

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel merupakan salah satu jenis mineral yang memiliki nilai ekonomis yang sangat tinggi. Nikel merupakan komoditas tambang utama di Indonesia sampai saat ini dan menjadi komoditas penghasil devisa yang cukup besar bagi Negara. Saat ini dengan perkembangan teknologi, penggunaan logam nikel di berbagai sektor industri di dunia semakin meningkat sehingga membawa pengaruh terhadap perkembangan nikel di Indonesia. Dengan suplai sekitar 12% dari produksi nikel dunia, Indonesia menjadi salah satu penghasil nikel terbesar di dunia setelah Rusia. Nikel laterit terbentuk akibat pelapukan dari batuan *ultramafic* serta meninggikan kadar pada lapisan tanah yang ada di atas batuan dasar tersebut. Batuan *ultramafic* ini merupakan batuan dasar pembawa nikel berupa batuan peridotit, dunit dan serpentin. Produksi nikel utama di Indonesia berasal dari endapan laterit yang tersebar di Indonesia bagian timur seperti Sulawesi, Maluku dan Papua. Adanya nikel laterit pada daerah tersebut dikarenakan oleh proses tektonik yang kompleks, sehingga batuan lantai samudera yang didominasi oleh batuan *ultramafic* dapat tersingkap ke permukaan serta mengalami pelapukan. Wilayah Indonesia timur banyak terdapat singkapan batuan *ultramafic* dan beriklim tropis serta struktur geologi yang kompleks sehingga menjadi wilayah yang ideal terbentuknya endapan nikel laterit (Handika et al., 2024).

Pada kegiatan pertambangan nikel laterit yang menjadi persoalan utama dalam pembahasan metode estimasi sumber daya adalah endapan bahan galian atau akumulasi alami mineral di kerak bumi harus dipertimbangkan sebagai salah satu gambaran sumber daya yang utuh. Dalam hal ini faktor penting dalam menggambarkan suatu endapan bahan galian adalah pengelompokan atau pengklasifikasiannya yang berdasar pada keadaan geologi, bentuk geometri, batas endapan dan sistem penambangannya. Secara umum, endapan bahan galian dapat dikategorikan sederhana atau kompleks bergantung pada distribusi kadar dan bentuk geometrinya. Kriteria untuk mengategorikan endapan bahan galian ini didasarkan atas pendekatan geologi. Perhitungan sumber daya merupakan salah satu hal yang penting dalam kegiatan eksplorasi untuk membuat rencana penambangan yang efektif (Asy'ari et al., 2013).

Sebelum melakukan eksploitasi dalam kegiatan pertambangan, penting dilakukan eksplorasi terlebih dahulu dengan tujuan mengetahui jumlah sumber daya yang terakumulasi dalam suatu lokasi. Perhitungan sumber daya merupakan salah satu hal penting dalam kegiatan eksplorasi. Adapun metode yang sering digunakan untuk mengestimasi sumber daya adalah metode interpolasi geostatistik. PT. Citra Lampia Mandiri, sebagai salah satu perusahaan pertambangan yang bergerak di bidang nikel laterit juga menggunakan metode geostatistik dalam mengestimasi sumber daya. Metode geostatistik yang paling sering digunakan adalah *Inverse Distance Weighting*

(IDW) dan *Ordinary Kriging*. Metode IDW mengestimasi nilai berdasarkan jarak antara titik estimasi dengan titik-titik sampel, sedangkan *Kriging* memperhitungkan variabilitas spasial dan korelasi antar data untuk menghasilkan estimasi yang lebih akurat. Penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) dan *Kriging* dalam estimasi sumber daya nikel laterit di blok Y PT. Citra Lampia Mandiri. Penelitian ini dilakukan untuk melihat perbedaan distribusi, jumlah sumber daya pada daerah penelitian dan menentukan metode yang paling ideal. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sarifudin dan Wawan, 2021 menggunakan metode *ordinary kriging* diperoleh kesimpulan estimasi berupa total volume, tonase dan kadar nikel pada zona *limonite* dan zona *saprolite*.

1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.2.1 Tujuan Penelitian

1. Menentukan sumber daya nikel laterit dengan menggunakan metode geostatistik; *Inverse Distance Weighting* dan *Ordinary Kriging* pada Hill Y PT Citra Lampia Mandiri Luwu Timur.
2. Mengetahui pengaruh topografi terhadap sebaran endapan residu nikel laterit daerah penelitian.
3. Menerapkan metode *Inverse Distance Weighting* dan *Ordinary Kriging* dalam estimasi sumber daya nikel laterit, sehingga memberikan hasil yang saling mendukung untuk estimasi dengan tingkat keyakinan yang tinggi.

1.2.2 Manfaat Penelitian

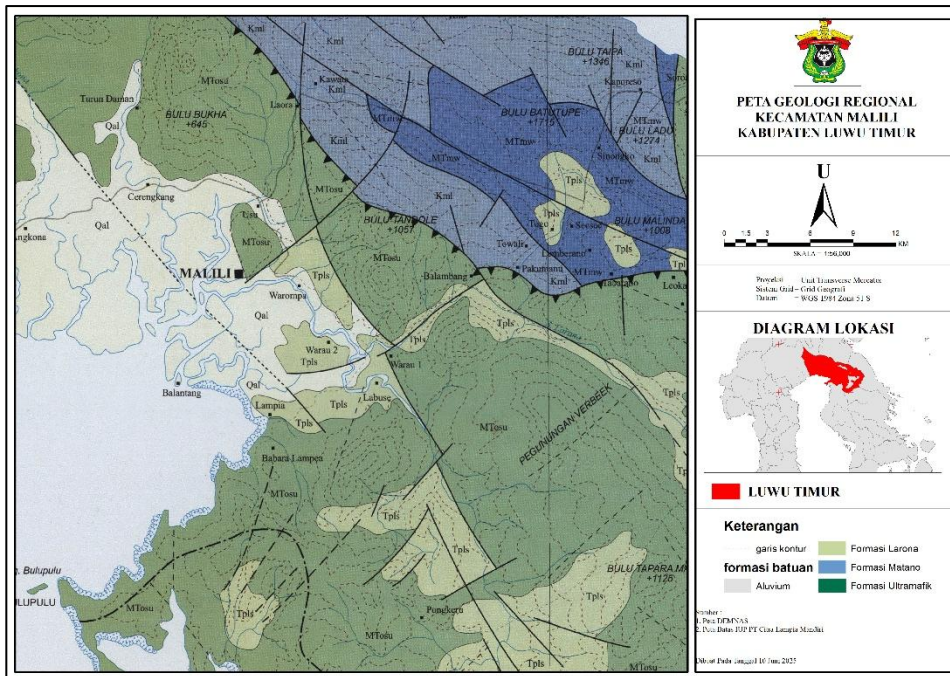
1. Sebagai bahan pertimbangan kepada perusahaan dalam memilih metode yang akan digunakan untuk melakukan estimasi sumber daya nikel laterit pada PT Citra Lampia Mandiri.
2. Sebagai bahan pembelajaran untuk menambah wawasan terkait metode estimasi sumber daya endapan nikel laterit dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* dan *Ordinary Kriging*.

1.3 Landasan Teori

1.3.1 Geologi Regional

Daerah geologi termasuk dalam Peta Geologi Regional Lembar Malili, yang merupakan bagian Mandala Geologi Sulawesi Timur. Dengan kondisi morfologi yaitu pegunungan yang berada di bagian tenggara lembar peta yaitu pegunungan Verbeek dengan ketinggian 800-1.346 meter di atas permukaan laut. Tersusun oleh batuan oviolit, batuan banchu (*melange*) dan batu gamping. Stratigrafi batuan tertua daerah penelitian tersusun dari batuan ofiolit. kompleks ofiolit tersebut memanjang dari utara pegunungan Balantak ke arah tenggara pegunungan Verbeek merupakan batuan *ultramafic*, tersusun oleh *hurzburgit*, *Iherzolit*, *wherlit*, *websterit*, *serpentinit*, *dunit*, *gabbro* dan *diabas*. Umur formasi ini belum dapat dipastikan, tetapi diperkirakan sama dengan *ofiolit* di lengan timur Sulawesi yang berumur Kapur-Awal Tersier. Selanjutnya tersusun oleh batuan banchu (*Melange*) *Wasoponda*, terbentuk dalam

jalur penunjaman Zaman Kapur. Hubungan stratigrafi Batuan *Ultramafik* dengan Formasi Matano berupa pertemuan tektonik yang tidak selaras. Kemudian secara tidak selaras, terendapkan Formasi Matano. Berdasarkan kandungan fosil batu gamping, yaitu *Globotruncana sp* dan *Heterohelix sp*, serta *radiolaria* dalam rijang, Formasi Matano diduga berumur Kapur Atas dan diendapkan dalam lingkungan laut dalam, sedangkan bagian atas merupakan endapan aluvium (Hernandi, dkk. 2017).



