

Estimasi Sumberdaya Skarn Logam Dasar Dengan Metode Geostatistik Ordinary Kriging Blok A Ruwai Kabupaten Lamandau Provinsi Kalimantan Tengah

Hasan Riyadi¹, I Wayan Warmada², Anastasia Dewi Titisari³, Arifudin Idrus⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada

Korespondensi : hasan.riyadi@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bentuk blok model dan distribusi endapan bijih serta mengetahui hasil estimasi sumberdaya skarn logam dasar. Estimasi sumberdaya mineral mencerminkan bentuk dan distribusi dari suatu endapan mineral sehingga dapat digunakan sebagai dasar estimasi cadangan atau kegiatan pertambangan. Data yang dipakai dalam penelitian ini adalah dari hasil pemboran eksplorasi yaitu *collar*, *assay*, *survey* dan litologi. Estimasi sumberdaya skarn logam dasar dalam penelitian ini menggunakan metode *ordinary kriging* dengan model blok berukuran 10m x 5m x 3m. Hasil estimasi sumberdaya skarn logam Blok A Ruwai menggunakan metode tersebut diperoleh tonase untuk sumberdaya teraka 17.693 ton, tertunjuk 26.872 ton dan terukur 15.051 ton dengan kadar Pb-Zn rata-rata 10.71%, 10,85% dan 11.51%. Hasil penaksiran metode *ordinary kriging* tersebut dibandingkan dengan data komposit kadar Pb-Zn (data awal mentah) untuk mengetahui keakurasiannya berdasarkan parameter validasi silang (*cross validation*). Dari hasil validasi silang diperoleh nilai RMSE (*root mean square error*) sebesar 0,40 dimana nilai tersebut mendekati 0 (nol), nilai koefisien korelasi (r) adalah 0,83 dan nilai koefisien determinasi (r^2) adalah 0,7 yang mendekati 1, sehingga hasil estimasi dianggap sudah cukup baik.

Kata kunci: Estimasi Sumberdaya, Skarn Logam Dasar, *Ordinary Kriging*

ABSTRACT

This research aims to determine the shape of the block model and the distribution of ore deposits and to determine the results of the resource estimation of base metal skarn. Mineral resource estimation reflects the shape and distribution of a mineral deposit so that it can be used as a basis for estimating reserves or mining activities. The data used in this study are the results of exploration drilling, namely collar, assay, survey and lithology. The estimation of base metal skarn resources in this study uses the ordinary kriging method with a block model measuring 10m x 5m x 3m. The results of the estimation of metal skarn resources of Block A Ruwai using the method obtained tonnage for inferred resources of 19,452 tons, indicated 29,542 tons and measured 16,546 tons with an average Pb-Zn content of 10.71%, 10.85% and 11.51%. The estimation results of the ordinary kriging method were compared with the composite data of Pb-Zn content (raw initial data) to determine its accuracy based on cross validation parameters. From the cross validation results, the RMSE (root mean square error) value is 0.40 which is close to 0 (zero), the correlation coefficient (r) is 0.83 and the coefficient of determination (r^2) is 0.7 which is close to 1, so the estimation results are considered good enough.

Keyword : Resource Estimation, Base Metal Skarn, *Ordinary Kriging*

PENDAHULUAN

Terdapat tren peningkatan permintaan dan kenaikan harga untuk industri logam dasar sejak 2013 sampai 2022 pada industri nasional. Produk domestik bruto (PDB), berdasarkan harga konstan (ADHK) pada industri logam dasar adalah sebesar Rp 124,29 triliun di tahun 2022 lihat Gambar 1 [1]. Untuk mencukupi kebutuhan logam dasar (Pb, Zn) pada industri nasional tersebut, perlu dilakukan jumlah pasokan yang mencukupi. Salah satu kegiatan dalam meningkatkan jumlah pasokan logam dasar tersebut adalah melakukan kegiatan evaluasi sumberdaya dari data eksplorasi tinjau sampai detil yang akan ditingkatkan menjadi cadangan. Saat ini daerah Ruwai Kalimantan Tengah merupakan penghasil logam dasar terbesar di Kalimantan [2]. Karena jumlah data bor yang terbatas dan pemboran membutuhkan biaya yang sangat tinggi maka untuk meningkatkan keakuratan data estimasi sumberdaya dapat dilakukan evaluasi dari data eksplorasi yang sudah ada kemudian diinterpolasi menggunakan metode klasik maupun geostatistik. Untuk melakukan evaluasi sumberdaya logam dasar tersebut digunakan metode geostatistik antara lain metode kriging pada tipe endapan bijih skarn.



