

SKRIPSI

**STUDI KARAKTERISTIK MINERALOGI DAN KIMIA
BATUAN DASAR ENDAPAN NIKEL LATERIT PADA BUKIT
WRANGLER PT ANTAM TBK UBPN KOLAKA**

Disusun dan diajukan oleh:

**MUHAMMAD RIYADHI ATTHUR HALIK
D111 20 1079**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

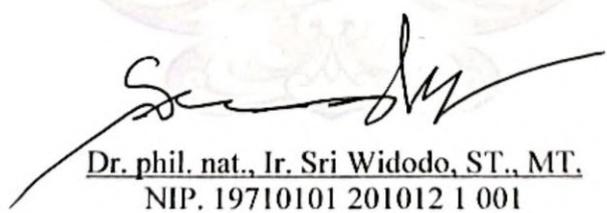
**STUDI KARAKTERISTIK MINERALOGI DAN KIMIA BATUAN
DASAR ENDAPAN NIKEL LATERIT PADA BUKIT WRANGLER
PT ANTAM TBK UBPB KOLAKA**

Disusun dan diajukan oleh:

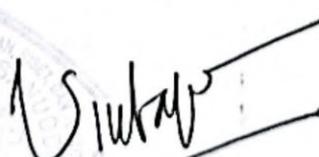
**Muhammad Riyadhi Atthur Halik
D111201079**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 20 September 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,
Pembimbing,


Dr. phil. nat., Ir. Sri Widodo, ST., MT.
NIP. 19710101 201012 1 001

Ketua Program Studi,


Dr. Aryanti Virianti Anas, S.T., M.T.
NIP. 19701005 200801 2 026



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Riyadhhi Atthur Halik
NIM : D111 20 1079
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Studi Karakteristik Mineralogi dan Kimia Batuan Dasar Endapan Nikel Laterit
Pada Bukit Wrangler 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, 20 September 2024

Yang Menyatakan



Muhammad Riyadhhi Atthur Halik



ABSTRAK

MUH. RIYADHI ATTHUR HALIK. *Studi Karakteristik Mineralogi dan Kimia Batuan Dasar Endapan Nikel Laterit Pada Bukit Wrangler PT ANTAM Tbk UBPN Kolaka* (dibimbing oleh Sri Widodo)

Nikel laterit merupakan bahan galian tambang yang terbentuk dari pelapukan batuan beku ultramafik yang kaya akan olivin dan piroksen. Proses pembentukan endapan nikel laterit dipengaruhi oleh pelapukan batuan dasar yang bervariasi tiap daerah. Tujuan penelitian untuk mengetahui karakteristik mineralogi batuan dasar dan menganalisis penyebaran batuan pada Bukit Wrangler PT ANTAM Tbk UBPN Kolaka. Lokasi penelitian terletak di Bukit Wrangler Blok Tambang Utara PT ANTAM Tbk UBPN Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. Metode penelitian dilakukan dengan kegiatan lapangan yang meliputi pengambilan sampel, dokumentasi serta kegiatan laboratorium yakni analisis XRF, analisis XRD, dan analisis petrografi. Karakteristik mineralogi batuan dasar melalui analisis petrografi dan XRD menunjukkan bahwa batuan di daerah penelitian diklasifikasikan adalah batuan peridotit. Pengamatan mikroskopis menunjukkan bahwa sampel telah mengalami serpentinisasi, di mana olivin berubah menjadi serpentin, menghasilkan tekstur jaring dan rekahan. Kelompok mineral serpentin dari hasil analisis XRD berupa antigorit dan lizardit. Sampel SWG-01, SWG-03, SWG-04, SWG-06 adalah *olivine websterite* terserpentinisasi, sedangkan SWG-08 adalah *lherzolite* terserpentinisasi. Hasil analisis XRF yakni komposisi kimia menunjukkan kandungan SiO₂ dan MgO yang signifikan pada sampel batuan dasar. Berdasarkan hasil komposisi kimia dan referensi pustaka, diinterpretasikan dalam bentuk peta penyebaran batuan menunjukkan bahwa batuan *lherzolite* terserpentinisasi terdistribusi pada area utara hingga timur laut daerah penelitian. Penyebaran batuan dasar jenis *olivine websterite* terserpentinisasi terdistribusi secara dominan hampir diseluruh area pada daerah penelitian.

Kata Kunci: Nikel laterit, Batuan dasar, XRD, Petrografi, XRF, Sebaran



ABSTRACT

MUH. RIYADHI ATTHUR HALIK. *Study of Mineralogical and Chemical Characteristics of Laterite Nickel Deposits Bedrock at Wrangler Hill PT ANTAM Tbk UBPN Kolaka* (supervised by Sri Widodo)

Nickel laterite is a mining excavation material formed from the weathering of ultramafic igneous rocks rich in olivine and pyroxine. The formation process of nickel laterite deposits is influenced by bedrock weathering that varies from region to region. The purpose of the study was to determine the mineralogical characteristics of bedrock and analyze the distribution of rocks in Bukit Wrangler PT ANTAM Tbk UBPN Kolaka. The research site is located in Wrangler Hill of North Mining Block of PT ANTAM Tbk UBPN Kolaka, Southeast Sulawesi Province. The research method was carried out with field activities which include sampling, documentation and laboratory activities namely XRF analysis, XRD analysis, and petrographic analysis. Mineralogical characteristics of bedrock through petrographic and XRD analysis show that the rocks in the study area are classified as peridotite rocks. Microscopic observations show that the samples have undergone serpentinization, where olivine transforms into serpentine, resulting in mesh and fracture textures. The serpentine mineral group from the XRD analysis results are antigorite and lizardite. Samples SWG-01, SWG-03, SWG-04, SWG-06 are serpentinized olivine websterite, while SWG-08 is serpentinized lherzolite. The results of XRF analysis, namely chemical composition, show significant SiO₂ and MgO content in the bedrock samples. Based on the results of chemical composition and literature references, interpreted in the form of a rock distribution map shows that serpentinized lherzolite rocks are distributed in the north to northeast area of the study area. The distribution of serpentinized olivine websterite type bedrock is dominantly distributed in almost all areas in the study area.

Keywords: Nickel laterite, Bedrock, XRD, Petrography, XRF, Distribution



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Geologi Regional Sulawesi Tenggara.....	4
2.2 Endapan Nikel Laterit.....	9
2.3 Batuan Pembentuk Nikel Laterit.....	15
BAB III METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Lokasi Penelitian.....	18
3.2 Pengumpulan Data.....	19
3.3 Pengolahan Data.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Analisis Petrografi.....	27
4.2 Analisis <i>X-Ray Diffraction</i>	36
4.3 Karakteristik Mineralogi Daerah Penelitian.....	41
4.4 Karakteristik Kimia Daerah Penelitian.....	43
BAB V PENUTUP.....	46
5.1 Kesimpulan.....	46
5.2 Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA.....	47



