

SKRIPSI

OPTIMASI LOKASI AWAL PENAMBANGAN BERDASARKAN SEBARAN KADAR Ni DAN SEBARAN RASIO S/M DENGAN METODE *INVERSE DISTANCE WEIGHTING* (IDW)

(Studi Kasus: Site X, PT Natural Persada Mandiri, Kabupaten Konawe Utara,
Provinsi Sulawesi Tenggara)

Disusun dan diajukan oleh

ASTUTI AHRIANINSI

D111181003



DEPARTEMEN TEKNIK PERTAMBANGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**OPTIMASI LOKASI AWAL PENAMBANGAN BERDASARKAN
SEBARAN KADAR Ni DAN SEBARAN RASIO S/M DENGAN
METODE *INVERSE DISTANCE WEIGHTING* (IDW)**

(Studi Kasus: Site X, PT Natural Persada Mandiri, Kabupaten Konawe Utara,
Provinsi Sulawesi Tenggara)

Disusun dan diajukan oleh

ASTUTI AHRIANINSI

D111181003

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 21 Desember 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

A.N. Pembimbing II



Asran Ilyas, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 197303142000121001

Pembimbing Pendamping,



Dr. Phil.nat. Sri Widodo, ST., MT

NIP. 197101012012121001

Wakil Dekan

Bidang Akademik dan Kemahasiswaan



Dr. Amil Ahmad Ilham, S.T., M.IT.

NIP. 197310101998021001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Astuti Ahrianinsi
Nim : D111181003
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

OPTIMASI LOKASI AWAL PENAMBANGAN BERDASARKAN SEBARAN KADAR Ni DAN SEBARAN RASIO S/M DENGAN METODE *INVERSE DISTANCE WEIGHTING* (IDW)
(Studi Kasus: Site X, PT Natural Persada Mandiri, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara)

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain, dan bahwa skripsi yang saya tulis ini merupakan benar-benar hasil karya saya sendiri. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 20 Desember 2022

Yang menyatakan



Astuti Ahrianinsi

ABSTRAK

Endapan nikel laterit merupakan salah satu sumberdaya alam yang cukup melimpah di Indonesia. Salah satu perusahaan yang mengolah bahan tambang endapan nikel laterit tersebut adalah PT Natural Persada Mandiri (NPM) yang beroperasi di Desa Waturambaha, Kecamatan Lasolo Kepulauan, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Tahapan awal yang dilakukan PT NPM adalah tahap eksplorasi yang salah satunya adalah pemodelan sumberdaya endapan yang bertujuan untuk mengetahui model sebaran kadar Ni baik di zona limonit maupun di zona saprolitnya. Dalam penelitian ini dilakukan pemodelan sebaran kadar Ni dan sebaran rasio S/M dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) untuk menentukan lokasi awal penambangan yang baik di salah satu blok pada lokasi penelitian. Pemodelan rasio S/M juga dilakukan dalam penelitian ini untuk melihat sebaran kadar silika yang rendah untuk keperluan keamanan pabrik pengolahan dalam proses pengolahan nikel di pabrik pengolahan, di mana dibutuhkan rasio S/M yang kecil dan aman untuk tanur pirometalurgi. Data yang digunakan berupa data titik bor yang terdiri dari 47 titik bor yang diolah untuk pembuatan *database*. Dari hasil penelitian, ditemukan bahwa kadar Ni tertinggi pada zona limonit yaitu 1,7%, dan kadar terendah 0,7% dengan rasio S/M tertinggi 11,6, dan terendah 0,1. Pada zona saprolit kadar Ni tertinggi yaitu 3,1%, kadar terendah 0,7% dengan rasio S/M tertinggi 5,1 dan terendah 0,9. Dilihat dari sebaran kadar nikel pada kedua zona tersebut, diperoleh kesimpulan bahwa rencana awal yang baik untuk lokasi penambangan adalah daerah timur laut pada daerah penelitian dengan kadar Ni 1,1-1,3% dengan rasio S/M 2,1-3,6 pada zona limonit, dan kadar Ni 2,7-3,1% dengan rasio S/M 0,9-1,6.

Kata kunci: Endapan Nikel Laterit, Pemodelan Sumberdaya Mineral, Kadar Nikel, Rasio S/M, *Inverse Distance Weighting* (IDW).

ABSTRACT

Laterite nickel deposits are one of the most abundant natural resources in Indonesia. One of the companies that processes the laterite nickel deposit mining material is PT Natural Persada Mandiri (NPM) which operates in Waturambaha Village, Lasolo Islands District, North Konawe Regency, Southeast Sulawesi Province. The initial stage carried out by PT NPM is the exploration stage, one of which is the modeling of deposit resources which aims to determine the model of the distribution of Ni element levels both in the limonite zone and in the saprolite zone. In this study, modeling the distribution of Ni levels and the distribution of S/M ratios was carried out using the Inverse Distance Weighting (IDW) method to determine the initial location of good mining in one of the blocks at the research site. S/M ratio modeling was also carried out in this study to see the distribution of low silica grade for the safety purposes of processing plants in the nickel processing process in processing plants, where a small S/M ratio is needed that is safe for pyrometallurgical furnaces. The data used is in the form of drill point data consisting of 47 drill points that are processed for database creation. From the results of the study, it was found that the highest Ni grade value in the limonite zone was 1.7%, and the lowest grade was 0.7% with the highest S/M ratio of 11.6, and the lowest was 0.1. While in the saprolite zone, the highest Ni content is 3.1%, the lowest grade is 0.7% with the highest S/M ratio of 5.1 and the lowest is 0.9. Judging from the distribution of nickel grade in the two zones, it was concluded that a good preliminary plan for the mining site was the northeastern area in the study area with Ni content of 1.1-1.3% with an S/M ratio of 2.1-3.6 in the limonite zone, and a Ni content of 2.7-3.1% with an S/M ratio of 0.9-1.6.

Keywords: Laterite Nickel Deposits, Mineral Resource Modeling, Nickel Grade, S/M Ratio, Inverse Distance Weighting (IDW).

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim,

Assalamualaikum warahmataullahi wabarakatuh

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan nikmat-Nya kepada kita semua untuk terus menuntut ilmu sebagai bentuk ketaatan kepada sang pemilik ilmu pengetahuan. Shalawat serta salam atas junjungan kita Rasulullah Muhammad SAW, manusia terbaik yang senantiasa ruku' dan sujud kepada Allah SWT dalam rangka menegakkan panji-panji kebenaran di muka bumi ini.

Laporan tugas akhir dengan judul "optimasi Lokasi Awal Penambangan Berdasarkan Sebaran Kadar Ni dan Sebaran Perbandingan S/M Menggunakan Metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) (Studi Kasus: Site X PT Natural Persada Mandiri, Kabupaten Konawe utara, Provinsi Sulawesi Tenggara)" dapat diselesaikan dengan berbagai suka dan duka yang dilalui dalam proses penyusunannya.

Penulis mengucapkan terima kasih pada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan baik secara moril maupun materil sehingga laporan ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Natural Persada Mandiri selaku perusahaan yang telah menerima penulis untuk melaksanakan penelitian tugas akhir, Bapak Heryanto, selaku Site Manager PT Natural Persada Mandiri Site Project PT BHR yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melaksanakan pengambilan data, Bapak Takbir Halim selaku Pembimbing yang telah membantu mengarahkan serta membantu selama kegiatan pengambilan data, Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, MT., selaku Kepala Laboratorium Eksplorasi Mineral yang telah membimbing dan mengarahkan selama penyusunan laporan, Bapak Asran Ilyas, ST, MT. Ph.D, selaku Dosen Pembimbing I penulis yang senantiasa memberikan arahan dan memotivasi bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Bapak Dr. Phil. nat.

Sri Widodo, ST, MT., selaku Pembimbing II penulis yang telah menjadi motivasi untuk terus belajar dan menuntut ilmu selama penulis berkuliah di Departemen Teknik Pertambangan.

