

SKRIPSI

STUDI PROFIL ENDAPAN NIKEL LATERIT BERDASARKAN KARAKTERISTIK MINERALOGI DAN KIMIANYA

(Studi Kasus: Tambang Utara dan Tambang Tengah di PT Antam Tbk UBPN
Kolaka)

Disusun dan diajukan oleh:

**NUR ANISA A. M. PANUSU
D111 19 1031**



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



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI PROFIL ENDAPAN NIKEL LATERIT BERDASARKAN KARAKTERISTIK MINERALOGI DAN KIMIANYA

(Studi Kasus: Tambang Utara dan Tambang Tengah di PT Antam Tbk UBPN Kolaka)

Disusun dan diajukan oleh

NUR ANISA A. M. PANUSU
D111191031

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 27 Oktober 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 Virtanti Anas, ST., MT.
NIP. 197010052008012026



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Nur Anisa A. M. Panusu

NIM : D111191031

Program Studi : Teknik Pertambangan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Studi Profil Endapan Nikel Laterit Berdasarkan Karakteristik
Mineralogi dan Kimianya

(Studi Kasus: Tambang Utara dan Tambang Tengah di PT Antam Tbk UBPN Kolaka)

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, 27 Oktober 2023

Yang Menyatakan



Nur Anisa A. M. Panusu



ABSTRAK

NUR ANISA A. M. PANUSU. *Studi Profil Endapan Nikel Laterit Berdasarkan Karakteristik Mineralogi dan Kimianya (Studi Kasus: Tambang Utara dan Tambang Tengah di PT Antam Tbk UBPN Kolaka)* (dibimbing oleh Irzal Nur dan Sri Widodo)

Setiap daerah memiliki perbedaan karakteristik endapan nikel laterit yang berbeda disebabkan oleh proses pembentukannya. Endapan nikel laterit mempunyai beberapa faktor penting dalam terjadinya proses pembentukan endapan nikel laterit seperti batuan asal, topografi, struktur geologi, iklim, reagen-reagen kimia, dan waktu. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi mineralogi dan kimia profil endapan nikel laterit serta mengetahui karakteristik batuan asal pembentukan endapan nikel laterit di daerah penelitian. Metode penelitian yang digunakan yaitu pengambilan data lapangan, pekerjaan laboratorium, dan pengolahan data. Analisis laboratorium dilakukan dengan tiga metode analisis yaitu, *X-Ray Fluoresence*, *X-Ray Diffraction*, dan petrografi. Hasil dari penelitian ini didapatkan karakteristik mineral pada zona limonit Tambang Utara terdiri dari goetit talk kuarsa maghemit, dan spinel. Zona transisi ditemukan mineral goetit, talk dan kuarsa. zona saprolit berupa enstatit, lizardit, dan forsterit. *Bedrock* berupa mineral kuarsa lizardit olivin dan hornblend. Pada Tambang Tengah zona limonit terdiri dari mineral kuarsa, lizardit, dan goetit. Zona saprolit terdiri dari mineral talk, kuarsa, dan lizardite. Zona *bedrock* terdiri dari mineral kuarsa olivin dan lizardit. Analisis mikroskopis batuan dasar di Tambang Utara merupakan batuan peridotit jenis dunit dan Tambang Tengah merupakan peridotit jenis hazburgit. Tipe endapan nikel laterit di daerah penelitian merupakan endapan *tipe hydrous silicate deposits*.

Kata Kunci: Nikel, Profil, Laterit, Zonasi



ABSTRACT

NUR ANISA A. M. PANUSU. *Profile Study of Laterite Nickel Deposits Based on Mineralogy and Chemical Characteristics (Case Study: North Mine and Central Mine at PT. Antam Tbk UBPN Kolaka) (supervised by Irzal Nur and Sri Widodo)*

Each region has different characteristics of laterite nickel deposits due to the formation process. Laterite nickel deposits have several important factors in the process of forming laterite nickel deposits such as original rock, topography, geological structure, climate, chemical reagents and time. This research aims to characterize the mineralogical and chemical profiles of laterite nickel deposits and determine the characteristics of the rocks from which laterite nickel deposits were formed in the research area. The research method used is field data collection, laboratory work, and data processing. Laboratory analysis was carried out using three analytical methods, namely, X-Ray Fluorescence, X-Ray Diffraction, and petrography. The research results show that the mineral characteristics in the limonit zone of the northern mine consist of goethite, talc, quartz, maghemite and spinel. In the transition zone, the minerals goethite, talc and quartz are found. The saprolit zone consists of enstatite, kadalite, and forsterite. The bedrock consists of the lizard quartz minerals olivin and hornblend. In the central part of the mine, the limonit zone consists of quartz, limonit and goethite minerals. The saprolit zone consists of talc, quartz and lizard minerals. The bedrock zone consists of olivin and lizard quartz minerals. Microscopic analysis of the bedrock in the north mine is dunite type peridotite and the middle mine is hazburgite type peridotite. The type of laterite nickel deposit in the research area is hydro silicate deposit.

