

GEOLOGI DAN ESTIMASI SUMBER DAYA NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN METODE ORDINARY KRIGING DI BLOK R, KABUPATEN KONAWE – SULAWESI TENGGARA

Hendro Purnomo¹ dan Erry Sumarjono^{1,2}

¹Mahasiswa Magister Teknik Pertambangan, UPN “Veteran” Yogyakarta

²Jurusan Teknik Pertambangan, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional

Email: hendro.purnomo.hpu@gmail.com

erry.sumarjono@gmail.com

Abstrak

Endapan laterit nikel terbentuk sebagai hasil dari pelapukan lanjut batuan ultra basa pembawa Ni silikat. Secara umum profil endapan laterit nikel terdiri dari lapisan tanah penutup, lapisan limonit, lapisan saprolit dan batuan dasar. Penelitian ini bertujuan untuk menaksir potensi sumber daya laterit nikel dan sebaran kadar mineralisasi nikel di daerah penelitian dengan menggunakan metode geostatistik ordinary kriging. Berdasarkan data yang ada dilakukan analisis anisotropi dan penentuan parameter variogram untuk digunakan dalam estimasi kriging. Metode kriging ini digunakan untuk mengestimasi kadar nikel pada suatu blok yang belum diketahui nilai kadarnya secara horizontal. Hasil perhitungan sumber daya tonase nikel dengan cut off grade 1.2% Ni sebelum dilakukan estimasi kriging sebesar 1095029,53 ton dan setelah dilakukan estimasi kriging menjadi 936064 ton. Perbedaan ini terjadi karena pada data taksiran kriging terjadi penyeragaman nilai kadar, sehingga dalam perhitungan tonase tidak terjadi *over estimate* pada lapisan yang tebal. Penyebaran nilai kadar nikel dari hasil taksiran kriging menunjukkan bahwa sebaran mineralisasi nikel dengan kadar > 1.2% terdapat pada bagian utara dan selatan daerah penelitian. Hasil validasi silang antara data aktual dengan data taksiran menunjukkan hasil yang kurang bagus. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan sumber daya dengan metode lain misalnya dengan metode IDW dan atau NNP sebagai pembandingan.

Kata kunci : batuan dasar, *boxwork*, limonit, *range*, saprolit.

1. Pendahuluan

Estimasi sumber daya dan sebaran kadar mineralisasi bahan galian perlu dilakukan pada setiap tahapan eksplorasi. Hal ini sangat penting karena diperlukan untuk bahan evaluasi apakah kegiatan eksplorasi tersebut akan dilanjutkan pada kegiatan tahap berikutnya atau tidak. Informasi mengenai kondisi geologi, model sebaran mineralisasi dan taksiran sumber daya yang diperoleh pada tahap prospeksi akan digunakan untuk merancang pola lokasi titik bor, jarak spasi dan jumlah titik bor yang akan dilakukan pada tahap eksplorasi pendahuluan, demikian selanjutnya hasil eksplorasi pada tahap pendahuluan akan digunakan untuk merancang kegiatan pada tahap eksplorasi rinci. Pada akhirnya hasil permodelan dan perhitungan sumber daya pada tahap eksplorasi rinci akan digunakan untuk mengevaluasi apakah sebuah kegiatan penambangan layak atau tidak untuk dilakukan.

Telah dikenal beberapa metode perhitungan sumberdaya bahan galian diantaranya metode *cross section*, metode NNP (*Neighborhood Nearest Point*), metode IDW (*Inverse Distance Weighting*) dan metode geostatistik kriging. Metode kriging dianggap paling baik dalam hal ketepatan penaksirannya. Metode ini sudah memasukkan aspek spasial atau posisi dari titik referensi yang akan digunakan untuk

menaksir suatu titik tertentu. Proses kriging akan memberikan nilai pengestimasi kadar blok berdasarkan kadar-kadar sampel yang telah dikoreksi. Estimasi sumber daya pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode geostatistik kriging untuk penaksiran kadar nikel.

Tujuan penelitian ini dilakukan untuk menaksir potensi sumber daya nikel laterit dan sebaran kadar mineralisasi nikel di daerah penelitian. Penelitian dilakukan di daerah blok R kabupaten Konawe-Sulawesi Tenggara (Gambar.1).



Gambar.1 : Lokasi daerah penelitian

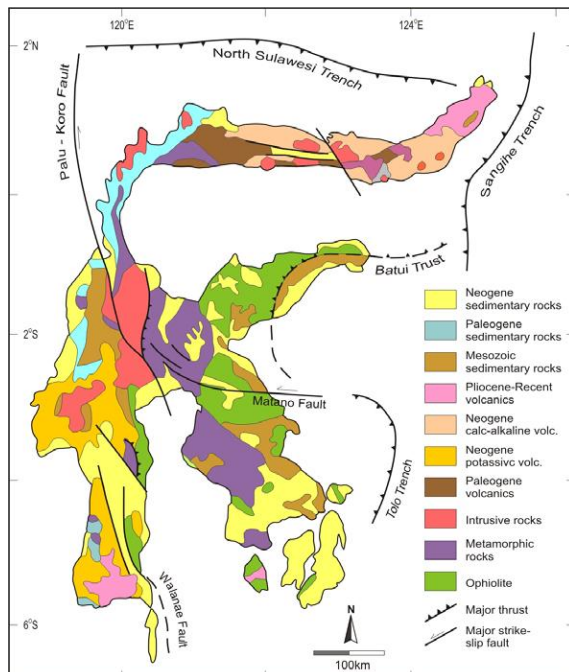
2. Dasar Teori

Geologi

Secara tektonostratigrafi pulau Sulawesi dapat dibagi menjadi dua mandala yaitu mandala Sulawesi Barat dan mandala Sulawesi Timur. Mandala Sulawesi Barat yang meliputi Sulawesi Selatan, Sulawesi Barat, Sulawesi Tengah bagian barat dan Sulawesi Utara, dicirikan oleh batuan plutonik dan vulkanik berumur Tersiar, sedangkan mandala timur tersusun oleh gabungan ofiolit, batuan metamorfis dan batuan sedimen pelagos (Gambar.2)