Gambar 1. Peta Geologi Lembar Malili (Simandjuntak et al., 2007).

Berdasarkan gambar 1, Peta Geologi Lembar Malili, Sulawesi yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (1980), formasi yang menyusun daerah wilayah penelitian yaitu Wilayah IUP Eksplorasi PT Citra Lampia mandiri yaitu batuan beku kompleks ultrabasa yang terdiri dari *Hatzburgit*, *Lherzolite*, *Wehrliit*, *Websterit*, *Serpentinit*, *Dunit*, *Diabes* dan *Gabro*. Sedangkan Formasi Larona terdiri dari Batu Pasir, Konglomerat dan Batu Lempung dengan sisipan Tufa. Struktur geologi yang sangat penting pada pulau Sulawesi adalah Sesar Palu Koro yang masih sangat aktif (Simandjuntak et al., 2007).

1.3.2 Batuan Ultramafik

Batuan ultramafik merupakan batuan beku yang ditemukan di bumi sebagai batuan metamorf yang terbentuk secara intrusi di mantel atas, mengandung olivin magnesian (Mg_2SiO_4) yang tinggi dan rendah SiO_2 sekitar $<45\%$. Jenis-jenis batuan ultramafik antara lain:

- Peridotit, biasanya membentuk suatu kelompok ultramafik yang disebut ofiolit umumnya membentuk tekstur kumulus yang terdiri atas harzburgit, wehrliit dan

dunit. Peridotit tersusun atas mineral-mineral holokristalin dengan ukuran medium-kasar dan berbentuk andheral atau bentuk kristal sempurna. Komposisinya terdiri dari olivin dan piroksen sedangkan mineral asesorisnya berupa plagioklas, hornblende, biotit dan garnet.

- b. Dunit, merupakan batuan yang hampir murni olivin. Dunit memiliki komposisi mineral hampir seluruhnya adalah monomineralik (umumnya magnesit olivin), mineral asesorisnya meliputi kromit, magnetit, ilmenit dan spinel. Pembentukan dunit berlangsung pada kondisi padat (pada temperatur yang tinggi) dalam larutan magma, dan sebelum mendingin pada temperatur tersebut, batuan tersebut siap bersatu membentuk massa olivin andheral yang saling mengikat.
- c. Serpentin merupakan batuan hasil alterasi hidrotermal dari batuan ultrabasa, di mana mineral-mineral olivin dan piroksen jika teralterasi akan membentuk mineral serpentin. Serpentin sangat umum memiliki komposisi batuan berupa monomineralik serpentin, batuan tersebut dapat terbentuk dari serpentinisasi dunit dan peridotit. Pada prinsipnya, kerak serpentin dapat dihasilkan dari mantel oleh hidrasi dari mantel ultrabasa (peridotit dan dunit) di bawah punggung tengah samudera (*Mid Ocean Ridge*) pada temperatur $<500^{\circ}\text{C}$. Serpentin kemudian akan terbawa keluar melalui migrasi litosfer. Serpentin merupakan suatu pola mineral dengan komposisi $\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_9$ yang terbentuk melalui alterasi hidrotermal dari mineral feromagnesit seperti olivin, piroksen dan amfibol. Umumnya alterasi pada olivin dimulai dari retakan/pecahan pada kristalnya, keseluruhan kristal kemudian akan teralterasi dan mengalami pergantian. Proses serpentinisasi pada olivin memerlukan penambahan air, pelepasan magnesit atau penambahan silika, pelepasan besi (Fe) pada olivin, konversi pelepasan besi dari bentuk ferrous (Fe^{2+}) ke ferri (Fe^{3+}) serta bentuk magnetit (Fe_3O_4).

Batuan ultramafik tersusun atas mineral olivin, piroksen dan hornblende yang berwarna gelap dalam keadaan segar (Puspita et al., 2022).

1.3.3 Nikel Laterit

Nikel sering digunakan pada saat ini sebagai bahan baku pembuatan logam yang berkualitas. Nikel terdiri dari nikel laterit dan nikel sulfida, namun seiring berjalannya waktu cadangan bijih nikel sulfida semakin berkurang sehingga sebagian besar produksi nikel bertumpu pada nikel laterit (Subagja, 2016). Pembentukan nikel laterit diawali dari proses oksidasi, pelapukan dengan batuan induk yaitu batuan ultrabasa. Nikel laterit merupakan sisa pelapukan kimiawi batuan *ultramafic* yang berlangsung selama jutaan tahun (Amsah et al., 2021).

1. Endapan Nikel Laterit

Nikel laterit adalah endapan yang berasal dari proses laterisasi atau pelapukan dari batuan *ultramafic* yang menjadi batuan induk terbentuknya endapan di mana Indonesia merupakan negara beriklim tropis sehingga memungkinkan pelapukan tinggi dapat terjadi. Nikel memiliki ketahanan terhadap korosi, kekuatan, kelenturan, dan konduktivitas termal dan listrik yang tinggi sehingga sangat baik untuk digunakan

pada berbagai keperluan industri maupun teknologi. Penggunaan utama nikel adalah sebagai bahan baku pembuatan baja tahan karat, logam dasar pada paduan berbasis nikel, *superalloy*, baterai, dan komponen-komponen paduan logam yang digunakan pada aplikasi suhu tinggi (Puspita et al., 2022).

Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki endapan bijih nikel laterit dalam jumlah yang cukup besar. Endapan nikel laterit Indonesia tersebar di Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Tengah, Maluku dan Papua. Indonesia merupakan penghasil nikel terbesar ke lima di dunia, sebesar 12% cadangan di dunia. Laterit merupakan hasil proses pelapukan dan pengayaan batuan *mafic/ultramafic* di daerah tropis, oleh karena itu komposisi kimia dan mineraloginya berbeda antara satu endapan dengan endapan lainnya (Subagja et al., 2016).

2. Profil Endapan Nikel Laterit

Nikel dalam bijih nikel laterit berasosiasi dengan oksida besi dan mineral silikat sebagai hasil substitusi *isomorphous* unsur besi dan magnesium dalam struktur kristalnya, sehingga secara kimia dan fisik, bijih nikel laterit dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu bijih jenis *saprolite* (silikat/hidro silikat) dan jenis limonit (oksida/hidroksida). Akibatnya, nikel laterit banyak ditemukan di daerah Indonesia (Sulawesi), serta beberapa wilayah lain yang juga memiliki iklim tropis dan subtropis. Bijih nikel laterit biasanya ditemukan pada daerah dengan pengendapan yang relatif dangkal yaitu berkisar 15-20 meter di bawah permukaan tanah. Bijih nikel laterit menyumbang hingga 60-70% dari cadangan nikel di dunia dan sebagian besar berada di negara-negara dengan iklim tropis dan subtropis seperti Indonesia, New Caledonia, Australia, Kuba, Brazil, Filipina dan Papua Nugini. Deposit nikel laterit secara umum dapat dibagi menjadi empat zona utama seperti pada gambar 2 yaitu zona *ferricrete*, zona *limonite*, zona *saprolite* dan *bedrock*.

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	0.02 to 0.1	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. Ilustrasi profil laterit (Puspita et al., 2022).

