

SKRIPSI

ESTIMASI UMUR TAMBANG BERDASARKAN CADANGAN TERKIRA ENDAPAN NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN METODE *INVERSE DISTANCE WEIGHTING* (IDW)

(Studi Kasus : Blok X, PT IFISHDECO Tbk., Site Tinanggea,
Kecamatan Tinanggea, Kabupaten Konawe Selatan,
Provinsi Sulawesi Tenggara)

Disusun dan diajukan oleh

DZULKIFLI TUNGGGA'

D111181309



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ESTIMASI UMUR TAMBANG BERDASARKAN CADANGAN TERKIRA
ENDAPAN NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN METODE *INVERSE
DISTANCE WEIGHTING (IDW)* STUDI KASUS BLOK X,
PT IFISHDECO Tbk., *SITETINANGGEEA*, KECAMATAN
TINANGGEEA, KABUPATEN KONAWE SELATAN,
PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

Disusun dan diajukan oleh

DZULKIFLI TUNGGGA'

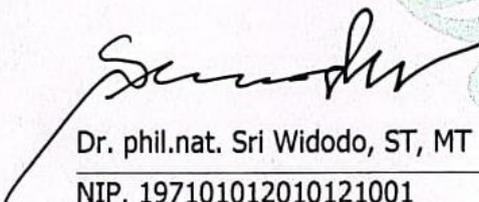
D111181309

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 8 Maret 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


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


Dr. Ir. Irzal Nur, MT
NIP. 196604091997031002

Ketua Program Studi,




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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dzul kifli Tungga'
NIM : D111181309
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

ESTIMASI UMUR TAMBANG BERDASARKAN CADANGAN TERKIRA ENDAPAN
NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN METODE *INVERSE DISTANCE
WEIGHTING (IDW)*

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain dan bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Maret 2023

Yang menyatakan



Dzul kifli Tungga'

ABSTRAK

Seiring dengan perkembangan teknologi, telah berkembang berbagai metode estimasi (penaksiran) untuk memudahkan perhitungan perkiraan sumberdaya atau cadangan dalam hal ini cadangan terkira endapan nikel laterit. Estimasi umur tambang dapat ditentukan berdasarkan hasil estimasi cadangan terkira atau cadangan yang telah diketahui kadar, kualitas, kuantitas geometri (ketebalan serta kedalaman), dan penyebarannya. Metode *inverse distance weighting* (IDW) adalah salah satu dari metode penaksiran dengan pendekatan blok model yang sederhana dengan mempertimbangkan titik di sekitarnya. Pengaruh topografi penting untuk diketahui, untuk menentukan presentase keberadaan kadar serta ketebalan endapan nikel laterit sebagai salah satu perencanaan dan pengembangan eksplorasi serta eksploitasi dalam rangka meningkatkan hasil produksi penambangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana sebaran kadar serta ketebalan Ni pada keadaan topografi yang berbeda pada endapan nikel laterit di blok X, memperkirakan cadangan terkira menggunakan metode IDW serta memperkirakan lama umur penambangan. Hasil dari tujuan penelitian yang dapat dituliskan yaitu, derajat kemiringan lereng memiliki hubungan korelasi yang baik terhadap peningkatan ketebalan seiring bertambahnya derajat kemiringan lereng sedangkan pada korelasi peningkatan kadar tidak memiliki korelasi yang baik, cadangan terkira yang telah dilakukan menggunakan metode *inverse distance weighting* (IDW) dengan CoG 1,5% dan densitas 1,5 ton/m³ didapatkan volume sebesar 649.824 m³ dan total tonase sebanyak 974.736 wmt serta lama umur tambang dengan estimasi cadangan terkira serta *pit limit* yang telah dibuat dengan *Stripping Ratio* (SR) sebesar 3,45 : 1 adalah berkisar sekitar 1 Tahun 5 Bulan.

Kata Kunci: Estimasi Sumberdaya, Cadangan, penaksiran Umur Tambang, Metode IDW, Topografi.

ABSTRACT

Along with the development of technology, various estimation methods have developed to facilitate the calculation of resource estimates or reserves in this case the estimated reserves of laterite nickel deposits. The estimated life of the mine can be determined based on the results of estimating estimated reserves or reserves that have known levels, quality, geometric quantity (thickness and depth), and distribution. The inverse distance weighting (IDW) method is one of the estimation methods with a simple model block approach taking into account the surrounding points. The influence of topography is important to know, to determine the percentage of the presence of levels and thickness of laterite nickel deposits as one of the planning and development of exploration and exploitation in order to increase mining production yields. This study aims to determine how the distribution of Ni levels and thicknesses in different topographic conditions in laterite nickel deposits in block X, estimate estimated reserves using the IDW method and estimate the length of mining life. The results of the research objectives that can be written down are, a erajat slope has a good correlation relationship to the increase in thickness as the degree of slope increases while in correlation the increase in levels does not have a good correlation, the estimated reserves that have been carried out using the inverse distance weighting method (IDW) with 1.5% CoG and a density of 1.5 tons/m³ obtained a volume of 649. 824 m³ and total tonase 974. 736 wmt and the life of the mine with estimated reserves and pit limit that has been made with a Stripping Ratio (SR) of 3.45 : 1 is around 1 Year 5 Months.

Keywords: Resource Estimation, Reserves, Mine Life Estimation, IDW Method, Topography.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahimm

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Puji dan syukur kita panjatkan kehadirat rahmat Tuhan yang maha Esa karena berkat nikmat serta rahmat yang telah diberikan kepada kita semua sehingga segala aktivitas yang kita lakukan dapat berjalan sesuai kodrat yang telah ditentukan oleh-Nya. Shalawat dan salam dipanjkatkan kepada sang tauladan, sang revolusioner, sang pembawa obor keselamatan Rasulullah Muhammad SAW yang telah mengangkat derajat manusia dari lembah kejahilian kepuncak kemuliaan.

Pada kesempatan yang diberikan kepada penulis, penulis menuliskan Tugas Akhir ini dengan judul "Estimasi Umur Tambang Berdasarkan Cadangan Terkira Endapan Nikel Laterit Menggunakan Metode *Inverse Distance Weighting (IDW)*" (Studi Kasus Pit X, PT IFISHDECO Tbk., Site Tinanggea, Kecamatan Tinanggea, Kabupaten Konawe Selatan, Provinsi Sulawesi Tenggara) kiranya dapat diselesaikan dengan berbagai suka dan duka yang dilalui dalam proses penyusunannya.

Tidak ada kata yang layak untuk menggambarkan besarnya rasa terimakasih penulis bagi semua pihak yang telah memberikan dukungan, tenaga, serta ilmunya dalam penyusunan laporan Tugas Akhir yang sederhana ini. Penulis berharap dengan selesainya Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan berkat bagi semua pihak yang terlibat dalam penyusunan laporan ini.

Penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada Bapak Dr. phil. Nat Sri Widodo, ST., MT., selaku dosen pembimbing I penulis dalam penyusunan Laporan serta arahan dan bimbingannya kepada penulis, sehingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.

Terimakasih juga kepada Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, M.T., dalam hal ini sebagai koordinator LBE Teknik Eksplorasi sekaligus pembimbing II (Dua) penulis dalam menyusun laporan tugas akhir ini.

Serta terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas, ST, MT selaku ketua Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin, segenap dosen serta staf administrasi di Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi penulis.

Terima kasih yang tak terhingga kepada kedua orang tua saya Bapak Junaid Pasombo dan Ibu Suharti atas semua yang telah diberikan kepada penulis mulai dikandung badan sampai sekarang. Terima kasih pula penulis hanturkan kepada adinda Al-Shaf Mahesa Tungga' selaku adik dari penulis atas dukungan dan semangat yang telah diberikan kepada penulis selama ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, penulis menyampaikan permohonan maaf atas semua kekurangan yang dijumpai dalam proses penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, Maret, 2023

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i>.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Tahapan Penelitian.....	4
1.6 Lokasi Daerah Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian.....	7
2.2 Nikel Laterit.....	13
2.3 Pengaruh Topografi Terhadap Pembentukan Nikel Laterit	19
2.4 Kontrol Struktur Geologi Terhadap Sebaran Kadar Nikel (Ni) Daerah Penelitian	24
2.5 Estimasi Sumberdaya dan Cadangan.....	26

2.6 Metode <i>Inverse Distance Weighting</i> (IDW)	31
2.7 Estimasi Umur Tambang	33
BAB III METODE PENELITIAN	35
3.1 Sumber Data	36
3.2 Pengolahan Data	37
3.3 Bagan Alir Penelitian	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Distribusi Titik Bor Berdasarkan Kemiringan Lereng ($^{\circ}$)	47
4.2 Hubungan Kadar Ni dengan Ketebalan Lapisan Zona Laterit	53
4.3 Estimasi Sumberdaya dengan Metode <i>Invrse Distance Weigthing</i>	67
4.4 Desain <i>Pit</i>	73
4.5 Cadangan Terkira (Material Tertambang)	74
4.6 Estimasi (Penaksiran) Umur Tambang	77
BAB V PENUTUP	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Peta Tunjuk Lokasi Penelitian	6
2.1 Lembar Peta Geologi Lembar Kolaka, Sulawesi Tenggara (Simanjuntak, 1993).....	12
2.2 Pembentukan Nikel Laterit (Elias, 2002).....	17
2.3 Profil Nikel Tipe <i>Hydrous Silicate</i> (Brand, 1998)	17
2.4 Profil Nikel Tipe <i>Clay Silicate</i> (Brand, 1998)	18
2.5 Profil Nikel Tipe <i>Oxide Deposits</i> (Brand, 1998).....	19
2.6 Diagram Contoh Komposit Topografi Laterit (Ahmad, 2006).....	21
2.7 Bentuk Lahan Sederhana Laterit (Ahmad, 2006).....	22
2.8 Pengelompokan Sumberdaya Mineral dan Cadangan Bijih (KCMI, 2017).....	28
2.9 Klasifikasi Sumberdaya Mineral dan Cadangan (Widayat, 2005).....	30
2.10 Rumus Perhitungan Sumberdaya Menggunakan Metode IDW (Pramono, 2008)	33
3.1 Klasifikasi Derajat (°) Kemiringan Pada <i>Software Arcmap 8.1</i>	39
3.2 Klasifikasi Ketinggian Topografi Pada <i>Software Arcmap 8.1</i>	40
3.3 Pembuatan <i>Database</i>	41
3.4 Display <i>Drillhole</i> Titik Bor.....	42
3.5 <i>Top</i> Limonit	43
3.6 <i>Top</i> Saprolit	43
3.7 <i>Bottom</i> Saprolit	43
3.8 DTM Zona <i>Top</i> Lim, <i>Top</i> Sap Dan <i>Bottom</i> Sap.....	44
3.9 Blok Model.....	45
3.10 Bagan Alir Penelitian	46

