

Kontrol Topografi Terhadap Distribusi Ketebalan dan Pengayaan Nikel Laterit Desa Torete Morowali

Aulya Tiara Putri¹, Muh. Kasim¹, Ninasafitri¹

¹ Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Gorontalo
*e-mail: aulyatiara993@gmail.com

Abstract

This study aims to analyze the influence of slope gradient on the distribution of laterite profile thickness and nickel (Ni) grade in Bungku Pesisir District, Morowali. The research methods include surface geological mapping, petrographic analysis, and geochemical analysis using X-Ray Fluorescence (XRF). The results indicate that slope gradient is the primary controlling factor in the lateritization process. Gentle slopes tend to have thicker laterite profiles, reaching up to 31.2 m at TRT-19, whereas steeper slopes show significantly thinner profiles, approximately 10 m at TRT-35. In addition to morphometric factors, the presence of rock fractures enhances water infiltration, which in turn intensifies the leaching of chemical elements. The distribution of Ni grade reaches its maximum in the saprolite zone due to supergene enrichment processes controlled by groundwater mobility. It is concluded that the interaction between slope morphology and rock structure plays a significant role in controlling the distribution and quality of lateritic nickel deposits in the study area.

Keywords: Nickel Laterit, Slope Inclination, Thickness and Ni Grade

Abstrak

Penelitian ini menganalisis kontrol kemiringan lereng terhadap distribusi ketebalan profil laterit dan kadar nikel (Ni) di Kecamatan Bungku Pesisir, Morowali. Metode penelitian meliputi survei geologi permukaan, analisis petrografi, dan analisis geokimia menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF). Hasil menunjukkan bahwa kemiringan lereng merupakan kontrol utama dalam proses laterisasi; lereng landai memiliki profil lebih tebal (hingga 31,2 m pada TRT-19) dibandingkan lereng curam (10 m pada TRT-35). Selain morfometri, keberadaan rekahan batuan mempercepat infiltrasi air yang memicu pelindian (leaching) unsur kimia. Distribusi kadar Ni mencapai puncaknya pada zona saprolit akibat pengayaan supergen yang dikontrol oleh mobilitas air tanah. Disimpulkan bahwa interaksi antara morfologi lereng dan struktur batuan menentukan distribusi serta kualitas endapan nikel laterit di daerah penelitian.

Kata kunci: Nikel Laterit, Kemiringan Lereng, Ketebalan dan Kadar Ni

1. PENDAHULUAN

Pulau Sulawesi secara tektonik tersusun atas empat mandala utama, yaitu Blok Banggai–Sula, Mandala Tengah, Mandala Timur, dan Mandala Barat sebagaimana dikemukakan oleh Hall & Wilson (2000). Blok Banggai–Sula dicirikan oleh keberadaan batuan sedimen laut, batuan metamorf, serta batuan beku yang berkembang sejak Mesozoikum hingga Kenozoikum. Adapun Mandala Barat didominasi oleh batuan vulkanik dan sedimen berumur Kenozoikum, yang secara tidak selaras ditutupi oleh sedimen laut, satuan sedimen pra-Kenozoikum, batuan metamorf, serta batuan beku ultrabasa. Secara morfologi regional, Ahmad (2006) membagi Sulawesi menjadi empat lengan utama, yaitu Lengan Utara, Lengan Selatan, Lengan Timur, dan Lengan Tenggara. Khusus pada Lengan Timur, susunan batuanya mencerminkan kompleksitas geologi yang tinggi, yang terdiri atas kompleks ofiolit sebagai representasi kerak samudra Pasifik, satuan batuan metamorf yang kemudian tertindih oleh sedimen berumur Mesozoikum hingga Paleogen, serta endapan yang lebih muda berumur Neogen hingga Kuartar. Hubungan tektonik antara Mandala Banggai Sula dan Mandala Sulawesi Timur memainkan peran penting dalam evolusi geologi kawasan ini.

Menurut Guilbert dan Park (1986), istilah laterit berasal dari kata Latin later yang berarti "bata", karena bentuknya menyerupai susunan bata merah (Guilbert & Park, 1986). Hal ini dikarenakan endapan laterit nikel tersusun atas fragmen Batuan yang tersebar dalam matriks, mirip dengan batu bata yang tertanam dalam semen. Endapan laterit nikel terbentuk dari pelapukan lanjut batuan induk ultrabasa yang mengandung peridotit, dunit, dan serpentin. Batuan ini mungkin mengandung unsur Ni-silikat. Karena

iklim tropis-subtropis mendukung pelapukan. Akibat lingkungan yang hangat dan basah, proses Pelapukan pada batuan mencuci unsur-unsur mineral. Proses ini dapat memisahkan unsur nikel, magnesium, dan besi dari satu sama lain. Dalam proses pelapukan, kandungan nikel dalam setiap batuan asal ultramafik lebih dari 0,3%. Selama proses pelapukan, unsur nikel akan larut dan turun ke bawah ke tanah, berhenti di daerah yang tidak dapat lagi diserap air (bedrock). Proses ini terjadi secara berkala hingga unsur nikel (Sufriadin et al., 2011).

Berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Bungku pada lokasi penelitian masuk kedalam Kompleks ultramafik (Ku) yang termasuk gabro, diabas, dunit, lherzolit, wehrilit, websterit, serpentinit, dan harzburgit. Perhaluan mineral harzburgit padat, pejal, dan berwarna hijau sampai kehitaman. Mineral yang tersusun dan halus sampai kasar terdiri dari olivin (sekitar 55%) dan piroksen (sekitar 35%), serta mineral serpentin yang berasal dari ubahan olivin dan piroksen (sekitar 10%). Struktur, aliran, dan posisi permukaan air tanah mengindikasikan bahwa topografi memiliki peranan yang signifikan dalam pembentukan endapan nikel laterit. Endapan nikel laterit yang memiliki kadar tinggi cenderung terbentuk di bukit, crest, spur, plateau, dan terrace di daerah yang memiliki relief tinggi. Secara umum, profil permukaan air tanah yang baik berada di posisi topografi rendah yang didukung oleh adanya struktur patahan atau kekar, yang mempengaruhi laju leaching atau pencucian larutan, sehingga konsentrasi Ni sebagian besar hanyalah residu dan sedikit yang terakumulasi. Di daerah curam, aliran air juga berkurang, yang mempengaruhi laju leaching dan pencucian larutan (Waheed, 2009). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa proses hidrolisis geokimia mempengaruhi distribusi, akumulasi, dan kadar endapan nikel laterit. Ketebalan endapan akan berbeda-beda tergantung pada kemiringan topografi. Variasi kemiringan lereng menyebabkan perbedaan kondisi lingkungan pembentukan. Jika nilai presentase kemiringan lereng dibandingkan dengan kestabilan pembentukan zona endapan nikel laterit atau horizon, maka ketebalan zona limonit akan cenderung berbanding terbalik dengan kondisi kemiringan topografi, hal ini disebabkan oleh fakta bahwa daerah dengan kemiringan curam cenderung mengalami proses pengikisan yang intens, sehingga tidak terakumulasi dalam jumlah besar untuk membentuk zona limonit. Daerah landai dengan kemiringan antara 0 dan 35% memiliki kemungkinan yang lebih kecil untuk membentuk zona endapan nikel laterit secara keseluruhan; meskipun ini tidak sepenuhnya tidak mungkin, itu juga tidak menutup kemungkinan untuk membentuk zona atau horizon secara keseluruhan. Tempat lain dengan kemiringan lereng antara 18 dan 52% memiliki kemungkinan yang besar zona endapan nikel laterit terbentuk secara umum (Syafrizal, 2009). Topografi serta variasi relief permukaan memiliki peranan yang sangat signifikan dalam mengontrol laju pelapukan dan akumulasi material residu. Di sisi lain, proses laterisasi juga berkontribusi dalam membentuk lanskap dengan karakteristik yang khas dan berbeda dari kondisi geomorfologi pada umumnya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji hubungan antara kemiringan lereng terhadap distribusi ketebalan endapan nikel laterit serta variasi kadar Ni berdasarkan metodologi dan analisis yang diterapkan di lokasi penelitian. Secara spesifik, studi ini diarahkan untuk mengidentifikasi kondisi geologi regional maupun lokal, menganalisis bagaimana pola sebaran ketebalan endapan nikel laterit dipengaruhi oleh morfologi lereng, serta mengevaluasi pengaruh tingkat kemiringan lereng tersebut terhadap pengayaan maupun distribusi kadar Ni di daerah penelitian. Melalui pendekatan ini, diharapkan korelasi antara parameter geomorfologi dan karakteristik endapan dapat dipahami secara komprehensif untuk mendukung efektivitas eksplorasi nikel laterit. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat signifikan dalam meningkatkan pemahaman mengenai distribusi ketebalan endapan nikel laterit berdasarkan kondisi morfologi, yang menjadi kunci dalam identifikasi area potensial untuk kegiatan penambangan. Secara praktis, hasil studi ini ditujukan untuk mempermudah kegiatan eksplorasi serta meningkatkan efisiensi operasional bagi pihak perusahaan maupun pemangku kepentingan lainnya. Agar kajian tetap fokus dan mendalam, penelitian ini dibatasi pada evaluasi kondisi geologi melalui survei lapangan yang mencakup analisis litologi, struktur geologi, dan geomorfologi di wilayah Desa Torote. Pembahasan akan menitikberatkan pada pengaruh kemiringan lereng (morfometri) terhadap distribusi ketebalan serta kadar Ni, dengan memanfaatkan integrasi data lapangan, Digital Elevation Model (DEM), serta hasil core drilling yang meliputi data logging, geokimia XRF, dan petrografi megaskopis. Selain itu, analisis sebaran ketebalan hanya difokuskan pada lapisan limonit dan saprolit guna memahami secara spesifik bagaimana dinamika kemiringan lereng memengaruhi pembentukan kedua lapisan tersebut.

