

PROSIDING XXVII DAN KONGRES X PERHAPI 2018

PENGUNAAN METODE GEOSTATISTIK DALAM ESTIMASI KADAR NIKEL PADA CEBAKAN BIJIH NIKEL LATERIT PETEA

Nur Anbiyak*

*Direktorat Teknik dan Lingkungan Mineral dan Batubara, Kementerian ESDM
nur.anbiyak@esdm.go.id, atau anbiyak@yahoo.co.id

Intisari

Cebakan bijih nikel laterit Petea berada di Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan yang terbentuk sebagai produk dari proses pelapukan batuan ultramafik yang tersebar di sebagian lengan selatan dan tenggara Pulau Sulawesi. Profil pelapukan batuan di Petea terdiri dari tiga lapisan utama dengan urutan dari bawah ke atas, yaitu batuan dasar, lapisan saprolit, dan limonit. Mineralisasi nikel terbentuk pada lapisan saprolit dan limonit dan dapat dibedakan berdasarkan karakteristik geologi dan geokimianya.

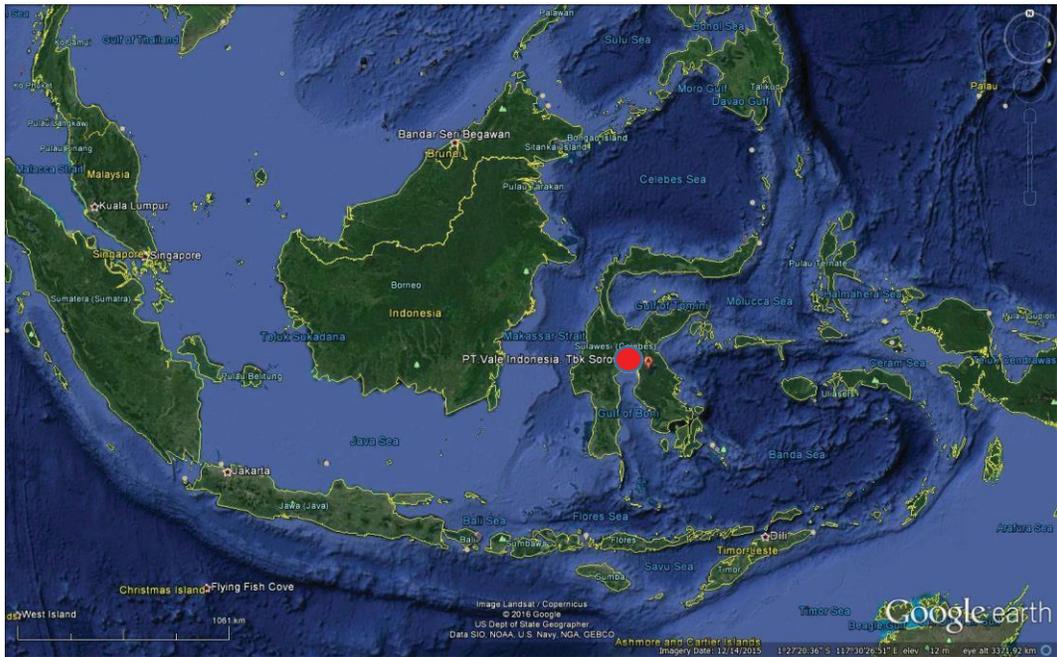
Metode geostatistik dipakai karena kemampuan metode tersebut untuk menunjukkan korelasi spasial dalam populasi data. Analisis variografi dilakukan dengan membuat variogram untuk yang mewakili arah utama sebaran nikel pada lapisan saprolit dan limonit. Variogram directional mengindikasikan bahwa kadar nikel tersebar pada kedua lapisan tersebut dan tidak menunjukkan kecenderungan pada arah tertentu. Parameter variogram dipergunakan sebagai dasar analisis geostatistik untuk melakukan estimasi kadar nikel.

Metode ordinary kriging dipilih untuk melakukan estimasi kadar nikel Petea dan menghasilkan kadar nikel rata-rata sebesar 1,89% pada bijih saprolit. Hasil rekonsiliasi dengan data produksi bijih saprolit menunjukkan deviasi sebesar 4,42% dimana hasil estimasi menghasilkan nilai kadar nikel yang lebih besar.

Kata Kunci: (Petea), (geostatistik), (nikel)

Latar Belakang

Cebakan bijih nikel laterit Petea merupakan bagian dari kompleks cebakan bijih nikel Sorowako yang terletak di Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Tenggara. Wilayah ini termasuk dalam area konsesi Kontrak Karya PT Vale Indonesia (PT VI) yang mengoperasikan tambang dan pabrik pengolahan nikel beserta fasilitas penunjangnya dengan kapasitas 5,5 juta ton bijih per tahun dengan kadar rata-rata 1,8% Ni untuk menghasilkan 80.000 ton *nickel matte* (Crundwell dkk, 2011).



