

SKRIPSI

**PENGARUH BATUAN DASAR TERHADAP KOMPOSISI
KIMIA ENDAPAN NIKEL LATERIT PADA BUKIT KONDE
DAN BUKIT KATHRYN PT VALE INDONESIA Tbk**

Disusun dan diajukan oleh:

**M. FARID GIFHARI
D111 19 1011**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGARUH BATUAN DASAR TERHADAP KOMPOSISI
KIMIA ENDAPAN NIKEL LATERIT PADA BUKIT KONDE
DAN BUKIT KATHRYN PT VALE INDONESIA Tbk**

Disusun dan diajukan oleh

**M. FARID GIFHARI
D111191011**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 24 November 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

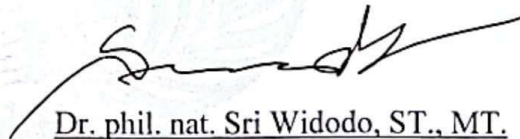
Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Ir. Irzal Nur, MT.
NIP 196604091997031002



Dr. phil. nat. Sri Widodo, ST., MT.
NIP 197101012010121001

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Aryanti Viantanti Anas, ST., MT.
NIP 197010052008012026

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : M. Farid Gifhari
NIM : D111191011
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Pengaruh Batuan Dasar Terhadap Komposisi Kimia Endapan Nikel Laterit Pada
Bukit Konde dan Bukit Kathryn PT Vale Indonesia Tbk

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, 24 November 2023

Yane Menyatakan



M. Farid Gifhari

ABSTRAK

M. FARID GIFHARI. *Pengaruh Batuan Dasar Terhadap Komposisi Kimia Endapan Nikel Laterit Pada Bukit Konde dan Bukit Kathryn PT Vale Indonesia Tbk* (dibimbing oleh Irzal Nur dan Sri Widodo).

Endapan laterit nikel Sorowako yang terdapat di bagian tengah Pulau Sulawesi merupakan sumber utama nikel di Indonesia. Endapan laterit nikel PT Vale Indonesia Tbk, Sorowako terdiri dari dua tipe berdasarkan tingkat serpentinisasi batuan dasarnya yaitu: tipe barat dan tipe timur. Bijih tipe barat berasal dari hasil pelapukan kimia batuan dunit tak terserpentinkan; sedangkan bijih tipe timur dibentuk oleh hasil pelapukan kimia batuan ultramafik yaitu lersolit dengan tingkat serpentinisasi sedang hingga tinggi. Tujuan penelitian untuk mengetahui karakteristik kimia endapan nikel laterit pada Bukit Konde dan Bukit Kathryn dengan menganalisis peran batuan dasar terhadap perkembangan endapan nikel lateritnya. Data yang diolah merupakan data hasil pengeboran sebanyak 42 titik bor di Bukit Konde dan 42 titik bor di Bukit Kathryn. Metode yang digunakan adalah analisis petrografi dan analisis kimia dengan metode XRF (*X-ray fluorescence spectrometry*). Berdasarkan analisis petrografi diketahui bahwa batuan dasar di Bukit Konde merupakan batuan dunit yang disusun dominan oleh olivin, dengan tingkat serpentinisasi yang rendah. Sedangkan di Bukit Kathryn batuan dasarnya adalah peridotit jenis *lherzolit*, dengan tingkat serpentinisasi yang tinggi. Hasil analisis XRF menunjukkan bahwa unsur-unsur Ni, Co, Fe, SiO₂, Cr, dan Mn pada Bukit Konde relatif lebih tinggi disebabkan batuan penyusunnya adalah dunit yang mengandung > 90% olivin. Sedangkan di Bukit Kathryn konsentrasi unsur MgO, Al dan Ca umumnya relatif lebih tinggi disebabkan batuan dasarnya adalah peridotit yang dominan disusun oleh piroksen. Kadar nikel (Ni) di Bukit Konde lebih tinggi dibandingkan Bukit Kathryn karena batuan dasarnya adalah dunit yang mempunyai tingkat serpentinisasi rendah hingga tidak terserpentinisasi.

Kata kunci: Nikel Laterit, Petrografi, Serpentinisasi , Sorowako

ABSTRACT

M. FARID GIFHARI. *The Effect of Bedrock on the Chemical Composition of Nickel Laterite Deposits at the Konde Hill and Kathryn Hill PT Vale Indonesia Tbk.* (supervised by Irzal Nur and Sri Widodo).

Sorowako nickel laterite deposits in the central part of Sulawesi Island are the main source of nickel in Indonesia. Nickel laterite deposit PT Vale Indonesia Tbk, Sorowako consists of two types based on the degree of serpentinization of the bedrock, namely: western and eastern types. Western type ores originate from the chemical weathering of non-serpentinized dunite rocks; while the eastern type ore is formed by the results of chemical weathering of ultramafic rocks, namely Lherzolite with moderate to high levels of serpentinization. The aim of this study was to determine the chemical characteristics of nickel laterite deposits on Konde Hill and Kathryn Hill by analyzing the role of bedrock in the development of lateritic nickel deposits. The processed data is data from the drilling of 42 drill points on Konde Hill and 42 drill points on Kathryn Hill. The method used is petrographic analysis and chemical analysis with XRF (X-ray fluorescence spectrometry) data method. Based on petrographic analysis, it is known that the bedrock at Konde Hill is a dunitic rock composed predominantly of olivine, with a low degree of serpentinization. Meanwhile, on Kathryn Hill, the bedrock is Lherzolite, with a high degree of serpentinization. The results of the XRF analysis showed that the elements Ni, Co, Fe, SiO₂, Cr, and Mn on Konde Hill were relatively higher because the constituent rocks were dunit which contained > 90% olivine. Whereas on Kathryn Hill the concentrations of MgO, Al and Ca elements are generally relatively higher because the bedrock is peridotite which is predominantly composed of pyroxene. Nickel (Ni) content in Konde Hill is higher than Kathryn Hill because the bedrock is dunit which has a low degree of serpentinization to no serpentinization.