1. Zona *ferricrete* atau top soil
Zona *ferricrete* merupakan bagian paling atas dari endapan nikel laterit yang terdiri dari humus, oksida besi dan sisa organik. Lapisan ini berwarna coklat tua kehitaman dan bersifat gembur. Kandungan besi pada lapisan ini sangat tinggi yaitu sekitar 60% dengan komponen mineral utama berupa hematit. Nikel yang terkandung pada zona ini sangat rendah sekitar <0,6%. Biasanya lapisan ini menjadi *overburden* yang akan disingkirkan pada saat proses penambangan.
2. Zona limonit, berada di bawah zona *ferricrete* atau *top soil* yang mana zona ini merupakan hasil pelapukan lebih lanjut dari batuan beku *ultramafic*. Lapisan ini berwarna merah kecokelatan dan mengandung oksida besi yang umumnya dalam senyawa *goethite* dan *hematite*. Pada zona *limonite*, kandungan nikelnya biasanya berkisar antara 0,8-1,5%. Sebagian besar nikel berada dalam larutan padat dengan *goethite*. Pada zona ini, kandungan besinya cukup tinggi berkisar antara 40-50%.
3. Zona *saprolite*, merupakan zona yang berada di bawah lapisan limonit. Zona *saprolite* merupakan zona pelapukan langsung dari batuan dasar dengan kandungan nikel cukup tinggi. Mineral utama zona ini adalah *serpentine* dengan nikel menggantikan Mg untuk membentuk senyawa *garnierite*. Kandungan nikel pada zona *saprolite* berkisar 1,5-3%.
4. *Bedrock*, merupakan zona paling bawah pada profil laterit. Zona ini terdiri dari bongkahan *peridotite* yang berukuran besar yang sudah tidak mengandung mineral ekonomis untuk diolah.

dari keempat zona di atas, saat ini yang ditambang untuk diambil nikelnya adalah zona *limonite* dan zona *saprolite*. Bijih limonit dan *saprolite* memiliki karakter yang berbeda dan bervariasi dari satu tempat dengan tempat lain (Puspita et al., 2022).

3. Genesa Endapan Nikel Laterit

Pembentukan nikel laterit dimulai dengan adanya batuan beku ultrabasa yang merupakan batuan induk. Batuan induk tersusun atas mineral olivin dan piroksen yang tinggi dan mudah mengalami pelapukan kimia. Pelapukan tersebut membuat komposisi kimia dan mineralogi batuan berubah. Unsur nikel dalam batuan beku ultrabasa terdapat pada kristal olivin dan piroksen yang merupakan hasil substitusi atom Fe dan Mg. Proses substitusi unsur Fe dan Mg ini dapat terjadi karena unsur tersebut memiliki radius ion dan muatan ion yang hampir sama.

Peran utama yang memengaruhi pembentukan endapan bijih nikel laterit yaitu batuan asal (*bedrock*), topografi, iklim, reagen kimia, vegetasi, waktu dan struktur geologi.

1. Batuan asal pembawa nikel laterit adalah batuan beku ultrabasa yakni peridotit dunit maupun serpentinit yang secara kimia mengandung kurang dari 45% SiO₂ komposisi utama adalah olivin, piroksen dan plagioklas.
2. Topografi, sebaran ketebalan endapan residu nikel laterit berhubungan dengan kemiringan lereng yang berkembang di suatu wilayah. Pada kemiringan lereng

yang berbeda akan terdistribusi endapan yang geometri ketebalannya juga akan berbeda. Gradien lereng akan memengaruhi proses pelapukan batuan induk. Pada saat kemiringan lereng curam, maka proses dominan yang bekerja adalah pengikisan batuan (erosi). Menurut Mahmudi et al., 2015 klasifikasi lereng untuk kebutuhan penelitian, digunakan aturan klasifikasi lereng yang dikeluarkan oleh Departemen Pertanian Bogor, Pusat Penelitian Tanah dan Araklimat pada tahun 2003 yang dibagi menjadi 7 kelas lereng: 0-3 datar, 3-8 agak landai, 8-15 landai, 15-30 agak curam, 30-45 curam, 45-60 sangat curam, >60 terjal.

3. Iklim, kondisi iklim sangat dibutuhkan dalam proses pelapukan untuk membentuk endapan nikel laterit. Tingginya intensitas curah hujan dan perubahan temperatur yang signifikan akan memengaruhi laju proses pelapukan pada batuan dasar.
4. Reagen kimia dan vegetasi. Reagen kimia adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu proses pelapukan. Pelapukan kimia yang terjadi dapat disebabkan oleh air tanah yang mengandung CO₂ selain itu juga hadirnya asam humus dapat menyebabkan pelapukan kimiawi pada batuan.
5. Waktu, di mana proses pembentukan endapan nikel laterit memerlukan waktu yang cukup lama. waktu yang dibutuhkan dalam proses pelapukan batuan dasar tiap ketebalan 1 mm cukup lama sekitar 100 tahun.
6. Struktur, di mana tingginya intensitas struktur geologi di lapangan ditampilkan dalam patahan, lipatan dan kekar pada batuan.

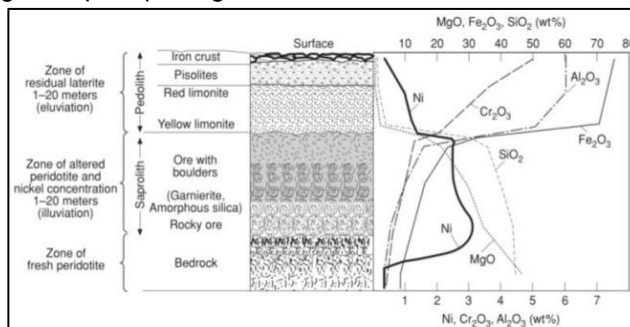
Proses geologi yang mengangkat batuan induk ke permukaan biasanya membentuk rekahan-rekahan pada tubuh batuan induk akan membantu proses pelapukan. Rekahan yang terjadi pada batuan, reagen kimia lainnya saat proses pelindian memudahkan air dalam melakukan penetrasi (Harahap & Novitasari, 2022).

Endapan mineral logam tipe residu nikel laterit merupakan jenis endapan hasil proses laterisasi yang mana berasal dari tipikal batuan beku ultrabasa. Jenis batuan yang dimaksud tentunya adalah *peridotit*, *dunit* dan *serpentin*. Beberapa jenis batuan tersebut apabila ditinjau komposisi kimianya memiliki kandungan unsur nikel (Ni) yang tinggi, sehingga apabila berada pada kondisi yang sesuai untuk pembentukan endapan laterit (iklim, geologi dan topografi) akan menghasilkan derajat bijih yang tinggi, terutama pada daerah beriklim tropis dan subtropis. Genesa dari endapan ini melibatkan pengaruh pelapukan intensif pada kondisi iklim yang cenderung basah pada batuan ultrabasa seperti *serpentin* dan *peridotit*, yang mana memiliki kandungan nikel sebesar 0,25%, khususnya dari mineral olivin dan *ortopiroksen*. Dalam proses pembentukannya, unsur nikel akan bergerak melewati lapisan tanah melalui larutan fluida namun akan mengalami presipitasi ulang baik dalam wujud mineral oksida besi pada endapan laterit atau sebagian mineral *garnierit* maupun mineral filosilikat lain dalam batuan di bawah lapisan laterit.

Pembentukan dari endapan nikel laterit melibatkan peran air tanah yang bertindak sebagai agen pemecah komponen kimia pada mineral olivin yang dominan pada batuan ultrabasa, berubah menjadi mineral alterasi/sekunder seperti *smektit*,

serpentin dan klorit. Setelah semua mineral tersebut bereaksi dengan air dan hadir dalam horizon laterit, tahap lanjut adalah terjadinya pertukaran ion dari unsur Ni dengan mineral sebelumnya sehingga membentuk mineral baru yang diperkaya unsur nikel itu sendiri.

Endapan nikel laterit ditemukan pada kondisi tektonik atau geologi tertentu, sehingga tidak dapat tersebar merata di muka bumi. Keberadaan endapan ini umumnya berasosiasi dengan proses geologi yang melibatkan kemunculan batuan ultrabasa, seperti proses obduksi dari kompleks/seri *ofiolit* penyusun kerak samudra maupun daerah hasil intrusi batuan berafinitas basah atau *mafic*. Kondisi tersebut lebih lanjut akan dipengaruhi oleh air laut yang memicu terjadinya serpentinisasi sehingga mengalami pengayaan unsur Ni akibat proses alterasi tersebut. Proses yang berlangsung lebih lanjut akan membentuk zonasi atau distribusi vertikal dari profil tanah laterit/regolit seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Profil dan kandungan mineral tanah laterit (Winarno & Rinal, 2021).

