

SKRIPSI

**ESTIMASI SUMBER DAYA TERUKUR ENDAPAN BIJIH NIKEL
LATERIT MENGGUNAKAN METODE *INVERSE DISTANCE
WEIGHTING***

(Studi Kasus : *Site X*, PT XYZ, Tanjung Bulli, Maluku Utara)

Disusun dan diajukan oleh:

ANDI BINTANG KRISNA MAULIE

D621 16 502



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ESTIMASI SUMBER DAYA TERUKUR
ENDAPAN BIJIH NIKEL LATERIT DENGAN MENGGUNAKAN
METODE *INVERSE DISTANCE WEIGHTING*
STUDI KASUS, *SITE X*, PT XYZ, TANJUNG BULLI, MALUKU UTARA**

Disusun dan diajukan oleh

**ANDI BINTANG KRISNA MAULIE
D621 16 502**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 4 Agustus 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

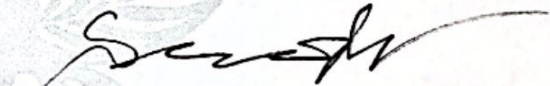
Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Ir. Irzal Nur, MT



Dr. phil. Nat. Sri Widodo, ST., MT

NIP. 196604091997031002

NIP. 197101012010121001

Ketua Program Studi,



Dr. Aryanti Virtanti Anas, ST., MT.

NIP. 19701005 2008012026

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Andi Bintang Krisna Maulie

NIM : D62116502

Program Studi : Teknik Pertambangan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

ESTIMASI SUMBER DAYA TERUKUR ENDAPAN BIJIH NIKEL LATERIT DENGAN MENGGUNAKAN METODE *INVERSE DISTANCE WEIGHTING* STUDI KASUS, BLOK X, PT XYZ, TANJUNG BULLI, MALUKU UTARA

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, Juli 2023



Yang Menyatakan


Andi Bintang Krisna Maulie
D62116502

ABSTRAK

Andi Bintang Krisna Maulie. *ESTIMASI SUMBER DAYA TERUKUR ENDAPAN BIJIH NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN METODE INVERSE DISTANCE WEIGHTING* (dibimbing oleh Dr. Ir. Irzal Nur, MT dan Dr. phil. Nat. Sri Widodo, ST., MT)

Industri pertambangan memainkan peran penting dalam ekonomi global dengan banyaknya sumber daya mineral yang berfungsi sebagai bahan baku penting untuk berbagai industri. Nikel merupakan salah satu kekayaan alam Indonesia dengan wilayah sebaran pada daerah Indonesia Timur seperti Sulawesi Tenggara, Sulawesi Selatan, dan Halmahera. Endapan nikel terbagi menjadi 2 jenis yaitu nikel primer dan nikel sekunder. Endapan nikel di Indonesia termasuk nikel sekunder (nikel laterit). Proses pembentukan nikel laterit dimulai ketika batuan ultramafik tersingkap di permukaan, kemudian akibat pengaruh iklim tropis, struktur geologi, topografi, reagen-reagen kimia, vegetasi, dan waktu, batuan tersebut mengalami proses pelapukan, akibat pelapukan tersebut unsur-unsur bermobilitas rendah sampai *immobile* seperti Ni, Fe dan Cr mengalami pengkayaan secara residu dan sekunder, proses ini disebut proses laterisasi. Di Indonesia penambangan nikel sudah banyak dilakukan, oleh sebab itu perlu dilakukan eksplorasi daerah-daerah potensial lainnya agar jumlah sumber daya nikel semakin bertambah. Pada penelitian ini dilakukan proses estimasi sumber daya terukur zona limonit dan zona saprolit dengan 4 elemen mayor yaitu Ni, Fe, SiO₂, dan MgO menggunakan metode *inverse distance weighting*. Proses ini diawali dengan menentukan zona limonit dan saprolit data hasil eksplorasi PT XYZ dengan menggunakan metode-metode statistik kemudian membuat *database* berupa data *collar*, *survey*, dan *assay* untuk melakukan pemodelan lapisan limonit dan saprolit dengan software Datamine Studio RM, kemudian membuat *block model* dengan ukuran 12,5m x 12,5m x 1m. Hasil *block model* selanjutnya dijadikan parameter untuk melakukan estimasi sumber daya metode *inverse distance weighting*. Hasil estimasi sumber daya terukur pada Site X PT XYZ, Tanjung Bulli, Maluku Utara dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* menunjukkan jumlah tonase sebesar 60.421.453 ton, dengan kadar rata-rata Ni sebesar 1,575 %.

Kata Kunci: Nikel Laterit; Estimasi Sumber Daya; Metode *Inverse Distance Weighting*.

ABSTRACT

Andi Bintang Krisna Maulie. *MEASURED RESOURCE ESTIMATION OF LATERITE NICKEL ORE DEPOSIT USING INVERSE DISTANCE WEIGHTING METHOD* (supervised by Dr. Ir. Irzal Nur, MT and Dr. phil. Nat. Sri Widodo, ST., MT)

The mining industry plays an important role in the global economy with its abundance of mineral resources serving as important raw materials for various industries. Nickel is one of Indonesia's natural resources with a distribution area in Eastern Indonesia such as Southeast Sulawesi, South Sulawesi, and Halmahera. Nickel deposits are divided into 2 types: primary and secondary. Nickel deposits in Indonesia include secondary nickel (nickel laterite). The process of laterite nickel formation begins when ultramafic rocks are exposed on the surface, then due to the influence of tropical climate, geological structure, topography, chemical reagents, vegetation, and time, the rock undergoes a weathering process, due to weathering, low to immobile mobility elements such as Ni, Fe and Cr experience residual and secondary enrichment, this process is called the laterization process. In Indonesia, nickel mining has been widely carried out, therefore it is necessary to explore other potential areas so that the number of nickel resources will increase. In this study, the process of estimating the measured resources of the limonite zone and saprolite zone with 4 major elements namely Ni, Fe, SiO₂, and MgO using the inverse distance weighting method was carried out. This process begins with determining the limonite and saprolite zones of PT XYZ exploration data using statistical methods then creating a database in the form of collar, survey, and assay data to model the limonite and saprolite layers with Datamine Studio RM software, then creating a block model with a size of 12.5m x 12.5m x 1m. The block model results are then used to estimate the resources of the inverse distance weighting method. The results of the measured resource estimation at Site X PT XYZ, Tanjung Bulli, North Maluku using the Inverse Distance Weighting method show a tonnage of 60,421,453 tons, with an average Ni content of 1.575%.

Keywords: *Nickel Laterite; Resource Estimation; Inverse Distance Weighting Method.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
KATA PENGANTAR	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan.....	2
1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan.....	3
1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Geologi Regional	4
2.2 Genesa Endapan Nikel Laterit	10
2.3 Pentingnya Pemodelan dan Estimasi Sumberdaya	20
2.4 Basis Data Komputer dan Konsep Model Blok	21
2.5 Statistika Dasar	24
2.6 Metode Estimasi Sumberdaya.....	26
2.7 Klasifikasi Sumberdaya Mineral.....	29
2.8 Aplikasi Perangkat Lunak <i>Datamine Studio RM</i>	32
BAB 3 METODE PENELITIAN/PERANCANGAN	34
3.1 Lokasi Penelitian.....	34
3.2 Metode Penelitian	36
3.3 Basis Data Assay.....	37
3.4 Pemodelan Badan Bijih.....	39
3.5 Estimasi Kadar Model Blok.....	40
3.6 Statistik Deskriptif	42
3.7 Tabulasi Estimasi Sumberdaya Terukur Nikel	50
3.8 Bagan Alir.....	51
BAB 4 Hasil dan pembahasan	53
4.1 Penyusunan Basis Data <i>Assay</i>	53
4.2 Hasil Estimasi Sumberdaya menggunakan metode IDW (<i>Inverse Distance Weight</i>).....	53
4.3 Model Blok	54
4.4 Analisis Statistik Deskriptif	55
4.5 Klasifikasi Hasil Estimasi Sumberdaya	58
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Fisiografi pulau halmahera (Apandi dan Sudana, 1980).	6
Gambar 2 Geologi Regional (Apandi, 1990).	9
Gambar 3 Genesa endapan bijih nikel laterit.	12
Gambar 4 Sebaran endapan nikel laterit dunia (Brand, 1998).	15
Gambar 5 Profil endapan nikel laterit (Aziz, 2008).	17
Gambar 6 Hasil penaksiran dengan model blok (Annels, 1991).	27
Gambar 7 Hubungan umum antara hasil eksplorasi, sumberdaya mineral dan cadangan mineral (KCMI, 2017).	32
Gambar 8 Lokasi penelitian.	35
Gambar 9 Korelasi zona nikel pada section GB 492 – GB 499	39
Gambar 10 Wireframe 3 Dimensi Badan Bijih Nikel Site X.	40
Gambar 11 Estimasi kadar pada model blok section W-E.	42
Gambar 12 Histogram Ni.	44
Gambar 13 Histogram Fe.	45
Gambar 14 Histogram MgO	47
Gambar 15 Histogram SiO ₂	48
Gambar 16 Diagram pancar Ni vs Fe	49
Gambar 17 Diagram pancar Ni (%) vs MgO (%)	50
Gambar 18 Bagan alir penelitian.	52
Gambar 19 Klasifikasi material ore dan waste hasil estimasi sumberdaya menggunakan metode IDW ...	54
Gambar 20 Korelasi Kadar Ni (%) vs Fe (%)	56
Gambar 21 Korelasi kadar Ni (%) vs MgO (%)	57

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Contoh data assay	38
Tabel 2 Contoh data collar	38
Tabel 3 Contoh data survey	39
Tabel 4 Batasan koordinat.....	40
Tabel 5 Batasan kandungan Fe & Ni dalam penentuan horizon laterit	41
Tabel 6 Statistik Deskriptif.....	43
Tabel 7 Hasil analisis statistik univarian kadar Ni	43
Tabel 8 Hasil analisis statistik univarian kadar Fe	45
Tabel 9 Hasil analisis statistik univarian kadar MgO	46
Tabel 10 Hasil analisis statistik univarian kadar SiO ₂	47
Tabel 11 Tabulasi estimasi sumberdaya terukur nikel laterit	50
Tabel 12 Tabulasi estimasi sumberdaya (COG > 1.5)	51
Tabel 13 Hasil estimasi sumberdaya terukur dengan Metode IDW	54

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
Z	Kadar taksiran (%)
n	Jumlah data
i	Kadar ke-i (%)
di	Spasi Antar Titik Taksiran dengan Titik ke-i yang Ditaksir (m)
k	Pangkat (<i>script</i>)
Zi	Kadar awal (%)

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 DATABASE.....	65
LAMPIRAN 2 PETA SEBARAN TITIK BOR.....	78

KATA PENGANTAR

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.

Skripsi dengan judul “Estimasi Sumber Daya Terukur Endapan Bijih Nikel Laterit Dengan Menggunakan Metode *Inverse Distance Weighting*“ (Studi Kasus : Site X, PT XYZ, Tanjung Bulli, Maluku Utara) akhirnya dapat terselesaikan dengan baik dengan dinamika yang mendalam dilalui dalam proses penyusunan skripsi ini. Dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan serta ilmu yang bermanfaat. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat dan semoga dicatat sebagai sebutir kebaikan oleh Allah SWT.

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.