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Tatanan Tektonik Pulau Sulawesi	5
Gambar 2 Morfologi lengan Sulawesi Tenggara	7
Gambar 3 Geologi regional lengan Tenggara Sulawesi.....	8
Gambar 4 Variasi profil laterit	11
Gambar 5 Proses pengkayaan nikel pada zona saprolit	13
Gambar 6 Batuan dasar yang tersingkap di bagian utara Pomalaa	16
Gambar 7 Klasifikasi IUGS pada batuan ultramafik	17
Gambar 8 Lokasi penelitian di PT ANTAM Tbk UBPN Kolaka	18
Gambar 9 Pengambilan sampel menggunakan metode <i>chip sampling</i>	19
Gambar 10 Peta pengambilan sampel di Bukit Wrangler	20
Gambar 11 Pengambilan gambar singkapan pada daerah penelitian.....	20
Gambar 12 Proses reduksi sampel batuan dasar	21
Gambar 13 Sampel batuan dasar dalam ukuran 200 <i>mesh</i>	22
Gambar 14 Sampel batuan dasar dalam sayatan tipis	22
Gambar 15 Analisis XRF menggunakan Rigaku ZSX Primus IV	23
Gambar 16 Alat shimadzu maxima-X XRD 7000	24
Gambar 17 Tampilan pengolahan data XRD menggunakan Impact Match! 4.....	24
Gambar 18 Mikroskop Polarisasi.....	25
Gambar 19 Bagan alir penelitian.....	26
Gambar 20 Singkapan stasiun SWG-01	27
Gambar 21 Kenampakan fotomikrograf SWG-01	28
Gambar 22 Plot klasifikasi Streckeinsen (1974) sampel SWG-01	28
Gambar 23 Singkapan stasiun SWG-03.....	29
Gambar 24 Kenampakan fotomikrograf SWG-03	30
Gambar 25 Plot klasifikasi Streckeinsen (1974) sampel SWG-03	30
Gambar 26 Singkapan stasiun SWG-04.....	31
Gambar 27 Kenampakan fotomikrograf SWG-04	32
Gambar 28 Plot klasifikasi Streckeinsen (1974) sampel SWG-04	32
Gambar 29 Singkapan stasiun SWG-06.....	33
Gambar 30 Kenampakan fotomikrograf SWG-06	34
Gambar 31 Plot klasifikasi Streckeinsen (1974) sampel SWG-06	34
Gambar 32 Singkapan stasiun SWG-08.....	35
Gambar 33 Kenampakan fotomikrograf SWG-08	36
Gambar 34 Plot klasifikasi Streckeinsen (1974) sampel SWG-08	36
Gambar 35 <i>Diffractogram</i> sampel SWG-01	37
Gambar 36 <i>Diffractogram</i> sampel SWG-02	37
Gambar 37 <i>Diffractogram</i> sampel SWG-03	38
Gambar 38 <i>Diffractogram</i> sampel SWG-04	38
Gambar 39 <i>Diffractogram</i> sampel SWG-05	39
Gambar 40 <i>Diffractogram</i> sampel SWG-06	39
Gambar 41 <i>Diffractogram</i> sampel SWG-07	40
Gambar 42 <i>Diffractogram</i> sampel SWG-08	40
Gambar 43 <i>Diffractogram</i> sampel SWG-09	41
Gambar 44 Interpretasi penyebaran batuan dasar	44



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Hasil normalisasi persentase klasifikasi batuan beku	42
Tabel 2 Komposisi kimia unsur dan senyawa.....	43



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Peta pengambilan sampel	50
Lampiran 2 Hasil Analisis XRF	52
Lampiran 3 Hasil Analisis XRD	54
Lampiran 4 Hasil Analisis Petrografi	78
Lampiran 5 Kartu Konsultasi	85



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul Studi Karakteristik Mineralogi dan Kimia Batuan Dasar Endapan Nikel Laterit Pada Bukit Wrangler PT ANTAM Tbk. UBPN Kolaka. Shalawat serta salam tidak lupa selalu kita haturkan untuk junjungan nabi kita, yaitu Nabi Muhammad SAW nabi yang menjadi suri tauladan untuk kita semua.

Penulisan tugas akhir ini dapat selesai dengan baik tentunya tidak lepas dari doa, dukungan dan bantuan dari berbagai pihak serta masukan maupun saran, kepada penulis. Penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada pihak PT ANTAM Tbk UBPN Kolaka yakni Bapak Tamsil Indra Gunawan selaku *assistant manager Ore Quality Assurance* yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan tugas akhir di dan juga kepada Bapak Mulhaldramy selaku staff *Ore Quality Assurance* sekaligus pembimbing lapangan yang telah membantu dan membimbing penulis selama kerja praktik.

Penulis ingin berterima kasih kepada orang tua penulis Arthur Halik Razak dan Elfirah Ahmady dan Aiman Khairi selaku adik penulis, serta keluarga besar yang telah memberikan motivasi dan dukungan serta doa selama masa perkuliahan berlangsung hingga penyusunan laporan tugas akhir. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, M.T., selaku kepala LBE Eksplorasi Mineral dan Ibu Ir. Andi Febby Alvionita, S. T., M. T. selaku Dosen LBE Eksplorasi Mineral yang banyak memberikan masukan dan saran selama penyusunan tugas akhir. Tentunya penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. phil. nat. Ir. Sri Widodo, S.T., M.T sebagai dosen penasehat akademik juga sekaligus sebagai dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan arahan, masukan serta saran selama penulisan dan penyusunan tugas akhir.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi dan seluruh Civitas Academica Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada teman-teman LBE Eksplorasi Mineral 2020 dan DRILLING 2020 yang banyak membantu selama masa perkuliahan, dukungan, kerja sama, dan persahabatan yang kuat di antara kita, tantangan demi tantangan dapat terlewati. Semoga persahabatan dan kebersamaan yang telah terjalin selama masa perkuliahan ini akan selalu terjaga dan menjadi kekuatan kita untuk melangkah lebih jauh, baik dalam karier maupun kehidupan. Semoga kita semua berhasil mencapai cita-cita dan impian yang telah kita perjuangkan bersama.

Akhir kata, penulis menyadari masih terdapat kekurangan dan keterbatasan pada tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca sebagai penyempurnaan laporan. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagai salah satu referensi, petunjuk, bagi para pembaca berkaitan dengan karakteristik mineralogi dan kimia batuan dasar endapan nikel laterit.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel merupakan salah satu komoditi tambang utama Indonesia yang menjadi penghasil devisa cukup besar bagi negara. Manfaatnya yang begitu besar bagi kehidupan sehari-hari, seperti pembuatan logam anti karat, campuran dalam pembuatan *stainless steel*, baterai *nickel-metal hybride*, dan berbagai jenis barang lainnya. Sekitar 60% produksi nikel saat ini berasal dari bijih sulfida yang merupakan $\pm 30\%$ dari total cadangan nikel dunia dan sisanya dari bijih nikel laterit (Ahmad, 2002).

Laterit adalah produk sisa dari pelapukan kimia batuan di permukaan bumi, di mana berbagai mineral asli atau primer mengalami ketidakstabilan karena adanya air, kemudian larut atau pecah dan membentuk mineral baru yang lebih stabil (Evans, 1993). Nikel laterit dicirikan oleh adanya logam oksida yang berwarna coklat kemerahan mengandung Ni dan Fe (Cahit, et al., 2017). Pembentukan nikel laterit dimulai dengan adanya batuan beku ultrabasa/ultramafik sebagai batuan induk. Batuan induk tersusun atas mineral olivin dan piroksen yang mudah mengalami pelapukan kimia. Pelapukan tersebut membuat komposisi kimia dan mineralogi batuan berubah. Unsur nikel terletak pada kisi kristal olivin dan piroksen yang merupakan hasil substitusi atom Fe dan Mg. Proses substitusi unsur Ni, Fe, dan Mg ini dapat terjadi karena unsur tersebut memiliki radius ion dan muatan ion yang hampir sama (Ahmad, 2008).

Bijih Nikel laterit merupakan salah satu sumber primer utama nikel di Indonesia karena memiliki iklim tropis atau subtropis yang memiliki tingkat pelapukan tinggi. Hal ini disebabkan letak Indonesia yang berada pada tiga Lempeng besar dunia yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik atau Lempeng Filipina dan Lempeng Indo-Australia. Pergerakan tiga Lempeng tersebut membentuk deposit bahan galian di setiap daerah salah satunya tersebar di



Timor seperti Sorowako (Sulawesi Selatan), Bahodopi (Sulawesi dan Lenggikima, Kabaena, Tinanggea, Buton Tengah, Kolaka (Sulawesi) (Hasria *et al.*, 2021). Secara geologi regional Lengan Tenggara Sulawesi

berdasarkan himpunan batuanya, geologi Lembar Lasususa-Kendari yang dibagi menjadi dua lajur, yaitu Lajur Hialu dan Tinondo. Batuan penyusun Pulau Sulawesi dikelompokkan dalam 3 (tiga) bagian utama yaitu Molasa Sulawesi, Kompleks Ofiolit dan Kompleks Batuan Metamorf (Suroño, 2013).