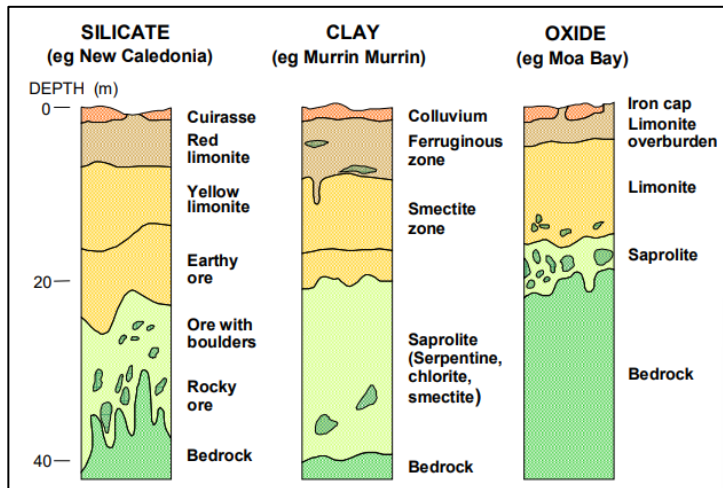
Pelapukan kimia yang terjadi pada batuan *ultramafic* biasanya diikuti oleh pemecahan unsur-unsur menjadi unsur yang larut dalam air dan unsur yang tidak larut dalam air. Elemen-elemen yang larut dalam air akan terpisah sehingga akan hilang dari profil laterit sedangkan elemen-elemen yang tidak larut akan tetap tertinggal dan mengalami pengayaan. Proses pelapukan kimia ini akhirnya akan membentuk profil laterit yang tersusun dari urutan paling muda akan berada pada bagian paling bawah sedangkan paling atas merupakan yang paling tua. Proses laterisasi banyak dibantu oleh adanya air, baik karena pergerakan ke bawah tanah maupun akibat dari fluktuasi muka air tanah (Winarno & Rinal, 2021).

1.3.4 Klasifikasi Endapan Nikel Laterit

Berdasarkan mineralogi dominan yang berkembang dalam profil laterit, terdapat beberapa klasifikasi dari profil laterit yang umum ditemukan pada sebagian besar endapan yang terbentuk di atas batuan ultramafik. Klasifikasi endapan pada gambar 4 berdasarkan mineralogi dominan yang terkandung dalam profil dibedakan menjadi tiga kategori utama, sebagai berikut:

1. *Oxide laterites* atau oksida laterit, sebagian besar terdiri dari hidroksida dan oksida Fe di bagian atas profil, melapisi batuan dasar yang telah berubah atau baru terbentuk.

2. *Clay laterites* atau laterit lempung sebagian besar terdiri dari lempung *smektit* di bagian atas profil.
3. *Silicate laterites* atau laterit silikat terdiri dari silikat Mg-Ni terhidrasi (*serpentin* dan *garnierit*) yang terdapat lebih dalam di profil, yang mungkin dilapisi oleh laterit oksida (Elias, 2001).



Gambar 4. Klasifikasi profil laterit utama (Elias, 2001).

1.3.5 Klasifikasi Sumber Daya Mineral

Mineral merupakan senyawa anorganik yang terbentuk di alam yang memiliki sifat fisik dan kimia tertentu serta susunan kristal teratur atau gabungannya membentuk batuan baik dalam bentuk lepas atau padu. Mineral dibagi menjadi tiga sesuai pemanfaatannya yaitu: mineral logam, mineral bukan logam dan mineral batuan. Pengkajian kelayakan sumber daya mineral memerlukan keyakinan geologi sehingga dapat berubah menjadi cadangan mineral. Cadangan mineral dapat ditambah jika mempunyai prospek secara produksi dan ekonomi. Tahapan eksplorasi lebih lanjut diperlukan untuk keyakinan geologi sumber daya mineral menjadi cadangan mineral. Sumber daya mineral dan cadangan memiliki dua kriteria yaitu tingkat keyakinan geologi dan pengkajian kelayakan tambang. Tingkat keyakinan geologi ditentukan oleh beberapa aspek yakni kerapatan titik pengamatan, kualitas data dan keandalan interpretasi geologi yang diperoleh dari tahap-tahap eksplorasi yaitu:

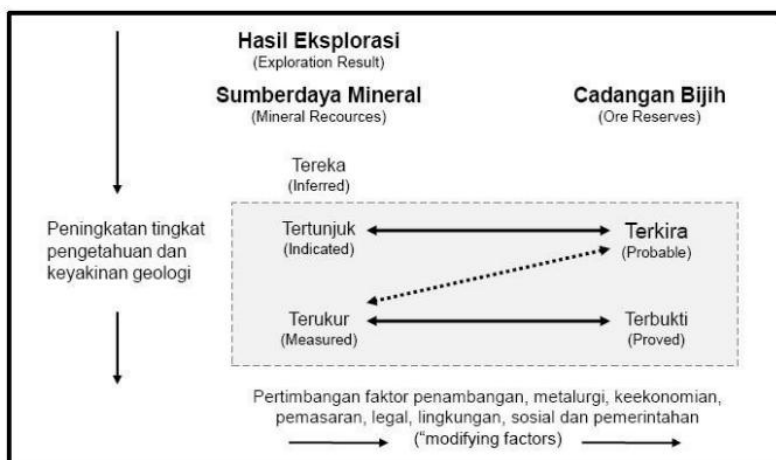
- a. Prospeksi; tahapan eksplorasi dengan jalan mempersempit daerah yang mengandung endapan mineral yang potensial. Metode yang digunakan adalah pemetaan geologi untuk mengidentifikasi singkapan dan metode yang tidak langsung seperti studi geokimia dan geofisika. Estimasi kuantitas dihitung berdasarkan interpretasi data geologi, geokimia, dan geofisika.
- b. Eksplorasi umum; metode yang digunakan termasuk pemetaan geologi, percontohan dengan jarak yang lebar, membuat parit dan pengeboran untuk evaluasi pendahuluan kuantitas dan kualitas dari suatu endapan. Menentukan

gambaran geologi suatu endapan mineral berdasarkan indikasi sebaran, perkiraan awal mengenai ukuran, bentuk, sebaran, kuantitas dan kualitasnya.

- c. Eksplorasi rinci; Tahap eksplorasi secara rinci terhadap endapan mineral yang telah diketahui dari percontohan singkapan, parit, lubang bor, *shaft* dan terowongan.

Klasifikasi sumber daya mineral dikelompokkan berdasarkan tiga kriteria yang menjadi dasar klasifikasi yaitu keyakinan geologi dan kelayakan tambang ditunjukkan pada gambar 5. Sumber daya mineral terdiri dari tingkat keyakinan geologi yaitu:

- a. Sumber Daya Mineral Tereka. Sumber daya yang tonase, kadar dan kandungan mineral dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan rendah. Kadar atau/dan terusan geologi tidak dapat diverifikasi karena hal ini direka dan diasumsikan dari adanya bukti geologi. Informasi yang diperoleh melalui teknik yang memadai dari lokasi mineralisasi seperti singkapan, parit uji, sumuran uji, dan lubang bor tetapi kualitas dan tingkat keyakinannya terbatas atau tidak jelas.
- b. Sumber Daya Mineral Tertunjuk. Sumber daya mineral di mana tonase, densitas, bentuk, karakteristik fisik, kadar dan kandungan mineral dapat diestimasi dengan tingkat kepercayaan yang wajar. Hal ini didasarkan pada hasil eksplorasi yang tepat dari lokasi-lokasi mineralisasi seperti singkapan, parit uji, sumuran uji, "terowongan uji" dan lubang bor. Pengambilan data masih terlalu jarang atau spasinya belum tepat untuk memastikan terusan geologi dan/atau kadar, tetapi secara meruang cukup untuk diasumsikan. Sumber daya Mineral Tertunjuk memiliki tingkat keyakinan yang lebih rendah penerapannya dibanding dengan sumber daya mineral terukur, tetapi memiliki tingkat keyakinan yang lebih tinggi penerapannya dibanding dengan sumber daya mineral tereka.
- c. Sumber Daya Mineral Terukur Mempunyai tingkat keyakinan tinggi pada estimasi tonase, densitas, bentuk, karakteristik fisik, kadar dan kandungan mineral sumber daya. Memerlukan tingkat keyakinan yang tinggi dalam pemahaman geologi dan pengontrol cebakan mineral (Gautama et al., 2021).



Gambar 5. Klasifikasi Sumber Daya Mineral (Gautama et al., 2021).

1.3.6 Metode Geostatistik

Metode geostatistik adalah suatu metode yang digunakan untuk menaksirkan besarnya nilai karakteristik pada titik lokasi yang tidak memiliki sampel berdasarkan data spasial yang memiliki sampel di sekitarnya, dengan mempertimbangkan korelasi spasial yang ada dalam data tersebut (Safrudin & Wawan, 2021).

