

SKRIPSI

**ESTIMASI DAN PEMODELAN SUMBERDAYA TERUKUR
NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN METODE *INVERSE
DISTANCE WEIGHTED* PADA PT. LAWU AGUNG MINING
KABUPATEN KONAWE UTARA PROVINSI SULAWESI
TENGGERA**

Disusun dan diajukan oleh:

**MEIVYA DWI TUMBA
D061 18 1511**



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

SKRIPSI

ESTIMASI DAN PEMODELAN SUMBERDAYA TERUKUR NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN METODE *INVERSE DISTANCE WEIGHTED* PADA PT. LAWU AGUNG MINING KABUPATEN KONAWE UTARA PROVINSI SULAWESI TENGGARA

Disusun dan diajukan oleh:

MEIVYA DWI TUMBA
D061 18 1511



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023

LEMBAR PENGESAHAN**ESTIMASI DAN PEMODELAN SUMBERDAYA TERUKUR NIKEL
LATERIT MENGGUNAKAN METODE INVERSE DISTANCE
WEIGHTED PADA PT. LAWU AGUNG MINING KABUPATEN
KONAWA UTARA PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

Disusun dan Diajukan Oleh

MEIVYA DWI TUMBA

D061 18 1511


Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 10 Agustus 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,


Pembimbing Pendamping,


Prof. Dr. Eng. Ir. Asri Java HS, S.T., M.T., IPM
NIP. 19690924 199802 1 001


Dr. Ir. Musri Mawaleda, M.T
NIP. 19611231 198903 1 019

Mengetahui,

**Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**


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



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Meivya Dwi Tumba
NIM : D061 18 1511
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Estimasi Dan Pemodelan Sumberdaya Terukur Nikel Laterit Menggunakan Metode *Inverse Distance Weighted* Pada PT. Lawu Agung Mining Kabupaten Konawe Utara Provinsi Sulawesi Tenggara

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, 21 Agustus 2023

Menyatakan



Meivya Dwi Tumba

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa memberikan limpahan, kasih, dan berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul **“Estimasi Dan Pemodelan Sumberdaya Terukur Nikel Laterit Menggunakan Metode *Inverse Distance Weighted* Pada PT. Lawu Agung Mining Kabupaten Konawe Utara Provinsi Sulawesi Tenggara”** dengan lancar tanpa ada halangan suatu apapun. Oleh karena kasih penyertaan-Nya, laporan skripsi ini dapat selesai tepat pada waktunya.

Laporan skripsi ini dibuat sebagai suatu langkah untuk menyelesaikan strata satu pada Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penyusunan laporan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Asri Jaya HS, S.T., M.T., IPM sebagai Penasehat Akademik dan Dosen Pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga selama memberikan bimbingan dalam pengerjaan laporan ini.
2. Bapak Dr. Ir. Musri Mawaleda, M.T sebagai Dosen Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga selama memberikan bimbingan dalam pengerjaan laporan ini.
3. Bapak Prof. Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T., IPM selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran bagi penulis untuk menyempurnakan laporan skripsi ini.
4. Bapak Ilham Alimuddin, S.T., M.GIS., Ph.D selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran bagi penulis untuk menyempurnakan laporan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M. Eng, selaku Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bimbingannya selama ini.
7. Bapak dan Ibu Staf Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu.

8. Bapak Indra Bedawar, *Head Department of Engineering* PT. Lawu Agung Mining, selaku Pembimbing Lapangan yang telah membimbing penulis selama masa kerja praktek
9. Ibu Annisa Rachmat, *Head of Exploration Division* PT. Lawu Agung Mining, selaku Pembimbing Lapangan yang telah mengarahkan dan membimbing penulis selama masa kerja praktek.
10. Kakanda Citra Aryani Anwar, *Head of Mine Plan Division* PT. Lawu Agung Mining, selaku Pembimbing Lapangan yang telah mengarahkan dan membimbing penulis selama masa kerja praktek.
11. Kedua Orang Tua yang tak henti-hentinya mendoakan dan mendukung penulis dalam segala hal sehingga dapat menyelesaikan laporan skripsi ini.
12. Opa dan Oma yang juga selalu mendoakan dan mendukung penulis.
13. Seluruh rekan-rekan Mahasiswa Geologi Unhas, terkhusus pada angkatan 2018 Xenolith yang telah banyak memberikan dukungan kepada penulis.
14. Didi Prasetia dan Samuel Elnas, yang telah meluangkan waktu untuk berdiskusi dalam penyelesaian laporan skripsi ini.

Penulis menyadari banyaknya ketidaksempurnaan yang terdapat pada tulisan ini. Olehnya itu penulis sangat mengaharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak. Akhir penulis memohon maaf kepada para pembaca sekalian, semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun bagi pihak yang berkepentingan.

Gowa, Agustus 2023

Penulis

ABSTRAK

MEIVYA DWI TUMBA. *Estimasi Dan Pemodelan Sumberdaya Terukur Nikel Laterit Menggunakan Metode Inverse Distance Weighted Pada PT. Lawu Agung Mining Kabupaten Konawe Utara Provinsi Sulawesi Tenggara* (dibimbing oleh Asri Jaya HS dan Musri Mawaleda)

Secara administratif daerah penelitian termasuk dalam Daerah Mandiodo Kecamatan Molawe Kabupaten Konawe Utara Provinsi Sulawesi Tenggara. Secara astronomis, terletak pada 122°15'5" BT - 122°12'14" BT dan 3°33'10" LS - 3°33'20" LS. Dalam penambangan nikel laterit diperlukan estimasi untuk dapat menghitung sumberdaya sebelum proses penambangan berlangsung karena semua keputusan teknis yang berhubungan dengan kegiatan penambangan sangat tergantung pada jumlah sumberdaya mineral. Dengan demikian perhitungan sumberdaya merupakan hal yang penting pada evaluasi suatu kegiatan penambangan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat pemodelan sebaran nikel laterit pada daerah penelitian dan menentukan sumberdaya terukur nikel laterit pada daerah penelitian.

Metode yang digunakan pada penelitian ini ialah metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) yang digunakan dalam penentuan distribusi dan estimasi sumber daya terukur Ni laterit.