Keberadaan endapan nikel laterit di suatu daerah dipengaruhi oleh proses pembentukannya, terutama melalui pelapukan batuan dasar. Batuan dasar di setiap daerah memiliki komposisi yang berbeda, sehingga karakteristiknya juga bervariasi (Kurniadi *et al.*, 2017; Lintjewas *et al.*, 2019). Salah satu cara untuk mengetahui karakteristik ini adalah melalui analisis kimia dan analisis dibawah mikroskop, yang dapat mengungkap kadar unsur dan senyawa seperti Ni, MgO, SiO₂, Fe, Al, Co, Cr, Mn, dan Ca yang terdapat pada batuan dasar tersebut (Arifin *et al.*, 2015; Rinawan *et al.*, 2018).

PT ANTAM Tbk UBPN Kolaka merupakan perusahaan pertambangan yang beroperasi di kecamatan Pomalaa di kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara, dengan komoditas Nikel. IUP PT ANTAM Tbk UBPN Kolaka memiliki beberapa bukit yang masih aktif melakukan proses penambangan salah satunya yakni Bukit Wrangler. Berdasarkan penjelasan diatas maka dilakukan kegiatan penelitian tugas akhir untuk mengetahui karakteristik batuan dasar serta penyebaran batuan yang terdapat pada daerah penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik mineralogi batuan dasar di Bukit Wrangler, PT ANTAM Tbk UBPN Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara?
2. Bagaimana penyebaran batuan dasar berdasarkan komposisi kimianya di Bukit Wrangler, PT ANTAM Tbk UBPN Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara?

1.3 Tujuan Penelitian



Can uraian yang dijabarkan pada rumusan masalah maka tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui karakteristik mineralogi pada batuan dasar di Bukit Wrangler, PT ANTAM Tbk UBPN Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara.
2. Menganalisis penyebaran batuan dasar berdasarkan komposisi kimianya di Bukit Wrangler, PT ANTAM Tbk UBPN Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari melakukan penelitian ini yaitu dapat menjadi referensi dan rujukan pustaka utamanya bagi perusahaan mengenai karakteristik mineralogi dan kimia batuan dasar endapan nikel laterit khususnya di Bukit Wrangler PT ANTAM Tbk UBPN Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara, serta dapat menambah wawasan yang baik untuk penyusun terkait karakteristik batuan dasar endapan nikel laterit.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini mencakup pengambilan dan preparasi sampel yang mencakup analisis XRF, XRD, dan Petrografi untuk mengetahui komposisi kimia, mineralogi, dan nama batuan pada sampel batuan dasar, serta dokumentasi dari daerah penelitian. Lokasi penelitian terletak di Bukit Wrangler pada Wilayah IUP PT ANTAM Tbk UBPN Kolaka, Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional Sulawesi Tenggara

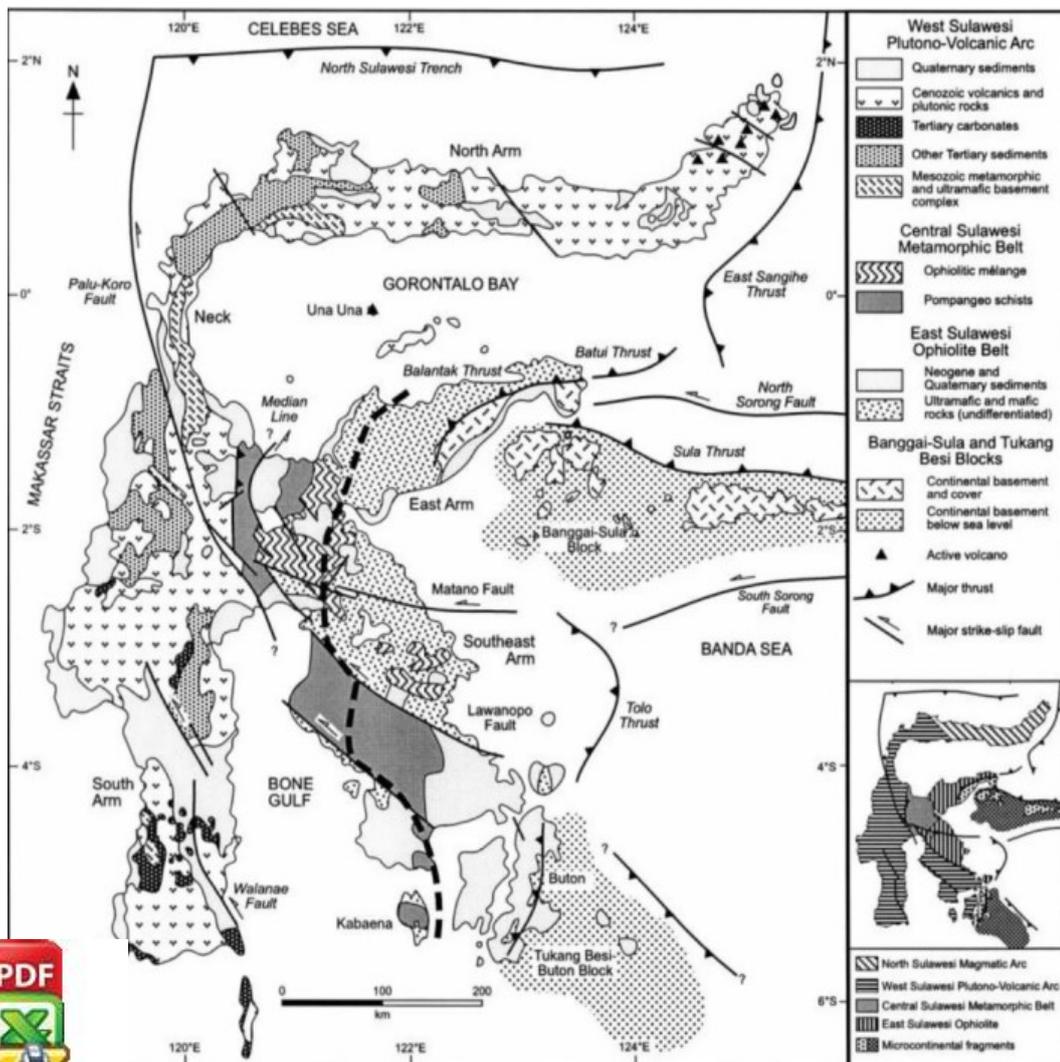
Bentuk pulau Sulawesi yang menyerupai "huruf K" yang cukup khas, menunjukkan kompleksnya proses tektonik yang terjadi selama proses pembentukannya. Hall dan Wilson (2000) mengelompokkan Pulau Sulawesi menjadi empat unit litotektonik yang dibatasi oleh dislokasi tektonik skala besar serta sesar utama yang berkembang di Pulau Sulawesi. Pembagian unit litotektonik dari Barat ke Timur yaitu Mandala Barat (Busur Plutonik-Vulkanik Sulawesi Barat dan Utara), Mandala Tengah (Sabuk Metamorfik Sulawesi Tengah), Mandala Timur (Sabuk Ofiolit Sulawesi Timur) dan Fragmen Benua Banggai-Sula dan Tukang Besi. Provinsi Bagian Utara dan Bagian Barat Sulawesi dianggap sebagai sebuah unit stratigrafi-tektonik atau lithotektonik yang disebut Busur Vulkanik Plutonik Sulawesi Barat, sedangkan provinsi Sulawesi Bagian Timur umumnya dibagi dua menjadi Sabuk Metamorfik Sulawesi Tengah dan Sabuk Ofiolit Sulawesi bagian Timur; dan Provinsi Banggai-Sula yang juga meliputi Tukang Besi dan Buton juga dikenal sebagai *allochthonous continental terranes* yang tidak diklasifikasikan sebagai sebuah stratigrafi-lithotektonik sehingga Pulau Sulawesi dari tinjauan stratigrafi-tektonik terbagi menjadi 3 litotektonik yang dapat dilihat di Gambar 1 (Armstrong, 2012).