(Gambar direproduksi dari Google Earth)

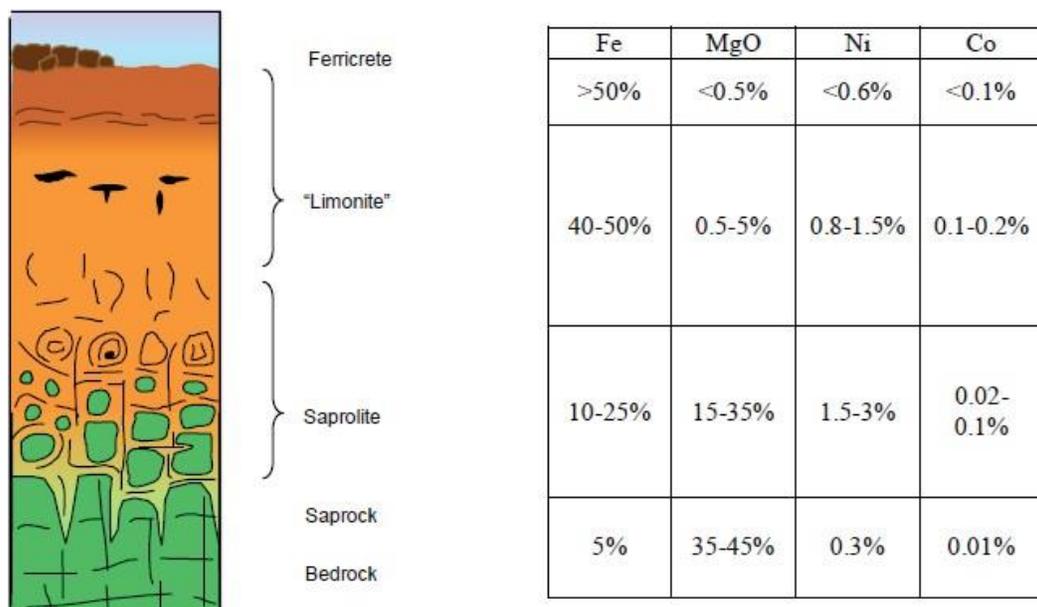
Cebakan nikel laterit di daerah penelitian terbentuk sebagai produk pelapukan batuan ultramafik *East Sulawesi Ophiolite* (ESO) yang tersebar di sebagian besar lengan tenggara dan bagian tengah Pulau Sulawesi. ESO terdiri dari sekuen batuan ultramafik, gabbro, kompleks *dyke* basalt berlapis, dan batuan vulkanik. Karakter batuan ultramafik ESO adalah keterdapatan lherzolit yang lebih besar daripada harzburgit dan dunit, kecuali di sekitar area Sorowako dimana harzburgit dan dunit mendominasi (Kadarusman dkk, 2004).

Cebakan bijih nikel laterit Sorowako terbentuk dari kompleks ofiolit pada daerah busur akresi yang berasosiasi dengan batas lempeng dan zona tumbukan. Menurut Brand dkk (1998), cebakan bijih yang berkembang pada tatanan tektonik tersebut dipengaruhi oleh pengangkatan kompleks ofiolit ke permukaan sehingga memicu proses lateritisasi. Batuan ultramafik Sorowako berumur Kapur (Kadarusman dkk, 2004) sedangkan proses lateritisasi dimulai sejak Miosen Akhir (Golightly, 1981).

Proses pelapukan kimia batuan ultramafik menghasilkan profil laterit berlapis yang terdiri dari batuan dasar serta lapisan saprolit dan limonit. Batuan dasar Sorowako dapat dikelompokkan menjadi dua tipe, yaitu peridotit-dunit yang ditemukan di bagian barat serta peridotit terserpentinisasi dengan proporsi mineral olivin sebesar 20-90% yang berkembang di bagian timur Sorowako dan Petea (Golightly, 1979).

Lapisan saprolit terbentuk dari akumulasi bongkah-bongkah hasil pelapukan batuan dasar yang dikelilingi oleh massa mineral primer dan mineral alterasi dan masih memperlihatkan tekstur batuan dasar (Elias, 2002). Faktor pengontrol ketebalan saprolit adalah laju pengangkatan tektonik dan tinggi muka air tanah, dimana laju pengangkatan tektonik yang lambat dan muka air tanah rendah selama periode pelapukan yang panjang menghasilkan lapisan saprolit yang semakin tebal (Golightly, 1981). Lapisan ini dicirikan dengan kadar nikel lebih tinggi yang terkandung dalam mineral alterasi seperti garnierit dan serpentin sekunder. Pelepasan ion Ni dari rekristalisasi goetit dan hematit dari lapisan limonit tertransportasi kembali ke saprolit dan terendapkan mineral serpentin sekunder (Pelletier, 1996).

Pembentukan lapisan limonit terjadi pada bagian atas profil laterit dan merepresentasikan produk akhir dari proses pelapukan. Lapisan ini kaya akan mineral goetit berbutir halus dan di bagian bawah lapisan, pada zona transisi saprolit-limonit didominasi oleh nodul Fe-Mn dan mengandung kadar Ni dan Co yang signifikan (Golightly, 1979).



Gambar 2 Profil nikel laterit (Elias, 2002)