Keywords: Nickel, Profile, Laterite, zonation



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Profil laterit dikembangkan pada batuan ultramafik terserpentinisasi yang menunjukkan bijih nikel laterit utama. (A) <i>oxide</i> ; (B) <i>partly silicified oxide</i> ; (C) <i>hydrous Mg silicate</i> ; (D) <i>Clay silicate</i>	10
Gambar 2. Klasifikasi batuan ultramafik (kiri), dan klasifikasi batuan peridotit (kanan).....	13
Gambar 3. Simplifikasi bentuk morfologi laterit.	14
Gambar 4. Skema transformasi mineral akibat pelapukan batuan dasar (batuan ultramafik).....	17
Gambar 5. Peta IUP lokasi penelitian	18
Gambar 6. Peta lokasi penelitian.....	19
Gambar 7. Pemilahan sampel -20 mm.	21
Gambar 8. Proses peremukan sampel menggunakan alat	22
Gambar 9. Proses <i>mixing</i> ukuran -20 mm.	22
Gambar 10. Proses membentuk matriks 4 x 5.....	23
Gambar 11. Proses pengeringan sampel ukuran -10 mm.....	23
Gambar 12. Proses <i>mixing</i> sampel ukuran -10 mm.	24
Gambar 13. Mengayak sampel menggunakan screen -3 mm.	25
Gambar 14. Proses pengambilan sampel menggunakan sendok.....	25
Gambar 15. Proses pengeringan sampel ukuran -3 mm.....	26
Gambar 16. Menghaluskan sampel dengan <i>pulverizer</i>	26
Gambar 17. Mencampurkan sampel secara manual.....	27
Gambar 18. Mengambil sampel menggunakan sendok sampel 1D	27
Gambar 19. Sampel dimasukkan ke dalam <i>alluminium</i>	29
Gambar 20. Sampel <i>dipress</i> menggunakan mesin <i>press</i>	29
Gambar 21. Kenampakan sampel setelah <i>dipress</i>	29
Gambar 22. Memasukkan sampel pada alat X-Ray PANalytical	30
Gambar 23. Mengoperasikan alat menggunakan aplikasi.....	30
Gambar 24. Menampilkan hasil XRF dengan Ms. Excel.....	31
Gambar 25. XRD tipe Shimadzu Maxima-X XRD 7000	31
Gambar 26. Sampel sayatan tipis.	33
Gambar 27. Alat mikroskop BestScope BS-502.....	34
Gambar 28. Pengolahan data menggunakan <i>software</i> Match!3 untuk mengidentifikasi mineral penyusun profil laterit.	35
Gambar 29. Pengolahan data XRD Menggunakan <i>software</i> MS. Excel.....	35
Gambar 30. Klasifikasi batuan peridotit menurut Streckeisen (1976).....	36
Gambar 31. Pengolahan data hasil analisis XRF menggunakan <i>software</i> MS. Excel.....	37
Gambar 32. Bagan Alir Penelitian.	38
Gambar 33. Difraktogram sampel L-BTG-3.....	40
Gambar 34. Difraktogram sampel S-BTG-3.....	40
Gambar 35. Difraktogram sampel <i>bedrock</i> BTG-1.....	41
Gambar 36. Difraktogram sampel RL-EVR-3.....	42
Gambar 37. Difraktogram sampel YL-EVR-3.....	42
Gambar 38. Difraktogram sampel SP-EVR-3.....	43
Gambar 39. Difraktogram sampel <i>bedrock</i> EVR-1.....	43



Gambar 40. memperlihatkan sampel berwarna hitam dan hijau sebagian berwarna lapuk berwarna kuning kecoklatan. Tekstur: kitalinitas holokristalin, granularitas faneritik, relasi equigranular dan struktur batuan adalah masif.....	44
Gambar 41. Sampel sayatan tipis BTG-1. A) Fotomikrograf sayatan tipis nikol sejajar	45
Gambar 42. Klasifikasi batuan peridotit sampel BTG-1.....	45
Gambar 43. Sampel berwarna segar hitam dan hijau sebagian, memiliki warna lapuk kuning kecoklatan. Tekstur; kristalinitas holokristalin, granularitas fanerik dan relasi equigranular serta struktur batuan adalah masif.	46
Gambar 44. Sampel sayan tipis EVR-1 A) Fotomikrograf sayatan tipis nikol sejajar olivin,	47
Gambar 45. Klasifikasi batuan peridotit sampel EVR-1.....	47
Gambar 46. Profil endapan nikel laterit di Tambang Utara Bukit Everest	50
Gambar 47. Profil endapan nikel laterit di Tambang Tengah Bukit Bantagya.....	51
Gambar 48. Kenampakan vein garnerit (A) di Tambang Tengah, dan struktur silika boxwork (B).....	52



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Parameter Perbedaan Endapan Nikel Laterit	10
Tabel 2. Faktor-faktor yang menentukan skenario iklim yang digunakan untuk menggambarkan variasi endapan kobal nikel laterit.....	15
Tabel 3. Klasifikasi <i>mobile element</i> pada endapan Ni laterit.....	16
Tabel 4. Hasil analisis XRF pada sampel limonit dan saprolit di Tambang Utara.....	48
Tabel 5. Hasil analisis XRF pada sampel limonit dan saprolit di Tambang Tengah.....	48
Tabel 6. Parameter Perbedaan Endapan Nikel Laterit	53



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
KATA PENGANTAR.....	xi
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.....	2
1.6 Tahapan Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Nikel Laterit.....	5
2.2 Pembentukan Endapan Nikel Laterit.....	5
2.3 Profil Endapan Nikel Laterit.....	11
2.4 Faktor Pengontrol Endapan Nikel Laterit.....	13
2.5 Geokimia dan Mineralogi Endapan Nikel Laterit.....	16
BAB III METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	18
3.2 Variabel Penelitian.....	19
3.3 Alat Penelitian.....	20
3.4 Teknik Pengumpulan Data.....	20
3.5 Teknik Analisis.....	34
3.6 Bagan Alir.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Hasil Analisis Mineralogi.....	39
4.2 Profil Endapan Nikel Laterit Daerah Penelitian.....	49
4.3 Tipe Endapan.....	52
BAB V.....	55
KESIMPULAN DAN SARAN.....	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA.....	56



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
BTG	Bentagya
EVR	Everest
XRD	<i>X-Ray Fluoresence</i>
XRF	<i>X-Ray Diffraction</i>



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Peta Lokasi Penelitian.....	58
Lampiran 2 Deskripsi Analisis Petrografi.....	59
Lampiran 3 Hasil Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	60



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas berkat, rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Studi profil endapan nikel laterit berdasarkan karakteristik mineralogi dan kimianya (Studi Kasus: Tambang Utara dan Tambang Tengah di PT. Antam Tbk UBPN Kolaka) kiranya dapat diselesaikan dengan baik. Penulisan tugas akhir ini merupakan syarat mendapatkan gelar sarjana di Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Dalam kesempatan ini dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada bapak Angga Dewan Taryana, S.T. selaku Quality Control Manager, bapak Tamsil Indra Gunawan, S.T. selaku Ore Quality Assurance Assistant, ibu Islamiah, S.E. selaku Sample Preparation Cordination Supervisor, bapak M. Arie Junanto S. S.T. selaku staf Ore Quality Assurance, dan seluruh staf *Quality Control* PT. Antam Tbk UBPN Kolaka yang telah membantu, membimbing, dan pengalaman selama kegiatan penelitian berlangsung.

Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Dr. Ir. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T. selaku ketua Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin, Bapak Dr. Ir. Nur, M.T. selaku Kepala Laboratorium Eksplorasi Mineral dan pembimbing I dan Bapak Dr.phil.nat.Sri Widodo, S.T., M.T. selaku pembimbing II serta seluruh civitas akademika Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu dan memberikan ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis.

Penulis berterima kasih kepada teman-teman IGNEOUZ (Teknik Pertambangan 2019) yang senantiasa memberi semangat, masukan dan bantuan selama penelitian. Penulis mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Bapak Amir M. Panusu dan Ibu Suriani Azis M. ang tua terkasih serta Andrita Irma saudari tercinta atas doa, dukungan dan sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik.



Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari pembaca agar kekurangan tersebut dapat diminimalisir di masa yang akan datang. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang membantu dan penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat dalam pengembangan wawasan dan pengetahuan bagi pembaca.