Dari hasil pemodelan dan analisis yang dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa distribusi Ni dengan kadar cukup tinggi ($COG \geq 1,5\%$) yaitu pada bagian tengah daerah penelitian, sedangkan Ni kadar rendah ($< 1,5\%$) terdistribusi di bagian timur hingga tenggara daerah penelitian. Adapun berdasarkan pemodelan *ore* dan *waste*, diketahui distribusi *ore* dominan dibagian tengah daerah penelitian dan distribusi *waste* dibagian utara daerah penelitian. Melalui pemodelan distribusi Ni dengan metode IDW menggunakan aplikasi Geovia Surpac 2019 pada daerah penelitian diperoleh volume sumber daya terukur Ni sebesar 25.156 m³ dan tonase sumber daya terukur Ni sebesar 36.728 M/T dengan kadar Ni rata-rata 1,56%.

Kata Kunci: Nikel laterit, IDW, Pemodelan, Sumberdaya Terukur

ABSTRACT

MEIVYA DWI TUMBA. *Estimation and Modeling of Nickel Laterite Measured Resources Using the Inverse Distance Weighted Method at PT. Lawu Agung Mining, North Konawe Regency, Southeast Sulawesi Province (supervised by Asri Jaya HS and Musri Mawaleda)*

Administratively, the research area is in the Mandiodo Region, Molawe District, North Konawe Regency, Southeast Sulawesi Province. Astronomically, it is located at 122°15'5" E - 122°12'14" E and 3°33'10" South Latitude - 3°33'20" South Latitude. In nickel laterite mining, estimates are needed to be able to calculate resources before the mining process takes place because all technical decisions related to mining activities are highly dependent on the amount of mineral resources. Thus, the calculation of resources is important in the evaluation of a mining activity.

The purpose of this research is to model the distribution of nickel laterite in the study area and determine the measured nickel laterite resources in the study area.

The method used in this study is the Inverse Distance Weighted (IDW) method which is used in determining the distribution and estimation of Ni laterite measurable resources.

From the results of modeling and analysis carried out, it was concluded that the distribution of Ni with quite high levels ($COG \geq 1.5\%$) was in the central part of the study area, while the low levels of Ni ($< 1.5\%$) were distributed in the eastern to southeastern parts of the study area. Meanwhile, based on ore and waste modeling, the distribution of ore is dominant in the middle of the study area. By modeling the distribution of Ni with IDW method using the Geovia Surpac 2019 in the study area, the measured Ni resource volume was 25,156 m³ and the Ni measured resource tonnage was 36,728 M/T with an average Ni content of 1.56%.

Keywords: Nickel laterite, IDW, Modeling, Measured Resources

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Geologi Regional.....	3
2.1.1 Geomorfologi Regional	3
2.1.2 Stratigrafi Regional.....	4
2.1.3 Struktur Regional.....	4
2.2 Batuan Ultramafik	6
2.3 Endapan Nikel Laterit	7
2.4 Genesa Endapan Nikel Laterit.....	7
2.5 Profil Endapan Nikel Laterit	9
2.6 Tipe-Tipe Laterit	10
2.7 Pemodelan dan Perhitungan Sumberdaya	12
2.8 Inverse Distance Weighted (IDW).....	15
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	18
3.2 Tahapan Penelitian	19
3.2.1 Tahap Persiapan.....	19
3.2.2 Tahap Pengambilan Data	20
3.2.3 Tahap Pengolahan Data	23
3.2.4 Penyusunan Laporan.....	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Topografi.....	26
4.2 Batuan <i>Ultramafic</i>	26
4.3 Profil Laterit	29
4.4 Pola Distribusi Ni	32
4.5 Pemodelan dan Estimasi Sumberdaya Terukur Nikel Laterit	33
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA	40

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Rumus perhitungan pembobotan (w)	16
Tabel 2. Kadar rata-rata Ni pada lapisan limonit dan saprolit	32
Tabel 3. Estimasi sumberdaya terukur daerah penelitian.....	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta geologi regional daerah penelitian dimodifikasi dimodifikasi dari peta geologi Lembar Lasusua-Kendari (Rusmana dkk., 1993).....	5
Gambar 2. Klasifikasi penamaan batuan beku IUGS untuk batuan beku ultrabasa	7
Gambar 3. Penampang laterit hasil pelapukan yang membagi zona saprolit (Ahmad, 2002)	10
Gambar 4. Perbandingan skema jenis profil laterit (Elias, 2002)	12
Gambar 5. Hubungan umum antara target eksplorasi, sumber daya mineral dan cadangan mineral (KCMi, 2017 dalam BSN, 2019).....	13
Gambar 6. Contoh dimensi hasil penaksiran dengan model blok.....	16
Gambar 7. Peta tunjuk lokasi daerah penelitian.....	18
Gambar 8. Peta sebaran titik bor	19
Gambar 9. Survei dan pemasangan <i>stakeout</i>	20
Gambar 10. Aktivitas pengeboran pada daerah penelitian.....	20
Gambar 11. Kenampakan sampel hasil <i>coring</i>	21
Gambar 12. Tahapan preparasi sampel basah	21
Gambar 13. Diagram alir metode penelitian	25
Gambar 14. Kenampakan topografi pada daerah penelitian dengan arah foto N 172°E.....	26
Gambar 15. Kenampakan litologi pada stasiun 1 dengan arah foto N 192°E.....	27
Gambar 16. Fotomikrograf peridotit pada sayatan ST01/PD yang tersusun oleh mineral olivin (Olv), klinopiroksin (Cpx), orthopiroksin (Cpx), <i>vein talc</i> (Tlc), dan mineral opaQ (Opq).....	28
Gambar 17. Kenampakan litologi pada stasiun 2 dengan arah foto N 235°E.....	28
Gambar 18. Fotomikrograf peridotit pada sayatan ST02/PD yang tersusun oleh mineral olivin (Olv), klinopiroksin (Cpx), orthopiroksin (Cpx), dan mineral opaQ (Opq)	29
Gambar 19. Kenampakan layer limonit yang terdiri atas (A) <i>red limonite</i> dan (B) <i>yellow limonite</i> pada titik BH_19_GLX_19.....	30
Gambar 20. Kenampakan zona saprolit yang masih memperlihatkan tekstur sisa dari batuan asal pada titik BH_27_GLX_27	30
Gambar 21. Profil laterit berupa zona limonit dan zona saprolit pada titik bor BH_GLX_27 yang dibandingkan dengan kadar Ni, Fe, Co, SiO ₂ , dan MgO	31
Gambar 22. Kenampakan profil laterit pada singkapan yang memperlihatkan profil laterit, dari tanah penutup (A), limonit (B), saprolit (C), dan <i>bedrock</i> (D)	32
Gambar 23. Pola distribusi Ni menggunakan metode IDW.....	33
Gambar 24. Pemodelan 3D distribusi Ni dengan data <i>logging</i> spasi 25 m.....	34
Gambar 25. Pemodelan 2D distribusi Ni dengan data <i>logging</i> spasi 25 m.....	35
Gambar 26. Kenampakan vertikal pemodelan distribusi Ni pada <i>section A–B</i>	35
Gambar 27. Kenampakan vertikal pemodelan distribusi Ni pada <i>section C–D</i>	35

