

SKRIPSI

PERBANDINGAN ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR ENDAPAN NIKEL LATERIT ANTARA METODE *INVERSE DISTANCE WEIGHTING* DENGAN METODE *ORDINARY KRIGING* BERDASARKAN PENGARUH PANJANG KOMPOSIT KADAR Ni

(Studi Kasus: *Hill X*, PT Vale Indonesia Tbk, Sulawesi Selatan)

Disusun dan diajukan oleh

DIRGANTO PALAYUKAN

D111181325



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PERBANDINGAN ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR ENDAPAN NIKEL
LATERIT ANTARA METODE *INVERSE DISTANCE WEIGHTING*
DENGAN METODE *ORDINARY KRIGING* BERDASARKAN
PENGARUH PANJANG KOMPOSIT KADAR NI**

(Studi Kasus: *Hill X*, PT Vale Indonesia Tbk, Sulawesi Selatan)

Disusun dan diajukan oleh

DIRGANTO PALAYUKAN

D111181325

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 18 November 2022

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

A.M. Perab. II

Asran Ilyas, ST. MT. Ph.D.

NIP.197303142000121001

Pembimbing Pendamping,

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

NIP.197101012010121001

Wakil Dekan

Bidang Akademik dan Kemahasiswaan,



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

NIP. 197310101998021001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dirganto Palayukan
NIM : D111181325
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Perbandingan estimasi sumberdaya terukur endapan nikel laterit antara metode
Inverse Distance Weighting dengan metode *Ordinary kriging*
berdasarkan pengaruh panjang komposit kadar Ni
(Studi Kasus: *Hill X*, PT Vale Indonesia Tbk, Sulawesi Selatan)

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.

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

Makassar, 28 November 2022

Yang menyatakan



Tanda tangan

Dirganto Palayukan

ABSTRAK

Dalam melakukan penambangan bijih nikel laterit, diperlukan estimasi untuk dapat menghitung sumberdaya sebelum proses penambangan berlangsung. Estimasi sumberdaya berperan penting dalam menentukan kuantitas dan kualitas dari suatu endapan sebab dari hasil estimasi yang baik dan akurat dapat menentukan keuntungan investasi dalam usaha pertambangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui total sumberdaya endapan bijih nikel laterit pada *Hill X* PT Vale Indonesia Tbk, dengan membandingkan metode *Inverse Distance Weighting* dan *Ordinary kriging* berdasarkan pengaruh panjang komposit kadar Ni 1 meter dan 10 meter agar dapat diketahui metode dan panjang komposit yang paling baik digunakan dalam melakukan estimasi sumberdaya endapan bijih nikel laterit. Berdasarkan hasil estimasi dari kedua metode dengan menggunakan panjang komposit 1 meter dan 10 meter didapatkan tonase *ore* pada komposit 1 meter dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* yaitu 608.056,00 ton dengan rata-rata kadar Ni 1,81 % sedangkan pada metode *Ordinary kriging* total tonase *ore* yaitu 602.173,00 ton dengan rata-rata kadar Ni 1,74 % dan pada komposit 10 meter dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* total tonase *ore* yaitu 475.013,00 ton dengan rata-rata kadar Ni 1,68 % sedangkan pada metode *Ordinary kriging* total tonase *ore* yaitu 473.423,00 ton dengan rata-rata kadar Ni 1,66 %. Berdasarkan perbandingan hasil estimasi sumberdaya pada kedua metode tersebut dengan pertimbangan panjang komposit 1 meter dan 10 meter didapatkan tonase material pada komposit 1 meter sebanyak 3.332.163,00 ton sedangkan pada komposit 10 meter di dapatkan tonase material sebanyak 3.315.151,00 ton. Sehingga dapat disimpulkan bahwa panjang komposit 1 meter lebih baik dari panjang komposit 10 meter dikarenakan pada komposit 1 meter semua sampel pada setiap zona masuk pada sampel yang akan diestimasi.

Kata Kunci: Komposit, *Inverse Distance Weighting*, *Ordinary kriging*, estimasi sumberdaya, nikel laterit.

ABSTRACT

In mining laterite nickel ore, estimates are needed to be able to calculate resources before the mining process takes place. Resource estimation plays an important role in determining the quantity and quality of a deposit because a good and accurate estimation result can determine the return on investment in the mining business. This study aims to determine the total resources of laterite nickel ore deposits at Hill X PT Vale Indonesia Tbk, by comparing the Inverse Distance Weighting and Ordinary kriging based on the effect of composite length on Ni. levels 1 meter and 10 meters to know the best methods and composite lengths used in estimating laterite nickel ore resources. Based on the estimation results of the two methods using the composite length of 1 meter and 10 meters, the tonnage of ore in the 1 meter composite using the Inverse Distance Weighting is 608,056.00 tons with an average Ni content of 1.81% while the Ordinary kriging totals tonnage ore is 602,173.00 tons with an average Ni content of 1.74% and 10 meters composite using the Inverse Distance Weighting total tonnage of ore is 475,013.00 tons with an average Ni content of 1.68% while the Ordinary kriging total tonnage of ore is 473,423.00 tons with an average Ni content of 1.66%. Based on the comparison of the results of resource estimates in both methods with consideration of the composite length of 1 meter and 10 meters, the materials tonnage in the 1 meter composite is 3,332,163.00 tons, while for the 10 meter composite, the materials tonnage is 3,315,151.00 tons. So, it can be concluded that the composite length of 1 meter is better than the composite length of 10 meters because in the 1 meter composite all samples in each zone enter the sample to be estimated.

Keywords: Composite, Inverse Distance Weighting, Ordinary kriging, resource estimation, nickel laterite.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang merupakan syarat untuk mendapatkan gelar sarjana (S1).

Keberhasilan dari suatu aktivitas tentu saja tidak lepas dari masalah yang dihadapi selama melaksanakannya, begitupun dalam penyusunan tugas akhir ini, akan tetapi dengan adanya arahan, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, maka penyusunan tugas akhir yang berjudul "PERBANDINGAN ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR ENDAPAN BIJIH NIKEL LATERIT ANTARA METODE *INVERSE DISTANCE WEIGHTING* DENGAN METODE *ORDINARY KRIGING* BERDASARKAN PENGARUH PANJANG KOMPOSIT KADAR Ni" ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis mengucapkan rasa hormat dan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, petunjuk dan bimbingan baik secara langsung maupun tidak langsung. Terkhusus kepada PT Vale Indonesia Tbk, selaku perusahaan tempat penulis melaksanakan Tugas Akhir. Bapak Moh. Erwin Syam Noor, ST. Selaku Pembimbing pada saat melakukan penelitian di Perusahaan, Bapak Ronny Luhansa selaku senior *manager longterm planning* di PT Vale Indonesia Tbk, Bapak Suriadin Sazli S.T. yang telah membimbing selama di *mining* harapan. Seluruh Karyawan PT Vale Indonesia Tbk, dan kontraktor khususnya *team Sorowako Project Exploration (SPE)* yang telah membantu selama melaksanakan penelitian. Seluruh dosen Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat dalam bidang teknik pertambangan. Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, MT selaku kepala Laboratorium Eksplorasi Mineral sekaligus menjadi dosen penanggung jawab akademik yang telah banyak meluangkan waktu untuk penulis dalam pembuatan proposal tugas akhir. Bapak Asran Ilyas, S.T., M.T., Ph.D., selaku Pembimbing I dan

Bapak Dr. Phil. nat. Sri Widodo, ST., MT selaku Pembimbing II yang dengan sabar telah meluangkan waktunya untuk mendidik dan mengarahkan penulis dalam penyusunan tugas akhir ini dari awal hingga selesai. Teman-teman TUNNEL 2018 (Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin angkatan 2018) yang senantiasa memberikan dukungan kepada penulis selama melaksanakan perkuliahan dan dalam penyusunan tugas akhir. Anggota Laboratorium Eksplorasi Mineral Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang senantiasa memberikan dukungan kepada penulis dalam penyusunan tugas akhir. Kedua orang tua, bapak Yulianus Palayukan dan Ibu Elis Kala yang telah memberikan motivasi, dukungan, dan do'a sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari terdapat kekurangan dan keterbatasan dalam tugas akhir ini sehingga penulis senantiasa mengharapkan kritik dan saran dari pembaca demi penyempurnaan tugas akhir ini. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagai bekal ilmu pengetahuan bagi penulis dan pembaca.

Makassar, 28 November 2022

Dirganto Palayukan
D111181325

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.....	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Tahapan Penelitian	3
1.6 Lokasi Penelitian.....	4
BAB II KONDISI GEOLOGI DAN ESTIMASI SUMBERDAYA	6
2.1 Kondisi Geologi.....	6
2.2 Endapan Nikel Laterit	9
2.3 Klasifikasi Sumberdaya Mineral.....	12
2.4 Metode Estimasi Sumberdaya	15
2.5 Variogram dan Semivariogram	21
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Sumber Data.....	25

3.2 Pengolahan Data	29
3.3 Bagan Alir Penelitian	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 Analisis Statistik.....	38
4.2 Analisis Variogram	40
4.3 Hasil Estimasi Sumberdaya Menggunakan Komposit 1 Meter	46
4.4 Hasil Estimasi Sumberdaya Menggunakan Komposit 10 Meter	48
4.5 Diskusi	52
BAB V PENUTUP	54
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA.....	56
LAMPIRAN	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian	5
2.1 Profil endapan nikel laterit (Elias, 2002)	12
2.2 Klasifikasi sumberdaya dan cadangan mineral berdasarkan faktor penguubah dan tingkat pengetahuan dan keyakinan geologi (KCMI, 2017)	14
2.3 Metode estimasi sumberdaya dengan IDW (Idrus, 2007)	17
2.4 Komponen variogram dan semivariogram.....	23
3.1 Data Topografi dalam bentuk DTM	26
3.2 <i>Report</i> database yang telah di <i>import</i>	30
3.3 <i>Drill hole</i>	31
3.4 <i>String top</i> limonit.....	32
3.5 <i>String top</i> saprolit	32
3.6 <i>String bottom</i> saprolit	33
3.7 <i>Digital Terrain Model</i> (DTM) zona <i>top</i> limonit.....	34
3.8 <i>Digital Terrain Model</i> (DTM) zona <i>top</i> saprolit.....	34
3.9 <i>Digital Terrain Model</i> (DTM) zona <i>bottom</i> saprolit	35
3.10 Bagan alir penelitian.....	37
4.1 Histogram kadar Ni pada zona limonit & Saprolit komposit 1 meter	39
4.2 Histogram kadar Ni pada zona limonit & Saprolit komposit 10 meter	40
4.3 Variogram map kadar Ni zona limonit hingga saprolit komposit 1 meter (a) Sumbu mayor dan (b) sumbu semi mayor	41
4.4 Variogram sumbu mayor kadar Ni komposit 1 meter	41
4.5 Variogram sumbu semi mayor kadar Ni pada komposit 1 meter	42

4.6 Variogram sumbu minor kadar Ni pada komposit 1 meter	42
4.7 Variogram map kadar Ni zona limonit hingga saprolit komposit 1 meter (a) Sumbu mayor dan (b) sumbu semi mayor	43
4.8 Variogram sumbu mayor kadar Ni pada komposit 10 meter.....	44
4.9 Variogram sumbu semi mayor kadar Ni pada komposit 10 meter	44
4.10 Variogram sumbu minor kadar Ni pada komposit 10 meter.....	45
4.11 Klasifikasi material <i>ore</i> dan <i>waste</i> pada zona limonit estimasi sumberdaya menggunakan metode IDW pada komposit 1 meter	46
4.12 Klasifikasi material <i>ore</i> dan <i>waste</i> pada zona saprolit estimasi sumberdaya menggunakan metode IDW pada komposit 1 meter.....	47
4.13 Klasifikasi material <i>ore</i> dan <i>waste</i> pada zona limonit estimasi sumberdaya menggunakan metode <i>Ordinary kriging</i> pada komposit 1 meter	47
4.14 Klasifikasi material <i>ore</i> dan <i>waste</i> pada zona saprolit estimasi sumberdaya menggunakan metode <i>Ordinary kriging</i> pada komposit 1 meter	48
4.15 Klasifikasi material <i>ore</i> dan <i>waste</i> pada zona limonit estimasi sumberdaya menggunakan metode IDW pada komposit 10 meter	49
4.16 Klasifikasi material <i>ore</i> dan <i>waste</i> pada zona saprolit estimasi sumberdaya menggunakan metode IDW pada komposit 10 meter	49
4.17 Klasifikasi material <i>ore</i> dan <i>waste</i> pada zona limonit estimasi sumberdaya menggunakan metode <i>Ordinary kriging</i> pada komposit 10 meter.....	50
4.18 Klasifikasi material <i>ore</i> dan <i>waste</i> pada zona saprolit estimasi sumberdaya menggunakan metode <i>Ordinary kriging</i> pada komposit 10 meter.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Contoh data <i>assay</i>	27
3.2 Contoh data <i>collar</i>	27
3.3 Contoh data <i>survey</i>	28
3.4 Contoh data geologi.....	29
4.1 Data statistik unsur Ni komposit 1 meter	38
4.2 Data statistik unsur Ni komposit 10 meter	39
4.3 Hasil analisis variogram kadar Ni pada komposit 1 meter	43
4.4 Hasil analisis variogram kadar Ni pada komposit 10 meter	45
4.5 Hasil Estimasi Sumberdaya	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A Peta Sebaran Titik Bor	58
B Data <i>Collar</i>	59
C Contoh Data <i>Assay</i>	64
D Kartu Konsultasi Tugas Akhir	67

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel laterit merupakan bahan galian yang mempunyai nilai ekonomis tinggi, karena pada masa sekarang dan masa yang akan datang kebutuhan nikel semakin meningkat. Nikel memiliki banyak kegunaan, antara lain dalam pembuatan baja tahan karat, sebagai bahan pembuatan alat-alat laboratorium (fisika dan kimia), katalis dan lainnya, sehingga menarik sekali untuk diolah. Nikel laterit diperoleh dari endapan yang terbentuk akibat proses oksidasi dan pelapukan batuan ultramafik yang mengandung nikel 0,2 - 0,4%. Jenis-jenis mineral tersebut antara lain olivin, piroksin dan amfibol. Bahan galian ini umumnya ditemukan pada daerah tropis, dikarenakan curah hujan yang mendukung terjadinya pelapukan, selain topografi, drainase, tenaga tektonik dan struktur geologi (Freysinnet *et. al.*, 2005).

Sebelum melakukan penambangan nikel laterit, diperlukan estimasi untuk dapat menghitung sumberdaya sebelum proses penambangan berlangsung. Estimasi sumberdaya berperan penting dalam menentukan kuantitas dan kualitas dari suatu endapan sebab dari hasil estimasi yang baik dan akurat yang sesuai dengan keberadaannya di lapangan dapat menentukan investasi yang akan ditanam oleh investor sebagai penanaman modal dalam usaha pertambangan.

Dalam melakukan estimasi sumberdaya diperlukan metode perhitungan yang sesuai dengan kondisi geologi, ganesa, dan mineralisasi pada suatu daerah yang akan di estimasi. Selama ini, dalam melakukan estimasi sumberdaya PT Vale Indonesia Tbk, dan kebanyakan perusahaan lainnya menggunakan panjang komposit 1 meter dan belum menggunakan panjang komposit lainnya sehingga dalam melakukan estimasi

sumberdaya, panjang komposit 1 meter perlu dibandingkan dengan panjang komposit lainnya seperti panjang komposit yang sesuai dengan tinggi *bench pit* pada perusahaan. Berangkat dari hal ini maka penulis mencoba untuk menghitung sumberdaya endapan nikel laterit pada *Hill X* PT Vale Indonesia Tbk, dengan menggunakan 2 metode yaitu metode *Inverse Distance Weighting (IDW)* dan *Ordinary kriging* berdasarkan pertimbangan pengaruh panjang komposit 1 meter yang merupakan panjang komposit yang umum digunakan selama ini dan panjang komposit 10 meter sesuai dengan tinggi *bench pit* yang digunakan oleh PT Vale Indonesia Tbk. Berdasarkan hasil estimasi sumberdaya bijih nikel dari kedua metode tersebut dengan menggunakan 2 parameter panjang komposit kemudian akan di bandingkan guna mengetahui panjang komposit yang paling cocok digunakan dalam melakukan estimasi sumberdaya khususnya pada daerah penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

Estimasi sumberdaya merupakan hal yang sangat penting untuk dilakukan sebelum dilakukannya kegiatan penambangan, karena dari hasil estimasi sumberdaya inilah yang akan di evaluasi untuk menentukan kelanjutan pada tahap selanjutnya. Berdasarkan hal tersebut maka di lakukanlah penelitian perbandingan antara metode *Inverse Distance Weighting* dengan metode *Ordinary kriging* berdasarkan pengaruh panjang komposit 1 meter dan 10 meter dalam menghitung sumberdaya endapan nikel laterit.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dilaksanakannya penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Mengestimasi total sumberdaya terukur endapan bijih nikel laterit dengan

membandingkan metode *Inverse Distance Weighting* dan metode *Ordinary Kriging* berdasarkan pengaruh panjang komposit kadar Ni 1 meter dan 10 meter.

2. Menganalisis Panjang komposit yang paling baik digunakan dalam melakukan estimasi sumberdaya terukur endapan nikel laterit dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* dan *Ordinary Kriging*.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Bagi perusahaan

Sebagai bahan pertimbangan kepada perusahaan dalam memilih metode dan panjang komposit yang digunakan untuk melakukan estimasi sumberdaya terukur endapan nikel laterit pada *Hill X* PT Vale Indonesia Tbk.

2. Bagi kalangan akademik

Sebagai bahan pembelajaran dalam menambah wawasan mengenai metode estimasi sumberdaya terukur endapan nikel laterit menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* dan *Ordinary Kriging* berdasarkan pengaruh panjang komposit.

1.5 Tahapan Penelitian

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

1. Tahap studi literatur

Studi literatur meliputi tahapan pencarian referensi yang berkaitan dengan penelitian. Literatur yang digunakan sebagai bahan pustaka diperoleh dari berbagai sumber antara lain jurnal internasional, *Internasional Mining Book*, *International Mining Magazine*, perpustakaan dan instansi terkait.

2. Tahap perumusan masalah

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

3. Tahap orientasi lapangan dan pengumpulan data

Orientasi lapangan dilakukan di daerah PT Vale Indonesia Tbk, data pendukung penelitian yang didapatkan berupa data sekunder yang sudah ada sebelumnya seperti data pengeboran dalam bentuk *spreadsheet* yang di dalamnya termuat data *assay, collar* dan data topografi.

4. Tahap pengolahan data

Tahapan pengolahan data dilakukan terhadap data yang telah diperoleh dari hasil pengambilan data yang selanjutnya dilakukan analisis menggunakan beberapa perangkat lunak seperti *Microsoft Excel 2019* dan *Surpac 6.3*.

5. Tahap penyusunan laporan tugas akhir

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

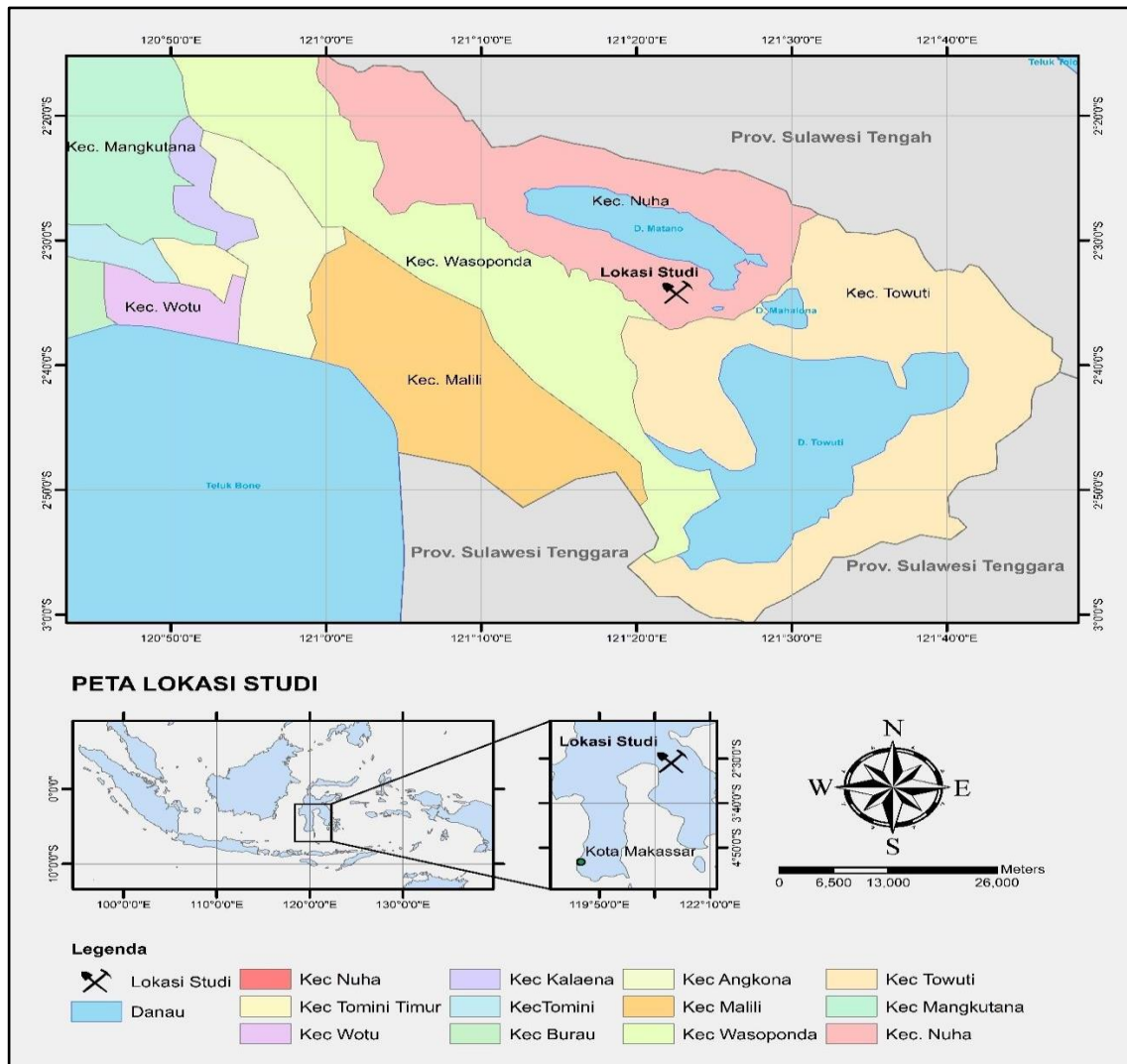
6. Tahap seminar dan penyerahan laporan tugas akhir

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

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang dilakukan di PT Vale Indonesia Tbk, secara administratif terletak di daerah Sorowako, Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.1. Perjalanan ke PT Vale Indonesia Tbk, dapat ditempuh dengan 2 jalur transportasi, yaitu jalur darat dengan menggunakan bus angkutan umum. Perjalanan ini memiliki jarak ± 600 km dengan lama

perjalanan ± 13 jam dari Makassar menuju ke Sorowako dan jalur udara dari bandara Sultan Hasanuddin di Makassar menuju bandara Sorowako menggunakan transportasi udara dengan waktu tempuh 45 menit.



Gambar 1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian.

BAB II

KONDISI GEOLOGI DAN ESTIMASI SUMBERDAYA

2.1 Kondisi Geologi

Pembahasan tentang kondisi geologi daerah penelitian dijelaskan dalam beberapa sub bab di bawah ini.

2.1.1 Geologi Regional

Pulau Sulawesi terletak di Indonesia bagian tengah yang berada pada pertemuan tiga Lempeng, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Eurasia. Pulau Sulawesi disusun oleh empat sabuk litotektonik, yaitu (Machpherson & Hall, 2002):

1. Busur pluto-vulkanik dari selatan hingga utara lengan Pulau Sulawesi,
2. Sabuk Metamorfik di bagian tengah, memanjang dari tengah ke tenggara,
3. Sabuk Ofiolit di bagian timur-tenggara,
4. Banggai-Sula dan Tukang Besi *microcontinent*.