1. Busur Vulkanik-Plutonik Sulawesi Barat merupakan material akresi pra-Kapur dibagian barat Sulawesi yang kemudian berkembang menjadi busur vulkanik Neogen; Busur vulkanik terdiri atas kompleks batuan-dasar mid-Mesozoik, busur vulkanik Kapur Akhir- Eosen Tengah, sekuen non-vulkanik batuan karbonat. Eosen Atas - Miosen Bawah dan busur vulkanik Miosen - Kuartar. Fase Neogenvulkanik tersebar di bagian barat Sulawesi.
2. Sabuk Metamorfik Sulawesi Tengah merupakan sabuk batuan metamorfik yang berkembang di Sulawesi bagian tengah dan bagian lengan tenggara. Sabuk metamorfik tersebut terdiri atas kumpulan facies metamorfik sekis jau dan sekis biru, dengan sekis biru meningkat kelimpahannya ke arah urat. Tepi bagian barat sabuk ini merupakan tempat kumpulan batuan



tekanan tinggi terpisahkan dari batuan-batuan sekis temperatur-tinggi, gneis dan granitik.

3. Kompleks batuan ofiolit yang dikenal sebagai Ofiolit Sulawesi bagian Timur berkembang di lengan bagian timur dan menerus hingga lengan bagian tenggara Sulawesi. Kompleks tersebut didominasi oleh ofiolit bertubuh besar yang telah terganggu dan mengalami peristiwa tektonik. OST terpisahkan secara geografi ke segmen bagian utara dan selatan. Segmen bagian utara muncul di lengan bagian timur Sulawesi dan mengandung ofiolit yang cukup lengkap meskipun telah mengalami peristiwa tektonik. Pada segmen bagian selatan hanya dijumpai pada kontak sesar dengan batuan kristalin utamanya terdiri atas harzburgit dan harzburgit terserpentinisasi.



1 Tatanan Tektonik Pulau Sulawesi (Armstrong, 2012; Hall dan Wilson, 2000)



Sebagian besar wilayah Sulawesi merupakan pegunungan dengan ketinggian di atas 500 mdpl, bahkan 20% dari luas total yang memiliki ketinggian 1000 mdpl terutama di Sulawesi Tengah dan bagian utara lengan selatan. Puncak tertinggi terdapat pada gunung non-vulkanik Gunung Latimojong yang memiliki ketinggian 3450 mdpl. Daerah dataran rendah terdapat di bagian tengah lengan selatan-barat, dekat Teluk Bone dan bagian selatan lengan tenggara. Paling tidak terdapat tujuh belas gunung berapi dijumpai di lengan utara serta satu gunung berapi lainnya di Teluk Tomini. Daerah Pomalaa terletak di lengan tenggara Pulau Sulawesi yang memiliki fisiografi dataran rendah. Simandjuntak *et. al.*, (1993) selanjutnya membagi morfologi lengan tenggara Sulawesi ke dalam lima satuan morfologi, yaitu morfologi pegunungan, morfologi perbukitan tinggi, morfologi perbukitan rendah, morfologi pedataran dan morfologi karst (Gambar 2).

1. Morfologi Pegunungan

Satuan morfologi pegunungan menempati bagian terluas di kawasan ini, terdiri atas rangkaian pegunungan yang mempunyai ketinggian tertinggi hingga 2790 meter dpl di Gunung Mekongga. Satuan morfologi ini mempunyai topografi yang kasar dengan kemiringan lereng tinggi dan mempunyai pola yang hampir sejajar berarah barat laut–tenggara sejajar dengan pola struktur sesar regional di kawasan ini sebagai cerminan bentuk morfologi erat hubungannya dengan sesar regional. Satuan morfologi pegunungan terutama disusun oleh batuan malihan dan setempat oleh batuan ofiolit. Morfologi yang disusun oleh batuan malihan, memiliki rangkaian punggung gunung rendah yang seolah terputus tidak menerus dengan lereng yang tidak rata walaupun bersudut tajam. Sementara itu, morfologi yang disusun oleh batuan ofiolit mempunyai punggung gunung yang panjang dan lurus dengan lereng relatif lebih rata, serta kemiringan yang tajam.

2. Morfologi Perbukitan

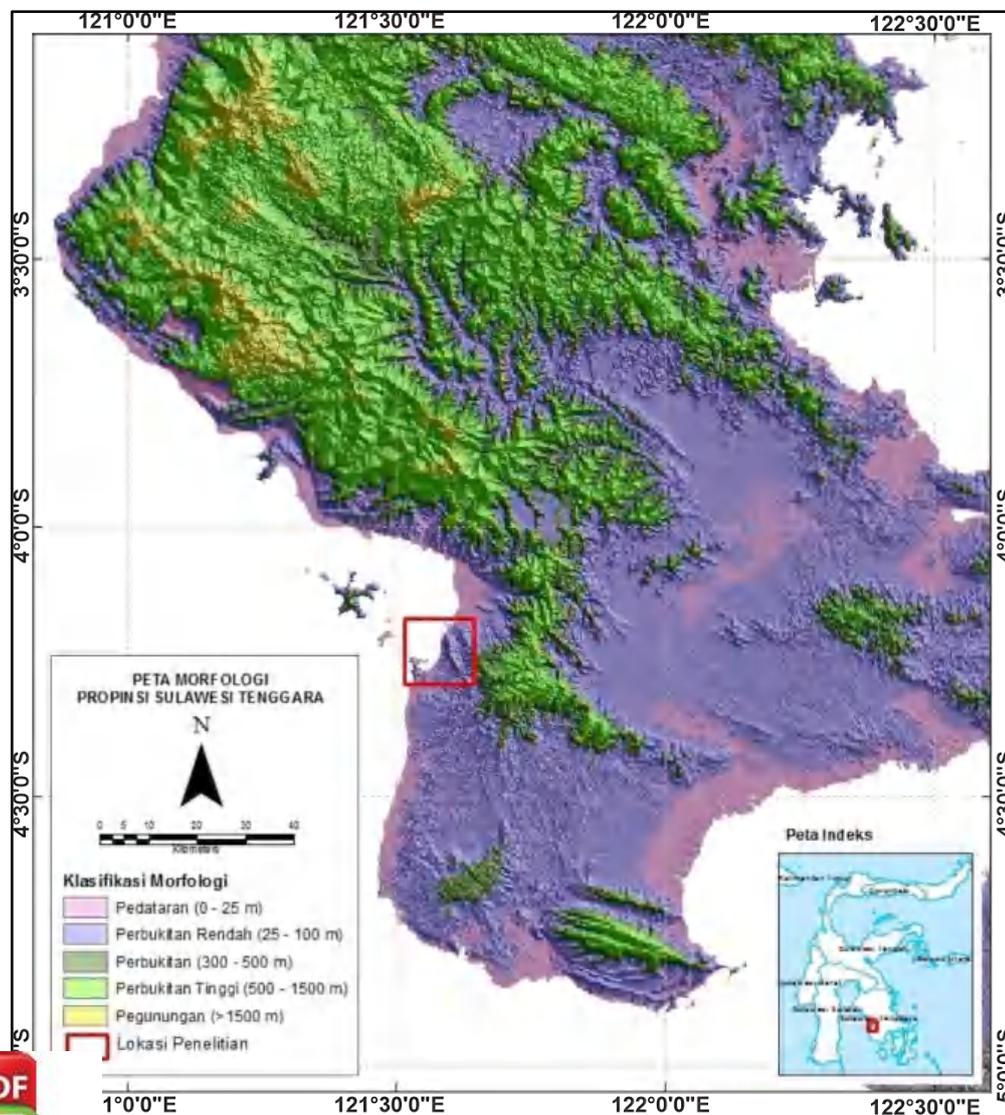
Morfologi perbukitan rendah melampar luas di utara Kendari dan ujung selatan lengan tenggara Sulawesi. Satuan ini terdiri atas bukit kecil dan rendah dengan morfologi yang bergelombang. Batuan penyusun satuan ini



terutama batuan sedimen klastika Mesozoikum dan Tersier disertai batuan ultramafik.