Keywords: *Laterite Nickel, Petrography, Serpentinization , Sorowako*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
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 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian.....	4
2.2 Batuan Ultramafik.....	5
2.3 Serpentinisasi.....	7
2.4 Endapan Nikel Laterit.....	8
2.5 Profil Laterit.....	12
2.6 Pembentukan Nikel Laterit.....	15
2.7 Analisis <i>X-Ray Fluorescence</i>	19
BAB III METODE PENELITIAN.....	22
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	22
3.2 Variabel Penelitian.....	23
3.3 Bahan Uji dan Alat.....	23
3.4 Teknik Pengumpulan Data.....	23
3.5 Pengolahan dan Analisis Data.....	31
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Karakteristik Mineralogi Batuan Dasar.....	35
4.2 Karakteristik Kimia Endapan Nikel Laterit.....	39
4.3 Pengaruh Batuan Dasar Terhadap Proses Pembentukan Nikel Laterit.....	49
BAB V KESIMPULAN.....	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Profil nikel tipe <i>hydrous silicate</i>	11
Gambar 2 Profil nikel tipe <i>clay silicate</i>	12
Gambar 3 Profil nikel tipe <i>oxide deposits</i>	12
Gambar 4 Laterite profile (PT Vale Indonesia Tbk, 2020).....	15
Gambar 5 Skema faktor yang mempengaruhi proses sistem pelapukan	16
Gambar 6 Peta tunjuk lokasi penelitian.....	22
Gambar 7 Kegiatan pengeboran untuk memperoleh <i>core</i>	24
Gambar 8 Kenampakan <i>core</i> berwujud tanah (A) dan batu (B)	24
Gambar 9 Proses foto <i>core</i>	25
Gambar 10 Proses <i>screening</i> sampel sesuai fraksi	26
Gambar 11 Proses <i>quartering</i>	26
Gambar 12 Proses timbang sampel dan pengeringan sampel	27
Gambar 13 Sampel yang telah dikeringkan.....	27
Gambar 14 <i>Boyd crusher</i>	28
Gambar 15 Spliter/ homogenisasi	28
Gambar 16 Hasil <i>packing</i>	29
Gambar 17 Mikroskop polarisasi	30
Gambar 18 Pengamatan sampel menggunakan mikroskop polarisasi	31
Gambar 19 Klasifikasi batuan ultramafik menurut IUGS dalam Streckeisen (1976)	31
Gambar 20 Diagram alir penelitian	34
Gambar 21 Batuan dasar pada Bukit Konde.....	35
Gambar 22 Kenampakan mikroskopis sampel batuan dunit yang mencirikan Bukit Konde yang terdiri dari mineral olivin (Ol) dan klinopiroksin (Cpx).	36
Gambar 23 Klasifikasi Streckeisen (1976) untuk penentuan nama batuan Bukit Konde..	36
Gambar 24 Batuan dasar pada Bukit Kathryn	37
Gambar 25 Kenampakan mikroskopis sampel batuan Lerzolit yang mencirikan Bukit Kathryn terdiri dari mineral olivin (Ol), klinopiroksin (Cpx), serpentin (Serp) dan ortopiroksin (Opx).	38
Gambar 26 Klasifikasi Streckeisen (1976) untuk penentuan nama batuan Bukit Kathryn	38
Gambar 27 Profil laterit hasil pengeboran daerah penelitian.....	39
Gambar 28 Profil geokimia endapan nikel laterit Bukit Konde.....	43
Gambar 29 Profil geokimia endapan nikel laterit Bukit Kathryn	46

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Peran beberapa elemen selama pelapukan laterit.....	9
Tabel 2 Data statistik unsur pada lapisan limonit wilayah Bukit Konde	40
Tabel 3 Data statistik unsur pada lapisan saprolit wilayah Bukit Konde.....	41
Tabel 4 Data statistik unsur pada lapisan saprolit wilayah Bukit Konde.....	42
Tabel 5 Data statistik unsur pada lapisan limonit wilayah Bukit Kathryn.....	43
Tabel 6 Data statistik unsur pada lapisan saprolit wilayah Bukit Kathryn	44
Tabel 7 Data statistik unsur pada lapisan saprolit wilayah Bukit Kathryn	45
Tabel 8 Perbandingan unsur endapan nikel laterit pada kedua bukit.....	47
Tabel 9 Selisih kadar unsur endapan nikel laterit pada kedua bukit	47

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
\bar{x}	Kadar rata-rata
X_i	Kadar ke-i
n	Jumlah sampel
XRF	<i>X-Ray Fluorescence</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Peta Sebaran Titik Bukit Konde	57
Lampiran 2 Peta Sebaran Titik Bukit Kathryn.....	56
Lampiran 3 Kadar Rata-Rata Bijih Nikel Laterit Zona Limonit Bukit Konde	58
Lampiran 4 Kadar Rata-Rata Bijih Nikel Laterit Zona Limonit Bukit Kathryn...	61
Lampiran 5 Petrografi Bukit Konde.....	64
Lampiran 6 Petrografi Bukit Kathryn	66

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan Rahmat dan Karunia-Nya kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir yang merupakan salah satu tugas untuk mendapatkan gelar (S1). Salawat serta salam dihanturkan kepada baginda Rasulullah SAW sang pemimpin dan sang revolusioner yang telah memimpin umat manusia menuju zaman yang berjihad dalam menuntut ilmu dan memperjuangkan kebenaran.

Penulisan skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari beberapa pihak yang memfasilitasi, membimbing, mengarahkan dan membantu penulis dalam penyusunan laporan ini. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan banyak ucapan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Irzal, Nur, M.T. selaku Kepala Laboratorium Eksplorasi Mineral sekaligus Pembimbing Utama dan Bapak Dr. phil. nat. Sri Widodo, ST., M.T. sebagai Pembimbing Pendamping yang telah mendidik dan mengasuh penulis selama proses penyusunan tugas akhir.

Terima kasih pula penulis ucapkan kepada Ibu Aliahni Djafar S.T. yang telah memfasilitasi dan membimbing selama proses pengambilan data penelitian, kepada seluruh karyawan PT Vale Indonesia yang turut membantu dan membimbing penulis selama di PT Vale Indonesia Tbk.

Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada kedua orang tua penulis yaitu Bapak Hambaling S.Pd., M.Pd. dan Ibu Hj. HasmawatyA.R. S.Pd., serta seluruh keluarga besar yang telah memberi dukungan motivasi serta dukungan material kepada penulis sehingga penulisan skripsi ini dapat selesai.

Terima kasih juga penulis ucapkan kepada teman-teman anggota Laboratorium Eksplorasi Mineral dan mahasiswa Teknik Pertambangan Angkatan 2019 (IGNEOUZ) yang telah memberikan dukungan motivasi dan banyak masukan selama proses penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari terdapat kekurangan dan keterbatasan selama kegiatan tugas akhir dan dalam penyusunan laporan sehingga kritik dan saran sangat penulis harapkan guna menutupi kekurangan dan keterbatasan penulis dalam penyusunan tugas akhir ini. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pembaca.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sekitar 70% sumberdaya Ni dunia terkandung dalam bijih laterit. Akan tetapi hanya sekitar 40% produksi nikel secara global berasal dari laterit. Indonesia merupakan penghasil Ni terbesar kedua dunia (232 kiloton per tahun) setelah Rusia. Endapan laterit Soroako merupakan sumber logam nikel paling penting di Indonesia dan telah ditambang oleh PT. Vale Indonesia untuk memproduksi nikel matte (rerata 78% Ni plus 22% S) (Sufriadin, 2013). Laterit adalah produk sisa pelapukan kimiawi di batuan di permukaan bumi, dimana berbagai mineral asli atau primer tidak stabil dengan adanya air, larut atau rusak dan mineral baru terbentuk yang lebih stabil (Evans, 1993). Nikel laterit merupakan produk lateritisasi batuan yang kaya Mg atau ultrabasa kandungan Ni primer 0,2-0,4% (Golightly, 1981). Batuan seperti itu umumnya dunit, harzburgit dan peridotit yang terdapat di kompleks ofiolit dan batuan intrusif mafik-ultramafik berlapis dalam kratonik. Proses dan karakter laterit yang dihasilkan dikendalikan pada skala regional dan lokal oleh interaksi dinamis dari faktor-faktor seperti iklim, topografi, tektonik, jenis batuan primer dan struktur (Brand et al, 1998).