2.1.2 Geologi Lokal

Geologi daerah Sorowako dan sekitarnya sudah dideskripsikan sebelumnya secara umum oleh Brouwer (1934), Van Bemmelen (1949), Soeria Atmadja *et al.* (1974) dan Ahmad (1977). Namun yang secara spesifik membahas tentang geologi deposit nikel laterit adalah Golightly (1979). Golightly membagi geologi daerah Sorowako menjadi tiga bagian, yaitu:

1. Satuan batuan sedimen yang berumur kapur; terdiri dari batu gamping laut dalam dan rijang. Bagian Barat Sorowako dibatasi oleh sesar naik dengan kemiringan ke arah barat.
2. Satuan batuan ultrabasa yang berumur awal tersier umumnya terdiri dari jenis peridotit, sebagian mengalami serpentinisasi dengan derajat yang bervariasi dan

umumnya terdapat di bagian timur. Satuan ini memiliki intrusi-intrusi pegmatit yang bersifat gabroik dan terdapat di bagian utara.

3. Satuan aluvial dan sedimen danau (*lacustrine*) yang berumur Kuartar, umumnya terdapat di bagian utara dekat Desa Sorowako.

Bijih Nikel yang terdapat di bagian tengah dan timur Sulawesi tepatnya di Daerah Sorowako termasuk ke dalam jenis laterit nikel dan bijih nikel silikat (garnierit). Bijih nikel tersebut akibat pelapukan dan pelindian (*leaching*) batuan ultrabasa seperti peridotit dan serpentinit dari rombakan batuan ultrabasa. Penampang lapisan bijih laterit nikel Daerah Sorowako dapat digambarkan sebagai berikut (Ahmad, 2006):

1. Lapisan tanah penutup (*Overburden*)

Lapisan tanah penutup terletak di bagian atas permukaan. Kondisi fisik lunak dan memiliki warna coklat kemerahan hingga gelap dengan kadar air antara 25% sampai 35%, kadar Nikel kecil 1,3% mempunyai ketebalan berkisar antara 1 - 12 meter.

2. Lapisan limonit berkadar menengah (*Medium Grade Limonit*)

Lapisan limonit berkadar menengah terletak di bawah lapisan tanah penutup. Lapisan ini memiliki warna kuning kecoklatan, agak lunak, berkadar air antara 30% - 40%, kadar Nikel 1,5%, Fe 44%, MgO 3%, SiO₂ 2%. Lapisan ini mempunyai ketebalan rata-rata 3 meter.

3. Lapisan bijih (*Ore*)

Lapisan bijih merupakan hasil pelapukan batuan peridotite. Lapisan ini memiliki warna kuning kecoklatan agak kemerahan. Lapisan bijih terletak di bagian bawah dari *medium grade limonit*, dengan ketebalan rata-rata 7 meter. Lapisan bijih terdapat bersama batuan yang keras atau rapuh sebagian saprolit. Kadar Ni 1,85%, Fe 16%, MgO 25%, SiO₂ 35%. Lapisan bijih merupakan lapisan yang bernilai ekonomis untuk ditambang sebagai bijih.

4. Lapisan batuan dasar (*Bedrock/Blue Zone*)

Lapisan ini merupakan batuan peridotit yang tidak atau belum mengalami pelapukan dengan kadar Ni 1,3%. Batuan *bedrock* pada umumnya merupakan bongkah-bongkah massif yang memiliki warna kuning pucat sampai abu-abu kehijauan. Secara lokal batuan dasar ini disebut *blue zone*. Ketebalan dari masing-masing lapisan tidak merata. Hal tersebut tergantung dari relief, umumnya endapan laterit terakumulasi banyak pada bagian bawah bukit dengan relief yang landai.

Sesar besar di daerah ini menyebabkan relief topografi mencapai 600 mdpl dan hingga sekarang masih aktif tererosi. Sejarah tektonik dan geomorfik di kompleks ini sangat penting untuk pembentukan Ni laterit yang bernilai ekonomis (Golightly, 1979). Daerah Sorowako sebagian besar disusun oleh batuan ultramafik yang membentang hingga 10.000 km² di bagian timur Sulawesi serta merupakan host dari endapan Ni laterit (Suratman, 2000).

Penambangan bijih nikel oleh PT Vale Indonesia Tbk di Sorowako terbagi atas empat daerah penambangan, yaitu Blok Barat, Blok Timur, Petea dan Bahodopi. Pembagian ini disebabkan adanya perbedaan batuan yang belum mengalami proses pelapukan atau biasa disebut *boulder* (*sustainability report* PT Vale Indonesia, 2017).

1. Blok Barat (*West Block*)

Blok barat memiliki ketebalan *overburden* rata-rata 7,0 m dengan kandungan nikel rendah 1,2%. Pada lapisan *incremental* limonit saprolit memiliki ketebalan rata-rata 6,6 m dengan kandungan nikel 1,36%. Lapisan limonit *ore* dengan ketebalan rata-rata 3,7 m dengan kandungan Ni 1,7%. Lapisan saprolit *ore* dengan kandungan nikel 2,02% dengan ketebalan rata-rata 7 m. Lapisan bawah adalah *bedrock* yang memiliki warna hijau kebiruan hingga abu-abu kehijauan dengan kandungan Ni 0,3%.

2. Blok Timur (*East Block*)

Ketebalan *overburden* rata-rata 11,7 m memiliki kandungan nikel 1,3%. Lapisan *incremental* limonit saprolit memiliki ketebalan rata-rata 4,9 m dengan kandungan nikel 1,37%. Lapisan limonit *ore* dengan ketebalan rata-rata 3 m dengan kandungan Ni 1,68%. Lapisan saprolit *ore* dengan kandungan nikel 1,87 % dan tebal rata-rata 7,2 m. Lapisan bawah adalah *bedrock* yang berwarna hijau kebiruan hingga abu-abu kehijauan dengan kandungan Ni 0,3%.

3. Petea

Ketebalan *overburden* rata-rata 5 m memiliki kandungan nikel rendah 1.2%. Lapisan *incremental* limonit saprolit dengan ketebalan rata-rata 3.1 m, kandungan nikel 1,4%. Lapisan limonit *ore* dengan ketebalan rata-rata 2,5 m dengan kandungan Ni 1,93%. Lapisan saprolit *ore* dengan kandungan nikel 1,81 % dan tebal rata-rata 7 m.

4. Bahodopi

Ketebalan *overburden* rata-rata 5,2 m dengan kandungan nikel rendah 1.2%. Lapisan *incremental* limonit saprolit memiliki ketebalan rata-rata 3,5 m dengan kandungan nikel 1,36%. Lapisan limonit *ore* dengan ketebalan rata-rata 3,2 m dengan kandungan Ni 1,76%. Lapisan saprolit *ore* dengan kandungan nikel 1,67% dan tebal rata-rata 5,2 m. Lapisan bawah adalah *bedrock* yang berwarna hijau kebiruan hingga abu-abu kehijauan dengan kandungan Ni 0,55%.

2.2 Endapan Nikel Laterit

Nikel laterit merupakan salah satu mineral logam hasil dari proses pelapukan kimia batuan ultramafik yang mengakibatkan pengkayaan unsur Ni, Fe, Mn, dan Co secara residual dan sekunder (Burger, 1996). Nikel laterit dicirikan oleh adanya logam oksida yang berwarna coklat kemerahan mengandung Ni dan Fe (Cahit et al., 2017).

Salah satu faktor yang mempengaruhi pembentukan endapan nikel laterit adalah morfologi, batuan asal dan tingkat pelapukan (Kurniadi et al., 2017). Tingkat pelapukan yang tinggi sangat berperan terhadap proses lateritisasi (Tonggiroh et al., 2012).

Proses terbentuknya nikel laterit dimulai dari proses pelapukan yang intensif pada batuan peridotit (Sundari dan Woro, 2012), selanjutnya infiltrasi air hujan masuk ke dalam zona retakan batuan dan akan melarutkan mineral yang mudah larut pada batuan dasar. Mineral dengan berat jenis tinggi akan tertinggal di permukaan sehingga mengalami pengkayaan residu seperti unsur Ca, Mg, dan Si. Mineral lain yang bersifat *mobile* akan terlarutkan ke bawah dan membentuk suatu zona akumulasi dengan pengkayaan (supergen) seperti Ni, Mn, dan Co (Golightly, 1981).

Profil endapan nikel laterit yang terbentuk dari hasil pelapukan batuan ultrabasa. Profil endapan nikel laterit tersebut secara umum terdiri dari 5 (lima) lapisan, yaitu *Iron cap*, lapisan limonit, transisi, lapisan saprolit dan lapisan *bedrock/Fresh rock* (batuan dasar) seperti yang di tunjukkan pada Gambar 2.1.

1. *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.

2. 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. Pengkayaan (*enrichment*) tersebut terjadi akibat proses pelindihan pada pembentukan zona saprolit. Zona limonit merupakan hasil pelapukan lebih lanjut dari batuan beku ultramafik yang

didominasi oleh oksida besi, goetit, dan magnetit. Ketebalan lapisan limonit berkisar antara 8 – 15 m sehingga sering disebut *overburden*.

3. Zona Transisi

Lapisan ini merupakan zona peralihan antara limonit bagian bawah dan saprolit bagian atas. Mengandung mineral *smectite* (*nontronite*). Tekstur batuan induk (*Protolith*) masih terlihat. Ukuran butir cenderung lempung dan *impermeable*.


4. 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, onyx (SiO_2), dan garnierite. Zona saprolit dapat dibagi menjadi dua, yaitu (Arif, 2018):

- a) *Sub soft-saprolit*, mengandung fragmen berukuran bongkah kurang dari 25%.
- b) *Sub hard-saprolit*, mengandung fragmen berukuran bongkah lebih dari 50%.

5. *Bedrock/Freshrock*

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.

SCHEMATIC LATERITE PROFILE	COMMON NAME	APPROXIMATE ANALYSIS (%)			
		Ni	Co	Fe	MgO
	RED LIMONITE	<0.8	<0.1	>50	<0.5
	YELLOW LIMONITE	0.8 to 1.5	0.1 to 0.2	40 to 50	0.5 to 5
	TRANSITION	1.5 to 4		25 to 40	5 to 15
	SAPROLITE/ GARNIERITE/ SERPENTINE	1.8 to 3	0.02 to 0.1	10 to 25	15 to 35
	FRESH ROCK	0.3	0.01	5	35 to 45

Gambar 2.1 Profil endapan nikel laterit (Elias, 2002).

2.3 Klasifikasi Sumberdaya Mineral

Sumberdaya mineral adalah endapan mineral yang diharapkan dapat dimanfaatkan secara nyata. Sumberdaya mineral dengan keyakinan geologi tertentu dapat berubah menjadi cadangan setelah dilakukan pengkajian kelayakan tambang dan memenuhi kriteria layak tambang. Istilah sumberdaya mineral mencakup mineralisasi, termasuk material buangan dan material sisa, yang telah diidentifikasi dan diestimasi melalui eksplorasi dan pengambilan sampel, dan darinya cadangan mineral dapat ditentukan dengan pertimbangan dan penerapan faktor pengubahnya (KCFI, 2017). Sumberdaya mineral dikelompokkan lagi berdasarkan tingkat keyakinan geologinya, ke dalam kategori terduga, tertunjuk dan terukur.

1. Sumberdaya mineral tereka

Sumberdaya mineral tereka merupakan bagian dari sumberdaya mineral dimana kuantitas dan kualitas kadarnya diestimasi berdasarkan bukti-bukti geologi dan pengambilan conto yang terbatas. Bukti geologi tersebut memadai untuk menunjukkan keterjadiannya tetapi tidak memverifikasi kemenerusan kualitas atau kadar dan kemenerusan geologinya. Sumberdaya mineral tereka memiliki tingkat keyakinan lebih rendah dalam penerapannya dibandingkan dengan sumberdaya mineral tertunjuk dan tidak dapat dikonversi ke cadangan mineral. Sangat beralasan untuk mengharapkan bahwa sebagian besar sumberdaya mineral tereka dapat ditingkatkan menjadi sumberdaya mineral tertunjuk sejalan dengan berlanjutnya eksplorasi.

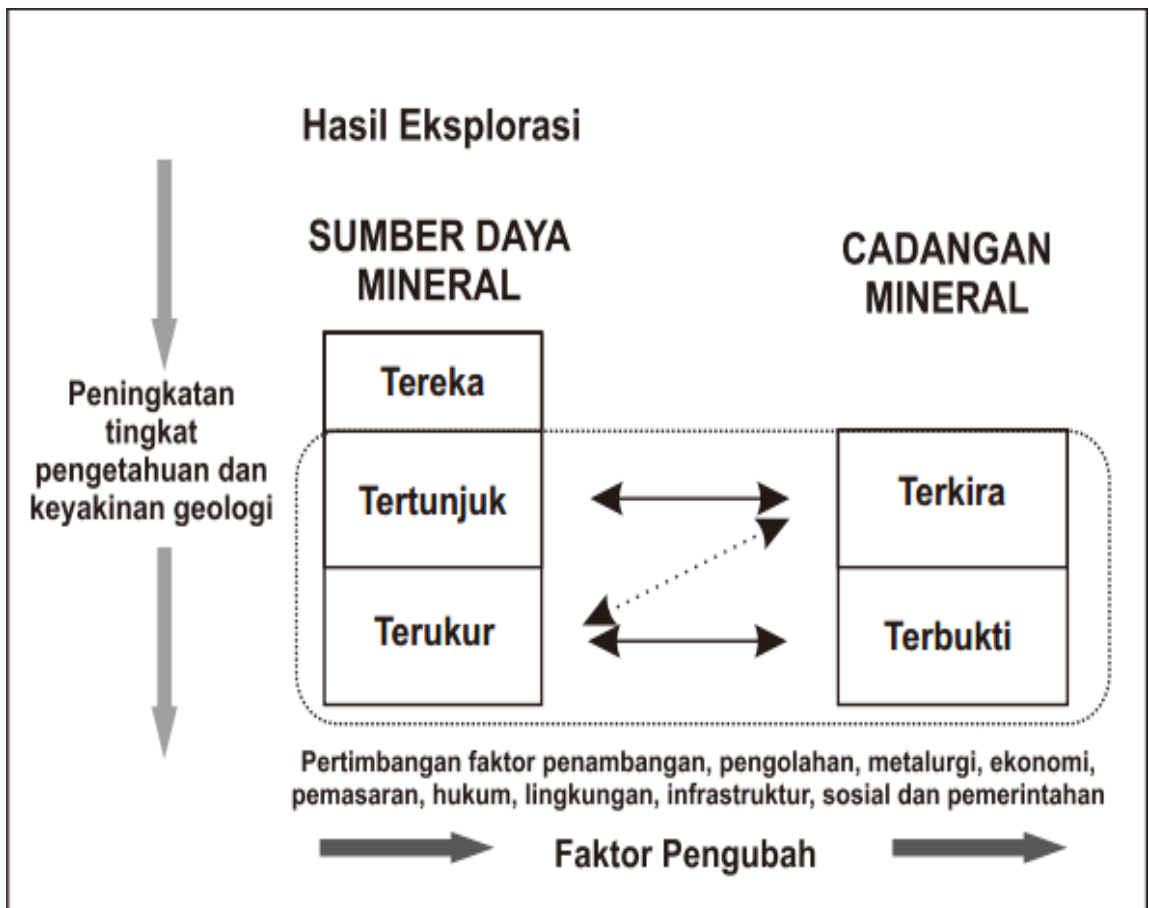
2. Sumberdaya mineral tertunjuk

Sumberdaya mineral tertunjuk merupakan bagian dari sumberdaya mineral di mana kuantitas, kadar atau kualitas, kerapatan, bentuk, dan karakteristik fisiknya dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang cukup untuk memungkinkan penerapan faktor-faktor pengubah secara memadai untuk mendukung perencanaan tambang dan evaluasi kelayakan ekonomi cebakan tersebut. Bukti geologi didapatkan dari eksplorasi, pengambilan conto dan pengujian yang cukup detail dan andal, dan memadai untuk mengasumsikan kemenerusan geologi dan kadar atau kualitas di antara titik-titik pengamatan. Sumberdaya mineral tertunjuk memiliki tingkat keyakinan yang lebih rendah penerapannya dibandingkan dengan sumberdaya mineral terukur dan hanya dapat dikonversi ke cadangan mineral terkira.

3. Sumberdaya mineral terukur

Sumberdaya mineral terukur merupakan bagian dari sumberdaya mineral di mana kuantitas, kadar atau kualitas, kerapatan, bentuk, karakteristik fisiknya dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang memadai untuk memungkinkan penerapan faktor-faktor pengubah untuk mendukung perencanaan tambang detail dan evaluasi akhir dari

kelayakan ekonomi cebakan tersebut. Bukti geologi didapatkan dari eksplorasi, pengambilan conto dan pengujian yang detail dan andal, dan memadai untuk memastikan kemenerusan geologi dan kadar atau kualitasnya di antara titik-titik pengamatan. Sumberdaya mineral terukur memiliki tingkat keyakinan yang lebih tinggi penerapannya dibandingkan dengan sumberdaya mineral tertunjuk ataupun sumberdaya mineral tereka. Sumberdaya mineral terukur dapat dikonversi ke cadangan mineral terbukti atau cadangan mineral terkira (KCMI, 2017). Gambaran perubahan klasifikasi sumberdaya dan cadangan mineral berdasarkan faktor pengubah dan tingkat pengetahuan dan keyakinan geologi dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Klasifikasi sumberdaya dan cadangan mineral berdasarkan faktor pengubah dan tingkat pengetahuan dan keyakinan geologi (KCMI, 2017).

2.4 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).

Metode yang digunakan dalam melakukan estimasi sumberdaya pada umumnya bergantung pada keadaan geologi endapan, metode eksplorasi, keakuratan data dan nilai koefisien variasi, manfaat serta tujuan estimasi sumberdaya. Pada umumnya metode estimasi yang digunakan untuk endapan nikel laterit terdapat beberapa jenis metode yaitu metode *Inverse Distance Weighting* (IDW), dan metode *kriging*.

1. Metode *Inverse Distance Weighting* (IDW)

Metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) 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 daripada yang lebih jauh. Bobot (*weight*) akan berubah secara linier sesuai dengan jaraknya dengan data sampel. Bobot ini tidak akan dipengaruhi oleh letak dari data sampel. Metode ini biasanya digunakan dalam industri pertambangan karena mudah untuk digunakan. 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.

5. Dalam metode ini, komputer memeriksa jarak antara sampel dari kumpulan blok dan menolak data yang berada diluar radius tertentu dan ditentukan dengan persamaan sebagai berikut (Annels, 1991).

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

dimana,

Z = Kadar taksiran (%)

n = Jumlah data

i = Kadar ke-i (%)

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

k = Pangkat (*script*)

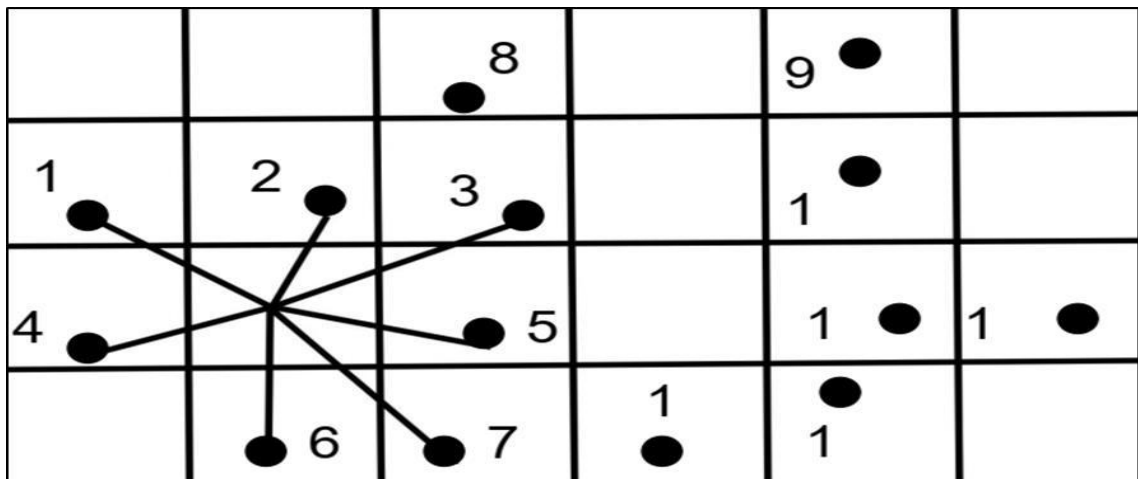
Zi = Kadar awal (%)

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).

Kelebihan dari metode interpolasi IDW ini adalah karakteristik interpolasi dapat dikontrol dengan membatasi titik-titik masukan yang digunakan dalam proses interpolasi. Titik-titik yang terletak jauh dari titik sampel dan yang diperkirakan memiliki korelasi spasial yang kecil atau bahkan tidak memiliki korelasi spasial dapat dihapus dari perhitungan. 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)

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 isotropic. 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).

Data di dekat blok memperoleh bobot lebih besar, sedangkan data jauh dari blok bobotnya lebih kecil. Bobot ini berbanding terbalik dengan jarak data dari blok yang ditaksir. Metode ini hanya memperlihatkan jarak dan belum memperlihatkan efek pengelompokan data, sehingga data dengan jarak yang sama namun mempunyai sebaran yang berbeda masih akan memberikan hasil yang sama sehingga tidak memberikan korelasi ruang antara titik data dengan titik data yang lain. Metode IDW yang digunakan yaitu di mana kadar dibagikan pada blok-blok terdekat dengan jarak tertentu untuk tiap titik pengambilan sampel seperti pada Gambar berikut ini:



Gambar 2.3 Metode estimasi sumberdaya dengan IDW (Idrus, 2007).

2. Metode Kriging

Interpolasi kriging dapat digolongkan dalam interpolasi stokastik. Interpolasi stokastik menawarkan penilaian kesalahan dengan nilai prediksi dengan mengasumsikan

kesalahan acak. Metode kriging merupakan estimasi stochastic mirip dengan IDW yang menggunakan kombinasi linear dari bobot untuk memperkirakan nilai di antara sampel data. Metode ini dikembangkan oleh D.L. Krige untuk memperkirakan nilai dari bahan tambang. Asumsi dari model ini adalah jarak dan orientasi antara sampel data menunjukkan korelasi spasial.

Metode kriging mempunyai keunggulan dan kelemahan menurut Lagueche (2006), keunggulannya yaitu kemampuan untuk mengidentifikasi variansi dari nilai yang diestimasi sehingga tingkat presisi dari hasil estimasi dapat diketahui. Metode kriging tetap dapat digunakan meskipun tidak ditemukan korelasi spasial antar data. Kelemahan kriging yaitu mengasumsikan data menyebar normal sementara kebanyakan data lapangan tidak memenuhi kondisi tersebut. Selain itu, semivariogram yang dihitung untuk suatu himpunan data tidak berlaku untuk himpunan data lainnya. Dengan demikian estimasi semivariogram akan sulit bila titik sampel yang digunakan tidak mencukupi.

Tiga pokok dalam estimasi kriging yang bergantung pada model dengan sifat acak yaitu simple kriging, ordinary kriging, dan universal kriging (Bohling, 2005; Goovaerts, 1998).

a. *Simple Kriging*

Simple kriging merupakan metode kriging dengan asumsi bahwa rata-rata (mean) dari populasi telah diketahui dan bernilai konstan. Pengolahan dari metode simple kriging adalah dengan cara data spasial yang akan diduga dipartisi menjadi beberapa bagian.

b. *Ordinary kriging*

Ordinary kriging merupakan metode yang diasumsikan rata-rata (mean) dari populasi tidak diketahui, dan pada data spasial tersebut tidak mengandung *trend*.