Menurut peta geologi regional (Simanjuntak dkk, 1993), daerah penelitian dan sekitarnya ditempati kelompok batuan ofiolit yang terdiri dari peridotit (harzburgit, lherzolite, wehrlite), dunit dan serpentin. Batuan serpentin terbentuk dari hasil alterasi mineral ferromagnesia seperti olivine, piroksin dan amfibol. Hasil analisa petrografi dari beberapa contoh batuan di daerah penelitian menunjukkan jenis batuan peridotit dan dunit dengan komposisi mineral terdiri dari olivine, piroksin, serpentin dan magnetit.

Secara umum struktur sesar di daerah ini berarah Barat Laut – Tenggara dan Timur – Barat, terdiri dari sesar geser mendatar, sesar sungkup dan sesar turun. Sesar utama di daerah ini adalah sesar Matano yang merupakan sesar geser kiri dengan arah Barat Laut – Tenggara.



Gambar 2: Peta geologi P.Sulawesi (Van Leeuwen, dkk, 2011)

Genesa Nikel Laterit

Endapan nikel laterit merupakan hasil pelapukan lanjut dari batuan ultra basa pembawa Ni-

Silikat. Umumnya terjadi pada daerah dengan iklim tropis sampai subtropis. Menurut Prijono, A., 1977 (dalam Asy'ari, dkk, 2013) bahwa pencucian pada batuan yang tidak resisten mengakibatkan terjadinya pengkayaan in-situ pada Fe, Al, Cr, Ni dan Co pada peridotit. Proses pencucian silika dan mineral yang mudah larut dari profil soil pada lingkungan yang bersifat asam, hangat dan lembab disebut sebagai lateritisasi.

Secara umum profil endapan laterit nikel terdiri dari empat lapisan, yaitu lapisan tanah penutup, lapisan limonit, lapisan saprolit dan batuan dasar (*bedrock*).

1. Lapisan tanah penutup

Lapisan ini berwarna coklat kemerahan, merupakan kumpulan massa gutit, hematit dan limonit, mempunyai kadar besi yang tinggi tetapi kandungan nikel yang relatif rendah.

2. Lapisan Limonit

Lapisan ini berbutir halus, berwarna coklat muda sampai kekuningan dengan komposisi mineral terdiri dari gutit, limonit, hematit, magnetit, kromit dan kuarsa sekunder. Kadang-kadang juga dijumpai mineral talk, tremolit, kuarsa dan maghemit. Pada gutit terikat nikel, krom, kobalt, vanadium dan aluminium. Lapisan ini umumnya tipis pada daerah yang terjal atau hilang karena erosi.

3. Lapisan Saprolit

Lapisan ini umumnya berwarna coklat kekuningan sampai kehijauan, merupakan lapisan batuan dasar yang sudah lapuk, struktur dan tekstur batuan asal masih bisa terlihat. Perubahan geokimia zona ini, yang terletak di atas batuan asal, tidak banyak H₂O dan nikel bertambah, sedangkan magnesium dan silika hanya sedikit yang hilang terlindi. Zona ini terdiri dari campuran dari sisa-sisa batuan asal, butiran halus limonit, vein garnierit, kuarsa, mangan dan kadang-kadang terdapat silika *boxwork*.

4. Batuan Dasar

Merupakan bagian terbawah dari profil laterit, tersusun dari bongkah-bongkah yang lebih besar dari 75 cm dan blok batuan dasar. Umumnya zona ini berwarna abu-abu kehijauan dan tidak mengandung mineral ekonomis. Kadar mineral logam mendekati atau sama dengan batuan asal.

3. Metode Penelitian

Metode penelitian meliputi pemetaan geologi dan pengambilan sampel di daerah penelitian. Data untuk estimasi sumber daya nikel merupakan data sekunder yang diperoleh dari hasil pembaroran prospeksi dengan jarak spasi (500 x 500) m². Data tersebut meliputi kode titik bor, koordinat lokasi titik bor, ketebalan laterit nikel dan kadar nikel serta unsur lainnya. Metode estimasi sumber daya dilakukan dengan menggunakan metode geostatistik *ordinary kriging*. Metode ini dipilih karena dianggap

lebih teliti dibandingkan dengan metode konvensional.

Metode Geostatistik dan Ordinary Kriging

Kriging adalah suatu metoda geostatistik yang digunakan untuk menaksir besarnya nilai karakteristik pada titik lokasi yang tidak tersampel berdasarkan data titik yang tersampel disekitarnya, dengan mempertimbangkan korelasi spasial yang ada dalam data tersebut. Penggunaan metoda kriging dilakukan dalam dua tahap yaitu tahap pertama menghitung nilai variogram atau semivariogram dan fungsi kovarian. Tahap kedua melakukan penaksiran lokasi yang tidak tersampel.

