuat yang menyebabkan batuan tua terangkat ke permukaan, membentuk Tinggian Meratus yang memisahkan Cekungan Barito dan Pasir serta berbagai anak cekungan. Pada Plio-Plistosen berlangsung lagi pendataran dan terbentuklah Formasi Dahor (Rustandi dkk, 1995).

Rustandi dkk (1995) mengatakan struktur geologi yang berkembang di Pulau Laut dan Pulau Sebuku umumnya berupa sesar dan lipatan. Sesar naik umumnya berarah hampir utara-selatan, sedangkan sesar geser memiliki orientasi hampir barat-timur, dan sesar turun memiliki arah relatif utara-selatan. Arah sumbu lipatan dalam batuan sedimen Pra-Tersier maupun Tersier, umumnya memiliki arah timur laut-barat daya atau hampir utara-selatan. Perlipatan pada batuan Pra-Tersier memiliki kemiringan sekitar 40° - 70° , dengan sudut terkecilnya sekitar 25° . Sedangkan perlipatan pada batuan Tersier memiliki kemiringan sekitar 10° - 20° . Sesar naik berarah timur laut-barat daya yang searah dengan sumbu lipatan, dengan kemiringan 45° ke arah barat mengangkat batuan tua naik ke atas Formasi Pitap, yang diduga terjadi pada Kapur Atas. Sesar naik yang lebih muda mengakibatkan tersesarkannya Formasi Pitap ke atas Formasi Pamaluan, yang diduga terjadi lebih tua dari Miosen. Kemudian, sesar turun berarah hampir utara selatan, dengan bagian timurnya relatif lebih naik daripada bagian barat, membuat tersingkapnya batuan-batuan bancuh yang ada di bawah (Gambar 3).

Menurut Rustandi dkk. (1986), Bachtiar (2004), dan Hall (2014) seperti yang digambarkan pada Gambar 2.3, kedua anak cekungan tersebut pada bagian barat dibatasi oleh Pegunungan Meratus, bagian timur dibatasi oleh Mikrokontinen Paternosfer, bagian selatan dibatasi oleh Laut Jawa, serta bagian utara dibatasi oleh Sesar Adang.



Gambar 3 Kerangka tektonik Kalimantan (Hall,2014).

Berdasarkan geologi regional, Pulau Sebuku merupakan daerah anjakan dari ofiolit, yang terjadi akibat adanya gaya deformasi tektonik dari lempeng yang menunjam di sebelah timur Sulawesi yang terjadi pada kala Miosen–Pliosen. Dapat diketahui bahwa struktur utama yang berkembang di daerah ini merupakan struktur-struktur sesar anjukkan dengan struktur minor berupa sesar geser, sesar naik dan lipatan.

2.2 Batuan Ultramafik

Batuan ultramafik hadir dalam bumi sebagai komponen utama penyusun mantel atas di bawah kerak benua atau kerak samudera (Kadariusman, 2009). Secara sederhana batuan beku ultramafik adalah batuan beku yang secara kimia mengandung kurang dari 45% SiO_2 dari komposisinya. Kandungan mineralnya didominasi oleh mineral-mineral berat dengan kandungan unsur-unsur seperti Fe (besi) dan Mg (magnesium) (Ahmad, 2006).

Winter (2001) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa batuan ultramafik adalah batuan beku yang tersusun oleh 90% mineral mafik. Mineral-mineral

tersebut memiliki warna gelap yang disebabkan oleh kandungan magnesium dan besi yang tinggi. Penamaan batuan “ultramafik” dan “ultrabasa” memiliki perbedaan arti. Batuan ultrabasa merupakan jenis batuan yang secara geokimia mengandung sangat sedikit silika dan jarang ditemukannya kehadiran mineral-mineral ferromagnesian. Mineral-mineral ferromagnesian berwarna gelap dengan unsur utama Fe dan Mg. Mineral yang sedikit mengandung unsur utama Fe dan Mg menandakan keterdapatannya didominasi oleh silika feldspar, feldspathoid, dan muskovit (Ahmad, 2006).

Mineral-mineral mafik merupakan kelompok dari mineral olivin, orthopiroksen, klinopiroksen, biotit, hornblende/amfibol, kromit, turmalin, besi oksida, sebagian kecil garnet dan spinel, serta terkadang biotit. Maka, diketahui bahwa sebagian besar batuan ultramafik merupakan batuan ultrabasa, namun tidak semua batuan ultrabasa merupakan batuan ultramafik. Sebagai contoh, batuan piroksenit memiliki komposisi silika mencapai kadar 60%, namun tergolong dalam batuan ultramafik karena didominasi oleh mineral piroksen.