Gowa, 27 Oktober 2023

Nur Anisa A. M. Panusu



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel merupakan salah satu komoditas logam yang diperoleh melalui proses pengolahan dan pemurnian dari mineral-mineral pembawanya. Ada banyak jenis mineral yang mengandung nikel. Mineral-mineral pembawa nikel yang umumnya memiliki konsentrasi nikel yang cukup ekonomis adalah golongan sulfida (*sulphides*) dan laterit (*laterite*). Kedua golongan tersebut menjadi sumber utama dalam memenuhi kebutuhan nikel dunia.

Cadangan bijih nikel laterit di Indonesia mencapai 12% dari cadangan nikel dunia. Endapan nikel laterit tersebar di berbagai daerah di Indonesia, seperti di Pulau Sulawesi, Maluku, dan pulau-pulau kecil di sekitarnya. Salah satu daerah penghasil nikel laterit di Pulau Sulawesi adalah Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara.

Bijih nikel laterit diperoleh dari endapan nikel laterit yang terbentuk akibat pelapukan batuan ultramafik yang mengandung nikel. Selama proses pelapukan pada batuan tersebut (laterisasi) nikel berubah menjadi larutan dan diserap oleh mineral-mineral oksida besi yang membentuk garnierit pada batuan lapuk di bawah laterit tersebut. Pembentukan endapan nikel laterit sangat dipengaruhi oleh proses pelapukan dari batuan Ultramafik. Hal tersebut berpengaruh terhadap karakteristik profil endapan nikel laterit pada suatu daerah, sehingga akan memiliki perbedaan komposisi mineral dan kimia di setiap lapisan lateritisasi.

Endapan nikel laterit mempunyai beberapa faktor penting dalam terjadinya proses pembentukan endapan nikel laterit seperti Batuan asal, topografi, struktur geologi, iklim, reagen-reagen kimia, dan waktu. Berdasarkan faktor tersebut dapat diketahui hubungan antara karakteristik kimia, mineralogi, dan genesis dari endapan nikel laterit.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dilakukan penelitian yang bertujuan melakukan studi profil endapan nikel laterit berdasarkan karakteristik kimia mineralogi di lokasi penelitian PT Antam Tbk Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Provinsi Sulawesi Tenggara.



1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik mineralogi dan kimia pada profil endapan nikel laterit di lokasi penelitian?
2. Bagaimana karakteristik batuan asal pembentukan endapan nikel laterit di daerah Penelitian?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik mineralogi dan kimia endapan nikel laterit di lokasi penelitian.
2. Mengetahui karakteristik batuan asal pembentuk endapan nikel laterit di daerah penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

- 1 Bagi Perusahaan
Hasil dari penelitian yang dilakukan dapat dijadikan referensi dan masukan berguna bagi pengembangan industri pertambangan nikel dan masyarakat luas mengenai potensi sumberdaya alam nikel laterit.
- 2 Bagi Akademik
Penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi dan rujukan pustaka mengenai karakteristik endapan nikel laterit dengan menggunakan metode geokimia dan petrografi, khususnya mahasiswa Teknik Pertambangan dalam mengangkat judul penelitian.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian adalah profil endapan nikel laterit di Tambang Utara bang Tengah PT. Antam Tbk UBPN Kolaka, berdasarkan karakteristik n mineraloginya. Penelitian ini akan mencakup pemahaman tentang



mineralogi, geokimia, karakteristik fisik, dan zona-zona deposit endapan nikel laterit di tambang tersebut.

1.6 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam penyusunan tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Tahap Studi Literatur

Studi literatur merupakan kegiatan mengumpulkan dan mengkaji buku-buku teks, jurnal, dan laporan sebelumnya mengenai karakteristik, studi geokimia, studi petrografi nikel laterit, dan informasi peting lainnya yang bisa di akses melalui media internet.

2. Tahap Perumusan Masalah

Perumusan masalah merupakan tahap untuk mengetahui masalah apa yang akan diangkat dalam kegiatan penelitian, dalam hal ini perumusan masalah akan membantu dalam kegiatan pengambilan data agar lebih terkontrol.

3. Tahap Kegiatan Lapangan dan Pengumpulan Data

Kegiatan lapangan dan pengumpulan data dilakukan di wilayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT. Antam Tbk, yang terletak di Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. Kegiatan lapangan dilakukan dengan cara pengambilan data primer berupa sampel limonit, saprolit dan *bedrock* pada zona profil endapan nikel laterit. Selanjutnya, pengambilan data sekunder berupa peta kesampaian daerah dan peta IUP PT. Antam Tbk.

4. Tahap Analisis Laboratorium dan Pengolahan Data

Analisis laboratorium dilakukan untuk mendapatkan data dari sampel penelitian berupa hasil analisis *X-Ray Diffraction* (XRD), *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan analisis petrografi.

5. Tahap Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Tahapan penyusunan laporan menjadi tahapan akhir dari rangkaian kegiatan penelitian, yang mana keseluruhan informasi yang diperoleh kemudian

ngkan dalam bentuk laporan hasil penelitian sesuai dengan format dan ah penulisan laporan yang telah ditetapkan Program Studi Teknik mbangan Universitas Hasanuddin.



6. Tahap Seminar dan Penyerahan Laporan Tugas Akhir

Hasil akhir dari penelitian (Skripsi) akan dipresentasikan dalam bentuk seminar di Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, setelah melalui penyempurnaan berdasarkan masukan-masukan yang diperoleh (revisi). Laporan akhir dalam bentuk final kemudian diserahkan kepada Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nikel Laterit

Laterit berasal dari bahasa latin yaitu later, yang artinya bata (membentuk bongkah-bongkah yang tersusun seperti bata yang berwarna merah bata). Hal ini dikarenakan tanah laterit tersusun oleh fragmen-fragmen batuan yang mengambang diantara matriks, seperti bata diantara semen, namun ada juga yang mengartikan nikel laterit sebagai endapan lapukan yang mengandung nikel dan secara ekonomis dapat di tambang (Rose, *et al.*, 1979)

Batuan induk dari endapan nikel laterit adalah batuan ultrabasa dengan kandungan mineral ferromagnesian (olivin, piroksin, dan amphibole) dalam jumlah besar yang berasosiasi dengan struktur geologi yang terbentuk pada masa Precambrian hingga Tersier (Ahmad, 2006). Batuan ultrabasa wilayah Sorowako sendiri tersusun dari batuan *peridotite* yang dapat dibagi menjadi empat satuan batuan, yang merupakan batuan induk pembawa nikel dengan kadar sekitar 2%. Batuan-batuan sejenis *peridotite* antara lain :

- 1) *Dunite*, yang mengandung olivin lebih dari 90% dan piroksen sekitar 5%.
- 2) *High Serpentinized*, yang mengandung olivin 85% dan piroksen 15%.
- 3) *Low Serpentinized*, yang mengandung olivin 65% dan piroksen 35%.
- 4) *Serpentinite*, merupakan hasil perubahan dari batuan *peridotite* oleh proses serpentinisasi akibat hidrothermal.