Gambar 1. Grafik produk domestik bruto (PDB) pada industri logam dasar (Pb, Zn) pada subsektor industri pengolahan (2013-2022) [1].

Untuk mengetahui keakuratan metode *ordinary kriging* pada kasus endapan bijih data yang memiliki nilai koefisien variansi (CV) kurang dari 0,5 dapat menggunakan metode *ordinary kriging* [2]. Pada kondisi data dengan nilai CV lebih dari 0,5 hal tersebut menunjukkan variabilitas nilai data yang tidak teratur (*eratic*), yang bisa mempengaruhi hasil estimasi metode *ordinary kriging* sehingga membutuhkan metode kriging nonlinear [3].

Berdasarkan uraian diatas perlunya mengetahui estimasi sumberdaya menggunakan metode *ordinary kriging* yang merupakan salah satu dari metode kriging linear. Penelitian ini diaplikasikan untuk estimasi sumberdaya skarn logam dasar. Karena endapan bijih skarn mempunyai kondisi geologi yang kompleks dan variabilitas yang tinggi dimana nilai CV yang diperkirakan kurang dari 0,5 sehingga membutuhkan metode kriging linear [3]. Untuk melihat keakuratan metode *ordinary kriging* digunakan parameter yaitu validasi silang (*cross validation*) yaitu *root mean square error* (RMSE), koefisien determinasi (r^2), dan koefisien korelasi (r) dimana keakuratan tersebut diperoleh dari selisih nilai kadar dari komposit (*raw data*) dengan hasil taksiran didalam blok model. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bentuk blok model dan distribusi endapan bijih serta mengetahui hasil estimasi skarn logam dasar pada Blok A Ruwai Kabupaten Lamandau, Provinsi Kalimantan Tengah sebagai daerah penelitian.

METODE PENELITIAN

Metode yang dipakai pada penelitian ini menggunakan pendekatan geostatistik yaitu *ordinary kriging* untuk estimasi sumberdaya. Metode tersebut dipilih bertujuan untuk mengestimasi sumberdaya endapan skarn logam dasar pada daerah penelitian.

Pb-Equivalent

Melihat deposit dari sudut pandang ekonomi, maka penting untuk melihat perbedaan kontribusi antara logam yang berbeda, dalam hal ini Pb dan Zn sebagai akibat dari adanya perbedaan harga kedua jenis sumber daya tersebut [5]. Pada mineralisasi Pb-Zn di karbonat harus dievaluasi. Zn terbentuk di sphalerit yang miskin besi, sedangkan Pb terbentuk pada galena. Sehingga perlu dilakukan menyamakan rapat jenis Pb dan Zn yang disebut *density equivalent*.

Analisis Statistik Univarian

Analisis statistik univarian dapat mendeskripsikan posisi data melalui rerata (*mean*), modus, nilai tengah (*median*), nilai maksimum dan minimum. Sedangkan analisa statistik yang digunakan untuk menunjukkan penyebaran (variabilitas) dapat dilihat pada nilai variansi dan simpangan baku. *Skewness* atau ukuran kemiringan pada kurva memperlihatkan bentuk simetri atau tidak simetri dari suatu data dalam bentuk kurva histogram yang dibandingkan dengan distribusi normal. Koefisien variansi merupakan parameter yang menggambarkan keheterogenan dari suatu kelompok data.

Analisis Statistik Bivarian

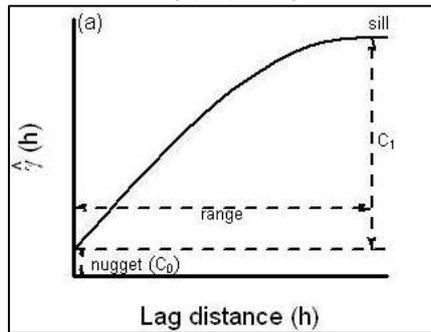
Analisa statistik bivarian merupakan analisis statistik untuk dua kumpulan distribusi data yang berbeda namun memiliki lokasi yang sama [6]. Statistik bivariat yang digunakan antara lain diagram pancar (*scatterplot*), menunjukkan dua variabel peubah pada suatu grafik x-y. Nilai koefisien korelasi (r) nilai diantara $-1 \leq r \leq +1$, jika nilai mendekati +1 atau -1 maka hubungan antar variabel semakin tinggi dan sebaliknya.