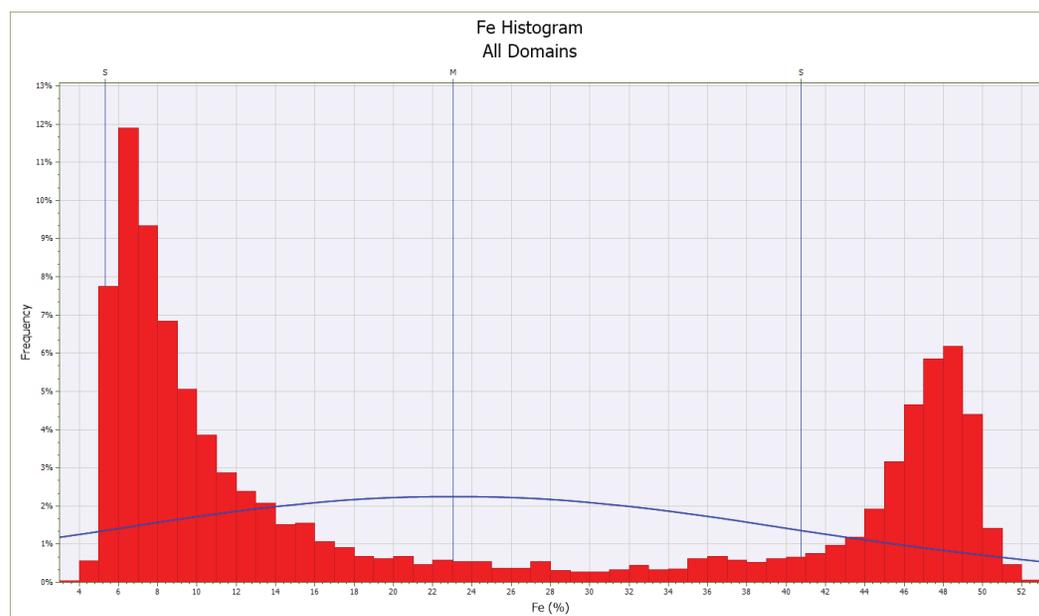
Cebakan bijih nikel laterit Petea terbentuk dari batuan dasar peridotit terserpentinisasi dengan kandungan olivine rata-rata sebesar 65% dan dicirikan dengan warna abu-abu terang sampai kuning kehijauan dan bertekstur halus. Lapisan saprolit yang terbentuk di atasnya berwarna coklat-kuning, bertekstur halus, dan sebaran bongkah jarang dan mengandung mineral serpentin dan smektit. Proses pelapukan lebih lanjut menghasilkan lapisan limonit yang kaya mineral goetit dan berwarna kekuningan. Kadar nikel pada cebakan Petea

bervariasi dari 1,2% Ni hingga 2,4% Ni dan kadar besi sebesar 14,7-22,4% Fe (Golder Associates, 2010).

Metodologi Studi

Data bor yang dipergunakan dalam pemodelan cebakan bijih nikel laterit Petea, berasal dari PT VI dalam format *Microsoft Excel*. Data tersebut terdiri dari informasi geologi, *collar*, serta *assay* Ni, Co, Fe, SiO₂, dan MgO 521 lubang lubang bor yang tersebar di area seluas 2 km x 1,5 km yang kemudian diunggah ke dalam *database* perangkat lunak Micromine.

Penentuan domain sesuai data geokimia dilakukan berdasarkan populasi data Ni, Co, Fe, SiO₂, dan MgO yang digambarkan dalam histogram untuk seluruh domain. Histogram dipilih karena kemampuannya untuk mendeteksi *multi-modalism* dan menentukan *outliers*. *Multi-modalism* mengindikasikan keterdapatn domain yang lain dalam data sehingga perlu dilakukan koreksi untuk analisis geostatistik lebih lanjut.



Gambar 3 Histogram Fe untuk seluruh domain

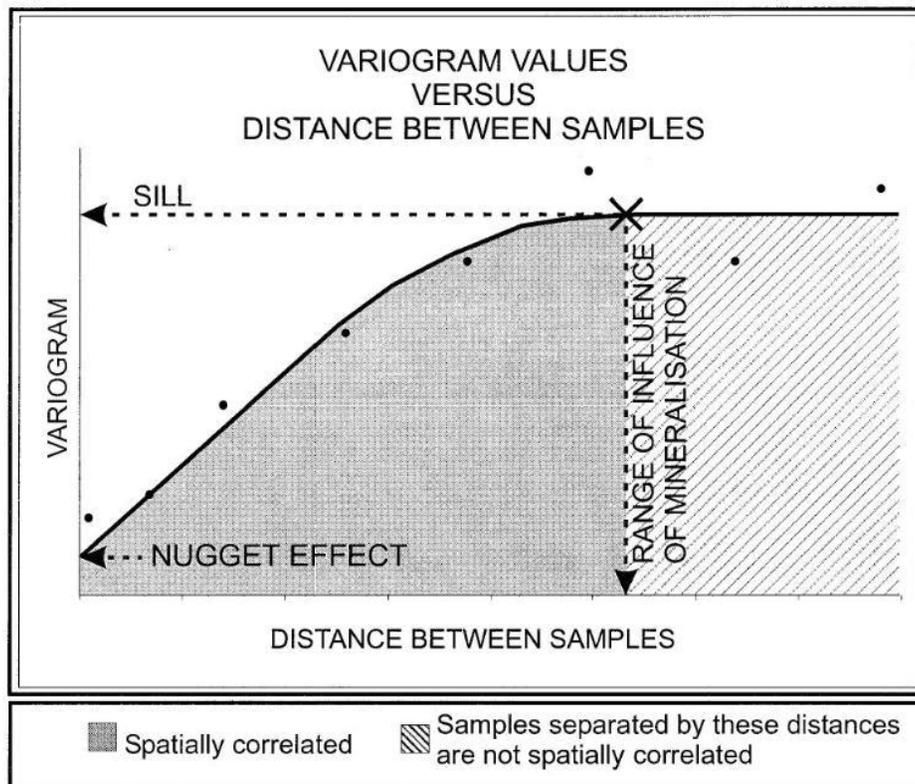
Kadar nikel dan elemen lainnya dalam cebakan bijih Petea diestimasi dengan menggunakan metode geostatistik *ordinary kriging*. Metode ini dipilih karena kemampuannya untuk melakukan pembobotan dan menentukan kecenderungan sebaran kadar sehingga mengurangi faktor kesalahan dalam estimasi. Menurut Rossi dan Deutsch (2014), *kriging* merupakan metode algoritma *non-stationary* berdasarkan pendekatan nilai perhitungan *error variance* untuk menentukan pembobotan pada lokasi yang tidak diambil contohnya tanpa membuat asumsi nilai rata-rata.

Perhitungan faktor pembobotan dilakukan dengan mempertimbangkan jarak antara lokasi yang diestimasi dengan lokasi yang diketahui datanya serta konfigurasi spasial data *assay* sekelilingnya. Oleh karena itu, metode ini membutuhkan variogram sebagai dasar perhitungan untuk menentukan jarak dan nilai *variance* antar nilai kadar dalam populasi data *assay* (Oliver dan Webster, 1990).

