

Pemodelan dan Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit Berdasarkan Kandungan Ni dan Fe dengan Menggunakan Metode Kriging di PT Putra Perkasa Abadi, Kecamatan Langgikima, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara

Muhamad Rizaldi Fadlilah*, Noor Fauzi Isniarno, Dono Guntoro

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*fadlilahrizaldi18@gmail.com, noorfauzi@unisba.ac.id, guntorodono@gmail.com

Abstract Nickel laterite is a metallic mineral resulting from the chemical weathering process of ultramafic rocks which results in residual and secondary enrichment of Ni, Fe, Mn, and Co elements (Syafrizal et al., 2011). With the cut-off grade Ni, modeling and estimation of resources is important to obtain a block model of Ni resources. The distribution of Ni levels is heterogeneous, so mining is carried out by selective mining referring to model blocks that have been mapped to meet the cut-off grade Ni. Based on this, it is possible for low and high Ni levels to be optimized, because if you only take Ni levels above 1.6%, Ni levels below the cut-off grade are not utilized. The resource estimation method used is kriging. Because kriging is the best linear unbiased estimator, many parameters are considered in kriging one of which is the variogram model. The variogram model is a geostatistical analysis by considering the location of the sample point, so that information on the relationship of one point with another point is expressed in the range/radius of information points that still have a spatial relationship. Based on statistical analysis, Block North and Block South data distribution are abnormal, with coefficient of variation values of 0.494 and 0.410. Resources that meet the cut-off grade Ni for blending needs are obtained low nickel, medium and high grade ore nickel. The total laterite nickel resources of the North Block amounted to 36,757 tons with an average Ni content of 1.64%, the total laterite nickel resources of the South Block amounted to 178,186 tons with an average Ni content of 1.62%. When viewed from the average rate per block, both blocks meet the cut-off grade Ni.

Keywords: *Resources, Cut-off grade, Estimates.*

Abstrak. Nikel laterit merupakan mineral logam hasil proses pelapukan kimia batuan ultramafik yang mengakibatkan pengkayaan unsur Ni, Fe, Mn, dan Co secara residual dan sekunder (Syafrizal et al., 2011). Dengan adanya *cut-off grade* Ni, maka pemodelan dan estimasi sumberdaya penting dilakukan untuk mendapatkan model blok sumberdaya Ni. Distribusi kadar Ni yang *heterogen*, maka penambangan dilakukan secara *selective mining* mengacu pada blok model yang sudah dipetakan untuk memenuhi *cut-off grade* Ni. Berdasarkan hal tersebut, memungkinkan adanya kadar Ni rendah dan tinggi yang harus di-optimalkan, karena jika hanya mengambil kadar Ni diatas 1.6%, kadar Ni di bawah *cut-off grade* tidak termanfaatkan. Metode estimasi sumberdaya yang digunakan adalah *kriging*. Pemilihan metode *kriging* dikarenakan *kriging* merupakan *best linear unbiased estimator*, banyak parameter yang diperhatikan dalam *kriging* salah satunya adalah model variogram. Model variogram merupakan analisis geostatistik dengan mempertimbangkan lokasi titik sampel, sehingga didapatkan informasi hubungan satu titik dengan titik yang lainnya dinyatakan dalam *range/radius* titik informasi yang masih memiliki hubungan secara spasial. Berdasarkan analisis statistik, Blok *North* dan Blok *South* distribusi datanya tidak normal, dengan nilai koefisien variasi 0.494 dan 0.410. Sumberdaya yang memenuhi *cut-off grade* Ni untuk kebutuhan *blending* didapatkan *low nickel*, *medium* dan *high grade ore nickel*. Total sumberdaya nikel laterit Blok *North* sebesar 36,757 ton dengan kadar Ni rata-rata 1.64%, total sumberdaya nikel laterit Blok *South* sebesar 178,186 ton dengan kadar Ni rata-rata 1.62%. Jika dilihat dari kadar rata-rata per-Blok, kedua Blok memenuhi *cut-off grade* Ni.

Kata Kunci: *Sumberdaya, Cut-off grade, Estimasi.*

A. Pendahuluan

Sumber daya merupakan suatu konsentrasi atau keterbentukan dari material yang memiliki nilai ekonomis pada atau di atas kerak bumi dengan bentuk, kualitas dan kuantitas tertentu yang memiliki keprospekkan yang beralasan yang pada akhirnya dapat diekstrak secara ekonomis (KCMI, 2017). Berdasarkan pemetaan Badan Geologi, Indonesia memiliki sumberdaya bijih nikel sebesar 11.887 juta ton dan cadangan bijih sebesar 4.346 juta ton (PSDMP, 2021). (Faza Nugraha et al., 2022)

Berdasarkan kode KCMI Tahun 2017, sumberdaya mineral diklasifikasikan menjadi kategori tereka, tertunjuk dan terukur. Sumberdaya dapat meningkat tingkat keyakinan geologinya dengan menerapkan jarak titik pengamatan (*grid density*) dalam pengambilan informasi geologi atau sampel. Semakin renggang titik pengamatan data, maka semakin rendah tingkat keyakinannya. Begitupun sebaliknya, semakin rapat titik pengamatan data, maka semakin tinggi tingkat keyakinannya terhadap klasifikasi sumberdaya. (Kurniawan et al., 2020)

Untuk meningkatkan tingkat keyakinan klasifikasi sumberdaya maka perlu dilakukan kegiatan eksplorasi. Berpedoman pada SNI 4726 Tahun 2019 tahapan eksplorasi dilakukan pada dua tahap, yaitu eksplorasi pendahuluan dan eksplorasi terperinci. Kegiatan eksplorasi dapat dilakukan dengan metode eksplorasi langsung dan tidak langsung. Metode eksplorasi tidak langsung dapat dilakukan dengan memanfaatkan sifat fisik (geofisika) dan memanfaatkan sifat kimia (geokimia). Metode eksplorasi langsung dapat berupa pemetaan geologi, sumur uji, parit uji dan pengeboran. Hasil eksplorasi yang didapat berupa nilai estimasi sumberdaya akan menjadi pertimbangan pada kegiatan penambangannya.