2. METODE

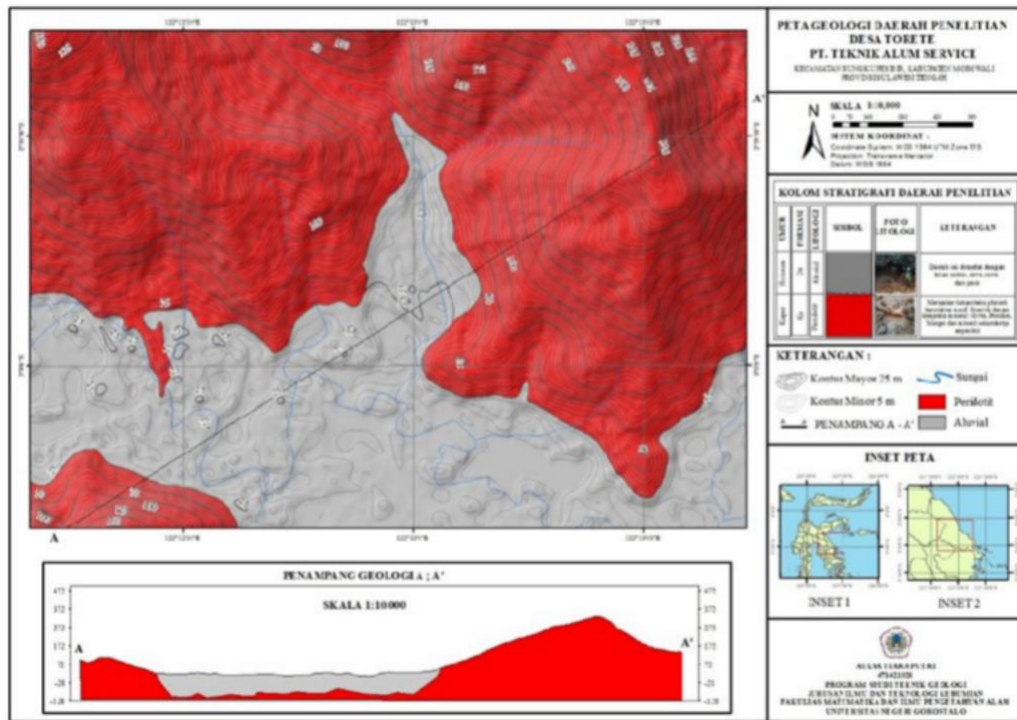
Secara umum, penelitian ini menggunakan beberapa metode yang saling mendukung, meliputi pengamatan langsung di lapangan berupa survei geologi, logging inti bor, serta analisis geokimia untuk mengetahui kandungan unsur kimia batuan menggunakan metode X-Ray Fluorescence (XRF). Penelitian ini memanfaatkan data dari 22 titik bor dan 19 stasiun pengambilan sampel batuan yang tersebar pada area penelitian sebagai dasar analisis karakteristik litologi dan sebaran mineralisasi. Untuk mengetahui jenis dan karakteristik batuan penyusun, dilakukan pula analisis petrografi pada sampel terpilih. Selain data primer, penelitian ini juga didukung oleh data sekunder dari studi terdahulu yang relevan guna memperkuat interpretasi hasil penelitian. Tahapan penelitian meliputi persiapan, studi pendahuluan, pengambilan data lapangan, analisis dan pengolahan data, hingga penyusunan laporan akhir atau penulisan skripsi.

Metodologi pengolahan data dimulai dengan analisis data DEMNAS menggunakan perangkat lunak QGIS untuk menghasilkan peta kemiringan lereng yang diklasifikasikan berdasarkan standar Van Zuidam (1985). Data spasial tersebut kemudian diintegrasikan dengan data logbor menggunakan metode interpolasi Inverse Distance Weighted (IDW) untuk memodelkan sebaran kontinu kadar nikel (Ni) dan ketebalan profil laterit di seluruh area penelitian. Selanjutnya, dilakukan pembuatan peta isopach menggunakan software pengolahan data guna mengidentifikasi ketebalan lapisan limonit dan saprolit, yang dilengkapi dengan penampang melintang pada setiap titik bor representatif. Melalui teknik overlay dan korelasi analisis geokimia XRF, penelitian ini secara kuantitatif mengevaluasi hubungan antara morfometri lereng dengan zona akumulasi bijih serta proses pengkayaan nikel pada profil laterit. Setelah data DEMNAS dikumpulkan, yang berfungsi sebagai data pendukung, proses pengolahan data kemiringan lereng dimulai. Selanjutnya, kemiringan lereng daerah penelitian diukur dengan mengolah data DEMNAS menggunakan QGIS. Setelah melewati lereng daerah penelitian ini, pembicaraan pemfokusan dilakukan di lereng blok penelitian. Selanjutnya, perangkat lunak QGIS digunakan untuk mengolah data kemiringan lereng untuk membuat peta kemiringan lereng dengan menghubungkan data kemiringan lereng blok penelitian dengan data logbor. Selanjutnya, pembuatan peta isopach dilakukan untuk mengetahui ketebalan lapisan saprolit dan limonit dengan menggunakan software Pengolah data. Setiap peta memiliki penampang yang ditarik untuk mengetahui bentuk ketebalan endapan nikel laterit yang dipengaruhi oleh kemiringan lereng daerah penelitian. Dengan menggunakan penampang ini, perwakilan dari setiap titik bor yang mewakili kemiringan pada blok penelitian dapat ditarik, dan kemudian dihubungkan dengan hasil analisis geokimia XRF untuk mengetahui pada lapisan mana proses pengkayaan kadar nikel terjadi dan jenis lateritnya. Penelitian ini juga menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode Sistem Informasi Geografis (SIG). Analisis spasial dilakukan untuk mengkorelasikan variabel kemiringan lereng hasil ekstraksi data DEMNAS dengan distribusi ketebalan profil laterit dan kadar nikel (Ni). Klasifikasi geomorfologi dilakukan berdasarkan standar Van Zuidam (1985) menggunakan teknik reclassify pada perangkat lunak ArcGIS, yang kemudian dilakukan overlay dengan data titik bor untuk mengidentifikasi zona akumulasi bijih yang paling potensial secara topografis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Geologi daerah penelitian mengacu pada Sandi Stratigrafi Indonesia (1996) dengan menggunakan sistem penamaan litostratigrafi tidak resmi. Penentuan satuan batuan dilakukan berdasarkan karakteristik litologi yang dapat diamati secara langsung di lapangan, meliputi jenis litologi, asosiasi atau kombinasi batuan, tingkat keseragaman, serta berbagai kenampakan lain yang terdapat pada tubuh batuan. Selain itu, interpretasi juga mempertimbangkan prinsip-prinsip dasar geologi seperti hukum superposisi dan hubungan potong-memotong (*cross-cutting relationship*). Berdasarkan peta geologi Lembar Bungku yang disusun oleh Rusmana dkk. (1993), daerah penelitian termasuk ke dalam kompleks batuan ultramafik dan satuan aluvial. Interpretasi ini didukung oleh hasil pengamatan megaskopis di lapangan, di mana pada wilayah kompleks ultramafik dijumpai litologi yang didominasi oleh batuan peridotit sebagai penciri utamanya. Dari hasil pengumpulan dan analisis data lapangan, geologi daerah penelitian secara umum dapat dibagi menjadi dua satuan batuan utama, yang diurutkan dari tua ke muda, yaitu Satuan Peridotit dan Satuan Aluvial. Pembagian ini didasarkan pada pengamatan karakter fisik litologi di lapangan, hubungan stratigrafi antar satuan batuan, serta didukung oleh kajian