1. Inverse Distance Weighting (IDW)

Metode IDW secara langsung mengasumsikan bahwa sesuatu yang saling berdekatan akan lebih serupa dibandingkan dengan yang saling berjauhan. Untuk menaksir sebuah nilai di setiap lokasi yang tidak di ukur, IDW akan menggunakan nilai-nilai ukuran yang mengitari lokasi yang akan ditaksir tersebut. Pada metode IDW, diasumsikan bahwa tingkat korelasi dan kemiripan antara titik yang ditaksir dengan data penaksir adalah proporsional terhadap jarak. Bobot akan berubah secara linier, sebagai fungsi per jarak, sesuai dengan jaraknya terhadap data penaksir. Bobot ini tidak dipengaruhi oleh posisi atau letak dari data penaksir dengan data penaksir yang lain.

Faktor penting yang dapat mempengaruhi hasil penaksiran antara lain adalah *actor power* dan radius di sekitar (*neighboring radius*) atau jumlah data penaksir. Nilai parameter *power* yang umum digunakan adalah 2 yang berarti pengaruh jarak sedang, titik dekat lebih berpengaruh. Semakin besar *power*, semakin besar pengaruh jarak yang berarti hanya titik paling dekat yang berpengaruh. Persamaan IDW yang digunakan dalam pembobotan adalah sebagai berikut:

$$w_i = \frac{1}{di^p} \quad (1)$$

Untuk menghitung nilai titik yang ditaksir digunakan persamaan berikut:

$$\hat{Z}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i \times w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2)$$

dengan,

$\hat{Z}_0$ = Nilai titik yang di taksir

w_i = Faktor bobot dari titik-i

Z_i = Nilai dari titik penaksir-i

di = Jarak antara titik i dengan titik yang ditaksir

p = Faktor eksponen (*pewer*) (Purnomo, 2018).

2. Ordinary Kriging (OK)

Dalam penelitian (Sarita et al., 2024). menyebutkan alat geostatistik yang disebut variogram dapat digunakan untuk menampilkan hubungan spasial antara data yang diukur. Semivariogram diperoleh dengan mencari jarak *Euclid*. Prinsipnya adalah menghitung jarak antara dua lokasi dengan menggunakan persamaan berikut:

$$h_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2} \quad (3)$$

di mana:

- h_{ij} = jarak antara lokasi titik i dan titik j
 x_i, x_j = titik koordinat absis titik i dan titik j
 y_i, y_j = titik koordinat ordinat titik i dan titik j
 z_i, z_j = elevasi pada titik i dan titik j (Sarita et al., 2024).

Variogram merupakan perangkat statistik yang diperlukan untuk melakukan pendugaan pada data spasial, karena jika ada dua buah nilai spasial yang letaknya berdekatan, maka akan relatif bernilai sama dibandingkan dengan dua buah nilai spasial yang letaknya berjauhan. Variogram eksperimental adalah nilai dugaan yang didapatkan dari penarikan sampel di lapangan. Variogram eksperimental dibuat berdasarkan nilai korelasi spasial antara dua buah variabel yang dipisahkan oleh suatu jarak tertentu. Variogram eksperimental dirumuskan sebagai berikut:

$$2\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{N(h)} \sum [Z(s_i) - Z(s_i + h)]^2 \quad (3)$$

Untuk melakukan pendugaan pada data spasial, digunakan suatu perangkat untuk menggambarkan, memodelkan dan menghitung korelasi spasial antara variabel random $Z(s)$ dan $Z(s + h)$, yang disebut dengan semivariogram yang besarnya setengah dari nilai variogram. Semivariogram dibedakan menjadi dua yaitu semivariogram eksperimental dan semivariogram teoritis. Semivariogram eksperimental didapatkan dari data pengamatan yang diplot sebagai fungsi jarak. Untuk mendapatkan semivariogram eksperimental digunakan persamaan berikut:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2(N(h))} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(s_{i+h}) - Z(s_i)]^2 \quad (4)$$

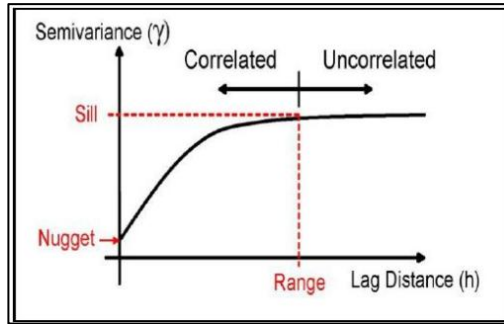
dengan:

- $\hat{\gamma}(h)$ = semivariogram eksperimental
 $Z(s_{i+h})$ = nilai pengamatan pada titik $S_i + h$
 $Z(s_i)$ = nilai pengamatan pada titik S_i
 $N(h)$ = banyaknya pasangan titik dengan jarak h

Setelah diperoleh nilai semivariogram eksperimental, maka diperhitungkan parameter-parameter untuk perhitungan semivariogram teoritis.

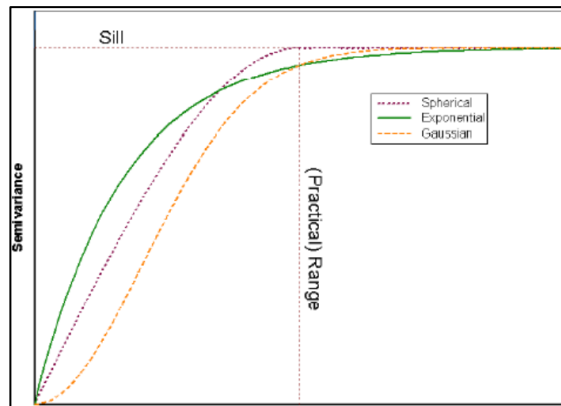
Pada semivariogram eksperimental (gambar 6) terdapat tiga parameter penting yaitu:

- Sill* (C) merupakan titik di mana nilai tertinggi dari semivariogram sehingga cenderung mencapai nilai yang stabil atau grafik semivariogram menunjukkan sudah tidak memiliki korelasi.
- Nugget* (C_0) merupakan nilai yang mendekati titik nol yang menunjukkan kesalahan analisis.
- Range* (a) merupakan nilai dengan jarak paling jauh pada saat mencapai *sill* yang membatasi antara nilai yang berkorelasi spasial kuat dengan nilai yang berkorelasi spasial lemah atau tidak berkorelasi spasial. Jarak yang sudah tidak memiliki korelasi spasial jika grafik sudah mencapai *sill* (grafik stabil).



Gambar 6. Semivariogram Eksperimental (Sarita et al., 2024).

Semivariogram teoritis adalah semivariogram dengan kurva yang mendekati kurva semivariogram eksperimental yang sebelumnya telah didapatkan. Semivariogram teoritis terdiri dari beberapa model yang digunakan sebagai pembandingan dari semivariogram eksperimental seperti pada gambar 7, di antaranya:



Gambar 7. Model Semivariogram Teoritis (Sarita et al., 2024).

1. Model *Spherical*

Model semivariogram *spherical*, dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

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

2. Model Eksponensial

Semivariogram dalam model eksponensial meningkat sangat tajam dan mendekati nilai ambang secara asimtotik, dirumuskan sebagai berikut:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp \left(-\frac{3h}{a} \right) \right] \quad (6)$$

3. Model *Gaussian*

Model *Gaussian* menghasilkan bentuk parabola pada jarak pendek karena merupakan bentuk kuadrat dari eksponensial. Model *Gaussian* dirumuskan sebagai berikut:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp \left(-\frac{3h^2}{a^2} \right) \right] \quad (7)$$

Dengan :

$\gamma(h)$ = semivariogram eksperimental

h = jarak lokasi sampel.

$C_0 + C$ = *sill* nilai semivariogram untuk jarak pada saat besarnya konstan.

a = *range* yaitu jarak pada saat nilai semivariogram mencapai *sill*.