Semivariogram Eksperimental

Semivariogram adalah perbedaan rata-rata antara dua titik yang terpisah dengan jarak pada arah tertentu. Semivariogram eksperimental adalah semivariogram yang diperoleh dari data hasil pengukuran. Semivariogram dapat digunakan untuk mengukur korelasi spasial berupa variansi selisih pengamatan pada lokasi x dan lokasi berjarak x+h. Semivariogram eksperimental dinyatakan dalam rumus:

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

Dimana :

- $\gamma(h)$: semi variogram untuk arah tertentu dengan jarak h.
- H :jarak antar conto atau lag semivariogram.
- $z(x_i)$:harga data pada titik x_i .
- $z(x_i + h)$:data pada titik yang berjarak h dari x_i .
- N(h) : jumlah pasangan data.

Semivariogram Teoritis

Untuk melakukan analisa data geostatistik perlu dilakukan pencocokan antara bentuk semivariogram eksperimental dengan semivariogram teoritis yang mempunyai bentuk kurva paling mendekati. Terdapat tiga model semivariogram teoritis yang sering digunakan sebagai pembanding dengan semivariogram eksperimental, yaitu: model *spherical*, model *gaussian* dan model eksponensial. Dari analisis variogram akan diperoleh nilai parameter nugget (Co), range (a) dan sill (C).

Ordinary Kriging

Ordinary kriging adalah metode kriging paling sederhana yang terdapat pada geostatistik. Pada metode ini diasumsikan bahwa rata-rata (mean) tidak diketahui dan bernilai konstan. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengolahan data dengan metode ordinary kriging antara lain:

1. Mencari nilai rata-rata di seluruh blok. Bila harga taksiran suatu kadar Z dari suatu volume adalah \hat{Z}_x maka taksiran kadar dapat dihitung melalui pembobotan tertimbang kadar-kadar conto Z_{xi} .

$$\hat{Z}_x = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z_{xi} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

2. Mempertimbangkan kondisi tak bias dengan menentukan jumlah faktor pembobot sama dengan satu.

$$\sum_i \lambda_i = 1$$

Dimana:

- \hat{Z}_x : nilai estimasi kadar di lokasi x
- λ_i : faktor pembobot
- Z_{xi} : nilai kadar di lokasi xi dan
- n: jumlah sampel.

Nilai yang diharapkan untuk perbedaan antara \hat{Z}_x dengan Z sama dengan nol ($\hat{Z}_x - Z = 0$).

Cross Validation

Cross validasi dilakukan untuk melihat keakuratan hasil estimasi yang telah dilakukan dengan cara membandingkan nilai hasil estimasi pada suatu lokasi sampel dengan nilai data yang sebenarnya pada lokasi tersebut. Selanjutnya hasil dari perbandingan tersebut dapat di *plot* dalam diagram *scatter plot* antara kadar sebenarnya dan kadar estimasi. Cross validasi yang baik memiliki nilai koefisien regresi sama dengan atau mendekati satu hal ini menunjukkan bahwa nilai hasil penaksiran sama dengan atau mendekati nilai yang sebenarnya.

Penaksiran Sumber Daya

Untuk penaksiran sumber daya nikel, digunakan persamaan :

$$\text{Tonase} = T \times A \times d$$

- Dimana : T : ketebalan rata-rata bijih
- A : luas blok dan
- d : berat jenis.

Untuk menghitung ketebalan rata-rata bijih digunakan formula (Rauf, 1998):

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

Dimana :

- n : jumlah titik bor.
- t_i : ketebalan bijih pada titik bor.

Untuk menghitung kadar rata-rata bijih digunakan formula (Rauf, 1998):

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n v_i \cdot g_i}{\sum_{i=1}^n v_i}$$

Dimana :

G : kadar bijih rata-rata

v_i : volume blok

g_i : taksiran kadar.

4. Hasil dan Pembahasan

Morfologi

Daerah penelitian terletak pada ketinggian lebih dari 350m dari permukaan laut, merupakan cekungan memanjang yang terdiri dari dataran basah dan perbukitan bergelombang rendah dengan arah Barat Daya – Tenggara yang dikelilingi oleh perbukitan bergelombang dengan kemiringan lereng yang lebih terjal. Daerah ini dialiri sungai dengan cabang-cabangnya membentuk pola aliran parallel yang mencerminkan control struktur dengan arah utama Barat Daya – Tenggara.

Litologi

Daerah penelitian dan sekitarnya ditempati kelompok batuan ofiolit yang terdiri dari peridotit (harzburgit, lherzolit, wehrlite), dunit dan serpentin. Batuan serpentin terbentuk dari hasil alterasi mineral ferromagnesia seperti olivine, piroksin dan amfibol. Hasil analisa petrografi dari beberapa conto batuan di daerah penelitian menunjukkan jenis batuan peridotit dan dunit dengan komposisi mineral terdiri dari olivin, piroksin, serpentin dan magnetit.

Struktur Geologi

Indikasi struktur yang teramati dilapangan adalah kelurusan tebing dan bukit serta pola aliran sungai yang menunjukkan kecenderungan arah Barat laut – Tenggara. Secara umum di daerah penelitian tidak ditemukan struktur geologi yang dapat teramati dengan jelas karena proses lateritisasi yang intensif. Struktur kekar umumnya teramati pada inti bor pada zona kontak antara saprolit dan batuan dasar yang pada beberapa lokasi terisi mineral garnierite dan kuarsa.

Pengolahan Data

Penentuan Zona Komposit

Daerah penelitian seluas 4000 m x 3000 m telah dilakukan pengeboran secara regular dengan spasi 500m. Terdapat 60 titik bor yang telah tersampel dan tiga titik bor tidak tersampel. Variabel yang akan diperhitungkan adalah kadar nikel dan ketebalan pada zona limonit yang dianggap cukup ekonomis dengannilai *cutoff grade* (COG) = 1.2 % Ni dan berat jenis = 1,6 kg/m³.