Analisis Statistik Spasial

Metode geostatistik merupakan metode interpolasi untuk menaksir nilai pada lokasi yang belum disampel dari data titik sampel keseluruhannya, berdasarkan dari korelasi spasial dari data yang tersedia [7][8][9]. Dilakukan dua tahapan dimana pertama mencari nilai dari variogram atau semivariogram dan fungsi *covarian* kemudian tahapan kedua yaitu interpolasi data untuk menaksir lokasi yang tidak terdapat data yang belum dilakukan sampling [10]. metode geostatistik yang dipilih untuk pemodelan sumberdaya adalah metode *ordinary kriging*.

Analisis struktural merupakan suatu cara mencocokkan analisis semivariogram eksperimental dengan semivariogram teoritis pada analisis data geostatistik [11][12]. Selain itu, analisis struktural bisa didapatkan dari model semivariogram teoritis yang telah diketahui atau yang disebut sebagai pembanding kurva dari semivariogram eksperimental yaitu *spherical*, eksponensial, *gaussian* [13]. Untuk penelitian ini perhitungan variogram menggunakan model *spherical* Gambar 2. Untuk persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \gamma(h) &= C_0 + C \left(\frac{3h}{2a} - \frac{3h^3}{2a^3} \right) \text{ untuk } h < a \quad (2) \\
 &= C_0 + C \text{ untuk } h \geq a \\
 &= 0 \text{ untuk } h=0
 \end{aligned}$$



Gambar 2. Model Semivariogram teoritis model *spherical* [7].

Estimasi Block Metode Ordinary Kriging

Menurut Journel [14] kriteria untuk nilai koefisien variansi sebuah data digunakan sebagai acuan untuk menentukan metode yang akan diterapkan apakah metode geostatistik linear atau nonlinear. Sedangkan menurut Kim [4] menganjurkan agar memperhatikan pada nilai koefisien variansi antara 0,5 – 1,5. Penerapan metode *ordinary kriging* untuk nilai koefisien variansi dibawah dari 0,5 menghasilkan estimasi yang dapat diandalkan dan dipercaya. Namun jika data dengan nilai koefisien variansi lebih dari 0,5 metode *kriging* linear akan memberikan hasil yang kurang dapat diandalkan dan memuaskan. Oleh karena itu perlu memakai metode geostatistik nonlinear.

Dilihat dari proses pengolahannya metode kriging dapat dibedakan menjadi dua yaitu *block kriging* dan *point kriging*. Metode point kriging merupakan metode kriging yang penyebaran datanya berupa titik, sedangkan metode *block kriging* adalah metode kriging yang penyebaran datanya tersusun dari blok-blok dengan ukuran tertentu [15].

$$\begin{aligned}
 Z^*(v) &= \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(x_i) \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1
 \end{aligned}$$

Dimana:

- λ_i = faktor bobot
- $Z(x_i)$ = nilai pengamatan ke-i
- Z^* = nilai taksiran pada titik yang tidak tersampel

Validasi Silang

Validasi silang (*crossvalidation*) digunakan untuk mengetahui keakuratan dari hasil estimasi apakah sudah baik atau belum [6]. *Crossvalidation* adalah bagian dari statistik bivarian dimana analisa tersebut digunakan pada dua buah variabel berbeda namun dalam posisi yang letaknya sama sehingga dapat diketahui hubungan dari antar variabel. Untuk masing-masing kriteria parameter dalam mengetahui tingkat keakuratan antar dua variabel sebagai berikut ini:

- Root mean square error* (RMSE), tingkat akurasi tinggi jika nilai kecil atau mendekati nol.
- Koefisien determinasi (r^2) memiliki nilai diantara $0 < r^2 < 1$, dikatakan akurasi tinggi jika memiliki nilai mendekati angka satu.
- Koefisien korelasi (r) memiliki nilai diantara $-1 \leq r \leq +1$, akurasi tinggi jika nilainya mendekati angka satu.