Gambar 28. Pemodelan 3D distribusi <i>ore</i> atau <i>low grade saprolite ore</i> (LGSO) dan <i>waste</i> dengan data <i>logging</i> spasi 25 m.....	36
Gambar 29. Pemodelan 2D distribusi <i>ore</i> atau <i>low grade saprolite ore</i> (LGSO) dan <i>waste</i> dengan data <i>logging</i> spasi 25 m.....	36
Gambar 30. Kenampakan vertikal pemodelan distribusi <i>ore</i> dan <i>waste</i> pada <i>section A – B</i>	37
Gambar 31. Kenampakan vertikal pemodelan distribusi <i>ore</i> dan <i>waste</i> pada <i>section C–D</i>	37

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Deskripsi Petrografi	43
Lampiran 2. Peta Sebaran Titik Bor	
Lampiran 3. Peta Distribusi Ni	
Lampiran 4. Model Blok 3D Distribusi Ni	
Lampiran 5. Model Blok 2D Distribusi Ni	
Lampiran 6. Model Blok 3D <i>Ore</i> dan <i>Waste</i>	
Lampiran 7. Model Blok 2D <i>Ore</i> dan <i>Waste</i>	

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel merupakan salah satu komoditas tambang utama dari negara Indonesia. Istilah *laterite* bisa diartikan sebagai endapan yang kaya oksida besi, miskin unsur silika dan secara intensif ditemukan pada endapan lapukan iklim tropis (A. Isjudarto, 2013 dalam Arif dkk, 2019). Pada dasarnya sumber bahan galian nikel di alam dapat dijumpai dalam dua bentuk yaitu nikel primer yang berasal dari pembekuan magma yang bersifat ultra basis dan nikel sekunder yang dihasilkan oleh proses pengkayaan sekunder di bawah zona *water table*. Di Indonesia, sumber nikel hanya dijumpai dalam bentuk nikel sekunder atau yang disebut juga sebagai nikel laterit (Arif dkk, 2019).

Kompleks ofiolit Sulawesi Tenggara adalah kompleks batuan ultramafik, yang tersusun atas dunit, harzburgit, werhilit, lerzolit, websterit, serpentin dan piroksinit (Suro, 2013 dalam Apriajum, 2016). Batuan induk bijih nikel Sulawesi Tenggara berasal dari batuan kompleks ofiolit (Apriajum, 2016). Dalam penambangan nikel laterit diperlukan estimasi untuk dapat menghitung sumberdaya sebelum proses penambangan berlangsung karena semua keputusan teknis yang berhubungan dengan kegiatan penambangan sangat tergantung pada jumlah sumberdaya mineral. Dengan demikian perhitungan sumberdaya merupakan hal yang penting pada evaluasi suatu kegiatan penambangan. Dalam penentuan estimasi sumberdaya nikel dibutuhkan prosedur atau teknik yang tepat dengan beberapa metode, salah satunya dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighted (IDW)*.

Berdasarkan uraian tersebut, dilakukanlah penelitian dalam penyelesaian tugas akhir dengan judul “*Estimasi Dan Pemodelan Sumberdaya Terukur Nikel Laterit Menggunakan Metode Inverse Distance Weighted Pada PT. Lawu Agung Mining Kabupaten Konawe Utara Provinsi Sulawesi Tenggara*”.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pemodelan sebaran nikel laterit pada daerah penelitian?
2. Berapakah sumberdaya terukur nikel laterit pada daerah penelitian?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Membuat pemodelan sebaran nikel laterit pada daerah penelitian.
2. Menentukan sumberdaya terukur nikel laterit pada daerah penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini secara umum adalah sebagai acuan dalam melakukan tahapan eksplorasi hingga eksploitasi sumberdaya yang efektif serta evaluasi terhadap proses yang dilakukan dalam estimasi sumberdaya lainnya dan mengaplikasikan teori-teori yang dijumpai di bangku perkuliahan dengan dunia kerja.

1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, penulis membatasi masalah yang akan diangkat yaitu mengetahui distribusi, volume serta tonase sumberdaya terukur nikel laterit serta pemodelannya menggunakan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) pada PT. Lawu Agung Mining, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Secara regional, daerah penelitian termasuk ke dalam Lembar Geologi 2112,2212 Lasusua-Kendari, Sulawesi, yang berdasarkan litotektonik termasuk masuk ke dalam Mandala Timur (*East Sulawesi Ophiolite Belt*) dan Mandala Tengah (*Central Sulawesi Metamorphic Belt*).

Lokasi penelitian termasuk Bagian Timur Sulawesi yang sebagian besarnya terdiri dari kompleks batuan basa dan ultrabasa yang mengalami deformasi yang kuat sehingga sebagian besar ditempati oleh jalur batuan ofiolit.

2.1.1 Geomorfologi Regional

Morfologi Lembar Lasusua–Kendari dapat dibedakan, perbukitan terdapat pada bagian barat dan timur, morfologi kras terdapat di Pegunungan Matarombeo dan di bagian hulu Sungai Waimenda serta Pulau menjadi empat satuan yaitu pegunungan, perbukitan, karst, dan dataran rendah (Rusmana dkk., 1993). Pada daerah penelitian merupakan bagian dari satuan morfologi pegunungan. Pegunungan menempati bagian tengah dan timur lembar Labengke. Satuan morfologi pegunungan menempati bagian terluas di kawasan ini, terdiri atas Pegunungan Mengkoka, Pegunungan Tangkeleboke, Pegunungan Mendoke, dan Pegunungan Rumbia yang terpisah di ujung selatan Lengan Tenggara. Satuan morfologi ini mempunyai topografi yang kasar dengan kemiringan lereng tinggi. Rangkaian pegunungan dalam satuan ini mempunyai pola yang hampir sejajar berarah barat laut–tenggara. Arah ini sejajar dengan pola struktur sesar regional di kawasan ini. Pola tersebut mengindikasikan bahwa pembentukan morfologi pegunungan itu erat hubungannya dengan sesar regional.

Satuan pegunungan terutama dibentuk oleh batuan malihan dan setempat oleh batuan ofiolit. Ada perbedaan morfologi yang khas di antara kedua batuan penyusun itu. Pegunungan yang disusun dari batuan ofiolit mempunyai punggung gunung yang Panjang dan lurus dengan lereng relatif lebih rata, serta kemiringan yang tajam. Sementara itu, pegunungan yang dibentuk batuan malihan, punggung

gunungnya terputus pendek-pendek dengan lereng yang tidak rata walaupun bersudut tajam.

