

# Penerapan Metode Geostatistik Untuk Estimasi Sumberdaya Galena Pada Blok Gossan Di PT Kapuas Prima Coal

## *Application Of Geostatistical Methods For Galena Resource Estimation In The Gossan Block At PT Kapuas Prima Coal*

Tommy Suwandi<sup>1</sup>, Nurkhamim<sup>2</sup>, Aldin Ardian<sup>3</sup>, Epafra Meihaga<sup>4</sup>, Emil Salim  
Kahmi Leka<sup>5</sup>, Fransischus R.T Sasea<sup>6</sup>

UPN "Veteran" Yogyakarta Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral dan  
Energi, UPN "Veteran" Yogyakarta<sup>1,2,3,4,5,6</sup>

[Tommysuwandi09@gmail.com](mailto:Tommysuwandi09@gmail.com)

### Abstrak

Estimasi sumberdaya mineral sangat penting dalam eksplorasi untuk menilai kelayakan penambangan. Metode geostatistik, khususnya ordinary kriging, sering digunakan untuk memperkirakan kadar bijih di lokasi yang tidak terukur dengan memanfaatkan nilai-nilai yang diketahui dan model variabilitas spasial (variogram). Namun, metode ini memiliki keterbatasan seperti asumsi stasioneritas, aditivitas, linearitas, dan subjektivitas dalam pemodelan variogram. Galena, mineral bernilai ekonomi tinggi karena kandungan timbalnya, menjadi fokus eksplorasi untuk industri baterai dan pelindung radiasi. Estimasi yang akurat terhadap sumber daya galena penting untuk menjamin eksplorasi dan penambangan yang efisien dan berkelanjutan. Berdasarkan metode estimasi ordinary kriging, sumber daya galena diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu measured, indicated, dan inferred. Kategori measured memiliki volume 2.012.325 m<sup>3</sup> dengan tonase 15.092.439 ton dan kadar Pb 3,70%. Kategori indicated memiliki volume 1.555.856,25 m<sup>3</sup> dengan tonase 11.668.921 ton dan kadar Pb 3,96%. Sementara itu, kategori inferred memiliki volume 7.309,25 m<sup>3</sup> dengan tonase 54.819 ton dan kadar Pb 4%. Hasil perhitungan teknik estimasi Ordinary Kriging menunjukkan nilai RMSE sebesar 0,40, koefisien korelasi (r) sebesar 0,98, dan koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) sebesar 0,96. Nilai-nilai ini mengindikasikan bahwa model ordinary kriging yang digunakan memiliki tingkat akurasi yang cukup baik, dengan hubungan yang cukup kuat antara nilai estimasi dan aktual. Dengan demikian, metode ini dapat diandalkan untuk estimasi sumberdaya galena.

**Kata Kunci:** Ordinary Kriging, Geostatistik, Variogram, Estimasi Sumberdaya

### Abstract

Mineral resource estimation is crucial in exploration to assess the feasibility of mining. Geostatistical methods, particularly ordinary kriging, are commonly used to estimate ore grades at unmeasured locations by utilizing known values and a spatial variability model (variogram). However, this method has limitations, such as assumptions of stationarity, additivity, linearity, and subjectivity in variogram modeling. Galena, a mineral of high economic value due to its lead content, is a focus of exploration for the battery and radiation shielding industries. Accurate estimation of galena resources is essential to ensure efficient and sustainable exploration and mining. Based on the ordinary kriging estimation method, galena resources are classified into three categories: measured, indicated, and inferred. The measured category has a volume of 2,012,325 m<sup>3</sup> with a tonnage of 15,092,439 tons and a Pb grade of 3.70%. The indicated category has a volume of 1,555,856.25 m<sup>3</sup> with a tonnage of 11,668,921 tons and a Pb grade of 3.96%. Meanwhile, the inferred category has a volume of 7,309.25 m<sup>3</sup> with a tonnage of 54,819 tons and a Pb grade of 4%. The results of the ordinary kriging estimation technique show an RMSE value of 0.04, a correlation coefficient (r) of 0.98, and a coefficient of determination (R<sup>2</sup>) of 0.96. These values indicate that the ordinary kriging model used has a reasonably good level of accuracy, with a fairly strong relationship between estimated and actual values. Thus, this method can be relied upon for estimating galena resources.