4.1	Peta Pengelompokan Kemiringan Lereng (°)	48
4.2	Korelasi Ketebalan Zona limonit dengan Kemiringan Lereng.....	50
4.3	Korelasi Ketebalan Zona Saprolit dengan Kemiringan Lereng.....	51
4.4	Bentuk Topografi Blok X dengan Klasifikasi Ketinggian	52
4.5	Analisis Regresi Linear Kadar Ni dengan Ketebalan Zona Limonit (Tipe I)	54
4.6	Analisis Regresi Linear Kadar Ni dengan Ketebalan Zona Limonit (Tipe II)	55
4.7	Analisis Regresi Linear Kadar Ni dengan Ketebalan Zona Limonit (Tipe III).....	56
4.8	Analisis regresi linear kadar Ni dengan Ketebalan Zona Saprolit (Tipe I).....	56
4.9	Analisis regresi linear kadar Ni dengan Ketebalan Zona Saprolit (Tipe II).....	57
4.10	Analisis Regresi linear kadar Ni dengan Ketebalan Zona Saprolit (Tipe III).....	58
4.11	Bentuk Topografi Blok X Dengan Klasifikasi Ketinggian	59
4.12	Section Elevasi 200-190 Mdpl	60
4.13	Sumberdaya Klasifikasi Ketinggian 200-190 Mdpl	60
4.14	Section Elevasi 189-175 Mdpl	61
4.15	Sumberdaya Klasifikasi Ketinggian 189-175 Mdpl	62
4.16	Section Elevasi 175-160 Mdpl	63
4.17	Sumberdaya Klasifikasi Ketinggian 175-160 Mdpl	63
4.18	Section Elevasi 150-140 Mdpl	64
4.19	Sumberdaya Klasifikasi Ketinggian 175-160 Mdpl	65
4.20	Material <i>Ore-Waste</i>	66
4.21	<i>Constraint Ore</i> dan <i>waste Ni</i> Laterit.....	67
4.22	Peta Pengklasifikasian Kemiringan Lereng (°)	69
4.23	Sumberdaya Kemiringan Lereng Tipe I 2°-8° (Landai).....	70
4.24	Sumberdaya Kemiringan Lereng Tipe II 8°-15° (Agak Curam) <i>Segment I</i>	71
4.25	Sumberdaya Kemiringan Lereng Tipe II 8°-15° (Agak Curam) <i>Segment II</i>	72

4.26 Sumberdaya Kemiringan Lereng Tipe III 15°-21° (Curam).....	73
4.27 <i>Pit Limit Design</i>	74
4.28 Material Tertambang.....	75
4.29 Rancangan <i>Pit Limit Actual</i>	76
4.30 <i>Ore</i> dan <i>Waste</i> Material Tertambang	76
4.31 Penambangan Blok X.....	78

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Keseimbangan antara formasi laterit dan erosi laterit (Ahmad, 2006)	20
4.1 Contoh data <i>Drillhole</i> Ni dan Litologi yang digunakan.....	47
4.2 Klasifikasi Kemiringan Lereng (°)	48
4.3 Disrtibusi Titik Bor Pada Kemiringan Lereng Zona Laterit.....	49
4.4 Pedoman Interpolasi Terhadap Koefisien Korelasi (Sugiono,2007).....	53
4.5 Volume, Tonase Klasifikasi 200-190 Mdpl	61
4.6 Volume, Tonase Klasifikasi 189-175 Mdpl	62
4.7 Volume, Tonase Klasifikasi 175-160 Mdpl	63
4.8 Volume, Tonase Klasifikasi 150-140 Mdpl	65
4.9 <i>Report</i> Volume, Tonase <i>Ore Waste</i> Ni Laterit	68
4.10 Klasifikasi Kemiringan Lereng (°)	69
4.11 Data Report Estimasi Kemiringan Lereng Tipe I 2°-8° (Landai)	70
4.12 Data Report Estimasi Kemiringan Lereng Tipe II 8°-15° (Agak Curam) <i>Segment I</i>	71
4.13 Data Report Estimasi Kemiringan Lereng Tipe II 8°-15° (Agak Curam) <i>Segment II</i>	72
4.14 Data Report Estimasi Kemiringan Lereng Tipe II 15°-21° (Curam)	73
4.15 <i>Ore</i> dan <i>Waste</i> Material Tertambang	77

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Contoh Data Titik Bor	83
2. Peta Lokasi Penelitian	90
3. Peta Klasifikasi Kemiringan Lereng (°)	92
4. <i>Drillhole</i>	94
5. Estimasi Sumberdaya dan Cadangan	96
6. Desain <i>Pit</i>	106

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi, telah berkembang berbagai metode Estimasi (penaksiran) untuk memudahkan perhitungan perkiraan sumberdaya atau cadangan dalam hal ini cadangan terkira endapan nikel laterit. Salah satu hal yang penting dalam proses penambangan adalah Estimasi umur tambang. Estimasi umur tambang dapat ditentukan berdasarkan hasil estimasi cadangan terkira atau cadangan yang telah diketahui kadar, kualitas, kuantitas geometri (ketebalan dan kedalaman), dan penyebarannya. Penaksiran umur tambang dapat ditentukan berdasarkan hasil estimasi cadangan terkira dan hasil perhitungan target produksi yang telah ditetapkan pada suatu perusahaan.

Salah satu faktor yang mempengaruhi pengendapan kadar serta ketebalan nikel laterit yaitu keberadaan topografi atau kemiringan lereng. Menurut ahmad waheed, 2008 bahwa semakin tinggi suatu keberadaan endapan nikel laterit maka semakin kecil distribusi kadar nikel laterit dalam pengendapannya, sebaliknya semakin rendah keberadaan suatu endapan nikel laterit maka semakin tinggi *persentase* distribusi kadar nikel laterit. Pengaruh topografi pada derajat kemiringan lereng sangat penting untuk diketahui untuk menentukan persentase keberadaan kadar endapan nikel laterit sebagai salah satu perencanaan dan pengembangan eksplorasi serta eksploitasi dalam rangka meningkatkan hasil produksi penambangan (Ahmad, 2006).

Estimasi sumberdaya dan cadangan mineral adalah penaksiran kuantitas dan penyebaran mineral yang menguntungkan dan dapat diekstraksi secara legal dari cadangan mineral melalui penambangan atau pemanfaatan mineral. Penaksiran

cadangan mineral tidak hanya meliputi pertimbangan tonase dan kadar endapan tetapi juga mempertimbangkan aspek teknik dan hukum penambangan endapan, pemanfaatan mineral dan penjualan produk. Cadangan merupakan bagian dari sumberdaya yang telah diketahui kadar, kualitas, kuantitas (ketebalan dan kedalaman), dan penyebarannya. Secara Teknik dapat ditambang atau dapat dikerjakan sesuai teknologi pada saat itu dan secara ekonomis dalam pengerjaan atau pengambilan mineral tersebut dapat memberikan keuntungan (KCMI, 2017).

Untuk mengetahui besar potensi nikel laterit suatu daerah, ada beberapa metode Estimasi yang dapat digunakan salah satunya Metode *Inverse Distance Weighting* (IDW). Metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) adalah salah satu dari metode penaksiran dengan pendekatan blok model yang sederhana dengan mempertimbangkan titik di sekitarnya. Bobot (*weight*) akan berubah secara linier sesuai dengan jaraknya dengan data sampel. Metode ini biasanya digunakan dalam industri pertambangan karena mudah untuk digunakan. Pemilihan nilai pada *power* sangat mempengaruhi hasil interpolasi. (Pramono, 2008).

PT IFISHDECO Tbk merupakan salah satu perusahaan pertambangan Nikel di Kabupaten Konawe Utara yang menggunakan sistem penambangan *open pit mining* (sistem tambang terbuka) dalam proses penambangannya. PT IFISHDECO Tbk memiliki IUP (Izin Usaha Pertambangan) seluas 800 Ha yang dibagi menjadi delapan blok penambangan. Untuk penaksiran umur tambang pada salah satu blok di PT IFISHDECO Tbk, maka perlu dilakukan evaluasi estimasi jumlah cadangan yang ada dengan metode perhitungan yang tepat berdasarkan data yang tersedia.

Berdasarkan beberapa latar belakang di atas maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui Estimasi (penaksiran) umur tambang berdasarkan cadangan terkira dengan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) serta Identifikasi Pengaruh Topografi terhadap sebaran kadar serta ketebalan Endapan Nikel Laterit pada keadaan topografi

yang berbeda di blok X PT IFISHDECO Tbk sehingga diharapkan dapat menjadi referensi bagi perusahaan nantinya.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana sebaran kadar, serta ketebalan Ni pada keadaan topografi yang berbeda pada endapan Nikel laterit blok X PT IFISHDECO Tbk.
2. Memperkirakan cadangan terkira menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) pada blok X PT IFISHDECO Tbk serta cadangan terkira pada keadaan topografi yang berbeda.
3. Berapa lama perkiraan umur tambang pada blok X PT IFISHDECO Tbk.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengestimasi sebaran kadar, serta ketebalan Ni pada keadaan topografi yang berbeda pada endapan Nikel laterit blok X PT IFISHDECO Tbk.
2. Mengestimasi cadangan terkira menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) pada blok X PT IFISHDECO Tbk serta cadangan terkira pada keadaan topografi yang berbeda.
3. Mengestimasi umur tambang pada blok X PT IFISHDECO Tbk.

1.4 Manfaat Penelitian

Kegunaan penelitian ini dari segi akademik, diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran/referensi dalam menambah wawasan mengenai Estimasi (perkiraan) umur tambang berdasarkan cadangan terkira menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW), mengetahui sebaran kadar serta ketebalan, volume dan

tonase cadangan pada keadaan topografi yang berbeda serta mengetahui sebaran endapan nikel laterit blok X PT IFISHDECO Tbk. Sedangkan bagi perusahaan, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran perkiraan mengenai lama waktu penambangan pada blok X dengan hasil estimasi cadangan terkira, sebaran kadar serta ketebalan, volume dan tonase cadangan pada keadaan topografi yang berbeda.

1.5 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilaksanakan dengan melakukan beberapa tahapan kegiatan berdasarkan tujuan penelitian yang diuraikan seperti di bawah ini:

1. Tahapan studi literatur

Studi literatur merupakan kegiatan yang meliputi pengumpulan dan pengkajian berbagai teori dan referensi mengenai topik penelitian yang dapat mendukung jalannya penelitian.

2. Tahapan perumusan masalah

Perumusan masalah dilakukan untuk menentukan masalah yang akan diteliti dan menjadi batasan dalam melakukan penelitian.

3. Tahapan orientasi lapangan dan pengambilan data

Orientasi lapangan dilakukan di daerah Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara lebih tepatnya pada perusahaan Tambang Nikel yaitu PT IFISHDECO Tbk. Pengambilan data dilakukan dengan mengambil beberapa data seperti data *assay, collar, survey*, geologi, topografi serta data produksi pada perusahaan terkait. Jenis data tersebut dikategorikan kedalam data sekunder.