Endapan laterit Soroako merupakan sumber logam nikel paling penting dari Indonesia dan telah ditambang oleh PT Inco Tbk (sekarang PT Vale Indonesia) sejak tahun 1975 dengan hasil akhir berupa nikel matte (rerata 78% Ni plus 22% S). Dua tipe bijih yang dikenal pada endapan laterit nikel Soroako berdasarkan tingkat serpentinisasi batuan protolitnya yaitu bijih tipe barat dan bijih tipe timur. Bijih tipe barat dicirikan oleh kadar Ni, olivin dan rasio silika-magnesia lebih tinggi dibandingkan dengan bijih tipe timur (Sufriadin, 2013).

Eksplorasi awal di wilayah Sorowako menunjukkan adanya dua *bedrock* berbeda yang mendasari endapan laterit. Di bagian barat wilayah Sorowako, endapan laterit yang terdiri atas peridotit yang ditandai dengan adanya batu besar dan keras. Di bagian timur wilayah Sorowako endapan laterit terdiri dari batuan dasar peridotit yang menunjukkan berbagai tingkat serpentinisasi (Ahmad, 2005)

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, Hal ini menjadikan daerah Sorowako menarik untuk diteliti lebih detail dari penelitian sebelumnya yang bersifat regional, untuk mengetahui perbedaan karakteristik dari tipe *East Block* dan *West Block* di Sorowako dalam hal ini Bukit Konde dan Bukit Kathryn dengan melihat kandungan geokimia dan distribusi bijih yang tentunya juga dipengaruhi oleh beberapa faktor. Hal tersebutlah yang melatar belakangi penulis melakukan penelitian dalam penyelesaian tugas akhir dengan judul “Pengaruh Batuan Dasar Terhadap Komposisi Kimia Endapan Nikel Laterit Pada Bukit Konde dan Bukit Kathryn PT Vale Indonesia Tbk”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Mineralogi batuan dasar pada Bukit Konde dan Bukit Kathryn
2. Karakteristik kimia endapan nikel laterit pada Bukit Konde dan Bukit Kathryn.
3. Pengaruh batuan dasar terhadap karakteristik endapan nikel laterit pada Bukit Konde dan Bukit Kathryn.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik mineralogi batuan dasar pada Bukit Konde dan Bukit Kathryn.
2. Mengetahui karakteristik kimia endapan nikel laterit pada Bukit Konde dan Bukit Kathryn.
3. Menganalisis peran batuan dasar terhadap perkembangan endapan nikel laterit pada Bukit Konde dan Bukit Kathryn.

1.4 Manfaat Penelitian

Merujuk dari tujuan penelitian yang telah disebutkan sebelumnya, penelitian ini diharapkan dapat menjadi literatur dan menambah pengetahuan mengenai karakterisasi kimia endapan nikel laterit tipe *East Block* dan *West Block* pada PT

Vale Indonesia Tbk, baik itu tentang penyebaran kadar pada Bukit Konde dan Bukit Kathryn dan juga dapat menjadi referensi untuk menambah wawasan tentang peran batuan dasar pada Bukit Konde dan Bukit Kathryn terhadap proses pembentukan nikel laterit.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah melakukan perbandingan terhadap kadar unsur yang terdapat pada Bukit Konde dan Bukit Kathryn sehingga mengetahui beda kadar antara kedua bukit. Setelah itu dilakukan perbandingan batuan dasar dari Bukit Konde dan Bukit Kathryn sehingga diketahui peran dari batuan dasar dalam pembentukan nikel laterit pada kedua bukit tersebut.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian

Secara stratifigrafi formasi-formasi batuan yang menyusun daerah penelitian dan sekitarnya terdiri atas :

1. Kompleks Ultramafik

Kompleks Ultramafik tersebar luas di bagian utara dan selatan daerah penelitian. Kompleks ini tersusun oleh satuan-satuan batuan harzburgit, Lherzolite, wehrilit, websterit, serpentin serta dunit. Formasi ini berumur Kapur.

2. Melange Wasuponda

Melange wasuponda tersebar setempat di bagian barat daerah penelitian. Kompleks ini tersusun oleh satuan-satuan batuan terdiri dari bongkahan asing, sekis, genes, batuan mafik, amfibolit, diabas malih, batuan ultramafik (pikrit), batugamping terdaunkan juga eklogit. Formasi ini berumur Kapur.

3. Endapan Permukaan

Endapan permukaan tersebar di sekitar Danau Towuti dan Danau Mahalona. Endapan ini tersusun oleh Lempung, pasir dan kerikil. Endapan ini berumur Resen.

4. Formasi Tomata

Formasi Tomata tersebar setempat-setempat di bagian utara daerah penelitian. Formasi ini tersusun oleh perselingan batupasir konglomerat, batulempung dan tuf dengan sisipan lignit. formasi ini berumur Miosen.

5. Formasi Masiku

Formasi Masiku tersebar setempat di bagian tenggara. Formasi tersusun oleh batusabak, serpih, filit, batupasir, batugamping dengan buncah gamping rijangan. Formasi ini berumur Jura.

6. Formasi Matano

Formasi Matano tersebar setempat-setempat disebelah barat Danau Matano. Formasi tersusun oleh batugamping hablur, kalsilit, napal,

serpih, bersisipan rijang maupun batusabak. Formasi ini berumur Kapur Akhir.

7. Formasi Larona

Formasi Larona tersebar setempat-setempat di bagian baratdaya daerah penelitian. Formasi ini tersusun oleh Konglomerat, batupasir, batulempung dengari sisipan tufa. Formasi ini berumur Kapur.

Struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian dan sekitarnya secara umum berarah hampir barat-timur, melewati Kompleks Ultramafik dan Endapan Permukaan. Menurut Simandjuntak dkk, 1991, struktur geologi Lembar Malili memperlihatkan ciri kompleks tumbukan dari pinggiran benua yang aktif. Berdasarkan struktur, himpunan batuan, biostratigrafi dan umur, daerah ini dapat dibagi menjadi dua kelompok yang sangat berbeda, yaitu Alohton yang terdiri dari Ofiolit dan Malihan, sedangkan Autohton 10 terdiri dari batuan gunungapi dan pluton Tersier dari pinggiran Sunda land, serta kelompok Molasa Sulawesi.

2.2 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, antara lain:

1. Peridotit

Peridotit biasanya membentuk suatu kelompok batuan ultramafik yang disebut ofiolit, umumnya membentuk tekstur kumulus yang terdiri dari atas harsburgit, lertzolit, werlite dan dunit. Peridotit tersusun atas mineral-mineral holokristalin dengan ukuran medium – kasar dan berbentuk anedral. Komposisinya terdiri dari olivin dan piroksin. Mineral asesorisnya berupa plagioklas, hornblende, biotit dan garnet.