Terima kasih yang tak terhingga untuk kedua orang tua penulis Burhanuddin dan Bara, selaku orang tua yang selalu memberikan dukungan dalam bentuk apapun kepada penulis, Saudara TUNNEL 18 (Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin Angkatan 2018) yang secara suka rela memberikan waktu, dukungan, bantuan dan semangat kepada penulis, PERMATA FT-UH yang telah memberikan keluarga dan pengalaman yang berharga bagi pribadi penulis., dan Anggota Laboratorium Eksplorasi Mineral Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu dan memberikan saran-saran selama kegiatan kuliah praktik.

Penulis menyadari terdapat kekurangan dan keterbatasan selama kegiatan penelitian dan dalam penyusunan laporan tugas Akhir ini sehingga kritik dan saran sangat penulis harapkan guna menutupi kekurangan dan keterbatasan penulis dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Akhir kata, semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pembaca.

Gowa, September 2022

Astuti Ahrianinsi

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Tahapan Penelitian	3
1.6 Lokasi Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Genesa Nikel Laterit	6
2.2 Analisis Korelasi	15
2.3 Pengolahan Bijih Nikel	16
2.4 Metode <i>Inverse Distance Weighting</i> (IDW)	20
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Sumber Data	23
3.2 Pengolahan Data	24
3.3 Diagram Alir	27
BAB IV PEMBAHASAN	29

4.1	Komposit Data Bor	29
4.2	Hubungan Unsur Ni dengan SiO ₂ dan MgO	33
4.3	Sebaran Kadar Ni	36
4.4	Sebaran Rasio S/M	39
4.5	<i>Overlay</i> Sebaran Kadar Ni dan Rasio S/M	42
BAB V KESIMPULAN		45
5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran	45
DAFTAR PUSTAKA		46
LAMPIRAN		49

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian	5
2.1 Penampang vertikal endapan nikel laterit dengan relatif besaran kadar pada unsur dan senyawa (Elias, 2002	7
2.2 Profil umum endapan Ni laterit (Fu, <i>et al.</i> , 2014)	11
2.3 Potongan melintang permukaan sebelum dan setelah proses pelapukan nikel (Slack et al., 2017)	15
2.4 Lapisan ideal laterit daerah tropis dialam dan pengolahannya (Butt, 2013).	17
2.5 Diagram alir proses pengolahan bijih Ni laterit (Rodrigues, 2013).....	17
3.1 Kontur daerah penelitian	25
3.2 Bentuk peta topografi.	26
3.3 Peta distribusi kadar unsur dengan aplikasi ArcMap 10.3	27
3.4 Diagram alir penelitian	28
4.1 Distribusi konsentrasi Ni dan SiO ₂ zona limonit	33
4.2 Distribusi konsentrasi Ni dan SiO ₂ zona Saprolit	34
4.3 Distribusi konsentrasi Ni dan MgO zona limonit	35
4.4 Distribusi konsentrasi Ni dan MgO zona Saprolit	35
4.5 Peta sebaran kadar Ni pada zona limonit	37
4.6 Peta sebaran kadar Ni pada zona saprolit	38
4.7 Peta sebaran rasio S/M zona limonit	40
4.8 Peta sebaran rasio S/M zona saprolit	41

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Interpretasi koefisien korelasi (Sugiyono, 2014).....	16
2.2 Estimasi dengan metode IDW	22
3.1 Data <i>collar</i> yang akan di <i>input</i> ke ArcMap 10.3	25
4.1 Komposit kadar Ni zona limonit	29
4.2 Komposit kadar Ni zona saprolit	30
4.3 Komposit kadar silika zona limonit.....	31
4.4 Komposit kadar silika zona saprolit	31
4.5 Komposit kadar magnesia zona limonit	32
4.6 Komposit kadar magnesia zona saprolit	32
4.7 Kadar ideal Rasio S/M	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A Peta tunjuk lokasi Penelitian	53
B Data <i>Assay</i>	55
C Data <i>collar</i>	73
D Data <i>survey</i>	75
E Data geologi	77
F Peta topografi	95
G Peta sebaran kadar Ni dan sebaran rasio S/M limonit	97
H Peta sebaran kadar Ni dan sebaran rasio S/M Saprolit	99

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara penghasil nikel terbesar kedua dunia setelah Rusia yang memberikan sumbangan sekitar 15% dari jumlah produksi nikel dunia pada tahun 2010 (Fitiran, dkk, 2011). Istilah Laterit sendiri diambil dari bahasa Latin "later" yang berarti batubata merah, yang dikemukakan oleh Buchanan Hamilton (1807). Endapan nikel laterit terbentuk dari hasil pelapukan dari batuan induk dari jenis ultrabasa (Ningsih, 2012) Menurut Santos-Ynigo and Esguerra (1961), kandungan nikel laterit yang paling tinggi banyak ditemukan pada batuan dunit, peridotit dan serpentinit, sedangkan kandungan nikel laterit yang rendah banyak terdapat pada batuan *pyroxenite* dan konglomerat.

Saat ini industri pertambangan dihadapkan pada suatu problematika di mana cadangan tambangnya semakin menipis bahkan habis dan mengakibatkan perusahaan harus menghentikan kegiatan penambangan pada suatu daerah. Sumber daya mineral yang memiliki sifat khusus yaitu *non renewable resources* yang artinya apabila bahan galian tersebut tidak akan terbaharui kembali atau dengan kata lain industri pertambangan adalah industri besar tanpa daur (Mustajam, 2012).

Berdasarkan karakteristik geologi dan tatanan tektoniknya, terbentuk beberapa lokasi endapan nikel laterit yang potensial untuk ditambang, terutama di daerah Indonesia bagian timur. Endapan nikel laterit merupakan produk residual pelapukan kimia pada batuan *ultramafic*. Nikel laterit umumnya terdapat pada daerah dengan iklim tropis, dikarenakan iklim yang mendukung terjadinya pelapukan, selain topografi, drainase, tenaga tektonik, batuan induk dan struktur geologi (Elias, 2002).

Pengolahan jalur hidrometalurgi dapat mengolah bijih nikel laterit dengan kadar nikel dibawah 1,5%-2% sedangkan jalur pirometalurgi dapat mengolah bijih dengan kadar nikel 1,8%-3%. Metode pirometalurgi digunakan untuk mengolah nikel dari nikel endapan laterit zona limonit yang memiliki kadar Ni dan MgO yang rendah. Nikel dengan kadar MgO yang tinggi kurang cocok diolah dengan menggunakan metode pirometalurgi karena dapat meningkatkan konsumsi asam yang diperlukan saat melakukan proses ekstraksi (Prasetyo dan Ronald, 2011).

Salah satu daerah di Kecamatan Lasolo Kepulauan, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara yang memiliki potensi sumberdaya alam berupa endapan nikel laterit yaitu pada desa waturambaha, yang merupakan hasil penyelidikan umum yang dilakukan oleh PT Natural Persada Mandiri. Berdasarkan latar belakang tersebut maka penulis sangat tertarik untuk melakukan pemodelan sebaran kadar Ni dan rasio S/M di lokasi penambangan PT Natural Persada Mandiri, sehingga penelitian ini dilaksanakan dengan mengangkat judul "Optimasi Lokasi Awal Penambangan Berdasarkan Sebaran Kadar Ni Dan Sebaran Perbandingan S/M Dengan Metode *Inverse Distance Weighting* (IDW)".

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana model persebaran kadar Ni dan rasio S/M pada endapan nikel laterit di lokasi penelitian apabila dilakukan pemodelan menggunakan metode IDW.
2. Bagaimana hubungan Ni terhadap SiO₂ dan MgO pada bijih nikel laterit di lokasi penelitian.
3. Bagaimana menentukan lokasi awal penambangan berdasarkan pemodelan sebaran kadar Ni dan Rasio S/M.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis sebaran kadar Ni dan sebaran rasio S/M pada endapan nikel laterit berdasarkan hasil pemodelan menggunakan metode IDW.
2. Menganalisis hubungan Ni terhadap SiO_2 dan MgO pada bijih nikel laterit di lokasi penelitian.
3. Menentukan lokasi penambangan awal berdasarkan pertimbangan kadar Ni dengan rasio S/M.