Penambangan nikel laterit pada umumnya dilakukan dengan sistem tambang terbuka (*Open Cast*). Nikel merupakan endapan bahan galian yang distribusi kadarnya tidak merata (*heterogen*), pada tempat-tempat tertentu bijih nikel dijumpai dengan kadar yang relatif tinggi dan pada tempat yang lain dijumpai bijih nikel dengan kadar yang rendah. Untuk mendapatkan bijih nikel yang memenuhi *cut-off grade* maka penambangan pada bijih yang menyebar secara tidak merata tersebut dilakukan dengan metode *selective mining* mengacu pada blok model yang sudah dipetakan yang memenuhi *cut-off grade* Ni. (Adit Kurniawan et al., 2021)

Berdasarkan hal tersebut, pada kegiatan penambangan nikel perlu dilakukan estimasi sumberdaya nikel berdasarkan distribusi kadar untuk menentukan kuantitas dan kualitas endapan. Penaksiran kadar dilakukan terhadap blok yang tidak memiliki informasi, dengan hal ini *kriging* dapat menginterpretasi kadar pada blok yang tidak memiliki informasi berdasarkan informasi blok yang ada untuk mendapatkan klasifikasi sumberdaya dengan distribusi kadar *low grade*, *medium grade* dan *high grade*. Sehingga lebih memudahkan pada kegiatan penambangan serta dapat memperkirakan batas-batas penambangan berdasarkan hasil pemodelan dan estimasi sumberdaya. Maka didapatkan sumberdaya nikel dengan distribusi kadar yang memenuhi *cut-off grade* Ni pada proses *blending*.

Dari latar belakang tersebut, adapun perumusan masalah dalam kegiatan penelitian ini yaitu: “Bagaimana distribusi kadar Ni dan Fe Nikel Laterit pada daerah penelitian berdasarkan data bor yang memenuhi *cut-off grade* untuk dilakukan *blending*?”. Kemudian, adapun tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui distribusi kadar Ni pada lokasi penelitian;
2. Mengetahui *cut-off grade* Ni yang masih bisa dimanfaatkan untuk keperluan *blending*;
3. Mengetahui sumberdaya Nikel Laterit yang memiliki nilai kadar Ni sesuai dengan *cut-off grade* Ni yang memenuhi kebutuhan pada proses *blending*.

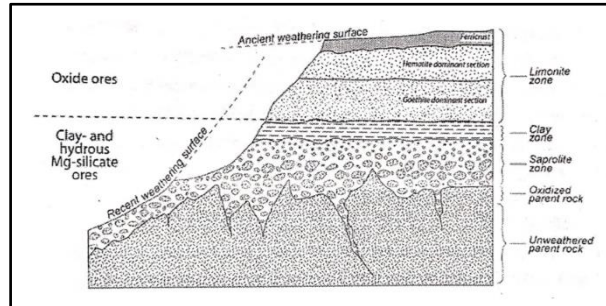
B. Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini data yang digunakan berupa data primer hasil dari kegiatan Eksplorasi rinci di PT Putra Perkasa Abadi, meliputi data *survey*, data *collar*, data litologi data *assay* dan topografi lokal. Selain itu terdapat data sekunder berupa data curah hujan, topografi regional dan *handbook*.

Karakteristik 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 (Syafrietal et al., 2011; 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).



Sumber : Samama, 1986

Gambar 1. Penampang Profil Nikel Laterit

Profil endapan nikel laterit terdiri dari empat horizon utama (**Gambar 1.**), diantaranya:

1. *Iron cap* merupakan lapisan berwarna coklat kemerahan hingga kehitaman ini juga mengandung tumbuh-tumbuhan, humus dan berbagai material organik. *Iron cap* bersifat gembur dengan ketebalan rata-rata 0,3-6 meter.
2. Limonit Lapisan paling atas biasa disebut limonitik sebab walaupun relatif kaya akan oksida besi, lapisan ini tercampur dengan tanah penutup (*top soil*) yang merupakan hasil lapukan lebih lanjut dari batuan beku ultramafik yang didominasi oleh oksida besi, geotit, dan magnetit. Ketebalan lapisan limonit berkisar antara 8-15 meter sehingga sering disebut *overburden*.
3. Saprolit merupakan zona yang sangat kaya akan nikel sebagai hasil pelapukan dari batuan dasar (*bed rock*). Pada zona ini, fragmen-fragmen batuan asal masih terlihat, dari ukuran kerikil hingga bongkah. Pada umumnya, mineral-mineral pada zona saprolit telah mengalami alterasi, komposisi utamanya antarlain besi oksida, serpentin <0,4%, magnesit dan kuarsa. Zona saprolit memiliki ketebalan rata-rata antara 5-18 meter.
4. Bedrock/Unweathered parent rock merupakan zona ini disebut dengan istilah *protholit*, yaitu batuan asal yang terletak pada daerah paling dasar dari profil suatu endapan nikel laterit. Zona ini berupa batuan ultramafik, antara lain *harzburgite*, peridotit atau dunit dengan ukuran bongkah yang besar, lebih dari 75 cm.