2. Piroksinit

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

- a. *Orthopyroxenites: Bronzites*
- 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). Dunit memiliki komposisi mineral hampir seluruhnya adalah monomineralik olivin (umumnya magnesia olivin), mineral asesorisnya meliputi kromit, magnetit, ilmenit dan spinel. Pembentukan dunit berlangsung pada kondisi padat atau hampir padat (pada temperatur yang tinggi) dalam larutan magma dan sebelum mendingin pada temperatur tersebut, batuan tersebut siap bersatu membentuk massa olivin anhedral yang saling mengikat. Terbentuk batuan yang terdiri dari olivin murni (dunit) misalnya, membuktikan bahwa larutan magma (liquid) berkomposisi olivin memisah dari larutan yang lain (Ahmad, 2002).

5. Serpentinit

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

6. *Lherzolite*

Lherzolite adalah batuan beku ultramafik. Batuan ini berbutir kasar terdiri dari 40 hingga 90% olivin bersama sejumlah ortopiroksen dan sedikit kromium kalsik yang kaya akan klinopiroksen. Mineral-mineral minor yang hadir termasuk spinel-spinel alumunium dan garnet. Plagioklas dapat terbentuk di *Lherzolite* dan peridotit lainnya yang mengkristal di kedalaman dangkal (20-30 km). *Lherzolite* diketahui terdapat di bagian bawah kompleks ofiolit ultramafik (meskipun pada setting tersebut harsburgit lebih sering dijumpai) dari tipe peridotit *alpine*, juga sebagai xenolit di pipa-pipa kimberlit dan basal alkali. Lelehan parsial pada *lherzolite* spinel adalah salah satu sumber utama magma basaltik.

7. Harsburgit

Harsburgit adalah batuan beku ultramafik, merupakan varian dari peridotit yang biasanya terdiri atas dua mineral, olivin dan piroksen rendah kalsium (enstatit). Nama *Harzburgite* diambil dari keterdapatannya di Pegunungan Harz di Jerman. Harsburgit biasanya terbentuk oleh ekstraksi dari lelehan parsial dari peridotit yang kaya piroksen lainnya yang disebut *lherzolite*. Magma cair yang diekstraksi dari harsburgit dapat kemudian tererupsi ke permukaan seperti basal. Jika lelehan parsial dari harsburgit berlanjut, semua piroksen mungkin terekstraksi darinya untuk membentuk magma, meninggalkan peridotit miskin piroksen yang disebut dunit. Harsburgit dapat terbentuk dari akumulasi olivin dan piroksen rendah kalsium di dapur magma basal yang besar dan dalam di kerak benua (intrusi berlapis)

2.3 Serpentinisasi

Serpentinisasi menurut Palandri dan Reed (2004) adalah suatu reaksi eksotermis, hidrasi di mana air bereaksi dengan mineral mafik seperti olivin dan piroksen untuk menghasilkan lizardit, antigorit dan/atau krisotil.

Menurut Ahmad (2006) ada beberapa hal terjadinya proses serpentinisasi adalah adanya penambahan air, adanya pelarutan magnesia (penambahan silika), adanya pelepasan besi dalam olivin (Fe, Mg), konversi besi yang lepas dari ikatan ferro (Fe_2^+) menjadi ferri (Fe_3^+) untuk membentuk magnetit berbutir halus.

Akibatnya batuan terserpentinisasi umumnya akan menjadi lebih magnetik. Peran atau kemunculan mineral serpentin pada batuan dasar penghasil laterit terkadang memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap karakterisasi tanah laterit yang ada.

Secara umum batuan dasar penghasil tanah laterit merupakan batuanbatuan ultramafik dimana batuan yang rendah akan unsur Si, namun tinggi akan unsur Fe, Mg dan terdapat unsur Ni yang berasal langsung dari mantle bumi. Kehadiran mineral serpentin pada batuan ultramafik menjadi suatu peranan penting dalam pembentukan karakteristik tanah laterit yang ada terutama pada pengkayaan unsur logam Ni pada tanah laterit. Proses serpentinisasi akan menyebabkan perubahan tekstur mineralogi dan senyawa pada mineral olivin maupun piroksen pengurangan atau perubahan komposisi unsur Mg, Ni dan Fe pada mineralnya

2.4 Endapan Nikel Laterit

Endapan nikel laterit diartikan sebagai hasil dari proses pelapukan yang intensif di daerah humid, *warm* maupun *tropic* dan kaya akan mineral lempung yang bersifat *kaolinitic* serta Fe⁻ dan Al⁻ *oxide* atau *hydroxide*. Endapan laterit pada umumnya menampakkan bidang perlapisan yang baik sebagai hasil reaksi antara air hujan yang masuk ke dalam formasi dan kelembaban tanah yang naik ke atas permukaan (Maulana, 2017).

Laterit menurut Evans (1993) adalah produk sisa dari pelapukan kimia batuan di permukaan bumi, dimana berbagai mineral asli atau primer mengalami ketidakstabilan karena adanya air kemudian larut atau pecah dan membentuk mineral baru yang lebih stabil. Laterit penting sebagai induk untuk endapan bijih ekonomis. Contoh terkenal dari endapan bijih laterit yaitu bauksit dan endapan bijih besi.

Laterit merupakan sumber dari beberapa mineral ekonomis diantaranya *bauxite* dan nikel (Ni), mangan (Mn), tembaga (Cu), emas (Au) dan *platinum group element* (PGE). Bagian paling bawah dari profil laterit disebut dengan zona saprolit yang merupakan zona pelapukan tinggi dimana tekstur primer dan *fabric* dari batuan asalnya masih dapat dilihat. Akibat fluida yang bersifat *oxided* dan asam, maka bagian paling bawah dari zona ini dicirikan dengan tidak stabilnya

sulfide dan karbonat dengan hasil pencucian atau *leaching* dari logam-logam *chalcophile* dan unsur-unsur alkalin. Bagian bawah dari zona saprolit ini dicirikan dengan terurainya mineral-mineral feldspar dan *ferromagnesian*, sementara Si dan Al akan tetap pada mineral lempung (*kaolinite dan halloysite*) (Maulana, 2017).

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

1. Sifat kimia tertentu dari unsur itu sendiri (geokimia)
2. Kondisi lingkungan (suhu, curah hujan, kondisi batuan, kondisi pH, dll.)