Terima kasih pula penulis sampaikan kepada Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, MT. selaku Pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. Phill. Nat. Sri Widodo.,ST., MT. selaku Pembimbing II yang senantiasa meluangkan waktu, tenaga, pikiran serta memberikan ilmu yang bermanfaat dan motivasi bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Terima kasih yang tiada henti kepada Bapak Andi Bachtiar Sirang dan Ibu Andi Sylvia atas segala doa yang telah dipanjatkan, ridho yang senantiasa diberikan serta rasa cinta yang tiada henti diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini.

Perjalanan panjang penulis dalam dunia perkuliahan hingga penyusunan skripsi tidak lepas dari bantuan, semangat, diskusi yang bermanfaat dan dinamika

panjang pertemanan oleh teman-teman di Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin Angkatan 2016 (Rockbolt 2016) tetap genggam tali persaudaraan diantara kita, Panjang umur untuk hal-hal baik, terimakasih saudara-saudaraku. Terima kasih pula penulis sampaikan kepada organisasi tercinta Persatuan Mahasiswa Tambang Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (PERMATA FT-UH), wadah dalam berproses, mengembangkan *softskill*, tetap dalam koridor keilmuan dan pergerakan kemahasiswaan untuk sebuah perjuangan dalam menimpa problematika kampus dan kebenaran yang memberikan manfaat kepada seluruh anggotanya.

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

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri pertambangan memainkan peran penting dalam ekonomi global dengan banyaknya sumber daya mineral yang berfungsi sebagai bahan baku penting untuk berbagai industri. Salah satunya ialah nikel yang memegang peranan penting karena penggunaannya yang ekstensif dalam produksi baja tahan karat, baterai, dan aplikasi permintaan tinggi lainnya. Seiring dengan permintaan nikel yang terus meningkat, teknik estimasi sumber daya yang efisien dan akurat menjadi sangat penting untuk eksplorasi dan ekstraksi endapan nikel.

Estimasi sumber daya nikel sangat penting bagi perusahaan pertambangan, investor, dan pembuat kebijakan untuk membuat keputusan yang tepat terkait perencanaan eksplorasi, pengembangan, dan produksi. Estimasi sumber daya yang efektif memungkinkan penilaian kelayakan ekonomi, potensi risiko, dan keberlanjutan jangka panjang dari operasi pertambangan. Selain itu, perkiraan yang andal berkontribusi untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya, mengurangi limbah, dan meminimalkan dampak lingkungan yang terkait dengan penambangan nikel.

Metode *inverse distance weighting* (IDW) adalah salah satu metode yang digunakan dalam estimasi sumber daya nikel laterit. Metode IDW adalah metode interpolasi spasial yang digunakan untuk memperkirakan nilai suatu titik berdasarkan nilai titik-titik sekitarnya dengan memberikan bobot yang lebih besar pada titik-titik yang lebih dekat dengan titik yang akan diestimasi.

Metode IDW dapat digunakan untuk memperkirakan nilai sumber daya nikel laterit pada suatu wilayah dengan menggunakan data yang tersedia pada titik-titik yang telah diukur. Metode ini dapat memberikan hasil yang cukup akurat jika data yang digunakan cukup banyak dan tersebar merata pada wilayah yang akan diestimasi. Namun, metode ini juga memiliki kelemahan, yaitu tidak dapat menghasilkan hasil yang akurat jika data yang digunakan terlalu sedikit atau tidak merata pada wilayah yang akan diestimasi. Selain itu, metode ini juga tidak dapat memperhitungkan faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi nilai sumber daya

nikel laterit, seperti kondisi geologi dan lingkungan pada wilayah yang akan diestimasi.

Blok X, PT XYZ, Tanjung Bulli, Maluku Utara telah menunjukkan potensi sumber daya biji nikel yang signifikan. Namun, metodologi estimasi sumber daya yang andal yang disesuaikan dengan karakteristik geologis kawasan diperlukan untuk menilai nilai potensial dan kelayakan ekonomi dari mineralisasi nikel. Metode IDW diakui secara luas karena kesederhanaan dan keefektifannya dalam interpolasi spasial, menjadikannya pendekatan yang cocok untuk memperkirakan sumber daya nikel berdasarkan data sampel yang terbatas.

Berdasarkan pemaparan informasi sebelumnya, penulis melakukan penelitian ini dengan menggunakan metode IDW untuk mengestimasi sumber daya nikel di wilayah studi dengan memanfaatkan data sampel yang tersedia dengan memanfaatkan hubungan spasial antara kejadian nikel yang diketahui dan titik sampel, metode ini akan memungkinkan peneliti menghasilkan estimasi kadar nikel dan mendistribusikannya ke seluruh wilayah. Akibatnya, pemahaman yang lebih komprehensif tentang pola distribusi dan konsentrasi nikel akan tercapai, berkontribusi pada proses perencanaan dan pengambilan keputusan yang efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yang menjadi objek penelitian tugas akhir ini. Adapun permasalahan-permasalahan yang dirumuskan tersebut adalah:

1. Bagaimana memvalidasi hasil perhitungan dengan menggunakan *cross validation*
2. Bagaimana tingkat akurasi dari penggunaan metode IDW terhadap perhitungan dan klasifikasi sumberdaya nikel laterit di *site X*, PT XYZ

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi pola sebaran data berdasarkan analisis statistik.
2. Melakukan estimasi sumberdaya terukur dengan metode *Inverse Distance Weighting* terhadap kadar Ni laterit dari data hasil eksplorasi.

1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

Manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Bagi perusahaan
Berkontribusi pada proses perencanaan dan pengambilan keputusan yang efisien.
2. Bagi kalangan akademik
Referensi dalam menambah wawasan mengenai pengklasifikasian sumberdaya berdasarkan *error* dari hasil estimasi sumberdaya nikel laterit dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighting*.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan

Penelitian ini dilakukan selama 3 bulan mulai dari bulan April 2023 sampai Juli tahun 2023. Adapun ruang lingkup penelitian ini, yaitu:

1. Daerah Penelitian
Penelitian estimasi sumber daya terukur nikel laterit dilakukan pada Blok X, PT XYZ, Tanjung Bulli, Maluku Utara yang telah menunjukkan adanya potensi sumber daya endapan nikel laterit yang signifikan.
2. Data Eksplorasi
Teknik pengambilan data yang dilakukan ialah data sekunder yang diperoleh dari data hasil eksplorasi / data bor PT XYZ.
3. Analisis statistik
Variabel yang digunakan dalam analisis statistik ialah 4 mayor elemen yaitu Ni, Fe, SiO₂, dan MgO yang diperoleh dari hasil data eksplorasi PT XYZ.
4. *Software Datamine Studio*
Analisis data dilakukan dengan dua cara yaitu analisis data secara kuantitatif dan analisis data secara kualitatif. Hasil dari analisis data akan dilakukan pengolahan lebih lanjut dengan *software Datamine Studio* RM.
5. Metode estimasi sumber daya
Metode yang digunakan untuk pengestimasian sumber daya ialah metode *Inverse Distance Weighting*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Kepulauan Maluku adalah gugusan pulau-pulau yang terletak di sebelah timur Indonesia, memiliki panjang 180 kilometer dari utara ke selatan dan lebar 70 kilometer dari barat ke timur. Berdasarkan keadaan geologis dan fisiografisnya dapat dibagi menjadi dua provinsi, yakni Halmahera bagian barat dan Halmahera bagian timur laut-tenggara. Halmahera bagian barat merupakan provinsi yang tersusun dari busur vulkanik Ternate dan Halmahera Barat, sedangkan Halmahera bagian timur laut-tenggara merupakan provinsi yang tersusun dari melange. Secara garis besar, Maluku dapat dibagi menjadi dua bagian yakni Maluku Utara dan Maluku Selatan. Maluku Utara sebgiaan dihubungkan dengan rangkaian pulau-pulau Asia Timur, dan sebagian sistem Melanesia, sedangkan Maluku Selatan (Busur banda) merupakan suatu bagian dari Sistem Pegunungan Sunda (Amrullah, et al., 2015).

Secara Geografis wilayah Halmahera Timur berbatasan di sebelah utara dengan wilayah Kabupaten Halmahera Utara dan Teluk Kao, di sebelah selatan dengan wilayah Kabupaten Halmahera Tengah (Kecamatan Patani dan Kecamatan Weda) dan wilayah Kabupaten Halmahera Barat, di sebelah barat Teluk Kao (Wilayah Kabupaten Halmahera Utara) dan Kota Tidore Kepulauan dan Teluk Buli, di sebelah timur Laut Halmahera serta Samudra Pasifik. Kabupaten Halmahera Timur terletak antara $0^{\circ}40' - 1^{\circ}4'$ Lintang Utara dan antara $126^{\circ}45' - 129^{\circ}30'$ Bujur Timur. Kabupaten yang terbentuk sejak tahun 2003 ini, beribukota di Kota Maba, terbagi menjadi 10 Kecamatan dan 102 desa.

Halmahera dan pulau-pulau sekitar Indonesia bagian Timur merupakan konfigurasi busur kepulauan sebagai hasil tumbukan lempeng di bagian Barat pasifik. Pulau ini di cirikan oleh “*double arc system*”, di buktikan oleh vulkanik di lengan barat dan non vulkanik di lengan timur. Kondisi geologi dan tektonik Halmahera cukup unik, karena pulau ini terbentuk akibat pertemuan tiga lempeng yaitu eurasia, pasifik, dan indo-australia. Dibagian Selatan terdapat zona sesar

Sorong yang merupakan “*strike slip fault*” sepanjang zona sesar ini Halmahera bergerak ke arah barat bersamaan dengan lempeng Indo-Australia (Katili, 1974).

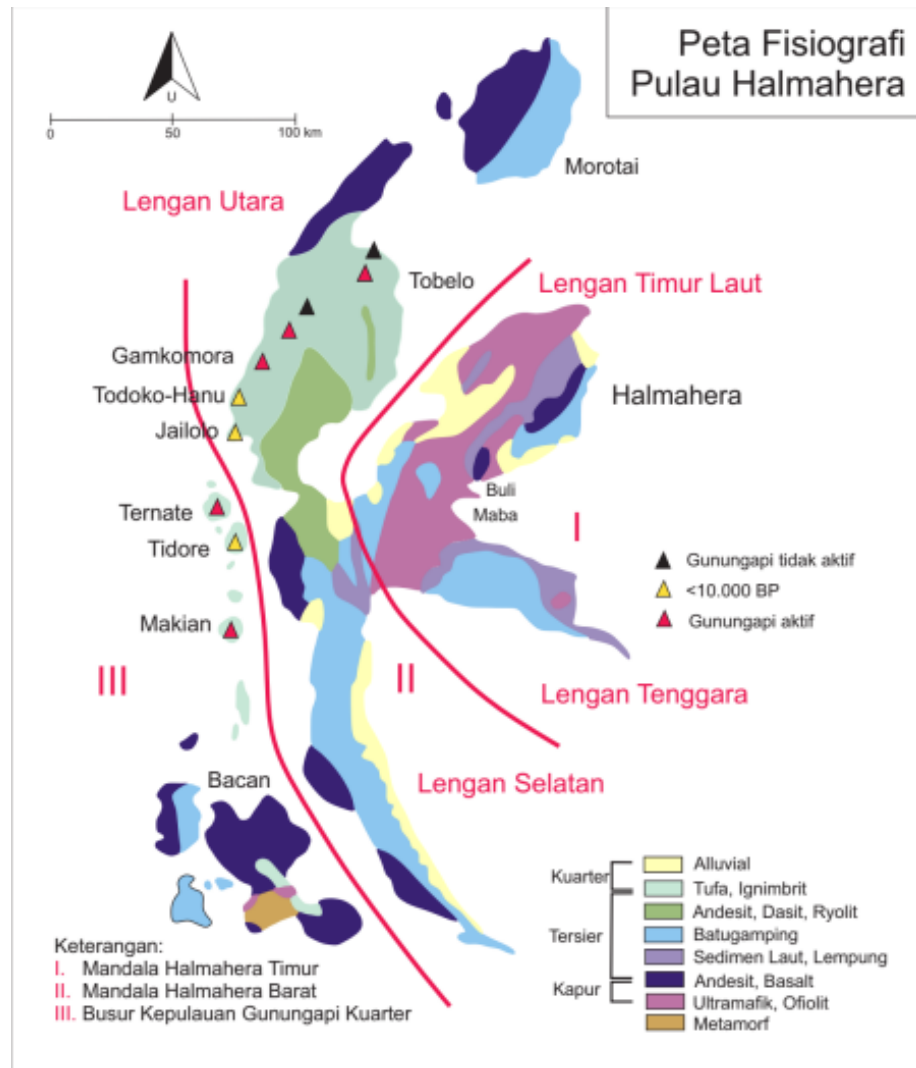
2.1.1 Fisiografi pulau Halmahera

Daerah Halmahera yang meliputi Halmahera bagian tengah, deretan pulau di sebelah barat, dan beberapa pulau kecil di sebelah timurnya dibagi menjadi 3 mendala fisiografi. Halmahera bagian tengah yaitu termasuk sebagian dari lengan utara, sebagian dari lengan selatan, sebagian dari lengan timur laut, dan seluruh lengan tenggara.