Bijih nikel yang terdapat di daerah Sorowako termasuk ke dalam jenis laterit nikel dan bijih nikel silikat (garnerit). Bijih nikel tersebut terbentuk akibat pelapukan dan pelindihan (*leaching*) batuan ultrabasa seperti peridotit dan serpentinit dari rombakan batuan ultrabasa.

2.2 Pembentukan Endapan Nikel Laterit

Proses pembentukan nikel laterit secara kimia terkait dengan proses serpentinisasi pada batuan peridotit akibat pengaruh larutan hidrotermal yang akan batuan peridotit menjadi batuan serpentinit atau batuan serpentinit. Sedangkan proses kimia dan fisika dari udara, air serta pergantian panas



dingin yang bekerja kontinu (berkelanjutan), menyebabkan disintegrasi dan dekomposisi pada batuan induk. Pada pelapukan kimia khususnya, air tanah kaya akan CO_2 yang berasal dari udara dan pembusukan 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 ferri-hidroksida, akhirnya membentuk mineral-mineral seperti *goethite*, limonit, dan hematit dekat permukaan. Bersama mineral-mineral ini selalu ikut serta unsur kobalt dalam jumlah kecil. 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-rekahan yang dikenal dengan urat-urat *garnierite* dan krisopras. Sedangkan larutan residunya akan membentuk suatu senyawa yang disebut Saprolit 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 biasa mengisi celah-celah atau rekahan-rekahan pada batuan induk. Di lapangan urat-urat ini dikenal sebagai batas petunjuk antara lapisan pelapukan dengan lapisan batuan segar yang disebut dengan akar pelapukan (*root of weathering*).

Endapan nikel sekunder atau biasa disebut endapan nikel laterit merupakan suatu endapan yang terbentuk karena adanya proses konsentrasi mineral-mineral berharga yang mengandung nikel yang berasal dari pelapukan batuan asal (*host rock*) oleh gaya-gaya eksogen, seperti pelapukan (*weathering*) akibat sinar matahari, curah hujan dan lain-lain. Hasil pelapukan tersebut mengalami transportasi, pemisah (*sorting*), dan akhirnya terkonsentrasi. Endapan ini mengalami proses laterisasi yang umumnya terjadi di daerah beriklim tropis karena matahari akan sinar sepanjang tahun dan curah hujan pun cenderung tinggi. Oleh karena endapan nikel laterit cukup berlimpah di Indonesia (Arif, 2018).



Nikel laterit sangat bergantung pada proses pelapukan, baik secara fisik maupun kimiawi. Pelapukan kimiawi dari batuan induk yang berupa batuan ultramafik terjadi dengan melepaskan unsur-unsur yang sangat mudah terlarut seperti magnesium (Mg), kalsium (Ca), dan silika (Si) serta konsentrat-konsentrat dari unsur-unsur yang paling sedikit terlarut (Fe, Ni, Mn, Co, Zn, Y, Cr, Al, Ti, Zr, dan Cu) brand *aet all* 1998. Sementara pelapukan mekanik/ fisik dari batuan induk terjadi akibat adanya mekanisme rekahan dan patahan yang meningkatkan wilayah yang terdedah ke permukaan sehingga mendukung terjadinya pelapukan kimiawi (Arif, 2018).

Transportasi mineral dan/atau unsur terjadi melalui proses pelindian (*leaching*). Proses pelindian ini merupakan suatu proses pelarutan unsur-unsur hasil pelapukan dari tubuh batuan atau bijih melalui media air (McGraw *and* Hill, 2003). Proses ini sangat dipengaruhi oleh nilai pH, reaksi reduksi oksidasi, material organik yang terlarut, dan aktivitas mikrobiologi di lingkungannya.

Sumber utama air adalah air hujan yang terinfiltrasi ke dalam tanah atau air rembesan dari sumber air dan air tanah. Air tersebut kemudian meresap hingga lapisan batas antara lapisan limonit dan saprolit, kemudian transportasi larutan terjadi secara lateral (goliath dalam arif). Proses ini melepaskan kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) dalam larutan silika (Si) yang cenderung membentuk sistem koloid dari partikel-partikel silika yang sangat halus sehingga memungkinkan terjadinya pembentukan mineral-mineral bar. Unsur-unsur Ca dan Mg yang terlarut sebagai bikarbonat terbawa ke bawah sampai batas pelapukan dan mengendap sebagai dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) dan magnesit (MgCO_3) yang mengisi rekahan-rekahan pada batuan induk. Urat-urat tersebut dikenal sebagai batas petunjuk antara lapisan pelapukan dan lapisan batuan segar yang disebut dengan istilah akar pelapukan atau (*root of weathering*).

Fluktuasi muka air tanah yang berlangsung secara kontinu akan melarutkan unsur-unsur Mg dan Si yang terdapat pada bongkah-bongkah batuan asal di lapisan saprolit sehingga memungkinkan penetrasi air tanah yag lebih dalam. Dalam hal

it semakin bertambah dalam, demikian pula dengan ikatan-ikatan yang ung oksida MgO sekitar 30-50% berat dan SiO_2 antara 35-40% berat yang kandung pada bongkah-bongkah dalam lapisan Saprolit akan ikut terlindi



bersama-sama dengan aliran air tanah. Dengan demikian, lapisan saprolit mengalami perubahan pada bagian atas menjadi Lapisan limonit (friederik dalam marker dalam arif)

Sebagian unsur tinggal pada tempatnya dan sebagian lain turun Bersama larutan. Hal ini terjadi akibat mobilitas setiap unsur yang berbeda-beda. Unsur-unsur Fe, Ni, dan Co membentuk konsentrasi residu dan konsentrasi celah pada Lapisan saprolit. Batuan asal ultramafik pada daerah tersebut diimpregnasi oleh Ni melalui larutan yang mengandung Ni sehingga kadar Ni dapat meningkat mencapai 7% berat.

Fe yang terkandung dalam larutan teroksidasi dan mengendap sebagai feri-hidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), membentuk mineral-mineral seperti goetit dan hematit yang berada dekat dengan permukaan. Bersama mineral-mineral tersebut unsur Co ikut serta dalam jumlah yang relative kecil. Secara vertikal, semakin ke bawah menuju *bed rock*, unsur Fe dan Co mengalami penurunan kadar. Sementara itu, unsur Ni terakumulasi dan terkonsentrasi pada Lapisan Saprolit dalam mineral *garnierite*. Proses konsentrasi ini dapat berbentuk residual maupun *supergene enrichment*.