3. Morfologi Pedataran

Morfologi dataran rendah dijumpai di bagian tengah ujung selatan lengan tenggara Sulawesi. Tepi selatan Dataran Wawotobi dan Dataran Sampara berbatasan langsung dengan morfologi pegunungan. Penyebaran morfologi ini tampak sangat dipengaruhi oleh sesar geser mengiri (Sesar Kolaka dan Sistem Sesar Konawe). Terletak relatif di bagian utara sebelah barat dari lengan tenggara, daerah Pomalaa termasuk ke dalam satuan wilayah fisiografi perbukitan rendah.

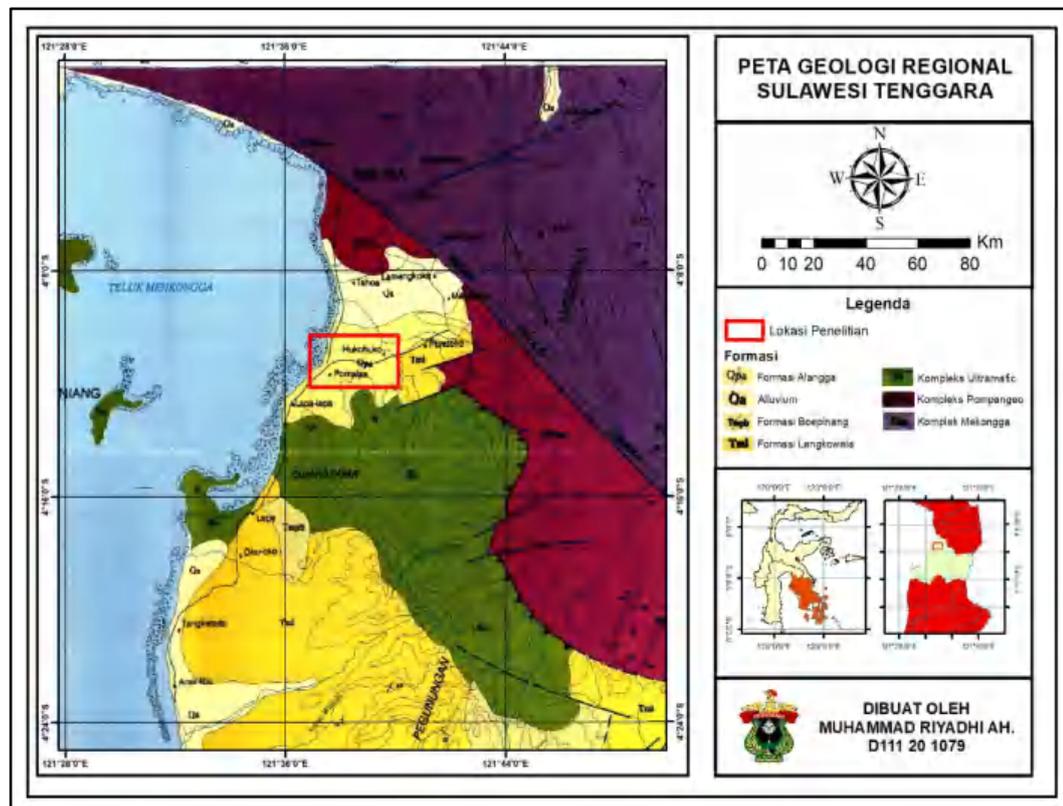


ambar 2 Morfologi lengan Sulawesi Tenggara (Kamaruddin, et al., 2018)



Singkapan batuan ultramafik pada kelompok lengan Timur dan Tenggara Sulawesi hadir dalam tiga bentuk (Van Leeuwen dan Pieters, 2011), yaitu:

1. Sebagai sebuah tubuh besar dengan bentuk tidak beraturan yang mencapai ratusan kilometer. Yang terbesar adalah daerah-daerah danau masif yang menutupi beberapa ratus kilometer persegi daerah ultramafik.
2. Sebagai lapisan-lapisan terimbikasi mengikuti pola-pola umum struktur zona melange subduksi.
3. Berupa tubuh-tubuh kecil ultramafik tidak beraturan dan terisolir yang umumnya muncul secara terbatas yang memanjang mengikuti kemenerusan regional berarah timur laut seperti di Sua-sua, Pao-pao dan Pomalaa (Gambar 3).



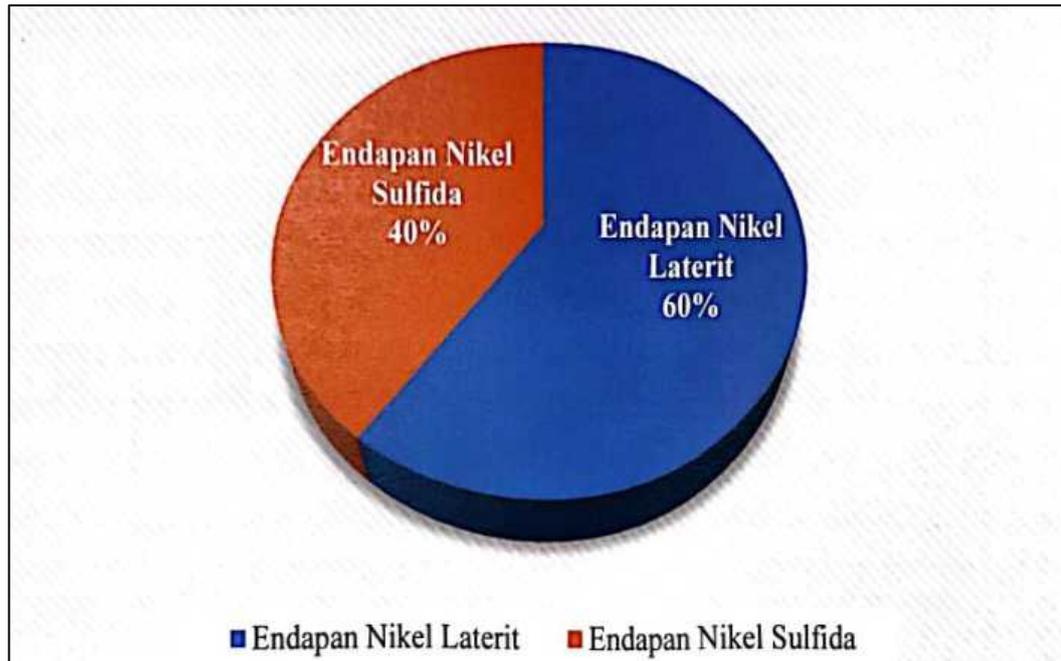
Gambar 3 Geologi regional lengan Tenggara Sulawesi

Batuan ultramafik di kompleks ofiolit tersebut didominasi oleh harzburgit, dunit, werlit, lherzolit, websterit, serpentin dan piroksenit. Batuan ultramafik pada kompleks tersebut merupakan sumber yang baik untuk pembentukan laterit tua yang dijumpai di Pomalaa. Batuan ultramafik di daerah Pomalaa tersingkap oleh peridotit yang umumnya berupa harzburgit dan dunit yang telah mengalami serpentinisasi (Kamaruddin *et al.*, 2018).



2.2 Endapan Nikel Laterit

Sebagian besar endapan nikel terkonsentrasi secara ekonomi dalam dua tipe endapan yaitu endapan nikel sulfida dan endapan nikel laterit. Berdasarkan data USGS oleh McRae (2023) bahwa dari total sekitar 300 juta ton sumberdaya nikel dunia, 40% diantaranya merupakan endapan nikel sulfida dan 60% merupakan endapan nikel laterit (Gambar 4).