Tabel 1 Peran beberapa elemen selama pelapukan laterit

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

Sumber : Ahmad (2009)

Sifat dari beberapa elemen sebagai berikut:

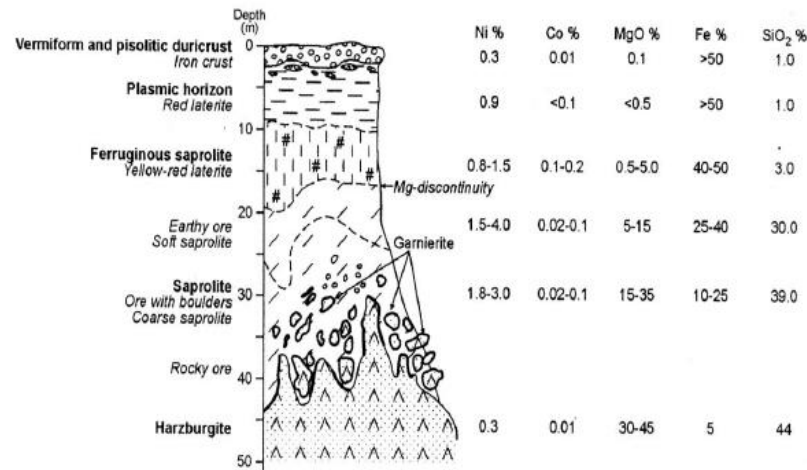
1. Kalsium (Ca) memiliki sifat yang sangat larut dalam air tanah di daerah tropis.
2. Magnesium (Mg) sangat larut dalam air tanah. Dalam kondisi tropis basah, magnesia dapat dengan cepat keluar dari profil laterit. Namun, di bawah kondisi iklim basah-kering, beberapa magnesia dalam bentuk lempung dalam profil laterit mungkin terhambat.
3. Silika (Si) kelarutannya rendah dari magnesia, silika sering kali dapat diendapkan dalam zona saprolitik dari profil laterit di mana magnesia secara aktif masuk ke dalam larutan.
4. Besi (Fe) sangat bervariasi tergantung pada keadaan valensinya, dimana zat besi (Fe ⁺⁺) cukup larut dalam air tanah sedangkan zat besi (Fe ⁺⁺⁺) sangat tidak larut.
5. Alumina (Al) salah satu unsur tidak bergerak yang ada dalam profil laterit selama air tanah berada kisaran pH 4,5 hingga 9,5 (sebagian besar air tanah termasuk kisaran ini)
6. Kromium (Cr) dalam kromit tidak larut dalam air tanah dan sangat stabil.
7. Mn dan Co memiliki mobilitas rendah di perairan asam dan cenderung bergerak ke bawah profil laterit. Namun, unsur ini mencapai tingkat ketidaksurupan lebih cepat dan diendapkan baik di bagian bawah zona limonit atau di bagian atas zona saprolit.

Secara mineralogi nikel laterit dapat dibagi dalam tiga kategori (Freyssinet *et. al.*, 2005):

1. *Hydrous Silicate Deposits*

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 *box-work* dapat terbentuk. Rekahan dan batas-batas antar butir dapat terisi oleh mineral silikat dan mineral yang kaya dengan nikel. 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

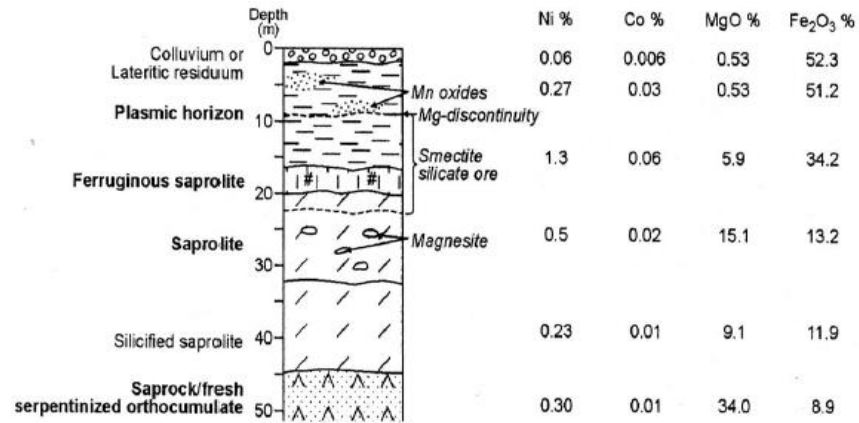
untuk pembentukan endapan *hydrous silicate* pada kadar yang ekonomis. Profil nikel tipe *hydrous silicate* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Profil nikel tipe *hydrous silicate* (Freyssinet et. al., 2005)

2. Clay Silicate Deposits

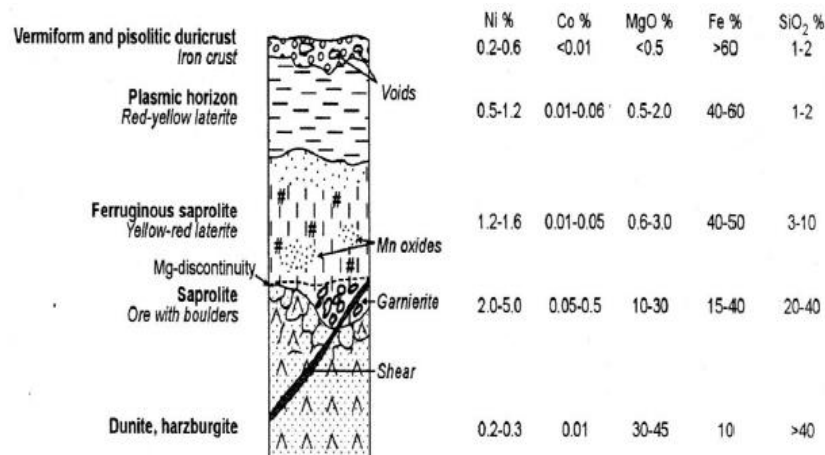
Silika (Si) dari profil laterit, hanya sebagian yang terlindungi oleh air tanah. Silika yang tersisa bersama-sama dengan Fe, Ni, dan Al membentuk mineral lempung seperti *Ni-rich nontronit* pada bagian tengah sampai dengan bagian atas zona saprolit. Serpentin yang kaya dengan nikel juga bisa digantikan (teraltrasi) oleh smektit pada bagian yang kontak dengan air tanah sehingga larutan-larutan yang terbentuk menjadi jenuh dengan mineral-mineral lempung. Secara umum kadar nikel rata-rata pada tipe endapan ini lebih rendah dibandingkan dengan tipe *hydrous silicate*. Pada endapan tipe *clay deposit*, posisi muka air tanah awal relatif lebih dangkal dan *drainase* terhambat, kondisi ini menyebabkan lapisan limonit lebih sering terendam air sehingga terbentuk lapisan lempung dan akumulasi Ni pada lapisan lempung tersebut. Profil nikel tipe *clay silicate* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Profil nikel tipe *clay silicate* (Freyssinet et. al., 2005)

3. Oxide Deposits

Oxide deposit dikenal juga dengan nama endapan limonit, dimana nikel berasosiasi dengan Fe-hidroksida dengan mineral utama goetit. Kadangkadang juga kaya dengan oksida Mn yang kaya dengan Co. Kadar Ni rata-rata pada tipe endapan ini lebih rendah 1,0-1,6%, sehingga memiliki nilai ekonomis yang kurang baik. Pada endapan tipe *oxide deposit* posisi muka air tanah awal relatif dangkal dan drainasenya tidak terhambat (infiltrasi air lancar) sehingga Ni lebih banyak terakumulasi pada zona limonit sampai saprolit bagian atas. Profil nikel tipe *oxide deposits* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Profil nikel tipe *oxide deposits* (Freyssinet et. al., 2005)

2.5 Profil Laterit

Profil endapan nikel laterit yang terbentuk dari hasil pelapukan batuan ultrabasa. Profil endapan nikel laterit tersebut dideskripsikan dan diterangkan oleh daya larut

mineral dan kondisi aliran air tanah, secara umum terdiri dari 4 (empat) lapisan, yaitu lapisan tanah penutup (*top soil*), lapisan limonit, transisi, lapisan saprolit dan lapisan *bedrock* (batuan dasar).