Lengan timur laut dan lengan tenggara Halmahera, termasuk beberapa pulau kecil di sebelah timurnya, merupakan Mendala Fisiografi Halmahera Timur. Lengan utara dan lengan selatan membentuk Mendala Fisiografi Halmahera Barat, dan deretan pulau di sebelah baratnya merupakan Busur Kepulauan Gunung Api Kuartar yang membentuk Mendala Busur Kepulauan. Semua mendala fisiografi ini berhubungan erat dengan mendala geologinya.

Bagian terbesar Mendala Fisiografi Halmahera Timur terdiri dari pegunungan berlereng curam dengan torehan sungai yang dalam dan sebagian bermorfologi karst. Morfologi pegunungan berlereng curam merupakan cerminan batuan ultrabasa, batuan sedimen, serta batuan gunung api Oligo-Miosen dan yang lebih tua. Morfologi karst terdapat pada daerah batu gamping, baik yang berumur Paleosen-Eosen, Oligo-Miosen maupun Miosen-Paleosen. Batuan sedimen Miosen-Pliosen membentuk morfologi dengan perbukitan yang relatif lebih rendah dan lerengnya yang lebih landai daripada batuan yang lebih tua. Hubungan antara Mendala Halmahera Timur dan Mendala Halmahera Barat berupa jalur tektonik yang kuat berbatuan sedimen Neogen. Perlipatan kuat dan persesaran terdapat pada jalur ini.

Mendala Busur Kepulauan merupakan deretan pulau di sebelah barat Halmahera yang membentuk busur kepulauan gunung api Kuartar. Sebagian besar pulaunya berbentuk kerucut gunung api yang masih bekerja, seperti G. Ternate, G. Tidore, dan G. Makian. (Apandi dan Sudana, 1980).



Gambar 1 Fisiografi pulau halmahera (Apandi dan Sudana, 1980).

2.1.2 Sratigrafi Regional

T. Apandi dan D. Sudana (1986) membagi daerah Halmahera menjadi 2 (dua) Mandala Geologi, yaitu mendala geologi Halmahera Timur dan mendala geologi Halmahera Barat.

Batuan tertua di mendala geologi Halmahera timur tersusun oleh satuan batuan ultrabasa yang sebarannya cukup luas dan satuan batuan beku basa yang mengintrusi satuan batuan ultrabasa serta satuan batuan beku *intermediate* yang mengintrusi kedua satuan batuan sebelumnya.

Satuan batuan ultrabasa terdiri dari serpentinit, piroksenit dan dunit, umumnya berwarna hitam atau hitam kehijauan, getas, terbreksikan, mengandung asbes dan garnierit. Pada satuan ini teramati batuan metasedimen dan rijang,

posisinya terjepit diantara sesar di dalam batuan ultrabasa. Satuan batuan ini oleh Bessho (1994) dinamakan Formasi Watileo (*Watileo Series*) dan hubungannya dengan satuan batuan yang lebih muda berupa bidang ketidakselarasan atau bidang sesar naik.

Satuan batuan beku basa terdiri dari gabro piroksin, gabro hornblende dan gabro olivin, tersingkap didalam kompleks satuan batuan ultrabasa dan ini dinamakan seri Wato-wato (Bessho, 1944).

Satuan batuan *intermediate* terdiri dari batuan diorit kuarsa dan diorit hornblende, tersingkap juga dalam kompleks batuan ultrabasa. Selain itu teramati sejumlah retas andesit dan diorit yang berhubungan baik dengan kuarsa dan pirit di daerah Formasi Bacan.

Batuan tertua ini ditutupi oleh formasi dodaga yang berumur kapur secara tidak selaras. Batuan ini tersusun oleh serpih berselingan dengan batugamping coklat muda dan sisipan rijang. Selain itu ditutupi pula oleh batuan yang berumur Paleosen-Bosen yaitu batuan dari Formasi Dorosagu, satuan konglomerat dan satuan batugamping.

Satuan batugamping berumur Paleosen-Eosen dan dipisahkan dengan batuan yang lebih tua (ultrabasa) oleh ketidakselarasan sedangkan dengan batuan yang lebih muda dipisahkan oleh sesar. Formasi ini memiliki ketebalan ± 400 meter.

Formasi Dorosagu yang berumur Paleosen-Eosen terdiri dari batupasir berselingan dengan serpih merah dan batugamping. Hubungan dengan batuan yang lebih tua (ultrabasa) berupa ketidakselarasan dan sesar naik. Formasi ini memiliki ketebalan ± 250 meter. Formasi ini identik dengan Saolat series (Bessho, 1944).

Satuan konglomerat tersusun oleh batuan konglomerat dengan sisipan batupasir, batulempung dan batubara. Satuan ini berumur Kapur Atas dengan ketebalan > 500 meter. Hubungannya dengan batuan yang lebih tua (ultrabasa) dan batuan yang lebih muda (Formasi Tingteng) adalah ketidakselarasan sedangkan dengan satuan batugamping hubungannya menjemari.

Setelah rumpang pengendapan sejak Eosen Akhir hingga Oligosen Awal, baru terjadi aktivitas gunung api selama Oligosen Atas hingga Miosen Bawah, membentuk rempah-rempah yang disatukan sebagai Formasi Bacan.

Formasi Bacan tersusun oleh batuan gunung api berupa lava, breksi dan tufa dengan sisipan konglomerat dan batupasir. Karena adanya sisipan batupasir maka dapat diketahui umur Formasi Bacan yaitu Oligosen sampai dengan Miosen Bawah. Dengan batuan yang lebih tua (Formasi Dorosagu) dibatasi oleh bidang sesar sedangkan dengan batuan yang lebih muda (Formasi Weda) dibatasi oleh bidang ketidakselarasan. Formasi Bacan identik dengan Tegitegi series (Bessho, 1944). Sebaran batuan gunung api Formasi Bacan ini terhampar luas baik di Mendala Halmahera Timur maupun Mendala Halmahera Barat. Bersamaan dengan pengendapan Formasi Bacan, diendapkan pula batugamping Formasi Tutuli. Formasi ini berumur Oligosen - Miosen Bawah, kontak dengan Formasi Weda berupa sesar, dan identik dengan Formasi Parepara series (Bessho, 1944). Setelah rumpang pengendapan Miosen Bawah Bagian Atas, terbentuk cekungan luas yang berkembang sejak Miosen Atas-Pliosen. Pada cekungan tersebut diendapkan Formasi Weda, satuan konglomerat dan Formasi Tingteng.

Formasi Weda terdiri dari batupasir berselingan dengan napal, tufa, konglomerat dan batugamping, berumur Miosen Tengah-Awal Pliosen, bersentuhan secara tidak selaras dengan Formasi Kayasa yang berumur lebih muda dan berhubungan secara menjemari dengan Formasi Tingteng. Formasi ini identik dengan Weda series (Bessho, 1944).

Satuan Konglomerat berfragmen batuan ultrabasa, basal, rijang, diorit dan batusabak dengan ketebalan ± 100 meter, menutupi satuan batuan ultrabasa secara tidak selaras yang diduga berumur Miosen Tengah sampai dengan Awal Piosen. Apabila dilihat letak stratigrafinya kemungkinan batuan ini merupakan anggota Formasi Weda.

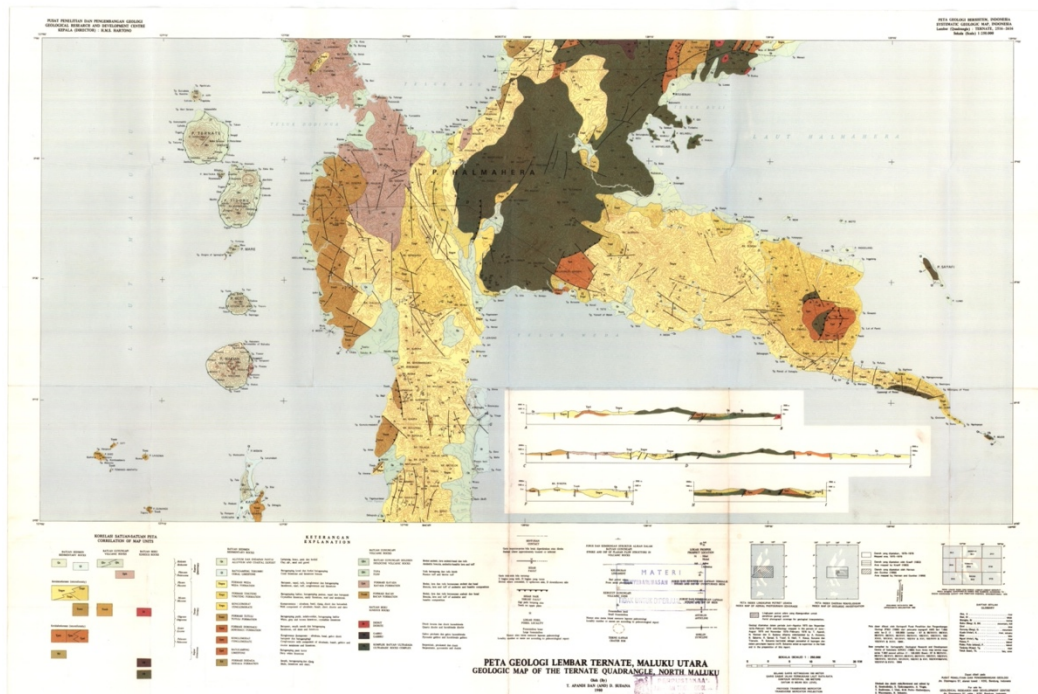
Formasi Tingteng tersusun oleh batugamping hablur dan batugamping pasiran dengan sisipan napal dan batupasir berumur Akhir Miosen - Awal Pliosen, memiliki ketebalan ± 600 meter. Setelah pengendapan Formasi Tingteng terjadi pengangkatan pada Kuartar di pantai pada daerah lengan Timur Halmahera sebagaimana ditunjukkan oleh batugamping terumbu.