Gambar 4 Persentase endapan nikel dunia (McRae, 2023; Hasria dan Septiana, 2024)

Laterit merupakan produk residu dari batuan yang mengalami pelapukan pada permukaan bumi, yang mengakibatkan beberapa mineral primer yang tidak stabil dengan keberadaan air akan larut atau hancur dan mineral baru yang lebih stabil akan terbentuk. Proses laterisasi pada beberapa kasus akan mengakibatkan terkonsentrasinya beberapa unsur salah satunya yaitu mineral logam nikel. Endapan nikel laterit merupakan produk dari proses laterisasi dari batuan kaya magnesium (*Mg-rich*) atau batuan ultramafik dengan kandungan Ni primer sekitar 0,2 - 0,4 % (Hasria dan Septiana, 2024).

Laterit termasuk jenis tanah yang umum dijumpai pada daerah tropis dan subtropis. Umumnya tanah laterit memiliki kandungan silika yang rendah, bersifat asam, dan membentuk profil yang terdiri atas beberapa lapisan/zona. Tanah ini tidak subur sehingga tidak diperuntukkan sebagai lahan pertanian. Namun, tanah laterit umumnya kaya akan berbagai logam ekonomis antara lain Al, Fe, Ni, Co,



dan Cr. Proses pembentukan endapan nikel laterit disebut proses laterisasi. Proses ini melibatkan pemecahan mineral primer dan pelepasan beberapa komponen kimianya di dalam air tanah dan konsentrasi residu dari komponen tidak bergerak atau larut serta pembentukan mineral baru yang lebih stabil pada lingkungan pelapukan (Elias, 2002).

Endapan nikel laterit terbentuk dari proses yang dinamis dan bertahap. Dalam prosesnya, endapan nikel laterit membentuk lapisan yang berurutan, yang secara keseluruhan urutan dari lapisan laterit ini disusun dan dapat dilihat pada profil laterit. Dalam pembentukan profil endapan nikel laterit diperlukan waktu jutaan tahun. Pengembangan profil laterit terjadi secara bertahap dalam rentang waktu sekitar pertengahan tersier hingga saat ini (Golightly, 1981).

Elias (2002) memberikan penjelasan mengenai setiap lapisan dari profil endapan nikel laterit pada Gambar 5 yaitu:

1. Lapisan *Ferricrete*

Zona yang berada pada bagian paling atas dari profil endapan nikel laterit yang tersusun atas humus, oksida besi, dan sisa-sisa organik. Berwarna coklat tua kehitaman dan gembur. Memiliki kandungan besi yang tinggi (sekitar 60%) dengan hematit sebagai mineral utama dan kadar nikel yang rendah.

2. Lapisan Limonit

Zona ini merupakan zona yang kaya akan Fe-oksida dan goetit, berwarna coklat hingga kekuningan dan memiliki ukuran butir halus hingga lempung. Ahmad (2001) menyebutkan bahwa mineral yang tidak larut (spinel, magnetit, maghemit dan talk primer bertahan pada zona ini. Pada zona ini, struktur dan tekstur dari batuan asalnya telah rusak dan hilang sepenuhnya.

3. Lapisan Saprolit

Zona dimana proporsi mineral primer semakin menurun dan zona rekahan pada batuan yang semakin kuat menyebabkan terjadinya alterasi yang intensif pada batuan. Ahmad (2001) menambahkan bahwa pada zona ini, pelapukan kimia berlangsung paling aktif dan banyaknya rekahan pada batuan mempercepat terjadinya pelapukan. Pada zona ini, struktur dan tekstur dari batuan induk masih dapat terlihat dengan baik. Zona ini terdiri



dari pecahan batuan dasar, kuarsa dan garnierit yang diendapkan. Zona ini merupakan zona pengkayaan nikel.

4. *Saprock*

Pada zona ini pelapukan terjadi pada kontak antara mineral dan batas rekahan. Terdapat banyak batuan segar dan sedikit produk alterasi.

5. *Bedrock*

Disebut juga zona batuan dasar merupakan lapisan paling bawah dimana menunjukkan tahap awal dari pelapukan batuan yang terjadi. Unsur yang dijumpai pada zona ini adalah Mg sedangkan unsur Ni dan Fe rendah. Struktur, tekstur, dan komposisi asli dari batuan induk sangat jelas terlihat.

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

Gambar 4 Variasi profil laterit (Elias, 2002)

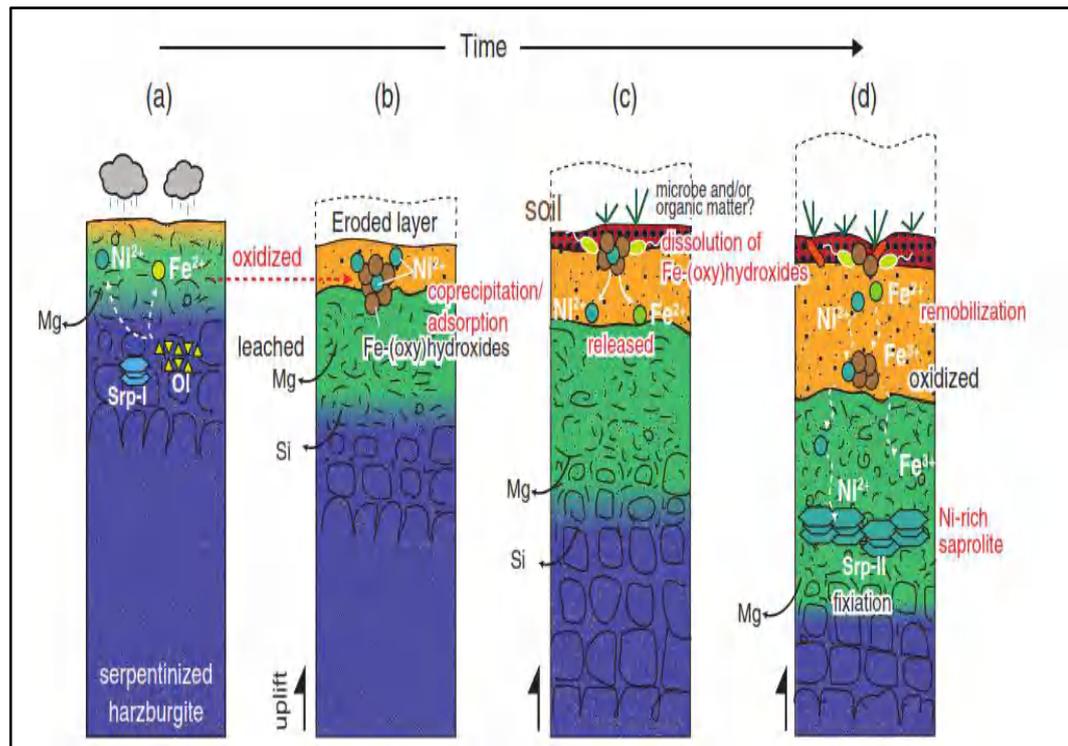
Endapan nikel laterit terbentuk dalam periode waktu yang lama dan dipengaruhi oleh berbagai faktor. Selama proses pembentukannya, terjadi remobilisasi Ni dari permukaan hingga ke zona saprolit yang umumnya hadir oleh mineral serpentin pembawa Ni. Ito *et al.*, (2021) menyebutkan bahwa secara umum terdapat 4 (empat) proses utama yang terjadi selama pembentukan endapan nikel laterit yaitu:



Pada tahap awal pelapukan, mineral silikat primer yang terdapat pada batuan dasar mengalami alterasi/ubahan menjadi Fe^{3+} (oksi)hidroksida sebagai hasil dari proses hidrolisis dan oksidasi yang terjadi di permukaan.