Selain tidak mengandung trend, data yang digunakan juga tidak mengandung pencilan.

c. *Universal Kriging*

Universal kriging merupakan metode kriging yang dapat diaplikasikan pada data spasial yang mengandung trend atau data yang tidak stasioner.

3. *Ordinary kriging*

Ordinary kriging dikenal sebagai teknik kriging linear karena menggunakan kombinasi linier terbobot dari data yang tersedia untuk proses estimasi (Isaaks and Srivastava, 1989). Metode *Ordinary kriging* merupakan metode Kriging yang menghasilkan estimator yang bersifat BLUE. Hal tersebut berarti mempunyai variansi terkecil dibanding estimator lain. Data yang digunakan pada metode *Ordinary kriging* merupakan data spasial dengan rata-rata populasi tidak diketahui dan di asumsi bersifat stasioner.

Bobot *ordinary kriging* memenuhi sifat tak bias dengan $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ dengan n adalah jumlah sampel yang diketahui. Parameter tambahan *m* merupakan *Lag range multiplier* yang digunakan untuk meminimalkan galat *kriging*. Nilai bobot *ordinary kriging* dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

$$\begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma(s_1, s_1) & \gamma(s_1, s_2) & \dots & \gamma(s_1, s_n) & 1 \\ \gamma(s_2, s_1) & \gamma(s_2, s_2) & \dots & \gamma(s_2, s_n) & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma(s_n, s_1) & \gamma(s_n, s_2) & \dots & \gamma(s_n, s_n) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \gamma(s_1, s_0) \\ \gamma(s_2, s_0) \\ \vdots \\ \gamma(s_n, s_0) \\ 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2)$$

dimana,

$\lambda_{(1,2,\dots,n)}$: vektor pembobot ke s_i

γ : semivariogram antara titik $(s_{1,\dots,n}, s_{1,\dots,n})$ yang terdapat pada jarak sebesar h

Ordinary kriging berhubungan dengan prediksi spasial dengan 2 asumsi (Cressie, 1990), yaitu:

1. Asumsi Model

$$Z(s) = \mu + e(s), \quad s \in R \text{ dan } \mu \text{ tidak diketahui} \dots\dots\dots(3)$$

2. Asumsi Prediksi

$$\hat{Z}(s) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s) \text{ dengan } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \dots\dots\dots(4)$$

dimana,

$Z(s)$: peubah acak bebas

μ : ekspektasi peubah acak $Z(s)$

$e(s)$: nilai *error* pada $Z(s)$

R : bilangan *real*

N : banyaknya data sampel yang digunakan untuk estimasi

Karena koefisien dari hasil penjumlahan prediksi linier adalah 1 dan memiliki syarat tak bias maka $E\hat{Z}(s) = \mu = E Z(s) = Z(s)$, untuk setiap $\mu \in R$ dan karena $Z(s)$ merupakan suatu konstanta maka $E Z(s) = Z(s)$ terdapat *estimator error* $e(s)$, pada setiap lokasi merupakan perbedaan antara nilai estimasi $\hat{Z}(s)$ dengan nilai sebenarnya $Z(s)$ yang dinyatakan sebagai berikut:

$$e(s) = \hat{Z}(s) - Z(s) \dots\dots\dots (5)$$

dimana,

$e(s)$: estimator *error*

$\hat{Z}(s)$: nilai estimasi

$Z(s)$: nilai sebenarnya

Dengan $E e(s) = 0$. Selisih $\hat{Z}(s) - Z(s)$ disebut dengan galat estimasi atau bias.

Bobot $\lambda_i, i=1,2,\dots,n$ ditentukan berdasarkan kriteria:

1. Tak bias: $[\hat{Z}(s) - Z(s)] = 0$

2. Variansi: $\text{var}[\hat{Z}(s) - Z(s)]$ minimum

Dengan menggunakan persamaan (10) dapat dibuktikan bahwa $\hat{Z}(s)$ merupakan *estimator* tak bias yaitu:

$$E e(s) = E \hat{Z}(s) - E Z(s) \dots\dots\dots (6)$$

dengan $E e(s) = 0$, maka diperoleh:

$$E \hat{Z}(s) = Z(s) \dots\dots\dots (7)$$

2.5 Variogram dan Semi variogram

Variogram adalah grafik variansi terhadap jarak (*lag*) sedangkan semi variogram adalah setengah kuantitas dari variogram (Cressie, 1993). Variogram menentukan ukuran dari variansi yang digunakan untuk menentukan jarak dimana nilai-nilai data pengamatan menjadi tidak ada korelasinya. Estimasi variogram memiliki peran yang penting, misalnya dalam penentuan nilai-nilai optimal dari bobot setiap sampel. Cara yang paling alami untuk membandingkan dua nilai, $Z(x)$ dan $Z(x+h)$ pada dua poin x dan $x+h$ pada nilai yang mutlak seharusnya mempertimbangkan nilai rata-rata $[Z(x) - Z(x+h)]$ (Cressie, 1993).

2.5.1 Variogram eksperimental

Variogram eksperimental adalah variogram yang diperoleh dari data yang diamati. Variogram didefinisikan sebagai berikut:

$$2\gamma(h) = E[Z(x) - Z(x+h)]^2 \dots\dots\dots (8)$$

2.5.2 Semi variogram eksperimental

Semi variogram eksperimental adalah nilai dugaan yang diperoleh dari penarikan sampel di lapangan. Variogram eksperimental dibuat berdasarkan nilai korelasi spasial antara dua buah variabel yang dipisahkan oleh suatu jarak (h) tertentu. Semi variogram eksperimental dirumuskan sebagai berikut:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \dots\dots\dots (9)$$

dimana,

- $\gamma(h)$: Semi variogram eksperimental
- x_i : Lokasi titik sampel
- $Z(x_i)$: Nilai observasi pada lokasi x_i
- h : Jarak antara dua titik sampel
- x_i+h : Pasangan titik sampel yang berjarak h
- $N(h)$: Banyak pasangan data yang memiliki jarak h .

Setelah diperoleh nilai semi variogram eksperimental, maka dapat dihitung parameter-parameter yang akan digunakan untuk perhitungan semi variogram teoritis. Beberapa parameter yang digunakan untuk mencari nilai dalam semi variogram teoritis adalah *nugget effect*, *sill*, dan *range*.

1. *Range*

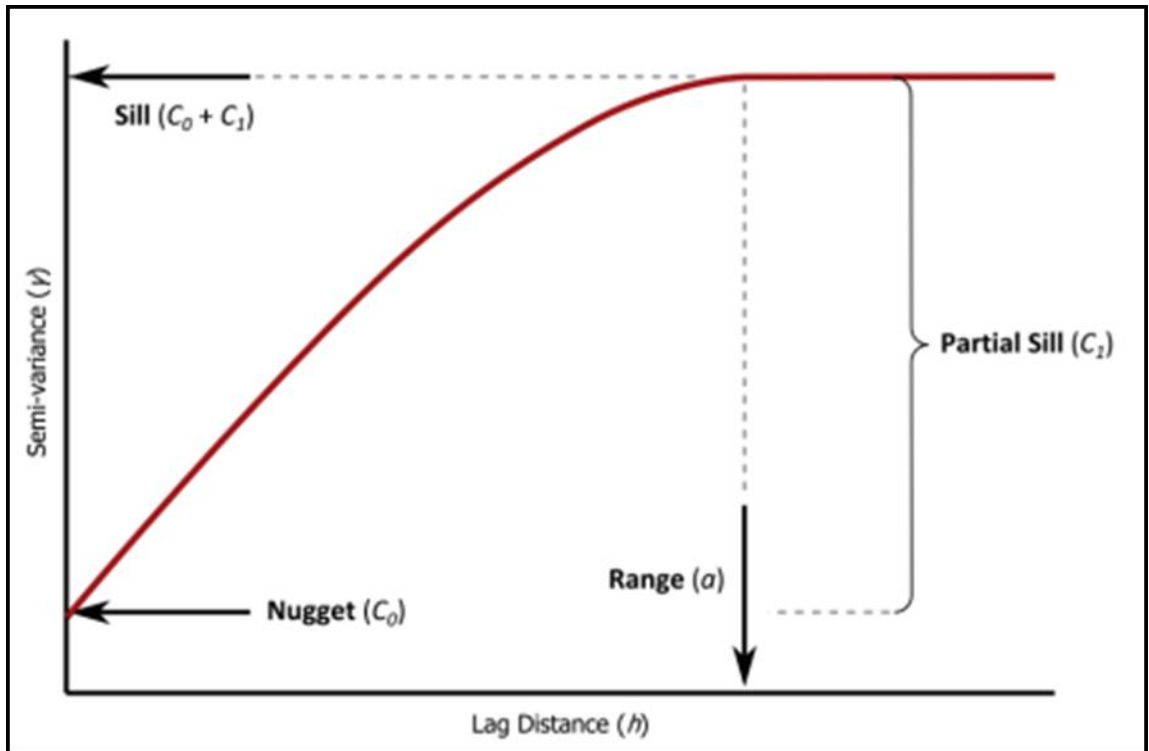
Range adalah jarak dimana variogram merupakan sebuah dataran tinggi (Isaaks and Srivastava, 1989). Jarak yang dimaksud adalah variogram harus mencapai nilai *sill*.

2. *Sill*

Sill adalah masa stabil suatu variogram dalam mencapai *range*. Variogram menjadi suatu wilayah yang datar yaitu ragamnya tidak mengalami suatu kenaikan (Isaaks and Srivastava, 1989).

3. *Nugget Effect*

Kediskontinuan pada pusat variogram terhadap garis vertikal yang melompat dari nilai 0 pada pusat nilai variogram dengan pemisahan jarak terkecil disebut dengan *nugget effect* (Isaaks and Srivastava, 1989).



Gambar 2.4 Komponen Variogram dan Semivariogram.

Setelah memperoleh nilai dari ketiga parameter di atas, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai semivariogram teoritis. Nilai yang diperoleh dari semivariogram teoritis akan digunakan untuk membandingkan nilai antara semivariogram eksperimental dengan teoritis. Selanjutnya dipilih model mana yang memiliki nilai paling kecil, yang nantinya akan digunakan untuk melakukan pendugaan data spasial. Berikut adalah beberapa model semivariogram teoritis yang digunakan sebagai pembanding (Micromine, 2014):

1. Model *Spherical (Sph)* adalah bentuk linear dengan kecepatan perubahan *slope* untuk mencapai *sill*. Model *spherical* digunakan dalam estimasi kualitas kadar.

$$y(h) = \begin{cases} C_0 + C \left[\left(\frac{3h}{2a} \right) - 0,5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & h \leq a \\ C_0 + C & \text{dan untuk } h > a \end{cases} \dots\dots\dots (10)$$

dimana,

h : Jarak lokasi sampel

C_0+C : *Sill*, yaitu nilai semivariogram untuk jarak pada saat besarnya konstan
 a : *Range*, yaitu jarak pada saat nilai semivariogram mencapai *sill*.

2. Model *Exponential (Exp)* adalah model yang memiliki lengkungan lebih besar dibandingkan dengan model *spherical* dan menunjukkan perubahan *slope* secara bertahap hingga mencapai *sill*. Model *exponential* digunakan dalam estimasi kualitas kadar.

$$\gamma(h)=C_0+C\left[1-\exp\left(-\frac{3h}{a}\right)\right] \dots\dots\dots(11)$$

3. Model *Gaussian (Gaus)* merupakan model yang berbentuk parabolik yang secara bertahap perubahan *slope* akan mencapai *sill*. Model *Gaussian* digunakan untuk perhitungan kontaminasi air dan udara.

$$\gamma(h)=C_0+C\left[1-\exp\left(-\frac{3h^2}{a^2}\right)\right] \dots\dots\dots (12)$$

4. *Linear (Lin)* dan *General Linear (Gen Lin)* merupakan model yang tidak mencapai *sill*. *General Linear* digunakan untuk elevasi topografi dan ketebalan *seam* batubara.

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian pada dasarnya merupakan cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu (Sugiyono, 2013). Penelitian ini diawali dengan mempelajari berbagai teori dan referensi terkait dengan topik penelitian. Teori dan referensi berkaitan dengan kondisi geologi daerah penelitian, kondisi keterdapatannya endapan. Teori dan referensi diperoleh dari berbagai sumber seperti, buku, laporan terdahulu, jurnal, prosiding dan berbagai artikel yang berkaitan dengan topik penelitian.

Penelitian ini dilakukan dengan mengestimasi sumberdaya dengan membandingkan antara 2 metode yaitu *Inverse Distance Weighting* dimana pada prinsipnya menaksir dengan memperhitungkan jarak untuk pembobotannya dan metode *Ordinary kriging* dimana prinsipnya dapat meminimalkan galat atau menghindari adanya data yang bersifat *outlier* yang menjadi syarat untuk dilakukannya metode ini.

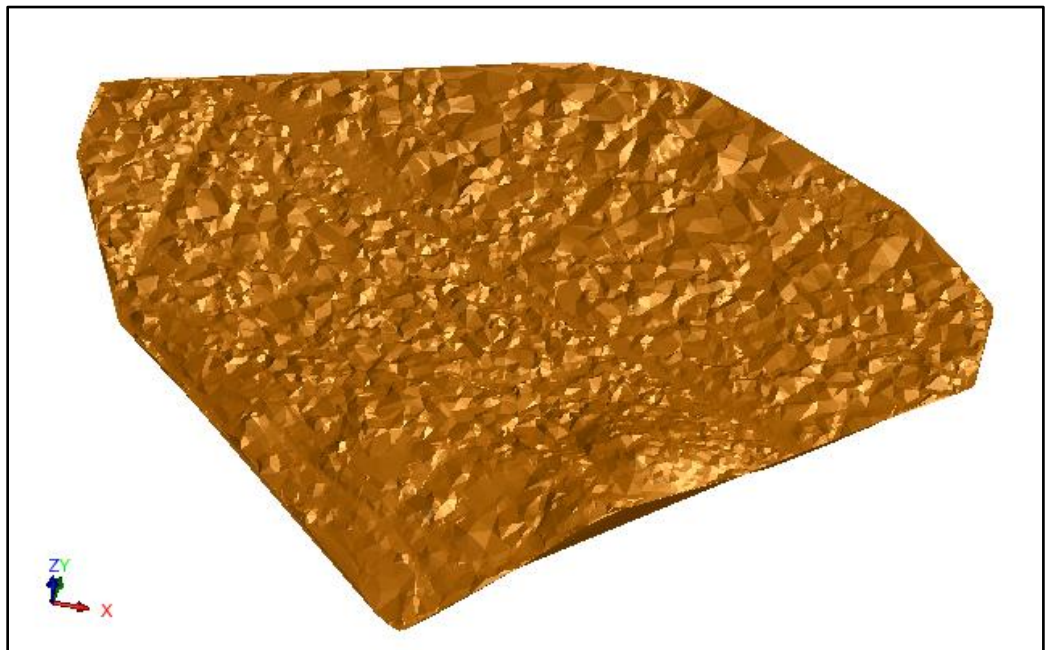
Basis data yang digunakan dalam penelitian ini secara keseluruhan menggunakan data sekunder dari database PT Vale Indonesia Tbk. Data yang diperoleh yaitu berupa *spreadsheet* yang berisikan data *assay* dan data *collar* yang kemudian diolah oleh peneliti menjadi data *assay*, data *collar*, data *survey*, dan data litologi, serta data topografi. kemudian akan dilakukan pembuatan database dalam proses estimasi sumberdaya dengan menggunakan bantuan *software surpac 6.3*.

3.1 Sumber Data

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data sekunder. Data sekunder ini berasal dari PT Vale Indonesia Tbk. Data yang diberikan yaitu berupa data topografi dan *spreadsheet* yang berisikan data *assay* dan data *collar*.

3.1.1 Data Topografi

Data topografi merupakan data yang memberikan informasi terkait data elevasi permukaan. Data topografi didapatkan dari hasil pengukuran penginderaan jarak jauh menggunakan teknologi Lidar kemudian akan dikonversi menjadi data *digital terrain model* (DTM) yang merupakan deskripsi *digital* dalam bentuk tiga dimensi dari suatu permukaan bumi seperti yang terlihat pada gambar 3.1. Data topografi dalam penelitian ini digunakan sebagai batasan atas dalam melakukan pemodelan geologi.



Gambar 3.1 Data Topografi dalam bentuk DTM

3.1.2 Data Assay

Data *assay* merupakan data yang memuat informasi mengenai data kadar dari setiap titik bor. Nilai kadar pada titik bor dianalisis tiap satu meter per lapisan. Data *assay* ini juga memuat informasi berupa *from*, *to*, dan data tiap lapisan. Data *assay* berupa nilai kadar dari titik bor, juga dapat dijadikan sebagai dasar untuk menentukan jenis lapisan dari endapan nikel laterit. Jumlah data *assay* yang digunakan pada penelitian ini adalah 5467 data yang diambil dari 133 titik bor.

Tabel 3.1 Contoh data *assay*.

<i>Hole Id</i>	kedalaman Awal (meter)	Kedalaman Akhir (meter)	Ni (%)	Co (%)	Fe (%)	SiO2 (%)	MgO (%)	Cr (%)	Al (%)	Mn (%)	Ca (%)
H001	0.00	1.00	1.07	0.10	52.56	4.47	1.09	2.88	3.02	0.78	0.005
H001	1.00	2.00	1.21	0.09	51.75	3.77	0.96	2.59	3.22	0.63	0.005
H001	2.00	3.00	0.75	0.05	41.14	20.39	1.16	2.43	3.87	0.40	0.010
H001	3.00	4.00	1.07	0.04	52.55	4.50	0.92	2.53	3.78	0.35	0.005

Tabel 3.1 merupakan contoh format data *assay* pada aplikasi MS. Excel. yang telah di olah. Informasi yang disajikan pada tabel tersebut yaitu seperti nama *Hole ID* (lubang bor), kedalaman awal, kedalaman akhir, persentase kadar nikel, cobalt, besi, silika dan magnesita, cromit, aluminium, mangan, dan kalium.

3.1.3 Data *Collar*

Data *collar* merupakan data yang memuat informasi mengenai data koordinat dan data kedalaman dari setiap lubang bor. Data *collar* ini berfungsi untuk menampilkan titik-titik bor pada perangkat lunak yang digunakan sesuai dengan data koordinat yang dimuat. Jumlah data *collar* yang digunakan pada penelitian ini adalah 133 titik bor pada masing-masing data bor.

Tabel 3.2 Contoh data *collar*.

<i>Hole Id</i>	Y (meter)	X (meter)	Z (meter)	Kedalaman Maksimal (meter)
H001	6974.878	8451.054	506.0011	49
H001	6873.847	8351.438	517.3191	19
H001	6974.975	8250.755	514.5362	18
H001	6975.111	8350.819	508.5826	47

Tabel 3.2 merupakan contoh format data collar pada aplikasi MS. Excel. yang telah di olah. Informasi yang disajikan pada tabel tersebut yaitu seperti disajikan seperti nama *Hole ID* (lubang bor), koordinat lintang (Y), koordinat bujur (X) dan ketinggian (Z).

3.1.4 Data *Survey*

Data *survey* merupakan data yang memuat informasi mengenai data kedalaman maksimal, *azimuth* dan *dip* dari setiap titik bor. Pada kasus endapan nikel laterit data *azimuth* dan *dip* yang digunakan yakni 0° dan 90° . Pengeboran pada endapan nikel laterit umumnya dilakukan tegak lurus karena keadaan endapan nikel laterit yang berlapis. Jumlah data *survey* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 133 data.

Tabel 3.3 Contoh data *survey*.

<i>Hole Id</i>	Kedalaman (meter)	Kemiringan/ <i>Dip</i> ($^{\circ}$)	Sudut Horizontal/ <i>Azimuth</i> ($^{\circ}$)
H001	49	-90	0
H001	19	-90	0
H001	18	-90	0
H001	47	-90	0

Tabel 3.3 merupakan contoh format data *Survey* pada aplikasi MS. Excel. yang telah diolah. Informasi yang disajikan pada tabel tersebut yaitu seperti disajikan seperti nama *Hole ID* (lubang bor), kedalaman maksimal, kemiringan (*Dip*), dan sudut Horizontal (*Azimuth*) pada setiap lubang bor.

3.1.5 Data Geologi

Data geologi merupakan data yang memuat informasi mengenai jenis zona dari endapan nikel laterit. Penentuan jenis litologi dari endapan nikel laterit dilakukan setiap kedalaman satu meter. Jenis perlapisan yang terdapat pada endapan nikel laterit adalah zona limonit, zona saprolit, dan *bedrock*.

Tabel 3.4 Contoh data geologi.

<i>Hole Id</i>	Kedalaman Awal (meter)	Kedalaman Akhir (meter)	Layer
H001	0	1	LIM
H001	1	2	LIM
H001	2	3	LIM
H001	3	4	LIM

Tabel 3.4 merupakan contoh format data Geologi pada aplikasi MS. Excel. yang telah di olah. Informasi yang disajikan pada tabel tersebut yaitu seperti disajikan seperti nama *Hole ID* (lubang bor), kedalaman awal, kedalaman akhir, dan jenis litologi yang di analisis setiap 1 meter pada setiap lubang bor.

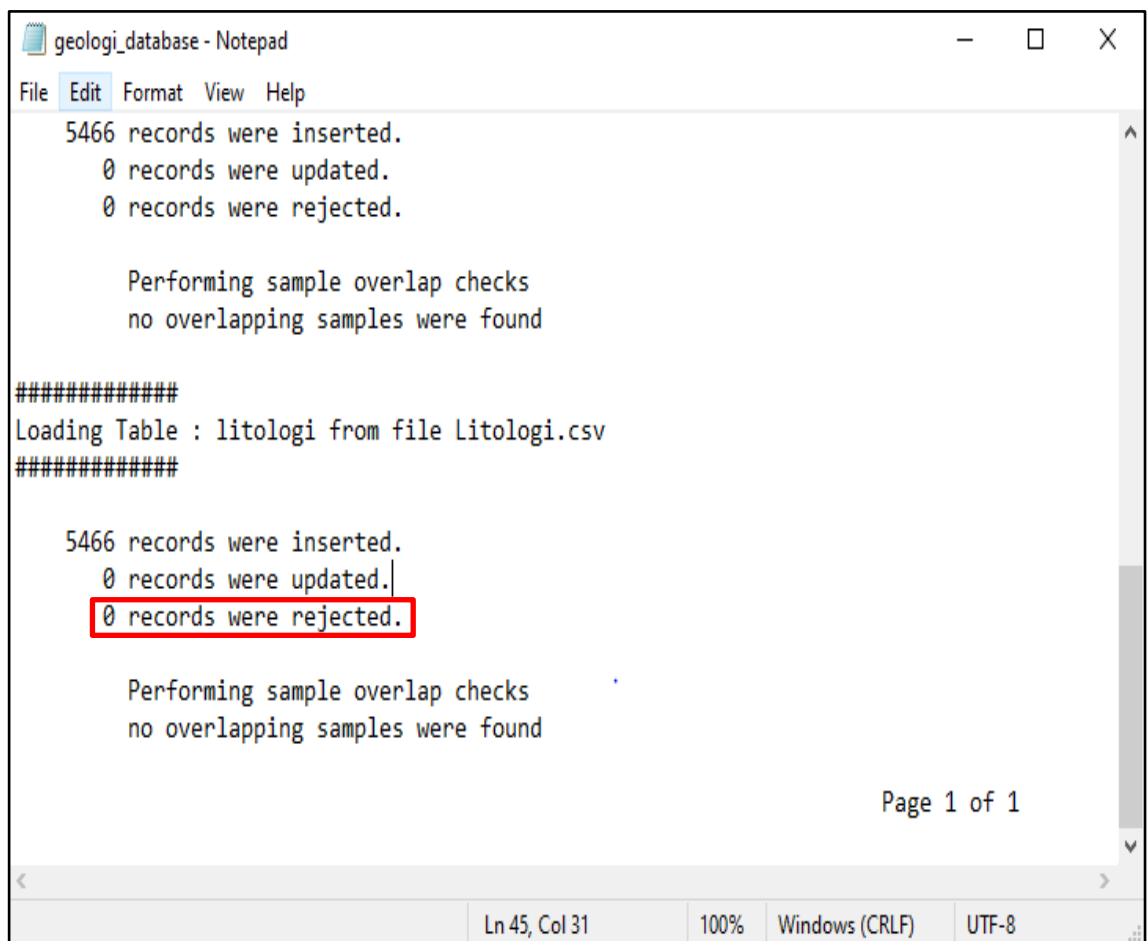
3.2 Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini untuk melakukan estimasi sumberdaya terukur endapan bijih nikel laterit dengan membandingkan metode *Inverse Distance Weighting* dan *Ordinary kriging* berdasarkan pengaruh panjang komposit kadar Ni yang diawali dengan pembuatan database, pembuatan string, komposit kadar Ni dengan Panjang komposit per 1 meter dan per 10 meter sesuai dengan tinggi jenjang yang diterapkan pada perusahaan, analisis statistik, analisis variogram, pembuatan blok model, dan dilakukanlah estimasi sumberdaya. Dalam penelitian ini *software* yang digunakan yaitu *Geovia Surpac 6.3*.