literatur yang relevan. Hasil interpretasi tersebut kemudian disajikan dalam bentuk peta geologi daerah penelitian dengan skala 1:10.000, yang dilengkapi dengan kolom stratigrafi umum untuk menggambarkan hubungan vertikal antar satuan batuan.



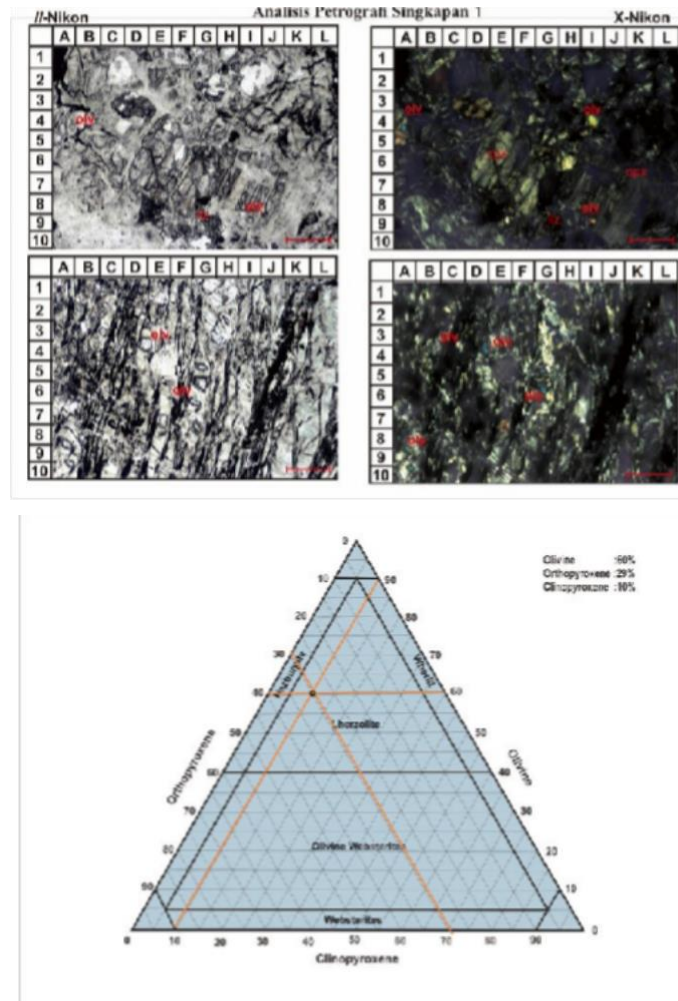
Gambar 1. Peta Geologi Daerah Penelitian

Satuan Peridotit merupakan satuan batuan tertua yang dijumpai di daerah penelitian berdasarkan interpretasi stratigrafi regional, yang termasuk dalam Mandala Timur Sulawesi dan dicirikan oleh keberadaan batuan ultramafik. Satuan ini memiliki sebaran yang dominan, yaitu sekitar ±80% dari keseluruhan luas wilayah penelitian. Dalam peta geologi daerah penelitian, satuan ini direpresentasikan dengan warna merah sebagai penanda utama.



Gambar 2. Kenampakan Singkapan Batuan Peridotit Daerah Penelitian

Berdasarkan pengamatan megaskopis terhadap fisik dan komposisi mineral menggunakan loupe satuan ini memperlihatkan warna segar hijau kehitaman dan lapuk berwarna hitam. Holokristalin, Faneritik dengan bentuk kristal euhedral subhedraal dengan keseragaman butir yang inequigranular. Memiliki komposisi mineral berupa olivin dan serpentin. Serta kehadiran mineral goethite dan hematite pada permukaan singkapan sebagai tanda bahwa proses laterisasi sementara berlangsung.