Penduga parameter *Ordinary Kriging* $\hat{Z}(s)$ merupakan kombinasi linear. Kombinasi linear adalah penjumlahan hasil kali anggota himpunan pasangan berurutan. Penduga *kriging* $\hat{Z}(s)$ merupakan kombinasi linear dari variabel sampel $\hat{Z}(s_i)$ yang diketahui atau ditulis secara matematis sebagai berikut:

$$\hat{Z}(s) = \sum_{i=1}^n w_i Z(s_i) \quad (8)$$

dengan,

$\hat{Z}(s)$ = nilai pendugaan pada lokasi tidak tersampel

w_i = koefisien bobot dari $Z(s_i)$, dengan $\sum_{i=1}^n w_i = 1$

$Z(s_i)$ = nilai pada lokasi tersampel

n = banyak sampel

Untuk memperoleh suatu pendugaan $\hat{Z}(s)$ di titik P dari 3 titik observasi yang diketahui yaitu, Z_1, Z_2, Z_3 dengan bobot masing-masing untuk persamaan *Ordinary Kriging* yaitu: w_1, w_2, w_3 . Untuk memperoleh solusi yang diinginkan, diperlukan 3 persamaan simultan berikut dan ditambahkan dengan 1 persamaan persyaratan yaitu, penjumlahan semua bobot adalah sama dengan 1. Sehingga dijabarkan terdapat 4 persamaan sebagai berikut:

$$w_1\gamma(h_{11}) + w_2\gamma(h_{12}) + w_3\gamma(h_{13}) = \gamma(h_{1p}) \quad (9)$$

$$w_1\gamma(h_{21}) + w_2\gamma(h_{22}) + w_3\gamma(h_{23}) = \gamma(h_{2p}) \quad (10)$$

$$w_1\gamma(h_{31}) + w_2\gamma(h_{32}) + w_3\gamma(h_{33}) = \gamma(h_{3p}) \quad (11)$$

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1 \quad (12)$$

Untuk menghasilkan solusi yang memiliki galat penduga minimum ditambahkan suatu variabel *slag* λ pada persamaan (9), (10) dan (11). Dengan demikian, keempat persamaan di atas menjadi:

$$w_1\gamma(h_{11}) + w_2\gamma(h_{12}) + w_3\gamma(h_{13}) + \lambda = \gamma(h_{1p}) \quad (13)$$

$$w_1\gamma(h_{21}) + w_2\gamma(h_{22}) + w_3\gamma(h_{23}) + \lambda = \gamma(h_{2p}) \quad (14)$$

$$w_1\gamma(h_{31}) + w_2\gamma(h_{32}) + w_3\gamma(h_{33}) + \lambda = \gamma(h_{3p}) \quad (15)$$

$$w_1 + w_2 + w_3 + 0 = 1 \quad (16)$$

Sistem persamaan (13), (14), (15) dan (16) dapat ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} \gamma(h_{11}) & \gamma(h_{12}) & \gamma(h_{13}) & 1 \\ \gamma(h_{21}) & \gamma(h_{22}) & \gamma(h_{23}) & 1 \\ \gamma(h_{31}) & \gamma(h_{32}) & \gamma(h_{33}) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma(h_{1p}) \\ \gamma(h_{2p}) \\ \gamma(h_{3p}) \\ 1 \end{pmatrix} \quad (17)$$

Atau persamaan dapat ditulis sebagai berikut:

$$A w = B \quad (18)$$

Jadi untuk memperoleh w digunakan persamaan berikut: (Rozalia et al., 2016).

$$w = A^{-1} B \quad (19)$$

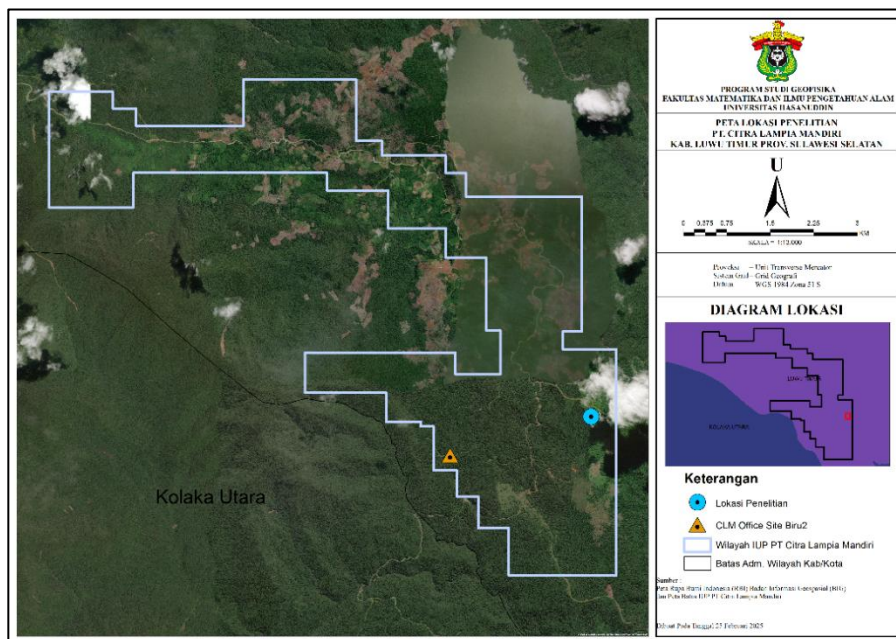
BAB II

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian merupakan cara ilmiah dalam pengumpulan data dengan maksud dan tujuan tertentu. Penelitian ini diawali dengan mempelajari berbagai teori dan referensi terkait dengan mempelajari berbagai teori dan referensi terkait dengan topik penelitian. Teori dan referensi berkaitan dengan kondisi geologi daerah penelitian. Teori dan referensi diperoleh dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, laporan dan berbagai artikel yang berkaitan dengan topik penelitian. Penelitian ini dilakukan untuk mengestimasi jumlah sumber daya dengan membandingkan antara dua metode yaitu *Inverse Distance Weighting* di mana prinsip yang digunakan adalah dengan memperhitungkan jarak untuk menentukan bobot dan metode *Ordinary Kriging* di mana prinsipnya dapat meminimalkan galat atau menghindari adanya data yang *outlier* yang menjadi syarat dilakukannya metode ini.

2.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 6 Januari sampai 27 Februari 2025 di wilayah IUP PT Citra Lampia Mandiri.



Gambar 8 Peta Lokasi Penelitian.

2.2 Data Penelitian

1. Data Topografi

Data topografi merupakan data yang memberikan informasi terkait koordinat dan elevasi. Data topografi didapatkan dari hasil pengukuran penginderaan jarak jauh dan kemudian dikonversi menjadi data *digital terrain model* (DTM) yang merupakan

deskripsi digital dalam bentuk tiga dimensi dari permukaan di lokasi penelitian. Data topografi dalam penelitian digunakan sebagai batasan atas dalam permodelan geologi. Data topografi ditunjukkan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data topografi.

Kode Warna	<i>Northing</i> (m)	<i>Easting</i> (m)	Elevasi (m)	Kode Detail
2	9688000	300381.9	357	D
2	9688000	300381.9	356	D
2	9688000	300381.9	355	D
2	9688000	300381.9	354	D
2	9688000	300381.9	353	D

Data topografi yang diperoleh dari penginderaan jauh diolah menggunakan aplikasi *ArcMap* dan diubah koordinatnya ke UTM agar bisa mendapatkan informasi elevasi dan selanjutnya diolah menggunakan *Excel* untuk memasukkan kode warna kemudian disimpan dalam format CSV agar bisa terbaca pada aplikasi *Surpac* dan dapat diubah ke format *string* dan DTM.

2. Data Assay

Data *assay* (tabel 2) merupakan data yang memuat informasi dari laboratorium berupa data kadar dari setiap titik bor. Nilai kadar dari setiap titik bor dianalisis biasanya satu meter pengambilan data bor. Data *assay* ini juga memuat informasi berupa *id hoel* kedalaman *from to* (awal dan akhir kedalaman) dan data kadar (%) dari Ni, Fe serta mineral-mineral lain yang dibutuhkan untuk dianalisis jika diperlukan. Jumlah data *assay* yang digunakan pada penelitian ini adalah 566 dari 36 titik bor.

Tabel 2. Data *assay*.

<i>ID Hole</i>	<i>Depth From</i> (m)	<i>Depth To</i> (m)	Ni (%)	Fe (%)
LM001	0	1	0.77	43.14
LM001	1	2	0.71	32.27
LM001	2	3	0	0
LM001	3	4.5	0	0
LM002	0	1	0.84	38.37
LM002	1	2	0.88	39.16
LM002	2	3	0.91	38.45
LM002	3	4	1.05	37.1
LM002	4	5	1.41	41.9
LM002	5	6	1.48	37.4

Data *assay* memuat informasi kadar tiap sampel dari pengeboran yang umumnya dianalisis tiap satu meter. Informasi dari data *assay* bisa sangat banyak tergantung dari kadar pada suatu sampel

3. Data *Collar*

Data *collar* (tabel 3) merupakan data yang memuat informasi mengenai ID lubang bor, data koordinat, elevasi dan data total kedalaman dari setiap lubang bor. Data *collar* berfungsi untuk menampilkan titik-titik bor pada perangkat lunak yang digunakan sesuai dengan data koordinat yang dimuat berupa *northing*, *easting*, dan elevasi. Jumlah data *collar* yang digunakan pada penelitian ini adalah 36 titik bor pada masing-masing data bor.

Tabel 3. Data *collar*.