1. Lapisan Tanah Penutup

Lapisan tanah penutup biasa disebut *iron capping*. Material lapisan berukuran lempung, berwarna coklat kemerahan dan biasanya terdapat juga sisa-sisa tumbuhan. Pengkayaan Fe terjadi pada mom ini karena terdiri dari konkresi Fe-Oksida (mineral *Hematite* dan *Goethite*). dan *Chromiferous* dengan kandungan nikel relatif rendah. Tebal lapisan bervariasi antara 0 - 2 m. Komposisinya adalah akar tumbuhan, humus, oksida besi dan sisa-sisa organik lainnya. Warna khas adalah coklat tua kehitaman dan bersifat gembur. Kadar nikelnya sangat rendah sehingga tidak diambil dalam penambangan. Ketebalan lapisan tanah penutup rata-rata 0,3 s/d 6 m berwarna merah tua, merupakan kumpulan massa *goethite* dan *limonite*. Iron capping mempunyai kadar besi yang tinggi tapi kadar nikel yang rendah kemudian terdapat mineral *hematite chromiferous*.

2. Zona Limonit

Lapisan ini tipis berkisar antara 1 - 10 m pada daerah yang terjal dan sempat hilang karena erosi Pada zona limonit hampir seluruh unsur yang mudah larut hilang terindi kadar MgO hanya tinggal kurang dari 2% berat dan kadar SiO₂ berkisar 2 - 5% berat. Sebaliknya kadar Fe₂O₃ menjadi sekitar 60 - 80% berat dan kadar Al₂O₃ maksimum 7% berat. Zona ini didominasi oleh mineral *Goethite*, disamping juga terdapat Magnetit. Hematit, Kromit, serta Kuarsa sekunder. Pada *Goethite* terikat Nikel *Chrom*, *Cobal*, *Vanadium*, dan Aluminium. Merupakan hasil pelapukan lanjut dari batuan beku ultrabasa. Komposisinya meliputi oksida besi yang dominan, goethit, dan mgnetit Ketebalan lapisan ini rata-rata 8-15 m Dalam limonit dapat dijumpai adanya akar tumbuhan, meskipun dalam persentase yang sangat kecil. Kemunculan bongkah - bongkah batuan beku ultrabasa pada zona ini tidak dominan atau hampir tidak ada, umumnya mineral-mineral di batuan beku basa-ultrabasa telah berubah menjadi serpentinit akibat hasil dari pelapukan yang belum tuntas. Limonit

dibedakan menjadi 2. yaitu *red limonite* yang biasa disebut *hematite* dan *yellow limonite* yang disebut *goethite*.

3. Zona Transisi

Lapisan ini merupakan zona peralihan antara *limonite* bagian bawah dan *saprolite* bagian atas. Mengandung mineral *smectite*. Tekstur batuan induk masih terlihat. Ukuran butir cenderung lempung dan *impermeable*.

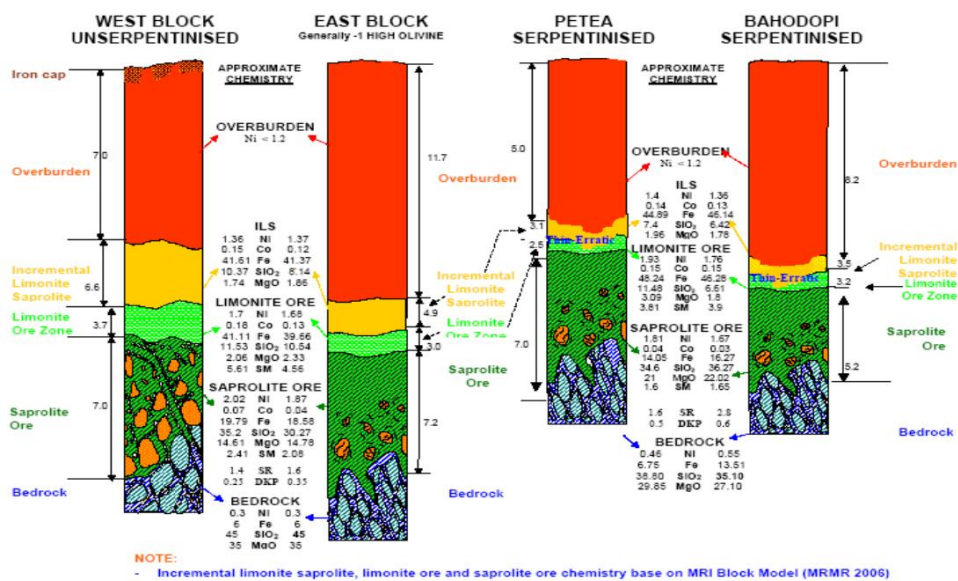
4. Zona Saprolit

Merupakan lapisan dari batuan dasar yang sudah kapuk, berupa bongkah - bongkah umak berwarna coklat kekuningan sampai kehijauan. Struktur dan tekstur batuan asal masih terlihat. Perubahan geokimia zona saprolit yang terletak di atas batuan asal ini tidak banyak, H₂O dan Nikel bertambah dengan kadar Ni keseluruhan lapisan antara 2 - 4%, sedangkan Magnesium dan Silikon hanya sedikit yang hilang terindikasi. Zona ini terdiri dari *vein-vein Garnierite*, Mangan, Serpentin, Kuarsa sekunder bertekstur *boxwork*, Ni-Kalsedon, dan di beberapa tempat sudah terbentuk limonit yang mengandung Fe-hidroksida. Zona ini merupakan zona pengayaan unsur Ni. Komposisinya berupa oksida besi, serpentin sekitar <0,4% kuarsa magnetit dan tekstur batuan asal yang masih terlihat. Ketebalan lapisan ini berkisar 5-18 m. Campuran dari sisa-sisa batuan butiran halus *limonite*, *saprolite*, *vein* dari endapan *garnierit*, *nickeliferous quartz*, mangan dan pada beberapa kasus terdapat silika *boxwork*, bentukan dari situ zona transisi dari limonit ke *bedrock*. Terkadang terdapat mineral *quartz* yang mengisi rekahan, mineral-mineral primer yang terlapukkan *chlorite*. *Garnierite* di lapangan biasanya diidentifikasi sebagai *koloidal talc* dengan lebih atau kurang *nickeliferous* serpentin struktur dan tekstur batuan asal masih terlihat. Kadar Ni 1,85%, Fe 16%, MgO 25%, SiO₂ 35%. Lapisan ini merupakan lapisan yang bernilai ekonomis untuk ditambang sebagai bijih.