Batuan tertua di daerah Mendala Geologi halmahera Barat berupa batuan gunung api Oligo-Miosen dan Formasi Bacan. Batuan sedimen dan karbonat berumur Miosen - Pliosen tersebar luas di Mendala ini, kebanyakan bersifat tufaan.

Selain itu di bagian utara ditemukan batuan gunung api kuarter yaitu Formasi Kayasa dan satuan Tufa.

Formasi Kayasa berupa batuan gunung api terdiri dari breksi, lava dan tufa yang diduga berumur Pliosen, identik dengan Basal Kayasa (Bessho, 1944).

Penyusun utama satuan tufa adalah tufa batuapung berwarna putih dan kuning. Deretan pulau yang membentuk busur kepulauan gunung api di Barat Halmahera sebagian besar tertutup oleh rempah-rempah gunung api Holosen. Hanya di P. Kayoa di selatan, tersingkap batuan gunung api Oligo sampai dengan Miosen. Formasi Bacan berada di bawah batugamping terumbu yang terdiri dari Batugamping koral dan Breksi Batugamping.



Gambar 2 Geologi Regional (Apandi, 1990).

2.1.3 Geologi Struktur

Karakteristik geologi Provinsi Maluku adalah terdiri daribatuan sedimen, batuan metamorfik dan batuan beku dengan penyebaran yang hampir merata disetiap gugus pulau. Hal ini dipengaruhi oleh klasifikasi umur pulau/kepulauan yang terbentuk pada 50-70 juta tahun yang lalu, pada periode Neogeon sampai Paleocene. Karakteristik tersebut juga dipengaruhi oleh letak Maluku diantara lempeng bumi Indo-Australia, Pasifik, Laut Filipina dan Laut Banda, sehingga

memberikan sebaran beberapa gunung api baik yang masih maupun sudah tidak aktif lagi.

Sebagian besar Provinsi Maluku Utara, terutama bagian tengah dan utara, merupakan daerah pegunungan. Namun secara geologi bukanlah pegunungan yang seragam. Artinya, bahan penyusunnya bervariasi. Pada semenanjung timur laut ditemukan batuan beku asam, basa dan ultrabasa serta batuan sediment. Daerah pegunungan yang ada merupakan bentangan lahan dengan puncak tajam dan punggung curah tertoreh sertalereng yang curam (40%) (Amarullah et. al., 2005).

Maluku disusun oleh batuan yang terdiri dari batuan vulkanik, sedimen dan endapan muda. Batuan akibat adanya kegiatan tektonik mengakibatkan adanya pelipatan, dan pensesaran dan kegiatan magmatik (hidrotermal) yang mana hal tersebut merupakan media yang potensial bagi pembentukan mineralisasi. Daerah uji petik memiliki sebaran alterasi yang didominasi oleh ubahan silisifikasi, serisit sampai dengan argilik. Di beberapa lokasi dijumpai adanya ubahan jenis filik (pada punggungan Anggai), argilik dan propilit. Hal ini menunjukkan alterasi kearah dalam memiliki variasi alterasi bertemperatur lebih tinggi. Jadi dimungkinkan tipe porfiri akan muncul (bisa saja terjadi) jika melihat pola alterasi yang demikian (Roswita et al., 2012).

2.2 Genesa Endapan Nikel Laterit

Proses pembentukan nikel laterit berawal dari terjadinya proses pelapukan yang terjadi pada batuan asal (protolith) yaitu batuan ultra basa/peridotit yang banyak mengandung mineral olivin, magnesium silikat dan besi silikat yang pada umumnya mengandung 0,3 % nikel. Batuan peridotit sangat mudah terpengaruh oleh proses pelapukan dimana air tanah yang kaya CO₂ yang berasal dari udara luar dan tumbuh-tumbuhan akan menghancurkan olivin. Penguraian olivin, magnesium, besi, nikel, dan silikat kedalam larutan cenderung untuk membentuk suspensi koloid dari partikel-partikel yang submikroskopik.

Dalam larutan, besi akan bersenyawa dengan oksida dan mengendap sebagai feri hidroksida. Akhirnya endapan ini akan menghilangkan air dengan membentuk mineral-mineral seperti Goetit (FeO(OH)), Hematit (FeO₃), dan Cobalt

(CO) dalam jumlah kecil. Kemudian besi oksida mengendap dekat dengan permukaan tanah, sedangkan magnesium, nikel, dan silika tertinggal dalam larutan selama air masih asam. Tetapi jika dinetralisasi karena adanya reaksi dengan batuan dan tanah, maka zat-zat tersebut akan cenderung mengendap sebagai hidrosilikat.

Mineralisasi terjadi melalui rekahan pada strata ini, sebagai akibat pencucian dan penggumpalan pada lapisan saprolit yang disebut pengkayaan maka tertahan pada batuan induk (batuan dasar). Nikel mempunyai sifat kurang kelarutannya dibandingkan dengan magnesium. Perbandingan antara nikel dan magnesium didalam endapan lebih besar daripada larutan, karena adanya larutan silikat magnesium yang terbawa oleh air tanah. Kadang-kadang olivin didalam batuan diubah menjadi serpentin sebelum tersingkap dipermukaan, dimana serpentin terurai kedalam komponen-komponen bersama-sama dengan terurainya olivin. Adanya erosi air tanah asam dan erosi dipermukaan bumi akan menyerang mineral-mineral yang telah diendapkan. Zat-zat tersebut dibawa ketempat yang lebih dalam, selanjutnya diendapkan sehingga terjadi pengkayaan pada bijih nikel. Kandungan nikel pada saat terendapkan akan semakin bertambah banyak dan selama itu magnesium tersebar pada aliran tanah. Dalam hal ini proses pengkayaan bersifat kumulatif, dimana proses dimulai dari suatu batuan yang mengandung 0,25 % nikel, sehingga akan dihasilkan 1,50% bijih nikel.

Keadaan ini merupakan kadar nikel yang sudah dapat ditambang, dimana waktu yang diperlukan untuk proses pengkayaan tersebut mungkin dalam beberapa ribu tahun bahkan berjuta-juta tahun. Sedangkan kadar nikel pada endapan laterit yang mempunyai kadar paling tinggi terjadi pada zona pelapukan dan diendapkan pada retakan-retakan dibagian atas dari lapisan dasar batuan (*bed rock*).



Gambar 3 Genesa endapan bijih nikel laterit.

Endapan nikel laterit terdapat pada lapisan bumi yang kaya akan besi, dimana pembagian yang sempurna dari besi dan nikel kedalam zona-zona yang berbeda tidak pernah ada. Pengkayaan besi dan nikel terjadi melalui pemindahan magnesium dan silikat dimana besi dalam material ini paling banyak terbentuk gumpalan (disebut limonit). Sehingga endapan nikel dapat ditunjukkan dengan adanya jenis limonit tersebut atau sebagai nikel *ferrous iron ore*. Hal ini berlawanan dengan nikel bertipe silikat (yang kadang-kadang disebut sebagai bijih serpentin) dimana pemisahan nikel lebih baik.

Jenis pelapukan yang melarutkan unsur-unsur logam dari batuan induk akan menghasilkan bijih nikel limonit, bijih nikel silikat kebanyakan terjadi pada daerah beriklim tropis. Dimana pada daerah tersebut banyak turun hujan dan banyak

tumbuh-tumbuhan yang teruraikan sehingga menimbulkan asam organik dan CO₂ pada air tanah.

Faktor-faktor yang memengaruhi pembentukan bijih nikel laterit ini adalah:

1. Batuan Asal. Adanya batuan asal merupakan syarat utama untuk terbentuknya endapan nikel laterit. Batuan asalnya adalah batuan ultrabasa. Dalam hal ini pada batuan ultrabasa tersebut:
 - a. Terdapat elemen Ni yang paling banyak diantara batuan lainnya
 - b. Mempunyai mineral-mineral yang paling mudah lapuk atau tidak stabil, seperti olivin dan piroksin - mempunyai komponen-komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel.
2. Iklim. Adanya pergantian musim kemarau dan musim penghujan dimana terjadi kenaikan dan penurunan permukaan air tanah juga dapat menyebabkan terjadinya proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur. Perbedaan temperatur yang cukup besar akan membantu terjadinya pelapukan mekanis, dimana akan terjadi rekahan- rekahan dalam batuan yang akan mempermudah proses atau reaksi kimia pada batuan.
3. Reagen – reagen kimia dan vegetasi. Reagen reagen kimia adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu mempercepat proses pelapukan. Air tanah yang mengandung CO₂ memegang peranan penting didalam proses pelapukan kimia. Asam-asam humus menyebabkan dekomposisi batuan dan dapat merubah pH larutan. Asam-asam humus ini erat kaitannya dengan vegetasi daerah. Dalam hal ini, vegetasi akan mengakibatkan:
 - a. Penetrasi air dapat lebih dalam dan lebih mudah dengan mengikuti jalur akar pohon-pohonan.
 - b. Akumulasi air hujan akan lebih banyak.
 - c. Humus akan lebih tebal. Keadaan ini merupakan suatu petunjuk, dimana hutannya lebat pada lingkungan yang baik akan terdapat endapan nikel yang lebih tebal dengan kadar yang lebih tinggi. Selain itu, vegetasi dapat berfungsi untuk menjaga hasil pelapukan terhadap erosi mekanis.
4. Struktur. Struktur yang sangat dominan yang terdapat didaerah ini adalah struktur kekar (*joint*) dibandingkan terhadap struktur patahannya. Seperti diketahui, batuan beku mempunyai porositas dan permeabilitas yang kecil

sekali sehingga penetrasi air sangat sulit, maka dengan adanya rekahan-rekahan tersebut akan lebih memudahkan masuknya air dan berarti proses pelapukan akan lebih intensif.

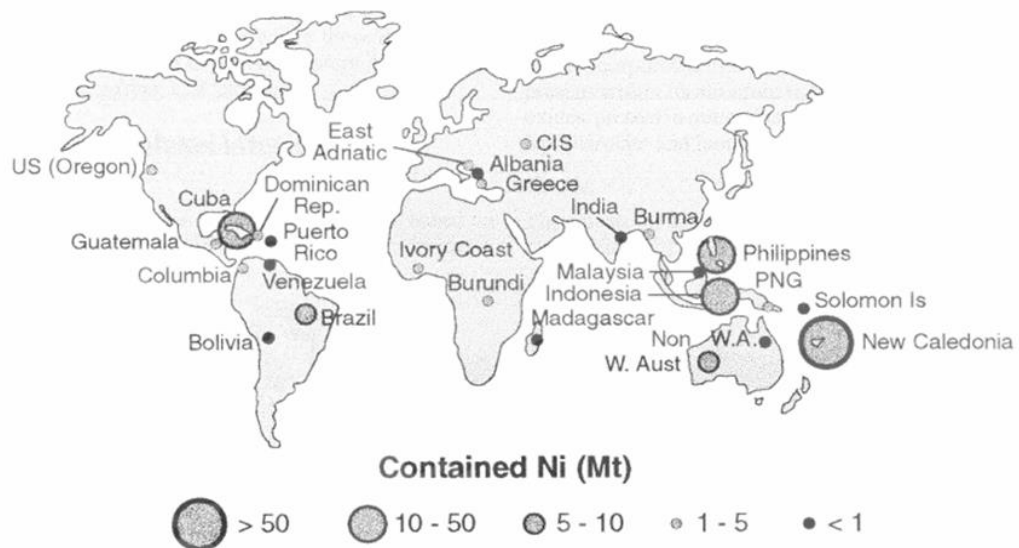
5. Topografi. Keadaan topografi setempat akan sangat mempengaruhi sirkulasi air beserta reagen-reagen lain. Untuk daerah yang landai, maka air akan bergerak perlahan-lahan sehingga akan mempunyai kesempatan untuk mengadakan penetrasi lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan. Akumulasi 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 ini dapat menyebabkan pelapukan kurang intensif.
6. Waktu. Waktu yang cukup lama akan mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena akumulasi unsur nikel cukup tinggi.