Beberapa mineral dominan yang hadir dalam batuan ultramafik, adalah sebagai berikut (McDonough dan Rudnick, 1998):

1. Olivin

Mineral olivin di dalam batuan ultramafik didominasi oleh forsterit (Mg_2SiO_4). Umumnya forsterit dalam olivin dapat mencapai kisaran 90%-92% hingga yang tertinggi 94%, sedangkan sisanya yaitu berupa fayalit (Fe_2SiO_4). Peridotit olivin umumnya memiliki kandungan Ca mulai dari beberapa ratus hingga seribu ppm. Pertukaran Ca antara klinopiroksen dan olivin digunakan sebagai geobarometer untuk peridotit spinel karena batuan ini relatif tidak sensitif terhadap tekanan.

2. Ortopiroksen

Kandungan alumina dari ortopiroksen pada fasies peridotit garnet umumnya rendah dan bervariasi, biasanya ortopiroksen pada fasies ini digunakan untuk mengetahui tekanan pembentukannya. Secara umum, kandungan CaO pada ortopiroksen sangat bervariasi dan umumnya digunakan untuk mengetahui suhu

pembentukan, sedangkan kandungan Na_2O dan TiO_2 dapat mencerminkan komposisi dari peridotit tersebut.

3. Klinopiroksen

Kandungan alumina dari klinopiroksen pada fasies peridotit garnet umumnya rendah dan bervariasi, biasanya klinopiroksen pada fasies ini digunakan untuk mengetahui tekanan pembentukannya. Kandungan Cr_2O_3 pada klinopiroksen umumnya tinggi.

4. Spinel

Spinel dapat diartikan sebagai mineral atau nama grup mineral. Grup spinel sendiri terdiri atas spinel (MgAl_2O_4), hercynit (FeAl_2O_4), magnesio-kromit (MgCr_2O_4) dan kromit (FeCr_2O_4). Umumnya, lherzolit memiliki spinel dengan kandungan Al yang tinggi dan Cr yang rendah, di sisi lain harzburgit memiliki kandungan Al yang rendah dan Cr yang tinggi.

5. Plagioklas

Plagioklas dalam peridotit didominasi oleh anorthit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Rasio anorthit dalam peridotit plagioklas memiliki kisaran antara 50%-80%, sedangkan sisanya yaitu berupa albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$). Plagioklas dapat juga ditemukan sebagai mineral sekunder pada peridotit xenolith yang menunjukkan komposisi yang basa dan dapat terkait dengan kandungan Na yang relatif tinggi yang akan membentuk amfibol.

2.3 Serpentinisasi

2.3.1 Karakteristik Serpentinisasi pada Batuan Ultramafik

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 serpentin. 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 perubahan pada suhu yang rendah dan penambahan ikatan H₂O (hidrasi) oleh fluida pada rentang suhu 200-400°C, 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).

2.3.2 Proses Serpentinisasi pada Batuan Ultramafik

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:

$$\text{Olivin} \pm \text{Piroksen} + \text{Air} = \text{Serpentin} + \text{Brusit} \pm \text{Magnetit} \pm \text{Talk} \pm \text{Tremolit} + \text{Hidrogen}$$

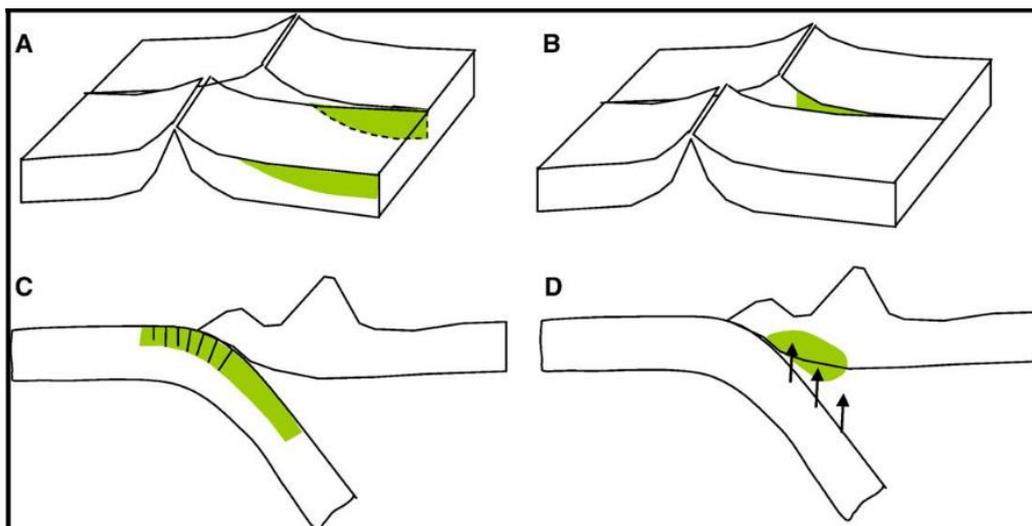
Mekanisme serpentinisasi peridotit dari kerak samudera menurut Li dan Lee (2006) dapat dibagi menjadi empat, yaitu (Gambar 2.10.) :