2.1.2 Stratigrafi Regional

Kompleks Ofiolit di Lengan Tenggara Sulawesi merupakan bagian Lajur Ofiolit Sulawesi Timur. Batuan pembentuk lajur ini didominasi oleh batuan ultramafik dan mafik serta sedimen pelagik.

Formasi batuan penyusun daerah penelitian yang termasuk dalam lembar Lasusua–Kendari yaitu termasuk dalam Formasi Kompleks Ultrabasa/Batuan Ofiolit (Ku) terdiri atas peridotit; harzburgit, dunit, gabro dan serpentinit. Serpentinit berwarna kelabu tua sampai kehitaman; padu dan pejal. Batuannya bertekstur afanitik dengan susunan mineral antigorit, lempung dan magnetit. Umumnya memperlihatkan struktur kekar dan cermin sesar yang berukuran megaskopis. Dunit, kehitaman; padu dan pejal, bertekstur afanitik. Mineral penyusunnya ialah olivin, piroksen, plagioklas, sedikit serpentin dan magnetit; berbutir halus sampai sedang. Mineral utama olivin berjumlah sekitar 90%. Tampak adanya penyimpangan dan pelengkungan kembaran yang dijumpai pada piroksen, mencirikan adanya gejala deformasi yang dialami oleh batuan ini.

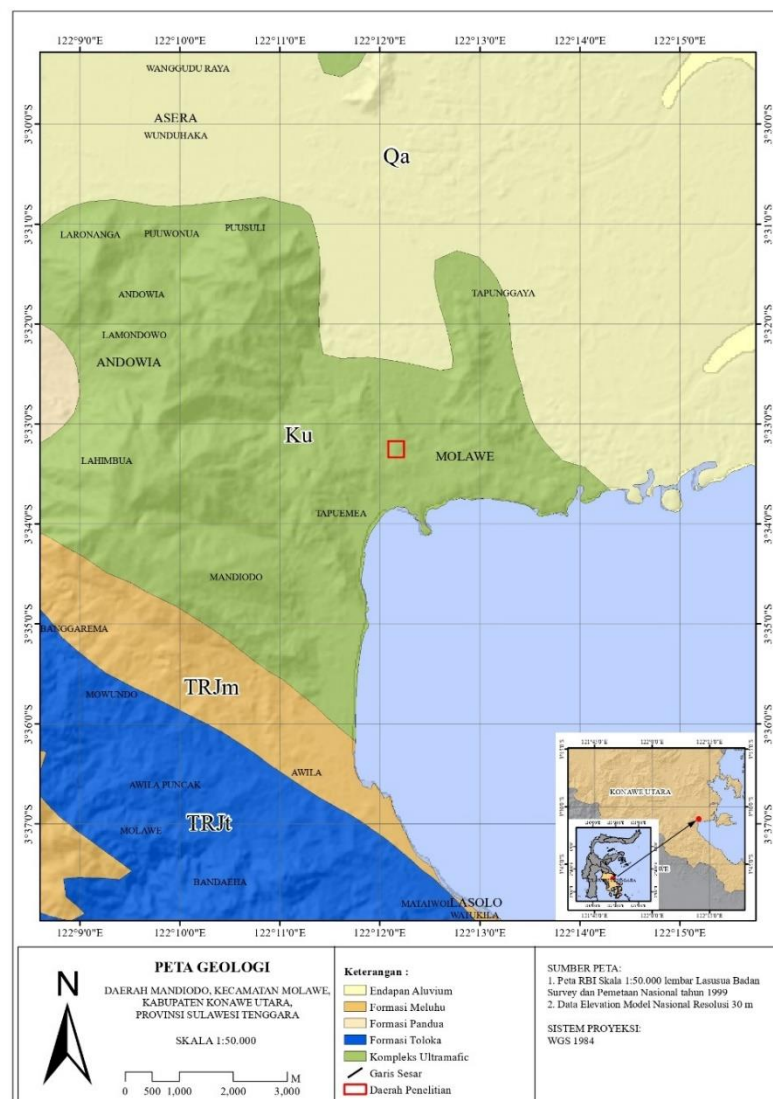
Dibeberapa tempat dunit terserpentinakan kuat yang ditunjukkan oleh struktur sisa seperti rijang dan barik-barik mineral olivin dan piroksen, serpentin dan talkum sebagai mineral pengganti. Peridotit terdiri atas jenis harzburgit dan lherzolit. Harzburgit, hijau sampai kehitaman, holokristalin, padu dan pejal. Mineralnya halus sampai kasar, terdiri atas olivin (60%) dan piroksen (40%). Di beberapa tempat menunjukkan struktur perdaunan. Hasil penghabluran ulang pada mineral piroksen dan olivin mencirikan batas masing-masing kristal bergerigi. Lherzolite, hijau kehitaman; holokristalin, padu dan pejal. Mineral penyusunnya ialah olivin (45%), piroksen (25%), dan sisanya epidot, yakut, klorit, dan bijih dengan mineral berukuran halus sampai kasar. Satuan batuan ini diperkirakan berumur Kapur.

2.1.3 Struktur Regional

Struktur geologi yang dijumpai adalah sesar, lipatan dan kekar. Sesar dan kelurusan umumnya berarah barat laut–tenggara searah dengan sesar geser jurus

mengiri Lasolo. Sesar Lasolo ini diduga masih aktif hingga kini, yang dibuktikan dengan adanya mata air panas di batugamping terumbu berumur Holosen pada jalur sesar tersebut di tenggara Tinobu. Sesar ini diduga ada kaitannya dengan sesar Sorong yang giat kembali pada Kala Oligosen. Sesar dan kelurusan umumnya mempunyai arah barat laut - tenggara searah dengan sesar Lasolo.

Sesar geser ini terbentuk akibat adanya gaya kompresi sebagai kelanjutan dari proses obdaksi yang dimulai pada Kala Miosen Tengah yang berlanjut hingga Kala Kuartar dimana terjadi penunjaman di Sulawesi bagian utara, dan penunjaman bagian barat laut Maluku ke bawah lengan utara Sulawesi.