**Keywords:** Ordinary Kriging, Geostatistic, Variogram, Resource Estimation

## PENDAHULUAN

Estimasi sumberdaya mineral merupakan tahap penting dalam eksplorasi mineral karena memberikan informasi yang dibutuhkan untuk menilai kelayakan operasional penambangan. Salah satu metode yang sering digunakan untuk memperkirakan kadar bijih di lokasi yang tidak terukur dengan pendekatan metode geostatistik, khususnya ordinary kriging. Metode ini memanfaatkan nilai-nilai yang diketahui pada titik tertentu untuk memperkirakan nilai di lokasi yang tidak teramati, dengan keunggulan utama pada

kemampuannya untuk menghitung bobot menggunakan model variabilitas spasial yang disebut variogram. Meskipun demikian, metode ini memiliki beberapa keterbatasan, seperti asumsi stasioneritas, aditivitas, linearitas, serta potensi subjektivitas dalam proses pemodelan variogram. [3] [10] (Elordi et al., 2024; Samson & Deutsch, 2021).

Galena, sebagai salah satu mineral dengan nilai ekonomi tinggi, banyak dijadikan fokus dalam eksplorasi mineral. Kandungan timbal dalam galena menjadikannya mineral yang penting, terutama untuk industri pembuatan baterai dan pelindung radiasi. Oleh karena itu, estimasi yang tepat dan akurat terhadap sumber daya galena sangat penting untuk memastikan bahwa eksplorasi dan penambangan dapat dilakukan secara efisien dan berkelanjutan. Prospek endapan bijih termasuk *Southwest Gossan, Ruwai, Central Gossan, Karim* dan *Gojo* secara jelas terlokalisasi antara kontak litologi antara batuan vulkanik dan sedimen sepanjang N 70° E-trending fault. Selain itu, struktur menonjol lainnya adalah sesar berarah NNE-SSW [14]. Menurut penelitian Meinert (1992), proses pembentukan endapan skarn merupakan proses dinamis. Sebagian besar endapan skarn mengalami transisi dari tahap metamorfisme distal, yang menghasilkan butiran kristal mineral kalk-silikat dengan ukuran relatif besar, hingga terbentuk skarn yang mengandung bijih [15]. Metode geostatistik seperti ordinary kriging dapat memberikan estimasi yang lebih akurat dengan mempertimbangkan variabilitas spasial dari mineral ini. [3] (Elordi et al., 2024).

Meskipun *ordinary kriging* sangat berguna dalam estimasi sumberdaya mineral, metode ini juga memiliki keterbatasan. Teknik ini tidak memerlukan asumsi stasioneritas dan dapat meningkatkan estimasi dalam domain yang lebih kompleks. Dengan memadukan keakuratan ordinary kriging dan fitur non-stasioner yang dimodelkan dalam Micromine 2025.[10] (Samson & Deutsch, 2021).

## METODOLOGI

Variogram merupakan bagian dari geostatistik karena digunakan untuk memahami perilaku bagaimana suatu nilai data berubah terhadap jarak dan arah tertentu. Variogram merupakan grafik yang membandingkan antara nilai sampel dan jarak. Variogram dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

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

Keterangan:

Y(m) = Fungsi variogram

N (m) = Jumlah pasangan data

Z(x<sub>i</sub>+m) = kadar titik contoh berjarak m dari xi

Z(x<sub>i</sub>) = kadar titik contoh xi

m = jarak tertentu yang mempunyai fungsi vektor arah tertentu.

Hubungan antara variogram eksperimental dengan variogram model memiliki nilai parameter kecocokan. Langkah yang dilakukan untuk mendapatkan hubungan antara kedua variogram tersebut adalah dengan melakukan pencocokan (fitting) yang disebut juga dengan analisis struktural. Analisis struktural ini dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter nugget effect (C0), sill dan range (k) yang selanjutnya digunakan untuk parameter dalam penaksiran teknik geostatistik [12] Bargawa & Amri dkk., 2018.

### Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menerapkan metode penelitian kuantitatif, yaitu metode yang bersifat sistematis, terstruktur, dan terencana dengan baik sejak awal hingga diperolehnya suatu kesimpulan. Kegiatan penelitian ini akan dilaksanakan di PT Kapuas Prima Coal secara bertahap sesuai dengan prosedur yang teratur guna memperoleh hasil yang akurat. Tahap pertama meliputi persiapan awal penelitian, yaitu melakukan studi pustaka untuk mengumpulkan informasi terkait masalah atau topik yang menjadi objek penelitian, serta survei ke Blok Gossan guna mengamati secara langsung kondisi titik bor yang direncanakan untuk kegiatan pengeboran. Selanjutnya, tahapan penelitian dilanjutkan dengan pengumpulan data primer, seperti data log bor, peta geologi, dan peta topografi, serta data sekunder, seperti peta IUP lahan, peta sebaran titik bor, dan peta kesampaian daerah.

### Metode Analisis Data

Analisis statistik deskriptif bertujuan untuk menggambarkan karakteristik data melalui berbagai ukuran seperti posisi pusat data, penyebaran, dan bentuk distribusi. Berikut adalah referensi yang mendukung konsep-konsep ini:

- Rerata (Mean): Rerata adalah rata-rata aritmatika dari data yang diukur pada skala interval atau rasio [3] [4]
- Nilai Tengah (Median): Median mencerminkan skor persentil ke-50 dari distribusi data [3] [4]

- Modus: Modus adalah nilai yang paling sering muncul dalam distribusi data [3] [4]. Ukuran Penyebaran Data
- Rentang (Range): Rentang menggambarkan selisih antara nilai maksimum dan minimum dalam data. [3][4]
- Variansi dan simpangan baku (Standard Deviation): Variansi dan simpangan baku mengukur seberapa jauh data menyebar dari rata-rata sampel [3] [4].
- Koefisien Variasi (Coefficient of Variation): Digunakan untuk menggambarkan tingkat heterogenitas dalam kelompok data. [3][4]
- Histogram: digunakan untuk memvisualisasikan distribusi data dan mengidentifikasi kemiringan. [5] Validasi Silang (Cross Validation)

Analisis statistik bivarian mempelajari hubungan antara dua variabel yang berbeda tetapi diukur pada lokasi yang sama. Analisis ini membantu dalam memahami tingkat hubungan atau korelasi antara variabel-variabel tersebut, yang sangat penting dalam pemodelan geostatistik untuk memprediksi fenomena spasial. [1]. Cross-validation merupakan metode dalam analisis statistik bivarian yang bertujuan untuk menganalisis hubungan antara dua variabel yang berbeda tetapi memiliki lokasi atau posisi yang sama. Hubungan antar variabel ini dapat diukur dengan beberapa parameter, di antaranya sebagai berikut:

Root Mean Square Error (RMSE) digunakan untuk mengukur tingkat error prediksi terhadap data aktual. Model estimasi dianggap memiliki tingkat akurasi yang tinggi jika nilai RMSE kecil atau mendekati nol, yang menunjukkan bahwa prediksi mendekati nilai aktual.

Koefisien Determinasi ( $r^2$ ) menggambarkan proporsi variasi data aktual yang dapat dijelaskan oleh model estimasi. Nilainya berada dalam rentang  $0 < r^2 \leq 1$ , di mana nilai yang mendekati 1 menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi, mengindikasikan model mampu menjelaskan hampir seluruh variasi data.

Koefisien Korelasi ( $r$ ) mengukur kekuatan dan arah hubungan linier antara dua variabel. Nilainya berkisar antara  $-1 \leq r \leq +1$ . Model dianggap akurat jika nilai  $r$  mendekati 1, yang menunjukkan hubungan linier positif yang kuat antara variabel estimasi dan nilai aktual.

Bagian ini menjelaskan jenis metode (kualitatif, kuantitatif atau mixed-method) disertai rincian metode pengumpulan data dan metode analisis data yang digunakan. Bagian ini juga dapat menjelaskan perspektif yang mendasari pemilihan metode tertentu.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan di wilayah konsesi pertambangan PT. Kapuas Prima Coal, sebuah perusahaan pemegang Izin Usaha Pertambangan (IUP) yang bergerak di sektor pertambangan galena dan seng (zinc). Secara administratif, area IUP PT. KPC terletak di Provinsi Kalimantan Tengah dengan luas wilayah mencapai 5.569 hektar. Lokasi ini secara geografis berada pada koordinat  $111^{\circ}15'57''$  hingga  $111^{\circ}19'22.57''$  Bujur Timur dan  $01^{\circ}31'22.4''$  hingga  $01^{\circ}33'00''$  Lintang Selatan. Morfologi wilayah ini berupa daratan yang disertai dengan perbukitan berlereng sedang hingga curam di bagian utara dan selatan.