Skema klasifikasi nikel laterit biasanya didasarkan pada alterasi batuan induk, pengaruh iklim, drainase, sejarah geomorfologi serta komposisi seperti yang dilakukan oleh Butt (1975), Golightly (1981), dan Alclock (1988). Nikel laterit dapat dikategorikan menjadi tiga tipe ((Brand, et al., 1998) dalam (Arif, 2018), yaitu:

a. Hidrosilikat (*hydrous silicate*)

Profil dari tipe endapan ini secara vertikal adalah horizontal Saprolit yang didominasi oleh Mg-Ni silikat (misalnya *garnierite*) dengan kadar nikel antara 1,8-2,5%. Cluzel dan Butt (2013) menyebutkan tipe deposit ini memiliki kadar paling tinggi karena dapat mencapai lebih dari 5% Ni, serta merupakan endapan yang umum ditemukan di Dunia, yakni sekitar 32% dari total sumberdaya nikel laterit dunia dengan kadar rata-rata 1,44%. Selain *garnierite*, terdapat mineral-mineral lain seperti Ni *lizardite-nepouite*, *nimite*, *falcondoite*, dan *kerolite-willemseite* (Cluzel, 2013) dalam (Arif, 2018).



b. Silikat lempung (*clay silicate*)

Pada tipe endapan ini, hanya sebagian silika (Si) yang terdeposisi dan terlarutkan oleh air tanah. Sisanya bergabung dengan besi (Fe), nikel (Ni), dan aluminium (Al) hingga membentuk mineral -mineral lempung (*clay minerals*), misalnya mineral notronit ($\text{Na(Al,Fe,Si)O}_{10}(\text{OH})_2$) dan saponit ($((\text{Ca}/2,\text{Na})_{0,3}\text{Mg,Fe}^{2+})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), yang kaya akan nikel pada lapisan saprolit . Serpentin yang kaya akan nikel juga dapat teralterasi oleh smektit dan kuarsa bila profil endapan terus mengalami kontak dengan air tanah sehingga proses pelindian dapat terus berlangsung. Kadar nikel pada tipe deposit ini lebih kecil daripada tipe deposit hidrosilikat, yakni hanya sebesar 1,2% (Brand, et al., 1998) dan keberadaannya hanya 8% dari total sumberdaya nikel di dunia (Butt and Cluzel, 2013).

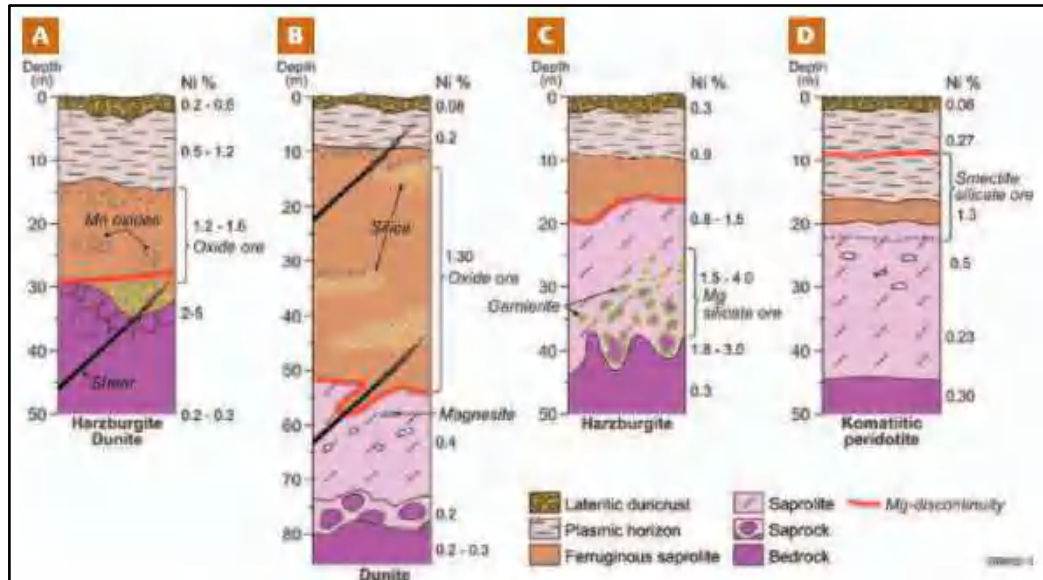
c. Oksida (*Oxide*)

Tipe endapan ini sangat mudah mengalami proses pelapukan, terutama bila berada di daerah tropis. Nikel berasosiasi dengan goetit ($\text{FeO}(\text{OH})$) dan mangan oksida, misalnya asbalone ($((\text{Ni}^{2+},\text{Co}^{3+})_x\text{Mn}^{4+}(\text{O,OH})_4)_n\text{H}_2\text{O}$), dan *lithiophorite* ($((\text{Al,Li})\text{Mn}^{4+}\text{O}_2(\text{OH})_2)$), melalui substitusi unsur Fe dan adsorpsi. Endapan ini membentuk lapisan pada daerah batas antara pedolit dan saprolit . Kadar nikel rata-rata lebih kecil dari 1,2%. Namun, keberadaannya paling banyak di dunia, yaitu sekitar 60% dari total sumberdaya nikel laterit dunia (Butt and Cluzel, 2013).

Posisi muka air tanah awal relative dangkal dan drainasenya tidak terhambat (proses infiltrasi air berjalan lancar), sehingga nikel lebih banyak terkonsentrasi pada Lapisan limonit hingga lapisan Saprolit pada bagian atas. Tipe endapan nikel laterit oksida ini dapat dijumpai di Moa Bay dan Pinares Timur, Kuba; Cawse dan Ravensthorpe, Australia; serta Onca dan Puma, Brasil.

Perbandingan ketiga nikel laterit tersebut dapat dilihat pada Gambar 1





Gambar 1. Profil laterit dikembangkan pada batuan ultramafik terserpentinisasi yang menunjukkan bijih nikel laterit utama. (A) *oxide*; (B) *partly silicified oxide*; (C) *hydrous Mg silicate*; (D) *Clay silicate* (Butt and Cluzel, 2013).

Tabel 1. Parameter Perbedaan Endapan Nikel Laterit (Freyssinet, et al., 2005).