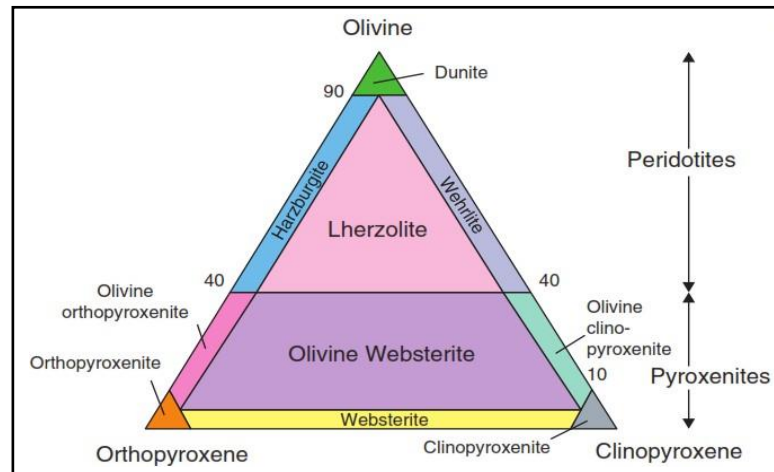


Gambar 1. Peta geologi regional daerah penelitian dimodifikasi dimodifikasi dari peta geologi Lembar Lasusua-Kendari (Rusmana dkk., 1993)

2.2 Batuan Ultramafik

Batuan ultramafik adalah batuan yang kaya mineral ferromagnesian tanpa memperhatikan kandungan silika, feldspar dan feldspatoid (Ahmad, 2006). Batuan induk endapan laterit nikel adalah batuan ultramafik. Istilah "ultramafik" dan "ultrabasa", masing-masing berhubungan secara klasifikasi mineralogi dan kimia batuan. Batuan ultramafik didefinisikan sebagai batuan dengan indeks warna lebih dari 70 persen dan batuan ultrabasa mengandung SiO_2 kurang dari 45 persen (Williams dkk., 1954 dalam Hutabarat, J. dan Ismawan, 2015). Menurut Ahmad (2006), batuan ultramafik adalah batuan yang kaya akan mineral mafik (ferro-magnesian) seperti olivin, piroksen dan amfibol dan memiliki indeks warna lebih dari 70%. Ahmad (2002) mengklasifikasikan batuan ultramafik yang terdiri atas dunit, piroksenit, serpentinit, dan peridotit. Kebanyakan batuan ultramafik merupakan batuan ultrabasa dan sebagian besar ultrabasa juga ultramafik. Sebagian besar batuan ultramafik awalnya peridotit, terbentuk di mantel atas dan berubah menjadi serpentinit baik sebagian atau seluruhnya oleh fluida kerak selama perjalanannya ke posisi tektonik saat ini. Menurut Wyllie, (1970) dalam Asdar dkk., (2022), batuan ultramafik di bagian kerak bumi yang tampak khas terdapat tubuh relatif kecil di jalur sempit orogen sedang hingga kuat.

Batuan ultramafik diklasifikasikan menurut kandungan mineral mafiknya, yang pada dasarnya terdiri dari olivin, ortopiroksen, klinopiroksen, hornblende, kadang-kadang terdapat biotit, dan berbagai mineral lainnya tetapi biasanya terdapat garnet dan spinel dalam jumlah yang sedikit. Le Bas dan Streckeisen (1991) menyatakan klasifikasi penamaan batuan ultramafik untuk batuan yang mengandung olivin, ortopiroksen, dan klinopiroksen, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Klasifikasi penamaan batuan beku IUGS untuk batuan beku ultrabasa

2.3 Endapan Nikel Laterit

Nikel laterit merupakan salah satu mineral logam hasil dari proses pelapukan kimia batuan ultramafik yang mengakibatkan pengkayaan unsur Ni, Fe, Mn, dan Co secara residual dan sekunder (Syafriзал dkk., 2011; Burger, 1996 dalam Lintjewas dkk., 2019).

Bagian paling bawah dari profil laterit disebut dengan zona saprolit yang merupakan zona pelapukan tinggi dimana tekstur primer dan fabric dari batuan asalnya masih dapat dilihat. Akibat fluida yang bersifat *oxidized* dan asam, maka bagian paling bawah dari zona ini dicirikan dengan tidak stabilnya *sulfide* dan karbonat dengan hasil pencucian atau *leaching* dari logam-logam *chalcophile* dan unsur-unsur alkalin. Bagian bawah dari zona saprolit ini dicirikan dengan terurainya mineral-mineral feldspar dan ferromagnesian, sementara Si dan Al akan tetap tinggal pada mineral lempung (*kaolinite* dan *halloysite*).

2.4 Genesa Endapan Nikel Laterit

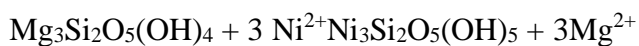
Menurut Maulana (2017), proses laterisasi pada endapan nikel laterit merupakan proses pencucian pada mineral yang mudah larut dan mineral silikat dari profil laterit pada lingkungan yang bersifat asam, hangat, dan lembab, serta membentuk konsentrasi endapan hasil pengayaan proses laterisasi pada unsur Fe, Cr, Al, Ni, dan Co.

Sundari (2012) menyatakan bahwa nikel diperoleh dari endapan yang terbentuk akibat proses oksidasi dan pelapukan batuan ultramafik yang mengandung nikel 0.2 - 0.4 %. Jenis-jenis mineral tersebut antara lain *olivine*, piroksin, dan *amphibole*.

Proses laterisasi berawal dari infiltrasi air hujan yang bersifat asam yang masuk ke dalam zone retakan, kemudian melarutkan mineral- mineral yang mudah larut pada batuan dasar. Mineral dengan berat jenis yang tinggi akan tertinggal di permukaan membentuk pengkayaan residual, sedangkan mineral yang mudah larut akan turun ke bawah membentuk zona akumulasi dengan pengkayaan *supergene* (Asy'ari dkk., 2013).

Menurut Prijono, (1985) dalam Asy'ari dkk., (2013) asal mula pembentukan endapan nikel laterit berasal dari batuan peridotit yang mengalami serpentinisasi kemudian terekspos ke permukaan, pada kondisi iklim tropis dengan musim panas dan hujan berganti-ganti kemudian mengalami pelapukan secara terus menerus yang mengakibatkan batuan menjadi rentan terhadap proses pencucian (*leaching*). Sirkulasi air permukaan yang mengabsorpsi CO₂ dari atmosfer mempercepat proses pelapukan dan pencucian menjadi lebih intensif.