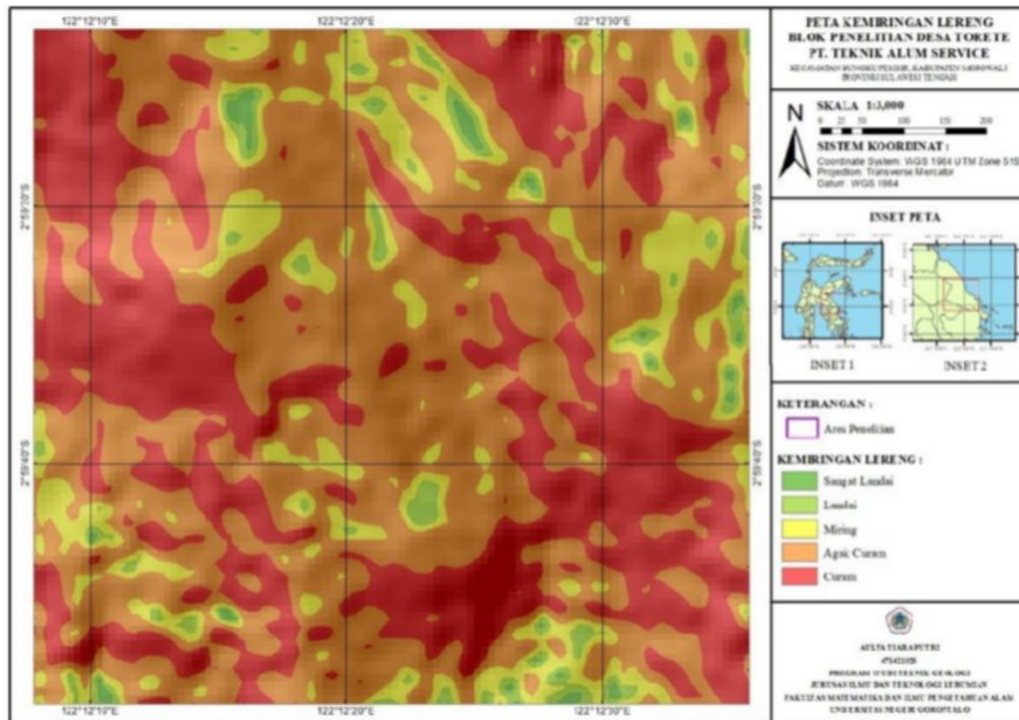


Gambar 4. Fotomikrografi sayatan tipis Singkapan 1 menggunakan mikroskop polarisasi nikol sejajar (PPL) dan nikol silang (XPL), serta diagram klasifikasi batuan ultramafik berdasarkan persentase mineral olivin, ortopiroksen, dan klinopiroksen.

Secara petrografi, sayatan batuan ini memperlihatkan mineral olivin tertanam pada masa dasar serpentin. Kenampakan mineral olivin diwakili oleh olivin jenis forsterit (25%), orthopyroxene jenis enstatit (17%), clinopyroxene jenis augite (1%) dan Opak (2%). Mineral hasil serpentinisasi berupa antigorit (58%) dan lizardit (7%). Berdasarkan pengamatan petrografi batuan ini merupakan batuan peridotit jenis hazburgite terserpentinisasi tinggi berdasarkan diagram Alex Streikeisen batuan ultramafik dan klasifikasi jenis serpentinisasi Abbas dan Maulana (2021).

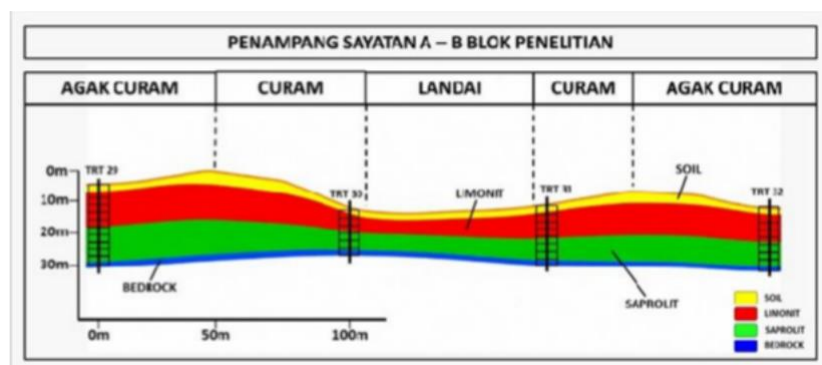
Kondisi kemiringan lereng merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses laterisasi menurut Ahmad (2009) bentuk lereng suatu daerah sangat mempengaruhi ketebalan endapan nikel laterit. Dimana dari perbedaan bentuk lereng dapat ditentukan ketebalan endapan nikel laterit yang terdapat pada daerah tersebut. Berdasarkan hasil analisis ketebalan laterit di daerah penelitian, diperoleh hubungan bahwa wilayah dengan kemiringan lereng yang curam cenderung memiliki ketebalan laterit yang lebih tipis. Sebaliknya, pada daerah dengan nilai kemiringan lereng yang rendah atau relatif landai, ketebalan laterit umumnya lebih besar. Kondisi ini dipengaruhi oleh pergerakan air di permukaan. Pada daerah datar hingga landai, aliran air berlangsung lebih lambat sehingga memberikan waktu yang lebih lama bagi air untuk meresap ke dalam tanah dan mencapai bagian bawah permukaan. Proses ini mendukung terjadinya pelapukan yang lebih intensif serta pembentukan profil laterit yang lebih tebal. Sebaliknya, pada lereng yang curam, sebagian besar air hujan akan mengalir sebagai limpasan permukaan dibandingkan meresap ke dalam tanah. Secara teoritis, jumlah air yang mengalir di permukaan lebih dominan daripada yang mengalami infiltrasi, sehingga proses pelapukan kimia menjadi

kurang optimal. Akibatnya, perkembangan dan ketebalan laterit di daerah dengan kelergan tinggi cenderung terbatas.