4. Tahap pengolahan data

Data yang telah diperoleh dari pengambilan data kemudian diolah serta dianalisis sesuai dengan rumusan masalah dan tujuan yang telah ditentukan. Salah satu pengolahan data tersebut yaitu analisis derajat kemiringan lereng, estimasi

sumberdaya serta estimasi cadangan terkira yang di olah pada aplikasi *microsoft excel* serta *software Archmap 8.1* dan *Surpac 6.3*.

5. Tahapan penyusunan laporan tugas akhir

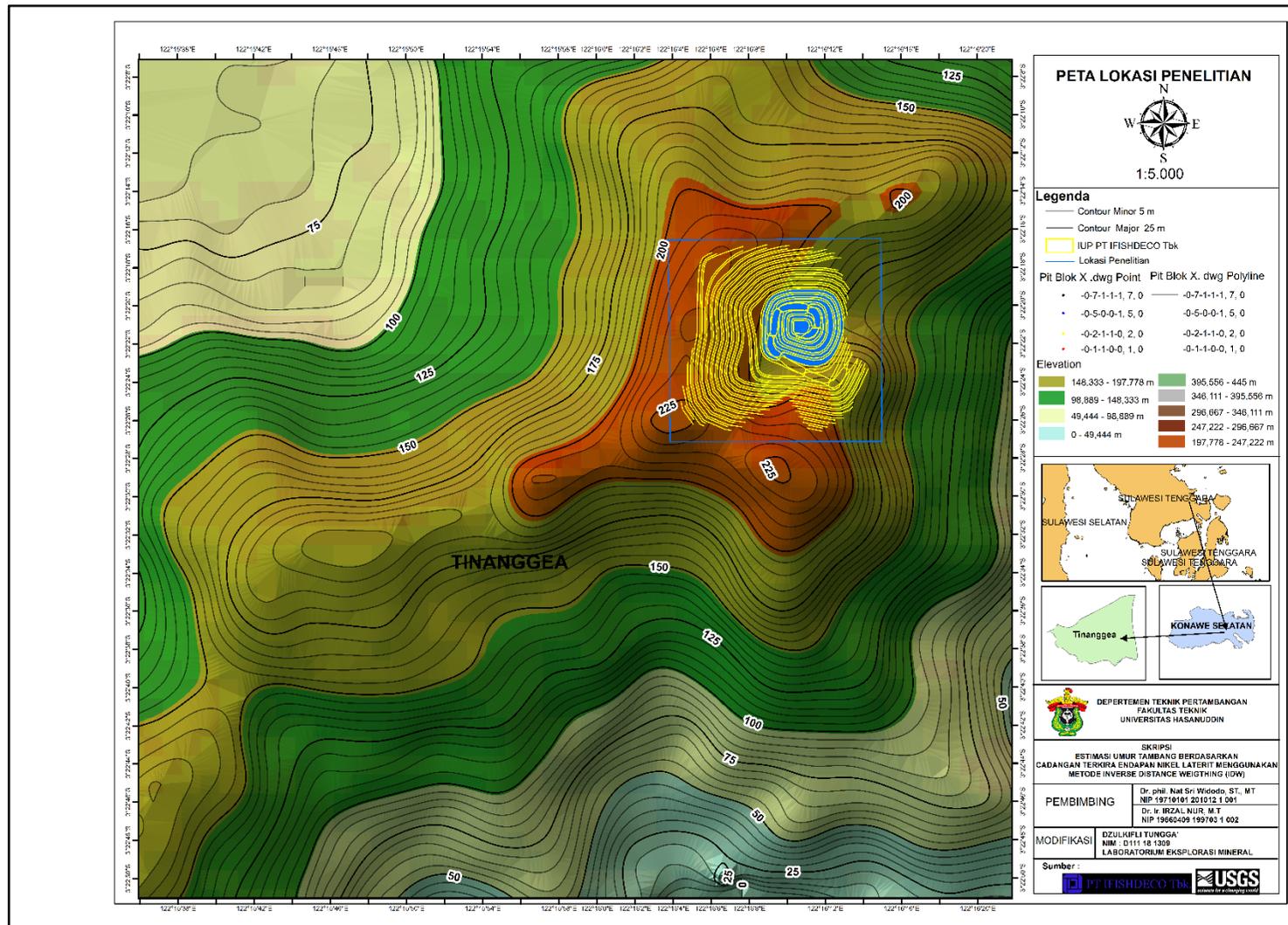
Penyusunan laporan tugas akhir merupakan kegiatan pengumpulan keseluruhan data yang didapatkan dan disusun dalam bentuk laporan akhir.

6. Tahap seminar dan penyerahan laporan tugas akhir

Laporan hasil penelitian akan dipresentasikan dalam seminar hasil. Koreksi dan saran pada saat seminar akan digunakan untuk merevisi kembali laporan yang telah dipaparkan.

1.6 Lokasi Daerah Penelitian

Studi Penelitian ini dilakukan di perusahaan Tambang Nikel PT IFISHDECO Tbk yang terletak di Kecamatan Tinaggea, Kabupaten Konawe Selatan, Provinsi Sulawesi Tenggara. Lokasi penelitian dapat ditempuh dengan pesawat dari Bandara Sultan Hasanuddin Makassar menuju Kendari (Bandara Haluoleo) \pm 55 menit, kemudian dilanjutkan dengan transportasi darat menggunakan mobil selama \pm 2 jam dari kendari (Bandara Haluoleo) menuju site perusahaan. Lokasi penelien ini terletak pada UTM zona 51 S untuk lokasi sulawesi tenggara, yang tertunjuk pada titik koordinat $4^{\circ}22'30''$ S - $4^{\circ}24'0''$ S sampai $122^{\circ}10'30''$ E - $122^{\circ}12'30''$ E. Lokasi Penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Peta Tunjuk Lokasi Penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian

Pulau Sulawesi terletak di pertemuan tiga lempeng bumi yang besar, yaitu Lempeng Asia, Australia, dan Pasifik, yang menjadi informasi penting dalam mengungkap tektonik kenozoikum Asia Tenggara. Pulau Sulawesi terletak di batas lempeng aktif pada Lempeng Asia dan setidaknya telah mengalami empat peristiwa tektonik besar pada pertengahan *Cretaceous*, *Oligo-Miocene*, pertengahan *Miocene*, dan awal *Pliocene*. Peristiwa tektonik yang terjadi selama periode geologi mengontrol bentukan muka bumi Pulau Sulawesi hingga saat ini. Bentuk Pulau Sulawesi yang menyerupai "huruf-K" saat ini merepresentasikan empat sabuk litotektonik yang terdiri atas *West Sulawesi Volcano-Plutonic Arc Belt*, *Central Sulawesi Metamorphic Belt*, *East Sulawesi Ophiolite Belt*, dan *continental fragments* dari Banggai-Sula dan Buton (Muboroto, *et al.*, 1994; Kadarusman *et al.*, 2004; Ilyas, *et al.*, 2016).

2.1.1 Geomorfologi dan Struktur Geologi Sulawesi Tenggara

Berdasarkan relief, ketinggian, batuan penyusun dan Wilayah, Kabupaten Konawe Selatan secara umum dapat dikelompokkan menjadi empat satuan morfologi, yaitu (Lintjewas, 2019):

1. Satuan Morfologi Pegunungan

Satuan morfologi pegunungan melampar dibagian timur sekitar pegunungan Laonti dan Wolasi dan menempati $\pm 20\%$ dari luas keseluruhan daerah penyelidikan, dengan ketinggian 300 m diatas permukaan laut. Secara umum satuan morfologi ini disusun oleh batuan malih. Satuan ini tertutupi oleh vegetasi yang sedang hingga lebat dan setempat sebagian lahan perkebunan masyarakat.

2. Satuan Morfologi Perbukitan

Satuan morfologi perbukitan tersebar di beberapa lokasi yaitu daerah Palangga, Kolono, Konda, Landono, dan setempat di Tinanggea dan menempati sekitar 40% dari keseluruhan luas daerah Konawe Selatan, dengan ketinggian di atas 75 m dari permukaan air laut. Satuan ini secara umum tersusun oleh batuan dari "Malasa Sulawesi" yang tersebar di bagian utara, tengah sampai di selatan daerah ini dan sebagian lainnya disusun oleh batuan malih, batu gamping dan ultrabasa. Satuan ini tertutupi oleh lahan perkebunan seperti kakao, cengkeh, mente, vanili dan tanaman lainnya dan sebagian masih merupakan hutan yang bervegetasi sedang-lebat.

3. Satuan Morfologi Kars

Satuan morfologi kars tersebar di bagian timur yaitu sekitar daerah Moramo Pegunungan Kumi-kumi dan menerus di teluk Wawosunggu dan setempat di Wolasi. Satuan ini berada pada ketinggian \pm 75 m–500 m di atas permukaan air laut. Pada satuan ini banyak dijumpai goa-goa kapur dan sungai bawah tanah serta umumnya tertutupi oleh tanaman, satuan ini menempati sekitar 15% dari keseluruhan luas daerah Konawe Selatan.

4. Satuan Morfologi Pedataran

Satuan Morfologi Kabupaten Konawe Selatan digambarkan pada Peta Geologi Lembar Kolaka (Simanjuntak dkk, 1994) dan Peta Lembar Geologi Lasusua Kendari batuan penyusun daerah Konawe Selatan dapat dikelompokkan kedalam sembilan satuan yang terdiri dari batuan tua ke batuan yang lebih muda.

2.1.2 Stratigrafi Regional Sulawesi Tenggara

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Kolaka–Sulawesi skala 1:250.000 yang dikeluarkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan (Geologi 1993), secara umum menerangkan bahwa stratigrafi Konawe Selatan terdiri atas sembilan formasi batuan

yang dapat dilihat pada Gambar 2.1 Lembar Peta Geologi lembar Kolaka, Sulawesi Tenggara (Simanjuntak, 1993):

1. Satuan Batupasir Malih Satuan batuan ini tersebar di beberapa lokasi di daerah Konawe Selatan yaitu daerah Boroboro, Wolasi, Kolono dan sekitar Angata. Satuan batupasir malih ini terdiri dari batupasir termalihkan dengan berbagai variasi, ukuran butir yaitu serpih hitam, serpih merah, filit, batu sabak dan setempat kwarsit. Satuan ini telah mengalami tektonik yang sangat kuat dan berulang-ulang. Berdasarkan ciri fisik yang dijumpai, satuan ini dapat dibandingkan dengan formasi meluhu berumur Trias Akhir, satuan ini memiliki ketebalan tidak kurang dari 1000 m. Beberapa ahli mengetahui satuan ini disebut sebagai batuan "tak perinci" (Sukanto, 1995) "*Metharmorphic rock*" (Kartadipoetra, 1993).