Alkali tanah, Mg dan Ca berubah menjadi bikarbonat oleh air permukaan yang asam, sementara silika (SiO₂) akan larut dan tertransport sebagai larutan koloid, karena mengalami perpindahan oleh alkali tanah dan silika, logam - logam primer yang terdapat pada batuan peridotit seperti Fe, Al, Cr, Ni, dan Co larut dan mengalami pengayaan in situ, zona ini dinamakan zona limonit. Dalam proses laterisasi, pelapukan lebih lanjut, Ni akan larut dan terbawa oleh air tanah kemudian mengalami proses presipitasi (pertukaran unsur Mg dengan unsur Ni diantara air tanah dan mineral serpentin), seperti reaksi berikut :



Kemudian membentuk mineral Ni-magnesium hidrosilikat yang disebut *garnierite* (NiMg)SiO₃nH₂O dan mengisi kekar-kekar atau retakan - retakan pada batuan dasar peridotit, oleh pengayaan sekunder atau *supergene*, pengayaan zona biji silikat (bijih saprolit) akan terbentuk diantara zona saprolit dan batuan peridotit segar.

2.5 Profil Endapan Nikel Laterit

Profil (penampang) laterit dapat dibagi menjadi beberapa zona. Menurut Golightly (1979) profil laterit dibagi menjadi 4 zonasi, yaitu:

1. Zona Limonit (LIM)

Zona ini berada paling atas pada profil dan masih dipengaruhi aktivitas permukaan dengan kuat. Zona ini tersusun oleh humus dan limonit. Mineral-mineral penyusunnya adalah goethit, hematit, tremolit dan mineral-mineral lain yang terbentuk pada kondisi asam dekat permukaan dengan relief relatif datar. Secara umum material - material penyusun zona ini berukuran halus (lempung-lanau), sering dijumpai mineral stabil seperti spinel, magnetit dan kromit.

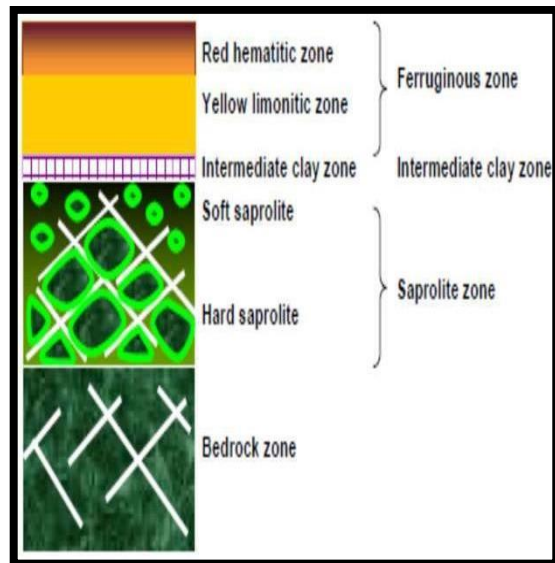
2. Zona *Medium Grade Limonite* (MGL)

Sifat fisik zona *Medium Grade Limonite* (MGL) tidak jauh berbeda dengan zona overburden. Tekstur sisa batuan induk mulai dapat dikenali dengan hadirnya fragmen batuan induk, yaitu peridotit atau serpentinit. Ukuran material penyusun berkisar antara lempung-pasir halus. Umumnya singkapan zona ini terdapat pada lereng bukit yang relatif datar. Mineralisasi sama dengan zona limonit dan zona saprolit, yang membedakan adalah hadirnya kuarsa, lihopirit, dan opal.

3. Zona Saprolit

Zona saprolit merupakan zona bijih, tersusun atas fragmen-fragmen batuan induk yang teralterasi, sehingga mineral penyusun, tekstur dan struktur batuan dapat dikenali. Derajat serpentinisasi batuan asal laterit akan mempengaruhi pembentukan zona saprolit, dimana peridotit yang sedikit terserpentinisasi akan memberikan zona saprolit dengan inti batuan sisa yang keras, pengisian celah oleh mineral-mineral garnierit, kalsedon-nikel dan kuarsa, sedangkan serpentinit akan menghasilkan zona saprolit yang relatif homogen dengan sedikit kuarsa atau garnierit. Berdasarkan kandungan fragmen batuan, zona saprolit dibagi menjadi dua yaitu :

- a. *Soft Saprolite*. Mengandung fragmen-fragmen berukuran *boulder* kurang dari 25%.
- b. *Rocky Saprolite*. Mengandung fragmen-fragmen berukuran *boulder* lebih dari 50%.



Gambar 3. Penampang laterit hasil pelapukan yang membagi zona saprolit (Ahmad, 2002)

4. Zona batuan induk (*Bedrock zone*)

Zona batuan induk berada pada bagian paling bawah dari profil laterit. Batuan induk ini merupakan batuan yang masih segar dengan pengaruh proses-proses pelapukan sangat kecil. Batuan induk umumnya berupa peridotit, serpentin, atau peridotit terserpentinisasi.

Menurut Ahmad (2008), beberapa faktor penting yang mempengaruhi pelapukan kimia dalam membentuk laterit nikel, antara lain:

- a. Atmosfer (iklim), berkaitan dengan temperatur, curah hujan, dan musim.
- b. Biologi, berupa material organik.
- c. Air, berkaitan dengan ketersediaan air, muka air tanah, dan *water absorption - run off*.
- d. Litologi, berkaitan dengan komposisi batuan dasar, kestabilan mineral, ukuran kristal, *grain size*, porositas, *fractures* dan *joints*.
- e. Kombinasi, yaitu *acidity/basicity* (pH), potensial redoks (Eh), dan *rate of removal of solids*.
- f. Topografi

2.6 Tipe-Tipe Laterit

Elias (2002) membedakan jenis laterit yang terbentuk diatas batuan ultrabasa kedalam tiga kategori utama berdasarkan mineralogi yang dominan

berkembang pada profil laterit yaitu *oxides laterites*, *clay laterites*, dan *silicate laterites*.

1. *Oxide Laterites*

Oksida laterit adalah produk akhir yang paling umum dari lateritisasi batuan ultramafik. Dengan adanya air, mineral pembentuk batuan primer (terutama olivin dan / atau serpentin, *orthopyroxene* dan yang kurang umum adalah *clinopyroxene*) dipecah oleh hidrolisis yang melepaskan unsur penyusunnya sebagai ion dalam larutan berair. *Olivine* adalah mineral yang paling tidak stabil dan merupakan yang pertama mengalami pelapukan; Di lingkungan tropis yang lembab, Mg^{2+} -nya benar-benar tercuci dan hilang karena air tanah, dan Si sebagian besar tercuci dan dibuang. Fe^{2+} juga dilepaskan namun dioksidasi dan diendapkan sebagai hidroksida besi, awalnya bersifat amorf atau kurang kristalin tapi secara progresif mengkristal ulang dengan tanaman goetit yang membentuk pseudomorph setelah olivin. *Orthopyroxene* dan serpentin terhidrolisis setelah olivin, juga melepaskan Mg, Si dan digantikan oleh pseudomorph goetit. Awalnya, sementara mineral ferro-magnesium tetap tidak terlapukkan dan mendukung susunan batuan, transformasi bersifat isovolumetrik dan tekstur batuan primer dipertahankan, tetapi karena tingkat kerusakan mineral primer meningkat, tekstur primer peninggalan hilang karena keruntuhan dan pemadatan struktur menghasilkan goetit masif yang tidak bertekstur. Transformasi mineralogi yang melibatkan hilangnya Mg dan konsentrasi residu Fe menghasilkan tren kimia yang jelas dan familiar pada laterit Mg yang menurun ke atas dan Fe meningkat ke atas melalui profil laterit.