<i>ID Hole</i>	<i>Northing</i> (y)	<i>Easting</i> (x)	Elevasi (m)	Total <i>Depth</i> (m)
LM001	9688000	300497	333.6	4.5
LM002	9688000	300695	338.19	7.5
LM003	9688000	300501	335.95	5
LM004	9688000	300549	346.58	18
LM005	9688000	300546	346.57	25
LM006	9688000	300502	338.76	16
LM007	9688000	300498	342.98	13.5

4. Data *Survey*

Data *survey* (tabel 4) merupakan data yang memuat informasi mengenai data kedalaman maksimal, *azimuth* dan *dip* dari setiap titik bor. Pada kasus endapan nikel, data *azimuth* dan *dip* yang digunakan adalah 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 yaitu 36 data sesuai dengan jumlah titik bor.

Tabel 4. Data *survei*.

<i>ID Hole</i>	<i>Depth</i> (m)	<i>Dip</i> (°)	<i>Azimuth</i> (°)
LM001	4.5	-90	0
LM002	7.5	-90	0
LM003	5	-90	0
LM004	18	-90	0
LM005	25	-90	0
LM006	10	-90	0

5. Data Geologi

Data geologi (tabel 5) merupakan data yang memuat informasi lubang bor mengenai jenis zona dari endapan nikel laterit. Penentuan jenis litologi dari endapan nikel laterit dianalisis setiap kedalaman satu meter sesuai sampel yang diperoleh dari pengeboran, terkadang juga terdapat data yang dianalisis per 50 cm tergantung dari kekerasan batuan yang dibor. Jenis profil yang terdapat pada endapan nikel laterit adalah zona *limonite*, zona *saprolite*, dan zona *bedrock*.

Tabel 5. Data *geology*.

<i>ID Hole</i>	<i>Depth From (m)</i>	<i>Depth To (m)</i>	<i>Lithology</i>
LM002	0	1	LIM
LM002	1	2	LIM
LM002	2	3	LIM
LM002	3	4	LIM
LM002	4	5	LIM
LM002	5	6	SAP
LM002	6	7.5	BRK

2.3 Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan *software Surpac 6.3* untuk mengestimasi sumber daya terukur menggunakan metode *Inverse Distance Weighting (IDW)* dan *Ordinary Kriging*. Pengolahan data dimulai dari pembuatan *database*, *display drillhole*, pembuatan *string* dan *digital terrain Model (DTM)*, pembuatan komposit dan analisis statistik dari komposit laterit, pembuatan blok model dan analisis *variogram*.

1. Validasi Data dan Pembuatan *Database*

Validasi data bertujuan untuk mengoreksi data litologi pada data dari pengeboran dengan data hasil analisis laboratorium. Validasi data bertujuan untuk memastikan bahwa data telah sesuai dengan kadar mineral ditentukan sesuai aturan yang ditetapkan. Validasi data mengacu pada tabel 6 berikut.

Tabel 6. Validasi litologi berdasarkan hasil laboratorium

Layer	MgO (%)	SiO₂ (%)	Fe (%)
<i>Limonite</i>	<5	<10	>35
<i>Saprolite</i>	5-30	10-40	10-35
<i>Bedrock</i>	>30	>40	<10

Pembuatan *database* merupakan langkah awal untuk melakukan pengolahan data setelah dilakukan validasi data. Pemrosesan data dimulai dari pengolahan menggunakan *Microsoft Excel* dengan menyusun data sesuai format yang bisa

terbaca dalam aplikasi *Surpac*. Data-data yang telah dikumpulkan berupa data *assay*, *collar*, *lithology* dan *survey* kemudian disimpan dengan format *comma separated values* (CSV). Data-data tersebut disusun secara teratur dan sistematis untuk mengurangi terjadinya *error* pada saat melakukan *import*. Setelah data-data tersebut di *import*, maka akan muncul hasil validasi data dalam format *Notepad* seperti gambar di bawah. Jumlah data yang divalidasi ditampilkan beserta jumlah data yang *error* atau tidak sesuai ketentuan. Jika tidak ada *error* menandakan data sudah sesuai. Hasil validasi data ditunjukkan pada gambar 9 berikut.

```

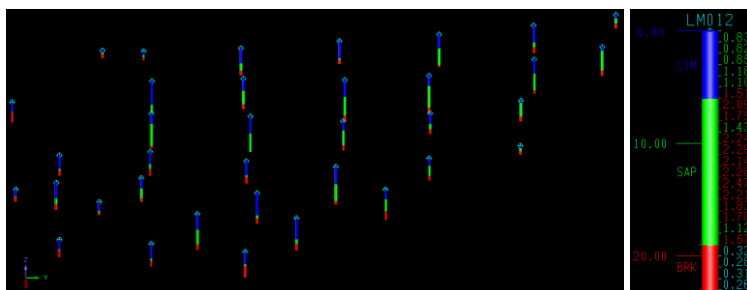
Database Management - Database Load Report      Feb 12, 2025
Date       : 12-Feb-25
Database   : geology_database
Format_file : database.dsc
=====
#####
Loading Table : collar from file collar.csv
#####
          36 records were inserted.
           0 records were updated.
           0 records were rejected.
#####
Loading Table : survey from file survey.csv
#####
          36 records were inserted.
           0 records were updated.
           0 records were rejected.
#####
Loading Table : assay from file assay.csv
#####
          566 records were inserted.
           0 records were updated.
           0 records were rejected.
          Performing sample overlap checks
          no overlapping samples were found
#####
Loading Table : geology from file geology.csv
#####
          566 records were inserted.
           0 records were updated.
           0 records were rejected.
          Performing sample overlap checks
          no overlapping samples were found
Page 1 of 1

```

Gambar 9. Report database yang telah di *import*.

2. Display Drill Hole

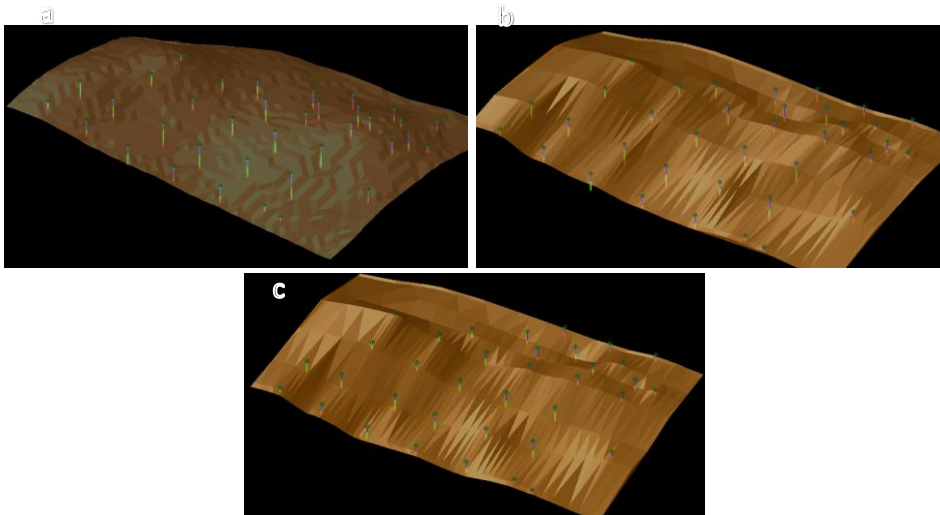
Display drill hole (gambar 10) dilakukan untuk menampilkan visualisasi data bor pada monitor berupa sebaran titik bor, kedalaman, kadar, *lithology*, serta warna yang membedakannya. Dari pembuatan penampang lubang bor ini dapat dilihat bagaimana sebaran ketebalan lapisan pada lubang bor dan melihat bagaimana topografi bisa berpengaruh pada ketebalan dari endapan nikel laterit.



Gambar 10. Display drill hole.