Klasifikasi Sumberdaya Mineral

Klasifikasi sumberdaya mineral dapat dibedakan menjadi tiga yaitu sumberdaya mineral tereka (*inferred*), tertunjuk (*indicated*), dan terukur (*measured*) [16]. Pengklasifikasian sumberdaya skarn logam dasar pada penelitian ini menggunakan parameter jarak rata-rata antar sampel (*average distance*) yang dianalisis dengan menggunakan histogram dan dikelompokkan kedalam tiga klasifikasi sumberdaya tersebut.

HASIL DAN ANALISIS

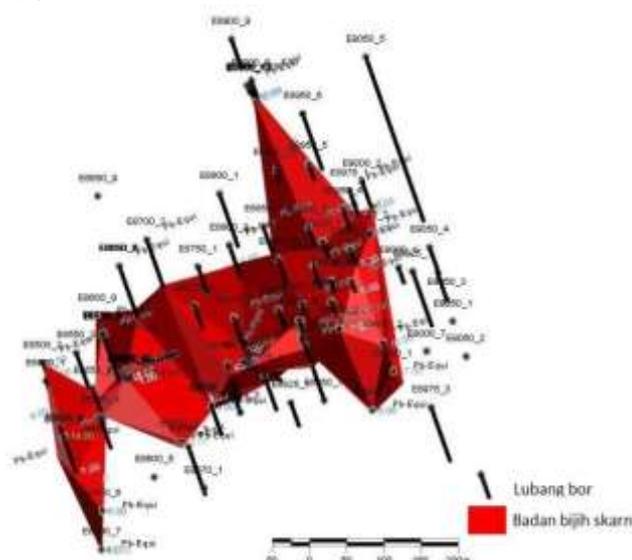
Sebaran titik bor pada Blok A berjumlah 82 titik bor, minimal kedalaman minimum dan maksimum yaitu pada kedalaman 24 meter dan 157 meter dengan interval jarak titik bor rata-rata yaitu 25 meter. Penyebaran titik bor pada daerah penelitian serta badan bijih skarn logam dasar Blok A Ruwai menggunakan *software* Micromine 2020 dapat dilihat pada Gambar 3.

Penyusunan Database

Untuk estimasi sumberdaya dengan *block model* memakai metode estimasi *ordinary kriging*, perlu dilakukan penyusunan database terdahulu. Dimana database tersebut terdiri dari:

- Data *survey* permukaan (topografi) yang terdiri dari koordinat lubang bor yaitu berupa *northing*, *easting*, dan elevasi.
- Data *assay* yang terdiri dari *hole ID*, kedalaman: *from-to*, dan kadar *ore* (Pb-Zn %).
- Data Lithology yang terdiri dari *hole ID*, kedalaman: *from-to*, dan jenis mineralisasi pada kedalaman tersebut (*lithology*).
- Data *collar* yang terdiri dari nama/kode titik bor (*hole ID*), koordinat X, Y dan Z dan kedalaman titik bor.

Dari kumpulan data-data tersebut digunakan sebagai *database* yang di *import* dan diolah kedalam *software* Micromine 2020 akan menghasilkan berupa sebaran titik bor dimensi. Dari sebaran titik bor menampilkan titik bor dan badan bijih Gambar 3.



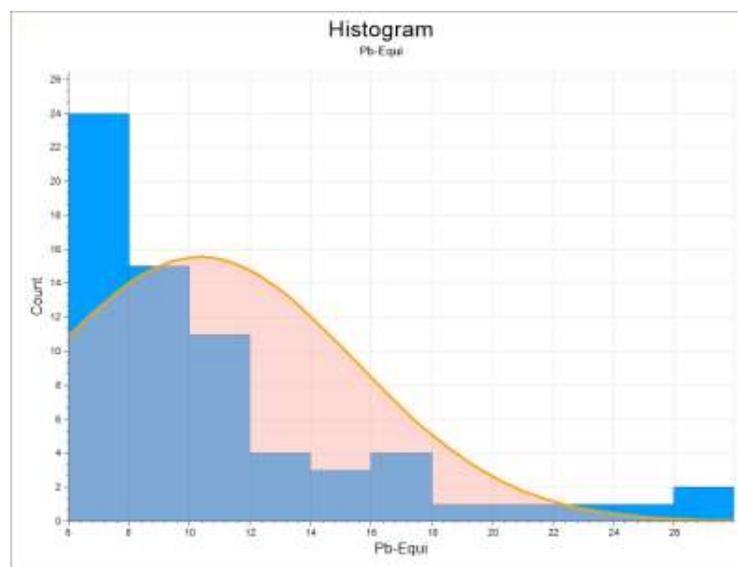
Gambar 3. Sebaran titik bor dan badan bijih skarn logam dasar Blok A Ruwai menggunakan *software* Micromine 2020