2. Satuan Batugamping Malih

Satuan batugamping malih, tersebar di bagian tenggara dan selatan Kabupaten Konawe Selatan yaitu disekitar daerah Moramo, dan Kolono. Satuan ini didominasi oleh batugamping yang termalihkan, lemah, selain itu satuan ini juga disusun oleh lempung yang tersilikatkan dan kalsilutit. Berdasarkan ciri fisik yang dijumpai di lapangan, satuan ini dapat dibandingkan dengan Formasi Laonti yang berumur Trias Akhir. Satuan yang memiliki ketebalan ± 500 m ini memiliki hubungan yang saling menjemari dengan Formasi Meluhu dibandingkan dari satuan batupasir malih.

3. Satuan Ultrabasa

Satuan Ultrabasa tersebar di bagian selatan daerah Konawe Selatan yaitu disekitar daerah Torobulu, Moramo dan Daerah Trans Tinanggea bagian Selatan. Satuan ini terdiri dari peridotit, dunit, gabro, basal dan serpentinit. Batuan ultrabasa ini diperkirakan merupakan batuan tertua dan alas di mandala Sulawesi

bagian Timur dan diduga berumur Kapur Awal. Satuan ini bersentuhan secara tektonik dengan batuan Mesozoikum dan Paleogen dan secara tak selaras tertindih oleh batuan sedimen tipe Molasa Neogen dan Kuartar.

4. Satuan Konglomerat

Satuan ini tersebar pada bagian selatan yaitu di sekitar Tinanggea bagian selatan, satuan ini terdiri dari konglomerat, batupasir, lempung dan serpih. Satuan Konglomerat menindih secara tidak selaras satuan batuan yang ada di bawahnya. Berdasarkan kesamaan fisik yang dijumpai, satuan ini dapat dibandingkan dengan Formasi Langkowala, plandua, berumur Miosan Akhir hingga Pliosen, dengan memiliki ketebalan berkisar 450 m.

5. Satuan Kalkarenit

Satuan ini tersebar di bagian Selatan daerah Konawe Selatan yaitu disekitar daerah Lapuko dan Tinanggea. Satuan ini terdiri dari kalkarenit, batugamping, koral, batupasir dan napal. Berdasarkan kesamaan fisik yang dijumpai, satuan ini dapat dibandingkan dengan Formasi Emoiko berumur Pliosen. Satuan ini mempunyai ketebalan berkisar 200 m dengan lingkungan pengendapan laut dangkal hingga transisi.

6. Satuan Batulempung

Satuan Batulempung tersebar dibagian Selatan daerah Konawe Selatan yaitu disekitar sebelah Selatan Lapuko, yang terdiri dari lempung, napal pasiran dan batupasir. Satuan ini memiliki hubungan yang saling menjemari dengan satuan kalkarenit. Berdasarkan kesamaan fisik yang dijumpai di lapangan, satuan ini dapat dibandingkan dengan Formasi Boipinang, berumur Pliosen. Satuan ini memiliki ketebalan berkisar 150 m dengan lingkungan pengendapan transisi hingga laut dangkal.

7. Satuan Batupasir

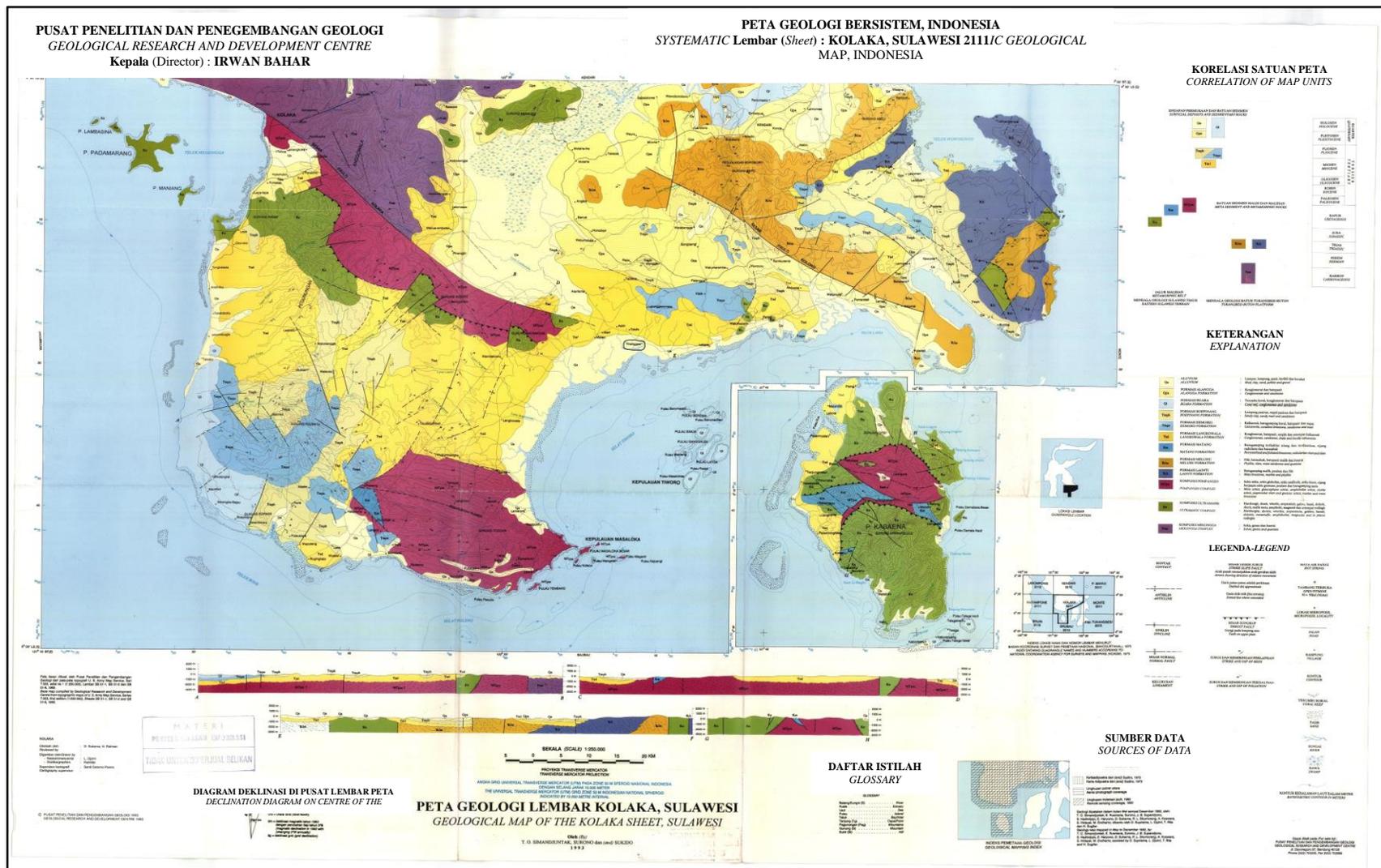
Satuan ini tersebar dibagian Selatan daerah Konawe Selatan yaitu disekitar daerah Palangga, Tinanggea dan Motaha. Satuan ini terdiri dari batupasir, konglomerat dan lempung. Berdasarkan kesamaan fisik yang dijumpai di lapangan, satuan ini dapat dibandingkan dengan Formasi Alangga, yang berumur Pliosen. Satuan ini memiliki ketebalan berkisar 250 m dengan lingkungan pengendapan darat hingga transisi dan menindih secara tak selaras semua batu–batuan yang berada dibawahnya.

8. Satuan Batugamping Koral

Satuan ini tersebar dibagian Selatan daerah Konawe Selatan yaitu disekitar daerah Torobulu. Satuan ini terdiri dari batugamping koral, dan batugamping pasiran memiliki ketebalan berkisar 100 m. Berdasarkan kesamaan fisik yang dijumpai di lapangan maka satuan ini dapat dibandingkan dengan Formasi Buara. Berumur Pliosen hingga Holosen dengan lingkungan pengendapan laut dangkal. Satuan ini memiliki hubungan yang menjemari dengan satuan batupasir dan menindih secara tidak selaras satuan batuan yang berada dibawahnya.

9. Satuan Aluvial

Satuan ini tersebar disekitar aliran sungai besar, pantai dan rawa di daerah Konawe Selatan. Endapan Aluvial yang ada merupakan endapan sungai, pantai dan rawa, berupa kerikil, kerakal, pasir, lempung dan Lumpur. Endapan alluvial merupakan satuan batuan penyusun yang paling muda dan menindih secara tidak selaras seluruh batuan yang berada dibawahnya berumur Resen dengan ketebalan tidak lebih dari 20 m.



Gambar 2.1 Lembar peta geologi lembar Kolaka, Sulawesi Tenggara (Simanjuntak, 1999)

2.1.3 Struktur Geologi Sulawesi Tenggara

Daerah ini tidak dapat dipisahkan dengan proses tektonik yang telah dan mungkin masih berlangsung di daerah ini, dimana diperlihatkan oleh kondisi batuan terutama oleh batuan yang berumur Pra-tersier yang umumnya telah mengalami perlipatan dan perombakan yang cukup kuat dan berulang-ulang. Struktur Geologi yang dijumpai di daerah Konawe Selatan meliputi lipatan, kekar dan sesar. Lipatan dapat dijumpai di beberapa tempat dimana batupasir malih tersingkap, namun sangat sulit untuk menentukan arah sumbu lipatannya karena telah terombakkan. Kekar dijumpai hampir seluruh satuan batuan penyusun daerah ini, kecuali alluvium dan batuan kelompok batuan Molasa yang tidak terkonsolidasi dengan baik. Sesar utama yang terjadi di daerah ini dapat dijumpai di daerah Kolono, yang mana sesar Kolono ini hampir memotong seluruh batuan kecuali Aluvial (Lintjewas, 2019).

2.2 Nikel Laterit

Batuan ultrabasa dikenal sebagai sumber pembawa mineral-mineral bijih seperti kromit, nikel sulfida, magnetit, dan nikel laterit. Pembentukan mineral tersebut dapat melalui proses magmatisme (kromit dan pirotit), hidrothermal (pirit dan kalkopirit), dan proses pelapukan (nikel laterit). Hingga saat ini, komoditas logam Nikel (Ni) merupakan komponen paduan dalam pabrik baja tahan karat secara global masih diproduksi dari mineral bijih yang berasosiasi dengan batuan ultramafik (Sufriadin dkk, 2017).

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. Nikel laterit dicirikan oleh adanya logam oksida yang berwarna coklat kemerahan mengandung Ni dan Fe. Salah satu faktor yang mempengaruhi pembentukan endapan nikel laterit adalah morfologi, batuan asal dan

tingkat pelapukan, dimana tingkat pelapukan yang tinggi sangat berperan terhadap proses lateritisasi (Golightly, 1981).