Gambar 5 Peta Kemiringan Lereng Daerah Penelitian

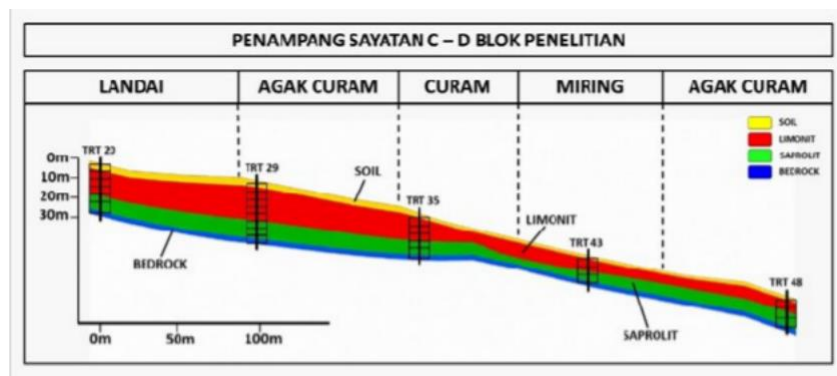
Hasil pengamatan lapangan menunjukkan bahwa pada lereng dengan kemiringan sangat landai ($0-2^\circ$), tidak ditemukan perkembangan proses denudasi maupun erosi. Kondisi ini umumnya ditandai oleh penutupan vegetasi yang baik di daerah penelitian. Pada lereng landai dengan kemiringan $2-7^\circ$, kondisi geomorfologinya relatif serupa, di mana proses denudasional maupun erosi juga tidak berkembang. Area ini pada umumnya masih memiliki vegetasi yang menutupi permukaan lahan secara cukup rapat. Memasuki lereng dengan kemiringan $7-15^\circ$ (lereng miring), mulai terlihat adanya indikasi proses denudasi atau erosi yang berkembang. Meskipun demikian, kondisi vegetasi di wilayah ini masih tergolong tertutup sehingga dapat mengurangi intensitas erosi yang terjadi. Pada lereng agak curam dengan kemiringan $15-40^\circ$, proses denudasi dan erosi tampak lebih berkembang dibandingkan dengan kelas lereng sebelumnya. Selain itu, pada zona ini vegetasi yang menutupi permukaan relatif berkurang atau tidak tertutup secara merata, sehingga meningkatkan potensi terjadinya erosi. Sementara itu, pada lereng curam dengan kemiringan lebih dari 40° , dijumpai bentuk erosi berupa erosi alur (rill erosion) meskipun intensitasnya tidak terlalu tinggi. Proses ini terjadi akibat pengikisan material tanah oleh aliran air permukaan. Meskipun demikian, pada beberapa bagian lereng curam di daerah penelitian masih dijumpai penutupan vegetasi yang cukup baik.



Gambar 6. Penampang Sayatan A - B Blok Penelitian

Berdasarkan penampang A – B ketebalan pada TRT-31 sampai TRT-32 menunjukkan kondisi ketebalan horison endapan nikel laterit yang berbeda beda. Dimana, pada drillhole TRT-31 – TRT-32 dengan ketinggian 177 - 200 mdpl merupakan daerah dengan kemiringan lereng dari miring sampai ke agak curam terdiri dari lapisan limonit kurang dari 4 meter dan saprolit kurang dari 13 meter. Pada drillhole ini terjadi perubahan ketebalan, hal ini dipengaruhi oleh keberadaan drillhole yang berada di area punggung sehingga berkesesuaian dengan (Asyrowi F,2024) yang menjelaskan bahwa secara geologi diketahui area punggung batuan asal memiliki banyak rekahan yang disebabkan oleh gaya tektonik.

Drillhole TRT-30 dengan ketinggian 168 mdpl merupakan daerah dengan kemiringan yang landai terdiri dari lapisan limonit kurang dari 2 meter dan saprolit kurang dari 12 meter. Pada drillhole ini proses transportasi air terjadi secara lambat sehingga proses pelapukan dan pelarutan terjadi secara instan dan sangat baik. Drillhole TRT-29 dengan ketinggian 209 mdpl merupakan daerah dengan kemiringan lereng dari miring terdiri dari lapisan limonit kurang dari 7 meter dan saprolit kurang dari 22 meter. Pada drillhole ini mengalami penebalan pada lapisan saprolit yang dipengaruhi oleh keberadaan drillhole yang berada di area punggung dimana secara geologi diketahui bahwa area punggung batuan asal memiliki banyak rekahan yang disebabkan oleh gaya tektonik.