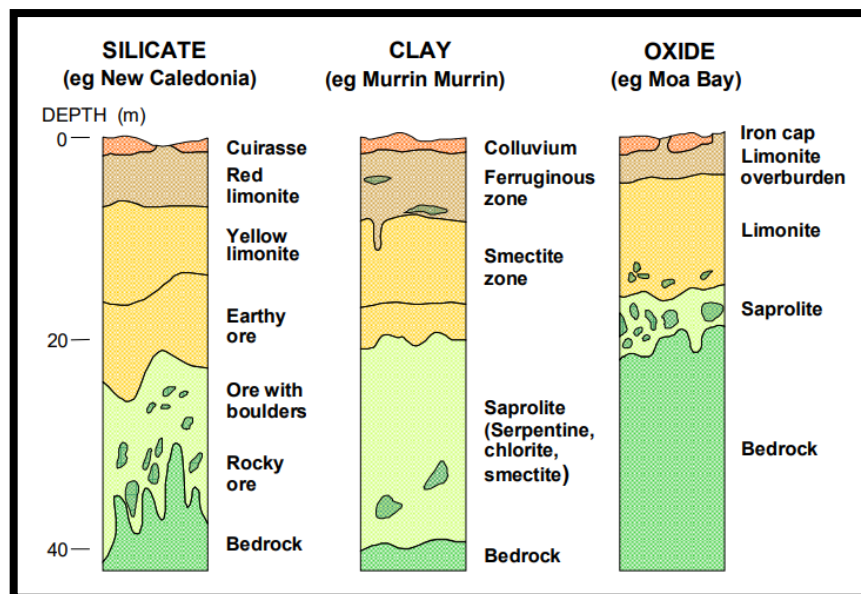
2. *Silicate Laterites*

Laterit silikat dicirikan oleh pengayaan mutlak atau konsentrasi Ni dalam zona saprolit yang terdiri dari mineral primer teralterasi seperti serpentin sekunder, goetit, lempung smektit dan garnierit. Sebagian besar nikel berasal dari yang dilepaskan oleh rekristalisasi goetit menjadi hematit lebih jauh di profil. Nikel diendapkan kembali dalam saprolit dengan menggantikan Mg dalam serpentin sekunder (yang dapat mengandung hingga 5% Ni) dan dalam garnierit yang kadarnya lebih dari 20% Ni. Rata-rata kandungan Ni dalam silikat laterit

biasanya 2,0 - 3,0%. Laterit silikat merupakan sumber bijih dari sebagian besar nikel yang saat ini diproduksi dari laterit.

3. *Clay Laterites*

Dalam kondisi pelapukan yang tidak terlalu parah, misalnya iklim yang lebih dingin atau lebih kering, silika tidak tercuci seperti di lingkungan tropis yang lembab, dan justru bergabung dengan Fe dan sejumlah kecil Al untuk membentuk zona di mana lempung smektit, nontronit mendominasi, sebagai gantinya oksida Fe. Nontronit memainkan peran yang mirip dengan goetit dalam mengikat ion Ni di dalam kisinya di mana mereka menggantikan Fe^{2+} dan difiksasi pada posisi antar lapisan. Lempung nontronit biasanya mengandung 1,0 - 1,5% Ni dalam mineralisasi laterit. Silika yang berlebih dari yang diperlukan untuk membentuk nontronit dapat diendapkan sebagai nodul opalin atau kalsedon dalam lempung. Profil tanah liat laterit juga lebih disukai dikembangkan di mana terdapat pergerakan air tanah yang terbatas seperti di daerah yang luas dengan relief topografi rendah. Horizon lempung dapat ditindih oleh zona tipis dari bahan oksida yang lebih kaya Fe yang umumnya rendah Ni, dan dilapis oleh saprolit yang terlapuk sebagian yang mengandung serpentin dan nontronit.



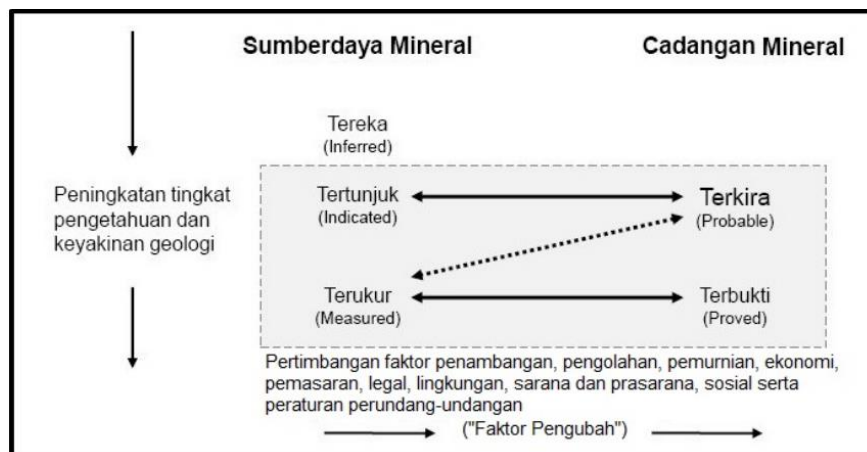
Gambar 4. Perbandingan skema jenis profil laterit (Elias, 2002)

2.7 Pemodelan dan Perhitungan Sumberdaya

Pemodelan adalah kegiatan merepresentasikan kondisi lapangan berdasarkan data hasil pengukuran dan pengujian, dengan menggunakan prosedur

dan metode tertentu agar mendekati kondisi yang sebenarnya. Dalam studi ini akan dimodelkan bentuk bijih nikel laterit serta mengestimasi kadar antar titik pemercontohan (titik bor, sumur uji dan sebagainya) dan di zona pengaruh, sehingga dapat dihitung jumlah sumber daya terukur nikel laterit. Dalam pelaporan sumberdaya mineral, informasi mengenai estimasi faktor perolehan pengolahan mineral sangatlah penting dan harus dimasukkan dalam laporan publik.