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 4 Ilustrasi skenario serpentinisasi pada kerak samudera (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).

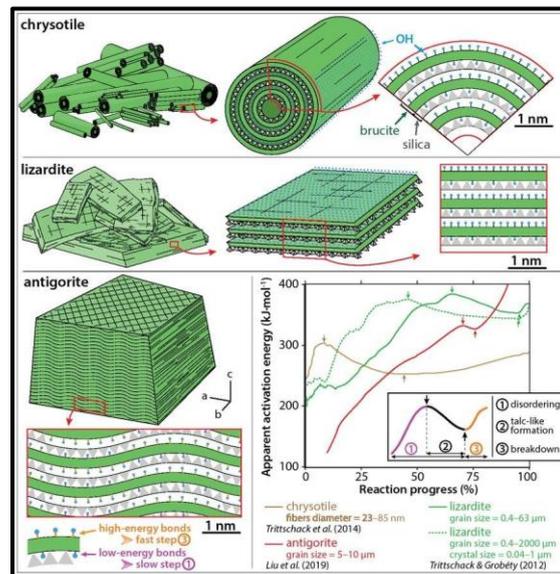
Proses serpentinisasi menurut Maffione dkk (2014) berkembang melalui beberapa reaksi bergantung pada lingkungan alterasi fluida-batuan-nya. Pada sistem yang didominasi oleh batuan, di mana masuknya air cukup terbatas dan aktivitas besi, magnesium dan silika dikontrol oleh komposisi batuan asalnya. Pada 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.

2.3.3 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). Pada Gambar 2.11, Ferrand (2019) mengilustrasikan bentuk-bentuk polimorf serpentin.



Gambar 5 Dehidroksilasi pada mineral-mineral serpentin yang memiliki perbedaan struktur, yang mengontrol batas stabilitas dan laju dehidrasi (Ferrand, 2019).

Tiga bentuk serpentin yang umum dijumpai pada batuan yaitu sebagai berikut:

1. Lizardit

Lizardit merupakan bentuk serpentin 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 serpentin 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, cokelat atau hitam, begitu juga kehadiran hematit akan memberikan warna cokelat 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.

2.4 Endapan Laterit

Endapan Laterit 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. 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).

Perilaku berbagai unsur selama proses lateralisasi pada dasarnya dikendalikan oleh dua faktor, (Ahmad, 2009) yaitu:

- a. Sifat kimia tertentu dari unsur itu sendiri (geokimia)
- b. Kondisi lingkungan yang berlaku (suhu, curah hujan, kondisi batuan, kondisi pH, dll.)

Tabel 1 Peran beberapa elemen selama pelapukan laterit (Ahmad, 2009)

Element	Exists in the ultramafics as	Role during lateritic weathering
Ca	Cpx>Opx>Oliv	Highly mobile. Leached away
Na	Very little	Highly mobile. Leached away
Mg	Oliv>Opx>Cpx	Highly mobile. Mostly leached away. Some stays behind as clay minerals
K	Very little	Highly mobile. Mostly leached away. Some stays behind as clay minerals
Si	Opx>Cpx>Oliv	Highly mobile. Mostly leached away. Some stays behind as clay minerals and silica boxwork
Mn	Oliv>Opx>Cpx	Semi-mobile. Forms oxide (pyrolusite) and hidroxides (manganite, pyrochroite & psilomelane)
Co	Oliv>Opx>Cpx	Semi-mobile. Follows manganese
Ni	Oliv>Opx>Cpx	Semi-mobile. Forms nickel serpentine, nickel talc, nickel chlorite and nickel clays
Al	Cpx>Opx>Oliv	Non-mobile. Stays behind as boehmite, bauxite & gibbsite
Cr	Cpx>Opx>Oliv	Non-mobile. Stays behind as chromite
Fe	Oliv>Opx>Cpx	Non-mobile. Stays behind as oxides (hematite & maghemite) and hydroxides (turgite, goethite, hydrogoethite, limonite, ferrihydrite, xanthosiderite & esmeraldaite)