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 (Sutisna, et al., 2006).

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. Berdasarkan cara terjadinya, endapan nikel dapat digolongkan menjadi dua macam, yaitu endapan bijih Ni-sulfida (primer) dan Ni-laterit (sekunder). Proses pembentukan Ni-laterit merupakan proses dekomposisi sekunder endapan Ni-sulfida yang diawali dari pelapukan batuan ultrabasa seperti harzburgit, dunit, dan piroksenit (Atmadja, et al., 1974).

Endapan nikel Laterit adalah berasal dari pelapukan kimia batuan beku yang kaya akan olivin dan turunan metamorfnya yang memiliki kandungan Ni awal primer pada kisaran 0,2 - 0,4%. Karakteristik Ni laterit, termasuk kadar, tonase dan mineralogi, dikendalikan oleh interaksi faktor iklim dan geologis, seperti sejarah geomorfologi, drainase, struktur, dan litologi, dan merupakan efek gabungan dari faktor-faktor individual ini yang, dalam sistem yang dinamis, memungkinkan Ni untuk berkonsentrasi dalam regolit (Brand, 1998). Sebaran endapan nikel laterit di

dunia dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Sebaran endapan nikel laterit dunia (Brand, 1998).

Secara dominan, tetapi tidak eksklusif, terletak di sabuk tropis dan subtropis dunia dan mewakili lebih dari 70% sumberdaya Ni daratan, namun saat ini menyumbang kurang dari 30% dari produksi Ni global tahunan. Operasi laterit nikel umumnya membutuhkan penambangan terbuka dengan tonase tinggi dan kemajuan metalurgi baru-baru ini akan memungkinkan eksploitasi sumber daya ini secara ekonomi.

2.2.1 Penyebaran Endapan Bijih Nikel

Batuan Peridotit yang mengalami serpentinasi akan memberikan zona saprolite dengan inti batuan biasanya agak keras dan rapuh. Hal ini diakibatkan adanya hujan dan panas sehingga terjadi pelapukan dan rekahan-rekahan yang memudahkan air masuk melalui celah-celah batuan oleh suatu mineral kuarsa, garnierit, sedangkan serpentin akan menghasilkan zona saprolit yang relatif homogen dengan kuarsa dan garnierit. Air permukaan yang mengandung CO₂ dari atmosfer dan terkayakan kembali oleh material organik di permukaan dan meresap ke bawah sampai zona pelindian dimana fluktuasi air berlangsung. Akibat fluktuasi air yang kaya CO₂ akan kontak dengan zona saprolite dan batuan yang mengandung batuan asal dan mineral-mineral tidak stabil seperti olivin, serpentin, dan piroksin.

2.2.2 Pembentukan Zona Limonit dan Saprolit

Proses pelapukan laterit pada batuan ultrabasa dari suatu laterit fosil, mempunyai arti sebagai suatu proses pelapukan laterit yang berlangsung tidak dimulai dari batuan segar yang kemudian menghasilkan profil laterit baru, tetapi bertolak dari suatu profil laterit yang sudah terbentuk, dimana saprolit silikat yang selalu berada dibawah permukaan air tanah sudah ada dan terletak dibawah zona limonit.

Fluktuasi muka air tanah yang berlangsung secara kontinue akan melarutkan unsur-unsur magnesium yang terdapat pada bongkah-bongkah batuan asal di zona saprolit, sehingga memungkinkan penetrasi air tanah yang lebih dalam. Sehingga sedikit demi sedikit zona saprolit akan berubah porositasnya dan akhirnya menjadi zona limonit.

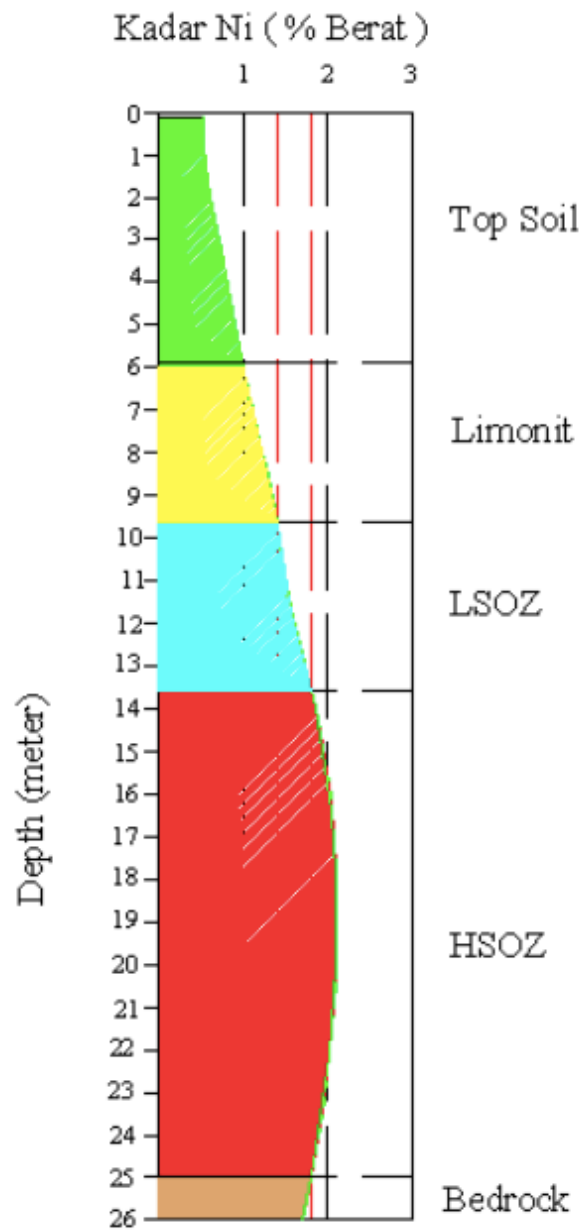
Dengan penambahan porositas, maka air tanah akan lebih leluasa bergerak sehingga permukaan air tanah akan turun, menyebabkan air permukaan laterit juga akan turun akibat proses kompaksi dan erosi pada permukaan. Penurunan muka air tanah ini akan berbeda-beda dan sangat tergantung dari struktur batuan asal, morfologi yang mempengaruhi intensitas pelindian, intensitas curah hujan, iklim dan waktu. Pembentuk zona laterit akibat berlanjut proses laterisasi ini akan berlangsung dengan berbedanya penurunan permukaan air tanah, walaupun sifat batuan asalnya serupa. Pada penurunan muka air tanah yang dalam, zona limonit akan terbentuk lebih tebal, sementara itu ketebalan zona saprolit tidak berubah.

Demikian pula pada penurunan permukaan air tanah yang sama akan memberikan profil laterit yang berbeda jika struktur batuan asalnya berbeda. Dalam hal ini struktur batuan asal (masif atau bercelah) sangat berperan dalam pembentukan zona saprolit.

Di daerah cekungan aktif ini intensitas air tanah membesar akibat arah aliran yang konvergen dan akan memberikan proses pelindian yang lebih intensif dari proses pengendapan kembali sehingga memungkinkan pembentukan zona limonit yang tebal.

2.2.3 Profil Nikel Laterit

Profil endapan nikel laterit yang terbentuk dari hasil pelapukan batuan ultrabasa secara umum terdiri dari 4 (empat) lapisan, yaitu lapisan tanah penutup atau *top soil*, lapisan limonit, lapisan saprolite, dan *bedrock* (Gambar 5). Sedangkan untuk kepentingan penambangan, biasanya lapisan tersebut dibagi menjadi 5 lapisan atau zona dimana dasar pembagiannya berdasarkan pada pertimbangan persentase komposisi unsur Ni dan Fe yang terdapat di dalamnya.



Gambar 5 Profil endapan nikel laterit (Aziz, 2008).

a. Lapisan Tanah Penutup (*Overburden*)

Lapisan ini terletak di bagian atas permukaan, lunak dan berwarna coklat kemerahan hingga gelap dengan kadar air antara 25% sampai 35%, kadar nikel maksimal 1,3% dan di permukaan atas dijumpai lapisan *iron capping*. Lapisan ini mempunyai ketebalan berkisar antara 1 – 12 meter, merupakan kumpulan massa goethite dan limonikel yang rendah. *Iron cap* mempunyai kadar besi yang tinggi tapi terkadang terdapat mineral-mineral *hematite, chromiferous*.

b. Lapisan Limonit

Lapisan ini terletak di bawah lapisan tanah penutup *fine-grained*, merah- coklat atau kuning, agak lunak, berkadar air antara 30% - 40%, kadar nikel sebesar 1,5%, Fe 44%, MgO 3%, SiO₂%, lapisan kaya besi dari zona limonit menyelimuti seluruh area dengan ketebalan rata-rata 3 meter. Lapisan ini tipis pada lereng yang terjal, dan setempat hilang karena erosi. Sebagian dari nikel pada zona ini didominasi oleh mineral Goethit, disamping juga terdapat Magnetit, Hematit, Kromit, serta Kuarsa sekunder. Pada Goethit terikat Nikel, Chrom, Cobalt, Vanadium, dan Alumunium.

c. Lapisan Bijih/*Ore* (Saprolit)

Lapisan ini merupakan hasil pelapukan batuan peridotit, berwarna kuning kecoklatan agak kemerahan, terletak di bagian bawah dari lapisan Limonit berkadar menengah, dengan ketebalan rata-rata 7 meter. Campuran dari sisa-sisa batuan, butiran halus limonit, *saprolitic rims*, vein dari endapan garnierit, *nickeliferous quartz*, mangan dan pada beberapa kasus terdapat *silica boxwork*, bentukan dari suatu zona transisi dari Limonit ke *bedrock*. Terkadang terdapat mineral kuarsa yang mengisi rekahan, mineral-mineral primer yang terlapukan, clorite. Garnierit dilapangan biasanya diidentifikasi sebagai *colloidal talc* dengan lebih atau kurang *nickeliferous* serpentin, struktur dan tekstur batuan asal masih terlihat. Lapisan ini terdapat bersama batuan yang keras atau rapuh dan sebagian *saprolite*. Kadar Ni 1,85%, Fe 16%, MgO 25% SiO₂ 35%. Lapisan ini merupakan lapisan yang bernilai ekonomis untuk ditambang sebagai bijih.

d. Lapisan Batuan Dasar (*Bedrock*)

Bagian terbawah dari profil laterit Lapisan ini merupakan batuan peridotit yang tidak atau belum mengalami pelapukan. Blok peridotit (batuan dasar) dan secara umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis lagi (kadar logam sudah mendekati atau sama dengan batuan dasar). Berwarna kuning pucat sampai abu-abu kehijauan. Zona ini terfrakturisasi kuat, kadang membuka, terisi oleh mineral garnierit dan silika. Frakturisasi ini diperkirakan menjadi penyebab adanya root zone yaitu zona *high grade* Ni, akan tetapi posisinya tersembunyi. Ketebalan dari masing-masing lapisan tidak merata, tergantung dari morfologi dan relief, umumnya endapan laterit terakumulasi banyak pada bagian bawah bukit dengan relief yang landai. Sedang relief yang terjal endapan semakin menipis, di samping adanya kecenderungan akumulasi mineral yang berkadar tinggi dijumpai pada zona-zona retakan, zona sesar dan rekahan pada batuan.