3.2.1 Pembuatan database

Pembuatan database merupakan langkah awal sebelum melakukan estimasi sumberdaya yang diawali dengan penyusunan data *assay*, *collar*, *litologi*, dan *survey* yang dibuat dengan bantuan *software* MS. Excel 2019 dengan format *comma separated value* (CSV). Data – data tersebut dibuat dalam suatu tabel secara teratur, sistematis

dan dilakukan dengan teliti untuk mempermudah proses pengolahan data dan untuk mengurangi terjadinya *error* pada saat dilakukan *import* data pada *software surpac 6.3*. Database tersebut kemudian di *import* pada *software surpac*. Setelah melakukan *import* data maka akan tampil report berupa *notepad* hasil analisis database yang telah di *import*. Jika database yang kita susun telah benar maka keterangan *report* yang tampil yaitu "*no overlapping samples were found*" seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2.



```
geologi_database - Notepad
File Edit Format View Help
5466 records were inserted.
  0 records were updated.
  0 records were rejected.

Performing sample overlap checks
no overlapping samples were found

#####
Loading Table : litologi from file Litologi.csv
#####

5466 records were inserted.
  0 records were updated.
  0 records were rejected.

Performing sample overlap checks
no overlapping samples were found

Page 1 of 1

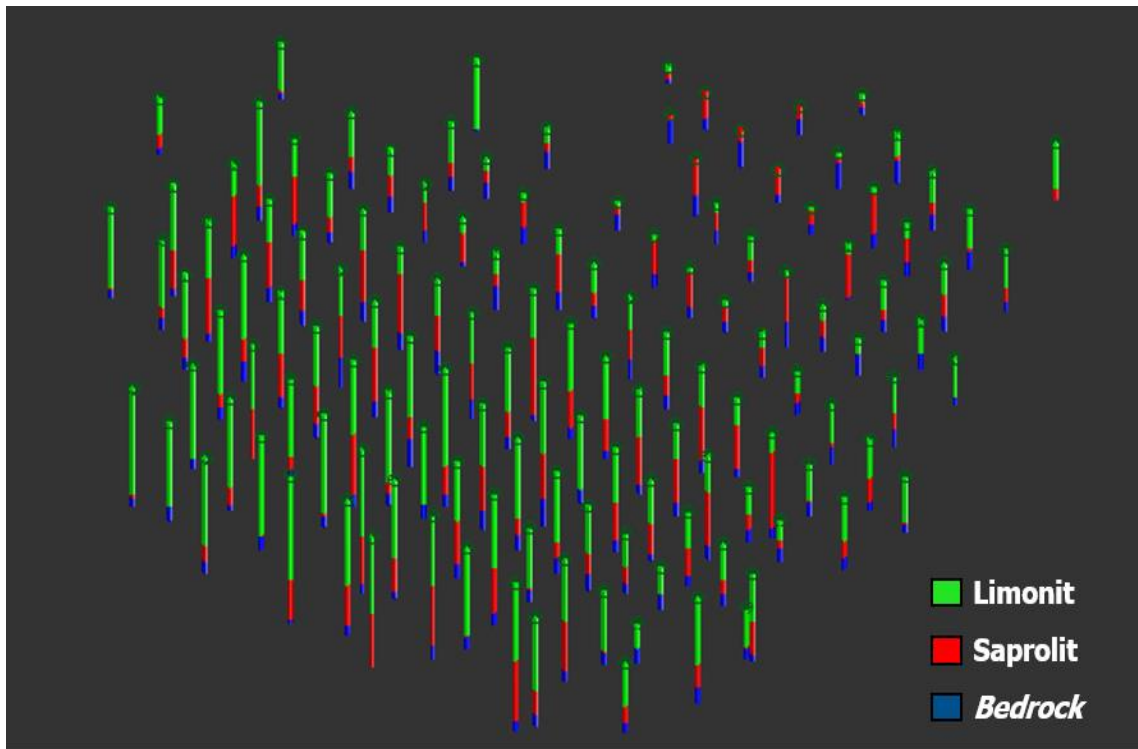
Ln 45, Col 31 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

Gambar 3.2 *Report database* yang telah di *import*.

3.2.2 *Display drill hole*

Display drill hole merupakan langkah yang dilakukan setelah *input database*. *Drill hole* yang akan ditampilkan terlebih dahulu akan diatur pewarnaannya dari setiap zona laterit yaitu limonit berwarna hijau, saprolit berwarna merah dan *bedrock* berwarna biru

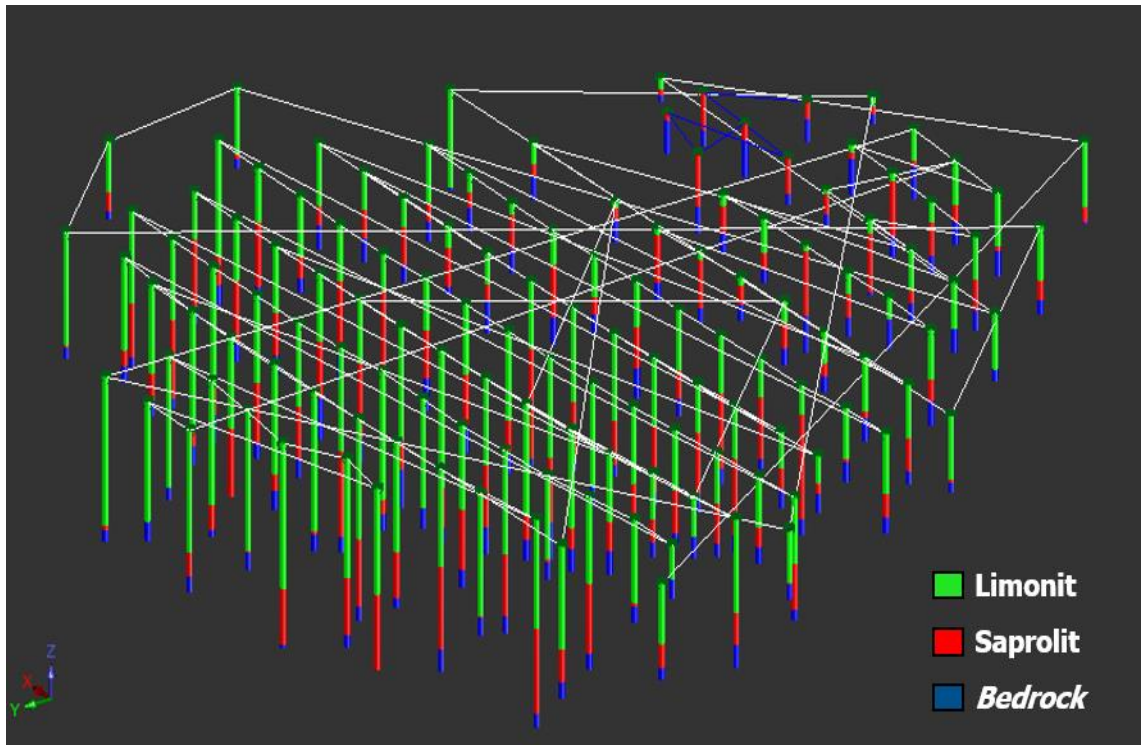
seperti yang terlihat pada gambar 3.3, dimana pada gambar tersebut terdapat 133 lubang bor.



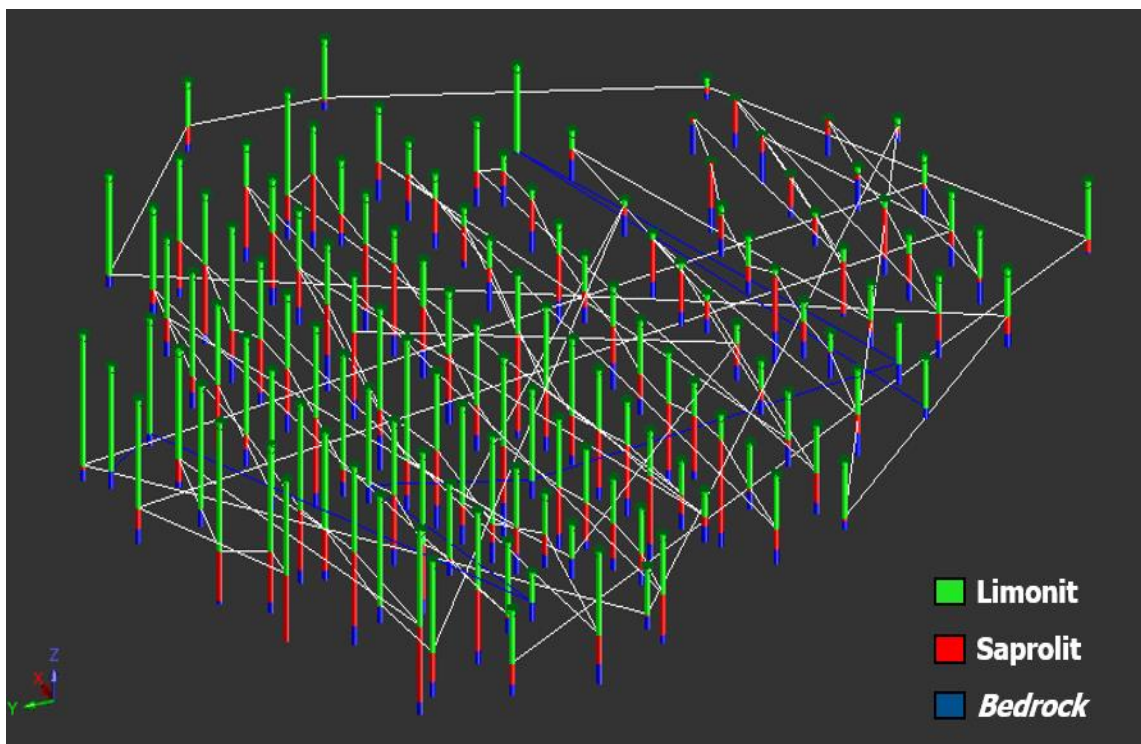
Gambar 3.3 *Drill hole*

3.2.3 Pembuatan *string*

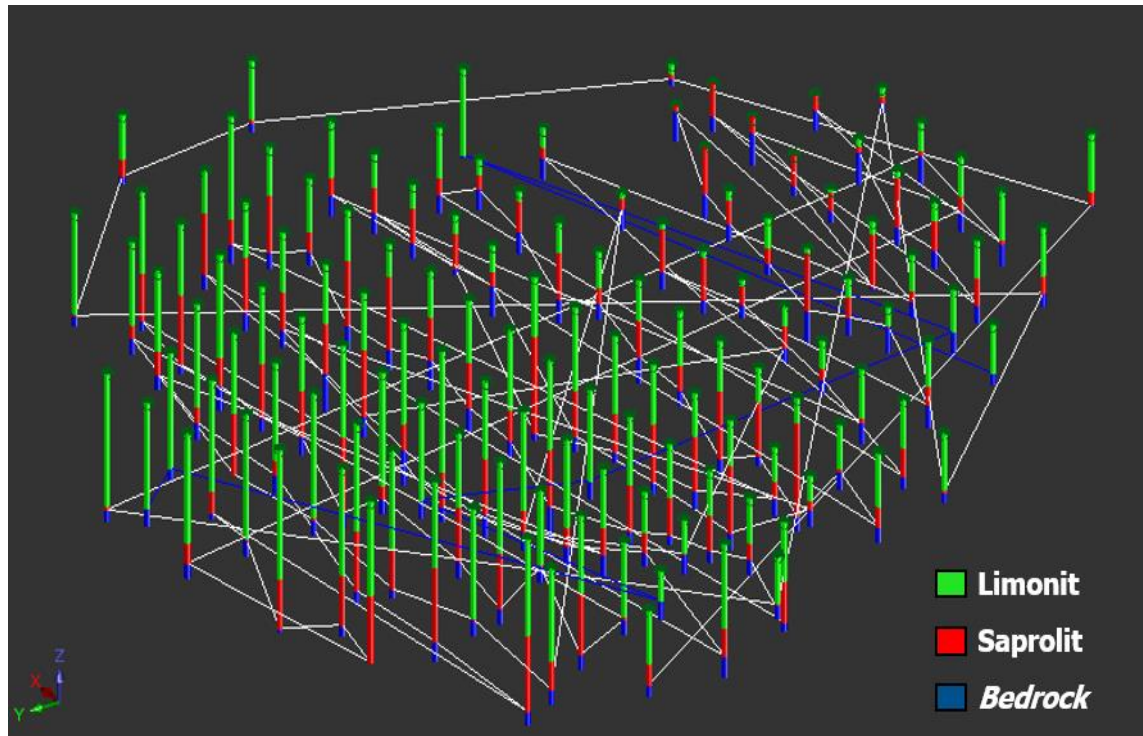
Pembuatan *string* bertujuan untuk menghubungkan antara titik bor yang memiliki perlapisan yang sama. *String* berbentuk garis yang akan menghubungkan setiap zona yang akan dibuatkan *string*. Pada penelitian ini terdapat 2 jenis *string* yang digunakan, yaitu *string* untuk zona limonit dan *string* untuk zona saprolit. *String* yang dibuat untuk zona limonit adalah *string* dari *top* limonit, untuk zona saprolit adalah *string top* saprolit dan *bottom* saprolit seperti yang terlihat pada Gambar 3.4, Gambar 3.5, dan Gambar 3.6.



Gambar 3.4 *String top* limonit.



Gambar 3.5 *String top* saprolit.



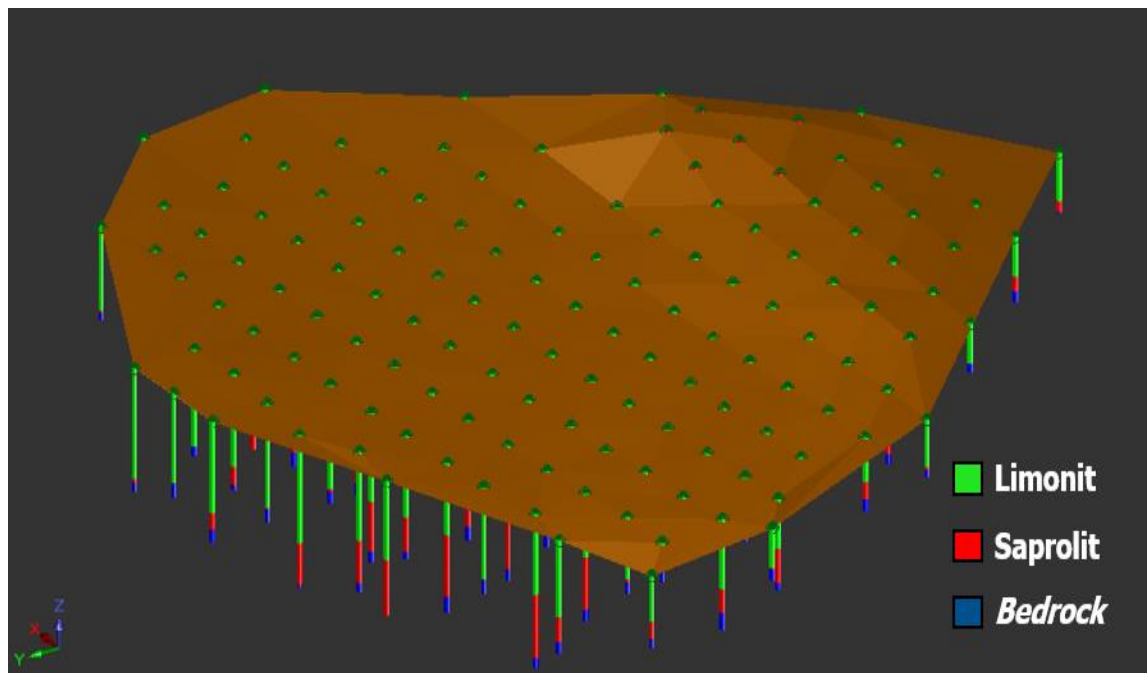
Gambar 3.6 *String bottom* saprolit.

Pada Gambar 3.4, Gambar 3.5, dan Gambar 3.6 menunjukkan keterangan *string* berwarna putih yang merupakan keadaan yang normal pada proses pembuatan string, sedangkan *string* berwarna biru menunjukkan keadaan yang anomali dari pada proses pembuatan *string*, hal ini disebabkan terdapat beberapa lubang bor yang tidak memiliki lapisan litologi tertentu.

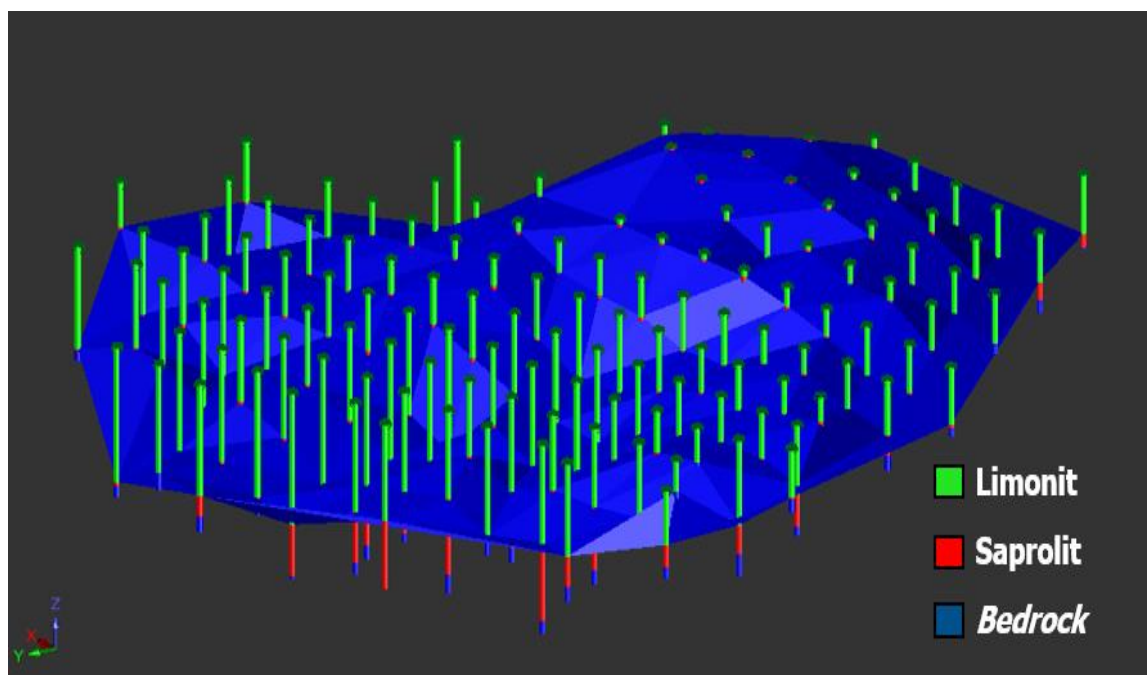
3.2.4 Pembuatan *Digital Terrain Model* (DTM)

Pembuatan *digital terrain model* bertujuan untuk membuat bidang solid atau bentuk 3D dari *string* yang telah dibuat pada setiap perlapisan yaitu *top* limonit seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.7, *top* saprolit 3.8 dan *bottom* saprolit seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.9. Setelah pembuatan DTM dari setiap perlapisan maka DTM tersebut akan digabungkan menjadi satu solid dengan batas atas topografi dan batas bawah *bottom* saprolit sehingga volumenya dapat dihitung. Selain untuk membuat solid pada setiap perlapisan DTM juga berfungsi untuk membuat *constraint* pada setiap

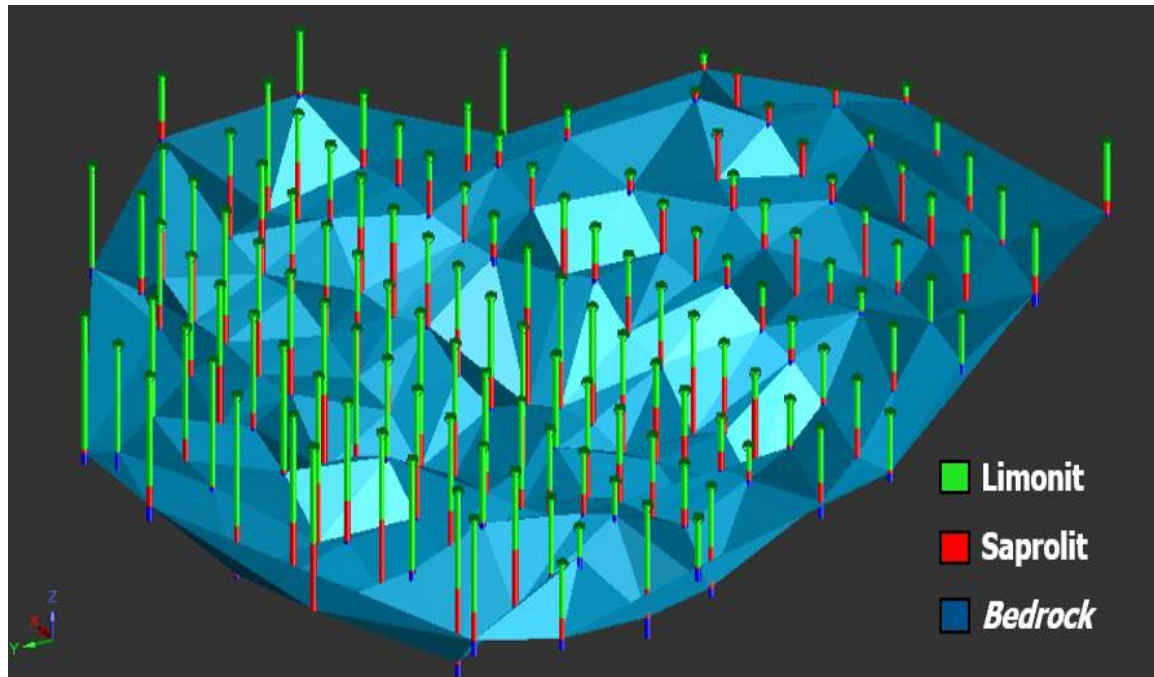
per lapisan. *Constraint* adalah kombinasi logis dari satu atau lebih objek spasial pada blok yang dipilih.



Gambar 3.7 *Digital Terrain Model* (DTM) zona *top* limonit.



Gambar 3.8 *Digital Terrain Model* (DTM) zona *top* saprolit.



Gambar 3.9 *Digital Terrain Model (DTM) zona bottom saprolit.*

3.2.5 Komposit Laterit

Setelah pembuatan *string* pada setiap zona maka akan dilakukanlah komposit terhadap nilai *assay* (kadar) dari hasil *extract* sampel *string* yang telah dibuat. Tujuan dilakukannya komposit yaitu untuk merata-ratakan nilai kadar terutama jika terdapat nilai interval sampel yang tidak seragam yang mana pada umumnya rata – rata interval sampel *assay* yaitu setiap 1 meter namun kadangkala ada interval sampel *assay* juga yang kurang atau lebih dari 1 meter. Oleh karena itu untuk meminimalisir bias nilai *assay* terutama nilai yang sangat tinggi dengan interval sampel yang pendek perlu dilakukan komposit. Pada penelitian ini dilakukan komposit kadar unsur Ni dengan membandingkan panjang komposit setiap 1 meter (sesuai dengan analisis yang dilakukan pada umumnya) dan setiap 10 meter (sesuai dengan tinggi jenjang *pit* pada perusahaan PT Vale Indonesia Tbk, pada blok sorowako).

3.2.6 Analisis statistik hasil komposit

Data *assay* yang memuat nilai kadar akan dilakukan analisis *statistik* untuk memperoleh parameter-parameter statistik yang dimiliki oleh data *assay* yang

digunakan. Tujuan dilakukannya analisis statistik ini yaitu untuk mengetahui pola sebaran data dan bentuk histogramnya. Untuk keperluan analisis geostatistik, maka bentuk histogram kurva sebaran normal akan lebih baik. Hasil dari analisis Statistik hasil komposit lubang bor ini akan menghasilkan data-data statistik seperti nilai maksimum, nilai minimum, nilai rata-rata, standar deviasi dan data statistik lainnya.

3.2.7 Pembuatan blok model

Pembuatan blok model dilakukan untuk mempermudah dalam proses estimasi sumberdaya dengan membagi bagian – bagian dari model endapan menjadi blok – blok dengan ukuran tertentu. Ukuran model blok yang digunakan dalam penelitian ini ada dua jenis ukuran blok sesuai dengan komposit yang dilakukan yang mana pada panjang komposit 1 meter menggunakan ukuran blok 5 x 5 x 1 dengan satuan meter kubik dan pada Panjang komposit 10 meter menggunakan ukuran blok 5 x 5 x 10 dengan satuan meter kubik.

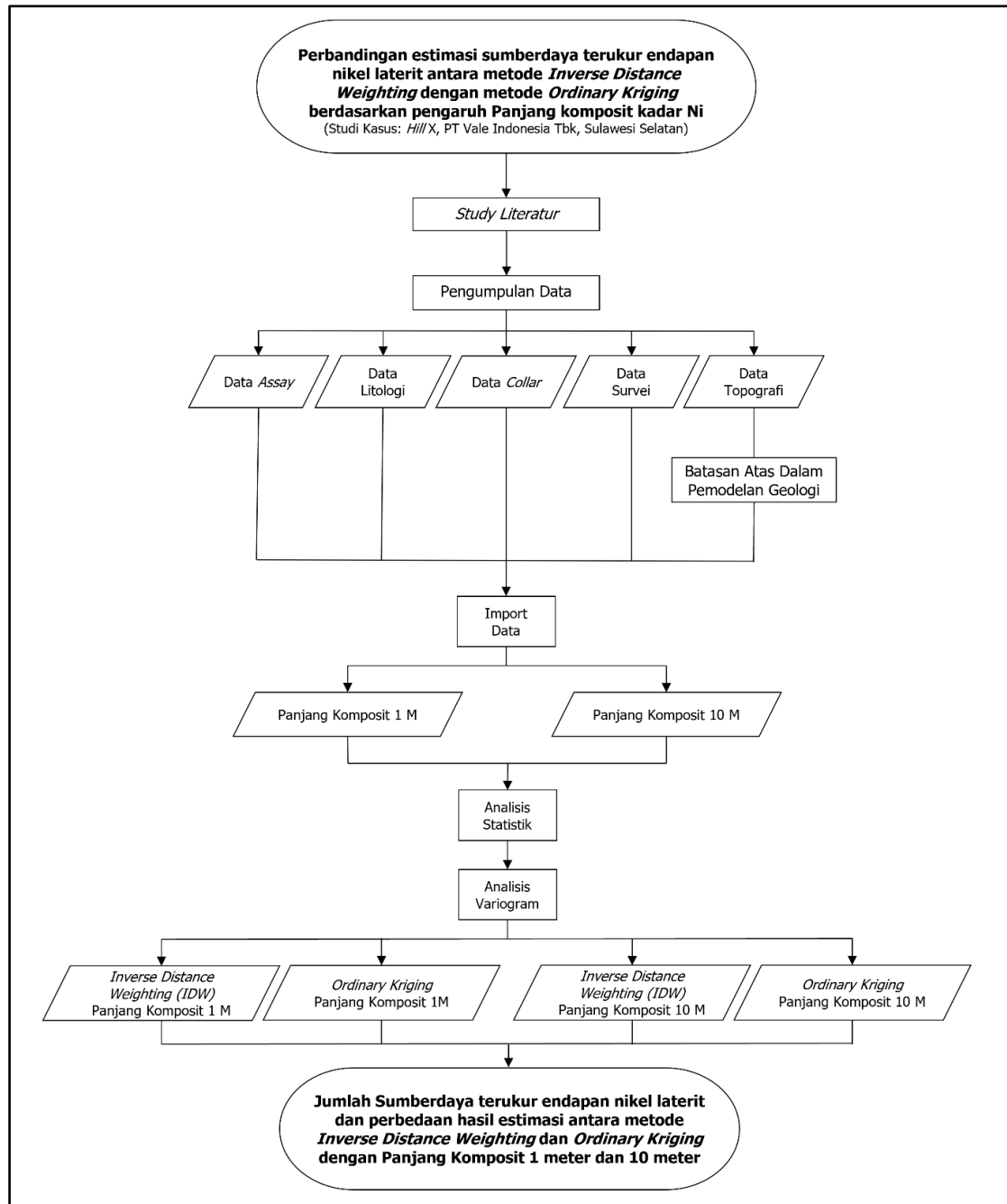
Atribut yang digunakan dalam pembuatan blok model yaitu atribut kadar, densitas, pengelompokan *ore*, *waste*, dan jenis litologi. Densitas yang digunakan dalam pembuatan blok model ini adalah 1,59 ton/m³ (densitas yang digunakan oleh perusahaan) dengan mengelompokkan jenis litologi berdasarkan perlapisan pada endapan nikel laterit yaitu limonit, saprolit, dan *bedrock*. Sedangkan *cut-off grade* yang digunakan adalah 1,5 % Ni. CoG Ni 1,5 % merupakan CoG yang ditetapkan oleh perusahaan yang dianggap masih ekonomis untuk dipasarkan.

3.2.8 Analisis variogram

Analisis variogram dilakukan terhadap data yang telah di analisis statistik. Nilai yang akan diperoleh dari analisis variogram pada data kadar yaitu nilai *range*, *sill*, *nugget*, dan aspek *anisotrophy*. Data yang didapatkan dari hasil analisis variogram tersebut menjadi dasar korelasi spatial dari data kadar yang akan digunakan saat estimasi kadar unsur Ni menggunakan metode *Ordinary kriging*.

3.3 Bagan Alir Penelitian

Alur penelitian terkait perbandingan estimasi sumberdaya terukur endapan nikel laterit antara metode *Inverse Distance Weighting* dengan metode *Ordinary kriging* berdasarkan pengaruh panjang komposit kadar Ni dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Bagan alir penelitian.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Statistik

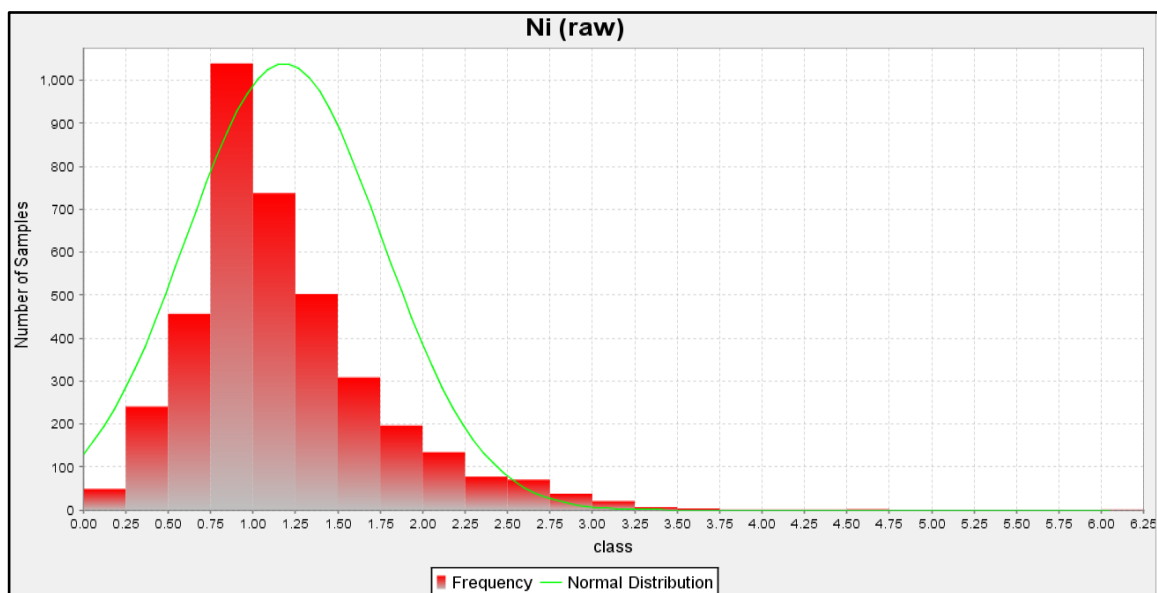
Data *drillhole* pada zona limonit dan zona saprolit yang telah di kompositkan sebelum diolah untuk dilakukan estimasi sumberdaya terlebih dahulu akan dilakukan analisis statistik. Tujuan dilakukannya analisis statistik dari data *drillhole* yang telah di kompositkan yaitu untuk mengetahui distribusi kadar unsur Ni pada penelitian ini menggunakan grafik histogram.

4.1.1 Analisis statistik komposit 1 meter

Pada komposit 1 meter, data kadar Ni yang dianalisis pada zona limonit dan zona saprolit berjumlah 3894 sampel dari 133 titik bor dan diperoleh kadar Ni minimum yaitu 0% dan kadar maksimum yaitu 6,048 % dengan kadar rata - rata Ni yang diperoleh yaitu 1,18 %. Hasil analisis statistik yang diperoleh secara spesifik dapat dilihat pada Tabel 4.1. Data statistik yang diperoleh akan diolah dalam bentuk histogram untuk melihat sebaran data yang dianalisis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.

Tabel 4.1 Data statistik unsur Ni komposit 1 meter.