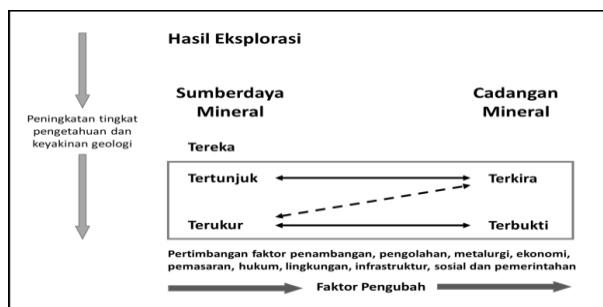
Kegiatan Eksplorasi

Eksplorasi merupakan kegiatan teknis yang dilakukan untuk mendapatkan informasi tentang lokasi, bentuk, dimensi, sebaran, kualitas dan kuantitas terhadap target bahan galian. Berdasarkan KepMen ESDM Nomor 1827 Tahun 2018 eksplorasi terbagi menjadi dua tahapan eksplorasi, yaitu eksplorasi pendahuluan dan eksplorasi rinci. Kegiatan eksplorasi pada daerah penelitian sudah pada tahap eksplorasi rinci dengan menggunakan metode pemetaan geologi (singkapan), sumur uji, parit uji dan pengeboran.

Pada kegiatan pengeboran dilakukan dengan menggunakan *jacro* dengan sistem *triple tube*, penetrasi pengeboran sampai pada zona *bedrock* (minimal 3 meter *bedrock*), blok penetrasi pengeboran per 1 meter, *Core recovery* >90%, Melakukan *logging* geologi pada sampel *core* (identifikasi layer laterit, *break* geologi, mineral pembawa Ni, dsb). Jumlah lubang bor sebanyak 342 lubang yang tersebar pada dua blok, 80 lubang bor berada di Blok North dan 262 lubang bor berada di Blok South. Jarak rata-rata antar titik pengeboran sebesar 50 meter pada kedua blok.

Klasifikasi Sumberdaya

Klasifikasi sumberdaya mineral berdasarkan KCMI dan SNI 4726 Tahun 2019 dibagi menjadi sumberdaya tereka, tertunjuk dan terukur, adapun cadangan mineral terbagi menjadi cadangan terkira dan terbukti.



Sumber : Kode KCMI, 2017.

Gambar 2. Klasifikasi Sumberdaya dan Cadangan Mineral

1. Sumberdaya Mineral Tereka merupakan bagian dari sumberdaya total yang diestimasi meliputi tonase, bentuk, dimensi, kimia, kadar dan kandungan mineralnya hanya diperkirakan dengan tingkat keyakinan geologi (*geological assurance*) rendah.
2. Sumberdaya Mineral Tertunjuk merupakan bagian dari sumberdaya total yang diestimasi meliputi tonase, bentuk, dimensi, kimia, kadar dan kandungan mineralnya hanya diperkirakan dengan tingkat keyakinan yang didasarkan dari informasi titik pengamatan atau pengambilan sampel dan oleh data pendukung keyakinan geologi (*geological assurance*) medium.
3. Sumberdaya Mineral Terukur merupakan bagian dari sumberdaya total yang diestimasi meliputi tonase, bentuk, dimensi, kimia, kadar dan kandungan mineralnya hanya diperkirakan dengan tingkat keyakinan (*geological assurance*) tinggi.

Terdapat faktor-faktor pengubah yang dapat mengkonversi dari sumberdaya menjadi cadangan, antara lain faktor penambangan, pengolahan, metalurgi, ekonomi, pemasaran, hukum, lingkungan, infrastruktur, sosial dan pemerintahan.

1. Cadangan Mineral Terkiraan merupakan bagian dari sumberdaya mineral tertunjuk yang dapat ditambang secara ekonomis dan dalam beberapa kondisi juga merupakan bagian dari sumberdaya mineral terukur.
2. Cadangan Mineral Terbukti merupakan bagian dari sumberdaya mineral terukur yang dapat ditambang secara ekonomis setelah terdapat kepastian terhadap faktor pengubah yang dipertimbangkan.

Klasifikasi Sumberdaya Mineral Berdasarkan Nilai RKSD

RKSD merupakan *relative kriging standard deviation*, nilai RKSD dapat menentukan klasifikasi sumberdaya berdasarkan dari perhitungan. Secara sederhana, berdasarkan nilai RKSD jenis sumberdaya dapat diklasifikasikan dengan *Measured* $0,3 \leq$ *Indicated* $0,5 \leq$ *Inferred* (Blackwell, 2005), menggunakan persamaan matematika untuk menghitung nilai RKSD :

$$RKSD = \frac{\sigma E}{Z}$$

Keterangan :

σE = Kriging Standard Deviation

Z^* = Kriging Value

Kriging

Geostatistik merupakan cara penaksiran terhadap kadar bijih secara akurat. Teknik penaksiran dengan metode geostatistik khususnya dengan *kriging* ini bekerja berdasarkan pada jarak dan korelasi spasial (*spatial correlation*) antar titik sampel. Korelasi spasial yang digunakan

didapatkan dari hasil model variogram, kovariansi atau korelogram. Dengan demikian variogram dapat didefinisikan sebagai *tools* yang digunakan untuk mengkuantifikasikan tingkat kemiripan dan variabilitas antara dua sampel yang terpisah oleh jarak tertentu (h) (Sulistiyana W, 2018).

Kriging menghasilkan bobot yang meminimalkan variansi penaksiran yang disesuaikan dengan konfigurasi conto disekitar blok dan sifat mineralisasi. Sifat mineralisasi tersebut didapatkan dari hasil variogram yang telah mengkuantifikasikan korelasi ruang antara conto. Dapat disimpulkan dua hasil utama yang didapatkan pada metode *kriging* ini adalah taksiran *kriging* dan variansi *kriging* atau simpangan baku *kriging* sebagai ukuran reliabilitas (Sulistiyana W, 2018).