2. Proses pelapukan terus berlanjut dan mengakibatkan zona paling atas/dekat permukaan. Hal ini menyebabkan terjadinya pencucian (*leaching*) yang ditunjukkan oleh adanya penurunan unsur Mg dan Si serta terjadi peningkatan unsur Fe dan Ni sebagai hasil dari fase residu. Kandungan Ni dapat mencapai hingga 1 wt % sebagai hasil dari proses pengkayaan residu. Unsur Ni^{2+} dilepaskan oleh mineral primer seperti olivin dan serpentin (primer). Unsur Ni^{2+} selanjutnya terikat dalam mineral goetit akibat dari proses substitusi yang dengan Fe^{+} dalam struktur kristal goetit serta proses absorpsi yang terjadi. Kandungan Ni dalam zona oksidasi (limonit) meningkat akibat dari proses pengkayaan residu yang terjadi. Proses pelapukan yang intensif dan berlanjut, mengakibatkan pelapukan terjadi hingga zona bagian bawah sehingga zona saprolit terus berkembang.
3. *Soil* telah terbentuk dan material organik terakumulasi pada bagian teratas dari profil laterit. Akumulasi dari bahan organik dan/atau aktivitas mikroba yang terjadi menghasilkan terbentuknya lingkungan pereduksi dengan pH rendah, sehingga terjadi pelarutan Fe-(oksi)hidroksida dan pelepasan Fe dan Ni ke dalam tanah. Sebagian besar dari mineral serpentin I mengalami ubahan menjadi serpentin II (sekunder), yang mana mengandung Fe dan Ni akibat dari proses substitusi dengan Mg. Hal ini ditunjukkan oleh tekstur jaring/*mesh texture* asli yang masih dipertahankan.
4. Unsur Fe dan Ni terlarut dan diangkut ke bawah permukaan, selanjutnya unsur Fe mulai terendapkan terutama pada oksida sebagai Fe-(oksi)hidroksida, sedangkan sebagian besar Ni terendapkan pada zona saprolit. Sebagian unsur Ni diserap oleh Fe^{+} -(oksi)hidroksida yang terbentuk pada zona oksida dan sisanya tertransportasi ke zona saprolit dan mengalami substitusi dengan unsur Mg pada mineral serpentin II. Proses ini menghasilkan terjadinya pengkayaan Ni dalam profil endapan nikel laterit. Secara umum, unsur Ni lebih mudah untuk lepas dan bergabung dalam larutan dibandingkan untuk diserap. Hal ini menyebabkan lebih banyak unsur Ni yang ikut bergerak ke bawah bersama dengan larutan dan terkayakan pada zona saprolit.





Gambar 5 Proses pengkayaan nikel pada zona saprolit (Ito *et al.*, 2021)

Selama proses laterisasi yang berlangsung, beberapa unsur mengalami peningkatan kadar dan beberapa lainnya mengalami penurunan akibat reaksi pelarutan yang terjadi dengan air tanah. Secara umum, pelarutan unsur terjadi akibat dari peningkatan temperatur serta kehadiran air yang bersifat asam. Air dengan pH asam terbentuk dari hasil pembusukan tumbuhan dan umum dijumpai pada daerah tropis. Mobilitas unsur yang umum dijumpai pada batuan mafik dan ultramafik diklasifikasikan menjadi 3 (Ahmad, 2001) yaitu:

1. Unsur sangat larut dan sangat *mobile*; Ca, Na, Mg, K, Si. Unsur-unsur tersebut sangat mudah mengalami pencucian akibat proses pelapukan yang terjadi. Pencucian yang terjadi akan mengakibatkan penurunan kadar dalam profil laterit.
2. Unsur tidak larut (residu); Al, Fe⁺, Cr, Al, Ti, Mn, Co. Unsur-unsur tersebut tidak larut dalam air tanah serta membentuk tanah residu dalam jumlah besar.
3. Unsur kelarutan dan mobilitas terbatas; Ni dan Fe²⁺. Sebagian larut dalam air yang bersifat asam dan tidak larut saat terdapat unsur yang lebih larut seperti Si dan/atau Mg. Sifat kelarutan sebagian dari unsur Ni menyebabkan terjadi pengkayaan *supergene* (sekunder).



Faktor yang mempengaruhi pembentukan endapan nikel laterit menurut Ahmad (2008), yaitu

1. Jenis Batuan Induk

Jenis batuan induk akan berperan penting sebab mineralogi menentukan kerentanan batuan terhadap pelapukan dan mempengaruhi ketersediaan unsur untuk membentuk mineral baru yang akan menghasilkan endapan nikel laterit. Jenis batuan induk adalah batuan ultramafik yang kaya akan mineral olivin (terutama dunit dan harzburgit).

2. Topografi

Topografi suatu daerah potensi yakni kemiringan lereng pada endapan nikel laterit akan mempengaruhi geometri ketebalan dari profil nikel laterit. Gradien atau kemiringan lereng akan mempengaruhi drainase dan berakibat pada proses pelapukan pada batuan induk, yakni sejauh mana air dapat masuk kedalam tanah dan level dari muka air tanah.

3. Iklim

Curah hujan menentukan jumlah air yang masuk ke tanah. Hal ini mempengaruhi intensitas dari proses pencucian dan penghilangan dari unsur yang terlarut. Selain dari intensitas curah hujan, efektivitas (sejauh mana air dapat menyerap ke bagian bawah profil endapan nikel laterit dibandingkan *running off* mengalir di atas permukaan) juga penting dalam perkembangan endapan nikel laterit. Temperatur rata-rata dari tanah yang semakin tinggi (temperatur yang mendekati rata-rata temperatur udara permukaan) akan meningkatkan kinetik dari proses pelapukan (Butt dan Zeegers, 1992).

4. Reagen Kimia

Reagen kimia merupakan unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang sangat membantu pada proses pelapukan yang akan membentuk nikel laterit. Air tanah yang mengandung CO₂ dapat menyebabkan pelapukan kimia tersebut.

5. Waktu

Waktu sangat dibutuhkan pada proses lateritisasi. Pembentukan endapan kel laterit pada setiap ketebalan 1 mm laterit membutuhkan waktu sekitar 10 tahun.



6. Struktur Geologi

Patahan dan pergeseran akan menghasilkan zona permeabilitas pada batuan dasar. Hadirnya rekahan pada tubuh batuan induk akan membantu proses pelapukan kimiawi. Rekahan yang terjadi pada batuan reagen kimia lainnya saat proses pelindian memudahkan air dan melakukan penetrasi.

7. Vegetasi

Akumulasi bahan organik dalam jumlah besar pada lingkungan tropis, menyebabkan air yang mengalami penetrasi ke bawah permukaan memiliki pH rendah.

2.3 Batuan Pembentuk Nikel Laterit

Secara umum batuan yang menjadi sumber utama pembentukan nikel laterit yakni batuan ultramafik atau ultrabasa. Batuan ultramafik biasanya dianggap identik dengan batuan ultrabasa, namun kedua istilah ini memiliki perbedaan. Istilah batuan ultramafik digunakan pada kelompok batuan beku yang didasarkan pada komposisi mineral yang didominasi oleh mineral mafik sedangkan istilah batuan ultrabasa merujuk pada batuan beku yang didasarkan pada komposisi kimianya yaitu mengandung < 45% silika (SiO_2) (Downes, 2020). Thayer (1989) mendefinisikan batuan ultramafik sebagai batuan beku dan batuan metamorf yang sebagian besar mineral penyusunnya merupakan mineral mafik (ferromagnesian). Beberapa mineral mafik primer yang sangat penting pada batuan ultramafik adalah olivin, piroksen, hornblend, mika, garnet dan bijih opak. Mineral sekunder yang paling melimpah adalah serpentin, klorit, amfibol, epidot dan magnetit. Adapun definisi dari batuan ultrabasa menurut Bowes (1989) merupakan batuan beku yang mengandung sedikit atau tidak ada mineral feldspar dan memiliki karakteristik yaitu keberadaan satu atau lebih mineral mafik (olivin, piroksen, amfibol) yang melimpah serta secara kimiawi mengandung < 45% SiO_2 .