Parameter	<i>Hydrous Silicate Deposits</i>	<i>Clay Silicate Deposits</i>	<i>Oxide Deposits</i>
Kadar Ni	Kandungan Ni 1-2,5%	Kandungan Ni 1,0-1,5%	Kandungan Ni 1,0-1,6%
Mineral	Terdapat silika <i>boxwork</i>	Si Bersama dengan Fe, Ni, dan Al membentuk mineral lempung	Mineral utamanya Goetit
Posisi Muka air Tanah	Posisi muka air tanah <i>relative</i> dalam	Posisi air tanah awal <i>relative</i> lebih rendah dan drainase terhambat	Posisi muka air tanah <i>relative</i> dangkal drainasinya tidak terhambat
Akumulasi Ni	Nikel lebih banyak terakumulasi pada zona saprolit bagian bawah	Lapisan limonit lebih sering terendam air sehingga terbentuk lapisan lempung	Ni lebih banyak terakumulasi pada zona limonit sampai saprolit bagian atas

Endapan Ni silika, didominasi oleh *hydrated Mg-Ni silicates* (seperti *garnierite*), biasanya terdapat di lapisan saprolit (Golightly, 1981; Gleeson, et al., 2003). Endapan *silicate* Ni, didominasi oleh lempung smektit (seperti nontronit), terdapat di bagian atas saprolit atau pedolit (Golightly, 1981; Gleeson, et al., 2003). Endapan Murrin (Australia Barat) memiliki sumberdaya Ni sebesar 334



Mt dan cadangan 145 Mt, kadar Ni rata-rata 1,07% pada zona lempung (Elias, 2002; Marsh and Anderson, 2011).

Endapan Ni laterit tipe *clay* yang berada di Murrin Murrin terdiri atas lima zona yaitu: *unweathered country rock* pada bagian dasar, saprolit, smektit, limonit (lebih dikenal dengan istilah *ferruginous zone*), dan colluvium pada bagian atas (Wells and Butt, 2006; Marsh and Anderson, 2011).

Endapan oksida, didominasi oleh Fe *oxyhydroxides* (seperti goetit), membentuk lapisan di antara pedolit dan saprolit (Golightly, 1981; Gleeson, *et al.*, 2003). Endapan Ni laterit di Moa Bay, Cuba adalah contoh dari tipe endapan oksida (Gleeson, *et al.*, 2003). Endapan ini memiliki kadar Ni sebesar 1,27% (Freyssinet, *et al.*, 2005). Endapan tipe oksida ini terbentuk dari proses pelapukan dari batuan peridotit (harzburgit) yang terserpentinisasi dan dunit pada sabuk Mayari-Baracoa ofiolit (Roqué-Rosell, *et al.*, 2010). Profil endapan Ni laterit di Moa Bay terdiri dari *ferricrete cap* berada di atas lapisan limonit yang mengandung goetit, maghemit, hematit, dan gibsit, serta Mn-Ni-Co *oxyhydroxides*. Lapisan limonit berada di atas lapisan saprolit yang terdiri dari lizardit, goethit, magnetit, maghemit, kromit, dan *hydrous Mg-silicates*. Lapisan paling bawah adalah protolit yang merupakan peridotit terserpentinisasi dan harzburgit (Roqué-Rosell, *et al.*, 2010; Marsh and Anderson, 2011).

2.3 Profil Endapan Nikel Laterit

Secara umum, profil penampang nikel laterit secara umum terdiri dari empat horizon utama (Arif, 2018), yaitu:

1. *Iron cap (Ferric crust)*

Iron cap merupakan lapisan teratas dalam profil endapan nikel laterit dan berfungsi untuk melindungi lapisan di bawahnya dari bahaya erosi. Lapisan ini dikenal pula sebagai lapisan tudung besi (*ferruginous duricrust*) karena mengandung konsentrasi besi yang tinggi. Lapisan berwarna coklat kemerahan hingga kehitaman ini juga mengandung tumbuh-tumbuhan, humus, dan berbagai organik. *Iron cap* bersifat gembur dengan ketebalan rata-rata 0,3-6 meter. Lapisan ini, kandungan nikel sangat sedikit, bahkan sulit untuk dijumpai. Lapisan limonit



Bagian ini dibedakan menjadi dua lapisan karena terdapat perbedaan kandungan konsentrasi besi. Lapisan bagian atas disebut limonitic sebab walaupun relative kaya akan oksida besi, lapisan ini tercampur dengan tanah penutup (*top soil*). Sementara lapisan bagian bawah sangat kaya dengan oksida besi. Pengayaan (*enrichment*) tersebut terjadi akibat proses pelindian pada pembentukan Lapisan saprolit.

Lapisan limonit merupakan hasil lapukan lebih lanjut dari batuan beku ultramafik yang didominasi oleh oksida besi, goetit, dan magnetit. Ketebalan lapisan limonit berkisar antara 8-15 meter sehingga sering disebut *overburden*. Secara umum, mineral-mineral yang terkandung dalam batuan ultramafik alkalin pada lapisan ini telah mengalami transformasi menjadi serpentin sebagai hasil dari pelapukan, dengan ukuran butir yang cukup halus dan berwarna merah kecokelatan atau kekuningan. Nikel yang terkandung dalam lapisan ini biasanya dapat ditemukan dalam mineral oksida mangan, yaitu lithioporit $((Al, Li)Mn^{4+}O_2(OH)_2)$. Ditemukan pula mineral talk, tremolit, chromiferous, kuarsa, gibbsit $(Al(OH)_3)$, dan magnemit $(Fe^{3+}_2O_3)$.

3. Saprolit

Lapisan Saprolit merupakan Lapisan yang sangat kaya akan nikel sebagai hasil lapukan dari batuan dasar (*bed rock*). Pada Lapisan ini, fragmen-fragmen batuan asal masih terlihat, dari ukuran kerikil hingga bongkah. Pada umumnya, mineral-mineral pada Lapisan Saprolit telah mengalami alterasi. Komposisi utamanya antara lain besi oksida, serpentin <0,4%, magnesit, dan kuarsa. Lapisan Saprolit memiliki ketebalan rata-rata antara 5-18 meter. Biasanya ditemui rekahan-rekahan yang berisi magnesit $(MgCO_3)$, serpentin, onyx (SiO_2) , dan *garnierite*. Gumpalan-gumpalan batu yang muncul biasanya memiliki konsentrasi silika (SiO_2) dan magnesium oksida (MgO) yang tinggi, namun rendah kandungan nikel dan besi. Berdasarkan kandungan fragmen batuan, Lapisan Saprolit dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

- a) Sub *soft-saprolit*, mengandung fragmen berukuran bongkah kurang dari 25%.
- Sub *hard-saprolit*, mengandung fragmen berukuran bongkah lebih dari 50%.