Parameter	Value
<i>Number of samples</i>	3894
<i>Minimum value (%)</i>	0
<i>Maximum value (%)</i>	6.048
<i>Mean (%)</i>	1.18
<i>Median (%)</i>	1.05
<i>Variance</i>	0.34
<i>Standard deviation</i>	0.58
<i>Coefficient of variation</i>	0.49



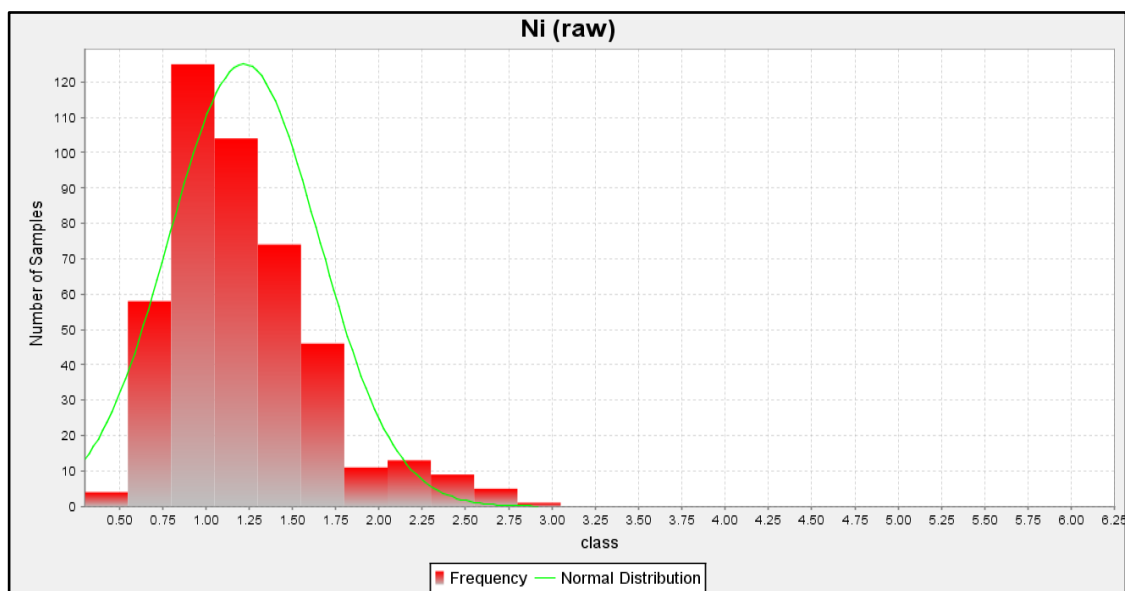
Gambar 4.1 Histogram kadar Ni pada zona limonit dan Saprolit komposit 1 meter.

4.1.2 Analisis statistik komposit 10 meter

Pada komposit 10 meter, data kadar Ni yang dianalisis pada zona limonit dan zona saprolit berjumlah 450 sampel dari 133 titik bor dan diperoleh kadar Ni minimum yaitu 0.3 % dan kadar maksimum yaitu 2.92 % dengan kadar rata – rata Ni yang diperoleh yaitu 1.22%. Hasil analisis statistik yang diperoleh secara spesifik dapat dilihat pada Tabel 4.2. Data statistik yang diperoleh akan diolah dalam bentuk histogram untuk melihat sebaran data yang dianalisis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.

Tabel 4.2 Data statistik unsur Ni komposit 10 meter

Parameter	Value
<i>Number of samples</i>	450
<i>Minimum value (%)</i>	0.3
<i>Maximum value (%)</i>	2.92
<i>Mean (%)</i>	1.22
<i>Median (%)</i>	1.13
<i>Variance</i>	0.19
<i>Standard deviation</i>	0.40
<i>Coefficient of variation</i>	0.35



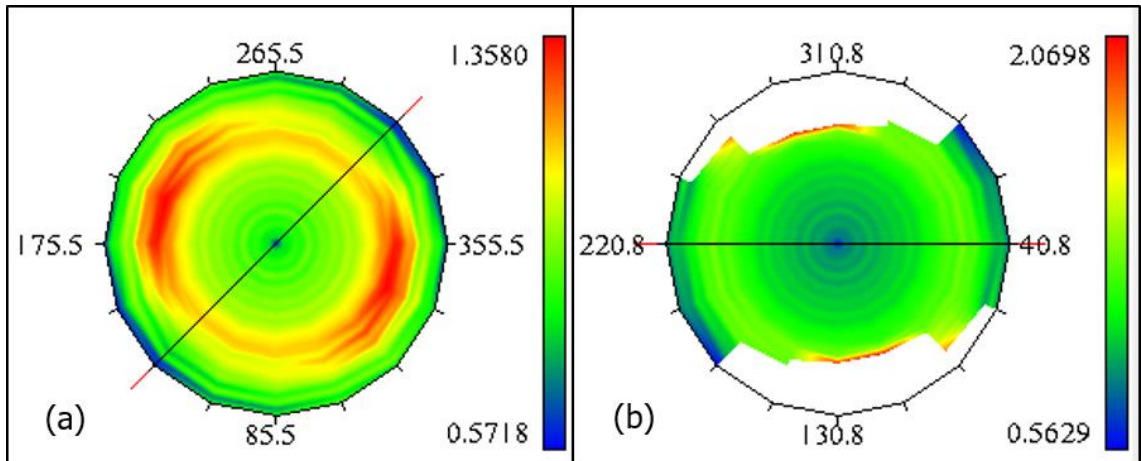
Gambar 4.2 Histogram kadar Ni pada zona limonit dan Saprolit komposit 10 meter.

4.2 Analisis Variogram

Data yang digunakan dalam analisis variogram yaitu data kadar Ni hasil komposit 1 meter dan 10 meter dari zona limonit hingga zona saprolit. Pada pembuatan variogram model terdapat beberapa parameter yang akan diperoleh dari hasil pengolahannya untuk melakukan estimasi menggunakan metode *Ordinary kriging*, yaitu data *sill*, *range*, *nugget*, dan data *anisotropy*.

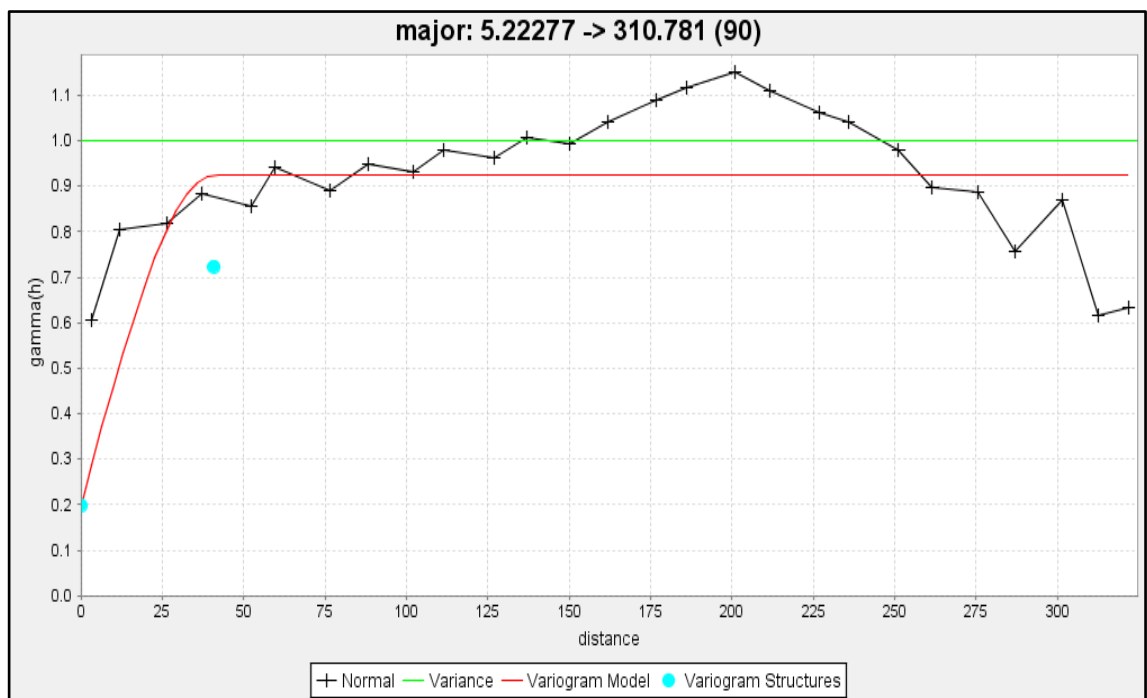
4.2.1 Variogram Model Komposit 1 Meter

Analisis variogram model pada komposit 1 meter dari zona limonit hingga zona saprolit dilakukan menggunakan *omnidirectional variogram* (variogram ke segala arah). Variogram model yang dibuat dibagi menjadi 3, yaitu model variogram untuk sumbu mayor yang digunakan untuk menentukan arah bearing, sumbu semi mayor untuk menentukan arah *plunge* dan sumbu minor untuk menentukan arah *dip*. Arah sebaran yang stasioner dapat diidentifikasi melalui variogram map. Penentuan arah pada variogram map didasarkan pada arah sebaran yang tidak mengandung tren tertentu seperti yang terlihat pada Gambar 4.3.

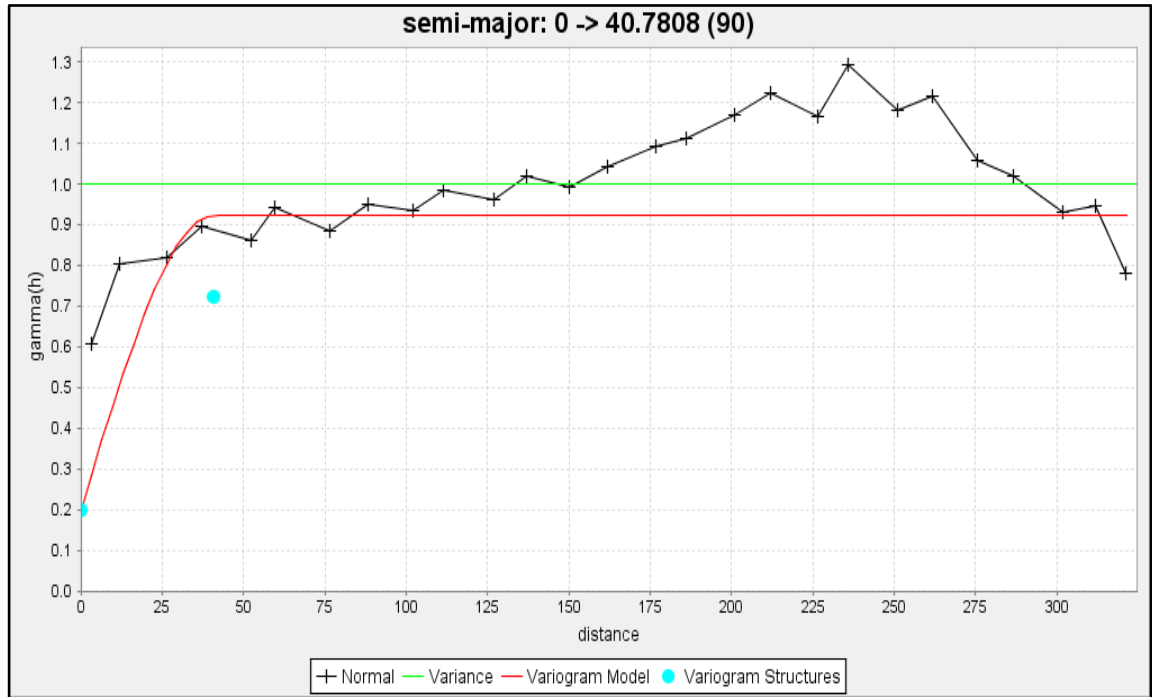


Gambar 4.3 Variogram map kadar Ni zona limonit hingga saprolit komposit 1 Meter (a) Sumbu mayor dan (b) sumbu semi mayor.

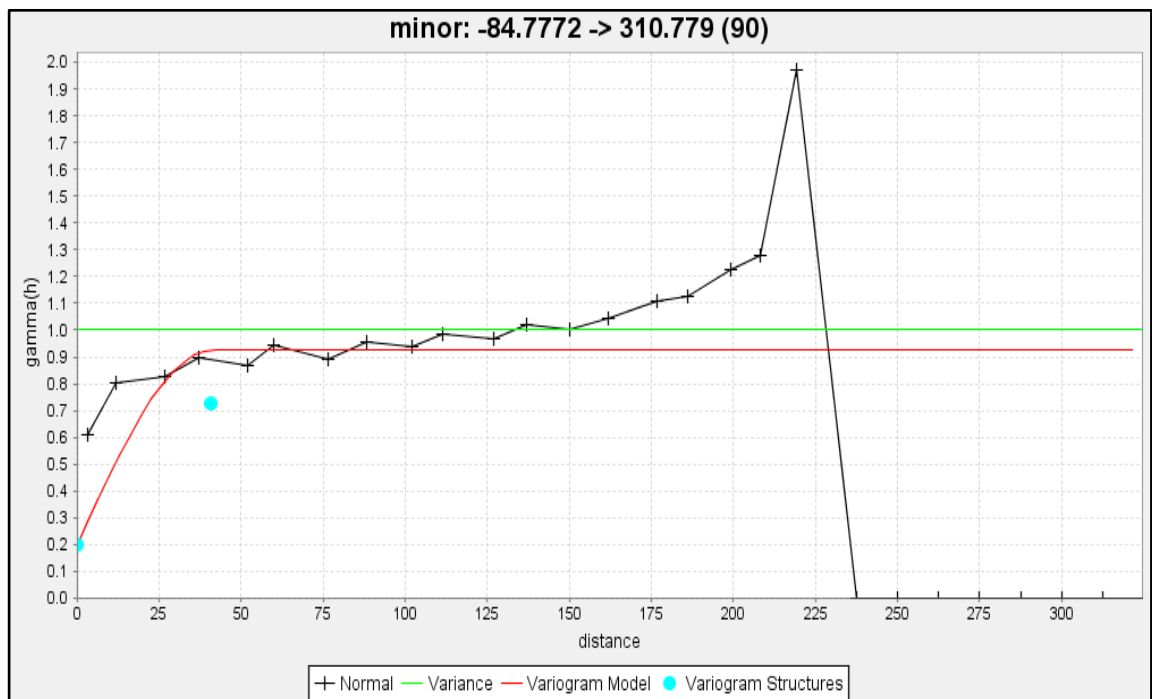
Berdasarkan dari hasil penentuan arah sebaran yang telah diasumsikan pada variogram map kemudian akan dilakukan interpretasi dalam bentuk eksperimental variogram. Pada proses penyesuaian eksperimental variogram dengan variogram model dengan menggunakan bentuk model *spherical* yang mendekati data eksperimental variogram seperti yang terlihat pada Gambar 4.4, Gambar 4.5, dan Gambar 4.6.



Gambar 4.4 Variogram sumbu mayor kadar Ni komposit 1 meter.



Gambar 4.5 Variogram sumbu semi mayor kadar Ni pada komposit 1 meter.



Gambar 4.6 Variogram sumbu minor kadar Ni pada komposit 1 meter.

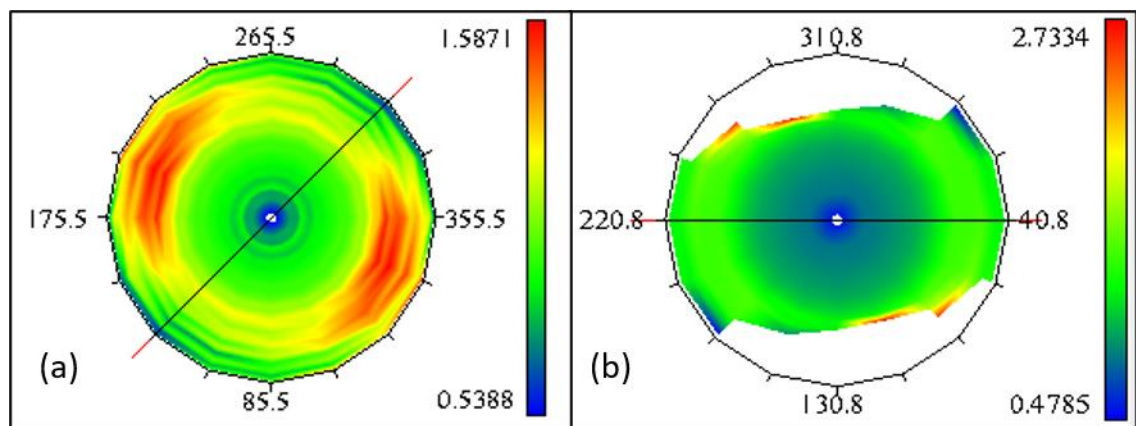
Berdasarkan hasil pemodelan variogram yang dilakukan diperoleh berbagai parameter – parameter yang akan digunakan untuk melakukan estimasi menggunakan metode *Ordinary kriging* yang dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil analisis variogram kadar Ni pada komposit 1 meter.

Parameter	Value
<i>Bearing</i> (°)	311
<i>Plunge</i> (°)	5
<i>Dip</i> (°)	-0
<i>Nugget</i> (h)	0.20
<i>Sill</i> (h)	0.70
<i>Range</i> (m)	44.549
<i>Mayor/Semi-mayor</i>	1.0
<i>Mayor/Minor</i>	1.0

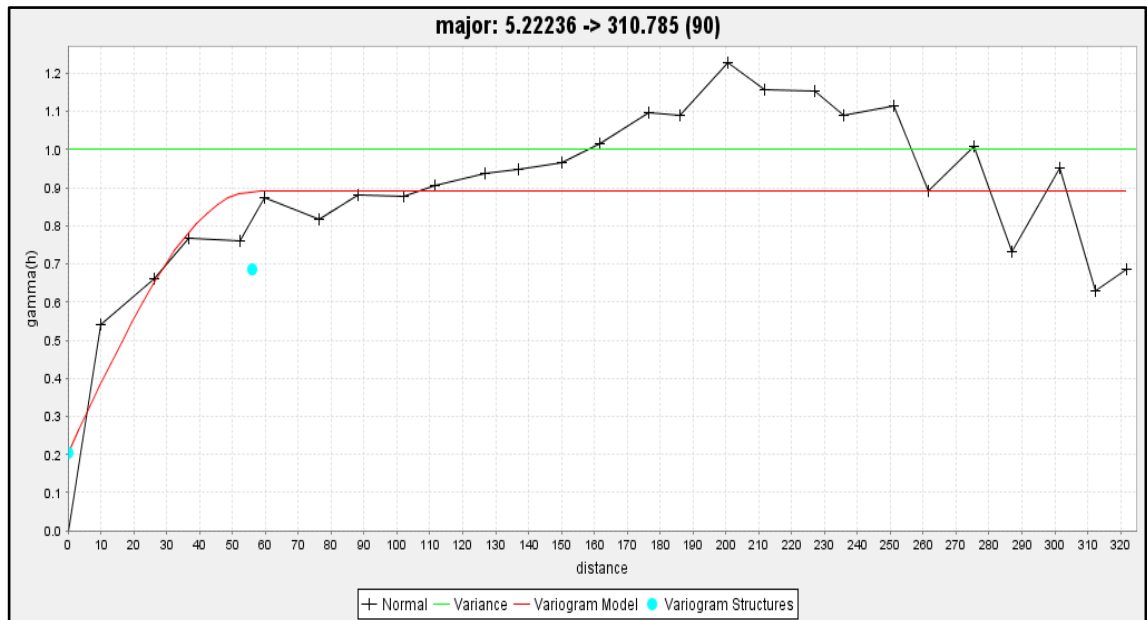
4.2.2 Variogram Model Komposit 10 Meter

Analisis variogram model pada komposit 10 meter dari zona limonit hingga zona saprolit dilakukan menggunakan *omnidirectional variogram* (variogram ke segala arah). Variogram model yang dibuat dibagi menjadi 3, yaitu model variogram untuk sumbu mayor yang digunakan untuk menentukan arah bearing, sumbu semi mayor untuk menentukan arah *plunge* dan sumbu minor untuk menentukan arah *dip*. Arah sebaran yang stasioner dapat diidentifikasi melalui variogram map. Penentuan arah pada variogram map didasarkan pada arah sebaran yang tidak mengandung tren tertentu seperti yang terlihat pada Gambar 4.7.

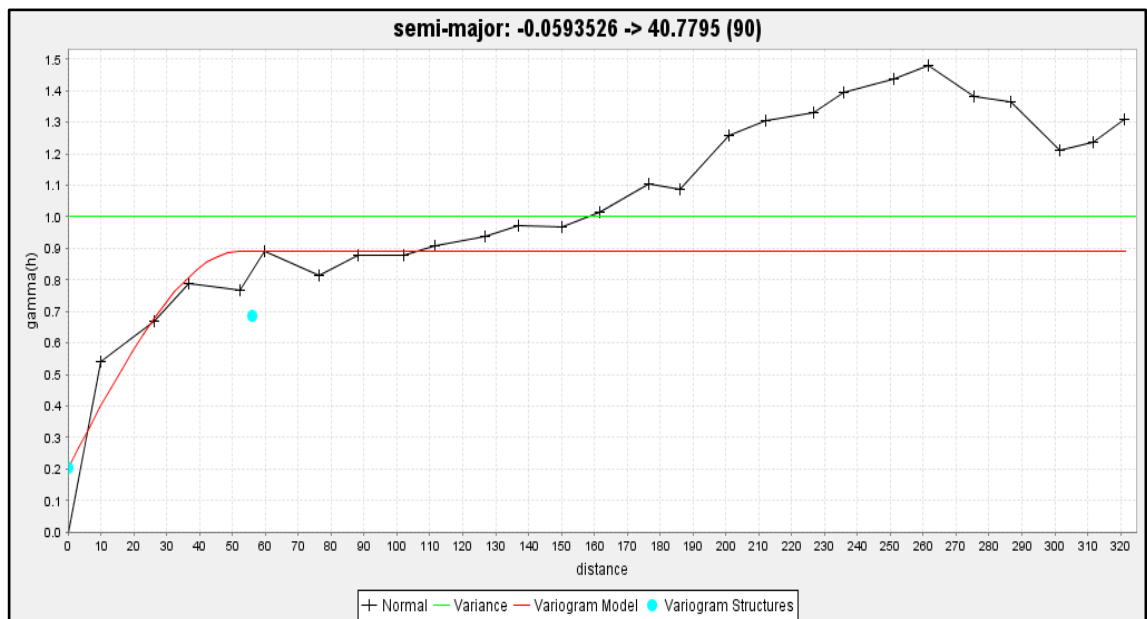


Gambar 4.7 Variogram map kadar Ni zona limonit hingga saprolit komposit 1 meter (a) Sumbu mayor dan (b) sumbu semi mayor.

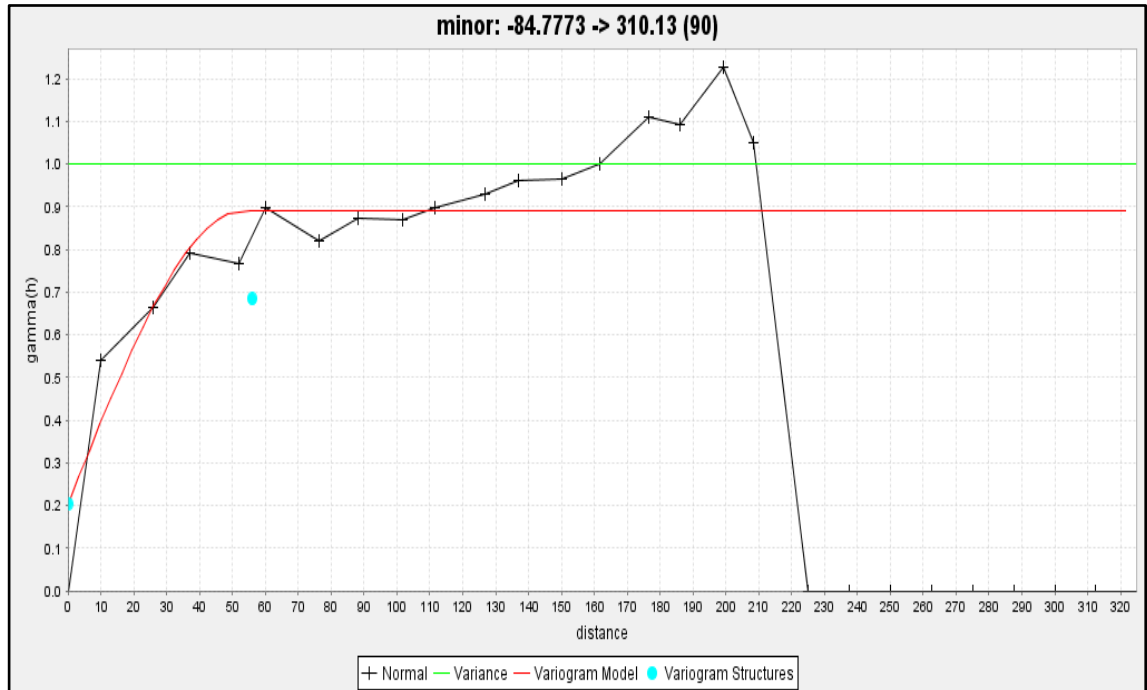
Berdasarkan dari hasil penentuan arah sebaran yang telah diasumsikan pada variogram map kemudian akan dilakukan interpretasi dalam bentuk eksperimental variogram. Pada proses penyesuaian eksperimental variogram dengan variogram model dengan menggunakan bentuk model *spherical* yang mendekati data eksperimental variogram seperti yang terlihat pada Gambar 4.8, Gambar 4.9, dan Gambar 4.10.



Gambar 4.8 Variogram sumbu mayor kadar Ni pada komposit 10 meter.



Gambar 4.9 Variogram sumbu semi mayor kadar Ni pada komposit 10 meter.



Gambar 4.10 Variogram sumbu minor kadar Ni pada komposit 10 meter.

Berdasarkan hasil pemodelan variogram yang dilakukan diperoleh berbagai parameter – parameter yang akan digunakan untuk melakukan estimasi menggunakan metode *Ordinary kriging* yang dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil analisis variogram kadar Ni pada komposit 10 meter.

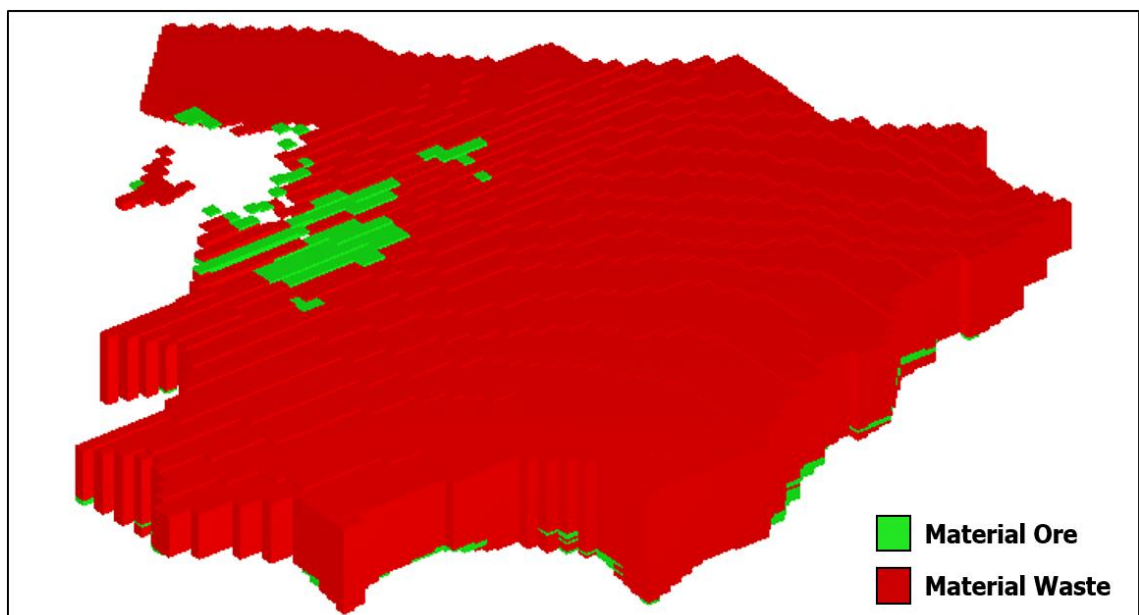
Parameter	Value
<i>Bearing</i> (°)	311
<i>Plunge</i> (°)	5
<i>Dip</i> (°)	-0
<i>Nugget</i> (h)	0.20
<i>Sill</i> (h)	0.69
<i>Range</i> (m)	55.95
<i>Mayor/Semi-mayor</i>	1.07
<i>Mayor/Minor</i>	1.05

4.3 Hasil Estimasi Sumberdaya Menggunakan Komposit 1 Meter

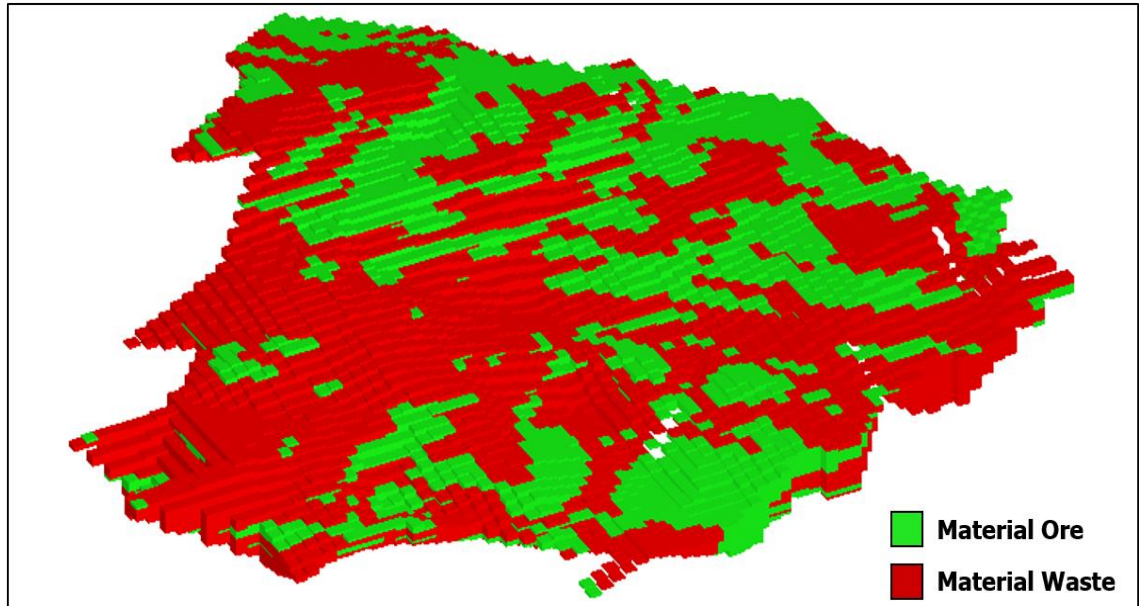
Pada komposit 1 meter dilakukan estimasi sumberdaya dengan menggunakan dua metode yaitu *Inverse Distance Weighting* dan *Ordinary kriging*. Estimasi sumberdaya dilakukan berdasarkan hasil komposit laterit yang digabung dari zona limonit hingga zona saprolit yang telah dibagi menjadi tipe material *ore* dan *waste* dengan menggunakan densitas yaitu 1,59 ton/m³ sesuai dengan densitas yang digunakan oleh perusahaan dalam melakukan estimasi sumberdaya. Ukuran blok yang digunakan dalam proses estimasi ini yaitu 5 x 5 x 1 dengan satuan meter kubik.

4.3.1 Estimasi sumberdaya menggunakan metode *Inverse Distance Weighting*

Hasil estimasi sumberdaya yang dilakukan pada zona limonit hingga zona saprolit menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* yang dibuat dalam bentuk blok yang diklasifikasikan kedalam tipe material *ore* dan *waste* menggunakan parameter nilai kadar berdasarkan *cut of grade* 1,5% yang dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12.



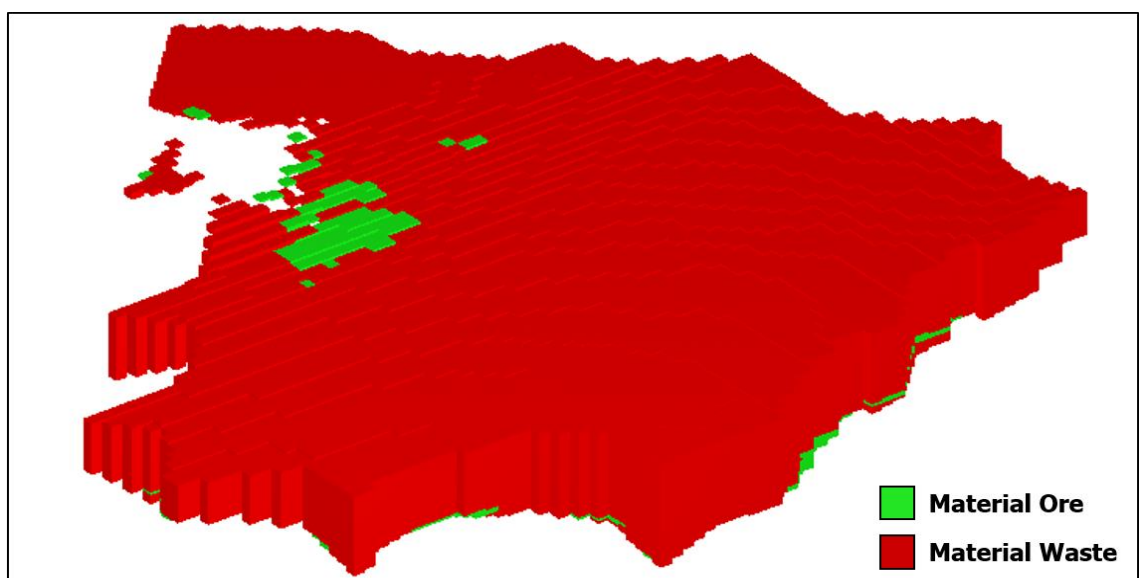
Gambar 4.11 Klasifikasi material *ore* dan *waste* pada zona limonit estimasi sumberdaya menggunakan metode IDW pada komposit 1 meter.



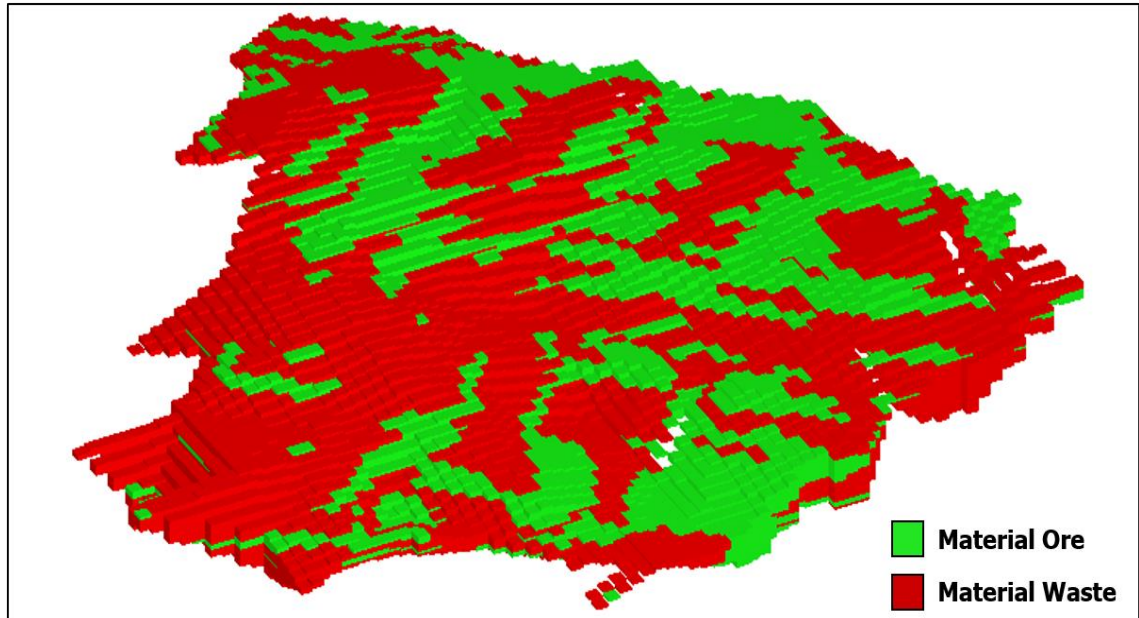
Gambar 4.12 Klasifikasi material *ore* dan *waste* pada zona saprolit estimasi sumberdaya menggunakan metode IDW pada komposit 1 meter.

4.3.2 Estimasi sumberdaya menggunakan metode *Ordinary kriging*

Hasil estimasi sumberdaya yang dilakukan pada zona limonit hingga zona saprolit menggunakan metode *Ordinary kriging* yang dibuat dalam bentuk blok yang diklasifikasikan kedalam tipe material *ore* dan *waste* menggunakan parameter nilai kadar berdasarkan *cut of grade* 1,5% yang dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14.



Gambar 4.13 Klasifikasi material *ore* dan *waste* pada zona limonit estimasi sumberdaya menggunakan metode *Ordinary kriging* pada komposit 1 meter.



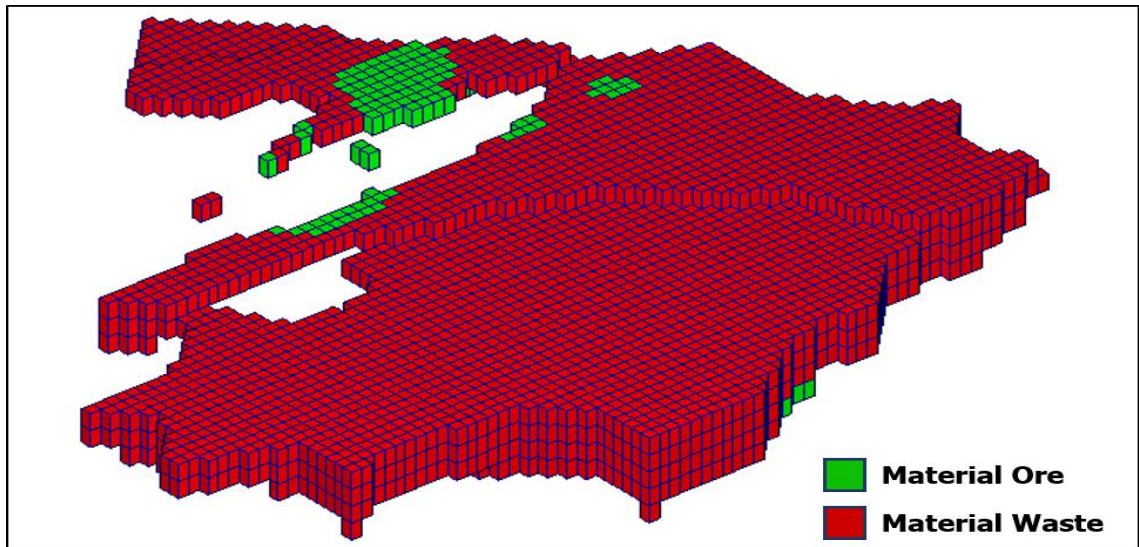
Gambar 4.14 Klasifikasi material *ore* dan *waste* pada zona saprolit estimasi sumberdaya menggunakan metode *Ordinary kriging* pada komposit 1 meter.

4.4 Hasil Estimasi Sumberdaya Menggunakan Komposit 10 Meter

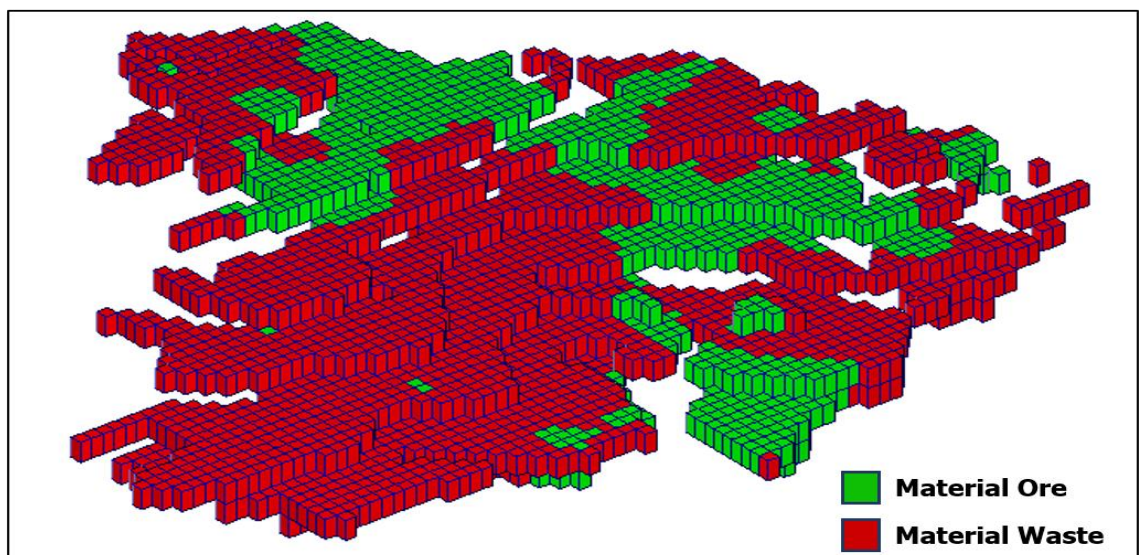
Pada komposit 10 meter dilakukan estimasi sumberdaya dengan menggunakan dua metode yaitu *Inverse Distance Weighting* dan *Ordinary kriging*. Estimasi sumberdaya dilakukan berdasarkan hasil komposit laterit yang digabung dari zona limonit hingga zona saprolit yang telah dibagi menjadi tipe material *ore* dan *waste* dengan menggunakan densitas yaitu $1,59 \text{ ton/m}^3$ sesuai dengan densitas yang digunakan oleh perusahaan dalam melakukan estimasi sumberdaya. Ukuran blok yang digunakan dalam proses estimasi ini yaitu $5 \times 5 \times 10$ dengan satuan meter kubik.