1.4 Manfaat Penelitian

Kegunaan dari penelitian ini, yaitu:

1. Bagi perusahaan
Sebagai bahan pertimbangan bagi perusahaan dalam menentukan lokasi awal penambangan yang baik dengan melihat lokasi kadar Ni yang tinggi dan rasio S/M yang rendah.
2. Bagi kalangan akademik
Bahan pembelajaran/referensi dalam menambah wawasan ilmu pengetahuan dan teknologi.

1.5 Tahapan Penelitian

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

1. Tahap studi literatur

Studi literatur merupakan kegiatan yang meliputi pengumpulan dan pengkajian berbagai teori dan referensi mengenai topik penelitian yang dapat mendukung jalannya penelitian. Kajian ini ditinjau melalui buku, jurnal penelitian, artikel

ataupun sumber-sumber lain yang berkaitan dengan topik penelitian.

2. Tahap perumusan masalah

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

3. Tahap orientasi lapangan dan pengambilan data

Orientasi lapangan dilakukan di daerah PT Natural Persada Mandiri. Pengambilan data dilakukan dengan mengambil beberapa data seperti *assay*, *collar*, *survey* dan geologi. Data ini merupakan data sekunder.

4. Tahap pengolahan data

Data yang telah diperoleh dari hasil pengambilan data kemudian dianalisis untuk mengestimasi sumberdaya mineral daerah penelitian. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *Microsoft excel* dan ArcMap.

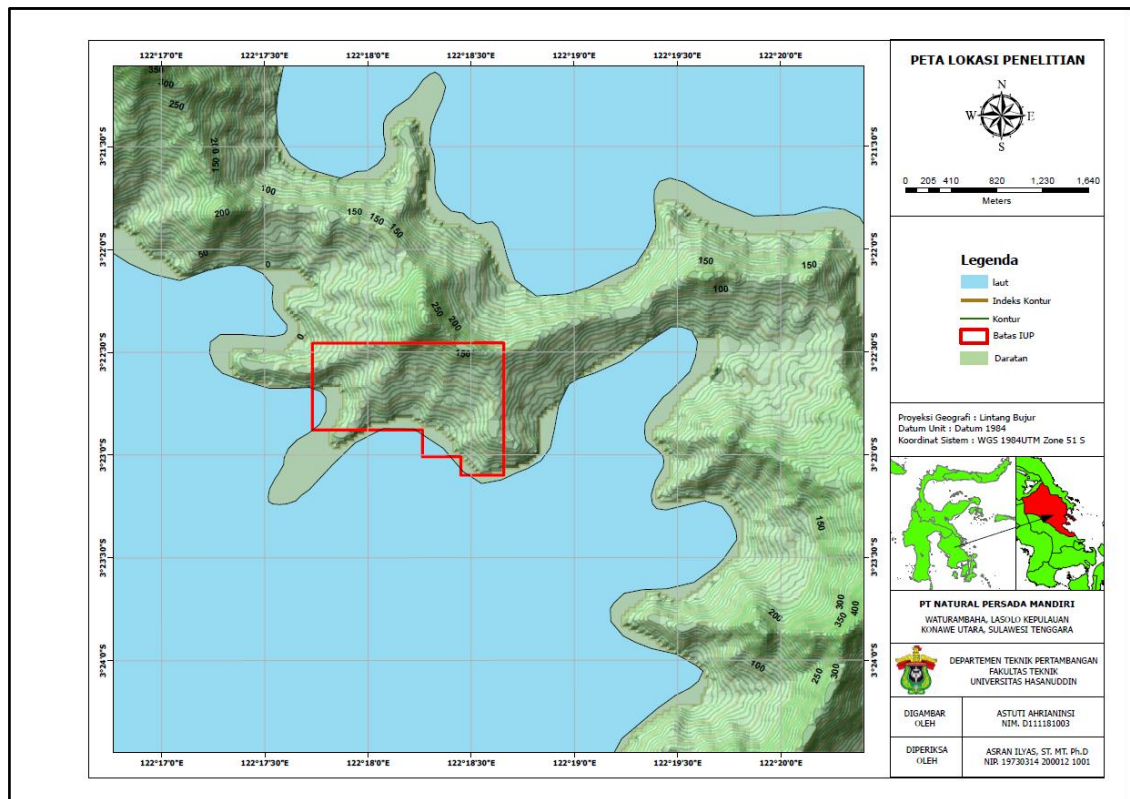
5. Tahap penyusunan laporan tugas akhir

Tahapan ini merupakan tahapan paling akhir yang dilakukan dalam rangkaian kegiatan penelitian. Seluruh hasil penelitian akan disusun dan dilaporkan secara sistematis sesuai aturan penulisan buku putih yang telah ditetapkan oleh Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin.

6. Tahap seminar dan penyerahan laporan tugas akhir

Laporan tugas akhir akan dipresentasikan pada seminar hasil dan ujian sidang. Tahapan ini dimaksudkan untuk memaparkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, melalui tahapan ini akan didapatkan saran untuk menyempurnakan laporan tugas akhir dari tim penguji, Pembimbing dan peserta seminar. Laporan tugas akhir yang telah direvisi diserahkan ke Departemen Teknik Pertambangan.

1.6 Lokasi Penelitian



Gambar 1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian.

PT Natural Persada Mandiri Site X yang terletak di desa Waturambaha, Kecamatan Lasolo Kepulauan, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara (Gambar 1.1). Lokasi Penelitian dapat ditempuh melalui jalur darat, udara, maupun laut. Perjalanan dari Makassar menuju lokasi kerja praktik ditempuh menggunakan transportasi udara menuju kota Kendari dengan waktu tempuh \pm 1 Jam untuk sampai di Bandara Halu Oleo, Kendari. Perjalanan dari bandara menuju Kabupaten Konawe Utara melalui jalur darat yang dilakukan dengan menggunakan kendaraan roda empat selama \pm 6 jam. Perjalanan kemudian dilanjutkan melalui laut selama \pm 45 menit dari salah satu site PT NPM ke site Project X. Peta tunjuk lokasi kerja praktik dapat dilihat pada Gambar 1.1.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Genesa Nikel Laterit