2.2.2 Karakteristik Nikel laterit

Klasifikasi nikel laterit dikelompokkan menjadi beberapa jenis berdasarkan fitur seperti perubahan batuan induk, iklim, drainase, sejarah geomorfologi, dan komposisi mineral penyusunnya (Butt 1975, Golightly 1981, Alcock 1988). Ada tiga tipe utama dari endapan nikel laterit antara lain (Brand, 1998):

1. Deposit hidrosilikat: endapan silikat Ni, didominasi oleh silikat Mg-Ni terhidrasi (*mis. garnierite*), umumnya terjadi jauh di dalam saprolit.
2. Deposit silikat lempung: endapan silikat Ni, didominasi oleh lempung smektit (*mis. nontronit*), umumnya terjadi pada saprolit atas atau pedolit.
3. Deposit oksida: endapan oksida, didominasi oleh Fe *oxyhydroxides* (*mis. goethite*), membentuk lapisan pada batas saprolit pedolit.

Klasifikasi nikel laterit berdasarkan batuan induknya tersusun atas mineral-mineral yang mengandung mineral feromagnesium (olivin, piroksin, dan amfibol) dalam jumlah yang besar yang berasosiasi dengan struktur geologi. Pada umumnya nikel laterit terbentuk dari pelapukan batuan ultrabasa yang merupakan pembawa unsur nikel. Salah satu jenis batuan ultrabasa pembawa unsur nikel antara lain peridotite (Golightly, 2010).

2.3 Pentingnya Permodelan dan Estimasi Sumberdaya

Permodelan merupakan tahap awal untuk melakukan estimasi kadar yang berlanjut ke estimasi sumberdaya. Hasil dari estimasi sumberdaya tersebut akan dapat dijadikan sebagai cadangan jika memenuhi beberapa ketentuan. Metode perhitungan yang digunakan harus memberikan hasil yang dapat diuji ulang atau diverifikasi. Setelah perhitungan sumberdaya selesai, yang harus dilakukan adalah memeriksa atau mengecek taksiran kualitas blok yang dibuat setelah proses permodelan. Hal ini dilakukan dengan menggunakan data pemboran yang ada disekitarnya. Satu aspek penting yang harus sangat diperhatikan sebelum dan setelah permodelan dan estimasi selesai yaitu model dan taksiran kadar dari model sumberdaya tersebut harus dicek ulang kualitas dan kuantitasnya yang disebut dengan Verifikasi Data. Suatu data dapat dikatakan valid / benar jika di dalam verifikasi data tersebut tidak terdapat adanya kesalahan, sehingga hasil dari permodelan dan estimasi yang dilakukan mendekati nilai yang sesungguhnya.

Estimasi sumberdaya mineral diperlukan karena :

1. Kandungan logam dalam cebakan mineral sedikit, hanya dalam ppm atau % kecil sehingga harus ditentukan nilai kadar sekitarnya untuk menentukan jumlah sumberdaya (volume dan tonase).
2. Adanya keterbatasan data dalam sampling untuk analisis kadar maupun interpretasi geologi.
3. Belum ada prosedur yang tepat untuk menghitung kadar dan volume

Pentingnya permodelan dan estimasi sumberdaya bermanfaat untuk hal-hal berikut ini:

1. Memberikan besaran kuantitas (tonase) dan kualitas terhadap suatu endapan bahan galian.
2. Memberikan perkiraan bentuk 3 dimensi dari endapan bahan galian serta distribusi ruang (spatial) dari nilainya. Hal ini penting untuk menentukan sumberdaya ke tahap cadangan dan selanjutnya menentukan urutan/tahapan penambangan, yang pada gilirannya akan mempengaruhi pemilihan peralatan. Jumlah sumberdaya menentukan umur tambang setelah diklasifikasikan ke cadangan. Hal ini penting dalam perancangan pabrik pengolahan dan kebutuhan infrastruktur lainnya.

3. Batas-batas kegiatan penambangan (pit limit) ke tahap cadangan dibuat berdasarkan besaran sumberdaya.

Dalam melakukan estimasi sumberdaya bijih harus memperhatikan persyaratan tertentu, antara lain:

1. Suatu taksiran sumberdaya harus mencerminkan secara tepat kondisi geologi dan karakter/sifat dari endapan bahan galian.
2. Selain itu harus sesuai dengan tujuan evaluasi. Suatu model sumberdaya yang akan digunakan untuk perancangan tambang harus konsisten dengan metode penambangan dan teknik perencanaan tambang yang akan diterapkan.
3. Taksiran yang baik harus didasarkan pada data aktual yang diolah/diperlakukan secara objektif. Keputusan dipakai tidaknya suatu data dalam penaksiran harus diambil dengan pedoman yang jelas dan konsisten. Tidak boleh ada pembobotan data yang berbeda dan harus dilakukan dengan data yang kuat dan akurat.

2.4 Basis Data Komputer dan Konsep Model Blok

2.4.1 Basis Data Komputer

Pembuatan suatu model sumberdaya/cadangan yang representatif dan cukup detail tentunya membutuhkan tingkat ketelitian yang tinggi dan waktu pengerjaan yang lama. Dengan adanya teknologi komputer pada saat ini maka sangat membantu untuk mempermudah pekerjaan tersebut dalam pengolahan, klasifikasi, dan interpretasi data. Data pada umumnya bisa diperoleh dari populasi cebakan bijih dengan cara pengeboran, surface sampling, dan tunnel/stope sampling dengan berbagai metode percontohan batuan. Pada awal pekerjaan pemodelan yang harus dilakukan adalah mengolah data-data awal dari proses percontohan ke dalam suatu basis data komputer sebagai input data dalam pemodelan sumberdaya secara komputerisasi. Pada tahap ini dibutuhkan ketelitian dan waktu yang cukup lama dalam pemasukan data. Pengecekan data / verifikasi dilakukan setelah semua data dimasukkan ke dalam file perangkat lunak. Data-data awal ini meliputi :

- a. Data *collar*, memberikan informasi koordinat xyz dari lokasi pengambilan data.
- b. Data *assay*, memuat informasi nilai kadar pada penembusan/interval tertentu.
- c. Data *survey*, memuat data azimuth, dip, dan deviasi arah pengambilan data.

d. Data *litologi*, memuat tentang jenis batuan pada tiap selang penembusan/interval tertentu.

2.4.2 Konsep Model Blok

Pemakaian model blok untuk memodelkan suatu cebakan mineral telah umum dilakukan dalam industri pertambangan. Hal ini dimulai pada akhir tahun 60-an, ketika komputer mulai digunakan di dalam pekerjaan perhitungan sumberdaya cadangan dan perencanaan tambang. Volume 3-dimensi cebakan mineral yang akan ditambang dibagi ke dalam unit-unit yang lebih kecil (blok/unit penambangan terkecil). Dalam kerangka model blok inilah semua tahap pekerjaan dilakukan, mulai dari penaksiran kadar, perancangan batas penambangan hingga ke perencanaan tambang jangka panjang dan jangka pendek.

Model blok memudahkan dalam menaksirkan kualitas dan kuantitas di dalam estimasi sumberdaya yang digambarkan secara lebih terperinci/spesifik detail lokasi. Selain itu juga dapat digunakan untuk menentukan volume satuan blok yang disesuaikan dengan dimensi penambangan. Pada umumnya dimensi ukuran - ukuran blok pada model blok merupakan fungsi geometri endapan dan disesuaikan dengan sistem penambangan yang digunakan.

Tergantung pada jenis cebakan mineral yang dihadapi, tujuan pembuatan model serta metode penambangan, ukuran blok dapat berkisar dari 3 x 3 x 2 m (x,y,z) atau lebih kecil untuk cebakan emas tipe vein, hingga 25 x 25 x 15 m atau lebih besar untuk cebakan-cebakan berukuran masif seperti tembaga porfiri. Tiap-tiap blok akan memiliki atribut (variabel model) misalnya topografi atau volume blok (utuh/tidak utuh), jenis batuan, berat jenis, taksiran kadar, klasifikasi hasil taksiran, aspek pengolahan/metalurgi dll. Semakin banyak jumlah blok dan jumlah variabel dalam model, semakin besar pula kebutuhan memori dan mass storage (disk space) komputer kita. Didalam estimasi sumberdaya nikel ini digunakan model blok yang berukuran X = 1/2 Jarak Spasi Antar Titik Bor (1/2 x 25 m), Y = 1/2 Jarak Spasi Antar Titik Bor (1/2 x 25 m) dan Z = 1 m sehingga ukuran blok 12,5 x 12,5 x 1 m (Berdasarkan Konvensi) untuk klasifikasi sumberdaya terukur.

Dalam model blok ada yang dinamakan Parent Cell dan Sub Cell. Parent Cell adalah blok yang paling utama dan paling besar dibentuk. Sedangkan Sub Cell

adalah blok - blok yang dibuat menjadi lebih kecil yang berfungsi untuk mengisi dimensi detail pada batas tepi badan bijih / dekat *boundary* badan bijih yang bertujuan untuk meningkatkan ketelitian pada perhitungan volume sumberdaya dan estimasi kadar. *Sub Cell* ini mengisi dari daerah badan bijih yang tidak bisa dicapai oleh Parent Cell. Kemudian *Sub Cell* ini memberikan hasil kualitas yang sebenarnya pada badan bijih berdasarkan pendekatan terhadap kondisi badan bijih yang sebenarnya.

2.4.2.1 Model Geologi

Sebelum membuat model badan bijih hal yang harus diperhatikan adalah kondisi geologi badan bijih tersebut yang disebut model geologi. Model geologi yang berupa penampang geologi sangat diperlukan dalam pembuatan kerangka badan bijih sehingga wilayah penaksiran dapat dibatasi pada daerah mineralisasi. Badan bijih inilah yang nantinya akan dibagi dalam blok-blok yang lebih kecil untuk keperluan estimasi sumberdaya.

Tahapan pertama dari pemodelan geologi sebuah cebakan bijih adalah membuat plot penampang potong data geologi yang diperoleh dari setiap lubang bor. Interpretasi geologi dilakukan pada penampang potong tersebut untuk merepresentasikan data geologi ke dalam komputer.

2.4.2.2 Model Topografi

Pada penerapan sistem penambangan terbuka maka topografi harus dimasukkan pada model blok sebagai batas atas penambangan. Batas dari model bijih diplot pada peta topografi tersebut. Garis kontur topografi didigitasi sehingga setiap titik memiliki data koordinat permukaan berupa northing, easting, dan elevasi. Hasil model yang dibuat akan dioverlay dan dismoothing terhadap model topografi yang bertujuan untuk menggambarkan kondisi badan bijih yang sebenarnya.

2.5 Statistika Dasar

Statistik adalah suatu disiplin ilmu matematika yang digunakan untuk merancang proses pengumpulan data, meringkas, menginterpretasikan, dan menggambarkan data, serta menarik kesimpulan.

Dalam statistika terdapat beberapa metode yang dapat digunakan, antara lain:

1. Deskripsi univarian; adalah deskripsi yang digunakan untuk melihat hubungan antar data dalam satu populasi, tanpa mempertimbangkan faktor posisi dari data-data tersebut.
2. Deskripsi bivarian; adalah deskripsi yang dapat digunakan untuk melihat hubungan antara dua populasi data yang berbeda, pada posisi yang sama.
3. Deskripsi ruang; adalah deskripsi yang dapat digunakan untuk melihat kumpulan data dengan mempertimbangkan faktor ruang (posisi) dari data tersebut (geostatistik).