Penentuan zona komposit dilakukan pada zona limonit yang didasarkan pada data deskripsi inti bor

di lapangan dan data geokimia dengan parameter kadar Fe > 40%.(Tabel 1).

Tabel 1 :Data komposit kadar nikel pada zona limonit

No:	Timur (UTM)	Utara (UTM)	Kadar Ni (%)	Tebal (m)
1	370500	9664500	1.12	8.3
2	370500	9665000	0.97	5
3	370500	9665500	0.88	3.4
4	370500	9666000	1.29	5
5	370500	9666500	1.20	9
6	370500	9667500	1.66	10
7	371000	9664500	1.11	10
8	371000	9665000	1.28	8
9	371000	9665500	1.23	10
10	371000	9666000	1.43	8.7
11	371000	9667000	0.88	10
12	371000	9667500	0.95	2
13	371500	9664500	1.11	8
14	371500	9665000	1.59	8.3
15	371500	9665500	1.12	6
16	371500	9666000	1.32	8
17	371500	9666500	1.34	3.5
18	371500	9667000	1.01	15
19	371500	9667500	1.67	7
20	372000	9664500	1.01	5
21	372000	9665000	1.40	8
22	372000	9665500	1.05	6
23	372000	9666000	1.02	2.1
24	372000	9666500	1.09	3.12
25	372000	9667000	1.50	10
26	372000	9667500	1.27	3
27	372500	9664500	1.40	9.3
28	372500	9665000	1.61	10
29	372500	9665500	1.86	9.15
30	372500	9666000	1.30	8
31	372500	9666500	1.02	7
32	372500	9667000	0.91	9
33	372500	9667500	0.95	6.5
34	373000	9664500	1.06	2.4
35	373000	9665000	1.06	3.05
36	373000	9665500	1.53	4
37	373000	9666000	1.23	15
38	373000	9666500	1.16	10
39	373000	9667000	1.16	7.9
40	373000	9667500	1.01	1.3
41	373500	9664500	1.38	3
42	373500	9665000	1.04	9
43	373500	9665500	1.01	9.04
44	373500	9666000	0.86	1.52
45	373500	9666500	0.86	12.9
46	373500	9667000	1.52	4.8
47	373500	9667500	1.52	1.57
48	374000	9664500	0.94	5
49	374000	9665000	1.73	8
50	374000	9665500	1.62	6
51	374000	9666000	1.31	4

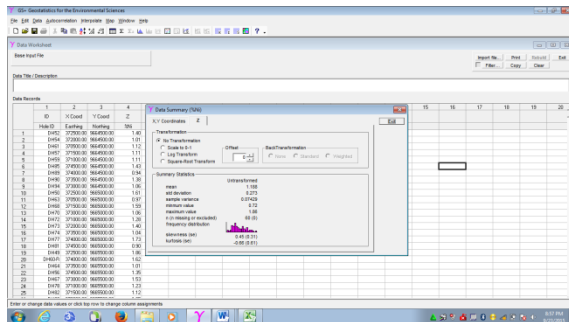
52	374000	9667000	0.75	4
53	374000	9667500	0.92	1.3
54	374500	9664500	1.43	5.9
55	374500	9665000	0.90	7.7
56	374500	9665500	1.35	9.9
57	374500	9666000	0.78	3.2
58	374500	9666500	0.93	4
59	374500	9667000	0.73	5
60	374500	9667500	0.94	13

Analisa Data dan Perhitungan

Proses kriging menggunakan aplikasi *software* GS+ versi.7.0 dengan metoda kriging blok dua dimensi. Beberapa tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

Analisis Statistik

Dalam penelitian ini pengolahan data awal menggunakan metode univarian untuk menggambarkan distribusi dari peubah-peubah tunggal dan dapat dimanfaatkan untuk menganalisis hubungan antar data dari suatu populasi tanpa memperhatikan lokasi dari data tersebut. Pengolahan data statistik univarian dalam penelitian ini dilakukan terhadap kadar nikel dan hasilnya ditampilkan dalam bentuk histogram. Hasil analisis statistik diperoleh nilai mean= 1,188; standart diviasi= 0,273; variansi= 0,074; nilai maksimum= 1,86; nilai minimum= 0,72 dan jumlah sampel n= 60. (Gambar.3). Nilai variansi selanjutnya akan digunakan sebagai acuan untuk menentukan nilai sill dalam analisa struktural model variogram.



Gambar 3:Histogram kadar Ni dan nilai rangkuman statistik.

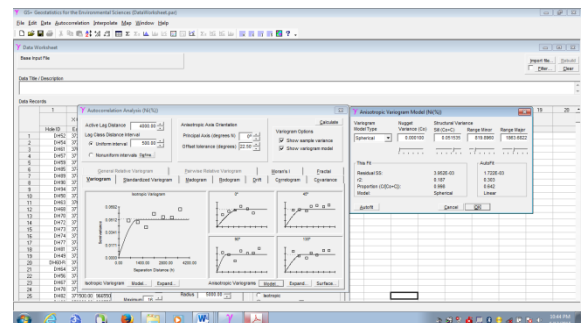
Analisis Geostatistik

Semivariogram Kadar Nikel

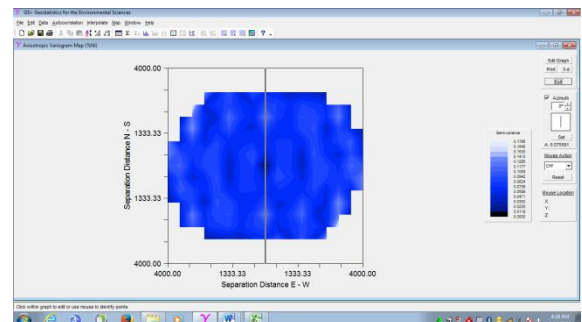
Pada program GS+ v.7.0 perhitungan semivariogram eksperimental diperlukan data dari Ms Excel yang meliputi kode sampel atau kode titik bor, titik koordinat sampel dan kadar nikel. Dalam perhitungan ini untuk mengetahui adanya korelasi spasial dari variable terregional, semivariogram eksperimental dihitung dari empat arah yaitu: 0°, 45°, 90° dan 135°. Selanjutnya dilakukan analisa struktural atau pencocokan antara pola data