2.2.1 Proses Pembentukan Endapan Nikel Laterit

Endapan nikel laterit adalah hasil laterisasi batuan ultramafik yang mengandung nikel seperti peridotit dan serpentin. Secara horizontal penyebaran nikel tergantung kepada arah aliran air tanah dan bentang alam. Air tanah di zona pelindian mengalir dari pegunungan ke arah lereng sambil membawa unsur Ni, Mg, dan Si. Proses pembentukan nikel laterit merupakan proses dekomposisi sekunder endapan nikel sulfida yang diawali dari pelapukan batuan ultrabasa seperti harzburgit, dunit, dan piroksenit. Dalam deret Bowen, batuan ini banyak mengandung olivin, piroksen, magnesium silikat dan besi. Mineral-mineral tersebut tidak stabil dan mudah mengalami pelapukan. Media transportasi nikel yang terpenting adalah air. Air tanah kaya CO₂ berasal dari udara dan tumbuhan akan menguraikan mineral yang terkandung dalam batuan ultrabasa tersebut. Kandungan olivin, piroksin, magnesium silikat, besi, nikel dan silika akan terurai dan membentuk suatu larutan (Elias, 2002).

Proses pembentukan nikel laterit dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah (Kadarusman, 2004):

1. Batuan asal

Adanya batuan asal merupakan syarat utama untuk terbentuknya endapan nikel laterit. Batuan asal yang berperan penting dalam pembentukan nikel laterit berupa batuan ultrabasa seperti harzburgit.

2. Iklim

Adanya pergantian musim kemarau dan musim penghujan menyebabkan terjadinya kenaikan dan penurunan permukaan air tanah, juga dapat menyebabkan terjadinya proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur.

3. Senyawa kimia dan vegetasi

Senyawa kimia merupakan faktor yang mempercepat proses pelapukan, seperti air tanah mengandung CO₂ yang bersifat asam berperan penting dalam proses pelapukan kimia. Terkait dengan faktor vegetasi terdapat asam humus yang menyebabkan dekomposisi batuan serta mengubah pH larutan. Jenis vegetasi suatu daerah erat hubungannya dengan terbentuknya asam humus di daerah tersebut. Dalam hal ini, vegetasi yang rapat dan bervariasi mempengaruhi penetrasi air lebih dalam sehingga air tanah yang terkumpul akan lebih banyak dan untuk terbentuknya lebih tebal.

4. Struktur geologi

Batuan beku mempunyai porositas dan permeabilitas yang kecil sehingga penetrasi air sangat sulit, dengan adanya rekahan batuan akan lebih memudahkan masuknya air sehingga proses pelapukan akan lebih intensif.

5. Topografi

Topografi setempat sangat berpengaruh terhadap sirkulasi air dan senyawa lain. Topografi dengan daerah landai, air akan bergerak perlahan sehingga dapat menembus batuan lebih dalam melalui rekahan atau pori-pori batuan. Endapan yang mengandung nikel akan terakumulasi pada daerah landai sampai kemiringan sedang. Hal ini menunjukkan ketebalan pelapukan tergantung kepada bentuk topografi. Pada daerah yang curam, air limpasan (*run off*) lebih banyak dari pada air yang meresap sehingga pelapukannya kurang intensif.

6. Waktu

Semakin lama waktu pelapukan semakin besar endapan nikel yang terbentuk. Faktor-faktor tersebut sangat terkait satu sama lain. Saat batuan keluar ke permukaan, maka secara bertahap akan mengalami dekomposisi. Proses kimia

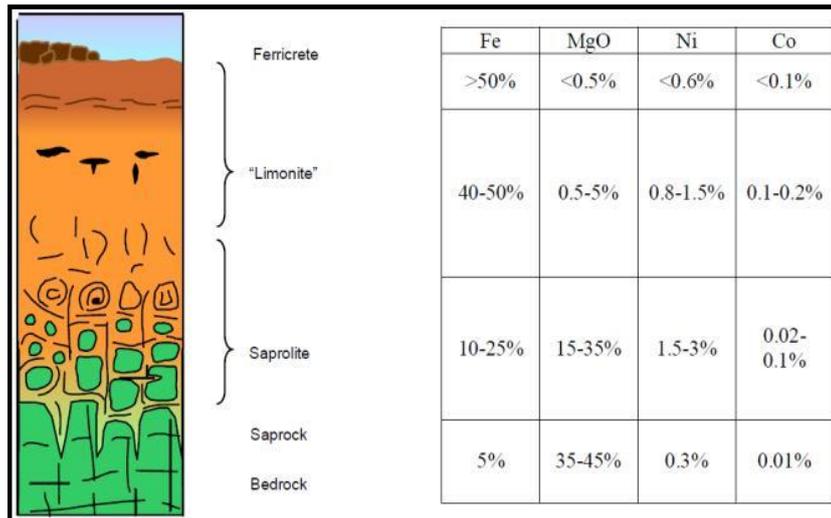
dan mekanik yang disebabkan oleh udara, air dan temperatur akan menghancurkan batuan tersebut menjadi tanah dan lempung.

2.2.2 Endapan Nikel Laterit

Berdasarkan proses pembentukannya, endapan nikel laterit terbagi menjadi beberapa zona dengan ketebalan dan kadar yang bervariasi. Daerah yang mempunyai intensitas pengkekarannya yang intensif kemungkinannya akan mempunyai profil lebih tebal dibandingkan dengan yang pengkekarannya kurang begitu intensif. Perbedaan intensitas inilah yang menyebabkan ketidakaturan dari distribusi pengayaan unsur-unsur pada profil laterit, karena pembentukan endapan laterit sangat tergantung pada faktor-faktor batuan dasar (*source rock*), laju pelapukan, struktur geologi, iklim, topografi, reagen-reagen kimia dan vegetasi, serta waktu (Nushantara, 2002).

Pembentukan nikel laterit yang terdiri atas empat horizon yaitu (Elias, 2002):

1. Tudung besi (*iron cap*) yang merupakan campuran gutit dan limonit berwarna merah tua. Lapisan ini mempunyai kadar besi tinggi dan nikel rendah, yaitu sekitar 60% Fe.
2. Lapisan limonit, merupakan lapisan yang kaya besi sekitar 40–50% Fe, berukuran halus dan berwarna merah coklat atau kekuningan.
3. Lapisan saprolit, dalam lapisan ini mineral utamanya adalah serpentin ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$); nikel mensubstitusi Mg. Bijih saprolit memiliki kandungan nikel lebih tinggi daripada yang terdapat pada lapisan limonit, yaitu sekitar 1,5–3% Ni.
4. Batuan dasar (*bedrock*), bagian ini berbentuk bongkah berukuran >75 cm. Secara umum kadar nikelnya kecil, sekitar 0,2–0,4% nikel. Pembentukan endapan nikel laterit dapat dilihat pada Gambar 2.2



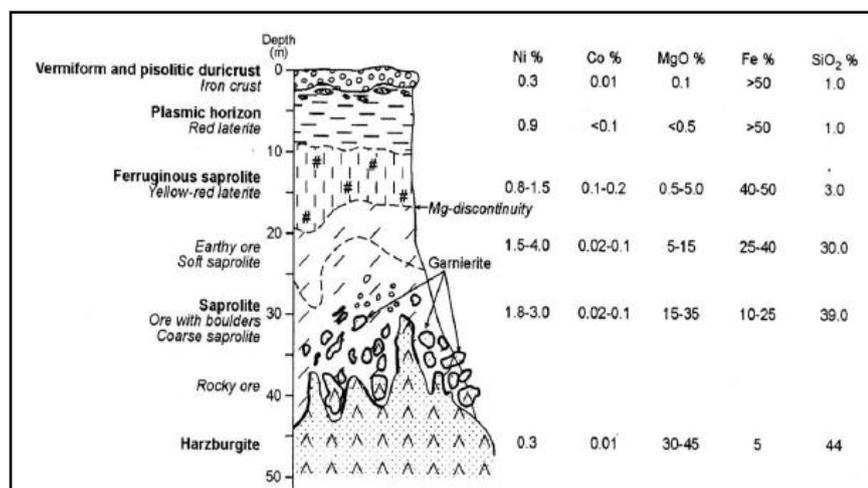
Gambar 2.2 Pembentukan Nikel Laterit (Elias, 2002)

2.2.3 Klasifikasi Endapan Nikel Laterit

Secara mineralogi Nikel Laterit dapat dibagi dalam tiga kategori yaitu (Brand, 1998):

1. *Hydrous silicate deposits*

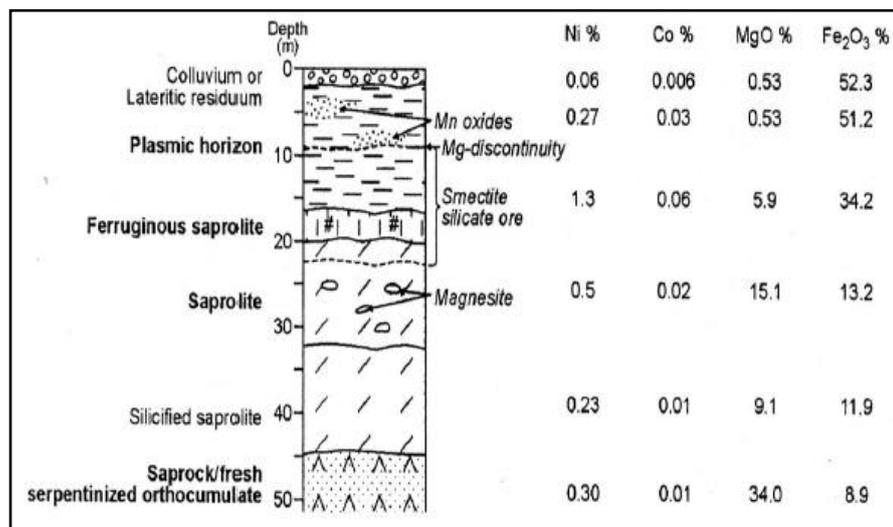
Pada endapan tipe *Hydrous Silicate* bagian bawah zona saprolit (horizon bijih), didominasi oleh mineral-mineral *hydrous* Mg-Ni silikat pada zona saprolit, urat-urat halus atau *box-work* dapat terbentuk. Rekahan dan batas-batas antar butir dapat terisi oleh mineral silikat dan mineral yang kaya dengan nikel. Profil dari Nikel tipe *hydrous silicate* dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Profil Nikel Tipe *Hydrous Silicate* (Brand, 1998)