Tujuan dari analisis statistik adalah untuk melihat hubungan antara data dalam populasi yang sama atau hubungan antara data-data dalam satu populasi dengan data dalam populasi lainnya. Dalam analisis statistik, satu populasi data dapat disajikan dalam bentuk histogram maupun deskripsi univarian.

2.5.1 Statistik Univarian

Berikut merupakan variabel yang dapat ditentukan dari statistik Univarian:

- a. Rata-rata sampel merupakan parameter lokasi dimana data terpusat, dihitung dengan cara jumlah semua nilai data yang diamati dibagi dengan banyaknya data yang diamati.
- b. Median adalah nilai tengah pada sekelompok data yang telah diurutkan dari yang terkecil hingga yang terbesar.
- c. Modus adalah nilai dari sekelompok data yang memiliki frekuensi tertinggi atau nilai yang sering muncul.
- d. Quartil bawah, tengah, atas (25%, 50%, 75% percentiles). Jika memiliki n buah data yang telah diurutkan, maka quartil bawah (25% percentiles) adalah data yang terletak pada urutan $(n/4)$, quartil tengah adalah median, dan quartil atas adalah data yang terletak pada urutan $(3n/4)$.

- e. Nilai jarak merupakan selisih antara nilai data terbesar dengan nilai data terkecil.
- f. Variansi adalah ukuran sebaran data.
- g. Simpangan baku adalah nilai yang mengukur selisih individu data terhadap nilai rata-rata hitung dalam suatu populasi.
- h. Histogram suatu populasi data dapat disajikan dalam bentuk tabel frekuensi dan histogram. Dalam tabel frekuensi, populasi data dibagi ke dalam beberapa kelas, yang kemudian ditentukan jumlah data yang berada dalam tiap kelas (frekuensi). Hasil dari tabel frekuensi kemudian digambarkan dalam suatu histogram.
- i. Ukuran kemiringan kurva menyatakan simetris atau tidaknya suatu kurva histogram.
- j. Ukuran keruncingan kurva (kurtosis) menggambarkan ukuran keruncingan kurva histogram. Dari tingkat keruncingan, kurva dapat dibedakan menjadi; *leptokurtis* (meruncing), *platykurtis* (mendatar), dan *mesokurtis* (normal).
- k. Pencilan adalah suatu data yang jauh berbeda dibandingkan terhadap keseluruhan data. Data yang jauh berbeda ini disebabkan oleh kesalahan pada saat sampling, analisis, atau terjadi pemfilteran. Dengan kata lain data pencilan juga dapat dianggap sebagai data dengan populasi yang berbeda terhadap populasi keseluruhan data. Dengan demikian data pencilan akan mengganggu dalam proses analisis data dan harus dihindari dalam banyak hal. Dalam statistik ruang, data pencilan harus dilihat terhadap posisi dan sebaran data lainnya sehingga akan dapat dievaluasi apakah data pencilan tersebut dapat dihilangkan atau tidak. Terdapat beberapa metode untuk menentukan batasan pencilan dalam suatu analisis. Salah satu metode yang paling umum adalah dengan mempergunakan nilai kuartil dan jangkauan.

2.5.2 Statistik Bivarian

Metode statistik dapat juga digunakan untuk menganalisis distribusi dua buah kumpulan peubah yang berbeda tetapi terletak pada lokasi yang sama. Metode statistik bivarian yang biasa digunakan adalah diagram pencar (*scatter plot*), yaitu penggambaran dua peubah dalam satu grafik X - Y. Kedua peubah mempunyai hubungan positif jika kedua peubah tersebut cenderung memiliki nilai berbanding

lurus. Jika kedua peubah tersebut cenderung menunjukkan nilai yang berbanding terbalik, maka kedua peubah tersebut mempunyai hubungan negatif. Apabila penyebaran data kedua peubah cenderung acak, maka kedua peubah tersebut dikatakan tidak mempunyai hubungan.

2.6 Metode Estimasi Sumberdaya

Estimasi sumberdaya adalah estimasi potensi dari endapan mineral bijih yang terletak di permukaan bumi untuk mengetahui apakah endapan tersebut layak untuk dilanjutkan ke proses penambangan selanjutnya yaitu perhitungan cadangan. Ada beberapa jenis dari metode estimasi yang dirancang untuk tujuan yang berbeda-beda (*Dominy et al, 2002*).

Estimasi sementara yaitu estimasi dengan data bor yang memiliki spasi bor yang lebar. Estimasi dapat dijadikan sebagai acuan untuk menentukan spasi titik bor untuk estimasi yang lebih detail. Tujuan dari estimasi sementara yaitu untuk memperoleh prediksi tonase dan kadar dari *ore* dengan produksi yang besar atau pada periode tertentu. Faktor penting lainnya adalah akan diperoleh informasi tambahan di masa yang akan datang. Sedangkan tujuan dari estimasi akhir adalah untuk melakukan estimasi sesuai dengan nilai yang diharapkan, nilai sebenarnya akan sama dengan nilai estimasi yang diharapkan (*Rafsanjani, et al., 2016*)

Metode untuk estimasi sumberdaya umumnya bergantung pada keadaan geologi endapan, metode eksplorasi, keakuratan data dan nilai koefisien variasi, manfaat serta tujuan estimasi sumberdaya. Secara umum metode estimasi yang digunakan untuk endapan nikel laterit ada beberapa jenis metode. Metode yang digunakan pada umumnya antara lain metode *Polygon*, metode *Inverse Distance Weighting* (IDW), dan metode *kriging*.

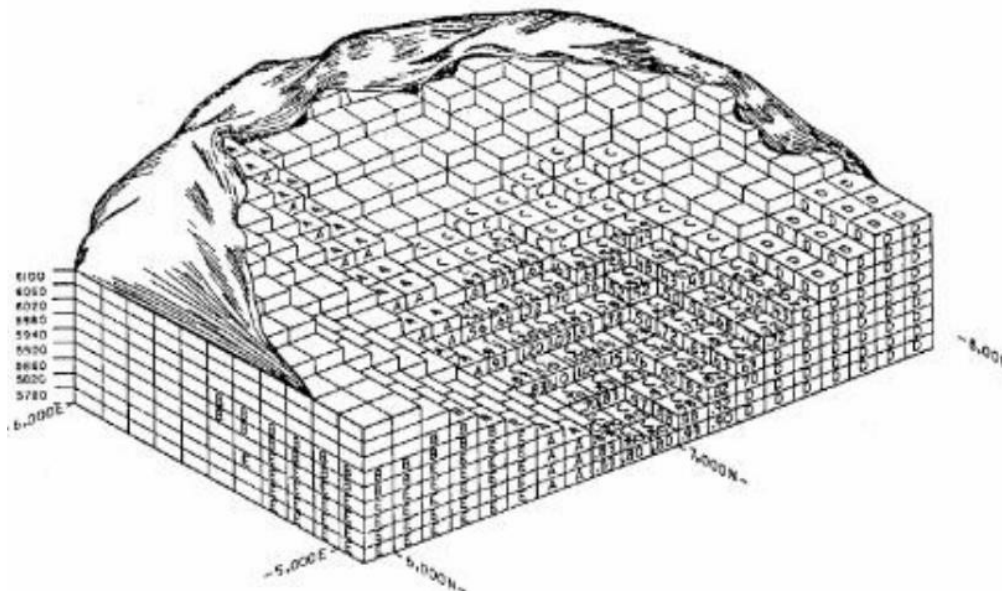
2.6.1 Metode Estimasi *Inverse Distance Weighting*

Metode *Inverse Distance Weight* (IDW) juga dapat didefinisikan sebagai metode penaksiran dengan pendekatan blok model yang sederhana dengan mempertimbangkan titik disekitarnya. Asumsi dari 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 *Inverse Distance Weighted* (IDW) juga merupakan metode deterministik yang sederhana dengan mempertimbangkan titik disekitarnya (NCGIA, 1997).

Asumsi dari metode ini adalah nilai interpolasi akan lebih mirip pada data sampel yang dekat dari pada yang lebih jauh (Amril, 2011). Metode ini biasanya digunakan dalam industri pertambangan karena mudah untuk digunakan. Dalam penaksiran data kadar dilakukan teknik-teknik pembobotan yang ada pada umumnya didasarkan pada:

1. Letak grid yang atau blok yang akan ditaksir terhadap letak data sampel.
2. Kecenderungan penyebaran kualitas data.
3. Orientasi setiap sampel yang menunjukkan hubungan letak ruang antar sampel.
4. Untuk mendapatkan efek penghalusan (pemerataan) data, dilakukan faktor pangkat. Pilihan dari pangkat yang digunakan (titik bor 1, titik bor 2, titik bor 3, dst) yang berpengaruh terhadap hasil taksiran. Semakin tinggi pangkat yang digunakan, hasilnya semakin mendekati metode *Polygon* sampel terdekat.



Gambar 6 Hasil penaksiran dengan model blok (Annels, 1991).

Dalam hasil penaksiran dengan blok model pada Gambar 6, komputer memeriksa jarak antara sampel dari kumpulan blok dan menolak data yang berada diluar radius tertentu dan ditentukan dengan persamaan sebagai berikut (Annels, 1991).

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^k} Z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^k}} \quad (1)$$

dimana,

Z = Kadar taksiran (%)

n = Jumlah data

i = Kadar ke-i (%)

d_i = Spasi Antar Titik Taksiran dengan Titik ke-i yang Ditaksir (m)

k = Pangkat (*script*)

Z_i = Kadar awal (%)

Pangkat “k” biasanya bervariasi antara 1, 2, 3, dan seterusnya. Metode ini hanya berlaku ketika sampel dalam area pencarian tertentu dan dilakukan secara berulang-ulang dan biasanya dilakukan dengan komputerisasi (Annels, 1991). Secara garis besar metode ini adalah sebagai berikut (Latif, 2008) :

- a. Suatu cara penaksiran dimana harga rata-rata titik yang ditaksir merupakan kombinasi linear atau harga rata-rata terbobot (*weighted average*) dari data-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.
- b. 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.

Kelebihan dari metode interpolasi IDW ini adalah karakteristik interpolasi dapat dikontrol dengan membatasi titik-titik masukan yang digunakan dalam proses interpolasi. Titik-titik yang digunakan dapat ditentukan berdasarkan jarak yang ingin diinterpolasi. Kelemahan dari interpolasi IDW adalah tidak dapat mengestimasi nilai diatas nilai maksimum dan dibawah nilai minimum dari titik-titik sampel (Pramono, 2008).

Sedangkan kekurangan dari metode IDW adalah nilai hasil interpolasi terbatas pada nilai yang ada pada data sampel. Pengaruh dari data sampel terhadap hasil interpolasi disebut sebagai isotropik. Dengan kata lain, karena metode ini menggunakan rata-rata dari data sampel sehingga nilainya tidak bisa lebih kecil dari minimum atau lebih besar dari data sampel. Jadi, puncak bukit atau lembah terdalam tidak dapat ditampilkan dari hasil interpolasi model ini (Watson & Philip, 1985).