Variogram menunjukkan derajat kemenerusan antara nilai kadar dengan jarak antar conto pada arah tertentu, sehingga mengindikasikan tingkat *anisotropy* dalam tubuh cebakan bijih. Grafik variogram menggambarkan nilai *semi-variance* pada sumbu vertikal ($\gamma(h)$) dan jarak (h) pada sumbu horizontal (Abzalov, 2016). Perhitungan nilai *semi-variance* adalah sebagai berikut:

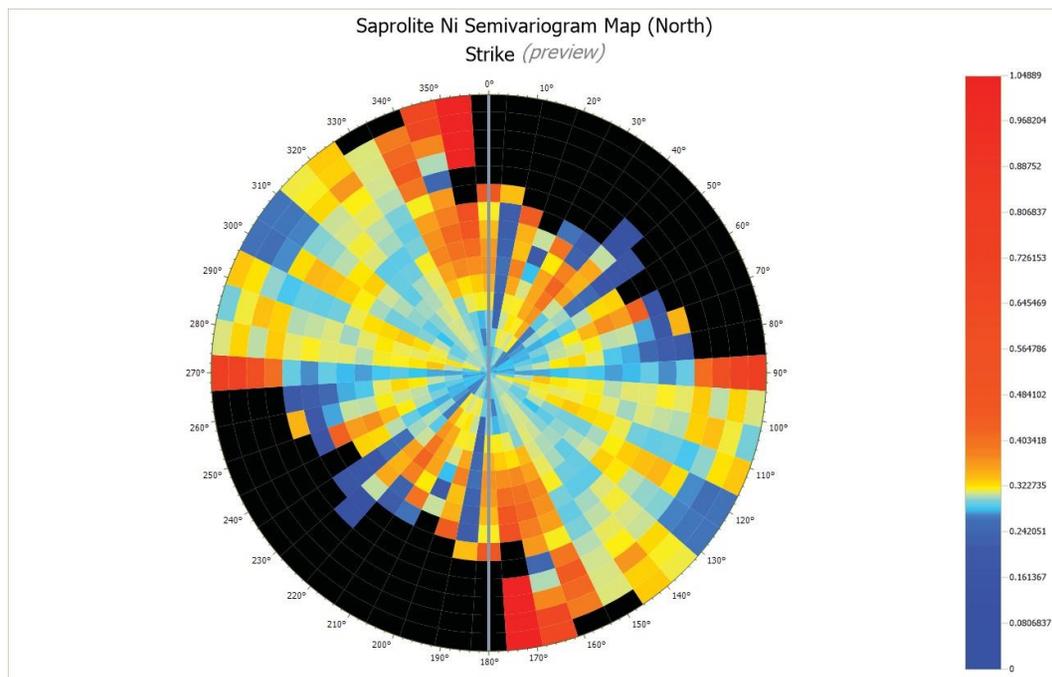
$$\gamma(h) = \sum_{i=1}^{n-h} \frac{(z_{zi} - z_{z_{i+h}})^2}{2nn}$$

- $\gamma(h)$ = semi-variance
- z_{z_i} = nilai kadar pada lokasi i
- $z_{z_{i+h}}$ = nilai kadar pada jarak h dari i
- n = jumlah conto



Gambar 4 Komponen variogram (Snowden, 2001)

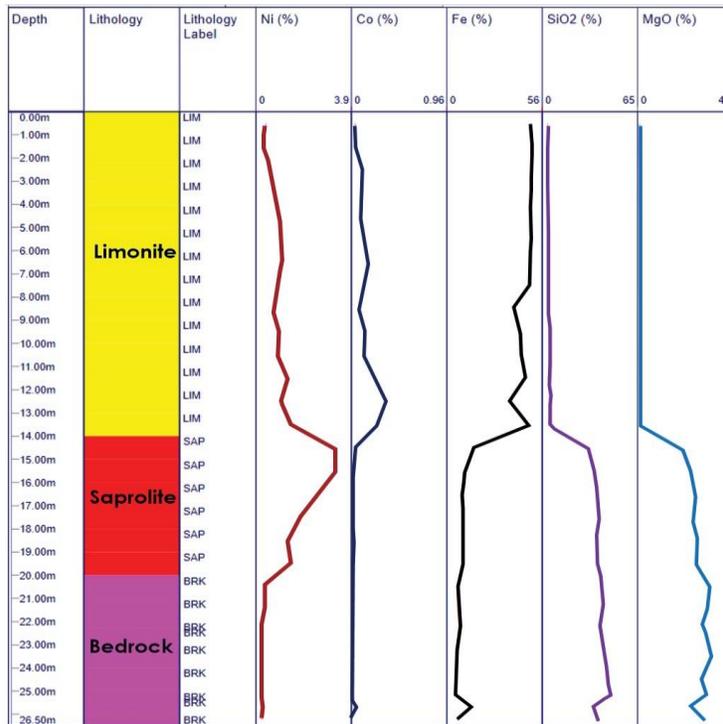
Variabilitas spasial dalam data Petea yang terdiri dari kadar Ni, Co, Fe, SiO₂, dan MgO pada masing-masing domain mineralisasi diplot ke dalam *downhole* dan *directional* variogram. Untuk mempermudah proses perhitungan, *directional* variogram dibuat untuk tiga arah utama kecenderungan nilai kadar, dimana arah sumbu utama ditentukan dari peta variogram, sedangkan dua arah utama lainnya dihitung secara otomatis dengan menggunakan perangkat lunak.