Gambar 7. Penampang Sayatan C - D Blok Penelitian

Sedangkan pada penampang C – D dengan drill hole TRT-29 sampai TRT-35 menunjukkan ketebalan yang berbeda. Dimana pada drillhole TRT 35 dan merupakan daerah curam dengan kedalaman 10 meter. Hal ini dikarenakan proses transportasi air yang mengalir diatas permukaan cepat sehingga memiliki sedikit kesempatan air untuk masuk kedalam tanah, dari proses masuknya air kedalam tanah yang buruk maka mempengaruhi proses pelapukan dan proses pelarutan sehingga akan mempengaruhi ketebalan lapisan ini. Hal ini diperkuat dengan pengurangan hingga tidak hadirnya dari lapisan limonit yang diakibatkan proses erosi yang kuat pada lereng yang curam. Drillhole TRT-20 – TRT-29 dengan ketinggian 206-207 mdpl merupakan daerah dengan kemiringan lereng agak landai – agak curam. Pada drillhole ini mengalami penebalan pada lapisan saprolit yang dipengaruhi oleh keberadaan drillhole yang berada di area punggung dimana secara geologi diketahui bahwa area punggung batuan asal memiliki banyak rekahan yang disebabkan oleh gaya tektonik. Drillhole TRT-43 berada pada ketinggian 250 mdpl dengan kemiringan yang miring dimana pada lapisan ini mengalami penipisan pada zona saprolit yang diakibatkan oleh proses transportasi air pada permukaan terjadi secara lambat sehingga mempengaruhi proses pelapukan sehingga lebih banyak mineral yang teroksidasi menjadi lapisan limonit. Drillhole TRT 48 berada pada ketinggian 280 mdpl dengan kemiringan yang agak curam dimana pada lapisan tidak terjadi proses pelapukan secara baik sehingga ketebalan saprolit sedikit dibandingkan ketebalan lainnya.

Berdasarkan analisis hubungan kemiringan lereng terhadap kadar Ni, maka digunakan perwakilan dari lereng sangat landai (0-2°) berdasarkan rata-rata kadar Ni pada lereng tersebut. Rata-rata kadar Ni mengacu pada tingkat kadar low dan high. Drillhole TRT-19 dan TRT-20 sebagai titik perwakilan dari kemiringan lereng yang landai. Unsur yang digunakan yaitu Ni, terlihat terlihat pada daerah sangat landai memiliki kedalaman 31,2 dan 22,5 meter dengan rata-rata kadar Ni 1,05% dan 1,21%. Berdasarkan analisis hubungan kemiringan lereng terhadap kadar Ni, maka digunakan perwakilan dari lereng landai (2-7°) berdasarkan rata-rata kadar Ni pada lereng tersebut. Rata-rata kadar

Ni men²o gacu pada tingkat kadar low , medium dan high. Drillhole TRT-43 dan TRT-49 sebagai titik perwakilan dari kemiringan lereng yang sedikit landai. Berdasarkan analisis hubungan kemiringan lereng terhadap kadar Ni, maka digunakan perwakilan dari Miring (7-15°) berdasarkan rata-rata kadar Ni pada lereng tersebut. Rata-rata kadar Ni mengacu pada tingkat kadar low , medium dan high. Unsur yang digunakan yaitu Ni, terlihat terlihat pada daerah sedikit landai memiliki kedalaman 11 dan 10 meter dengan rata-rata kadar Ni 1,05% dan 1,14%. Berdasarkan analisis hubungan kemiringan lereng terhadap kadar Ni, maka digunakan perwakilan dari lereng agak curam (15-40°) berdasarkan rata-rata kadar Ni pada lereng tersebut. Rata-rata kadar Ni mengacu pada tingkat kadar low , medium dan high Drillhole TRT- 21, 30, dan 34 sebagai titik perwakilan dari kemiringan lereng yang agak curam. Unsur yang digunakan yaitu Ni, terlihat terlihat pada daerah sangat landai memiliki kedalaman 20, 36 45 dan 7,1 meter dengan rata-rata kadar Ni 0,94%, 0,97%, dan 0,68%. Berdasarkan analisis hubungan kemiringan lereng terhadap kadar Ni, maka digunakan perwakilan dari lereng Curam (>40°) berdasarkan rata-rata kadar Ni pada lereng tersebut. Rata-rata kadar Ni mengacu pada tingkat kadar low , medium dan high.

Drillhole TRT 37, 45, 42, dan 35 sebagai titik perwakilan dari kemiringan lereng yang curam. Unsur yang digunakan yaitu Ni, terlihat terlihat pada daerah curam memiliki kedalaman 20, 42, 12, dan 10 meter dengan rata-rata kadar Ni 0,39%, 0,41%, 0,44%, dan 0,25.

Berdasarkan uraian mengenai drillhole perwakilan tiap-tiap kemiringan lereng dapat ditarik kesimpulan bahwa proses pengkayaan (enrichmen) unsur Ni mengalami kenaikan konsentrasi di lapisan saprolit. Selain itu terjadi pengkayaan pada lereng curam, hal ini didukung oleh faktor retakan pada daerah lereng curam dimana tekanan pada batuan induk sering kali lebih tinggi karena gaya gravitasi dan tegangan mekanis. Faktor tersebut menyebabkan retakan yang memfasilitasi pergerakan air dan prose pelapukan kimia sehingga terjadi proses pengkayaan unsur Ni. Hal ini diperkuat dengan lokasi drillhole yang terletak di Barat Laut daerah penelian yang merupakan arah tegasan umum kelurusan daerah penelitian. Kelimpahan kadar Ni pada daerah penelitian masuk kategori medium grade tetapi bisa dikatakan pada kemiringan yang landai high grade karena kadar Ni yang bervariasi kelimpahannya. Berdasarkan penjelasan tersebut daerah penelian sangat ekonomis untuk dilakukan pengolahan lebih lanjut.

Hubungan Geomorfologi (Van Zuidam) dan Lateritisasi Secara teoretis, pembentukan profil nikel laterit (limonit dan saprolit) sangat bergantung pada drainase dan stabilitas lereng. Klasifikasi Van Zuidam memberikan batasan kuantitatif yang jelas untuk memetakan zona mana yang secara geomorfologis paling stabil untuk menyimpan akumulasi nikel.