- a) Ca. Kalsium hadir dalam batuan ultrabasa pada dasarnya di klinopiroksin dalam jumlah yang tinggi dibandingkan olivin dan ortopiroksin. Kalsium memiliki sifat yang sangat larut dalam air tanah di daerah tropis dan mudah masuk ke dalam larutan dan dengan cepat dihilangkan dari lingkungan laterisasi.
- b) Mg. Magnesium sangat larut dalam air tanah. Dalam kondisi tropis basah, magnesia dapat dengan cepat keluar dari profil laterit. Namun, di bawah kondisi iklim basah-kering, beberapa magnesia dalam bentuk lempung dalam profil laterit mungkin terhambat.
- c) Si. Silika memiliki kelarutannya lebih rendah dari magnesia, silika sering kali dapat diendapkan dalam zona saprolitik dari profil laterit di mana magnesia

secara aktif masuk ke dalam larutan.

- d) Fe. Kelarutan zat besi sangat bervariasi tergantung pada keadaan valensinya, dimana zat besi (Fe $++$) cukup larut dalam air tanah sedangkan zat besi (Fe $+++$) sangat tidak larut.
- e) Al. Alumina adalah salah satu unsur yang tidak bergerak yang ada dalam profil laterit selama air tanah berada pada kisaran pH 4,5 hingga 9,5 (sebagian besar air tanah memang termasuk dalam kisaran ini)
- f) Cr. Kromium dalam kromit tidak larut dalam air tanah dan sangat stabil, bertahan sebagai kromit di zona limonit laterit.
- g) Mn dan Co memiliki mobilitas agak rendah di perairan asam dan cenderung bergerak ke bawah profil laterit. Namun, mereka mencapai tingkat ketidaksuburan mereka lebih cepat (dan lebih awal dari nikel) dan diendapkan baik di bagian bawah zona limonit atau di bagian atas zona saprolit. Konsentrasi kobalt umumnya mengikuti mangan dalam profil laterit.

Gleeson. dkk (2003), membagi profil nikel laterit setidaknya menjadi tiga bagian, yakni batuan dasar, zona saprolit dan zona limonit. Pada Gambar 2.5, Elias (2002) mengilustrasikan profil laterit berserta nilai kadar unsur pada umumnya. Bagian-bagian dari profil laterit umumnya dapat ditemukan seluruhnya atau salah satu bagian dari profil laterit tersebut tidak ditemukan.

1. Batuan dasar

Bedrock atau batuan dasar meliputi batuan ultramafik pada susunan endapan laterit. Batuan ultramafik yang dimaksud biasanya adalah batuan peridotit seperti harzburgit, dunit, wherlite, piroksenit, atau bahkan dapat ditemukan gabbro sebagai batuan dasar.

2. Zona Saprolit

Zona saprolit merupakan hasil awal dari pelapukan batuan dasar dan biasanya masih memiliki sisa-sisa tekstur batuan dasarnya. Menurut arahan kerja PT. Sebuku Iron Lateritic Ores, zona saprolit terbagi menjadi beberapa layer, yaitu earthy saprolite, saprolite, rocky saprolite dan hard saprolit. Batas antara batuan dasar dengan zona saprolit sangat tidak beraturan (bukan batas tegas yang horizontal). Pada kebanyakan profil laterit tampak hadirnya pelapukan mengulit bawang

(*spheroidal weathering*) sepanjang kekar dan rekah, menghasilkan blok-blok batuan dasar yang segar, dikelilingi oleh material alterasi (diketahui sebagai bongkah saprolit atau core stone). Selama proses pelapukan, Mg di batuan dasar sudah hampir seluruhnya tercuci (*leached*), dan Si sebagian juga telah dilepaskan dari horizon ini melalui aliran air tanah.