Sumberdaya mineral terukur dapat dikonversi menjadi cadangan mineral terbukti ataupun cadangan mineral terkira. *Competent Person* Indonesia dapat mengkonversi sumberdaya mineral terukur menjadi cadangan mineral terkira karena adanya ketidakpastian terhadap beberapa atau semua faktor-faktor pengubah yang dipakai sebagai pertimbangan pada saat mengkonversi sumberdaya mineral menjadi cadangan mineral. Hubungan tersebut diperlihatkan oleh garis panah putus-putus pada Gambar 5. Meskipun arah garis panah putus-putus mengandung komponen vertikal, tidak berarti ada penurunan level pengetahuan atau keyakinan geologi. Pada situasi demikian, faktor-faktor pengubah penyebab ketidakpastian tersebut harus diterangkan secara jelas (BSN, 2019).



Gambar 5. Hubungan umum antara target eksplorasi, sumber daya mineral dan cadangan mineral (KCM, 2017 dalam BSN, 2019)

Sumber daya mineral dikelompokkan berdasarkan tingkat keyakinan geologi dalam kategori tereka, tertunjuk, dan terukur (BSN, 2019).

1. Sumber Daya Tereka

Sumber daya mineral teraka merupakan bagian dari sumber daya mineral yang kuantitas dan kualitas kadarnya diestimasi berdasarkan bukti geologi dan pengambilan sampel yang terbatas. Bukti geologi tersebut memadai untuk menunjukkan keterjadiannya tetapi tidak memverifikasi kemenerusan kualitas atau kadar dan kemenerusan geologinya. Adapun informasi didapatkan dari singkapan, paritan uji, sumuran uji, dan lubang bor tetapi kualitas dan tingkat keyakinannya terbatas atau tidak jelas. Jarak antara titik pengamatan maksimum dua ratus meter. Spasi ini bisa diperlebar dengan justifikasi teknis yang bisa dipertanggungjawabkan seperti analisa geostatistika.

2. Sumber Daya Tertunjuk

Sumber daya mineral tertunjuk merupakan bagian dari sumber daya mineral dengan kuantitas, kadar atau kualitas, kerapatan titik pengamatan, dimensi, dan karakteristik fisiknya dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang cukup untuk memungkinkan penerapan faktor pengubah secara memadai untuk mendukung perencanaan tambang dan evaluasi kelayakan ekonomi cebakan tersebut. Adapun informasi didapatkan dari singkapan, paritan uji, sumuran uji, dan lubang bor. Lokasi pengambilan data masih terlalu jarang atau spasinya belum tepat untuk memastikan kemenerusan dan/atau kadar, tetapi spasial cukup untuk mengasumsikan kemenerusannya. Jarak antara titik pengamatan maksimum seratus meter. Spasi ini bisa diperlebar dengan justifikasi teknis yang bisa dipertanggungjawabkan seperti analisa geostatistika.

3. Sumber Daya Terukur

Sumber daya mineral terukur merupakan bagian dari sumber daya mineral dengan kuantitas, kadar atau kualitas, kerapatan titik pengamatan, bentuk, dan karakteristik fisik yang dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang memadai untuk memungkinkan penerapan faktor pengubah untuk mendukung perencanaan tambang terperinci dan evaluasi akhir dari kelayakan ekonomi cebakan tersebut. Bukti geologi didapatkan dari eksplorasi, pengambilan sampel dan pengujian yang terperinci dan andal, dan memadai untuk memastikan kemenerusan geologi dan kadar atau kualitasnya di antara titik pengamatan. Adapun informasi didapatkan dari singkapan, paritan uji, sumuran uji, dan lubang bor. Lokasi informasi pada kategori ini secara spasial adalah cukup rapat dengan spasi maksimum lima

puluh meter untuk memastikan kemenerusan geologi dan kadar. Spasi ini bisa diperlebar dengan justifikasi teknis yang bisa dipertanggungjawabkan seperti analisis geostatistika.

2.8 *Inverse Distance Weighted (IDW)*

Salah satu metode dalam penentuan distribusi dan estimasi sumber daya nikel laterit adalah metode *Inverse Distance Weighted (IDW)*. Metode ini merupakan suatu cara penaksiran yang telah memperhitungkan adanya hubungan letak ruang (jarak), merupakan kombinasi linier atau harga rata-rata tertimbang (*weighting average*) dari titik-titik data yang ada di sekitarnya. Metode ini menggunakan cara penaksiran dimana harga rata-rata suatu blok merupakan kombinasi linier atau harga rata-rata berbobot (*weighted average*) dari data lubang bor di sekitar blok tersebut. Data di dekat blok memperoleh bobot lebih besar, sedangkan data yang jauh dari blok bobotnya lebih kecil. Bobot ini berbanding terbalik dengan jarak data dari blok yang ditaksir. Untuk mendapatkan efek penghalusan (pemerataan) data dilakukan faktor pangkat. Pilihan dari pangkat yang digunakan (ID1, ID2, ID3, ...) berpengaruh terhadap hasil taksiran. Semakin tinggi pangkat yang digunakan, hasilnya akan semakin mendekati metode poligon contoh terdekat. Dengan metode ini, sifat atau perilaku anisotropik dari cebakan mineral dapat diperhitungkan (*space warping*) (Haris, 2005).

Kerugian dari metode IDW adalah nilai hasil interpolasi terbatas pada nilai yang ada pada data sampel. Pengaruh dari data sampel terhadap hasil interpolasi disebut sebagai isotropik. Dengan kata lain, karena metode ini menggunakan rata-rata dari data sampel sehingga nilainya tidak bisa lebih kecil dari minimum atau lebih besar dari data sampel. Jadi, puncak bukit atau lembah terdalam tidak dapat ditampilkan dari hasil interpolasi model ini. Untuk mendapatkan hasil yang baik, sampel data yang digunakan harus rapat yang berhubungan dengan variasi lokal. Jika sampelnya agak jarang dan tidak merata, hasilnya kemungkinan besar tidak sesuai dengan yang diinginkan (Pramono, 2008).

Latif (2008) menyatakan secara garis besar metode ini adalah sebagai berikut:

Dalam perhitungan total tonase Ni diperoleh dari hasil perhitungan volume Ni dikalikan dengan densitas pada tiap lapisan yaitu limonit dan saprolit maupun *bedrock* yang sebelumnya telah diukur dan disepakati oleh perusahaan.