dalam semi variogram eksperimental dengan model semivariogram teoritis diperoleh model yang paling sesuai adalah model variogram *spherical* (Gambar.4). Pemilihan model variogram ini selanjutnya akan sangat menentukan hasil proses kriging dalam mengoreksi dan menafsirkan nilai suatu variable.

Dalam analisa struktural jugadiperoleh bentuk yang menunjukkan anisotropi geometri elip untuk kadar nikel dengan *range* (a) terpanjang 1863,68 m dan *range* (a) terpendek 819,89 m dengan arah N 0°E. Bentuk anisotropi ini menggambarkan *range* daerah pengaruh dimana nilai semivariogram masih memiliki korelasi *spasial* (Gambar.5)



Gambar.4: Hasil analisa struktural menunjukkan model variogram *spherical*.



Gambar.5 :Peta variogram anisotropikadar nikel padaprogram GS+.

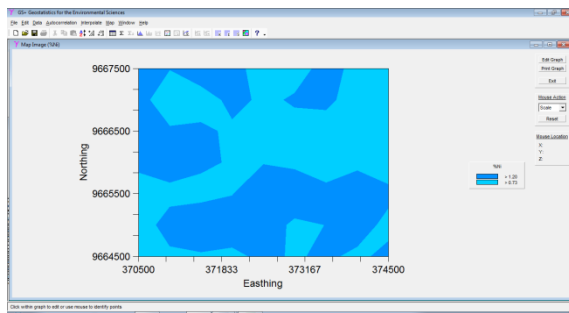
Kriging

Tahap selanjutnya setelah memperoleh bentuk semivariogram teoritis yang sesuai dengan data maka dilakukan penaksiran kadar nikel dengan proses kriging dengan menggunakan aplikasi *software* Gs+. Dalam proses ini semua nilai data sampel dikoreksi dan diberikan nilai perkiraan melalui pembobotan nilai-nilai variabel disekitarnya. Nilai penaksiran dikatakan tidak bias bila jumlah faktor pembobot sama dengan satu.

Dalam daerah penelitian seluas 4000 m x 3000 m , terdapat 60 blok yang tersampel dan 3 blok tidak tersampel, tetapi setelah melalui proses penaksiran kriging semua blok memiliki nilai sehingga total blok yang memiliki nilai kadar nikel menjadi 63blok.

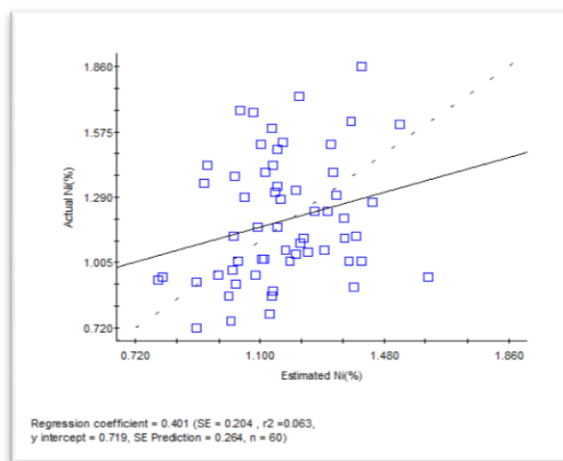
Bila ditentukan nilai cut off grade (COG) = 1.2%Ni, maka total blok atau sampel yang bernilai diatas COG sebanyak 26 blok, namun setelah melalui proses penaksiran kriging total sampel yang bernilai diatas COG menjadi 27 sampel.

Hasil taksiran kriging pada daerah penelitian menunjukkan bahwa sebaran kadar nikel dengan nilai > 1.2% Ni menempati bagian selatan dan utara daerah penelitian (warna biru tua). Peta sebaran warna biru tua ini bisa menjadi batas area prospek yang dapat digunakan sebagai acuan untuk melakukan tahapan eksplorasi yang lebih detail selanjutnya (Gambar. 6).



Gambar.6:Peta sebaran kadar nikel sesudah proses kriging, warna biru muda dengan kadar ≤ 1.2% Ni dan warna biru tua dengan kadar > 1.2% Ni.

Validasi silang antara data aktual dan data taksiran menunjukkan bahwa hasil taksiran kadar sampel kurang akurat, yang ditunjukkan antara lain oleh nilai koefisien regresi yang terlalu rendah yakni 0,4 dan *standar error* yang tinggi 0,2. Hal ini terjadi bisa disebabkan oleh jarak spasi data yang terlalu jauh, yakni 500m dan jumlah data yang kurang banyak.



Gambar.7: Diagram pencar, hasil validasi silang antar data aktual dan data taksiran.