Gambar 5 Peta variogram untuk nikel pada lapisan saprolit

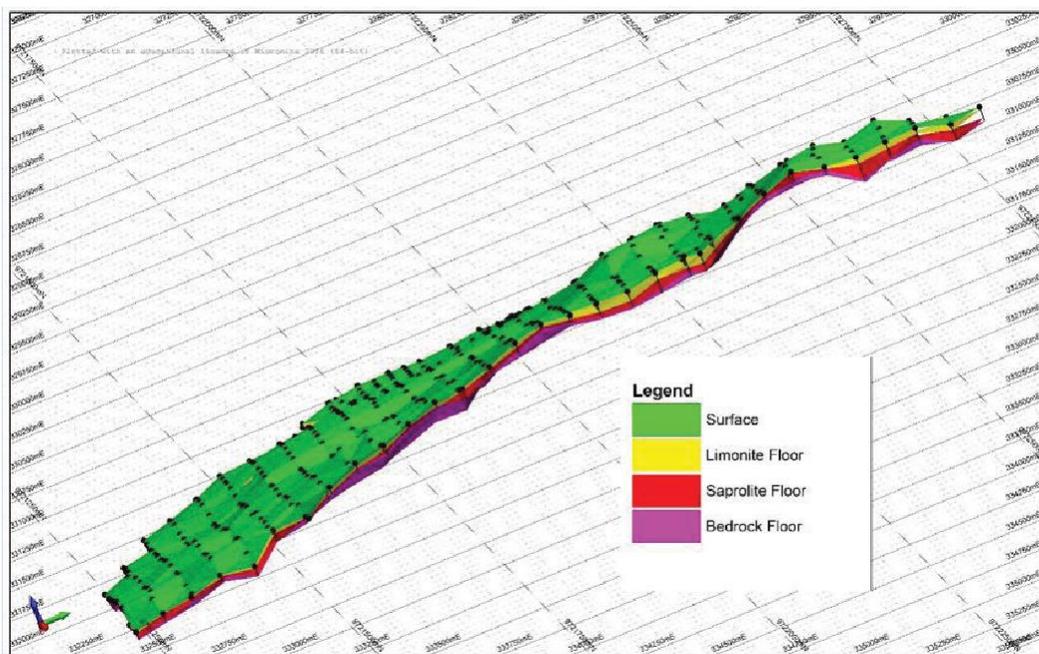
Hasil Penelitian dan Pembahasan

Berdasarkan karakteristik geologi dan geokimia, cebakan bijih laterit Petea dikelompokkan menjadi tiga domain mineralisasi yaitu, batuan dasar, saprolit, dan limonit. Batuan dasar mempunyai karakteristik kadar nikel, kobal, dan besi yang rendah dan kandungan silika dan magnesia yang tinggi. Kadar rata-rata nikel pada batuan dasar sebesar 0,4% Ni. Sedangkan pada domain saprolit, kadar rata-rata nikel sebesar 1,7% Ni yang kemudian turun menjadi 0,9% Ni pada domain limonit.



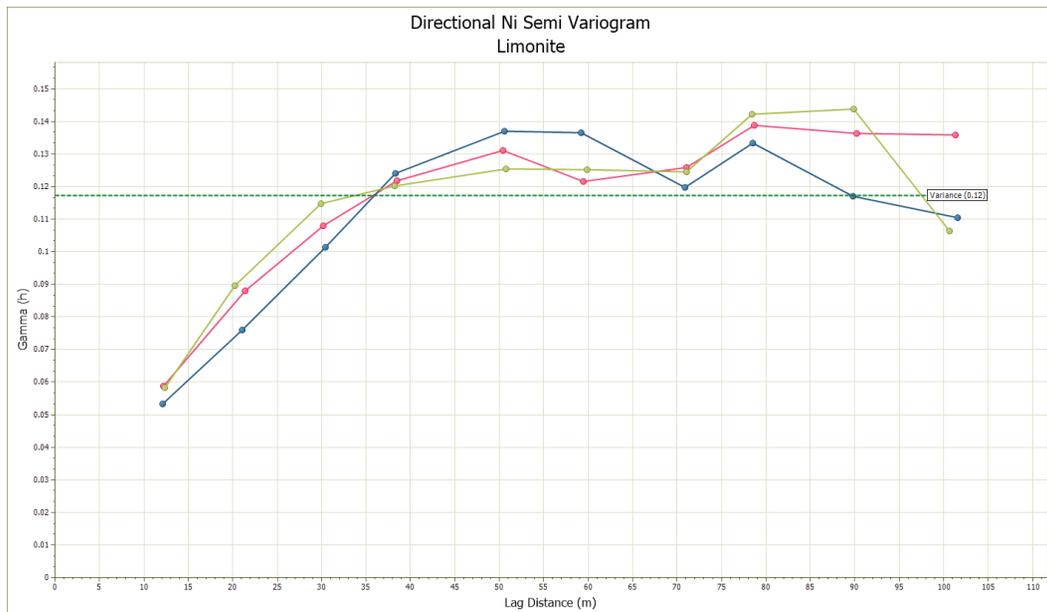
Gambar 6 Sebaran kadar Ni, Co, Fe, SiO₂, dan MgO

Batas antara lapisan saprolit dan limonit dicirikan oleh perubahan mendadak kadar besi, dimana kadar besi pada lapisan saprolit secara umum kurang dari 35% dan kemudian meningkat secara signifikan menjadi rata-rata 45% pada lapisan limonit. Analisis geostatistik hanya dilakukan pada lapisan limonit dan saprolit karena kadar nikel yang ekonomis hanya terdapat pada kedua domain tersebut.