2. Clay silicate deposits

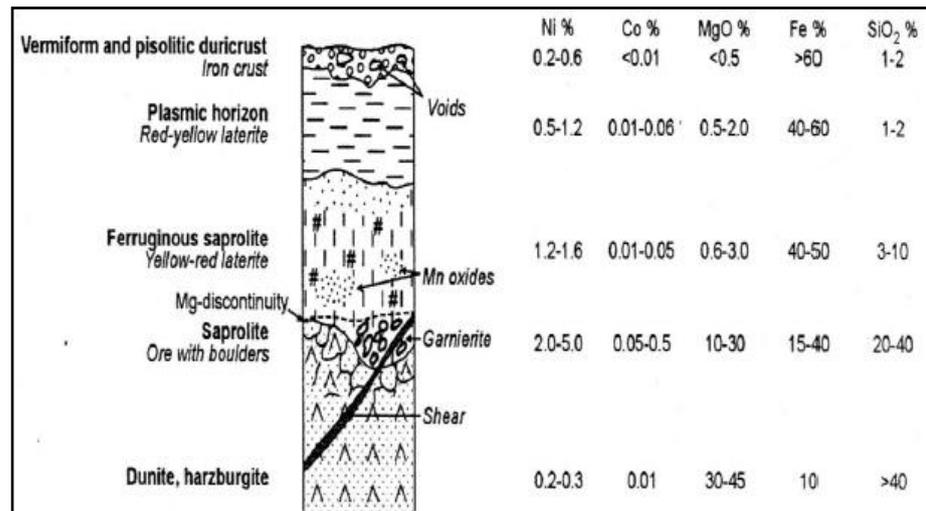
Silika (Si) dari profil laterit, pada tipe ini hanya sebagian yang terlindungi oleh air tanah. Silika yang tersisa bersama-sama dengan Fe, Ni, dan Al membentuk mineral lempung seperti *Ni-rich nontronite* pada bagian tegah sampai dengan bagian atas zona saprolit. Secara umum, kadar Nikel rata-rata pada tipe endapan ini lebih rendah dibandingkan dengan tipe *Hydrous Silicate* yang dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Profil Nikel Tipe *Clay Silicate* (Brand, 1998)

3. Oxide deposits

Oxide deposit dikenal juga dengan nama endapan limonit, dimana Nikel berasosiasi dengan *Fe-oxhydroxide*, dengan mineral utama goetit. Kadar Ni rata-rata pada tipe endapan ini lebih rendah 1.0–1.6%, sehingga memiliki nilai ekonomis yang kurang baik. Pada endapan tipe *oxide deposit* posisi muka air tanah awal relatif dangkal dan drainasenya tidak terhambat (infiltrasi air lancar) sehingga Ni lebih banyak terakumulasi pada zona limonit sampai saprolit bagian atas. Profil nikel tipe *oxide deposits* dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Profil Nikel Tipe *Oxide Deposits* (Brand, 1998)

2.3 Pengaruh Topografi Terhadap Pembentukan Nikel Laterit

Topografi memberikan pengaruh kuat pada laju pelapukan dan akumulasi residu, pada saat yang sama, proses laterisasi mengarah pada pengembangan beberapa bentang alam yang tidak biasa. Pengaruh topografi pada pengembangan laterit diberikan melalui proses penyerapan air, pembuangan zat terlarut, dan erosi profil laterit, seperti dijelaskan oleh (Ahmad, 2006):

1. Aliran air hujan dengan penyerapan air ke dalam profil di lereng curam, sebagian besar air mengalir dan sedikit menembus batu. Ini mendorong pelapukan fisik dari pada pelapukan kimia. Pada lereng yang lebih rendah, air hujan memiliki peluang untuk menembus tanah.
2. Tingkat drainase bawah permukaan dan pembuangan bahan terlarut daerah yang lebih tinggi dan lebih curam menghasilkan drainase yang lebih baik dari pada daerah dataran rendah dan datar.
3. Laju erosi produk terlapuk, laju erosi yang tinggi terus mengekspos permukaan baru terhadap pelapukan kimia dan terus menghilangkan akumulasi residu.

Secara umum, kemiringan $<20^\circ$ diperlukan untuk mempertahankan laterit sebelum erosi.

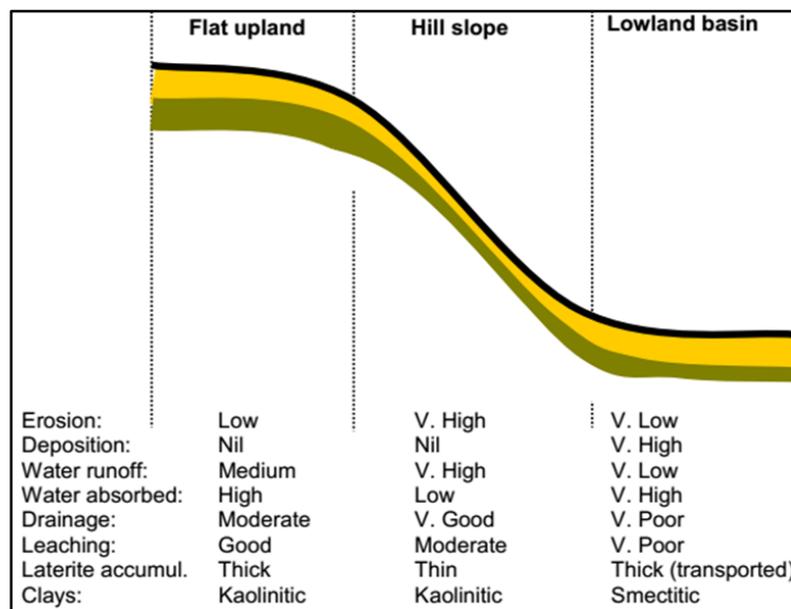
Agar residu laterit dapat bertahan, laju akumulasi harus melebihi erosi alami. Dapat dilihat pada Tabel 2.1 yang menggambarkan secara kualitatif efek pembentukan dan pemindahan laterit yang berhubungan dengan berbagai tingkat lereng topografi (Ahmad, 2006):

Tabel 2.1 Keseimbangan Antara Formasi Laterit dan Erosi Laterit (Ahmad, 2006)

	Daerah datar ketinggian	Lereng yang sangat curam	Kemiringan sederhana	Daerah datar lebih rendah
Penyerapan air hujan	Tinggi	Sangat sedikit	Sedang	Tinggi
Pemindahan bahan terlarut	Sedang	Rendah, karena penyerapan air hujan yang rendah	Baik sekali	Rendah, karena drainase yang buruk
Erosi residu	Rendah	Sangat tinggi	Sedang	Sangat rendah
Akumulasi bersih residu <i>in-situ</i>	Tinggi, karena pembentukan laterit yang tinggi dan erosi yang rendah	Rendah (Tingkat pembentukan rendah; tingkat pemindahan tinggi)	Rendah ke sedang (Tingkat pembentukan tinggi; tingkat pemindahan sedang)	Tinggi (Tingkat pembentukan rendah; tingkat pemindahan rendah; tingkat pengendapan tinggi)
Akumulasi laterit yang diangkut	Tidak ada	Tidak ada	Tanah merayap, dapat menebal di sisi bukit.	Sangat signifikan

Kondisi ideal untuk pelapukan kimia dicapai pada penggulungan ke tanah landai yang ditinggikan dan dimana limpasan permukaan tidak berlebihan dan drainase bawah permukaan baik. Pengayaan nikel supergen tingkat tinggi mengharuskan air tanah dengan nikel terlarut pindah ke muka air yang sangat rendah. Daerah yang datar dan memiliki erosi yang tinggi tidak akan menunjukkan pengayaan nikel supergen yang signifikan di zona saprolit (Ahmad, 2006).

Topografi dan laju pelapukan kimia pada akhirnya mengontrol ketebalan profil laterit yang mewakili keseimbangan antara laterit baru yang terbentuk di dasar profil dan laterit lama yang terkikis di bagian atas profil. Banyak endapan laterit di dunia dikembangkan di atas wilayah yang telah banyak ter-*paneplain* (muka tanah yang relatif datar, menurun ke arah pantai). Contohnya termasuk Pinares de Mayari, Moa, dan Nicaro di Kuba; Goro di Kaledonia Baru; dan endapan laterit di area danau di bagian Selatan Sulawesi Tengah. Pada Gambar 2.5 dapat dilihat diagram contoh komposit topografi laterit (Ahmad, 2006).



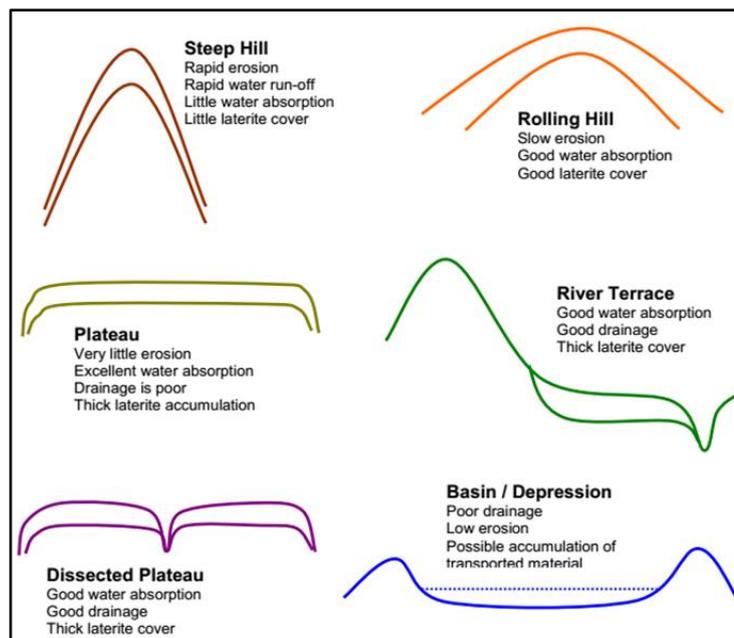
Gambar 2.6 Diagram Contoh Komposit Topografi Laterit (Ahmad, 2006)

Proses laterisasi biasanya mengarah pada pengembangan bentang alam yang sangat khas. Morfologi yang biasanya dikaitkan dengan laterit meliputi (Ahmad, 2006):

1. Mesas, membentuk selimut laterit yang umumnya datar.
2. *Pediment* laterit, yang berkembang di daerah yang terletak di antara gunung dan lembah.
3. *Iron cap* dan *iron shot*, yang mewakili bentuk hidroksida residu besi yang umumnya diendapkan pada daerah rawa datar.

4. Topografi Karst, dimana erosi oleh air tanah di bawah *iron cap* menyebabkan keruntuhan atap dan menghasilkan penurunan karst dan *sink holes*

Pada Gambar 2.7 dapat dilihat bahwa pada daerah bukit yang datar dengan tingkat erosi yang rendah memungkinkan untuk penyerapan air yang tinggi sehingga adanya pembentukan atau akumulasi laterit yang tebal. Berbeda dengan pembentukan laterit pada lereng bukit dengan tingkat erosi yang tinggi dan tingkat aliran air yang tinggi menyebabkan penyerapan air rendah sehingga dalam pembentukan atau akumulasi laterit tipis. Sementara pembentukan laterit pada dataran yang rendah memiliki erosi yang rendah, tingkat aliran air yang rendah, penyerapan air ke dalam tanah tinggi, dan drainase yang buruk hingga menyebabkan *leaching* yang buruk dan akumulasi laterit yang tebal akibat dari perpindahan Nikel (*transported*) (Waheed Ahmad, 2006).



Gambar 2.7 Bentuk Lahan Sederhana Laterit (Ahmad, 2006)

Salah satu pertimbangan yang sering digunakan dalam menganalisis topografi dalam kasus penelitian adalah dengan mengetahui faktor pembentukan Nikel laterit, diantaranya adalah (Isjudarto, 2013):

1. Batuan asal

Adanya batuan asal merupakan syarat utama untuk terbentuknya endapan Nikel laterit. Batuan asal yang berperan penting dalam pembentukan Nikel laterit berupa batuan ultrabasa seperti harzburgit. Batuan ultrabasa mengandung mineral-mineral yang kurang stabil dan mudah melapuk seperti olivin dan piroksin.