Analisis Statistik Deskriptif

Hasil analisis statistik dipakai guna mendeskripsikan dan kecenderungan dari populasi data awal (komposit) dan data hasil pengolahan (estimasi). Analisis statistik deskriptif dilakukan pada data kadar Pb *equivalent* (Pb-Zn) pada endapan skarn logam dasar. Hasil analisis statistik univariat untuk kadar Pb-Zn menghasilkan nilai *mean* atau rata-rata kadar (Tabel 1). Koefisien variansi (CV) bernilai kurang dari 0,5 merujuk pada [2][5] dan nilai CV yang dihasilkan dari analisis statistik pada daerah penelitian sebesar 0,49 (Tabel 1) yang berarti memiliki variabilitas yang rendah. Untuk nilai *skewness* memiliki nilai 1,66 yang artinya memiliki distribusi positif, sedangkan nilai tengah (*median*) sebesar 0,59% menunjukkan lebih kecil dari nilai rata-rata (*mean*) sebesar 10,34% berarti memiliki kecenderungan distribusi kadar yang rendah (Tabel 1 dan Gambar 4).

Tabel 1. Analisis Statistik Kadar Pb-Zn Blok A Ruwai

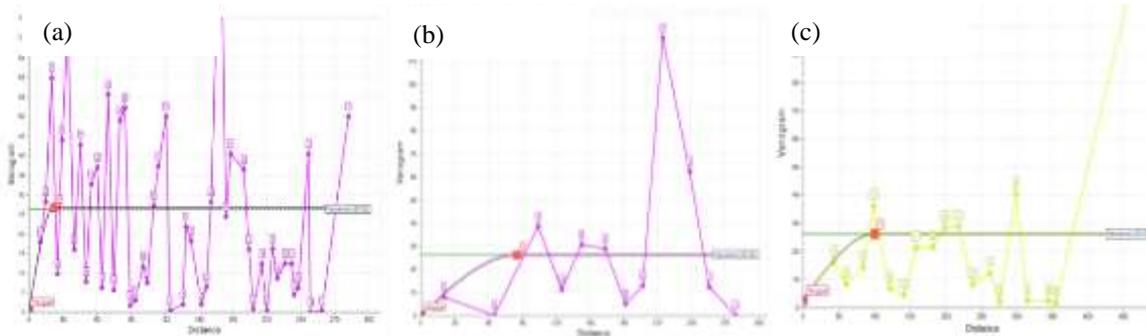
Parameter	Komposit Pb-Zn
Data (<i>n</i>)	67
Minimum Value	6,00%
Maximum Value	27,00%
Mean	10,34%
Median	0,59%
Variance	26,31
Standard Deviation	5,13
Coeff. of Variation	0,49
Skewness	1,66
Kurtosis	2,37



Gambar 4. Histogram hasil analisis statistik deskriptif Pb-Zn Blok A Ruwai

Analisis Variogram

Variogram model merupakan tahapan terpenting untuk mengestimasi sumberdaya menggunakan metode *ordinary kriging*, dimana variogram tersebut menentukan tinggi atau rendahnya dari variabilitas metode estimasi kriging. *Fitting* variogram dilakukan sebanyak tiga kali bearah 0^0 , 20^0 , dan 90^0 berdasarkan eksperimen antar data yang saling memiliki hubungan. Masing-masing *fitting* variogram ditentukan nilai parameternya yaitu *nugget* (C0), *sill*, *partial sill* dan *range* yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 5.



Gambar 5. Hasil *fitting* variogram dengan arah (a) 0°, (b) 20° dan (c) 90°.