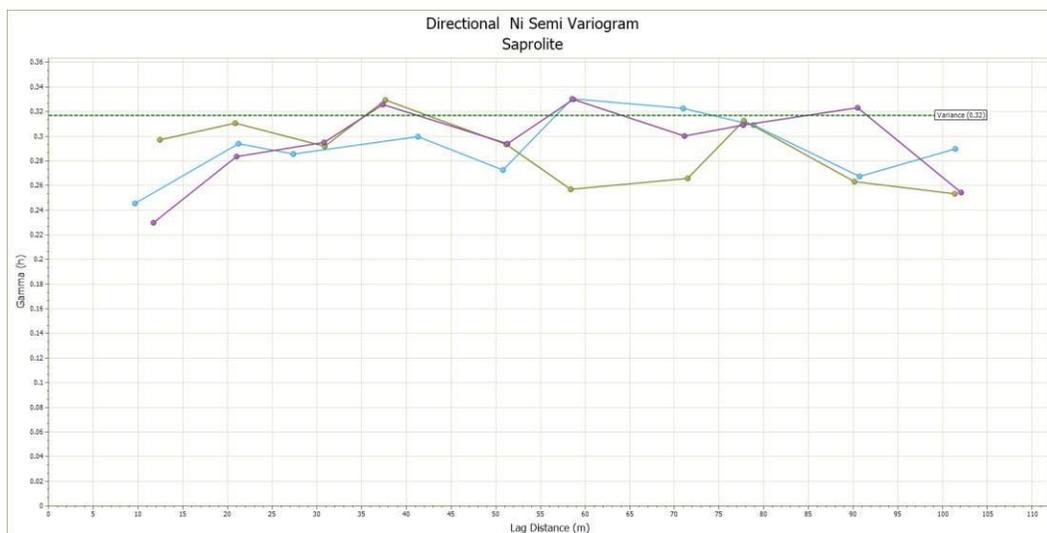


Gambar 7 Visualisasi domain batuan dasar, saprolit, dan limonit

Directional variogram pada lapisan limonit dihitung dengan menggunakan lag bervariasi dari 25 m sampai 100 m dan sudut toleransi sebesar $22,5^{\circ}$. Variogram nikel dan kobal menunjukkan bahwa tidak terdapat adanya *anisotropy* dan sebaran kedua elemen tersebut tidak menunjukkan preferensi ke arah tertentu.



Gambar 8 *Directional* variogram nikel pada limonit



Gambar 9 *Directional* variogram nikel pada saprolit

Pola yang sama juga terjadi pada domain saprolit, tetapi nilai *range* pada variogram saprolit menunjukkan angka yang lebih besar yaitu sejauh 43 m. Hal ini mengindikasikan bahwa sebaran data *assay* pada lapisan saprolit memiliki korelasi spasial yang lebih jauh daripada domain limonit. Berdasarkan analisis

variografi untuk keseluruhan elemen maka ditentukan parameter variogram pada Tabel 1 berikut sebagai dasar estimasi kadar pada lapisan saprolit dan limonit.

Tabel 1 Parameter variogram

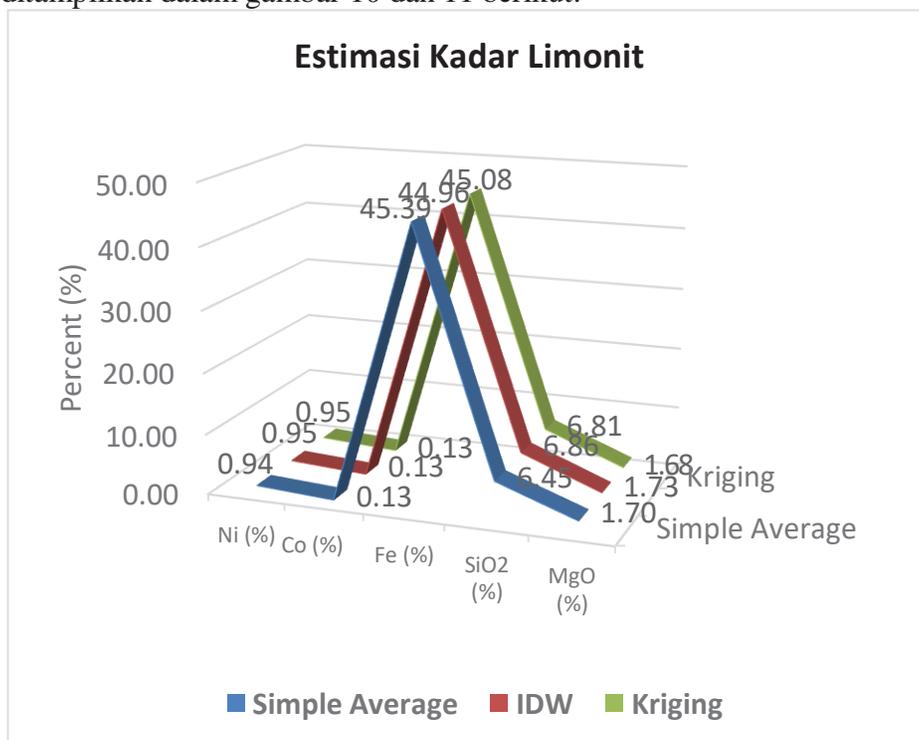
Domain	Elemen	Nugget Effect	Range			Arah Utama (N ⁰ E)
			Axis a	Axis b	Axis c	
Saprolit	Ni	0,04	8,1	43	36	6
	Co	0,0003	8,76	20,08	6,28	270
	Fe	18,27	18,95	10,54	11,38	270
	SiO ₂	8,4	6,63	19,67	27,18	6
	MgO	13,7	25,1	26,6	10,7	248
Limonit	Ni	0,02	36,92	21,36	2,96	320
	Co	0,0023	6,81	13,65	15,4	19
	Fe	6,2	31,4	30	31,6	1
	SiO ₂	4,41	40,4	12,3	19	218
	MgO	1,59	31	22,7	21,19	174

Berdasarkan parameter variogram di atas, dapat ditentukan radius pencarian untuk interpolasi kadar pada domain saprolit dan limonit (Tabel 2). Radius pencarian nikel dipakai untuk keseluruhan elemen dikarenakan perannya sebagai komoditas utama pada cebakan bijih. Sumbu horizontal ellipsoid pencarian pada limonit lebih kecil daripada saprolit karena nilai *range* variogram yang juga lebih kecil, sedangkan sumbu vertikalnya lebih tinggi dikarenakan beberapa conto pada domain limonit yang tidak dilakukan analisis kadar kobalnya sehingga radius 4 m bisa merepresentasikan ketersediaan data pada seluruh interval.