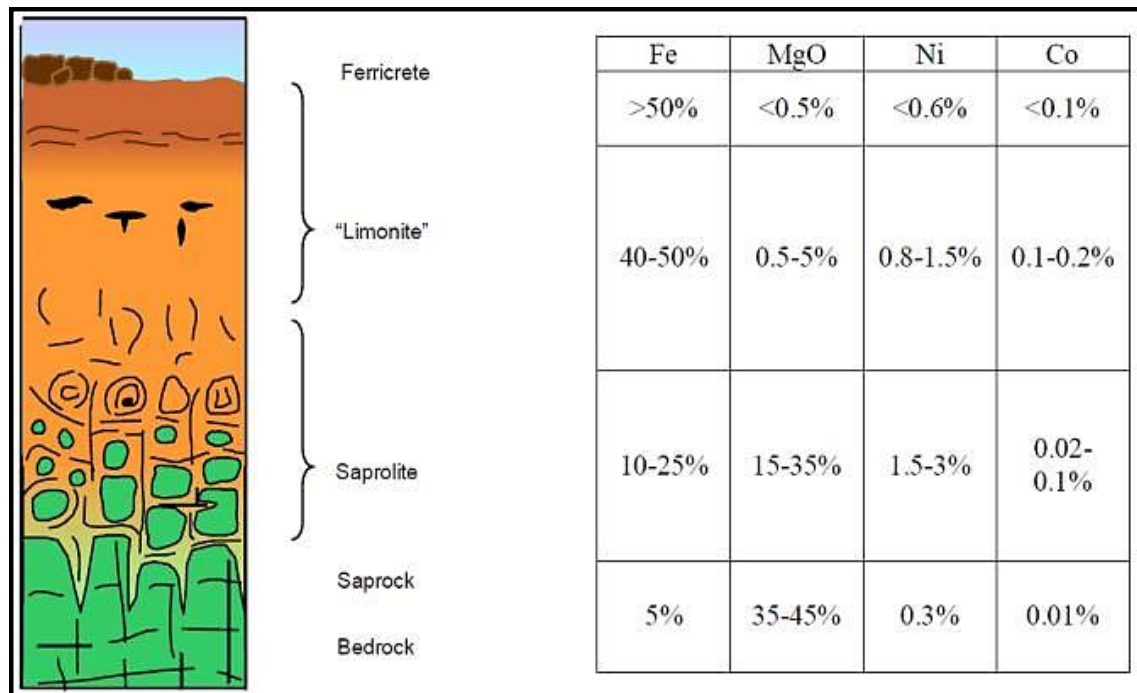
Proses konsentrasi nikel pada endapan nikel laterit dimulai dari air permukaan yang mengandung CO₂ dari atmosfer dan terkayakan kembali oleh material-material organis di permukaan meresap ke bawah permukaan tanah sampai pada zona pelindihan, di mana fluktuasi air tanah berlangsung. Akibat fluktuasi ini, air tanah yang kaya akan CO₂ kontak dengan zona saprolit yang masih mengandung batuan asal dan melarutkan mineral-mineral yang tidak stabil seperti olivin, serpentin dan piroksin. Mg, Si dan Ni akan larut dan terbawa sesuai dengan aliran air tanah dan akan memberikan mineral-mineral baru pada proses pengendapan kembali (Hasanuddin, 1992).

Boldt (1967), menyatakan bahwa proses pelapukan dimulai pada batuan ultrabasa (peridotit, dunit, serpentin), di mana pada batuan ini banyak mengandung mineral olivin, magnesium silikat, dan besi silikat yang pada umumnya banyak mengandung 0,30 % nikel. Batuan tersebut sangat mudah dipengaruhi oleh pelapukan lateritik. Air tanah yang kaya akan CO₂ berasal dari udara luar dan tumbuh-tumbuhan akan menghancurkan olivin. Terjadi penguraian olivin, magnesium, besi, nikel dan silika ke dalam larutan, cenderung untuk membentuk suspensi koloid dari partikel-partikel silika yang submikroskopis. Di dalam larutan besi akan bersenyawa dengan oksida dan mengendap sebagai ferri hidroksida. Akhirnya endapan ini akan menghilangkan air dengan membentuk mineral-mineral karat, yaitu hematit dan kobalt dalam jumlah kecil, jadi besi oksida mengendap dekat dengan permukaan tanah.

Proses laterisasi adalah proses pencucian pada mineral yang mudah larut dan

silika pada profil laterit pada lingkungan yang bersifat asam dan lembab serta membentuk konsentrasi endapan hasil pengkayaan proses laterisasi pada unsur Fe, Cr, Al, Ni dan Co (Rose et al., 1979, dalam Nushantara, 2002).

Proses pelapukan dan pencucian yang terjadi akan menyebabkan unsur Fe, Cr, Al, Ni dan Co terkayakan di zona limonit dan terikat sebagai mineral-mineral oksida atau hidroksida, seperti limonit, hematit, dan goetit (Hasanuddin, 1992). Umumnya endapan nikel terbentuk pada batuan ultrabasa dengan kandungan Fe di olivin yang tinggi dan nikel berkadar antara 0,2% - 0,4%. Berikut merupakan Gambar penampang vertikal endapan nikel laterit yang dapat dilihat pada (Gambar 2.1).



Gambar 2.1. Penampang vertikal endapan nikel laterit dengan relatif besaran kadar pada unsur dan senyawanya (Elias, 2002).

Pembentukan bijih nikel laterit dipengaruhi oleh beberapa faktor. Adapun faktor-faktor yang memengaruhi pembentukan nikel laterit adalah (Ahmad, 2005):

1. Batuan Asal

Adanya batuan asal merupakan syarat utama terbentuknya endapan nikel laterit. Batuan asal dari nikel laterit adalah batuan ultrabasa. Dalam hal ini

pada batuan ultrabasa terdapat unsur nikel (Ni) yang paling banyak di antara batuan lainnya. Batuan ultrabasa mempunyai komponen-komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel serta mempunyai mineral-mineral yang paling mudah lapuk atau tidak stabil, seperti olivin dan piroksin.

2. Iklim

Pergantian musim kemarau dan musim penghujan menyebabkan terjadinya kenaikan dan penurunan permukaan air tanah sehingga terjadi proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur. Perbedaan temperatur yang cukup besar membantu terjadinya pelapukan mekanis, di mana terjadi rekahan-rekahan dalam batuan yang akan mempermudah proses atau reaksi kimia pada batuan.

3. Reagen-Reagen Kimia

Reagen-reagen kimia adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu dalam mempercepat proses pelapukan. Air tanah yang mengandung CO_2 memegang peranan penting di dalam proses pelapukan kimia. Asam-asam pada humus menyebabkan dekomposisi batuan dan dapat mengubah pH larutan. Asam-asam pada humus berkaitan erat dengan vegetasi yang ada di daerah tersebut. Vegetasi akan mengakibatkan penetrasi air dapat lebih dalam dan lebih mudah mengalir.

4. Topografi

Keadaan topografi setempat akan sangat memengaruhi sirkulasi air beserta reagen-reagen lain. Untuk daerah yang landai, maka air akan bergerak perlahan-lahan sehingga akan mempunyai kesempatan untuk mengadakan penetrasi lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan. Akumulasi endapan umumnya terdapat pada daerah-daerah yang landai

sampai kemiringan sedang, hal ini menerangkan bahwa ketebalan pelapukan mengikuti bentuk topografi. Pada daerah yang curam, secara teoritis, jumlah air yang meluncur (*run off*) lebih banyak daripada air yang meresap sehingga dapat menyebabkan pelapukan kurang intensif.

5. Waktu

Waktu merupakan faktor yang sangat penting dalam proses pelapukan, transportasi, dan konsentrasi endapan pada suatu tempat. Untuk terbentuknya endapan nikel laterit membutuhkan waktu yang lama, mungkin ribuan atau jutaan tahun. Bila waktu pelapukan terlalu muda maka terbentuk endapan yang tipis. Waktu yang cukup lama akan mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena akumulasi unsur nikel cukup tinggi. Banyak dari faktor tersebut yang saling berhubungan dan karakteristik profil di satu tempat dapat digambarkan sebagai efek gabungan dari semua faktor terpisah yang terjadi melewati waktu, ketimbang didominasi oleh satu faktor saja.

6. Struktur

Struktur geologi yang penting dalam pembentukan endapan laterit adalah rekahan (*joint*) dan patahan (*fault*). Adanya rekahan dan patahan ini akan mempermudah rembesan air ke dalam tanah dan mempercepat proses pelapukan terhadap batuan induk. Selain itu rekahan dan patahan dapat pula berfungsi sebagai tempat pengendapan larutan-larutan yang mengandung nikel (Ni) sebagai *vein-vein*. Seperti diketahui bahwa jenis batuan beku mempunyai porositas dan permeabilitas yang kecil sekali sehingga penetrasi air sangat sulit, maka dengan adanya rekahan-rekahan tersebut akan memudahkan masuknya air dan proses pelapukan yang terjadi akan lebih intensif.