Tabel 2. Parameter data hasil *fitting* variogram model *spherical*

Arah	Nugget (C0)	Sill	Partial Sill	Range (m)
0°	0,5	26,32	26,32	21,6
20°	0,5	26,32	26,3	85,2
90°	2,8	26,32	23,5	100,5

Block Model Sumberdaya

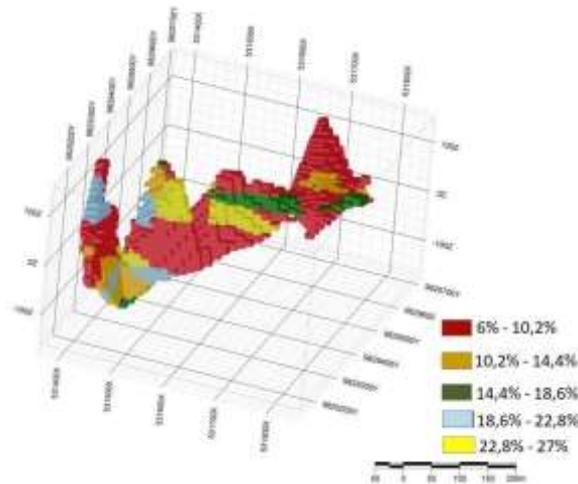
Estimasi sumberdaya pada penelitian ini terlebih dahulu dilakukan pembuatan *blok model*. Pembuatan *blok model* dibutuhkan karena data yang akan ditaksir dengan ketetapan titik bor bisa dilakukan estimasi pada blok-blok yang telah ditetapkan ukurannya. Pemodelan blok disesuaikan dengan spasi bor rata-rata 25m sehingga nantinya ukuran *blok model* dapat sesuai dengan spasi titik bornya. Selain itu pembuatan *blok model* disesuaikan dengan perencanaan penambangan dan metode penambangan yang akan digunakan oleh perusahaan. Pembuatan blok sumberdaya yang dibuat dengan dimensi (10 m x 5 m x 3 m) Tabel 3.

Tabel 3. Ukuran blok model kosong (*blank block model*)

Arah	Koordinat		Ukuran blok (m)	Jumlah Blok
	Minimal	Maksimal		
<i>east</i>	531361	531871	10	55
<i>north</i>	9829124	9829724	5	121
<i>elevation</i>	-173	157	3	87

Block Model Hasil Estimasi Ordinary Kriging

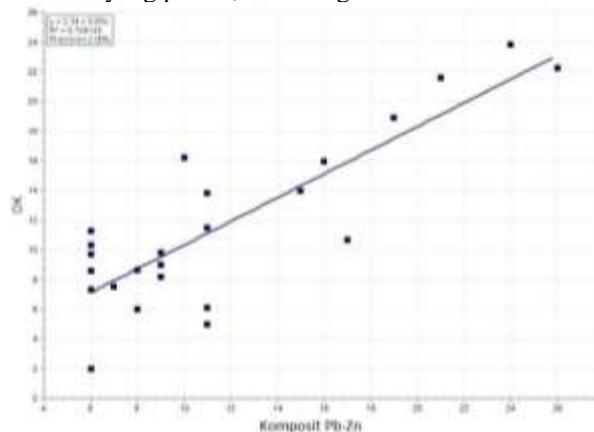
Setelah diperoleh model blok tahapan selanjutnya adalah melakukan estimasi kadar pada tiap-tiap blok berdasarkan dari data kadar *assay* Pb-Zn. Dilakukan pengkompositan data *assay* terlebih dahulu, dengan interval yang cukup merata pada setiap 1 meter. Setelah proses komposit selesai maka data kadar komposit tersebut siap dipakai untuk mengisi setiap blok kosong pada model blok. Estimasi pada blok model yang kosong dipilih metode *ordinary kriging*. Untuk hasil estimasi blok sumberdaya dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Model estimasi kadar Pb-Zn metode *ordinary kriging* Blok A Ruwai

Validasi Data

Validasi data yang dipakai yaitu *scatter plot* (koefisien determinasi (r^2) dan koefisien korelasi (r) dan *root mean square error* (RMSE) dengan sampel sebanyak 68 data. Validasi data yang diterapkan adalah validasi data Pb-Zn komposit dengan data Pb-Zn *block* hasil estimasi *ordinary kriging*. Validasi data menghasilkan nilai RMSE adalah 0,40, nilai koefisien korelasi (r) adalah 0,83 dan nilai koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,75. Nilai-nilai tersebut dimana nilai koefisien korelasi (0,83) dan nilai koefisien determinasi (0,75) mendekati nilai 1 atau 45^0 (Gambar 7), dan merujuk pada [5] serta didukung oleh distribusi data normal/valid dan memiliki korelasi yang positif, maka tingkat akurasi dari hasil estimasi dianggap cukup baik.