5. Zona batuan induk (*Bedrock zone*)

Merupakan bagian terbawah dari profil nikel laterit, berwarna hitam kehijauan terdiri dari bongkah-bongkah batuan dasar dengan ukuran > 75 cm dan secara umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis. Kadar mineral mendekati atau sama dengan batuan asal, yaitu dengan kadar Fe

±5% serta Ni dan Co antara 0.01-0.30%. Bagian terbawah dari profil laterit. Tersusun atas bongkah yang lebih besar dari 75 cm dan blok peridotit (batuan dasar) dan secara umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis (kadar logam sudah mendekati atau sama dengan batuan dasar). Batuan dasar merupakan batuan asal dari nikel laterit yang umumnya merupakan batuan beku ultrabasa yaitu harzburgit dan dunit yang pada rekahannya telah terisi oleh oksida besi 5 - 10%, garnierit minor dan silika > 35%. Permeabilitas batuan dasar meningkat sebanding dengan intensitas serpentinisasi. Zona ini terfrakturisasi kuat, kadang membuka terisi oleh mineral garnierite dan silika. Frakturisasi ini diperkirakan menjadi penyebab adanya *root zone* yaitu zona *high grade* Ni akan tetapi posisinya tersembunyi. Ketebalan dari masing-masing lapisan tidak merata tergantung dari morfologi dan relief, umumnya endapan laterit terakumulasi banyak pada bagian bawah bukit dan relief yang landai. Sedang relief yang terjal endapan semakin menipis. Profit endapan nikel laterit dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Laterite profile (PT Vale Indonesia Tbk, 2020)

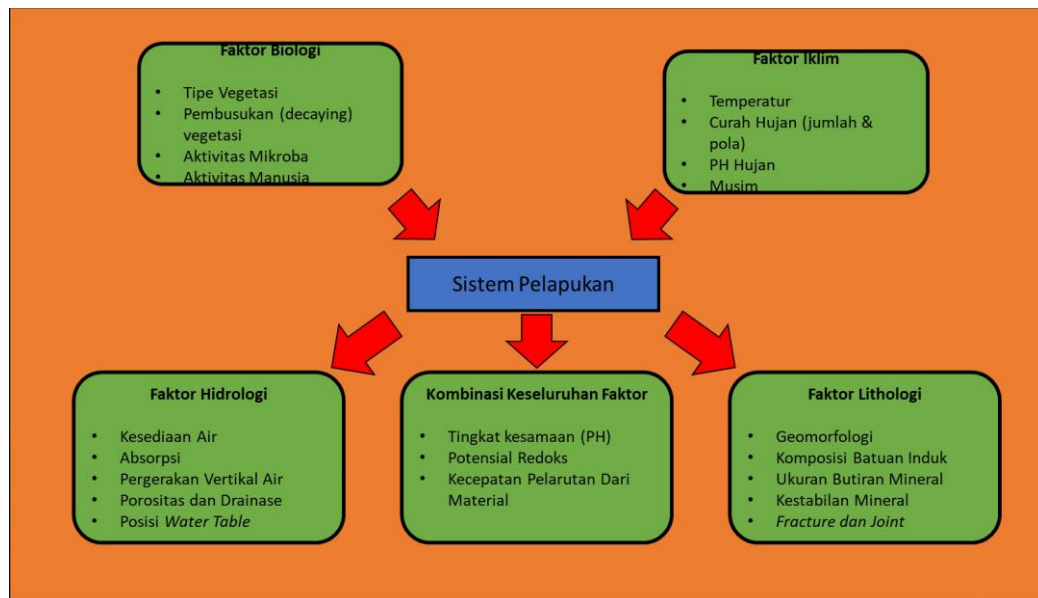
2.6 Pembentukan Nikel Laterit

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 (Golightly, 1981 dalam Maulana, 2017).

2.5.1 Proses pembentukan

Pembentukan nikel laterit secara kimia terkait dengan proses serpentinisasi yang terjadi pada batuan peridotite akibat pengaruh larutan hydrothermal yang akan merubah batuan *peridotite* menjadi batuan serpentinite atau batuan *serpentinite peridotite*. Sedangkan proses kimia dan fisika dari udara, air serta pergantian panas dingin yang bekerja kontinu (berkelanjutan), menyebabkan disintegrasi dan dekomposisi pada batuan induk.



Gambar 5 Skema faktor yang mempengaruhi proses sistem pelapukan (Ahmad, 2006)

Pada pelapukan kimia khususnya, air tanah kaya akan CO₂, yang berasal dari udara dan pembersukan tumbuh-tumbuhan akan menguraikan mineral-mineral yang tidak stabil (*olivine* dan piroksin) pada batuan ultrabasa, kemudian menghasilkan Mg, Fe, Ni yang larut dan Si yang cenderung membentuk koloid dari partikel-partikel silika sangat halus. Di dalam larutan, Fe teroksidasi dan mengendap sebagai *ferrihidroksida*, akhirnya membentuk mineral-mineral seperti *goethite*, *limonite*, dan *hematite* dekat permukaan. Bersama mineral-mineral ini selalu ikut serta unsur cobalt dalam jumlah kecil. Berikut ini

merupakan skema faktor yang mempengaruhi proses sistem pelapukan yang dapat dilihat pada Gambar 5.

Larutan yang mengandung Mg, Ni, dan Si terus menerus mengalir ke bawah tanah selama larutannya bersifat asam, hingga pada suatu kondisi dimana suasana cukup netral akibat adanya kontak dengan tanah dan batuan, maka ada kecenderungan untuk membentuk endapan hidrosilikat. Nikel yang terkandung dalam rantai silikat atau hidrosilikat dengan komposisi bervariasi tersebut akan mengendap pada celah-celah atau rekahan yang dikenal dengan urat-urat *garnierite* dan krisopras. Sedangkan larutan residualnya akan membentuk suatu senyawa yang disebut *saprolite* yang berwarna coklat kuning kemerahan. Unsur-unsur lainnya seperti Ca dan Mg yang terlarut sebagai bikarbonat akan terbawa ke bawah sampai batas pelapukan dan akan diendapkan sebagai *dolomite*, *magnesite* yang biasanya mengisi celah-celah atau rekahan-rekahan pada batuan induk. Di lapangan urat-urat ini dikenal sebagai batas petunjuk antara zona pelapukan dengan zona batuan segar yang disebut akar pelapukan (*root of weathering*).

Menurut Ahmad (2006) terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan endapan laterit, antara lain:

1. Batuan induk

Adanya batuan induk merupakan syarat utama untuk terbentuknya endapan nikel laterit, macam batuan induknya adalah ultrabasa. Dalam hal ini pada batuan ultrabasa tersebut ialah:

- a. Terdapat elemen Ni yang paling banyak diantara batuan lainnya.
- b. Mempunyai mineral-mineral yang paling mudah lapuk atau tidak stabil seperti olivin dan piroksin.
- c. Memiliki komponen-komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel.

2. Iklim

Pergantian musim kemarau dan musim penghujan dimana terjadi kenaikan dan penurunan permukaan air tanah juga dapat menyebabkan terjadinya proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur. Perbedaan temperatur yang cukup besar akan membantu terjadinya pelapukan mekanis, yaitu akan

terjadi rekahan-rekahan dalam batuan yang akan mempermudah proses atau reaksi kimia pada batuan.