Alasan Penulis Menggunakan Klasifikasi Ini yaitu Relevansi Terhadap Proses Pengayaan Supergen Penulis memilih klasifikasi Van Zuidam karena pembagian persentasenya sensitif terhadap perubahan proses erosi dan infiltrasi. Pada kemiringan kelas 2 dan 3 (2-15%), air permukaan bergerak cukup lambat untuk meresap ke dalam rekahan batuan peridotit, membawa larutan nikel ke bawah dan mengendapkannya kembali. Jika lereng terlalu datar (Kelas 1), air cenderung jenuh dan stagnan, yang menghambat mobilitas unsur. Identifikasi Zona Akumulasi Ketebalan dengan menggunakan parameter Van Zuidam, penelitian ini dapat membedakan antara Zona Transportasi: Lereng curam (>15%) di mana material kadar tinggi tercuci dan berpindah ke tempat yang lebih rendah. Zona Deposisi/Akumulasi: Lereng landai hingga miring (2-15%) di mana ketebalan bijih nikel biasanya mencapai titik maksimal (puncak profil laterit).

Tabel 1. Normalisasi mineral primer Batuan Peridotit

Normalisasi mineral primer

Dik: Olivin (Olv) = 25%, Ortopirosin (Opx) = 17% dan Clinopirosen (Cpx) = 5%. Total keseluruhan (JM): 47%

Dit: Olv dan Opx...?

Peny: $N = \frac{J_n}{JM} \times 100$

OL...? $N = 25/47 \times 100\%$ =60 %	Opx...? $N = 17/36 \times 100\%$ = 29%	Cpx...? $N = 5/47 \times 100\%$ =10%
---	--	--

4. KESIMPULAN

Kondisi geologi daerah penelitian dicirikan oleh batuan dasar peridotit dan endapan aluvial yang membentuk bentang alam dataran hingga perbukitan dengan variasi kemiringan lereng antara 0° hingga 55°. Dinamika geomorfologi wilayah ini dikontrol oleh struktur aktif, proses pelapukan batuan ultramafik. Analisis menunjukkan adanya korelasi signifikan antara morfometri lereng dengan karakteristik endapan, di mana area landai memicu pembentukan profil laterit yang lebih tebal mencapai 32 meter pada titik TRT-19 dibandingkan area terjal seperti pada titik TRT-35 yang hanya setebal 10 meter. Fenomena ini dipengaruhi oleh peran kemiringan lereng dan densitas rekahan batuan dalam mengatur infiltrasi air, yang selanjutnya memfasilitasi proses pelindian (leaching) serta pengayaan unsur Ni secara optimal pada zona saprolit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah membantu penyelesaian penelitian ini, khususnya kepada Pihak Perusahaan (PT. Teknik Alum Service, Kabupaten Morowali) Terima kasih atas kesempatan, izin, dan dukungan fasilitas yang diberikan selama pelaksanaan penelitian lapangan. Data dan bantuan teknis dari tim di lapangan sangat berperan penting dalam keberhasilan analisis distribusi nikel laterit ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, W. (2006). *Laterites : Fundamentals of chemistry, mineralogy, weathering processes an laterite formation. Itsl Inco, January, 212.*
- Ahmad, Waheed. 2006. *Nickel Laterite : Fundamentals Of Chemistry, Mineralogy Weathering Processes AND Laterite Formation. Property of PT.INCO dor Laterite Ore Manual.*
- Guilbert, J. M., & Park, C. F. (1986). *The Geology of Ore Deposits. New York: W.H. Freeman and Company.*
- Hall, R., & Wilson, M. E. J. (2000). *Neogene sutures in eastern Indonesia. Journal of Asian Earth Sciences, 18(6), 781–808.https://doi.org/10.1016/S1367-9120(00)00040-7*
- Rusmana, E., Sukindo, D. Sukarna, E. Suryono, Simanjuntak T.O, (1993). Peta Geologi Lembar Lasusua, Skala 1 : 250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Simandjuntak, T. O., Rusmana, E., Surono, & Supandjono, J. B. (1993). Peta Geologi Lembar Bungku, Sulawesi Tengah (Skala 1:250.000). Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Surono., 2013. Geologi Lengan Tenggara Sulawesi, Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Bandung.
- Syafrizal, M. Nur Heriawan, Sudarto Notosiswoyo, Komang Anggayana Jogi F. Samosir., 2009. Hubungan Kemiringan Lereng Dan Morfologi Dalam Distribusi Ketebalan Horizon Laterit Pada Endapan Nikel Laterit : Studi Kasus Endapan Nikel Laterit Di Pulau Gee Dan Pulau Pakal, 79 Halmahera Timur, Maluku Utara. JTM Vol. XVI No. 3/2009 Baliara Kecamatan Kabaena Barat Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara, Universitas Nusa Cendana: Kupang.
- Van Zuidam, R. A. (1985). *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).*
- Waheed, A., 2009. *Laterites Fundamentals of chemistry, mineralogy, wathering, processes and laterite formation unpublished*
- Sandi Stratigrafi Indonesia. (1996). *Sandi Stratigrafi Indonesia. Jakarta: Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI).*

- Sufriadin, S., et al. (2011). *Geokimia dan pembentukan endapan nikel laterit*. Jakarta: Penerbit Geosains.
- Syafrizal. (2009). *Karakteristik endapan nikel laterit berdasarkan kondisi geomorfologi*. Yogyakarta: UGM Press.
- Van Zuidam, R. A. (1985). *Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*. The Hague: ITC.