Terdapat jenis *kriging* yang umum digunakan yaitu *ordinary kriging*. *Ordinary kriging* merupakan suatu metode penaksiran variabel terregional pada suatu titik ataupun wilayah dengan kriteria meminimumkan taksiran variansi. *Ordinary kriging* sering dihubungkan dengan sifat BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*) yaitu penaksir tak bias linear terbaik (Armstrong, 1998). Persamaan *ordinary kriging* dapat dinyatakan sebagai berikut:

$[A][X] = [B]$

$$[A] = \begin{bmatrix} c11 & c12 & \dots & c1n & -1 \\ c21 & c22 & \dots & c2n & -1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ cn1 & cn2 & \dots & cnn & -1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & -1 \end{bmatrix} [X] = \begin{bmatrix} w1 \\ w2 \\ \dots \\ wn \\ \mu \end{bmatrix} [B] = \begin{bmatrix} c10 \\ c20 \\ \dots \\ cn0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Keterangan :

[A]: Matriks yang menyatakan kovarian antara sampel dengan sampel.

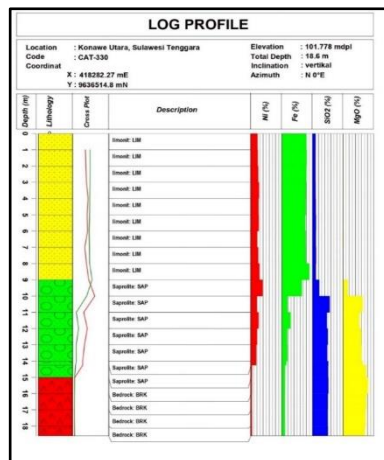
[X]: Matriks kolom bobot persamaan.

[B]: Matriks yang menyatakan kovarian antara sampel terhadap blok yang ditaksir.

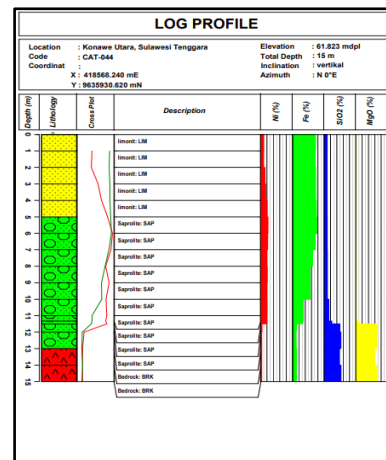
C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Deskripsi Sampel

Deskripsi dilakukan terhadap sampel pada kedua blok sebanyak 342 lubang bor yang hasilnya berupa log bor, deskripsi dilakukan secara megaskopis terhadap sampel pemboran pada saat kegiatan pemboran berlangsung. Hasil deskripsi megaskopis dari sampel hasil pemboran Blok North, dari deskripsi tersebut dibuat profil laterit dengan memasukkan data hasil analisis XRF. Data tersebut divalidasi pada *crossplot curve* logbor dengan mempertimbangkan nilai kadar Ni dan Fe berdasarkan konsep *supergene enrichment* sebagai dasar pembagian horison limonit, saprolit dan *bedrock*.



(a)



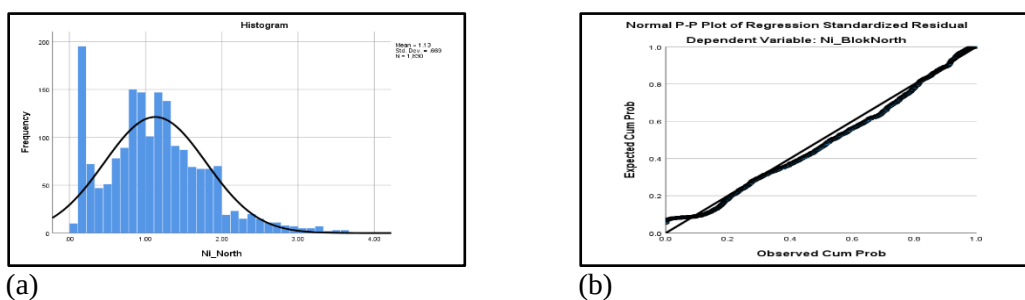
(b)

Gambar 3. (a) Log Bor Blok North CAT-330 dan (b) Log Bor Blok South CAT-044

Analisis Statistik

Dalam penelitian ini terdapat dua analisis statistik yaitu analisis *univariate* dan analisis *bivariate*, termasuk di dalamnya terdapat uji normalitas baik itu secara visual (Histogram dan PP-Plot). Adapun analisis deskriptif terhadap kadar Ni memiliki nilai koefisien variasi sebesar 0.494 di Blok *North* dan 0.410 di Blok *South*. jika dilihat berdasarkan nilai koefisien variasi pada beberapa tipe endapan mineral di dunia, koefisien variasi Ni pada daerah penelitian lebih cenderung mendekati nilai koefisien variasi endapan *iron ore* (0,27) yang menandakan bahwa penyebaran kadar Ni di lokasi penelitian tingkat homogenitasnya relatif rendah.

Uji normalitas secara visual dengan membuat histogram dan probability plot, sangat berguna untuk mengetahui bentuk secara grafik dari distribusi suatu data, sehingga berguna sebagai informasi awal untuk pemrograman data dengan arti lain, kesimpulan dari hasil uji statistik ini dapat menentukan jenis *kriging* yang tepat untuk digunakan berdasarkan distribusi data di lokasi penelitian, jika distribusi data tidak normal, jenis *kriging* yang digunakan yaitu *ordinary kriging* dan jika distribusi data normal, maka *kriging* yang digunakan adalah *simple kriging*.