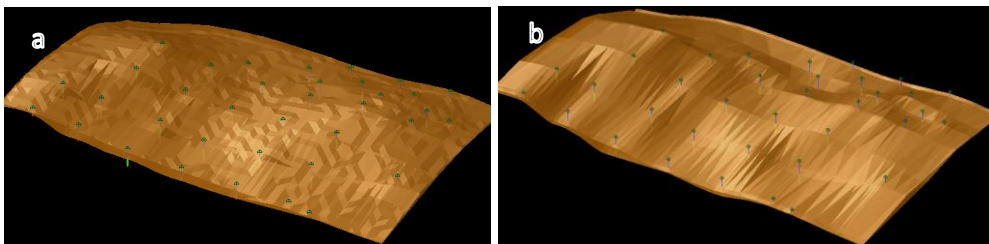
3. Pembuatan *String* dan *Digital Terrain Model* (DTM)

Pembuatan *string* dilakukan untuk membuat batas-batas lapisan yang akan dihitung sumber dayanya. Batas lapisan di sini dibagi berdasarkan *lithology*, maka *string* yang dibutuhkan untuk dibuatkan DTM adalah topografi, *limonite* dan *saprolite*. Pada penelitian ini, sumber daya yang dihitung yaitu *saprolite* dan *limonite* dan hanya dibatasi oleh *cut off grade* (COG) sumber daya yaitu 0,8 sehingga untuk batas yang dibuat yaitu batas atas *limonite* menggunakan batas topografi, batas bawah *limonite* dan batas bawah *saprolite*. Setelah *string* dibuat, ubah dalam format DTM untuk menampilkan *string* dalam tiga dimensi lalu diubah ke DTM (gambar 11) serta digabung menjadi solid *limonite* dan solid *saprolite* seperti pada gambar 12.



Gambar 11. *Digital terrain model* (DTM) (a). batas atas *limonite*, (b). batas bawah *limonite*, (c). Batas bawah *saprolite*.

Batas dari setiap profil digunakan untuk membatasi perhitungan estimasi menggunakan metode geostatistik. Batas atas menggunakan data DEMNAS sedangkan batas bawah *limonite* dan *saprolite* menggunakan data elevasi yang dibuat berdasarkan bentuk topografi.



Gambar 12. *Digital terrain model* (DTM), (a). solid *limonite*, (b). solid *saprolite*.

4. 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

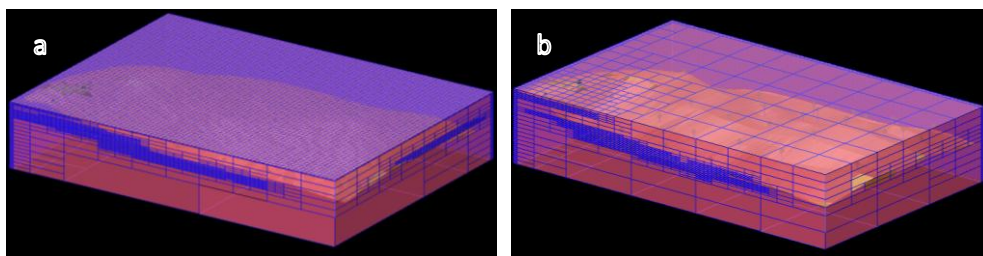
dilakukannya komposit yaitu untuk merata-ratakan nilai kadar terutama jika terdapat nilai interval sampel yang tidak seragam yang mana pada umumnya rata-rata interval sampel *assay* yaitu setiap 1 meter namun terkadang ada interval sampel *assay* juga yang kurang atau lebih dari 1 meter. Oleh karena itu untuk meminimalkan bias nilai *assay* terutama nilai yang sangat tinggi dengan interval sampel yang pendek perlu dilakukan komposit.

5. Analisis Statistik Hasil Komposit

Data *assay* yang memuat nilai kadar akan dilakukan analisis statistik untuk memperoleh parameter-parameter statistik yang dimiliki oleh data *assay*. 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 komposit lubang bor akan menghasilkan data-data statistik seperti nilai maksimum, nilai minimum, nilai rata-rata, standar deviasi dan data statistik lainnya.

6. Pembuatan Blok Model

Pembuatan blok model dilakukan untuk mempermudah dalam proses estimasi sumber daya 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 pengaturan komposit digunakan ukuran blok 5 x 5 x 1 dengan sub blok 2,5 x 2,5 x 0,5. Atribut yang digunakan dalam pembuatan blok model yaitu atribut kadar, densitas, pengelompokan ore dan jenis litologi. Densitas yang digunakan dalam pembuatan blok model ini adalah 1,75 ton/m³ (densitas yang digunakan oleh perusahaan) dengan mengelompokkan jenis litologi berdasarkan layer pada endapan nikel laterit yaitu *limonite*, *saprolite* dan *bedrock* ditunjukkan pada gambar 13. Sedangkan *cut-off grade* yang digunakan adalah 0,8 % Ni.



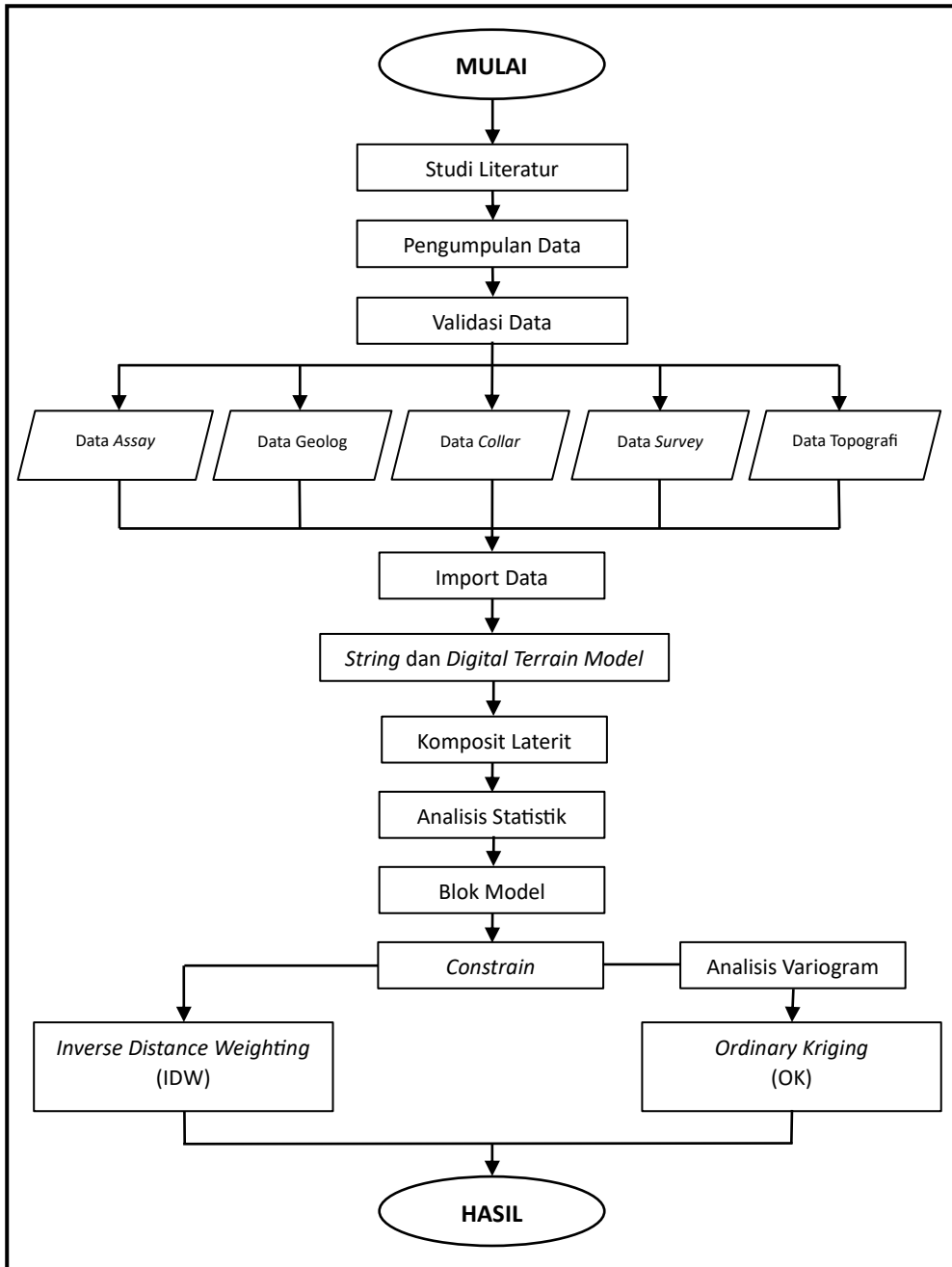
Gambar 13. Blok Model (a). *limonite* (b). *Saprolite*.

7. 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 spasial dari data kadar yang akan digunakan saat estimasi kadar unsur Ni menggunakan metode *ordinary kriging*.

2.5 Bagan Alir

Adapun alur secara singkat terkait penelitian perbandingan estimasi sumber daya nikel laterit dengan menggunakan metode *inverse distance weighting* dan *Ordinary Kriging* dapat dilihat pada gambar 14 berikut:



Gambar 14. Bagan alir penelitian.