Istilah laterit yang berasal dari Bahasa latin, *later* (batu bata), pertama kali di

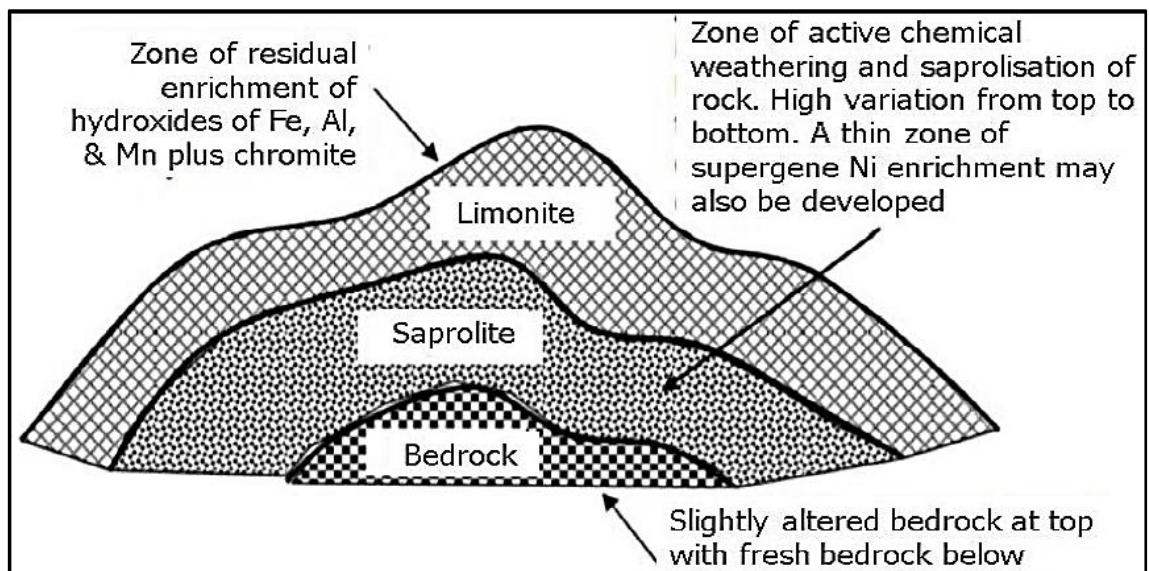
definisikan oleh Buchanan (1807) untuk mendeskripsikan lempung yang mengeras di India. Saat itu informasi bahwa lempung yang mengeras tersebut mengandung konsentrasi besi yang tinggi. Laterit juga dikenal sebagai tanah yang kaya akan *sesquioxide*, tanah merah yang dekat permukaan ataupun berada di permukaan tanah dan beberapa definisi lain secara mineralogi (Schellman, 1986).

Nikel laterit merupakan suatu endapan yang terbentuk karena adanya proses konsentrasi mineral-mineral berharga yang mengandung nikel yang berasal dari pelapukan batuan asal (*host rock*), baik secara fisik maupun kimiawi. Pelapukan kimiawi dari batuan ultramafik terjadi dengan melepaskan unsur-unsur yang sangat mudah larut, seperti Mg, Ca, dan Si serta konsentrat-konsentrat dari unsur-unsur yang paling sedikit larut, seperti besi Fe, Ni, Mn, Co, Zn, Y, Cr, Al, Ti, Zr, dan Cu, sedangkan pelapukan fisik dari batuan induk terjadi akibat adanya mekanisme rekahan dan patahan yang meningkatkan wilayah yang tersingkap ke permukaan sehingga mendukung terjadinya pelapukan kimiawi.

Hasil pelapukan tersebut telah mengalami transportasi atau perpindahan unsur melalui proses pelindihan (*leaching*). Pelindihan merupakan suatu proses pelarutan unsur-unsur hasil pelapukan dari tubuh batuan atau bijih melalui media air. Proses ini sangat dipengaruhi oleh nilai pH, reaksi reduksi oksidasi, material organik yang terlarut, dan aktivitas mikrobiologi di lingkungannya (Arif, 2018). Sumber utama ialah air hujan yang terinfiltrasi ke dalam tanah atau air rembesan dari sumber air dan air tanah. Air tersebut kemudian meresap hingga zona batas antara zona limonit dan saprolit, kemudian transportasi larutan terjadi secara lateral (Golightly, 2010).

Fluktuasi muka air tanah yang berlangsung secara kontinu akan melarutkan unsur-unsur Mg dan Si yang terdapat pada bongkahan-bongkahan batuan asal di zona saprolit sehingga memungkinkan penetrasi air tanah yang lebih dalam, sehingga zona saprolit semakin bertambah dalam, demikian pula dengan ikatan-ikatan yang

mengandung oksida MgO sekitar 30-50% berat dan SiO₂ antara 35-40% berat yang masih terkandung pada bongkah-bongkah dalam zona saprolit akan ikut terlindih bersama-sama dengan aliran air tanah. Berdasarkan hal tersebut, zona saprolit mengalami perubahan pada bagian atas menjadi zona limonit (Arif, 2018).



Gambar 2.2 Profil umum endapan Ni laterit (Fu, *et al.*, 2014).

Endapan nikel sekunder atau biasa disebut endapan nikel laterit merupakan suatu endapan yang terbentuk karena adanya proses konsentrasi mineral-mineral berharga yang mengandung nikel yang berasal dari pelapukan batuan asal (*host rock*) oleh gaya-gaya eksogen, seperti pelapukan (*weathering*) akibat sinar matahari, curah hujan dan lain-lain. Hasil pelapukan tersebut mengalami transportasi, pemisahan (*sorting*) dan akhirnya endapan ini mengalami proses laterisasi yang umumnya terjadi di daerah beriklim tropis. Oleh karena itu tipe endapan nikel laterit cukup berlimpah di Indonesia. Gambar 2.2 menampilkan profil umum endapan nikel laterit.

1. Proses Pembentukan Endapan Nikel

Nikel laterit sangat bergantung pada proses pelapukan, baik secara fisik maupun kimiawi. Pelapukan kimiawi dari batuan induk yang berupa batuan ultrabasa

terjadi dengan melepaskan unsur-unsur yang sangat mudah terlarut, seperti magnesium (Mg), kalsium (Ca), dan silika (Si) serta konsentrat-konsentrat dari unsur-unsur yang paling sedikit terlarut seperti Besi (Fe), Nikel (Ni), Mangan (Mn), Kobal (Co), Zeng (Zn), Yodium (Y), Krom (Cr), Aluminium (Al), dan lainnya. Sementara pelapukan mekanik/fisik dari batuan induk terjadi akibat adanya mekanisme rekahan dan patahan yang meningkatkan wilayah yang terdedah ke permukaan sehingga mendukung terjadinya pelapukan kimiawi (Brand et al., 1998).

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

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

Fluktuasi muka air tanah yang berlangsung secara kontinu akan melarutkan unsur-unsur Mg dan Si yang terdapat pada bongkah-bongkah batuan asal di zona saprolit sehingga memungkinkan penetrasi air tanah yang lebih dalam. Dalam hal ini zona saprolit semakin bertambah dalam, demikian pula dengan ikatan-ikatan yang

mengandung oksida MgO sekitar 30-50% berat dan SiO₂ antara 35-40% berat yang masih terkandung pada bongkah-bongkah dalam zona saprolit akan ikut terlindih bersama-sama dengan aliran air tanah. Dengan demikian, zona saprolit mengalami perubahan pada bagian atas menjadi zona limonit (Marker et al., 1991).

Sebagian unsur tinggal pada tempatnya dan sebagian lain turun bersama larutan. Hal ini terjadi akibat mobilitas setiap unsur yang berbeda-beda. Unsur-unsur Fe, Ni dan Co membentuk konsentrasi residu dan konsentrasi celah pada zona *saprolite*. Batuan asal ultrabasa pada daerah tersebut di impregnasi oleh Ni melalui larutan yang mengandung Ni sehingga kadar Ni dapat mengikat mencapai 7% berat.