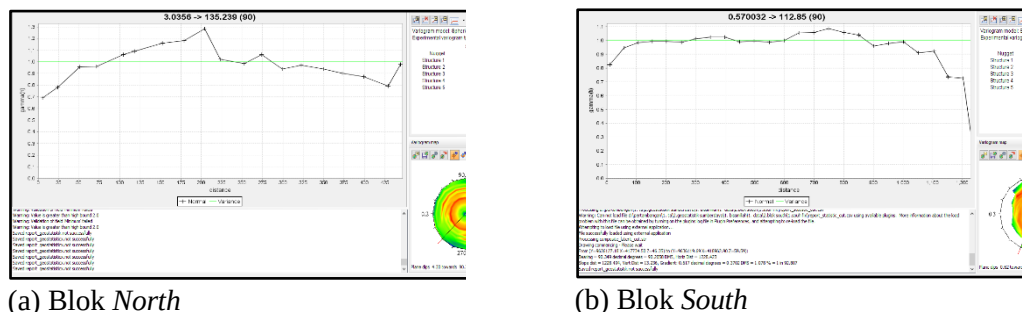


Gambar 4. Histogram Kadar Ni Blok *North* (a) dan *Probability Plot* Kadar Ni Blok *North* (b)

Jika dilihat pada histogram, distribusi data kadar Ni menunjukkan distribusi *skewness positif*, hal tersebut mengartikan bahwa distribusi kadar Ni di lokasi tingkat homogenitasnya relatif rendah. Jadi dapat disimpulkan bahwa kadar Ni memiliki distribusi data tidak normal sehingga metode yang akan digunakan adalah *ordinary kriging*.

Variogram

Variogram merupakan tools yang digunakan untuk menganalisis tingkat kemiripan atau variabilitas antara data nilai pada sampel berdasarkan jarak antara keduanya. Pada penelitian ini, pembuatan variogram dilakukan pada kadar Ni pada nikel laterit dalam arah homogenitas dan kontinuitas (*directional*) dan mengatur parameter jarak *lag*, *tolerance*, *maximal distance*. Tujuannya untuk mendapatkan gambaran umum dan karakteristik spasial kadar yang baik, karena nikel laterit memiliki penyebaran yang relatif tidak homogen dalam berbagai arah.



Gambar 5. Variogram Eksperimental dan Map Kadar Ni (a) Blok *North* dan (b) Blok *South*

Dari hasil model variogram, di Blok *North* memiliki *range* 134.029 meter, yang berarti kadar Ni di Blok *North* dengan radius 134.029 meter masih memiliki hubungan spasial. Adapun di Blok *South* memiliki *range* 325.200 meter, yang berarti kadar Ni di Blok *South* dengan radius

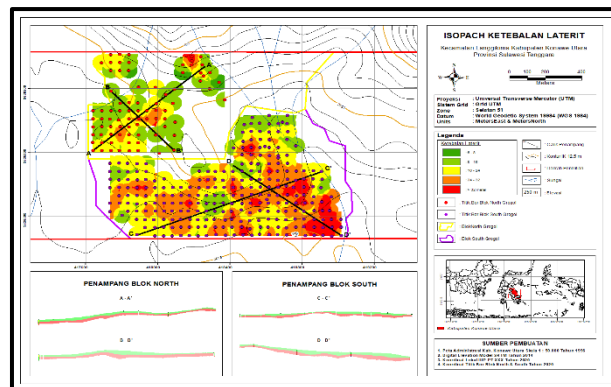
325.200 meter masih memiliki hubungan spasial.

Tabel 2. Parameter Variogram Model Blok North dan Blok South

Sub-Domain	Parameter	Blok North	Blok South
		Nilai Parameter	Nilai Parameter
Kadar Ni	nugget variance (C_0)	0.20103	0.20382
	Sill ($C_1 + C_0$)	0.91439	0.80699
	Range/ a (m)	134.029	325.200

Sumber : Data Hasil Pengolahan, 2023

Dalam penelitian ini, kadar Ni memiliki distribusi data anisotrop, karena kadar Ni relatif homogen ke arah tertentu yaitu arah kuadran 1 dan kuadran 3. Pernyataan tersebut harus divalidasi terhadap kondisi di lapangan, validasi dilakukan dengan peta *isopach* terhadap total tebal nikel laterit, kadar Ni > 1.8% dianggap sebagai tebal nikel laterit.



Gambar 6. Peta Isopach Ketebalan Laterit Blok North dan Blok South

Berdasarkan peta *isopach* di Blok North memiliki arah distribusi total tebal relatif homogen ke arah kuadran 1 dan kuadran 3, hal tersebut juga dibuktikan melalui warna, penampang arah kuadran 1 dan kuadran 3 menunjukkan perbedaan total ketebalan yang relatif homogen, adapun ke arah kuadran 2 dan kuadran 4 jumlah ketebalan semakin bertambah ke arah Barat Laut

Blok Model dan Estimasi Krigging

Blok model dibuat dengan mempertimbangkan topografi, jarak antara titik informasi dan radius daerah pengaruh. Pada pembuatan blok model ini memiliki ukuran blok 5 m x 5 m x 1 m, 5 meter merupakan satu per lima dari jarak titik bor karena mempertimbangkan topografi dan penyebaran Nikel Laterit, adapun 1 m didasarkan pada interval komposit kadar dan tinggi blok model yang dibuat.