4.4.1 Estimasi sumberdaya menggunakan metode *Inverse Distance Weighting*

Hasil estimasi sumberdaya yang dilakukan pada zona limonit hingga zona saprolit menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* yang dibuat dalam bentuk blok yang diklasifikasikan ke dalam tipe material *ore* dan *waste* menggunakan parameter nilai kadar berdasarkan *cut of grade* 1,5% yang dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16.



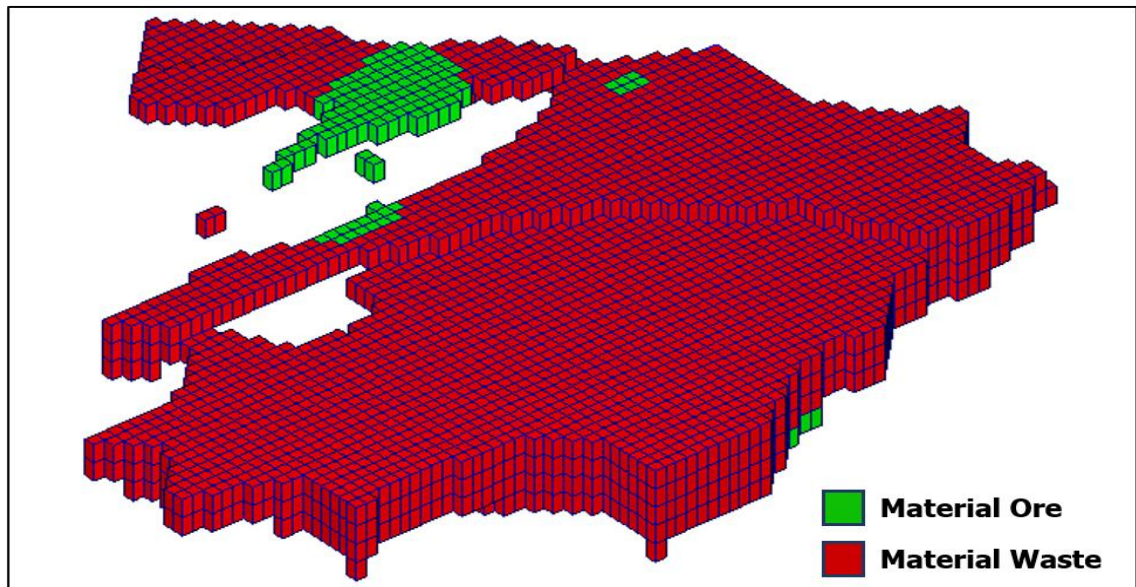
Gambar 4.15 Klasifikasi material *ore* dan *waste* pada zona limonit estimasi sumberdaya menggunakan metode IDW pada komposit 10 meter.



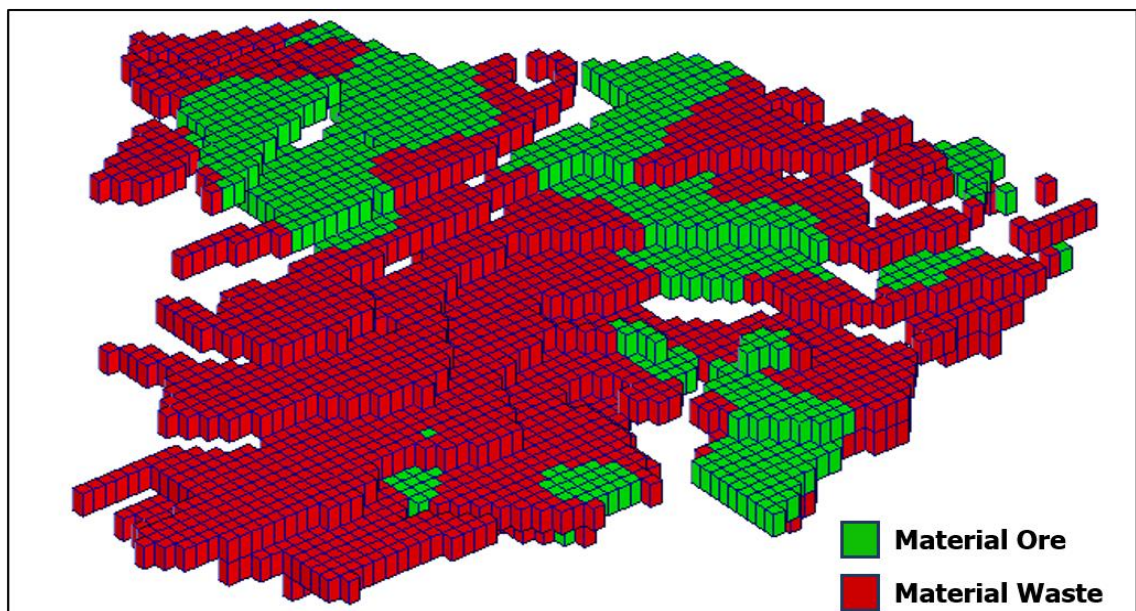
Gambar 4.16 Klasifikasi material *ore* dan *waste* pada zona saprolit estimasi sumberdaya menggunakan metode IDW pada komposit 10 meter.

4.4.2 Estimasi sumberdaya menggunakan metode *Ordinary kriging*

Hasil estimasi sumberdaya yang dilakukan pada zona limonit hingga zona saprolit menggunakan metode *Ordinary kriging* yang dibuat dalam bentuk blok yang diklasifikasikan ke dalam tipe material *ore* dan *waste* menggunakan parameter nilai kadar berdasarkan *cut of grade* 1,5% yang dapat dilihat pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.18.



Gambar 4.17 Klasifikasi material *ore* dan *waste* pada zona limonit estimasi sumberdaya menggunakan metode *Ordinary kriging* pada komposit 10 meter.



Gambar 4.18 Klasifikasi material *ore* dan *waste* pada zona saprolit estimasi sumberdaya menggunakan metode *Ordinary kriging* pada komposit 10 meter.

Berdasarkan bentuk blok model hasil estimasi sumberdaya pada zona limonit dan zona saprolit menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* dan *Ordinary kriging* baik itu pada komposit 1 meter dan 10 meter diperoleh beberapa data seperti volume, tonase dan kadar rata-rata seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Estimasi Sumberdaya

Panjang Komposit	Metode Estimasi	Jenis Material	Jenis Litologi	Tonase (Ton)	Kadar Rata-rata (%)	Striping Ratio
1 Meter	<i>Inverse Distance Weighting</i>	<i>Ore</i>	Limonit	166.553,00	1,71	1 : 4.48
			Saprolit	441.503,00	1,85	
			Total	608.056,00	1,81	
		<i>Waste</i>	Limonit	1.931.055,00	1,04	
			Saprolit	793.052,00	1,12	
			Total	2.724.107,00	1,06	
	<i>Grand Total</i>			3.332.163,00	1,20	
	<i>Ordinary kriging</i>	<i>Ore</i>	Limonit	174.741,00	1,67	1 : 4.53
			Saprolit	427.432,00	1,77	
			Total	602.173,00	1,74	
		<i>Waste</i>	Limonit	1.922.867,00	1,02	
			Saprolit	807.124,00	1,10	
Total			2.729.990,00	1,05		
<i>Grand Total</i>			3.332.163,00	1,17		
10 Meter	<i>Inverse Distance weighting</i>	<i>Ore</i>	Limonit	107.723,00	1,62	1 : 5.97
			Saprolit	367.290,00	1,70	
			Total	475.013,00	1,67	
		<i>Waste</i>	Limonit	1.984.320,00	1,10	
			Saprolit	855.818,00	1,22	
			Total	2.840.138,00	1,13	
	<i>Grand Total</i>			3.315.151,00	1,20	
	<i>Ordinary kriging</i>	<i>Ore</i>	Limonit	106.530,00	1,62	1 : 6.00
			Saprolit	366.893,00	1,67	
			Total	473.423,00	1,66	
		<i>Waste</i>	Limonit	1.985.513,00	1,08	
			Saprolit	856.215,00	1,17	
Total			2.841.728,00	1,11		
<i>Grand Total</i>			3.315.151,00	1,19		

4.5 DISKUSI

Penelitian yang dilakukan pada *Hill X* PT Vale Indonesia Tbk, untuk melakukan estimasi sumberdaya dengan membandingkan hasil estimasi menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* dan *Ordinary kriging* endapan nikel laterit berdasarkan pengaruh pertimbangan panjang komposit 1 meter dan 10 meter dengan tujuan untuk memilih metode estimasi sumberdaya dan penggunaan Panjang komposit yang paling tepat digunakan untuk melakukan estimasi sumberdaya terukur pada *Hill* tersebut agar hasil estimasi yang dilakukan mendapatkan hasil yang baik dan akurat yang sesuai dengan aktual di lapangan.

Dari hasil penelitian didapatkan tonase *ore* pada komposit 1 meter dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* yaitu 608.056,00 ton dengan rata-rata kadar Ni 1,81 % dengan total *waste* 2.724.107,00 ton dengan rata - rata kadar Ni 1,06 % sedangkan pada metode *Ordinary kriging* total tonase *ore* yaitu 602.173,00 ton dengan rata - rata kadar Ni 1,74 % dengan total *waste* 2.729.990,00 ton dengan rata - rata kadar Ni 1,05 % dan pada komposit 10 meter dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* total tonase *ore* yaitu 475.013,00 ton dengan rata-rata kadar Ni 1,67 % dengan total *waste* 2.840.138,00 ton dengan rata-rata kadar Ni 1,13 % sedangkan pada metode *Ordinary kriging* total tonase *ore* yaitu 473.423,00 ton dengan rata-rata kadar Ni 1,66 % dengan total *waste* 2.841.728,00 ton dengan rata-rata kadar Ni 1,11 %.

Berdasarkan perbandingan hasil estimasi sumberdaya menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* dan *Ordinary kriging* dengan pertimbangan panjang komposit 1 meter dan 10 meter menunjukkan bahwa terdapat perbedaan jumlah tonase bijih pada hasil estimasi dengan menggunakan panjang komposit antara 1 meter dan 10 meter dimana jumlah tonase apabila menggunakan panjang komposit 1 meter lebih

banyak dibandingkan komposit per 10 meter. Hal ini disebabkan karena pada komposit 1 meter setiap meteran pada lapisan limonit sampai saprolit masuk pada sampel yang akan diestimasi, sedangkan apabila menggunakan komposit 10 meter hanya pada kelipatan 10 yang tertinggi pada zona limonit sampai saprolit pada lubang bor tersebut yang akan masuk pada sampel yang akan diestimasi, sehingga apabila terdapat meteran pada ujung zona saprolit yang lebih dari kelipatan 10 tertinggi maka tidak masuk pada sampel yang akan diestimasi. Berdasarkan hasil penelitian ini maka panjang komposit yang paling baik digunakan pada estimasi sumberdaya endapan nikel laterit pada daerah penelitian maupun pada daerah yang lainnya yaitu dengan menggunakan panjang komposit 1 meter agar semua meteran pada setiap zona dapat diestimasi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Hasil estimasi sumberdaya terukur endapan nikel laterit pada *Hill X* PT Vale Indonesia Tbk, didapatkan tonase *ore* pada komposit 1 meter dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* yaitu 608.056,00 ton dengan rata-rata kadar Ni 1,81 % sedangkan pada metode *Ordinary kriging* total tonase *ore* yaitu 602.173,00 ton dengan rata-rata kadar Ni 1,74 dan pada komposit 10 meter dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* total tonase *ore* yaitu 475.013,00 ton dengan rata-rata kadar Ni 1,67 % sedangkan pada metode *Ordinary kriging* total tonase *ore* yaitu 473.423,00 ton dengan rata-rata kadar Ni 1,66 %.
2. Berdasarkan perbandingan hasil estimasi sumberdaya terukur endapan nikel laterit pada kedua metode tersebut dengan pertimbangan panjang komposit 1 meter dan 10 meter didapatkan tonase bijih pada komposit 1 meter sebanyak 3.332.163,00 ton sedangkan pada komposit 10 meter di dapatkan tonase material sebanyak 3.315.151,00 ton. Sehingga dapat disimpulkan bahwa panjang komposit 1 meter lebih baik dari panjang komposit 10 meter dikarenakan pada komposit 1 meter semua sampel pada setiap zona masuk pada sampel yang akan diestimasi.

5.2 Saran

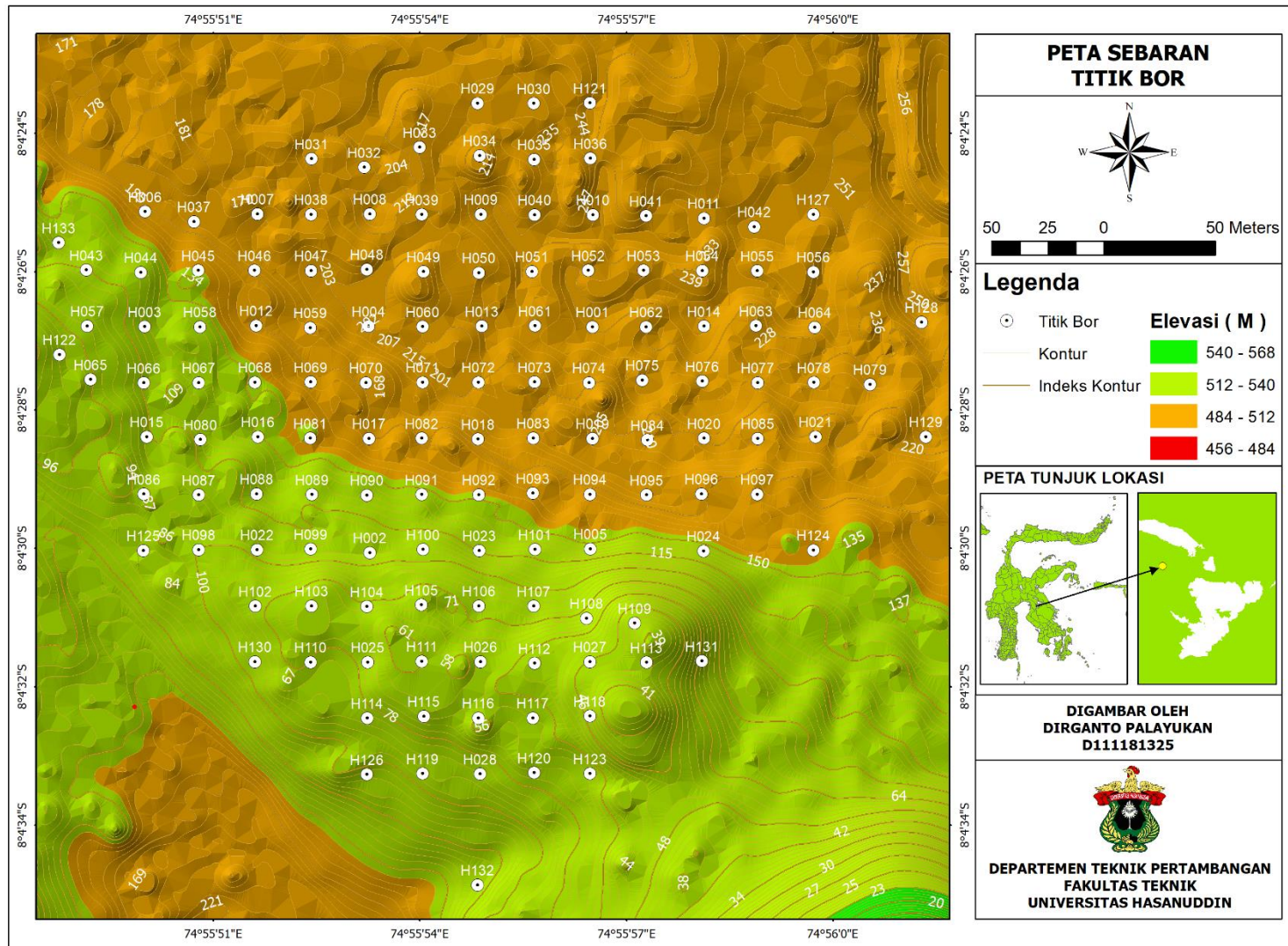
Saran terkait penelitian ini, sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut apabila pada *Hill* tersebut telah selesai dilakukan produksi, dengan membandingkan hasil estimasi yang telah dilakukan pada penelitian ini dengan hasil produksi untuk dapat mengetahui metode estimasi dan panjang komposit yang lebih mendekati dengan hasil produksi sehingga bisa jadi pertimbangan dalam memilih metode estimasi dan panjang komposit yang akan digunakan ke depannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Annels, A, E, 1991. *Mineral Deposit Evaluation: A Practical Approach*. Chapman & Hall: London.
- Arif, I. 2018. *Nikel Indonesia*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Bohling, G., 2005. *Introduction To Geostatistics and Variogram Analysis*. Kansas Geology Survey.
- Burger, P. A., 1996. *Origins and Characteristic of Lateritic Deposits*. Proseding nickel'96 PP 179 – 183 the australisian institute of mining and metallurgy. Meulbourne.
- Cahit, H., Selahattin, K., Necip G, Tolga Q, Ibrahim G, Hasan S, Osman P., 2017. *Mineralogy and genesis of the lateritic regolith related Ni-Co deposit of the Çaldağ area (Manisa, western Anatolia), Turkey*. Canadian Journal of Earth Science.
- Cressie, N, A, C, 1990, *The Origins of Kriging, Mathematical Geology*.
- Cressie, N, A, C, 1993, *Statistics For Spatial Data*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Dominy, S. Noppe, M.A., Annels, A. E., 2002. *Errors and Uncertainty in Mineral Resource and Ore Reserve Estimation: The Importance of Getting it Right*. Expl. Mining Geol., Vol. 11, Nos. 1-4, pp. 77–98.