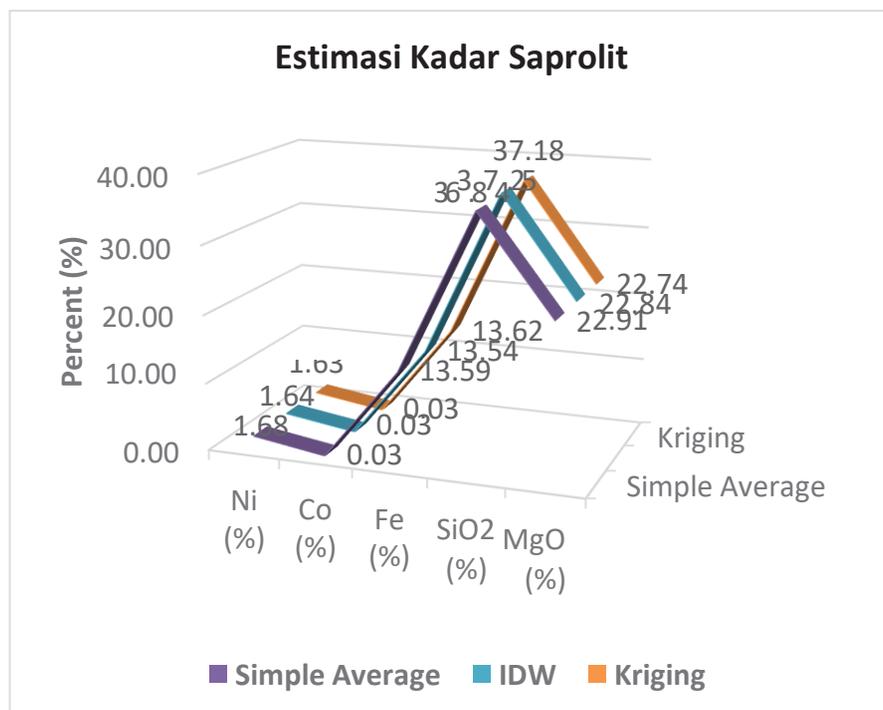
Tabel 2 parameter ellipsoid pencarian untuk nikel

Parameter pencarian	Saprolit	Limonit
X radius (m)	80	60
Y radius (m)	80	60
Z radius (m)	2	4
Rotasi (°)	0	0
Jumlah conto maksimum	4	4
Jumlah conto minimum	1	1

Sebagai pembandingan hasil estimasi kadar dengan metode geostatistik *ordinary kriging*, juga dilakukan penaksiran dengan metode *inverse distance weighted anisotropic* (IDW) dan *simple points*. Hasil perhitungan dengan ketiga metode di atas ditampilkan dalam gambar 10 dan 11 berikut.

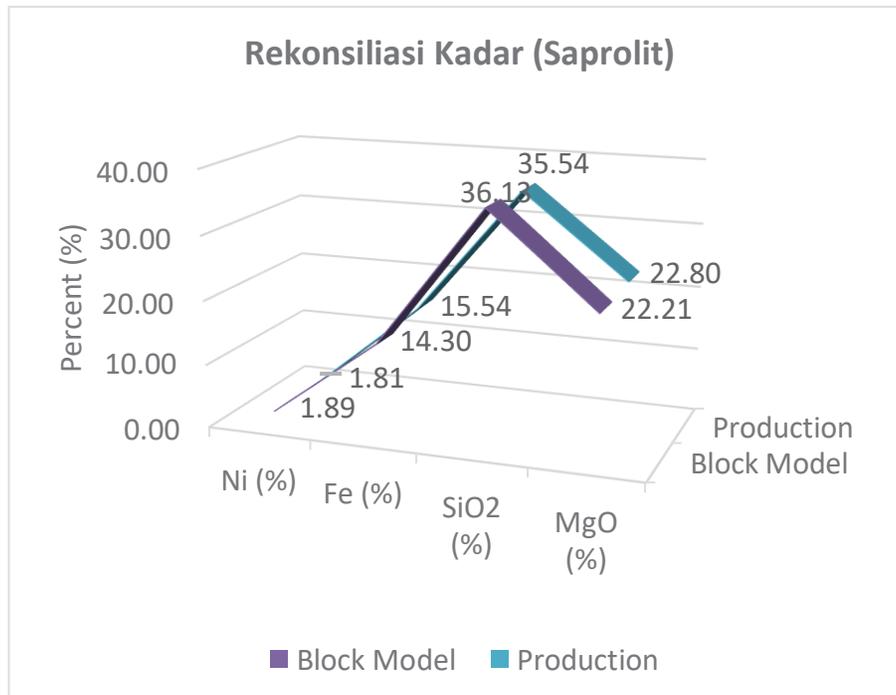


Gambar 10 Hasil estimasi kadar pada domain limonit



Gambar 11 Hasil estimasi kadar pada domain saprolit

Hasil penaksiran di atas belum memperhatikan nilai *cut-off grade* dalam *block model*. Jika menggunakan nilai *cut-off grade* operasional Petea sebesar 1,5% Ni, maka didapatkan kadar rata-rata nikel pada domain saprolit sebesar 1,89% Ni. Hasil perbandingan estimasi kadar pada *block model* dengan rekonsiliasi data aktual produksi saprolit Petea adalah sebagai berikut.