3. Reagen-reagen kimia dan vegetasi

Reagen-reagen kimia adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu mempercepat proses pelapukan. Air tanah yang mengandung CO₂ memegang peranan penting di dalam proses pelapukan kimia. Asam-asam humus menyebabkan dekomposisi batuan dan dapat merubah Ph larutan. Asam-asam humus ini erat kaitannya dengan vegetasi wilayah. Dalam hal ini vegetasi akan mengakibatkan penetrasi air dapat lebih dalam dan mudah dengan mengikuti jalur akar pepohonan serta akumulasi air hujan bertambah banyak.

4. Struktur

Struktur yang sangat dominan adalah kekar (*joint*) dibandingkan terhadap struktur patahannya. Seperti diketahui, batuan beku mempunyai porositas dan permeabilitas yang kecil sekali sehingga penetrasi air sangat sulit, maka dengan adanya rekahan-rekahan tersebut akan lebih memudahkan masuknya air dan berarti proses pelapukan menjadi lebih intensif.

5. Topografi

Topografi akan mempengaruhi pola aliran air. Kelerengan dan relief mempengaruhi intensitas air yang masuk ke dalam tanah atau batuan dan muka air tanah (Elias, 2005). Keadaan topografi setempat sangat mempengaruhi sirkulasi air beserta reagen-reagen lain. Untuk daerah yang landai, maka air akan bergerak perlahan-lahan sehingga akan mempunyai kesempatan untuk mengadakan peneteasi 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 lebih banyak daripada air yang meresap, sehingga dapat menyebabkan pelapukan kurang intensif.

6. Waktu

Waktu yang cukup lama mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena memiliki akumulasi unsur nikel dalam jumlah yang besar.

2.7 Analisis *X-Ray Fluorescence*

X-Ray Fluorescence (XRF) adalah teknik analisa non-destruktif yang digunakan untuk mendeteksi dan menentukan konsentrasi unsur sampel padat, bubuk atau sampel cair. Unsur yang dapat dianalisa menggunakan XRF seperti berilium hingga uranium pada level trace element, bahkan di bawah tingkat ppm. Secara umum, XRF spektrometer mengukur panjang gelombang masing-masing komponen dari emisi fluoresensi yang dihasilkan oleh sampel ketika disinari dengan sinar-X (Panalytical, 2009).

Metode analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan pengidentifikasian dan pencacahan karakteristik sinar-X dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi ketika elektron dalam atom target (sampel) terkena sinar energi tinggi (sinar gamma, sinar-X). Jika energi sinar tersebut lebih besar daripada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan terpental (terekstasi) keluar dari orbitnya. Dengan demikian akan terjadi kekosongan elektron pada atom target. Kekosongan elektron pada orbit tersebut kemudian akan diisi dengan elektron terluar yang diikuti dengan pelepasan energi yang berupa sinar-X.

Hasil radiasi sinar-X merupakan gabungan dari spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (discreet) yang berasal dari bahan target yang tertumbuk elektron. Hasil dari jenis spektrum discreet bergantung pada perpindahan elektron yang ada pada atom bahan. Spektrum ini dikenal sebagai spektrum sinar-X karakteristik. Penggunaan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan dan ditangkap oleh detektor untuk menganalisis kandungan unsur pada bahan tersebut. Bahan yang akan dianalisis dapat berupa padat masif, pelet, ataupun serbuk. Analisis unsur dapat dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif menganalisis jenis unsur yang ada dalam suatu bahan dan analisis kuantitatif menentukan konsentrasi unsur dalam bahan tersebut. Hasil dari sinar-X terhadap peristiwa di atas ditangkap oleh detektor semi konduktor Silikon Litium (SiLi) (Munasir dkk., 2012).

Spektrometer XRF adalah instrumen pengujian yang digunakan untuk analisis kualitatif maupun kuantitatif unsur-unsur dalam suatu bahan. Analisis kualitatif memberikan informasi tentang jenis unsur yang terkandung dalam bahan yang dianalisis, yang ditunjukkan dengan adanya spektrum unsur pada energi sinar-X karakteristiknya. Sedangkan analisis kuantitatif memberikan informasi tentang jumlah unsur yang terkandung dalam bahan pada puncak-puncak spektrum (Jamaluddin & Adiantoro, 2012).

Metode X-Ray Fluorescence (XRF) adalah suatu metode untuk menganalisis kandungan unsur pada permukaan bahan, dimana sinar-X yang dipancarkan ke dalam bahan yang di analisis menyebabkan atom-atom pada permukaan tersebut berinteraksi dengan ketebalan maksimum bidang cahaya. Sinar-X yang digunakan untuk transmisi berasal dari bahan radioaktif atau tabung sinar-X. Sinar-X dari tabung sinar-X menghasilkan pola spektrum kontinu sesuai dengan tegangan listrik yang digunakan untuk menghasilkan sinar-X, semakin tinggi tegangan listrik yang diberikan akan menyebabkan peningkatan intensitas spektrum kontinu tersebut dan terjadinya pergeseran intensitas sinar-X maksimum ke energi yang lebih tinggi dan sedangkan kuat arus listrik yang kuat akan meningkatkan pola spektrum tersebut. Ketika bahan tersebut disinari, atom atom dalam berinteraksi di daerah jangkauan sinar/radiasi sampel. Interaksi sinar dengan atom ini diantaranya dapat menghasilkan efekfotolistrik, diikuti dengan transisi elektron ini dapat berlangsung dari kulit L ke kulit K, dari kulit M ke kulit L dan seterusnya. Transisi elektron ini diikuti dengan pelepasan sejumlah energi yang tergantung pada jenis atom yang terlibat. Pelepasan energi ini terbentuk sebagai bentuk sinar-X karakteristik (Nampira, 2006).

Metode X-Ray Fluorescence (XRF) tergantung pada prinsip-prinsip dasar yang umum untuk beberapa metode instrumen lain yang melibatkan interaksi antara berkas elektron dan sinar-X dengan sampel, termasuk X-Ray Fluorescence (XRF) misalnya, SEM-EDS, difraksi sinar-X (XRD), dan panjang gelombang dispersif spektroskopi mikropobe WDS. Analisis unsur-unsur utama dan jejak dalam bahan geologi menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) dimungkinkan karena perilaku atom ketika berinteraksi dengan radiasi. Ketika bahan dieksitasi oleh radiasi gelombang pendek energi tinggi (misalnya sinar-X), bahan tersebut

dapat terionisasi. Ketika cukup energi radiasi dihasilkan untuk menggantikan elektron dalam kerapatan, atom menjadi tidak stabil dan elektron terluar menggantikan elektron dalam yang hilang. Ketika ini terjadi, energi dilepaskan karena energi ikat orbital elektron dalam berkurang dibandingkan dengan electron terluar. Radiasi yang dipancarkan memiliki energi yang lebih rendah dari insiden utama sinar-X yang masuk dan disebut radiasi neon. Karena energi dari foton yang dipancarkan adalah karakteristik transisi antara orbital elektron yang spesifik dalam elemen tertentu, neon dihasilkan sinar-X dapat digunakan untuk mendeteksi kelimpahan unsur-unsur dalam suatu sampel (Viklund, 2008)