2. Iklim

Adanya pergantian musim kemarau dan musim penghujan menyebabkan terjadinya kenaikan dan penurunan permukaan air tanah, juga dapat menyebabkan terjadinya proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur.

3. Senyawa kimia dan vegetasi

Senyawa kimia merupakan faktor yang mempercepat proses pelapukan, seperti air tanah mengandung CO₂ yang bersifat asam berperan penting dalam proses pelapukan kimia. Terkait dengan faktor vegetasi terdapat asam humus yang menyebabkan dekomposisi batuan serta mengubah pH larutan. Jenis vegetasi suatu daerah erat hubungannya dengan terbentuknya asam humus di daerah tersebut. Dalam hal ini, vegetasi yang rapat dan bervariasi mempengaruhi penetrasi air lebih dalam sehingga air tanah yang terkumpul akan lebih banyak dan pembentukan yang akan terbentuk akan lebih tebal.

4. Struktur geologi

Batuan beku mempunyai porositas dan permeabilitas yang kecil sehingga penetrasi air sangat sulit, dengan adanya rekahan batuan akan lebih memudahkan masuknya air sehingga proses pelapukan akan lebih intensif.

5. Topografi

Topografi setempat sangat berpengaruh terhadap sirkulasi air dan senyawa lain. Topografi dengan daerah landai, air akan bergerak perlahan sehingga dapat

menembus batuan lebih dalam melalui rekahan atau pori batuan. Endapan mengandung Nikel akan terakumulasi pada daerah landai sampai kemiringan sedang. Hal ini menunjukkan ketebalan pelapukan tergantung kepada bentuk topografi. Pada daerah yang curam, air limpasan (*run off*) lebih banyak dari pada air yang meresap sehingga pelapukannya kurang intensif.

6. Waktu

Semakin lama waktu pelapukan semakin besar endapan nikel yang terbentuk. Faktor-faktor tersebut sangat terkait satu sama lain. Saat batuan keluar ke permukaan, maka secara bertahap akan mengalami dekomposisi. Proses kimia dan mekanik yang disebabkan oleh udara, air dan temperatur akan menghancurkan batuan tersebut menjadi tanah dan lempung.

Semakin curam kemiringan suatu lereng akan semakin besar gaya penggerak/pendorong *massa* tanah/batuan penyusun lereng. Jenis struktur dan komposisi tanah/batuan penyusun lereng juga berperan penting dalam mengontrol terjadinya gerakan tanah. Hal ini disebabkan karena batuan penyusun lereng tersebut bersifat masif dan kompak atau tidak terdapat bidang-bidang lemah pada *massa* batuan penyusun lereng sehingga gaya kohesi dan kuat geser batuan tersebut cukup besar untuk mempertahankan kestabilan lereng (Ahmad, 2006).

2.4 Kontrol Struktur Geologi Terhadap Sebaran Kadar Nikel (Ni) Daerah Penelitian

Menurut (Surono, 2013), struktur geologi regional lengan Tenggara Sulawesi merupakan kawasan daerah yang masih mendapatkan pengaruh oleh sesar geser mengiri Lasolo yang termasuk kedalam kelompok sesar Lawanopo, sesar geser Matarombeo yang berarah Barat Laut Tenggara dan sesar naik Labengki yang berarah Utara-Selatan, sedangkan daerah penelitian dijumpai struktur geologi berupa kekar

gerus dan kekar tarik dengan hasil analisis kekar gerus memiliki arah tegasan utama berarah Barat Laut-Tenggara dan Utara-Selatan.

Struktur geologi memiliki hubungan yang positif terhadap banyaknya akumulasi kadar Nikel (Ni), hal ini terjadi karena proses pengayaan daerah penelitian bergerak secara lateral yang dibuktikan adanya peningkatan kadar sepanjang arah struktur. Hal ini bersesuaian dengan (Golightly, 1981) yang menyatakan bahwa struktur mengontrol mineralisasi Nikel (Ni) dan pelapukan batuan asal, dimana endapan terbentuk sepanjang zona-zona rekahan pada batuan asal dan berkembang secara linear searah dengan zona geser yang terbentuk. Struktur geologi sangat berperan sebagai jalur fluida pada rekahan tersebut sehingga membantu dalam hal pelapukan struktur mineral primer dan menghilangkan material terlarut. Setelah terlarut, material akan mencari tempat yang landai untuk mengakumulasi hasil larutan. Hal ini disebabkan bentuk topografi kemiringan lereng yang berbeda berpengaruh terhadap pembentukan ketebalan laterit. Pada daerah lereng yang curam ketebalan lateritnya tipis sedangkan pada daerah yang landai ketebalan lateritnya tebal dikarenakan adanya waktu untuk air berpenetrasi lebih dalam ke bawah permukaan (Hasria dkk., 2019).

Akibat desintegrasi pada batuan dasar, air tanah akan masuk ke dalam rekahan-rekahan yang terbentuk dan menyebabkan penjumlahan dalam pengayaan unsur-unsur yang larut selama pelindihan (Friedrich dkk., 1984). Hal tersebut mengakibatkan zona pengayaan terjadi pada zona saprolit yang meningkatkan unsur Nikel (Ni) pada zona tersebut. Selain itu, unsur Nikel (Ni) memiliki tingkat daya larut dan mobilitas yang tinggi sehingga mudah bergerak ke arah sepanjang struktur. Struktur kekar di daerah penelitian sebagian telah terisi oleh silika (kuarsa, krisopras), serpentin dan garnierit yang bersesuaian dengan (Ahmad, 2008) yang menyatakan bahwa rekahan akan terisi oleh mineral garnierite, kalsedon, kuarsa dan serpentin yang akan menghasilkan zona saprolit yang relatif homogen.

2.5 Estimasi Sumberdaya dan Cadangan

Estimasi sumberdaya dan cadangan mineral adalah penaksiran kuantitas dan penyebaran dari mineral yang menguntungkan dan dapat di ekstraksi secara legal dari cadangan mineral, melalui penambangan atau pemanfaatan mineral. Penaksiran cadangan tidak hanya meliputi pertimbangan-pertimbangan tonase dan kadar endapan tetapi juga mempertimbangkan aspek Teknik dan hukum penambangan endapan, pemanfaatan mineral dan penjualan produk (Latif, 2008).

Estimasi sumberdaya adalah estimasi dari bijih endapan mineral yang mana bagian dari perhitungan cadangan yang merupakan hal paling vital sebelum dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu perhitungan cadangan yang mana akan dievaluasi apakah endapan mineral tersebut layak untuk dilanjutkan ke tahap eksplorasi selanjutnya (Widayat, 2005).

2.5.1 Sumberdaya

Sumberdaya mineral adalah suatu konsentrasi atau keterjadian dari material yang memiliki nilai ekonomi yang berada di atas kerak bumi, dengan bentuk, kualitas dan kuantitas tertentu yang memiliki keprospeksian yang beralasan untuk pada akhirnya dapat diekstraksi secara ekonomis. Lokasi kuantitas, kadar, karakteristik geologi dan kemenerusan dari sumberdaya mineral haruslah dapat diketahui, diestimasi atau diinterpretasikan berdasarkan bukti-bukti dan pengetahuan geologi yang spesifik. Sumberdaya mineral dikelompokkan berdasarkan tingkat keyakinan geologinya dalam kategori tereka, tertunjuk, dan terukur (KCFI, 2017).

a. Sumberdaya Mineral Tereka (*Inferred Mineral Resource*)

Sumberdaya Mineral Tereka merupakan bagian dari Sumberdaya Mineral dimana kuantitas dan kualitas kadarnya dapat diestimasi berdasarkan bukti-bukti geologi dan pengambilan contoh yang terbatas. Bukti geologi tersebut memadai untuk

menunjukkan keterjadiannya tetapi tidak memverifikasi kemenerusan kualitas atau kadar dan kemenerusan geologinya (KCMI, 2017).

Sumberdaya Mineral Tereka memiliki tingkat keyakinan lebih rendah dalam penerapannya dibandingkan dengan Sumberdaya Mineral Tertunjuk dan tidak dapat dikonversi ke Cadangan Mineral. Sangat beralasan untuk mengharapkan bahwa sebagian besar Sumberdaya Mineral Tereka dapat ditingkatkan menjadi Sumberdaya Mineral Tertunjuk sejalan dengan berlanjutnya eksplorasi (KCMI, 2017).

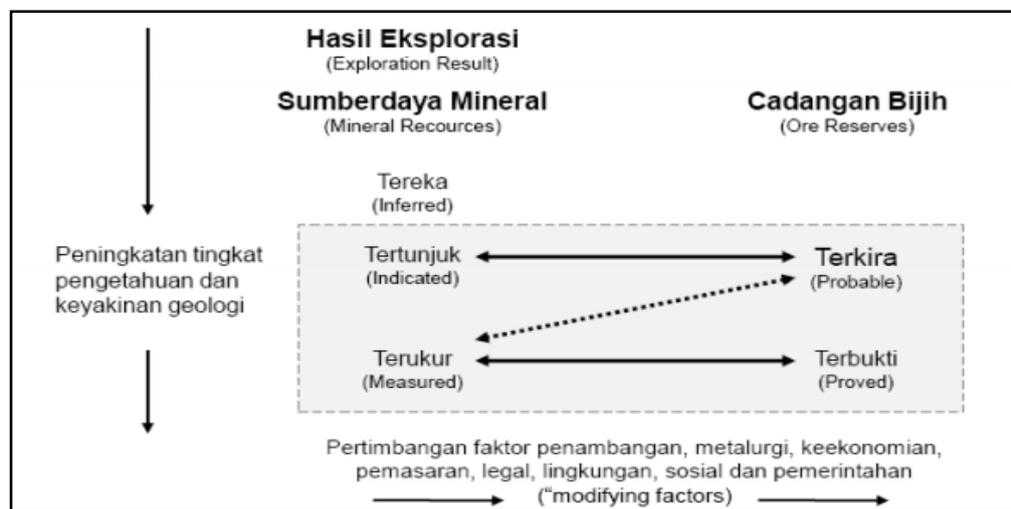
b. Sumberdaya Mineral Tertunjuk (*Indicated Mineral Resource*)

Sumberdaya mineral yang tonase, densitas, bentuk, karakteristik fisik, kadar, dan kandungan mineralnya dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang wajar. Hal ini didasarkan pada hasil eksplorasi, dan informasi pengambilan dan pengujian contoh yang didapatkan melalui teknik yang tepat dari lokasi-lokasi mineralisasi seperti singkapan, paritan uji, sumur uji, terowongan uji dan lubang bor. Lokasi pengambilan data masih terlalu jarang atau spasinya belum tepat untuk memastikan kemenerusan arah geologi dan kadar, tetapi secara spasial cukup untuk mengasumsikan kemenerusannya.