Perhitungan Sumber Daya Tonase Nikel

Data yang digunakan dalam perhitungan sumber daya adalah nilai rata-rata taksiran kadar nikel pada zona limonit. Dari hasil proses kriging diperoleh data taksiran kadar nikel sebanyak 63 blok

(Lampiran 1). Data tersebut kemudian dilakukan klasifikasi berdasarkan nilai cut off grade (COG) atau kadar nikel diatas 1,2%. Hasil klasifikasi berdasarkan nilai COG tersebut diperoleh data sebanyak 27 blok. Data taksiran kadar nikel dari 27 blok tersebut selanjutnya dipakai sebagai variabel untuk perhitungan sumber daya tonase nikel dengan menggunakan *microsoft excel*.

Perhitungan sumber daya tonase nikel dilakukan dengan cara perhitungan endapan tiap lubang bor, dimana setiap lubang bor mempunyai pengaruh sejauh setengah jarak dari lubang bor terdekatnya. Perhitungan seperti ini dilakukan dengan asumsi bahwa mineralisasi bersifat homogen. Pada daerah penelitian ini jarak pengaruh adalah 250m, karena spasi jarak tiap titik bor berjarak 500m, sehingga luas setiap blok 250000 m².

Hasil perhitungan sumber daya tonase nikel sebelum dilakukan kriging diperoleh sebesar 1095029,53 ton atau 75248000 ton bijih dengan kadar rata-rata 1,46% Ni (Lampiran.2 dan Lampiran.4) dan setelah dilakukan penaksiran kriging diperoleh tonase sebesar 1021904 ton atau 73440000 ton bijih dengan kadar rata-rata 1,39% Ni (Lampiran.3 dan Lampiran.5). Perbedaan hasil perhitungan dengan selisih 73125,53 ton nikel ini terjadi karena data bor sebelum dikoreksi dengan proses kriging terdapat perbedaan yang mencolok pada kadar dan ketebalan endapan. Perbedaan data tersebut diantaranya terdapat beberapa data dengan kadar nikel yang tinggi dengan profil endapan sangat tebal sehingga hasil perhitungan pada blok tersebut menjadi sangat tinggi. Sementara data yang lain mempunya kadar yang rendah dengan profil endapan yang tipis, sehingga dalam perhitungan pada blok ini menjadi sangat rendah. Pada data dengan penaksiran kriging cenderung terjadi penyeragaman nilai kadar atau kurang bervariasi bila dibandingkan dengan kadar yang sebenarnya, sehingga tidak terjadi perbedaan yang mencolok diantara data tersebut. Selain itu dalam perhitungan volume bijih menggunakan variabel ketebalan rata-rata.

5. Kesimpulan

Geologi daerah penelitian ditempati oleh kelompok batuan ultrabas yang terdiri dari peridotit dan dunit dengan pola kecenderungan struktur geologi berarah barat laut – tenggara.

Setelah melalui penaksiran kriging diperoleh jumlah blok yang memiliki nilai kadar nikel sebanyak 63 dari total sampel berjumlah 60 sebelum kriging.

Dengan nilai COG = 1.2% Ni, terdapat 26 blok dengan kadar > 1.2% pada sebelum kriging dan menjadi 27 blok setelah penaksiran kriging.

Hasil validasi silang menunjukkan bahwa taksiran kadar sampel kurang akurat, hal ini ditunjukkan oleh nilai koefisien regresi yang rendah dan *standard error* yang tinggi. Hal ini bisa disebabkan oleh jarak spasi data yang terlalu jauh dan jumlah sampel yang kurang banyak.

Dari taksiran kriging diperoleh sebaran mineralisasi nikel dengan kadar > 1,2% menempati bagian utara dan selatan daerah penelitian.

Hasil perhitungan sumber daya tonase nikel sebelum dilakukan kriging sebanyak 1095029.53 ton atau 75248000 ton bijih dengan kadar rata rata 1,46% Ni dan setelah dilakukan penaksiran kriging menjadi 1021904 ton atau 73440000 ton bijih dengan kadar rata rata 1,39% Ni. Perbedaan ini disebabkan oleh adanya beberapa data dengan kadar tinggi dan profil endapan yang tebal, dan data lain mempunyai kadar rendah dengan profil yang tipis sehingga terjadi *over estimate*.

Mengingat hasil validasi silang menunjukkan hasil taksiran kadaryang kurang akurat, maka perlu dilakukan perhitungan dengan metode lain misalnya NNP dan atau IDW sebagai pembanding.

Daftar Pustaka

Asy'ari.M.A, Hidayatullah.R, Zulfadli.A, 2013. Geologi dan Estimasi Nikel Laterit Menggunakan Metode Ordinary Kriging di Pt. Aneka Tambang, Tbk. Jurnal INTEKA, Tahun XIII, No.1, hal: 7 – 15.

Awali.A.A, Yasin.H, Rahmawati.R.2013. Estimasi Kandungan Hasil Tambang Menggunakan Ordinary Indikator Kriging. Jurnal Gaussian, vol 2, No.1, Hal 1-10.

Brand.N.W, Butt.C.R.M, Elias.M, 1998. Nickel Laterites: Classification and Features. ASGO Journal Of Australian Geology & Geophysics, 17(4), 81-88.

Masuara.A.H, Heriawan.M.N, Syafrizal, 2011. Perbandingan Antara Pendekatan Direct Grade Dan Accumulation Grade Pada Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit Dengan Metode Geostatistik. JTM vol.XVIII No. 1/2011.

Rafianto.R, Attong.F, Matano.A, Noor.M.E.S, 2011. The Serpentine-Related Nickel Sulfide Occurences From Latao, SE Sulawesi: a New Frontier Of Nickel Exploration In Indonesia. Proceedings Of The Sulawesi Minerals Resources, Seminar MGEI-IAGI 28-29 November, Manado, North Sulawesi, Indonesia.