Estimasi merupakan penaksiran pada suatu nilai, penaksiran nilai kadar ini dilakukan pada blok-blok yang telah ditentukan dengan menggunakan metode geostatistik yaitu *kriging* dan jenis yang dipakai adalah *ordinary kriging*. Model blok secara keseluruhan akan ditaksir sumberdaya dengan metode *kriging* dengan parameter sebagai berikut:

1. Jumlah blok disesuaikan berdasarkan jarak antara sampel (lubang bor) yang tersebar;
2. Dimensi blok dibuat 5 m x 5 m x 1 m yang didasari oleh ukuran blok penambangan;
3. Koordinat awal sistem pada program ini merupakan koordinat minimum pada titik bor. Adapun *search ellipsoid* dinyatakan dengan parameter sebagai berikut:
 1. Parameter sumbu (*axis*) di mana sumbu major (r_{max}) menyatakan sumbu X, sumbu medium (r_{med}) menyatakan sumbu Y dan sumbu minor (r_{min}) menyatakan sumbu Z, di mana ketiga sumbu tersebut merupakan sumbu dari kartesian;
 2. Parameter sudut digunakan untuk menyatakan posisi dari *ellipsoid* secara tiga dimensi yaitu meliputi sudut α yang menyatakan arah pencarian atau *azimuth*, sudut β yang menyatakan kemiringan suatu bidang pencarian atau *dip* dan sudut θ yang menyatakan sebagai sudut penunjaman dari garis atau arah pencarian data atau *plunge*.

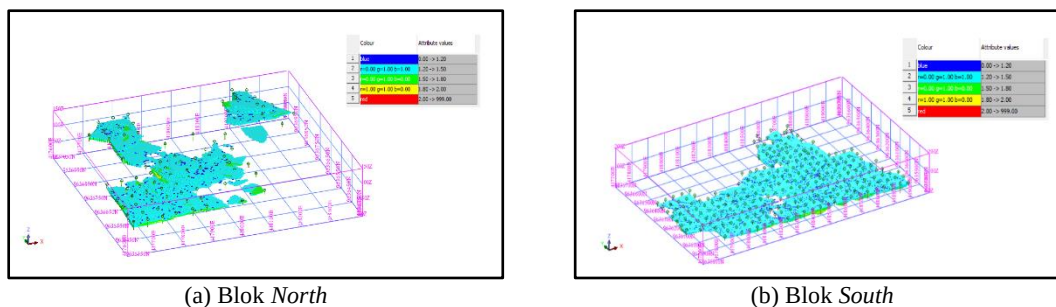
Sebelum dilakukan estimasi sumberdaya, perlu ditentukannya *cut-off grade* Ni yang masih bisa

dimanfaatkan. Adapun dalam penentuan *cut-off grade* Ni minimum dilakukan dengan asumsi perbandingan 1 : 1 dengan koreksi sebesar 1%. Perhitungan *cut-off grade* yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\frac{((W_1 \times C_1) + (W_2 \times C_2) + \dots (W_n \times C_n))}{(W_1 + W_2 + \dots + W_n)} = \text{Kadar yang diinginkan}$$

$$\frac{((1 \text{ ton} \times 2.00\%) + (1 \text{ ton} \times X\%))}{(1 \text{ ton} + 1 \text{ ton})} = 1.80\%$$

$$X\% (\text{cut-off grade}) = 1.60\%$$



Gambar 7. Model Kriging Kadar Ni (a) Blok North dan (b) Blok South

Blok model tersebut merupakan blok model yang sudah tervalidasi oleh *down hole*, *top hole* dan topografi. Blok model dibuat dengan parameter kadar Ni, sehingga blok-blok yang ada pada model menggambarkan informasi kadar Ni, setiap blok model yang memiliki warna menandakan *range* dari kadar Ni sehingga mengklasifikasikan jenis zonasinya. Klasifikasi dibuat dengan *increment* setiap 0.04% dari *cut-off grade* yang telah ditentukan untuk mendapatkan kadar rata-rata 1.8%.

Rekapitulasi volume litologi kemudian dikalikan dengan density masing-masing litologi untuk mendapatkan tonase sumberdaya setiap litologi. Kemudian dari hasil rekapitulasi sumberdaya masing-masing litologi, juga didapatkan kadar Ni rata-rata dari hasil pembobotan terhadap berat. Litologi yang dilakukan report sumberdaya yaitu antara lain *low grade ore nickel*, *medium grade ore nickel* dan *high grade ore nickel* (**Gambar 8.** (a)).

Tabel 3. Rekapitulasi Sumberdaya Tertunjuk Blok North

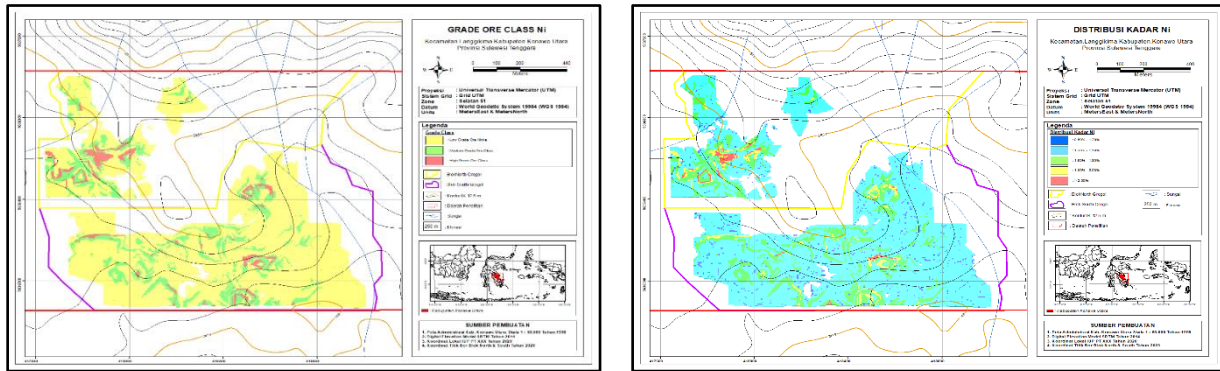
No	Klasifikasi Litologi	Volume (m ³)	Density (ton/m ³)	Tonase (ton)	Kadar Ni (%)	Tonase Ni (ton)
1	<i>Low grade ore nickel</i>	864,625	1.60	1,389,452	1.33	18,480
2	<i>Medium grade ore nickel</i>	390,225	1.57	614,995	1.64	10,086
3	<i>High grade nickel</i>	168,300	1.53	257,836	1.96	5,054
Grand Total		1,423,150	1.57	2,262,283	1.64	36,757