4. *Bed rock* (batuan asal)

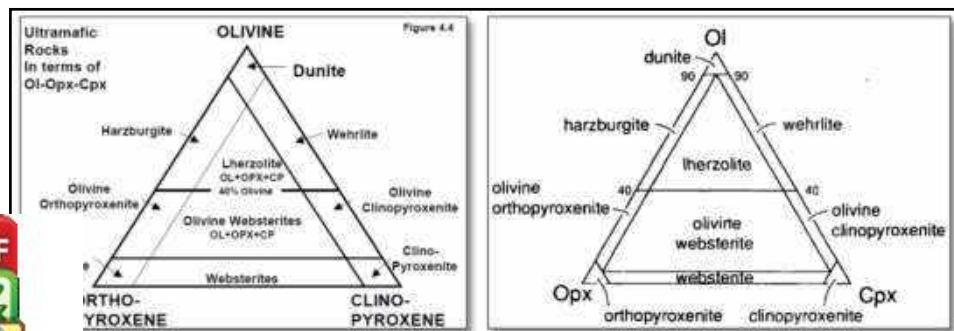
Lapisan ini disebut pula dengan istilah protholith, yaitu batuan asal yang terletak pada daerah paling dasar dari profil suatu endapan nikel laterit. Lapisan ini berupa batuan ultramafik, antara lain harzburgit, peridotit, atau dunit, dengan ukuran bongkah yang besar, lebih dari 75 cm. umumnya tidak ditemukan mineral yang ekonomis pada lapisan ini. Terdapat rekahan-rekahan pada batuan yang umumnya terkandung oksida besi 5-10% dan *garnierite* > 35%.

2.4 Faktor Pengontrol Endapan Nikel Laterit

Menurut Elias (2002), proses dan kondisi yang mengatur dan mengendalikan laterisasi batuan ultrabasa sangat banyak dan bervariasi pada semua skala, dan akibatnya sifat profil bervariasi secara rinci dari satu tempat ke tempat lain dalam ketebalan, komposisi kimia dan mineralogi, dan perkembangan relatif Lapisan profil laterit. .Faktor utama yang memengaruhi efisiensi dan tingkat pelapukan kimia, dan akibatnya sifat profil, adalah:

a. Batuan Dasar / *Bedrock*

Litologi pada endapan nikel laterit berasal hampir tertuju pada batuan ultramafik yang kaya akan mineral olivin dan tingkat serpentinisasinya (Charless R.M. Butt, *et., al.*, 2013). Proporsi nikel secara umum menurun sesuai dengan persentase mineral pembawa nya, seperti : olivin, ortopiroksen, klinopiroksen (Ahmad, 2008). Pada lapisan tektonik kolisi, ofiolit harzburgit, dunit, dan lherzolit, biasanya mengalami serpentinisasi yang biasanya umum pada batuan dasar Ni laterit (Golightly, 2010). Penamaan batuan ultramafik berdasarkan klasifikasi Streckeisen (1976) (Gambar 2) didasarkan pada persentase mineral mafik sebesar >90% dan disusun atas proporsi mineral olivin, klinopiroksen, dan ortopiroksen.

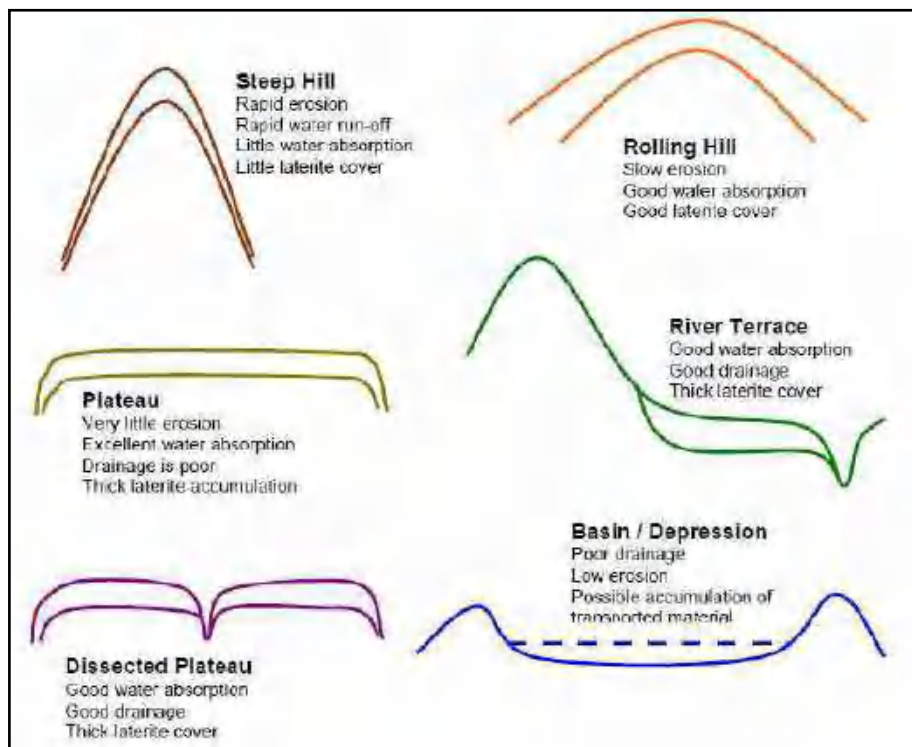


Gambar 2. Klasifikasi batuan ultramafik (kiri), dan klasifikasi batuan peridotit (kanan) (Streckeisen, 1976).



b. Topografi dan Drainase

Menurut Ahmad (2006), proses laterisasi biasanya mengarah pada pengembangan beberapa bentuk lahan yang sangat khas (Gambar 3). *Setting* topografi endapan laterit NiCo dapat dikaitkan dengan drainase. Misalnya, endapan sub tipe Mg-silikat hidrat yang terbentuk di daerah yang aktif secara tektonik dan berdrainase baik terdapat di perbukitan, pegunungan, dan tepi dataran tinggi. Kurangnya drainase meningkatkan pengendapan silika dalam profil yang lapuk (Gambar 3).



Gambar 3. Simplifikasi bentuk morfologi laterit (Ahmad, 2006).

c. Tektonik dan Struktur Geologi

Pengangkatan tektonik meningkatkan erosi bagian atas profil, meningkatkan relief topografi dan menurunkan permukaan air. Stabilitas tektonik memungkinkan pembentukan morfologi, memperlambat pergerakan air tanah (Elias, 2002). Pada skala endapan, struktur geologi sangat mengontrol pelapukan ke dalam batuan dasar. Dalam konteks ini, kekar di batuan dasar serta rekahan dan memiliki peran penting dalam mengarahkan air hujan asam ke bagian yang jauh dari profil pelapukan dan membawa produk-produk pelapukan kimia (Ahmad, 2006). Rekahan, patahan dan lapisan geser pada batuan dasar dan regolit sangat memengaruhi ketebalan, kadar dan, di beberapa tempat, jenis endapan



Ni laterit. Sebagian besar, efek ini bersifat pasif, dengan struktur yang sudah ada sebelumnya memengaruhi karakteristik drainase baik dengan membentuk hambatan aliran air atau, lebih umum, dengan meningkatkan permeabilitas dan menghasilkan pelapukan yang lebih dalam dan konsentrasi preferensi Ni di sepanjang lapisan rekahan (Butt *and* Cluzel, 2013).