3. Zona Limonit

Setelah unsur Si dan Mg tercuci oleh proses pelapukan dan mekanisme air tanah, Fe-oksida mendominasi bagian atas saprolit dan zona limonit yang berada di atasnya. Bagian kaya oksida ini disebut dengan zona limonit. Menurut arahan kerja PT Sebuku Iron Lateritic Ores, zona limonit terbagi menjadi dua layer, yaitu *red limonite* dan *yellow limonite*. Zona ini mengandung hanya sekitar 15% total volume dari batuan dasarnya (Golightly, 1981). Kerak besi (atau *ferruginous duricrust*, *cuirasse*, *canga*, *ferricrete*, atau laterit residuum) terbentuk di bagian atas dan melindungi bagian bawah dari erosi fisik air permukaan dan lainnya.

SCHEMATIC LATERITE PROFILE	COMMON NAME	APPROXIMATE ANALYSIS (%)			
		Ni	Co	Fe	MgO
	RED LIMONITE	<0.8	<0.1	>50	<0.5
	YELLOW LIMONITE	0.8 to 1.5	0.1 to 0.2	40 to 50	0.5 to 5
	TRANSITION	1.5 to 4		25 to 40	5 to 15
	SAPROLITE/ GARNIERITE/ SERPENTINE	1.8 to 3	0.02 to 0.1	10 to 25	15 to 35
	FRESH ROCK	0.3	0.01	5	35 to 45

Gambar 6 Penampang laterit hasil pelapukan (Elias, 2002)

2.4.1 Besi Laterit

Besi dan alumina laterit tidak dapat di pisahkan dari proses pembentukan nikel laterit, salah satu produk laterit adalah besi dan almunium. Pada profil laterit terdapat zona-zona di antaranya zona limonit. Zona ini menjadi zona terakumulasinya unsur-unsur yang kurang mobile, seperti Fe dan Al. Batuan dasar dari pembentukan nikel laterit adalah batuan peridotit dan dunit, yang komposisinya berupa mineral olivin dan piroksin. Faktor yang sangat mempengaruhi sangat banyak salah satunya adalah pelapukan kimia. Karena adanya pelapukan kimia maka mineral primer akan terurai dan larut. Faktor lain yang sangat mendukung adalah air tanah, air tanah akan melindi mineral-mineral sampai pada batas antara limonit dan saprolit, faktor lain dapat berupa PH+, topografi dan lain-lain. Endapan besi banyak terkonsentrasi pada zona limonit. Pada zona ini di dominasi oleh Goethit ($\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$), Hematit (Fe_2O_3), Magnetit (Fe_3O_4), Maghemite (Fe_2O_3), Lepidocrocite ($\gamma\text{-FeO(OH)}$), Ilmenit (FeTiO_3), Siderit (FeCO_3) dan Marcasite (FeS_2) yang relatif tinggi, dan mineral-mineral hydrous silicates lainnya (mineral lempung).

Bijih besi dapat terbentuk secara primer maupun sekunder. Proses pembentukan bijih besi primer berhubungan dengan proses magmatisme berupa gravity settling dari besi dalam batuan dunit, kemudian diikuti dengan proses metamorfisme/metasomatsma yang diakhiri oleh proses hidrotermal akibat terobosan batuan beku dioritik. Jenis cebakan bijih besi primer didominasi magnetit–hematite dan sebagian berasosiasi dengan kromit – garnet, yang terdapat pada batuan dunit berubah dan genes-sekis.

Besi yang terbentuk secara sekunder di sebut besi laterit berasosiasi dengan batuan peridotit yang telah mengalami pelapukan. Proses pelapukan berjalan secara intensif karena pengaruh faktor-faktor kemiringan lereng yang relative kecil, air tanah dan cuaca, sehingga menghasilkan tanah laterit yang kadang-kadang masih mengandung bongkahan bijih besi hematite/goetit berukuran kerikil – kerakal.

Besi laterit merupakan jenis cebakan endapan residu yang dihasilkan oleh proses pelapukan yang terjadi pada batuan peridotit/piroksenit dengan melibatkan dekomposisi, pengendapan kembali dan pengumpulan secara kimiawi. Bijih besi tipe laterit umumnya terdapat didaerah puncak perbukitan yang relative landai atau mempunyai kemiringan lereng dibawah 10%, sehingga menjadi salah satu factor utama dimana proses pelapukan secara kimiawi akan berperan lebih besar daripada proses mekanik. Sementara struktur dan karakteristik tanah relatif dipengaruhi oleh daya larut mineral dan kondisi aliran air tanah. Adapun profil lengkap tanah laterit tersebut dari bagian atas ke bawah adalah sebagai berikut: zone limonit, zone pelindian (*leaching zone*) dan zone saprolit yang terletak di atas batuan asalnya (ultrabasa).