2.7 Klasifikasi Sumberdaya Mineral

Ketentuan dan peraturan klasifikasi sumberdaya dan cadangan mineral pada industri pertambangan memiliki batasan-batasan yang bervariasi di masing-masing perusahaan maupun negara. Namun dewasa ini telah ada usaha-usaha penyeragaman pedoman standar pelaporan sumberdaya mineral yang dipelopori oleh lembaga terkait dari beberapa negara yang selama ini banyak menjadi acuan perkembangan ilmu geologi dan pertambangan.

Menurut pedoman klasifikasi sumberdaya bijih yang dituangkan pada JORC (Joint Ore Reserve Committee) Code 1999, dimana pedoman ini mulai diterapkan di Australia dan Selandia Baru serta banyak dijadikan pertimbangan oleh industri pertambangan di seluruh dunia semenjak pertemuan CMMI 1999 di Geneva yang menjadikannya sebagai acuan dalam penyusunan panduan-panduan yang dipakai di Amerika (SME 1999), UK (IMM 2001), Kanada (CIM 2000) maupun Afrika Selatan (SAMREC 2000) yang merupakan negara-negara paling berpengaruh pada perkembangan ilmu pertambangan, menyatakan bahwa beberapa pertimbangan penting harus dimasukkan dalam menentukan klasifikasi sumberdaya ke dalam kategori terukur (*measured*), terindikasi (*indicated*) dan tereka (*inferred*).

Suatu metode khusus telah dibuat berdasarkan pedoman ini pada tambang bijih untuk membantu pengelompokan kategori sumberdaya mineral dengan beberapa pertimbangan sehingga menghasilkan tingkat kepercayaan relatif yang dapat dikorelasikan sepanjang badan bijih. Metode ini diteliti oleh ahli yang berkompeten (*competent person*) untuk membantu intuisi para geologist dalam

penyelidikan/eksplorasi badan bijih dengan pendekatan yang konsisten. Penelitian tersebut menghasilkan garis besar klasifikasi sumberdaya bijih sebagai berikut:

1. Sumberdaya tereka (*inferred resources*), yaitu pada area-area yang telah dilakukan pemboran/sampling dengan spasi yang lebih besar dari 50 m atau pada badan bijih yang sulit dilakukan interpretasi antar section. sumberdaya mineral yang dimana tonase, kadar dan kandungan mineral dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan rendah. Pada tahapan ini dilakukan asumsi dari fakta-fakta geologi yang ada, dan tidak ada verifikasi dari informasi geologi dan/atau kemenerusan kadar. Informasi- infomasinya didapat dari lokasi outcrop, paritan, test-pit, lubang bor dimana informasi yang didapat terbatas dan kulaitasnya tidak pasti dan masih diragukan.
2. Sumberdaya terindikasi (*indicated resources*), yaitu apabila pemboran/sampling dilakukan dengan jarak spasi 25-50 m dan pada badan bijih yang cukup tebal dan strukturnya cukup jelas. sumberdaya mineral dimana tonase, densiti, bentuk, karakteristik fisik, kadar dan kandungan mineral dapat diestimasi dengan *range* dari *reasonable* sampai *confidence*. Estimasi didasarkan pada informasi eksplorasi, sampling, dan hasil pengujian yang terkumpul melalui teknik-teknik tertentu yang teruji dari lokasi pengambilan sample misalnya singkapan, paritan (*trench*), sumur uji (*test pit*) atau lubang bor. Lokasi yang diteliti terlalu luas dibandingkan informasi-informasi yang dikumpulkan sehingga tidak cukup untuk digunakan mengkonfirmasi geologi dan/atau kemenerusan kadar tetapi cukup untuk melakukan asumsi kemenerusannya.
3. Sumberdaya terukur (*measured resources*), yaitu apabila pemboran dilakukan pada jarak spasi 12.5 - 25 m. Sumberdaya mineral dimana tonase, kerapatan, bentuk, karakteristik fisik, kadar dan kandungan mineral dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang tinggi. Estimasi didasarkan pada informasi detail yang didapat dari kegiatan eksplorasi, sampling, dan data-data yang dikumpulkan dari lokasi-lokasi singkapan, *trench* (paritan), sumur uji (*test pit*), lubang bukaan dan lubang bor dan telah teruji dengan menggunakan teknik tertentu. Antar luas lokasi penelitian dengan data-data

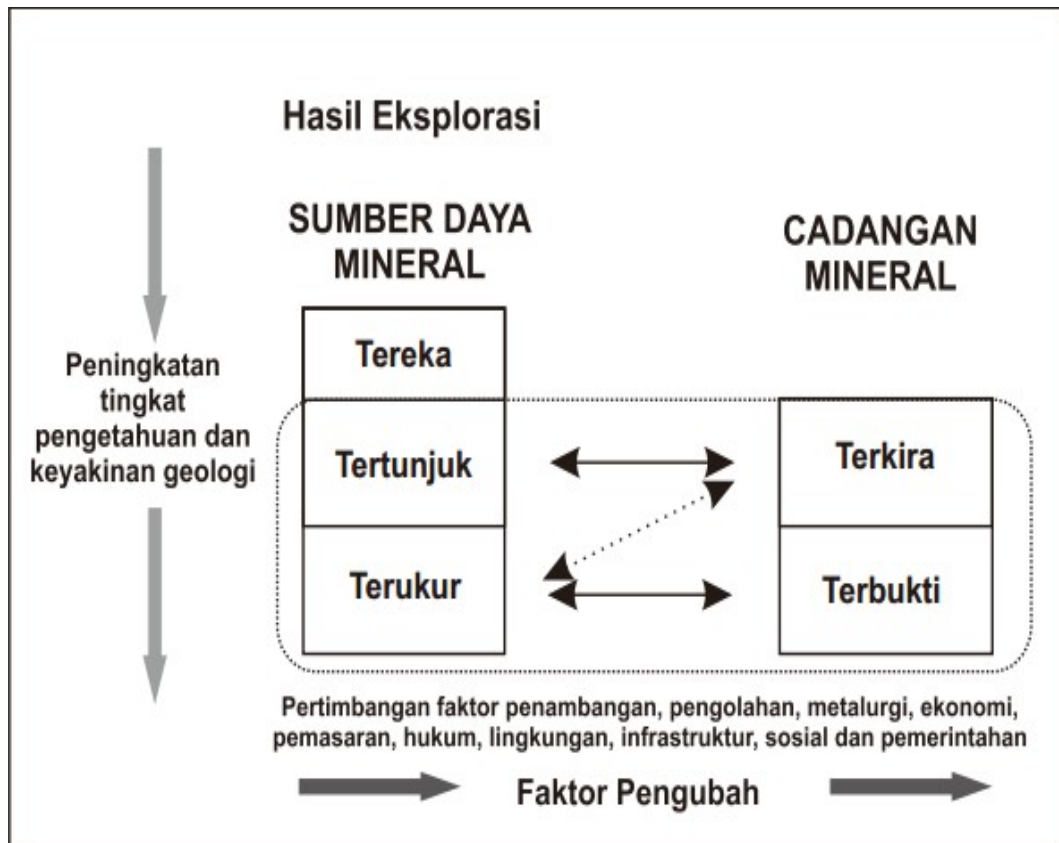
yang dikumpulkan mempunyai relasi yang kuat sehingga cukup untuk mengkonfirmasi kemenerusan geologi dan/atau kadar.

Secara sederhana, sumberdaya mineral merupakan hasil pemodelan cebakan dan perhitungan nilai potensi mineral berharga berdasarkan interpretasi geologi setempat. Sedangkan cadangan mineral adalah bagian lebih kecil dari sumberdaya yang dapat dinyatakan layak dan bisa ditambang.

Berbagai pertimbangan yang menyangkut variabel-variabel teknis maupun biaya penambangan tersebut menyebabkan tidak semua bagian dari sumberdaya dapat ditambang. Hanya bagian dari sumberdaya yang secara teknis memungkinkan ditambang dan secara ekonomi menguntungkan saja yang akan dikonversikan sebagai *recoverable reserves*, yaitu cadangan mineral dari bagian deposit yang layak untuk ditambang.

Jika jumlah sumberdaya adalah bagian dari keseluruhan deposit yang mengandung logam tertentu dengan batasan lingkungan geologinya saja (seperti: sebaran kadar, mineralogi, tektonik/struktur, dsb.), maka jumlah cadangan pada deposit mineral tersebut harus dihitung dengan beberapa batasan tambahan yang mencakup perihal faktor-faktor konversi di atas.

Transparansi, materialitas dan kompetensi merupakan prinsip dari JORC CODE. Transparansi menunjukkan bahwa Laporan Publik dilengkapi dengan informasi yang cukup, presentasi laporan tersebut jelas dan tidak meragukan, dan tidak menipu. Materialitas menunjukkan bahwa sebuah Laporan Publik mengandung semua informasi yang relevan yang dapat diterima oleh investor dan penasihat profesionalnya dan dapat menafsirkan informasi yang ditemukan dalam laporan tersebut, untuk tujuan membuat alasan dan keputusan seimbang dengan memperhatikan mineralisasi yang dilaporkan. Kompetensi menunjukkan bahwa Laporan Publik didasarkan pada pekerjaan yang bertanggung jawab dari kualifikasi dan pengalaman ahli yang sesuai sebagai subyek yang mempunyai kode etik profesional kuat.



Gambar 7 Hubungan umum antara hasil eksplorasi, sumberdaya mineral dan cadangan mineral (KCMI, 2017).

2.8 Aplikasi Perangkat Lunak *Datamine Studio RM*

Datamine merupakan salah satu perangkat lunak terpadu yang dirancang khusus untuk industri pertambangan dan biasa digunakan untuk keperluan pengolahan database, analisis data eksplorasi, geologi, geokimia, mekanika batuan, pemetaan, pemodelan badan bijih, perancangan tambang bawah tanah dan tambang terbuka serta perencanaan penjadwalan produksi. Jenis komoditas tambang pada industri yang menggunakan perangkat lunak ini antara lain adalah bijih emas, perak, tembaga, besi, intan, fosfat, nikel, bauksit, batubara, platina, serta mineral industri.

Perangkat lunak ini dibuat oleh Mineral Industries Computing Limited, sebuah perusahaan yang didirikan tahun 1981. Kantor-kantor perwakilan Datamine terdapat di Inggris, Australia, India, Afrika Selatan, Amerika Serikat, Brazil, Chili, Peru, Kanada, Polandia dan Indonesia.

Datamine mempunyai komitmen untuk memberikan solusi dalam setiap tahapan proses dalam siklus Mine Planning baik untuk tambang terbuka (*open pit*

mining), tambang bawah tanah (*underground mining*) maupun industri mineral (*quarry*). Perangkat lunak tersebut memiliki fasilitas agar data hasil olahannya dapat diaplikasikan oleh perangkat lunak tambang lainnya. Kemudian perangkat tersebut memiliki standar internasional dalam interpretasi keadaan geologi dan mineralisasi sehingga *resource* dapat dianalisa, ditentukan, divisualisasikan serta dihitung dan selanjutnya menggunakan kumpulan parameter penambangan didapat *reserve*. Selain itu perangkat ini menggunakan komponen standar yang sesuai untuk membuat solusi komprehensif dalam aktifitas eksplorasi dan penambangan.

Industri pertambangan yang pada umumnya adalah proyek dengan modal yang sangat besar sehingga sangat membutuhkan informasi yang akurat mengenai jumlah sumberdaya mineral ekonomis yang dimiliki. Sehubungan dengan itu maka penaksiran sumberdaya sebagai bagian awal dari pemodelan sumberdaya ke tahap pemodelan cadangan adalah pekerjaan yang sangat penting dalam rangka mengevaluasi suatu proyek eksplorasi ke tahap penambangan.