Gambar 12 Rekonsiliasi data kadar pada domain saprolit

Hasil estimasi kadar nikel dengan metode *ordinary kriging* menunjukkan angka yang lebih tinggi daripada data aktual produksi dengan deviasi sebesar 4,42%. Hal ini dapat disebabkan oleh dilusi dari material waste yang ikut tertambang sehingga mengurangi kadar rata-rata nikel.

Kesimpulan

Cebakan nikel laterit Petea merupakan produk dari proses pelapukan batuan dasar peridotit terserpentinisasi yang membentuk profil pelapukan berlapis yang dapat dibagi menjadi lapisan batuan dasar, saprolit, dan limonit. Profil pelapukan tersebut dipakai sebagai domain mineralisasi dikarenakan perbedaan karakter geologi dan geokimianya.

Batuan dasar dicirikan dengan kehadiran batuan ultramafik segar dengan kadar nikel rata-rata kurang dari 0,5% Ni. Sedangkan saprolit disusun oleh bongkah-bongkah hasil pelapukan batuan ultramafik dan masih mempertahankan tekstur primer batuan dasar. Lapisan ini mengandung kadar nikel paling tinggi dibandingkan domain lainnya dan kadar besi yang relatif rendah. Pelapukan lebih lanjut menghasilkan lapisan limonit yang didominasi oleh kehadiran mineral goetit dan hematit sehingga mempunyai kadar besi rata-rata sebesar 45% Fe.

Hasil estimasi kadar nikel dengan metode geostatistik *ordinary kriging* memberikan hasil dengan tingkat keyakinan yang tinggi dan telah divalidasi dengan metode estimasi *simple points* dan *inverse distance weighted anisotropic*. Dengan menggunakan *cut-off grade* sebesar 1,5% Ni pada domain saprolit, kadar rata-rata nikel hasil estimasi sebesar 1,89% Ni. Angka ini lebih besar dari data aktual produksi saprolit Petea sebesar 1,81% Ni dan kemungkinan disebabkan oleh dilusi material yang belum dipertimbangkan dalam estimasi kadar nikel.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih Penulis sampaikan kepada PT Vale Indonesia yang telah mengizinkan pemakaian data tambang Petea dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Abzalov, M. (2016). *Applied Mining Geology* (Vol. 12). Switzerland: Springer International Publishing.
- Brand, N. W., Butt, C. R. M., & Elias, M. (1998). Nickel laterites: Classification and features. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17, 81–88.
- Crundwell, F. K., Moats, M. S., Ramachandran, V., Robinson, T. G., & Davenport, W. G. (2011). Chapter 8 - Smelting Laterite Concentrates to Sulfide Matte Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt and Platinum Group Metals (pp. 95-107). Oxford: Elsevier.
- Elias, M. (2002). Nickel laterite deposits – geological overview, resources and exploitation dalam D. R. Cooke & J. Pongratz (Eds.), *Giant ore deposits : characteristics, genesis and exploration* (Vol. CODES Special Publication 4, pp. 205-220). Hobart, Tasmania: Centre for Ore Deposit Research, University of Tasmania.
- Golder Associates. (2010). Vale Inco Ltd. External Audit of Mineral Reserves: PT Inco Operations, Sorowako Project Area. Diakses dari http://www.hkexnews.hk/listedco/listconews/sehk/2010/1202/06210_950098/E123.PDF pada tanggal 16 Maret 2017.
- Golightly, J. P. (1979). Geology of Soroako nickeliferous laterite deposits. dalam D. Evans, R. Shoemaker, & H. Veltman (Eds.), *International Laterite Symposium* (pp. 38-56). New York: Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc.
- Golightly, J. P. (1981). Nickeliferous laterite deposits. dalam B. Skinner (Ed.), *Economic Geology Seventy-fifth Anniversary Volume 1905-1980* (pp. 710-735). El Paso, Texas: Economic Geology Pub. Co.
- Kadarusman, A., Miyashita, S., Maruyama, S., Parkinson, C. D., & Ishikawa, A. (2004). Petrology, geochemistry and paleogeographic reconstruction of the East Sulawesi Ophiolite, Indonesia. *Tectonophysics*, 392(1–4), 55-83. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2004.04.008>

Oliver, M. A., & Webster, R. (1990). Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, 4(3), 313-332. doi:10.1080/02693799008941549

Pelletier, B. (1996). Serpentine in nickel silicate ore from New Caledonia. Paper presented at the Nickel '96 : Mineral to market, Kalgoorlie, Western Australia 27-29 November 1996 Carlton, Vic.

Rossi, M. E., & Deutsch, C. V. (2014). *Mineral Resource Estimation* Dordrecht, Heidelberg, New York, London: Springer.

Snowden, D. V. (2001). Practical Interpretation of Mineral Resource and Ore Reserve Classification Guidelines. dalam A. C. Edwards (Ed.), *Mineral resource and ore reserve estimation-the AusIMM guide to good practice* (Vol. 23). Melbourne, Victoria: Australasian Institute of Mining and Metallurgy.

Zhang, Y. (2011). *Introduction to Geostatistics. Course Notes.* Dept. of Geology & Geophysics. University of Wyoming. Diakses dari <http://geofaculty.uwyo.edu/yzhang/files/Geosta1.pdf> pada tanggal 23 Mei 2017.