- Freyssinet, P., Butt, C.R.M., Morris, R.C. and Piantone, P., 2005. *Ore-forming processes related to lateritic weathering*, Economic Geology 100th Anniversary Volume, p. 681-722.
- Golightly, J., P 1979. *Nickeliferous Laterite: a General Description*. International Laterite Symposium proceeding, New Orleans (pp. 1-23).
- Golightly, J. P., 1981. *Nickeliferous Laterite Deposits. Economic Geology (75th Anniv.)*, pp. 710-735.
- Goovaerts, P., 1997. *Geostatistical for Natural Resources, (Applied Geostatistics Series)*, Oxford University, press: New York.
- Idrus, A., Titisari, A., D., Wardana, I., W., dan Setijadji, L., D., 2007. *Diktat Mata Kuliah Eksplorasi Sumberdaya Mineral*. UGM: Yogyakarta
- Isaaks, E., H., and Srivastava, R., M., 1989. *Applied Geostatistics*, New York: Oxford University Press, P. 143.
- KCMI, 2017, *Kode Pelaporan Hasil Eksplorasi, Sumberdaya Mineral dan Cadangan Bijih*, Jakarta, Hal. 10-16.

- Kurniadi, A., Rosana, F. M., Yuningsih, T. E., Pambudi, L., 2017. Karakteristik Batuan Asal Pembentukan Endapan Nikel Laterit Di Daerah Madang dan Serakaman Tengah. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 1(2).
- Largueche, F.Z.B. 2006. Estimating Soil Contamination with Kriging Interpolation Method. *American Journal of Applied Sciences*: Vol.3, No. 6. Hal:1894-1898.
- Macpherson, C. G. & Hall, R., 2002. *Timing and Tectonic Controls in the Evolving Orogen of SE Asia and the Western Pacific and Some Implications for Ore Generations*. London, Geological Society Of London Special Publications. XXX.
- Micromine, 2014, Micromine version (2018,. In: Micromine, ed, *Geostatistics and Kriging*, Perth: 2014, p. 24, 25, 37.
- NCGIA, 2007. Interpolation Inverse Distance Weighting. <http://www.ncgia.edu/pubs/spheric/Inverse.html/>
- Philip, G. M. and D. F. Watson 1985. *Some limitations in the geostatistical evaluation of ore deposits*. *Int. J. Min. Engng.*, 3, 155.
- Pramono, GH, 2008, Akurasi Metode IDW dan Kriging Untuk Interpolasi Sebaran Nikel Laterit.
- Salinita, S., & Nugroho, A. 2014. Pemodelan Bijih Nikel Laterit Untuk Estimasi Cadangan Pada PT Anugerah Tompira Nikel Di Daerah Masama, Kabupaten Banggai. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 10(2), 54-68.
- Suratman, 2000. Geology and Nickel Laterit Weathering Deposit in The South East Arm of Sulawesi. *Berita Sedimentologi* edisi 14/11/2000. Jakarta.
- Sundari dan Woro., 2012. Analisis Data Eksplorasi Bijih Nikel Laterit Untuk Estimasi Cadangan dan Perancangan PIT pada PT Timah Eksplorasi Di Desa Baliara Kecamatan Kabaena Barat Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara, Universitas Nusa Cendana: Kupang.
- Tonggiroh, A., Mustafa, M., Suharto, 2012. Analisis Pelapukan Serpentin dan Endapan Nikel Laterit Daerah Pallangga Kabupaten Palangga Sulawesi Tenggara.

LAMPIRAN



Lampiran B (Data Collar)

No	Hole ID	Y (meter)	X (meter)	Z (meter)	Depth (meter)
1	H001	6974.878	8451.054	506.0011	49
2	H002	6873.847	8351.438	517.3191	19
3	H003	6974.975	8250.755	514.5362	18
4	H004	6975.111	8350.819	508.5826	47
5	H005	6875.545	8450.223	513.8341	12
6	H006	7026.374	8250.777	511.5947	46
7	H007	7025.345	8301.149	510.1774	43
8	H008	7025.364	8351.47	508.3357	50
9	H009	7025.147	8401.124	506.4553	48
10	H010	7024.983	8451.339	505.4367	48
11	H011	7023.467	8501.145	504.6071	40
12	H012	6975.378	8300.527	510.825	36
13	H013	6975.087	8401.598	507.4439	58
14	H014	6975.153	8501.031	505.2616	39
15	H015	6925.688	8251.6	516.2101	17
16	H016	6925.701	8301.421	513.7539	44
17	H017	6924.882	8351.11	511.3183	44
18	H018	6924.667	8399.922	509.7606	49
19	H019	6924.941	8451.184	509.0247	24
20	H020	6925	8500.986	508.3701	25
21	H021	6925.709	8550.889	508.3322	32
22	H022	6875.174	8301.012	517.7677	25
23	H023	6874.806	8400.477	515.4519	21
24	H024	6874.648	8500.773	514.1278	17
25	H025	6824.845	8350.507	522.2311	21
26	H026	6825.042	8401.068	523.0831	11
27	H027	6825.05	8450.02	526.5926	16
28	H028	6774.907	8400.741	520.7885	25
29	H029	7074.841	8399.679	506.4907	49
30	H030	7074.756	8424.87	506.3843	42
31	H031	7050.017	8325.294	508.8766	55
32	H032	7046.251	8349.041	508.9348	57
33	H033	7055.205	8373.816	507.113	62
34	H034	7051.454	8400.594	506.6063	48
35	H035	7049.738	8425.024	507.1313	47
36	H036	7050.169	8450.155	506.143	43.5
37	H037	7021.955	8272.791	511.1588	63
38	H038	7025.138	8325.198	509.002	61
39	H039	7025.009	8374.666	507.1896	61
40	H040	7024.944	8425.16	506.5625	44
41	H041	7024.458	8475.092	505.1254	46
42	H042	7019.655	8523.486	504.1707	38
43	H043	7000.269	8224.643	515.0441	16

No	Hole ID	Y (meter)	X (meter)	Z (meter)	Depth (meter)
44	H044	6999.199	8248.918	514.1822	31
45	H045	7000.112	8274.746	512.4002	52
46	H046	7000.14	8299.765	510.2038	31
47	H047	6999.988	8325.168	509.0689	55
48	H048	7000.526	8350.184	508.2266	49
49	H049	6999.555	8375.39	507.5287	39
50	H050	6999.044	8400.282	507.0982	48
51	H051	6999.661	8424.155	506.1751	62
52	H052	7000.13	8449.159	505.4541	47
53	H053	7000.064	8474.065	505.0217	49
54	H054	7000.024	8500.217	504.5984	53
55	H055	6999.928	8524.944	504.5127	51
56	H056	6999.413	8550.044	504.4679	47
57	H057	6975.273	8224.881	517.4436	45
58	H058	6974.812	8275.441	513.6214	25
59	H059	6974.453	8324.718	510.0441	43
60	H060	6974.93	8375.131	508.335	53
61	H061	6975.363	8425.458	506.8295	55
62	H062	6974.813	8475.085	505.519	50
63	H063	6975.362	8524.286	505.2427	43
64	H064	6974.64	8550.553	504.6699	40
65	H065	6951.322	8226.434	518.0856	37
66	H066	6949.744	8250.32	515.5888	26
67	H067	6949.923	8274.881	514.3313	31
68	H068	6950.079	8299.993	512.7836	34
69	H069	6950.124	8324.953	511.426	44
70	H070	6949.88	8349.821	509.9114	37
71	H071	6950.068	8375.049	508.9581	61
72	H072	6950.038	8399.994	508.5229	43
73	H073	6950.215	8425.278	508.1078	45
74	H074	6949.856	8449.573	507.3885	40
75	H075	6951.072	8473.466	506.9838	43
76	H076	6950.546	8500.257	506.4465	47
77	H077	6949.91	8525.008	506.5096	29
78	H078	6949.942	8550.157	506.3966	41
79	H079	6949.081	8575.462	506.0464	50
80	H080	6924.472	8275.676	515.192	23
81	H081	6925.012	8324.836	512.7933	39
82	H082	6924.997	8374.685	510.8161	43
83	H083	6925.078	8424.71	509.5091	55.5
84	H084	6924.253	8475.666	508.5236	20
85	H085	6924.926	8524.984	508.3844	27
86	H086	6900.047	8250.255	517.6772	30
87	H087	6899.681	8274.876	516.8487	22
88	H088	6900.184	8300.763	514.9173	45
89	H089	6899.861	8325.598	514.3376	33

No	Hole ID	Y (meter)	X (meter)	Z (meter)	Depth (meter)
90	H090	6899.616	8350.057	513.042	45
91	H091	6899.873	8374.756	512.4645	32
92	H092	6899.749	8400.274	512.2235	35
93	H093	6900.44	8424.496	511.752	23
94	H094	6899.925	8449.956	510.6225	34
95	H095	6899.686	8475.273	510.3481	21
89	H089	6899.861	8325.598	514.3376	33
90	H090	6899.616	8350.057	513.042	45
91	H091	6899.873	8374.756	512.4645	32
92	H092	6899.749	8400.274	512.2235	35
93	H093	6900.44	8424.496	511.752	23
94	H094	6899.925	8449.956	510.6225	34
95	H095	6899.686	8475.273	510.3481	21
96	H096	6900.132	8499.822	510.7688	17
97	H097	6899.93	8524.795	510.8655	29
98	H098	6875.148	8274.892	518.654	30
99	H099	6875.46	8325.004	517.3083	18
100	H100	6875.294	8375.264	516.7253	13
101	H101	6875.264	8425.377	514.2352	22
102	H102	6849.984	8300.142	521.0525	29
103	H103	6850.007	8325.351	521.9644	15
104	H104	6849.715	8350.229	520.9115	19
105	H105	6850.551	8374.502	521.0188	32
106	H106	6850.003	8400.227	520.176	19
107	H107	6849.89	8424.891	519.045	17
108	H108	6844.546	8448.429	522.1589	24
109	H109	6842.361	8470.058	526.7831	12
110	H110	6824.839	8324.888	521.2459	21
111	H111	6825.28	8374.684	523.3965	23
112	H112	6824.36	8425.237	524.4882	14
113	H113	6824.746	8475.274	527.2183	16
110	H110	6824.839	8324.888	521.2459	21
111	H111	6825.28	8374.684	523.3965	23
112	H112	6824.36	8425.237	524.4882	14
113	H113	6824.746	8475.274	527.2183	16
114	H114	6799.843	8350.321	520.6804	28
115	H115	6800.721	8375.578	522.8762	22
116	H116	6799.879	8400.065	522.9705	25
117	H117	6799.928	8424.494	523.3113	15
118	H118	6800.785	8449.991	527.8117	12
119	H119	6775.063	8375.186	519.9447	25
120	H120	6775.435	8425.049	522.2924	21
121	H121	7074.975	8449.977	505.543	50
122	H122	6962.5	8212.496	515.654	21
123	H123	6775.008	8450.033	523.494	8
124	H124	6875.029	8549.981	513.483	30

No	Hole ID	Y (meter)	X (meter)	Z (meter)	Depth (meter)
125	H125	6874.852	8250.049	517.763	23
126	H126	6774.713	8350.084	518.237	26.5
127	H127	7025.182	8550.077	503.785	38
121	H121	7074.975	8449.977	505.543	50
122	H122	6962.5	8212.496	515.654	21
123	H123	6775.008	8450.033	523.494	8
124	H124	6875.029	8549.981	513.483	30
125	H125	6874.852	8250.049	517.763	23