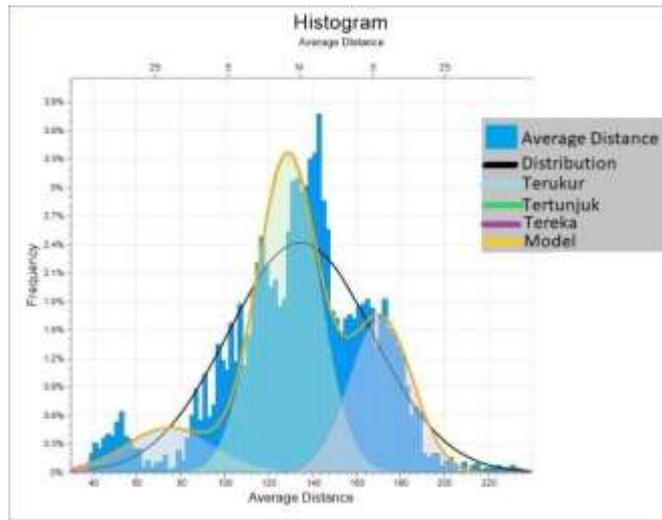


Gambar 7. *Cross validation* Pb-Zn komposit dan *ordinary kriging*

Klasifikasi Sumberdaya Skarn Logam Dasar

Dari histogram klasifikasi sumberdaya skarn logam dasar (Gambar 8) menghasilkan 3 (tiga) puncak data *average distance*, dimana puncak data tersebut menggambarkan dari 3 (tiga) klasifikasi sumberdaya skarn logam dasar antara lain terukur, tertunjuk, dan tereka. Kelompok sumberdaya terukur merupakan data yang memiliki jarak rata-rata paling dekat yaitu 30m-90m. Sumberdaya tertunjuk merupakan kelompok data yang memiliki jarak rata-rata 90m-155m. Untuk jarak yang semakin jauh dikelompokkan kedalam sumberdaya tereka dengan jarak rata-rata 155m-240m.

Hasil pemodelan dan estimasi sumberdaya pada model blok blok yang telah diinterpolasi dengan metode *ordinary kriging*, diklasifikasikan dan diakumulasi dalam tabulasi hasil estimasi sumberdaya. Estimasi *ordinary kriging* mengklasifikasikan dengan parameter *average distance* yang berupa volume, tonase, dan kadar rerata. Hasil estimasi diperoleh sumberdaya tereka sebanyak 17.693 ton dengan kadar rata-rata 10.71%, sumberdaya tertunjuk sebanyak 26.872 ton dengan kadar rata-rata 10.85%, dan sumberdaya terukur sebanyak 15.051 dengan kadar rata-rata 11.51% (Tabel 4).



Gambar 8. Histogram *average distance* klasifikasi sumberdaya *ordinary kriging*

Tabel 4. Klasifikasi sumberdaya Pb-Equivalent dengan *average distance* metode *ordinary kriging*

Volume (m ³)	Density (t/m ³)	Total (ton)	Kadar rata-rata Pb-Equi%	Klasifikasi Sumberdaya
1.220.250	14.5	17.693	10.71	Tereka
1.853.250	14.5	26.872	10.85	Tertunjuk
1.038.000	14.5	15.051	11.51	Terukur