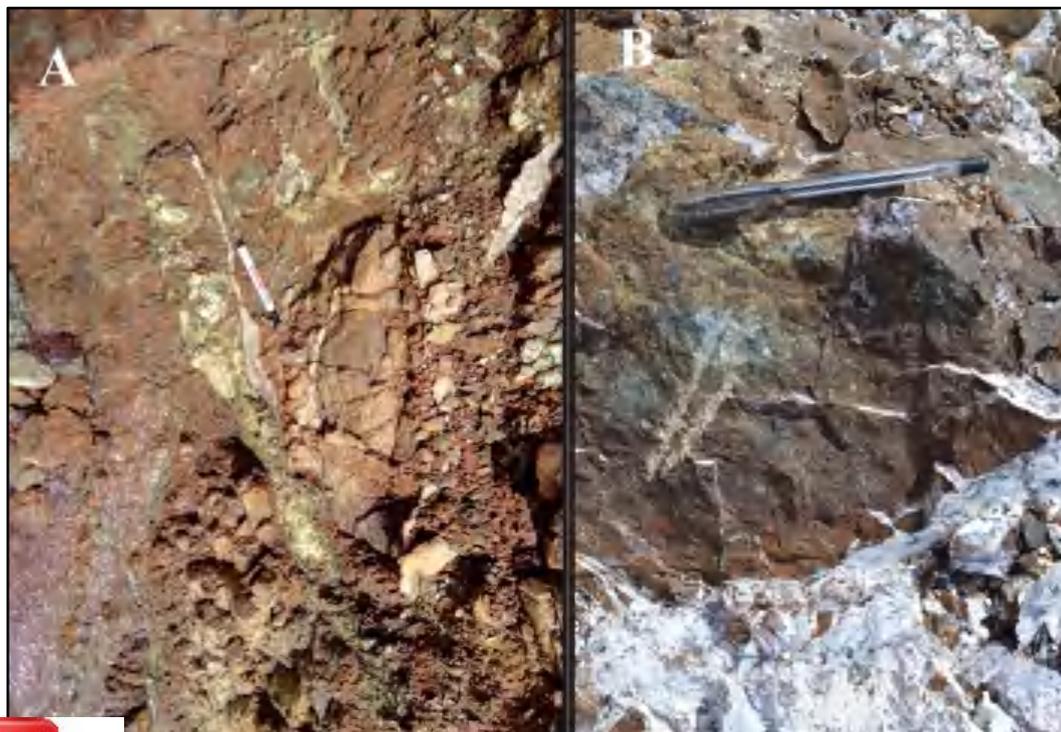
Beberapa batuan dapat dikelompokkan sebagai batuan ultrabasa serta batuan ultramafik, namun beberapa lainnya dapat dikelompokkan sebagai batuan ultrabasa

tidak termasuk dalam kelompok batuan ultramafik dan sebaliknya. Dunit mengandung > 90% olivin (mineral mafik) sehingga dapat dikelompokkan sebagai batuan ultramafik serta memiliki komposisi $\text{SiO}_2 < 45\%$



sehingga juga dapat dikelompokkan sebagai batuan ultrabasa. Namun hal ini tidak berlaku pada batuan seperti piroksenit yang termasuk batuan ultramafik dikarenakan secara mineralogi yang sebagian besar tersusun atas ortopiroksen dan/atau klinopiroksen, namun tidak termasuk batuan ultrabasa karena biasanya memiliki komposisi $\text{SiO}_2 > 45\%$. Batuan ultramafik memiliki indeks warna > 90 , dimana indeks warna mengacu pada persentase mineral mafik seperti olivin dan piroksen yang terkandung dalam batuan (Downes, 2020).

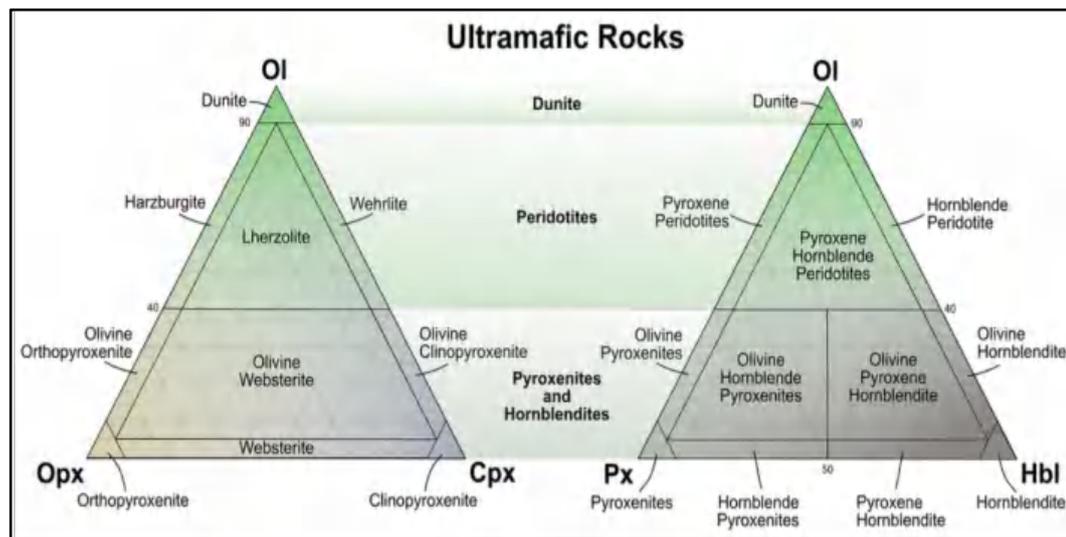
Downes (2020) juga menyebutkan bahwa mineral utama yang sering dijumpai pada batuan ultramafik adalah olivin (*forsterite*; Mg_2SiO_4), ortopiroksen (*enstatite*; Mg_2SiO_6) dan klinopiroksen (diopsid; $(\text{Ca},\text{Mg})_2\text{SiO}_6$), oleh Gill (2010) mineral-mineral ini (olivin, klinopiroksen dan ortopiroksen) disebut sebagai mineral esensial dalam mantel peridotit. Hal ini juga menjadi faktor utama yang menyebabkan dua batuan yang paling umum di mantel adalah peridotit dan piroksenit. Terdapat beberapa mineral aksesori pada batuan ultramafik, yaitu plagioklas, spinel atau garnet dalam peridotit serta garnet, spinel, biotit dan amfibol yang ditemukan pada piroksenit.



6 Batuan dasar yang tersingkap di bagian utara Pomalaa (Hasria, *et al.*, 2021) sebagian besar dari batuan ultramafik dalam kondisi segar akan tersusun terutama oleh mineral *anhydrous*. Ketika mineral *hydrous* seperti mineral

hornblend (*calcic amphibole*) terbentuk pada batuan ultramafik, hal tersebut mengindikasikan bahwa air hadir (baik dalam lelehan atau sebagai fase uap) selama proses kristalisasi. Batuan ultramafik juga dapat mengandung mineral *hydrous* lainnya seperti *phlogopite* dalam jumlah kecil (Gill, 2010).

Dalam klasifikasi batuan ultramafik, dapat menggunakan dua jenis analisis yaitu analisis kuantitatif dan kualitatif. Analisis kuantitatif digunakan dengan melakukan *plotting* pada diagram segitiga (*ternary diagram*) dalam Gill (2010) yang didasarkan pada persentase mineral penyusunnya yang dapat dilihat pada Gambar 7. Batuan dengan komposisi olivin > 40 % secara kolektif dikenal sebagai peridotit (berasal dari kata peridot, nama mineral permata yang merupakan variasi dari mineral olivin). Diagram segitiga tersebut hanya dapat diaplikasikan pada batuan yang mengandung mineral felsik < 10%.



Gambar 7 Klasifikasi IUGS pada batuan ultramafik (Gill, 2010).