Fe yang terkandung dalam larutan teroksidasi dan mengendap sebagai ferrihidroksida (Fe(OH)₃) membentuk mineral-mineral seperti goetit dan hematit yang berada dekat dengan permukaan. Bersama mineral-mineral tersebut unsur Co ikut serta dalam jumlah yang relatif kecil. Secara vertikal, semakin ke bawah menuju *bed rock*, unsur Fe dan Co mengalami penurunan kadar. Sementara itu, unsur Ni terakumulasi dan terkonsentrasi pada zona saprolit dalam mineral *garnierite*. Proses konsentrasi ini dapat berbentuk residual maupun *supergen enrichment*.

2. Profil Endapan Nikel Laterit

Profil endapan nikel laterit secara umum dapat dibedakan dengan analisis profil dari atas ke bawah yaitu:

a. *Iron cap (Ferric Crust)*

Iron cap merupakan lapisan teratas dalam profil endapan nikel laterit dan berfungsi untuk melindungi lapisan di bawahnya dari bahaya erosi. Lapisan ini dikenal pula sebagai zona tudung besi (*ferruginous duricrust*) karena mengandung konsentrasi besi yang tinggi.

b. Limonit

Bagian ini dibagi menjadi dua lapisan karena terdapat perbedaan kandungan

konsentrasi besi. Lapisan bagian atas disebut limonistik sebab walaupun relatif kaya akan oksida besi, lapisan ini tercampur dengan tanah penutup (*top soil*). Sementara lapisan bagian bawah sangat kaya dengan oksida besi. Pengayaan (*enrichment*) tersebut terjadi akibat proses pelindihan pada pembentukan zona saprolit. Zona limonit merupakan hasil lapukan lebih lanjut dari batuan beku ultramafic yang didominasi oleh oksida besi, goetit, dan magnetit. Ketebalan lapisan limonit berkisar antara 8-15 m sehingga sering disebut *overburden*.

c. Saprolit

Zona saprolit merupakan zona yang kaya akan nikel sebagai hasil pelapukan dari batuan asal masih terlihat, dari ukuran kerikil hingga bongkah. Komposisi utamanya antara lain besi oksida, serpentin <0,4%, magnesit, dan kuarsa. Zona saprolit memiliki ketebalan rata-rata antara 5-18 meter. Biasanya ditemui rekahan-rekahan yang berisi magnesit ($MgCO_3$), serpentin, silika (SiO_2), dan *garnierite*. Zona *saprolite* dapat dibagi menjadi dua, yaitu (Irwandi, 2018):

1. *Sub soft-saprolite*, mengandung fragmen berukuran bongkah kurang dari 25%.
2. *Sub hard-saprolite*, mengandung fragmen berukuran bongkah lebih dari 50%.

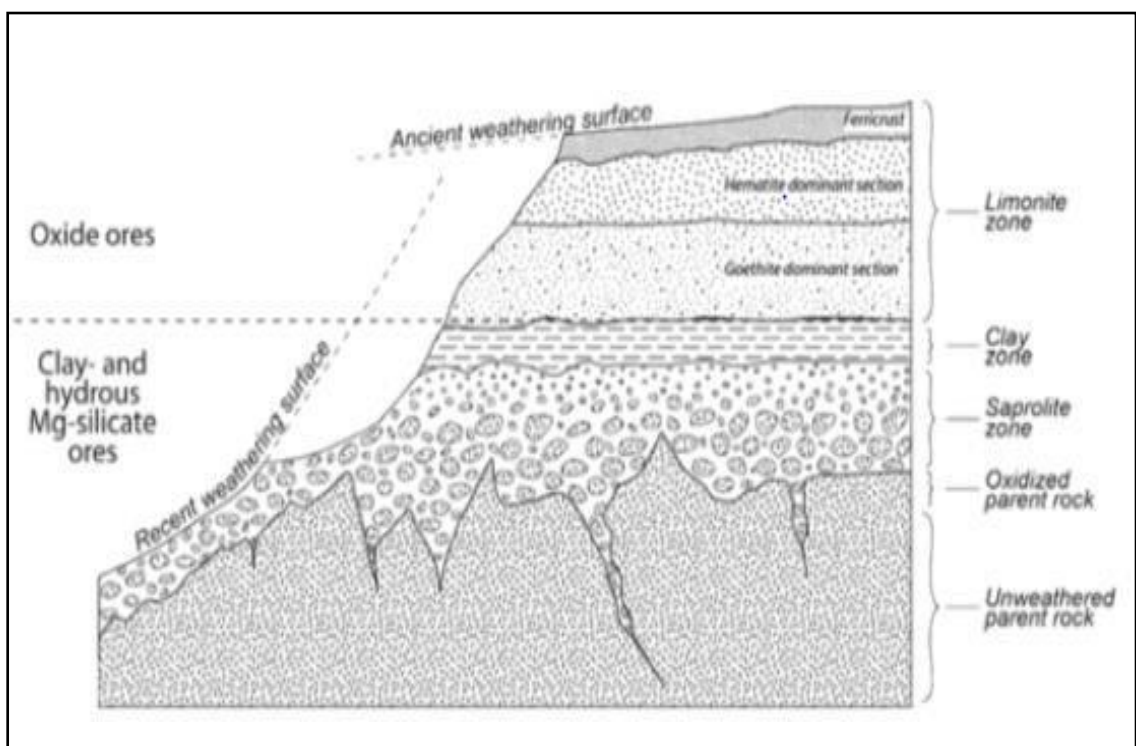
d. *Bed rock/Unweathered parent rock*

Zona ini disebut pula dalam istilah *protholith*, yaitu batuan asal yang terletak pada daerah paling dasar dari profil suatu endapan nikel laterit. Zona ini berupa batuan ultrabasa, antara lain *harzburgite*, peridotit, atau dunit dengan ukuran bongkahan yang besar, lebih dari 75 cm. Umumnya tidak ditemukan-mineral ekonomis pada zona ini.

Ketebalan endapan laterit umumnya berkisar dari 10 sampai 40 meter dalam berbagai kasus, serta mengandung lebih dari 1% Ni dan kurang dari 0,15%. British *Geological Survey* (2009) menyatakan kadar kobalt yang ekonomis dalam endapan

laterit berkisar antara 0,05-0,15%. Adapun lapisan limonit cenderung mengandung kadar kobalt yang lebih tinggi, sedangkan saprolit mengandung kadar nikel yang lebih tinggi.

Gambar 2.3 merupakan zona litologi dari endapan nikel laterit sekaligus memberikan proses pembentukan nikel laterit sebelum terjadi pelapukan dan setelah pelapukan. Hal tersebut ditandai dengan *ore* dari endapan yang mengalami pelapukan karena proses oksidasi dengan pengaruh air tanah.



Gambar 2.3 Potongan melintang permukaan sebelum dan setelah proses pelapukan nikel (Slack et al., 2017).

2.2 Analisis korelasi

Korelasi adalah studi yang membahas tentang derajat hubungan antara dua variabel atau lebih. Besarnya tingkat keeratan hubungan antara dua variabel atau lebih dapat diketahui dengan mencari besarnya angka korelasi yang biasa disebut dengan koefisien korelasi. Untuk mempelajari hubungan antara satu variabel bebas dengan satu variabel terikat tanpa memperdulikan kemungkinan adanya pengaruh

ataupun kaitan dengan variabel-variabel lain. Tetapi dalam hal memperhatikan atau memperhitungkan variabel lain, statistika menyediakan suatu alat yang disebut teknik korelasi parsial (Sugiyono, 2014).

Korelasi parsial adalah suatu teknik statistika yang digunakan untuk mempelajari hubungan murni antara sebuah variabel bebas (X1) dengan variabel terikat (Y) dengan mengendalikan atau mengontrol variabel-variabel bebas yang lain (X2) yang diduga mempengaruhi hubungan antara variabel (X1) dengan Y. Dalam analisis korelasi yang dicari adalah koefisien korelasi yaitu angka yang menyatakan derajat hubungan antara variabel independen (X) dengan variabel dependen (Y) atau untuk mengetahui kuat atau lemahnya hubungan antara variabel independen dengan variabel dependen.