Rauf.A, 1998.Perhitungan Cadangan Endapan Mineral.Jurusan Teknik Pertambangan FTM UPN “Veteran” Yogyakarta.

Simanjuntak,T.O, Rusmana.E, Supandjono.J.B dan Koswara.A, 1993. Peta Geologi Lembar

Bungku, 1: 250000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Sulistiyana.W, 1998. Kriging Indikator Sebagai Metode Alternatif Untuk Penaksiran Kadar Bijih Secara Geostatistik. Prosiding Temu Ilmiah dan Reuni 1998 Jurusan Teknik Pertambangan UPN “ Veteran” FTM UPN “Veteran” Yogyakarta.

Swamidharma.Y.C.A, 2011. Nickel Laterite Contents and Grades in Sulawesi. Proceedings Of The Sulawesi Minerals Resources, Seminar MGEI-IAGI 28-29 November, Manado, North Sulawesi, Indonesia.

Van Leeuwen.Th.M, Pieters.P.E, 2011. Minerals Deposits Of Sulawesi. Proceedings Of The Sulawesi Minerals Resources, Seminar MGEI-IAGI 28-29 November, Manado, North Sulawesi, Indonesia.

Zhang.Y, 2011. Introduction To Geostatistics-Course Notes. Dept of Geology & Geophysics, University of Wyoming.

Lampiran

Lampiran 1: Kadar nikel hasil estimasi kriging

No.	X-Coordinate	Y-Coordinate	Z-Estimate	EstStdDev	n
1	370500	9664500	1.1	0.0479	3
2	370500	9665000	0.99	0.0585	4
3	370500	9665500	0.95	0.0585	4
4	370500	9666000	1.31	0.0585	4
5	370500	9666500	1.2	0	2
6	370500	9667000	1.37	0.1682	3
7	370500	9667500	1.66	0	2
8	371000	9664500	1.12	0.0671	4
9	371000	9665000	1.35	0.0426	5
10	371000	9665500	1.08	0.0426	5
11	371000	9666000	1.4	0.0572	4
12	371000	9666500	1.25	0.1523	4
13	371000	9667000	0.89	0.0479	3
14	371000	9667500	1.21	0.0572	4
15	371500	9664500	1.13	0.0671	4
16	371500	9665000	1.6	0.0426	5
17	371500	9665500	1.03	0.0426	5
18	371500	9666000	1.28	0.0426	5
19	371500	9666500	1.29	0.0585	4
20	371500	9667000	0.94	0.0426	5
21	371500	9667500	1.52	0.0572	4
22	372000	9664500	1.04	0.0671	4
23	372000	9665000	1.59	0.0426	5
24	372000	9665500	1.17	0.0426	5
25	372000	9666000	1.15	0.0426	5
26	372000	9666500	1.11	0.0426	5

27	372000	9667000	1.33	0.0426	5
28	372000	9667500	1.31	0.0572	4
29	372500	9664500	1.33	0.0671	4
30	372500	9665000	1.45	0.0426	5
31	372500	9665500	1.66	0.0426	5
32	372500	9666000	1.16	0.0426	5
33	372500	9666500	1.04	0.0426	5
34	372500	9667000	1.11	0.0426	5
35	372500	9667500	1.04	0.0572	4
36	373000	9664500	1.13	0.0671	4
37	373000	9665000	1.1	0.0426	5
38	373000	9665500	1.53	0.0426	5
39	373000	9666000	1.1	0.0426	5
40	373000	9666500	1.06	0.0426	5
41	373000	9667000	1.24	0.0426	5
42	373000	9667500	1.03	0.0572	4
43	373500	9664500	1.3	0.0671	4
44	373500	9665000	1.2	0.0426	5
45	373500	9665500	1.28	0.0426	5
46	373500	9666000	1.04	0.0426	5
47	373500	9666500	0.94	0.0585	4
48	373500	9667000	1.32	0.0426	5
49	373500	9667500	1.33	0.0572	4
50	374000	9664500	1.06	0.0671	4
51	374000	9665000	1.49	0.0426	5
52	374000	9665500	1.45	0.0426	5
53	374000	9666000	1.1	0.0572	4
54	374000	9666500	0.95	0.1523	4
55	374000	9667000	0.94	0.0671	4
56	374000	9667500	1.09	0.0572	4
57	374500	9664500	1.37	0.0479	3
58	374500	9665000	1.01	0.0585	4
59	374500	9665500	1.35	0.0585	4
60	374500	9666000	0.83	0.0585	4
61	374500	9666500	0.88	0.0657	3
62	374500	9667000	0.73	0.0585	4
63	374500	9667500	0.95	0.0479	3

Lampiran 2: Perhitungan tonase Ni dengan COG=1,2%Ni, sebelum proses estimasi kriging dengan berat jenis 1.6 kg/m³ dan luas setiap blok 250000 m². Total tonase bijih 75248000 ton dan total tonase nikel 1095029,53 ton.