Jarak antara titik pengamatan maksimum seratus meter. Spasi ini bisa diperlebar dengan justifikasi teknis yang bisa dipertanggung jawabkan seperti analisa geostatistika. Sumberdaya Mineral Tertunjuk merupakan bagian dari Sumberdaya Mineral dimana kuantitas, kadar atau kualitas, kerapatan, bentuk, dan karakteristik fisiknya dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang cukup untuk memungkinkan penerapan Faktor-faktor Pengubah secara memadai untuk mendukung perencanaan tambang dan evaluasi kelayakan ekonomi cebakan tersebut. Bukti geologi didapatkan dari eksplorasi, pengambilan contoh dan pengujian yang cukup detail dan andal, memadai untuk mengasumsikan kemenerusan geologi dan kadar atau kualitas diantara titik-titik pengamatan (KCMI, 2017).

c. Sumberdaya Mineral Terukur (*Measured Mineral Resource*)

Sumberdaya mineral yang tonase, densitas, bentuk, karakteristik fisik, kadar, dan kandungan mineralnya dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang tinggi. Hal ini didasarkan pada hasil eksplorasi rinci dan tepercaya, dan informasi pengambilan dan pengujian percontohan yang didapatkan melalui teknik yang tepat dari lokasi mineralisasi seperti singkapan, paritan uji, sumuran uji, terowongan 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 dipertanggung jawabkan seperti analisa geostatistika. Dapat dilihat pada Gambar 2.8 pengelompokan sumberdaya mineral dan cadangan bijih menurut (KCMI, 2017).



Gambar 2.8 Pengelompokan Sumberdaya Mineral dan Cadangan Bijih (KCMI, 2017)

2.5.2 Cadangan

Cadangan merupakan bagian dari sumberdaya yang telah diketahui kadar, kualitas, kuantitas, geometri (ketebalan dan kedalaman), dan penyebarannya. Secara Teknik dapat ditambah atau dapat dikerjakan sesuai teknologi pada saat itu dan secara ekonomis dalam pengerjaan atau pengambilan mineral tersebut dapat memberikan

keuntungan. Klasifikasi cadangan merupakan pengelompokan yang didasarkan atas keyakinan geologi dan kelayakan ekonomi ada dua, yaitu (Widayat, 2005):

a. Cadangan terkira (*probable reserves*)

Cadangan terkira merupakan sumberdaya terindikasi dan Sebagian sumberdaya terukur, tetapi berdasarkan studi kelayakan (*feasibility study*) semua factor yang terkait telah dipenuhi sehingga penambangn dapat dilakukan secara layak. Bagian sumberdaya mineral terunjuk yang ekonomis untuk ditambang, dan dalam beberapa kondisi juga merupakan bagian dari sumberdaya mineral terukur. Hal ini termasuk material dilusi ataupun material hilang, yang kemungkinan terjadi ketika material tersebut ditambang.

Pada klasifikasi ini pengkajian dan studi yang tepat sudah dilakukan, dan termasuk pertimbangan dan modifikasi dari asumsi yang realistis atas faktor–faktor penambangan, pengolahan atau pemurnian, ekonomi, pemasaran, hukum, lingkungan, sosial, dan peraturan pemerintah. Pada saat laporan dibuat, pengkajian ini menunjukkan bahwa ekstraksi telah dapat dibenarkan dan masuk akal.

b. Cadangan terbukti (*proven reserves*)

Cadangan terbukti merupakan sumberdaya terukur yang berdasarkan studi kelayakan (*feasibility study*) telah terpenuhi sehingga penambangan dapat dilakukan secara layak. Bagian dari sumberdaya mineral terukur yang ekonomis untuk ditambang. Hal ini termasuk material dilusi ataupun material hilang, yang kemungkinan terjadi ketika material tersebut ditambang. Pada klasifikasi ini pengkajian dan studi yang tepat Sudah dilakukan, dan termasuk pertimbangan dan modifikasi dari asumsi yang realistis atas faktor–faktor penambangan, pengolahan atau pemurnian, ekonomi, pemasaran, hukum, lingkungan, sosial, dan peraturan pemerintah. Pada saat laporan dibuat, pengkajian ini menunjukkan bahwa ekstraksi

telah dapat dibenarkan dan masuk akal yang dapat dilihat pada Gambar 2.9 Klasifikasi sumberdaya mineral dan cadangan.

Tahap eksplorasi Kelayakan tambang	EKSPLORASI RINCI (A)	EKSPLORASI UMUM (B)	PROSPEKSI (C)	SURVAI TINJAU (D)
LAYAK (1)	Cadangan terbukti (A1)	Cadangan terkira (A1B1)		
BELUM LAYAK (2)	Sumber daya mineral terukur (A2)	Sumber daya mineral terunjuk (B2)	Sumber daya mineral tereka (C2)	Sumber daya mineral hipotetik (D2)

← Tingkat Keyakinan Geologi

↑ Tingkat Kelayakan Tambang

Gambar 2.9 Klasifikasi Sumberdaya Mineral dan Cadangan (Widayat, 2005).

Harus pula diingat bahwa penaksiran cadangan menghasilkan suatu taksiran, model cadangan yang kita buat adalah pendekatan dari realitas, berdasarkan data/informasi yang dimiliki. Pentingnya Penaksiran Cadangan yaitu (Widayat, 2005):

1. Memberikan taksiran kuantitas (ton) dari cadangan bijih.
2. Memberikan perkiraan bentuk 3-dimensi dari cadangan bijih serta distribusi ruang (spatial) dari nilainya. Hal ini penting untuk menentukan urutan/tahapan penambangan, yang pada gilirannya akan mempengaruhi pemilihan peralatan dan NPV (*Net Present Value*) dari tambang.
3. Jumlah cadangan menentukan umur tambang. Hal ini penting dalam perancangan pabrik pengolahan dan kebutuhan infrastruktur lainnya.
4. Batas-batas kegiatan penambangan (*pit limit*) dibuat berdasarkan taksiran cadangan. Faktor ini harus diperhatikan dalam menentukan lokasi pembuangan tanah/batuan penutup dan tailing (*waste dump and tailings impoundment*), pabrik pengolahan bijih, bengkel dan fasilitas lainnya.

2.6 Metode *Inverse Distance Weighting* (IDW)

Metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) 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. Suatu cara penaksiran di mana rata-rata suatu blok merupakan kombinasi linier atau rata-rata berbobot (*wieghting 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 (Latif, 2008).

Semakin tinggi pangkat yang digunakan, hasilnya akan semakin mendekati metode poligon contoh terdekat. Sifat atau perilaku anisotropik dari cebakan mineral dapat diperhitungkan (*space warping*). Merupakan metode yang masih umum dipakai. Metoda sepejarak ini mempunyai batasan. Metode ini hanya memperhatikan jarak saja dan belum memperhatikan efek pengelompokan data, sehingga data dengan jarak yang sama namun mempunyai pola sebaran yang berbeda masih akan memberikan hasil yang sama, atau dengan kata lain metode ini belum memberikan korelasi ruang antara titik data dengan titik data yang lain (Pramono, 2008).

Keuntungan dalam melakukan metode ini adalah nilai interpolasi akan lebih mirip pada data sampel yang dekat dari pada yang lebih jauh. Bobot (*weight*) akan berubah secara linier sesuai dengan jaraknya dengan data sampel. Bobot ini tidak akan dipengaruhi oleh letak dari data sampel. Metode ini biasanya digunakan dalam industri pertambangan karena mudah untuk digunakan (Pramono, 2008).

Kerugian dari metode *Inverse Distance Weighted* (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).

Secara garis besar penjelasan metode ini adalah sebagai berikut (Pramono, 2008):

1. Suatu cara penaksiran dimana harga rata-rata titik yang ditaksir merupakan kombinasi linear atau harga rata-rata terbobot (*weighted average*) dari data lubang bor disekitar titik tersebut. Data di dekat titik yang ditaksir memperoleh bobot yang lebih besar, sedangkan data yang jauh dari titik yang ditaksir bobotnya lebih kecil. Bobot ini berbanding terbalik dengan jarak data dari titik yang ditaksir.
2. Pilihan dari pangkat yang digunakan (ID1, ID2, ID3, ...) berpengaruh terhadap hasil taksiran. Semakin tinggi pangkat yang digunakan, hasilnya akan semakin mendekati hasil yang lebih baik. Jika d adalah jarak titik yang ditaksir z , dengan titik data, maka faktor pembobotan adalah w , untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.10 dengan rumus perhitungan sumberdaya menurut (Pramono, 2008).

- Untuk ID pangkat satu (Inverse Distance)

$$w_j = \frac{\frac{1}{d_j}}{\sum_{i=1}^j \frac{1}{d_i}}$$

- Untuk ID pangkat dua (Inverse Distance Square)

$$w_j = \frac{\frac{1}{d_j^2}}{\sum_{i=1}^j \frac{1}{d_i^2}}$$

- Untuk ID pangkat tiga (Inverse Distance Cubed)

$$w_j = \frac{\frac{1}{d_j^3}}{\sum_{i=1}^j \frac{1}{d_i^3}}$$

Maka hasil taksiran z :

$$z = \sum_{i=1}^j w_i z_i$$

Gambar 2.10 Rumus Perhitungan Sumberdaya Menggunakan Metode IDW (Pramono, 2008)

2.7 Estimasi Umur Tambang

Penentuan Umur tambang dapat dinyatakan dalam periode waktu seperti bulan atau tahun, jumlah bahan galian, kadar bahan galian, dan jumlah material yang akan dipindahkan dari tambang. penjadwalan produksi harus diperbaharui secara berkala yang disesuaikan dengan kondisi di lokasi tambang, seperti ketersediaan peralatan. Dengan adanya jadwal produksi ini akan memudahkan dalam penentuan kebutuhan alat serta lokasi blok penambangan yang harus ditambang terlebih dahulu secara efisien (Trino dan Islamiah, 2014).

Pembuatan jadwal produksi harus disesuaikan dengan kriteria desain yang memungkinkan, yaitu adanya akses dan ruang yang cukup ke area kerja bagi alat, sehingga penambangan dapat berjalan secara efisien. Apabila desain kemajuan penambangan tidak memungkinkan untuk diterapkan, penjadwalan ulang perlu dilakukan kemudian dilakukan statistika Deskriptif (Wahid, 2019).

$$\text{Umur tambang} = \frac{\text{Total Tonase (ton)}}{\text{Target produksi } \left(\frac{\text{ton}}{\text{tahun}}\right)} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dalam suatu penentuan umur tambang pada umumnya berdasar pada estimasi cadangan, serta rancangan *pit* yang telah dibuat sebelumnya. Selain menggunakan parameter estimasi cadangan serta rancangan *pit*, digunakan pula parameter produktivitas alat. Hasil dari penjadwalan produksi dapat diatur mengenai jangka waktu produksi, baik itu produksi jangka Panjang, produksi jangka menengah, ataupun produksi jangka pendek (Wahid, 2019).