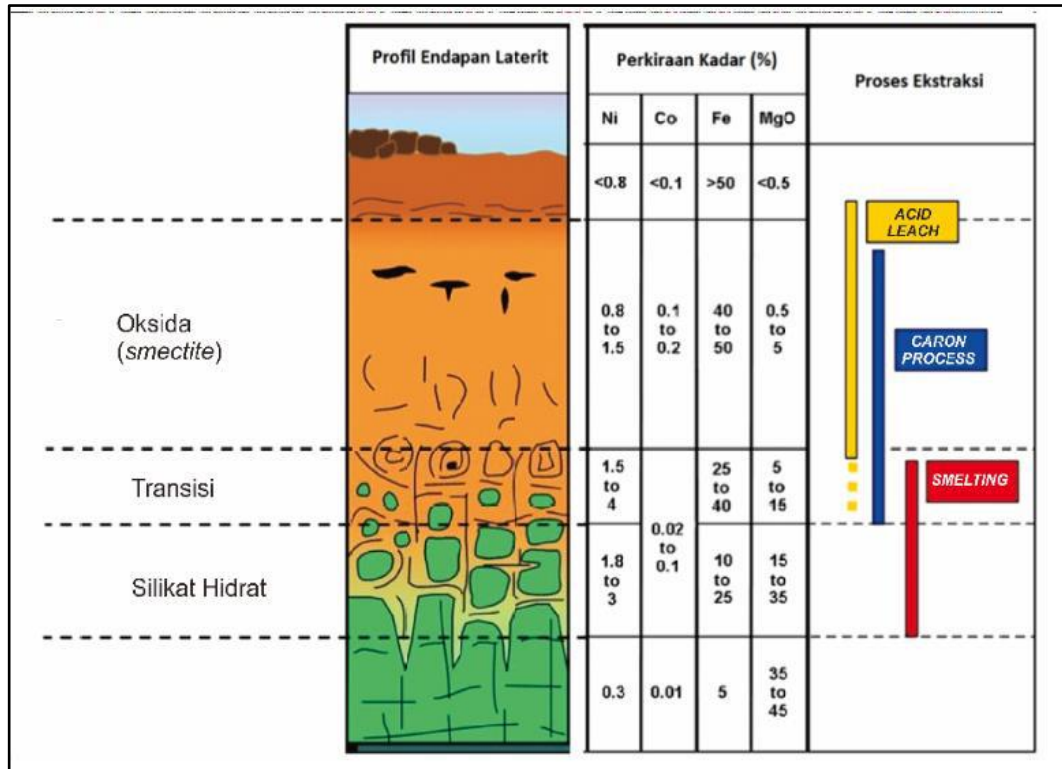
Tabel 2.1 Interpretasi koefisien korelasi (Sugiyono, 2014).

No.	Interval Korelasi	Tingkat Hubungan
1.	0,00–0,199	Sangat Rendah
2.	0,2-0,39	rendah
3.	0,40-0,59	Sedang
4.	0,60-0,79	Kuat
5.	0,80-1	Sangat Kuat

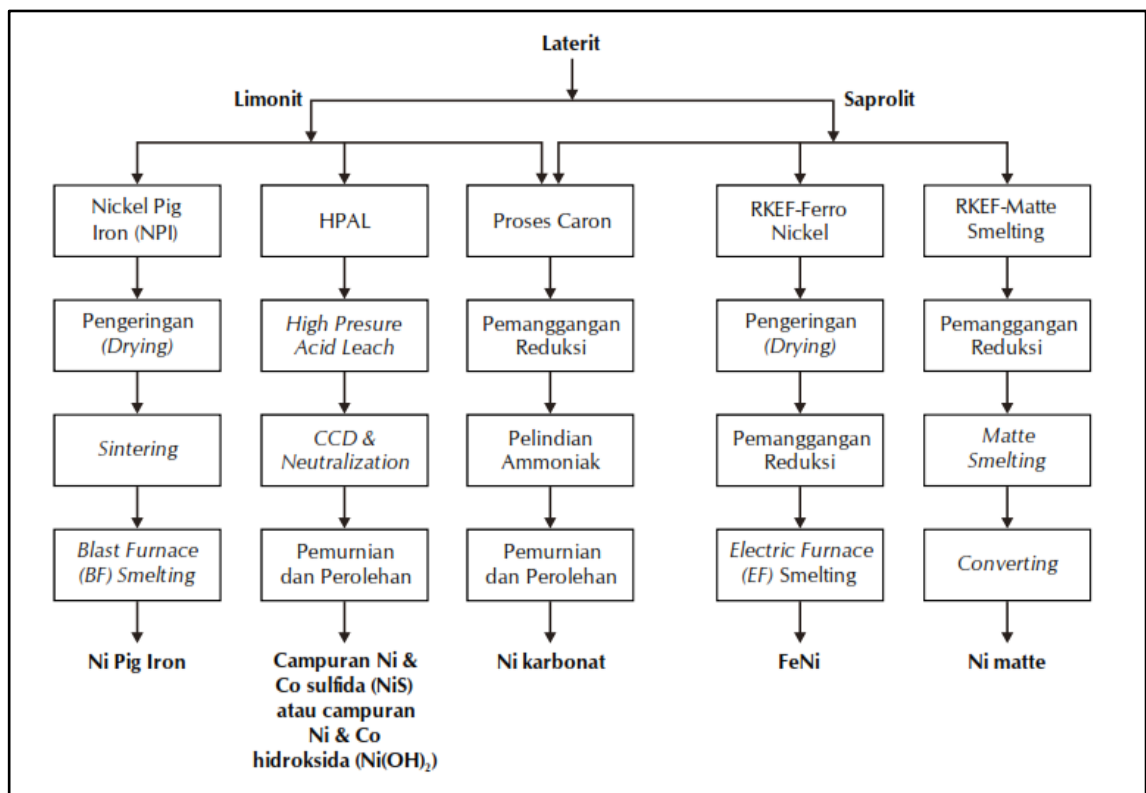
Pada Tabel 2.1 menjelaskan tentang tingkat hubungan antara dua atau lebih data yang berbeda berdasarkan analisis statistik secara langsung di lapangan dengan pembagian hubungan mulai dari rendah sampai kuat.

2.3 sPengolahan Bijih Nikel

Pengolahan logam nikel dari endapan nikel laterit terdiri atas beberapa jalur pengolahan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Lapisan ideal laterit daerah tropis dalam dan pengolahannya (Butt, 2013).



Gambar 2.5 Diagram alir proses pengolahan bijih Ni laterit (Rodrigues, 2013).

Pemilihan proses dalam mengolah nikel laterit dipengaruhi oleh karakteristik atau komposisi dari endapan. Pengolahan jalur hidrometalurgi dapat mengolah bijih nikel laterit dengan kadar nikel dibawah 1,5%-2% sedangkan jalur pirometalurgi dapat mengolah bijih dengan kadar nikel 1,8%-3%. Metode pirometalurgi digunakan untuk mengolah nikel dari nikel endapan laterit zona limonit yang memiliki kadar Ni dan MgO yang rendah. Nikel dengan kadar MgO yang tinggi kurang cocok diolah dengan menggunakan metode hidrometalurgi karena dapat meningkatkan konsumsi asam yang diperlukan saat melakukan proses ekstraksi (Prasetyo dan Ronald, 2011). Diagram pengolahan nikel laterit diperlihatkan pada Gambar 2.5.

2.3.1 Pirometalurgi

Metode ekstraksi Pirometalurgi melibatkan beberapa proses seperti *roasting*, pengurangan karbothermik, reduksi bijih sulfida, dan reduksi *metallothermic*. Pemilihan proses yang akan digunakan terutama tergantung pada komposisi bijih atau konsentrat dan termodinamika, kinetik, dan kendala lingkungan yang terkait dengan setiap proses. Produksi *ferronikel* dari bijih laterit memerlukan energi tinggi, karena bijih laterit atau bijih pra-reduksi umumnya langsung dilebur untuk menghasilkan sejumlah kecil produk *ferronikel* dan sejumlah besar slag serta FeNi smelter yang biasa beroperasi pada suhu sekitar 1350-1400°C (Setiawan, 2016).