Sumber : Data Hasil Pengolahan, 2023

Tabel 4. Rekapitulasi Sumberdaya Tertunjuk Blok South

No	Klasifikasi Litologi	Volume (m ³)	Density (ton/m ³)	Tonase (ton)	Kadar Ni (%)	Tonase Ni (ton)
1	<i>Low grade ore nickel</i>	4,659,650	1.60	7,488,058	1.34	100,340
2	<i>Medium grade ore nickel</i>	1,933,175	1.57	3,046,684	1.63	49,661
3	<i>High grade nickel</i>	405,550	1.53	621,303	1.89	11,743
Grand Total		6,998,375	1.57	11,156,044	1.62	178,186

Sumber : Data Hasil Pengolahan, 2023


(a) Peta *Grade Ore Class Ni*

(b) Peta Distribusi Kadar Ni

Gambar 8. (a) Peta *Grade Ore Class Ni* dan (b) Peta Distribusi Kadar Ni

Total sumberdaya nikel laterit di Blok *North* 36.757 ton dengan kadar Ni rata-rata 1.64%, kemudian di Blok *South* terdapat total sumberdaya nikel laterit sebanyak 178.186 ton dengan kadar Ni rata-rata 1.62%. Jika dilihat dari kadar rata-rata per Blok, kedua Blok memenuhi *cut-off grade Ni* (**Gambar 8. (a)**).

Dari hasil rekapitulasi sumberdaya nikel laterit di Blok *North* dan Blok *South* dengan nilai kandungan Ni-nya didapatkan (**Gambar 8. (b)**). *Cut-off grade* ditentukan berdasarkan nilai Ni tertinggi untuk mendapatkan kadar Ni 1.8%, dan didapatkan *cut-off grade Ni* yaitu 1.6%. Untuk mendapatkan nilai sumberdaya yang optimal dan memenuhi *cut-off grade Ni*, maka perlu adanya pencampuran dari kadar tinggi terhadap kadar rendah.

Tabel 5. Rekapitulasi Sumberdaya Nikel Laterit dengan Skema Blending

Grade	Rentang Kadar Ni (%)	Blok North		Blok South		Blok North & Blok South		Sumberdaya Nikel Laterit (Ton)	Sisa Nikel Laterit (Ton)
		Tonase Ni (Ton)	Kadar Ni (%)	Tonase Ni (Ton)	Kadar Ni (%)	Tonase Ni (Ton)	Kadar Ni (%)		
E	0.5 - 1.2	32,743	0.84	101,184	0.93	133,926	0.89	188,032	133,738
D	1.2 - 1.5	17,788	1.33	93,945	1.34	111,733	1.34	111,733	0
C	1.5 - 1.8	9,942	1.63	48,649	1.63	58,592	1.63	58,592	0
B	1.8 - 2.0	3,236	1.89	10,929	1.87	14,165	1.88	14,165	0
A	>2.0	1,865	2.09	1,117	2.05	2,982	2.07	2,982	0
Total Sumberdaya		65,574	1.56	255,824	1.56	321,398	1.56	187,660	133,738

Sumber : Data Hasil Pengolahan, 2023

Keterangan :

1. Pencampuran dilakukan pada grade E dengan grade A;
2. Pencampuran dilakukan pada grade B dengan grade C.

Report sumberdaya dilakukan dengan *increment Ni* setiap 0.30%, sehingga didapatkan informasi tonase dan kadar rata-rata pada kadar Ni $0.50\% \geq \text{Ni} < 1.20\%$ (*grade E*), $1.20\% \geq \text{Ni} < 1.50\%$ (*grade D*), $1.50\% \geq \text{Ni} < 1.80\%$ (*grade C*), $1.80\% \geq \text{Ni} < 1.80\%$ (*grade B*) dan $\text{Ni} > 2.0\%$ (*grade A*). Sehingga untuk mendapatkan sumberdaya yang banyak dengan *cut-off grade Ni*, maka skema dibuat seperti di bawah ini:

1. Grade E – Grade A

$$\text{Kadar Ni} = \frac{(188.032 \text{ ton} \times 0.89\%) + (2.982 \text{ ton} \times 2.07\%)}{(188.032 \text{ ton} + 2.982 \text{ ton})}$$

$$\text{Kadar Ni} = 1.99\%$$

2. Grade C – Grade B

$$\text{Kadar Ni} = \frac{(58.592 \text{ ton} \times 1.63\%) + (14.165 \text{ ton} \times 1.88\%)}{(58.592 \text{ ton} + 14.165 \text{ ton})}$$

$$\text{Kadar Ni} = 1.67\%$$

Sumberdaya Nikel Laterit dengan kadar Ni 0.50% - 1.20% tersisa 133,738 ton, untuk mengecilkan jumlah sisa nikel laterit yang tersisa perlu adanya tambahan Nikel Laterit yang cukup banyak dengan kadar Ni yang tinggi (>2.0%). Dengan demikian perlunya tambahan titik eksplorasi untuk menambah jumlah sumberdaya, berdasarkan peta *isopach* ketebalan (kadar Ni

>2.0%), di Blok *North* pada arah Barat Laut, Nikel Laterit semakin menebal, yang artinya ke arah Barat Laut akan semakin banyak ditemui nikel laterit yang kadar Ni > 2.0%, sehingga disarankan untuk menambah titik eksplorasi di Blok *North* ke arah Barat Laut, semakin banyak titik eksplorasi maka sumberdaya Nikel Laterit yang tersisa akan semakin berkurang.