KESIMPULAN

1. Pembuatan *database* sebagai data awal untuk estimasi sumberdaya dengan metode *ordinary kriging* diperoleh dari kegiatan eksplorasi. Kegiatan eksplorasi tersebut terdiri dari data *assay*, *collar*, *survey*, dan litologi untuk mempermudah dalam pembuatan *drill hole* sehingga dapat diketahui sebaran kadar pada titik bor.
2. Ukuran model Blok A Ruwai adalah dengan panjang 10m, lebar 5m, dan tinggi 3m, selanjutnya melakukan pencocokan variogram eksperimental dengan variogram teoritis.
3. Validasi silang diperoleh nilai RMSE 0,40 yang mendekati 0, koefisien korelasi (r) 0,83 dan koefisien determinasi (r²) 0,7 yang mendekati 1. Untuk tingkat *error* yang lebih rendah dari hasil estimasi dapat menggunakan ukuran dimensi model blok yang berbeda.
4. Estimasi sumberdaya skarn logam dasar Blok A Ruwai memakai metode *ordinary kriging* menghasilkan klasifikasi sumberdaya dan kadar rata-rata, yaitu tonase sumberdaya tereka 19.452 ton, tertunjuk 29.542 ton dan terukur 16.546 ton dan kadar rata-rata 10.71%, 10.85%, dan 11.51%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ucapkan terimakasih kepada Doly R Simbolon selaku senior *geologist site* Lamandau PT. Kapuas Prima Coal. Tbk. Serta dukungan untuk lisensi software dan pelatihan dari PT. Mikromine Indonesia Perdana (Micromine).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik (BPS). 2022. Produk Domestik Bruto (PDB) Industri Logam Dasar 2012-2022. Jakarta
- [2] Hutchin, S., 2018. In: JORC Resource Estimation Report KPC Concession Area, Kalimantan – PT Kapuas Prima Coal, pp. 1–63. Unpublished internal report.
- [3] Bargawa, W.S., 2002, Short Course Reserve Modeling for Mining, Ikatan Ahli Geologi Indonesia, Bandung, Jawa Barat
- [4] Kim, Y.C. 1988. Advanced Geostatistics For Highly Skewed Data, Department of Mining and Geological Engineering, Arizona University



ISSN: 1907-5995

- [5] Wellmer, F.W., dkk. 2007. *Economic Evaluation in Exploration (Second Edition)*. Springer. pp.50-54
- [6] Isaak, E., Srivastava, R.M. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*, New York: Oxford University Press, pp. 257-361
- [7] Armstrong, M. 1998. *Basic Linear Geostatistics*. Springer Science & Business Media. pp. 25-57 .
- [8] Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit Dengan Membandingkan Metode Nearest Neighbour Point Dan Inverse Distance Weighting
- [9] Agustinus, Y.W. 2017. Perhitungan volume surface sumber daya batu granit secara teristris di PT Vitrama Properti, desa Air Mesu, Kabupaten Bangka Tengah. Diss. Universitas Bangka Belitung.
- [10] Rustam, M., Idrus, A., dan Setijadji, L.D. 2017. Geologi dan Estimasi Sumberdaya dengan Metode Ordinary Kriging pada Endapan Bauksit di Kecamatan Anjongan dan Toho, Kabupaten Mempawah, Provinsi Kalimantan Barat.
- [11] Kurniawan, A.R., dan Amri, N.A. 2019. Estimasi Sumberdaya Emas Menggunakan Metode Ordinary Kriging Pada Pit X, Pt. Indo Muro Kencana, Kec. Tanah Siang, Kab. Murung Raya, Kalimantan Tengah.
- [12] Hardyanto, S.W, dan Nurwaskito, A. 2015. Pemodelan Endapan Nikel Laterit, Kabupaten Morowali Provinsi Sulawesi Tengah.
- [13] Irzan M.Z, dan Yuliadi, D.G. 2018. Pemodelan dan Estimasi Sumberdaya Nikel, Menggunakan Software Vulcan 9.1 di PT Vale Indonesia Tbk, Desa Soroako, Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan.
- [14] Journel A G. 1983. Non 2 Parametric Estimation of Spatial Distribution. *Math Geol*, 15(3): pp. 445-468
- [15] Diansyah, A, dan Djamaluddin, H.B. 2017. Pemodelan Dan Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit Daerah "X" Menggunakan Software Datamine Studio 3 Pada PT. Vale Indonesia Liwi Timur Sulawesi Selatan.
- [16] Kode-KCMI 2011, Kode Pelaporan hasil eksplorasi, Sumberdaya Mineral dan Cadangan Bijih Indonesia Komite Cadangan Mineral Indonesia, Perhimpunan Ahli Pertambangan Indonesia dan Ikatan Ahli Geologi Indonesia.