126	H126	6774.713	8350.084	518.237	26.5
127	H127	7025.182	8550.077	503.785	38
128	H128	6976.97	8598.356	504.111	23.5
129	H129	6925.723	8600.268	508.215	24
130	H130	6825.084	8300.031	520.257	20
131	H131	6825.318	8500.173	523.236	7
132	H132	6725.26	8399.584	515.978	24.6
133	H133	7012.47	8212.211	510.411	29
128	H128	6976.97	8598.356	504.111	23.5
129	H129	6925.723	8600.268	508.215	24
130	H130	6825.084	8300.031	520.257	20
131	H131	6825.318	8500.173	523.236	7
132	H132	6725.26	8399.584	515.978	24.6
133	H133	7012.47	8212.211	510.411	29
128	H128	6976.97	8598.356	504.111	23.5
129	H129	6925.723	8600.268	508.215	24
130	H130	6825.084	8300.031	520.257	20
131	H131	6825.318	8500.173	523.236	7
132	H132	6725.26	8399.584	515.978	24.6
133	H133	7012.47	8212.211	510.411	29

Lampiran C (Contoh Data Assay)

No	Hole ID	From (Meter)	To (Meter)	Interval (Meter)	Lithology	Ni (%)	Co (%)	Fe (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
1	H001	0	1	1.00	LIM	1.07	0.1	52.56	4.47	1.09
2	H001	1	2	1.00	LIM	1.21	0.091	51.75	3.77	0.96
3	H001	2	3	1.00	LIM	0.75	0.059	41.14	20.39	1.16
4	H001	3	4	1.00	LIM	1.07	0.044	52.55	4.5	0.92
5	H001	4	5	1.00	LIM	0.98	0.027	52.94	3.02	0.92
6	H001	5	6	1.00	LIM	0.94	0.034	50.62	7.16	0.85
7	H001	6	7	1.00	LIM	0.95	0.028	52.02	4.64	0.88
8	H001	7	8	1.00	LIM	0.93	0.029	52.7	3.38	1.05
9	H001	8	9	1.00	LIM	0.88	0.016	51.56	4.08	1.01
10	H001	9	10	1.00	LIM	0.89	0.014	51.29	3.33	0.91
11	H001	10	11	1.00	LIM	0.97	0.017	51.26	2.81	0.96
12	H001	11	12	1.00	LIM	1.01	0.021	51.43	3.22	0.95
13	H001	12	13	1.00	LIM	1.03	0.033	50.78	4.31	0.97
14	H001	13	14	1.00	LIM	1	0.084	51.98	2.63	1.03
15	H001	14	15	1.00	LIM	0.98	0.097	51.48	2.75	1.15
16	H001	15	16	1.00	LIM	1.34	0.153	50.72	3.55	1.46
17	H001	16	17	1.00	LIM	1.49	0.119	50.41	4.01	1.62
18	H001	17	18	1.00	LIM	1.35	0.233	46.22	8.41	3.97
19	H001	18	19	1.00	LIM	1.59	0.202	39.05	18.29	7.33
20	H001	19	19.27	0.27	SAP	0.95	0.099	22.5	32	24.34
21	H001	19.27	20	0.73	SAP	1.63	0.035	16.6	44.73	18.26
22	H001	20	21	1.00	SAP	1.54	0.042	19.4	44.73	14.69
23	H001	21	22	1.00	SAP	1.48	0.035	16.34	48.27	17.15
24	H001	22	23	1.00	SAP	0.66	0.018	6.97	68.87	16.28
25	H001	23	24	1.00	SAP	0.98	0.019	7.06	74.99	7.02
26	H001	24	24.71	0.71	SAP	1.51	0.02	9.04	53.37	21.09
27	H001	24.71	25	0.29	SAP	0.38	0.011	5.12	43.67	36.81
28	H001	25	26	1.00	SAP	0.24	0.012	5.89	42.46	40.51
29	H001	26	27	1.00	SAP	0.46	0.013	6.33	47.63	37.06
30	H001	27	28	1.00	SAP	0.35	0.014	6.53	44.27	40.84
31	H001	28	29	1.00	SAP	0.26	0.013	6.31	43.92	43.07
32	H001	29	29.74	0.74	SAP	0.26	0.013	6.46	43.83	42.36
33	H001	29.74	30	0.26	SAP	1.17	0.037	18.06	39.24	22.79
34	H001	30	31	1.00	SAP	1.03	0.036	17.44	40.43	22.2
35	H001	31	32	1.00	SAP	0.49	0.015	7.02	45.75	40.01
36	H001	32	33	1.00	SAP	1.25	0.035	20.02	36.85	19.73
37	H001	33	34	1.00	SAP	1.39	0.048	21.46	36.39	18.4
38	H001	34	35	1.00	SAP	1.09	0.033	21.36	46.31	12.26
39	H001	35	36	1.00	SAP	0.35	0.015	7.02	47.54	39.35
40	H001	36	37	1.00	SAP	0.31	0.015	6.63	43.33	45.06
41	H001	37	38	1.00	SAP	0.31	0.015	6.91	45.5	42.74
42	H001	38	39	1.00	SAP	0.41	0.015	7.1	62.21	22.78
43	H001	39	40	1.00	SAP	0.35	0.016	7.56	45	41.57

No	Hole ID	From (Meter)	To (Meter)	Interval (Meter)	Lithology	Ni (%)	Co (%)	Fe (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
44	H001	40	40.74	0.74	SAP	0.33	0.016	6.88	42.9	45.3
45	H001	40.74	41	0.26	SAP	1.22	0.045	14.39	58.12	9.76
46	H001	41	42	1.00	SAP	1.49	0.042	22.64	41.37	12.3
47	H001	42	43	1.00	BRK	0.62	0.02	8.94	69.39	10.69
48	H001	43	44	1.00	BRK	0.52	0.02	7.77	48.37	33.07
49	H001	44	45	1.00	BRK	0.41	0.017	6.75	49.61	35.4
50	H001	45	46	1.00	BRK	0.35	0.016	7.38	49.94	33.99
51	H001	46	47	1.00	BRK	0.4	0.017	7.82	43.81	41.17
52	H001	47	48	1.00	BRK	0.65	0.027	10.24	45.68	32.21
53	H001	48	49	1.00	BRK	0.43	0.021	8.45	43.9	39.98
54	H002	0	1	1.00	LIM	1.11	0.068	50.25	3.64	0.86
55	H002	1	2	1.00	LIM	1.22	0.127	51.56	2.32	0.87
56	H002	2	3	1.00	LIM	1.16	0.118	53.95	2.29	0.95
57	H002	3	4	1.00	LIM	1.14	0.123	55.26	2.56	0.86
58	H002	4	5	1.00	LIM	1.11	0.136	54.01	2.67	1.06
59	H002	5	6	1.00	LIM	1.6	0.399	49.55	3.55	1.35
60	H002	6	6.29	0.29	LIM	1.89	0.539	47.91	5.6	2.55
61	H002	6.29	6.53	0.24	SAP	0.98	0.079	12.81	39.85	35.89
62	H002	6.53	7	0.47	SAP	2.55	0.174	23.66	31.45	18.9
63	H002	7	8	1.00	SAP	2.56	0.172	34.7	21.75	8.73
64	H002	8	8.15	0.15	SAP	1.46	0.145	32.44	24.48	12.8
65	H002	8.15	8.58	0.43	SAP	1.17	0.065	7.41	45.75	37.98
66	H002	8.58	9	0.42	SAP	2.05	0.137	15.86	39.86	22.36
67	H002	9	10	1.00	SAP	2.04	0.141	15.94	39.13	21.44
68	H002	10	11	1.00	SAP	1.74	0.101	14.23	42.38	24.09
69	H002	11	12	1.00	SAP	1.76	0.098	16.67	39.6	23.15
70	H002	12	13	1.00	SAP	1.62	0.113	23.08	34.18	15.63
71	H002	13	13.49	0.49	SAP	1.27	0.08	18.01	37.81	24.02
72	H002	13.49	13.72	0.23	SAP	0.54	0.027	8.79	43.97	38.73
73	H002	13.72	14	0.28	SAP	1.13	0.05	12.93	41.34	30.57
74	H002	14	15	1.00	BRK	0.34	0.015	6.83	45.42	42.66
75	H002	15	16	1.00	BRK	0.44	0.014	6.76	45.7	41
76	H002	16	17	1.00	BRK	0.63	0.015	6.58	46.94	38.13
77	H002	17	18	1.00	BRK	0.36	0.014	6.55	46.82	40.41
78	H002	18	19	1.00	BRK	0.42	0.013	6.19	46.43	38.56
79	H003	0	1	1.00	LIM	1.16	0.037	52.52	1.9	0.8
80	H003	1	2	1.00	LIM	1.3	0.065	54.24	1.6	0.78
81	H003	2	3	1.00	LIM	1.4	0.054	53.87	1.56	0.76
82	H003	3	4	1.00	LIM	1.33	0.05	55.27	1.6	0.8
83	H003	4	5	1.00	LIM	1.38	0.043	54.43	1.64	0.85
84	H003	5	6	1.00	LIM	1.58	0.039	54.25	2.4	0.76
85	H003	6	7	1.00	LIM	1.64	0.049	53.41	2	0.85
86	H003	7	8	1.00	LIM	1.59	0.043	53.55	2.51	0.88
87	H003	8	9	1.00	LIM	1.66	0.256	52.28	2.31	1.13
88	H003	9	10	1.00	LIM	1.25	0.055	56.03	2.04	0.82

No	Hole ID	From (Meter)	To (Meter)	Interval (Meter)	Lithology	Ni (%)	Co (%)	Fe (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
89	H003	10	11	1.00	LIM	1.33	0.294	51.03	3.66	1.58
90	H003	11	11.28	0.28	SAP	0.78	0.029	12.24	42.43	32.29
91	H003	11.28	11.5	0.22	BRK	0.47	0.016	8.3	42.95	39.32
92	H003	11.5	12	0.50	BRK	0.47	0.018	8.23	45.3	37.45
93	H003	12	13	1.00	BRK	0.29	0.014	6.44	42.96	43.43
94	H003	13	14	1.00	BRK	0.27	0.014	6.56	42.87	44.32
95	H003	14	15	1.00	BRK	0.25	0.013	6.37	44.48	41.71
96	H003	15	16	1.00	BRK	0.24	0.013	6.23	44.53	42.39
97	H003	16	17	1.00	BRK	0.27	0.014	6.41	43.16	45.55
98	H003	17	18	1.00	BRK	0.27	0.014	6.23	43.08	45.83
99	H004	0	1	1.00	LIM	0.93	0.025	50.92	5.11	1.52
100	H004	1	2	1.00	LIM	1	0.032	53.06	2.01	0.86
101	H004	2	3	1.00	LIM	0.94	0.021	55.12	1.97	0.8
102	H004	3	4	1.00	LIM	0.9	0.018	53.55	1.7	0.84
103	H004	4	5	1.00	LIM	0.77	0.015	52.21	1.61	0.84
104	H004	5	6	1.00	LIM	0.79	0.016	51.34	1.38	0.74
105	H004	6	7	1.00	LIM	0.78	0.015	51.92	1.29	0.73
106	H004	7	8	1.00	LIM	0.94	0.02	53.01	1.36	0.82
107	H004	8	9	1.00	LIM	1.04	0.024	53.05	1.49	0.85
108	H004	9	10	1.00	LIM	1.13	0.023	52.88	1.67	0.97
109	H004	10	11	1.00	LIM	1.29	0.025	51.59	1.84	1.15
110	H004	11	12	1.00	LIM	1.51	0.035	51.58	2.35	1.48
111	H004	12	13	1.00	LIM	1.2	0.034	49.97	3.83	1.84
112	H004	13	14	1.00	LIM	1.5	0.057	52.74	2.94	1.21
113	H004	14	15	1.00	LIM	1.6	0.113	51.85	2.35	1.01
114	H004	15	16	1.00	LIM	1.74	0.343	48.8	2.68	1.06
115	H004	16	17	1.00	LIM	1.31	0.385	49.12	2.86	1.17
116	H004	17	18	1.00	LIM	1.51	0.187	49.49	4.81	1.2
117	H004	18	19	1.00	LIM	1.42	0.049	50.79	3.95	1.13
118	H004	19	20	1.00	LIM	1.42	0.062	51.34	3.4	1.16
119	H004	20	21	1.00	LIM	0.99	0.295	39.47	24.48	0.97
120	H004	21	22	1.00	LIM	0.54	0.111	21.99	57.31	0.5
121	H004	22	23	1.00	LIM	0.72	0.104	25.78	48.47	0.96
122	H004	23	24	1.00	LIM	0.54	0.054	22.26	56.55	0.68
123	H004	24	25	1.00	LIM	1.02	0.112	42.15	21.39	0.98
124	H004	25	26	1.00	LIM	0.52	0.136	18.84	63.44	0.54
125	H004	26	27	1.00	LIM	0.85	0.206	23.57	51.23	0.58
126	H004	27	28	1.00	LIM	1.28	0.205	30.18	37.82	1.41
127	H004	28	29	1.00	LIM	0.82	0.22	19.79	58.17	0.8
128	H004	29	30	1.00	LIM	0.17	0.092	3.04	91.94	0.58
129	H004	30	31	1.00	LIM	0.89	0.258	24.29	49.88	1.41
130	H004	31	32	1.00	LIM	1.4	0.415	29.67	37.06	1.54
131	H004	32	33	1.00	LIM	1.38	0.261	31.1	35.02	1.52
132	H004	33	33.28	0.28	LIM	1.61	0.218	42.67	17.44	1.84
133	H004	33.28	34	0.72	SAP	0.25	0.014	6.27	43.78	43.16

KARTU KONSULTASI

Lampiran B 10
Kartu Konsultasi Tugas Akhir

JUDUL:

(Konsultasi minimal 8 kali)

TANGGAL	MATERI KONSULTASI	PARAF DOSEN
6/7/2022	Penentuan Judul Skripsi	A.
12/7/2022	Asistensi Pengolahan Data	A.
14/7/2022	Asistensi Pengolahan Data	A.
19/7/2022	Asistensi Bab I, Bab II, Bab III, Bab IV, Bab V	A.
2/8/2022	Asistensi Abstrak, Perbaikan Daftar ISI, Perbaikan Daftar gambar, Perbaikan daftar lampiran	A.
4/8/2022	Perbaikan Tujuan Penelitian	A.
8/8/2022	Perbaikan lembar Pengesahan	A.
5/8/2022	ACC Pembimbing 1	A.
15/8/2022	Asistensi Skripsi langkah Pembimbing - Koreksi Gambar dan Keterangan Gambar	A.
16/8/2022	ACC Pembimbing 2	A.
1/12/2022	Perbaikan daftar Pustaka, diagram statistik	A.
1/12/2022	ACC	A.