Nilai RKSD (*Relatif Kriging Standard Deviasi*)

Perhitungan nilai RKSD bertujuan untuk mendapatkan klasifikasi sumberdaya yang dihasilkan. RKSD merupakan nilai hasil perhitungan standard deviasi hasil *kriging* terhadap nilai estimasi *kriging*. Untuk mencari nilai RKSD dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{RKSD Blok North} &= \frac{0.517}{1.167} = 0.422 \\ \text{RKSD Blok South} &= \frac{0.554}{1.363} = 0.406 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan nilai RKSD didapatkan nilai *relative kriging standard deviation* di Blok *North* senilai 0,422. Nilai RKSD tersebut akan disesuaikan berdasarkan klasifikasi menurut *Blackwell, 2005*. Nilai 0,422 masuk ke dalam sumberdaya terukur. Adapun untuk di Blok *South* didapatkan nilai RKSD senilai 0,406. Sehingga dapat disimpulkan bahwa di Blok *South* dengan berdasarkan distribusi nilai Ni dengan jarak antara titik bor seperti yang sudah ditetapkan, masuk ke dalam sumberdaya terukur.

D. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini, peneliti menyimpulkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisis statistik, Blok *North* dan Blok *South* memiliki distribusi data tidak normal, dengan nilai koefisien variasi 0.494 dan 0.410. Hasil dari pembuatan peta *isopach* di Blok *North* memiliki arah distribusi total tebal relatif homogen ke arah kuadran 1 dan kuadran 3, dan semakin menebal ke arah Barat Laut. Begitupun di Blok *South*, distribusi homogen ke arah kuadran 1 dan kuadran 3 atau ke arah Timur Laut dan Barat Daya, semakin menebal ke arah Tenggara;
2. Untuk *cut-off grade* Ni yang masih bisa dimanfaatkan untuk keperluan blending adalah 1.60%;
3. Rekapitulasi sumberdaya dari kedua blok yang memenuhi *cut-off grade* Ni yang sesuai dengan persyaratan untuk memenuhi kebutuhan *blending* didapatkan dari *low grade nickel* sebanyak 118,820 ton dengan kadar Ni 1.33%, didapatkan dari *medium grade ore nickel* sebanyak 59,747 ton dengan kadar Ni 1.63%, didapatkan dari *high grade ore nickel* sebanyak 16,796 ton dengan kadar Ni 1.92%, sehingga total sumberdaya nikel laterit yang memenuhi *cut-off grade* adalah 76,543 ton.

Acknowledge

Sebagai tanda bakti, hormat dan rasa terima kasih yang tiada terhingga kupersembahkan karya kecil ini kepada keluargaku, Ibu Elis Komaria dan Bapak Atik Saepudin serta Almarhum nenek saya kakakku tercinta Dian Masmawati dan keluarganya yang telah memberikan kasih sayang, secara dukungan, ridho, dan cinta kasih yang tiada terhingga. Terimakasih kepada Ajeng Agustina Natahsia sebagai partner terbaik dan senantiasa bersabar untuk mendengarkan keluhan penyusun. Teman-teman Tambang UNISBA 2018 yang tidak bisa di sebutkan satu persatu. Keluarga Laboratorium Eksplorasi 2018, Keluarga Ekplorasi 2017 dan 2019. Bapak Noor Fauzi Isniarno, S.Pd., S.Si., M.T selaku dosen pembimbing dan bapak Ir. Dono Guntoro, S.T., M.T selaku co-pembimbing skripsi saya, terimakasih banyak sudah membantu selama ini, sudah dinasehati, sudah diajari, dan mengarahkan saya sampai penelitian ini selesai

Daftar Pustaka

- [1] Ashray A.Doshi, Adam J.Postula. 2015. "Development of micro-UAVwith integrated motion planning for open-cut mining surveillance". Microprocessors and Microsystems, Volume 39, Issue 8, November 2015, Pages 829-835.

- [2] Bemmelen, R.W. Van, 1949, *The Geology Of Indonesia vol.II*, Martinus Nijhoff, The Hague.
- [3] Burger, P. A., 1996. “Origins and Characteristic of Lateritic Deposits. *Prosiding nickel’96* PP 179 –183” *the australisian institute of mining and metallurgy*. Meulbourne.
- [4] 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*.
- [5] Guntoro, Dono, 2011. “Karakterisasi Mineralogy Endapan Nikel Laterit di daerah Tinanggea Kabupaten Palangga Provinsi Sulawesi Tenggara”. *JTM*. XVIII (4/2011).
- [6] Surono. 2013. “Geologi Lengan Tenggara Sulawesi”. Bandung, Indonesia: Badan Geologi Kementerian Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral. Bandung.
- [7] Syafrizal, 2011. “Penerapan Konsep Eksplorasi, Sumberdaya Dan Cadangan Dalam Konservasi Sumber Daya Bahan Galian”. *Prosiding TPT XX PERHAPI 2011*. Jakarta:
- [8] Adit Kurniawan, Dudi Nasrudin, & Rully Nurhasan. (2021). Rancangan Teknis Penambangan Bijih Nikel pada Daerah Blok C PT XYZ Desa Boenaga, Kecamatan Lasolo, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 1(2), 101–106. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v1i2.394>
- [9] Faza Nugraha, Yunus Ashari, & Khorniawan, W. B. (2022). Estimasi Sumberdaya Bauksit Menggunakan Metode Geostatistik di PT. XYZ Kabupaten Mempawah. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 91–98. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v2i2.1141>
- [10] Kurniawan, E., Nalendra, S., & Tressna Gandapradana, M. (2020). Estimasi Sumberdaya Underground Coal Gasification (UCG), Daerah Banjarsari, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Prosiding TPT XXIX PERHAPI*.