No:	Kadar Ni (%)	Tebal	Volume	Tonase Bijih	Tonase Ni
4	1.29	5	1250000	2000000	25800.00
6	1.66	10	2500000	4000000	66598.37
8	1.28	8	2000000	3200000	40803.60

9	1.23	10	2500000	4000000	49048.65
10	1.43	8.7	2175000	3480000	49786.04
14	1.59	8.3	2075000	3320000	52736.79
16	1.32	8	2000000	3200000	42260.12
17	1.34	3.5	875000	1400000	18766.00
19	1.67	7	1750000	2800000	46880.12
21	1.40	8	2000000	3200000	44848.00
25	1.50	10	2500000	4000000	60035.56
26	1.27	3	750000	1200000	15182.71
27	1.40	9.3	2325000	3720000	52131.15
28	1.61	10	2500000	4000000	64586.96
29	1.86	9.15	2287500	3660000	68150.73
30	1.30	8	2000000	3200000	41501.68
36	1.53	4	1000000	1600000	24500.58
37	1.23	15	3750000	6000000	73878.66
41	1.38	3	750000	1200000	16615.38
46	1.52	4.8	1200000	1920000	29162.24
47	1.52	1.57	392500	628000	9566.85
49	1.73	8	2000000	3200000	55455.10
50	1.62	6	1500000	2400000	38778.67
51	1.31	4	1000000	1600000	20969.39
54	1.43	5.9	1475000	2360000	33651.86
56	1.35	9.9	2475000	3960000	53334.32
				75248000	1095029.53

Lampiran 3: Perhitungan tonase nikel setelah estimasi kriging. Total tonase bijih 73440000ton dan total tonase nikel 1021904 ton.

No:	Ni Est	Tebal Rata ²	Luas Blok	Volume	Tonase Bijih	Tonase Ni
4	1.31	6.8	250000	1700000	2720000	35632
	1.37	6.8	250000	1700000	2720000	37264
6	1.66	6.8	250000	1700000	2720000	45152
8	1.35	6.8	250000	1700000	2720000	36720
10	1.4	6.8	250000	1700000	2720000	38080
	1.25	6.8	250000	1700000	2720000	34000
12	1.21	6.8	250000	1700000	2720000	32912
14	1.6	6.8	250000	1700000	2720000	43520
16	1.28	6.8	250000	1700000	2720000	34816
17	1.29	6.8	250000	1700000	2720000	35088
19	1.52	6.8	250000	1700000	2720000	41344
21	1.59	6.8	250000	1700000	2720000	43248
25	1.33	6.8	250000	1700000	2720000	36176
26	1.31	6.8	250000	1700000	2720000	35632
27	1.33	6.8	250000	1700000	2720000	36176
28	1.45	6.8	250000	1700000	2720000	39440
29	1.66	6.8	250000	1700000	2720000	45152
36	1.53	6.8	250000	1700000	2720000	41616

39	1.24	6.8	250000	1700000	2720000	33728
41	1.3	6.8	250000	1700000	2720000	35360
43	1.28	6.8	250000	1700000	2720000	34816
46	1.32	6.8	250000	1700000	2720000	35904
47	1.33	6.8	250000	1700000	2720000	36176
49	1.49	6.8	250000	1700000	2720000	40528
50	1.45	6.8	250000	1700000	2720000	39440
54	1.37	6.8	250000	1700000	2720000	37264
56	1.35	6.8	250000	1700000	2720000	36720
					73440000	1021904

Lampiran 4: Perhitungan kadarrata rata nikel sebelum

$$\text{estimasi kriging: } G = \frac{\sum_{i=1}^n v_i \cdot g_i}{\sum_{i=1}^n v_i} = \frac{68439345.50}{47030000} = 1.46\%$$

No:	Kadar Ni (%)	Volume	Vol x kadar Ni
4	1.29	1250000	1612500.00
6	1.66	2500000	4162397.96
8	1.28	2000000	2550225.00
9	1.23	2500000	3065540.54
10	1.43	2175000	3111627.50
14	1.59	2075000	3296049.62
16	1.32	2000000	2641257.78
17	1.34	875000	1172875.00
19	1.67	1750000	2930007.50
21	1.40	2000000	2803000.00
25	1.50	2500000	3752222.22
26	1.27	750000	948919.21
27	1.40	2325000	3258196.88
28	1.61	2500000	4036685.08
29	1.86	2287500	4259420.31
30	1.30	2000000	2593854.84
36	1.53	1000000	1531286.18
37	1.23	3750000	4617416.25
41	1.38	750000	1038461.54
46	1.52	1200000	1822640.00
47	1.52	392500	597928.28
49	1.73	2000000	3465943.78
50	1.62	1500000	2423666.67
51	1.31	1000000	1310586.61
54	1.43	1475000	2103241.54
56	1.35	2475000	3333395.21
		47030000	68439345.50

Lampiran 5: Perhitungan rata-rata kadar nikel setelah estimasi kriging: $G =$

$$\frac{\sum_{i=1}^n v_i \cdot g_i}{\sum_{i=1}^n v_i} = \frac{63869000}{45900000} = 1.39\%$$

No:	Estimasi kadar Ni (%)	Volume	Vol x Estimasi kadar Ni
4	1.31	1700000	2227000
	1.37	1700000	2329000
6	1.66	1700000	2822000
8	1.35	1700000	2295000
10	1.4	1700000	2380000
	1.25	1700000	2125000
12	1.21	1700000	2057000
14	1.6	1700000	2720000
16	1.28	1700000	2176000
17	1.29	1700000	2193000
19	1.52	1700000	2584000
21	1.59	1700000	2703000
25	1.33	1700000	2261000
26	1.31	1700000	2227000
27	1.33	1700000	2261000
28	1.45	1700000	2465000
29	1.66	1700000	2822000
36	1.53	1700000	2601000
39	1.24	1700000	2108000
41	1.3	1700000	2210000
43	1.28	1700000	2176000
46	1.32	1700000	2244000
47	1.33	1700000	2261000
49	1.49	1700000	2533000
50	1.45	1700000	2465000
54	1.37	1700000	2329000
56	1.35	1700000	2295000
		45900000	63869000