Zona pelindian yang terdapat diantara zona limonit dan zona saprolit ini hanya terbentuk apabila aliran air tanah berjalan lambat pada saat mencapai kondisi saturasi yang sesuai untuk membentuk endapan bijih. Pengendapan dapat terjadi di suatu daerah beriklim tropis dengan musim kering yang lama. Ketebalan zona ini sangat beragam karena dikendalikan oleh fluktuasi air tanah akibat peralihan musim kemarau dan musim penghujan, rekahan-rekahan dalam zona saprolit dan permeabilitas dalam zona limonit. Derajat serpentinisasi batuan asal peridotit tampaknya mempengaruhi pembentukan zona saprolit, ditunjukkan oleh pembentukan zona saprolit dengan inti batuan sisa yang keras sebagai bentukan dari peridotit/piroksenit yang sedikit terserpentinisasikan, sementara batuan dengan gejala serpentin yang kuat dapat menghasilkan zona saprolit. Fluktuasi air tanah yang kaya CO₂ akan mengakibatkan kontak dengan saprolit batuan asal dan melarutkan mineral mineral yang tidak stabil seperti serpentin dan piroksin. Unsur Mg, Si, dan Ni dari batuan akan larut dan terbawa aliran air tanah dan akan membentuk mineral-mineral baru pada saat terjadi proses pengendapan kembali. Unsur-unsur yang tertinggal seperti Fe, Al, Mn, CO, dan Ni dalam zona limonit akan terikat sebagai mineral-mineral oksida/hidroksida diantaranya limonit, hematit, goetit, manganit dan lain-lain. Akibat pengurangan yang sangat besar dari Ni-unsur Mg dan Si tersebut, maka terjadi penyusutan zona saprolit yang masih

banyak mengandung bongkah-bongkah batuan asal. Sehingga kadar hematit unsur residu di zona laterit bawah akan naik sampai 10 kali untuk membentuk pengayaan Fe_2O_3 hingga mencapai lebih dari 72% dengan spinel-krom relative naik hingga sekitar 5%.

Besi laterit terbentuk dari pelapukan mineral utama berupa olivin dan piroksin. Mineral ini merupakan golongan mineral oksida hidroksida non silikat, mineral ini terbentuk dari unsur besi dan oksida atau FeO (*ferrous oxides*) kemudian mengalami proses oksidasi menjadi Fe_2O_3 lalu mengalami presipitasi atau proses hidroksil menjadi $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$ (*geotithe*). Mineral ini tingkat mobilitas unturnya pada kondisi asam sangat rendah, oleh karena itu pada profil laterit banyak terkonsentrasi pada zona limonit.

2.4.2 Nikel Laterit

2.4.2.1 Definisi dan Tipe Endapan Nikel Laterit

Laterit berasal dari bahasa latin yaitu *later*, yang artinya bata (membentuk bongkah - bongkah yang tersusun seperti bata yang berwarna merah bata) (Guilbert dan Park, 1986). Hal ini dikarenakan tanah laterit tersusun oleh fragmen - fragmen batuan yang mengambang di antara matriks, seperti bata di antara semen.

Laterit merupakan produk akhir dari pelapukan dan dalam hal ini dibedakan oleh kehadiran dari Fe (besi) pada bagian atas dan lapisan kaya Al (aluminium) dan bersifat keras dan oksidasi terjadi di atas lapisan kaya silika.

2.4.2.2 Genesa Endapan Nikel Laterit

Proses terbentuknya nikel dimulai dari adanya pelapukan yang intensif pada bedrock. Bedrock ini akan berubah menjadi serpentin akibat larutan residual pada waktu proses pembekuan magma (proses serpentinisasi) dan akan merubah batuan peridotit (*bedrock*) menjadi batuan sepepentin. Menurut Golightly (1981) 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).

Air resapan yang mengandung CO₂ (dari udara) meresap kebawah sampai ke permukaan air tanah melindi mineral-mineral primer yang tidak stabil (olivin, piroksin dan serpentin). air meresap secara perlahan sampai mencapai batas limonit zone dan saprolit zone, 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 zona saprolit atas akan berubah sifat porositasnya dan akan menjadi zona limonit.

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 zona yang disebut zona saprolit, berwarna coklat kuning kemerahan. Batuan asal ultramafik pada zona 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).