Kelebihan dari metode ekstraksi pirometalurgi adalah (Kyle, 2010):

1. Prosesnya sederhana dan terbukti dengan baik.
2. Dapat menangani bijih magnesium tinggi (yang umumnya mengandung konsentrasi nikel tinggi). Pemulihan nikel tinggi (90%).
3. Residu berbentuk granular dan mudah dibuang.
4. Reagen umumnya tidak mahal dan tersedia.

Kekurangan dari metode ekstraksi pirometalurgi adalah (Kyle, 2010):

1. Biaya modal tinggi.

2. Penggunaan energi tinggi dan ekonomi proyek sangat sensitif terhadap biaya listrik.
3. Hanya dapat menangani bijih magnesium tinggi-pencampuran yang diperlukan untuk menjaga rasio $\text{SiO}_2 / \text{MgO}$.
4. Kobal tidak ditemukan sebagai produk terpisah.

2.3.2 Hidrometalurgi

Dalam proses hidrometalurgi, ada tiga metode yang biasanya digunakan yaitu *atmospheric leaching*, *heap leaching* dan *high pressure acid leaching* (HPAL). *Tank leaching* menggunakan pengaduk dan reagen untuk memulai reaksi. Limpahan mengarah suspensi ke tangki lain, di mana *pregnant solution* dan pengotornya dipisahkan oleh proses pemisahan padat/cair. *Heap leaching* adalah proses yang sangat lambat, di mana asam tersebar setetes demi setetes di atas tumpukan, perlahan-lahan mengalir ke bawah. Proses HPAL merupakan proses ekstraksi yang awalnya dikembangkan oleh Sheritt Gordon Canada untuk mengolah limonit murni yang jumlahnya berlimpah di Pinares de Mayari Cuba. HPAL merupakan proses metode ekstraksi hidrometalurgi yang sudah dapat digunakan secara komersial. Biaya pembangunan HPAL dan proses caron sama-sama mahal tapi memiliki tingkat perolehan yang berbeda di mana HPAL memiliki perolehan nikel ($\text{Ni} > 90\%$) dan kobal ($\text{Co} > 90\%$) sedangkan proses caron memiliki perolehan nikel ($\text{Ni} = 70\% - 80\%$) dan kobal ($\text{Co} \pm 50\%$) (Prasetyo dan Ronald, 2011).

Pengolahan dengan metode pirometalurgi terhadap bijih dengan kadar $> 2\%$ akan menghasilkan *ferronickel* atau *Ni matte*, bijih dengan kadar $> 2,2\%$ akan menghasilkan *high carbon ferronickel*, dan bijih dengan kadar $> 1,5\%$ akan menghasilkan *low carbon ferronickel* (Butt, 2005; Mcdonald & Whittington, 2008). Kadar ideal untuk pengolahan bijih Ni laterit dengan metode pirometalurgi adalah $\pm 1,3\%$ (Butt, 2005).

Pengolahan pirometalurgi terhadap bijih dengan rasio SiO_2/MgO 1,8-2,2 lebih baik menghasilkan *nickel-matte*. Pengolahan pirometalurgi terhadap bijih dengan rasio SiO_2/MgO <2 atau >2,5 lebih baik menghasilkan *ferronickel*. Bijih dengan rasio SiO_2/MgO 2,3-2,5 bersifat korosif dan mengakibatkan temperatur yang tinggi pada *furnace* dan konsumsi energi yang lebih banyak sehingga harus dilakukan *blending* atau *fluxing* sebelum di *smelter*. Perubahan rasio SiO_2/MgO memiliki peran yang sangat penting untuk mengontrol titik leleh dan kekentalan *slag*, serta merupakan faktor yang sangat penting untuk dipertimbangkan dalam penggunaan *electrical furnace* (Dalvi, *et al.*, 2004; Villanova-de-Benavent, *et al.*, 2014).

Pengolahan pirometalurgi terhadap bijih yang memiliki rasio silika/magnesia (S/M) yang rendah (± 2) dapat mengakibatkan temperatur yang tinggi pada *furnace* dan konsumsi energi yang lebih banyak (Dalvi, *et al.*, 2004; Villanova-de-Benavent, *et al.*, 2014). Kandungan air pada bijih Ni laterit yang lebih dari > 15 wt% harus dikeringkan terlebih dahulu dengan menggunakan kalsinasi (*calcination*) pada suhu 900 °C (Dalvi, *et al.*, 2004).

2.4 Metode *Inverse Distance Weighting* (IDW)

Metode untuk estimasi sumberdaya umumnya bergantung pada keadaan geologi endapan, metode eksplorasi, keakuratan data dan nilai koefisien variasi, manfaat serta tujuan estimasi sumberdaya. Dalam mengestimasi sumberdaya mineral biasanya digunakan berbagai metode seperti metode *Inverse Distance Weighting* (IDW), metode poligon, dan metode *kriging*.

Metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) merupakan suatu cara penaksiran yang telah memperhitungkan adanya hubungan letak ruang (jarak), merupakan kombinasi linear atau harga rata-rata pembobotan (*weighting average*) dari titik-titik data yang ada disekitarnya. Suatu cara penaksiran di mana harga rata-rata suatu blok

merupakan suatu kombinasi linear atau harga rata-rata pembobotan (*weighting average*) dari data lubang bor di sekitar blok tersebut. Nilai data-data hasil taksiran tersebut merupakan nilai rata-rata pembobotan (*weighting average*) dari data sampel yang telah ada (Bankes et al., 2003).

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 (Notosiswoyo, 2000).

- a. Suatu cara penaksiran di mana harga rata-rata suatu blok merupakan kombinasi linier atau harga rata-rata berbobot (*wieghted 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.
- b. 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 conto terdekat.
- c. Sifat atau perilaku anisotropik dari cebakan mineral dapat diperhitungkan (*space warping*).
- d. Merupakan metode yang masih umum dipakai.

Metode 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.

Jika "d" adalah jarak titik yang ditaksir dengan titik data (z), maka faktor pembobotan (w) adalah:

Tabel 2.2 Estimasi dengan metode IDW.

Untuk ID pangkat satu	Untuk ID pangkat dua	Untuk ID pangkat n
$w_j = \frac{\frac{1}{d_j}}{\sum_{i=1}^j \frac{1}{d_i}}$	$w_j = \frac{\frac{1}{d_j^2}}{\sum_{i=1}^j \frac{1}{d_i^2}}$	$w_j = \frac{\frac{1}{d_j^n}}{\sum_{i=1}^j \frac{1}{d_i^n}}$

Maka, hasil taksiran (Z*)

$$z^* = \sum_{i=1}^j w_i \cdot z_i \dots\dots\dots \text{Pers 2.1}$$

Setiap metode estimasi mempunyai perbedaan yang didasarkan pada asumsi dan karakteristik. Hanya dengan memahami tiap karakteristik, metode estimasi terbaik untuk masalah yang ada. Estimasi sumberdaya biasanya lebih difokuskan pada ketelitian prediksi lokal yaitu ketelitian estimasi tiap blok area sumberdaya, sehingga metode yang digunakan dirancang untuk estimasi lokal (Waterman, 2018).

Estimasi sumberdaya mineral bukanlah hasil perhitungan yang presisi, bergantung pada interpretasi atas informasi yang terbatas mengenai lokasi, bentuk dan kemenerusan dari keterjadian mineral dan hasil analisa contoh yang tersedia. Sehingga kata estimasi digunakan untuk menekankan sifat ketidak tepatan dari estimasi sumberdaya mineral, hasil akhir harus selalu disebut dengan kata estimasi dan bukan perhitungan (Waterman, 2018).