d. Iklim

Pengayaan Ni dalam profil pelapukan dikendalikan oleh beberapa faktor yang saling memengaruhi, seperti perkembangan semua pedolit, yang meliputi batuan dasar, iklim, kimia/laju pelapukan kimia, drainase dan tektonik. Laterit Ni-Co telah diklasifikasikan berdasarkan profil pelapukan dan karakteristik mineraloginya. Skema iklim basah, basah ke kering, dan kering ke basah digunakan untuk mengklasifikasikan laterit Ni-Co sehubungan dengan profil pelapukan dan korelasi faktor-faktor yang disebutkan di atas (dapat dilihat pada Tabel 2). Banyak deposit di Indonesia memiliki iklim hutan hujan yang ditandai dengan curah hujan >1800 mm per tahun dan musim kemarau kurang dari 2 bulan (Butt & Cluzel, 2013). Curah hujan menentukan jumlah air yang melewati tanah, yang memengaruhi intensitas pencucian dan penghilangan komponen terlarut. Selain jumlah, efektivitas curah hujan (sejauh mana air dibiarkan mengalir melalui profil daripada mengalir) adalah penting. Suhu tanah rata-rata yang lebih tinggi (yang mendekati suhu udara permukaan rata-rata) meningkatkan kinetika proses pelapukan (Butt *and* Zeegers, 1992 dalam Elias M. 2002).

Tabel 2. Faktor-faktor yang menentukan skenario iklim yang digunakan untuk menggambarkan variasi endapan kobalt nikel laterit (Golightly, 1981) dalam (Askaria, 2022)).

<i>Climate scenario</i>	<i>Tectonic stability</i>	<i>Terrane</i>	<i>Climate</i>	<i>Profile Development</i>
<i>Wet</i>	<i>Active uplift</i>	<i>Elevated</i>	<i>Rainforest</i>	<i>Ni in hydrous Mg-silicate</i>
<i>Wet-to-dry</i>	<i>Stable peneplain</i>	<i>Flat</i>	<i>Increasing aridity time</i>	<i>Ni and Co in the oxide, clay transition Lapisan</i>
	<i>Dissected peneplain</i>	<i>Elevated</i>	<i>Increasing moisture/time</i>	<i>Ni and Co in clay and saprolite zones</i>



2.5 Geokimia dan Mineralogi Endapan Nikel Laterit

2.5.1 Geokimia Endapan Ni

Geokimia Endapan Ni Laterit Selama proses pelapukan berlangsung, beberapa elemen akan leached dan elemen lainnya akan terkonsentrasi melalui *secondarily enriched* atau *residually* (Brand, *et al.*, 1998). Sebuah pengukuran *mobile element* pada endapan Ni laterit melalui tingkat perpindahan elemen terhadap aliran air (dapat dilihat pada Tabel 3) (Trescases, 1975; Golightly, 1981).

Tabel 3. Klasifikasi *mobile element* pada endapan Ni laterit (Trescases, 1975)

<i>Elemen</i>	<i>Mobility</i>	<i>Kategori</i>
Fe ⁺³	-18,1	<i>Residual Enrichment</i>
Cr ⁺³	-16,1	
Al ⁺²	-15,3	
Cu ⁺²	-5,7	
Ni ⁺²	-3,2	<i>Supergenic Enrichment</i>
Co ⁺²	-1,7	
Zn ⁺²	-1,5	
Mn ⁺²	1,3	
Mg ⁺²	3,1	<i>Leached</i>

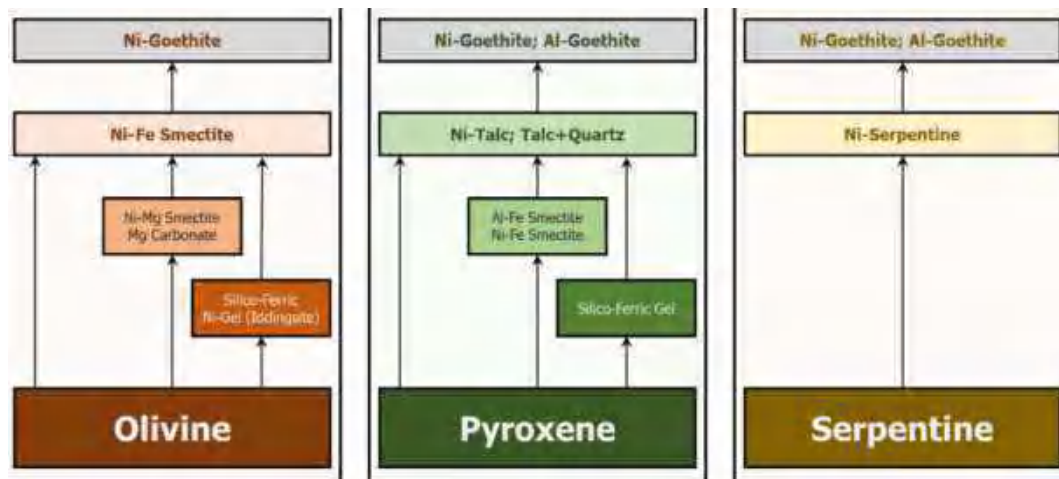
Analisis petrografi digunakan untuk menentukan jenis dan kelimpahan mineral yang hadir (baik primer maupun sekunder) untuk mengidentifikasi jenis batuan dasar yang mempengaruhi proses alterasi sehingga memenuhi kualitas dalam penambangan. Analisis petrografi dimulai dengan melakukan preparasi sampel batuan menjadi sayatan tipis (*thin section*) dengan ketebalan berkisar 0.03 mm yang menempel pada *slide glass* mikroskop. Analisis ini akan menghasilkan deskripsi mikroskopis sayatan mineral.

2.5.2 Mineralogi Endapan Ni Laterit

Mineral-mineral primer pada batuan ultramafik (*bedrock*) dapat menghasilkan mineral sekunder (Gambar 4), sebagai berikut:



- in menjadi krisotil, magnetit, saponit, nontronit, silika, amorf dan goetit.
- oksin menjadi talk, smektit dan goetit.
- pentin menjadi smektit dan goetit.



Gambar 4. Skema transformasi mineral akibat pelapukan batuan dasar (batuan ultramafik) (Nahon, *et al.*, 1992).

Rangkaian pembentukan mineral sekunder selama proses pembentukan laterit berbeda dengan mineral primer. Pelapukan kimia yang terjadi pada olivin dan pyroxene lebih kompleks dari pada serpentin. Hal ini disebabkan tekstur serpentin yang lebih halus dan komposisi kimia yang lebih homogen dari pada olivin dan pyroxene (Nahon, *et al.*, 1992)