Wilayah pertambangan (IUP) PT. Kapuas Prima Coal secara administratif berada di Kabupaten Lamandau, Provinsi Kalimantan Tengah, dengan jarak sekitar 90 km dari Pangkalan Bun. Area konsesi penambangan ini berlokasi di Desa Bintang Mengalih, Kecamatan Belantikan Raya, Kabupaten Lamandau, Provinsi Kalimantan Tengah, yang berjarak sekitar 190 km dari Pangkalan Bun. Lokasi ini dapat dicapai melalui beberapa transportasi, yaitu:

Menggunakan pesawat udara dari Bandara Internasional Yogyakarta menuju Bandara Iskandar di Pangkalan Bun dengan waktu tempuh sekitar  $\pm 1$  jam 10 menit.

Dari Pangkalan Bun menuju wilayah operasional PT Kapuas Prima Coal dapat ditempuh menggunakan kendaraan roda empat dengan jarak perjalanan sekitar 90 km.

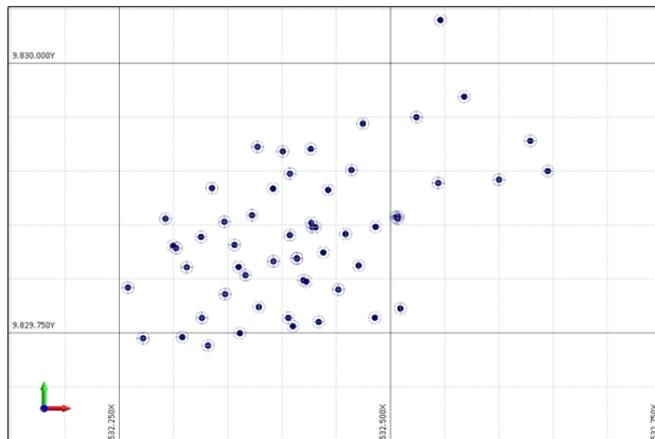
Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi sumberdaya geologi di wilayah lokasi studi dengan menggunakan metode geostatistik berbasis data sekunder, termasuk data pengeboran, analisis kadar, dan model geologi regional. Data yang digunakan mencakup koordinat titik bor, yang mencakup data kadar galena dan karakteristik litologi.

Sebaran titik bor di Blok A terdiri dari 82 titik bor dengan kedalaman minimum 30 meter dan kedalaman maksimum 160 meter. Jarak rata-rata antar titik bor adalah 25 meter. Penyebaran titik bor di area penelitian serta badan bijih skarn logam galena di Blok Gossan dapat divisualisasikan menggunakan perangkat lunak *Micromine 2025* (lisensi Laboratorium SIMKOM UPNYK), seperti yang terlihat pada **Gambar 1**.

### Pembuatan database.

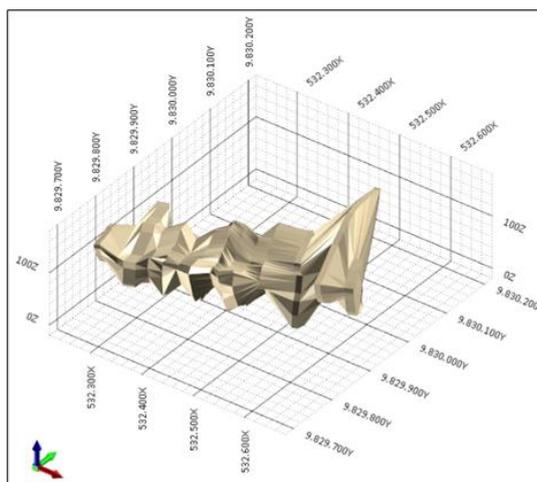
Untuk membuat perkiraan jumlah mineral (estimasi sumberdaya) dalam suatu area tambang menggunakan metode statistik yang disebut Ordinary Kriging, kita perlu mengumpulkan dan mengolah beberapa jenis data terlebih dahulu. Data-data ini meliputi:

- Data lokasi pengeboran: Informasi mengenai letak persis setiap lubang bor di permukaan tanah, termasuk koordinat utara-selatan (northing), timur-barat (easting), dan ketinggian (elevasi).
- Data kadar mineral: Informasi mengenai kandungan mineral (misalnya, timbal dan seng) pada setiap kedalaman di dalam lubang bor.
- Data jenis batuan: Informasi mengenai jenis batuan yang ditemukan pada setiap kedalaman titik lubang bor.
- Data umum lubang bor: Informasi dasar tentang setiap lubang bor, seperti nama atau kode, koordinat titik awal pengeboran, dan kedalaman total.



**Gambar 1.** Sebaran titik bor daerah blok Gossan (*Micromine 2025*)

Semua data ini kemudian dimasukkan ke dalam perangkat lunak pertambangan seperti *Micromine 2025* (lisensi Laboratorium SIMKOM UPNYK). Perangkat lunak ini akan memproses data dan menampilkannya dalam bentuk visual, seperti peta yang menunjukkan lokasi semua lubang bor dan bentuk tubuh bijih di dalam tanah. Data-data ini sangat penting untuk membangun model 3D dari deposit mineral dan memperkirakan jumlah mineral yang terkandung di dalamnya. Model 3D ini kemudian dapat digunakan untuk perencanaan penambangan dan pengambilan keputusan lainnya.



**Gambar 2.** Model bijih galena Pada Blok Gossan (*Micromine 2025*)

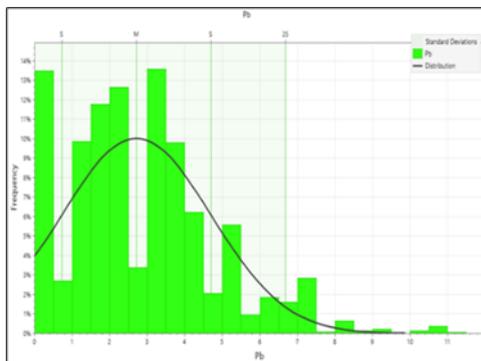
**Analisis statistik deskriptif**

Hasil analisis statistik dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 1.** Hasil Analisis statistik Pb (Galena)

Parameter	Nilai
<i>Minimum Value</i>	0
<i>Maximum Value</i>	11,00
<i>Mean</i>	2,71

<i>Median</i>	2,40
<i>Standard Deviation</i>	1,99
<i>Coeff. of Variation</i>	0,734
<i>Variance</i>	3,95
<i>N (Jumlah Data)</i>	4.061



**Gambar 3.** Histogram Hasil Analisis Statistik Galena Pada Blok Gossan (*Micromine 2025*)

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa:

- Rata-rata kadar: Cukup tinggi, yaitu sekitar 2,71%. Ini berarti secara umum, kandungan timbal dalam endapan ini cukup tinggi.
- Variabilitas rendah: Nilai koefisien variasi (CV) yang hanya 0,734 menunjukkan bahwa kadar timbal di seluruh area penelitian cenderung seragam atau tidak terlalu bervariasi.
- Median lebih rendah dari rata-rata: Fakta bahwa nilai tengah (median) lebih rendah dari rata-rata mengindikasikan adanya beberapa data dengan nilai yang sangat tinggi (outlier) yang menarik rata-rata ke atas.

Secara sederhana, hasil analisis menunjukkan bahwa endapan *skarn* ini memiliki kadar galena yang cukup baik secara rata-rata, namun distribusi kadarnya tidak merata. Ada beberapa area dengan kadar yang sangat tinggi yang mempengaruhi nilai rata-rata secara keseluruhan.

#### Analisis Variogram

Model variogram adalah kunci utama dalam memperkirakan jumlah sumber daya mineral menggunakan metode statistik yang disebut *ordinary kriging*. Model ini menentukan seberapa besar nilai suatu mineral di suatu lokasi akan dipengaruhi oleh nilai mineral di lokasi lain yang berdekatan.

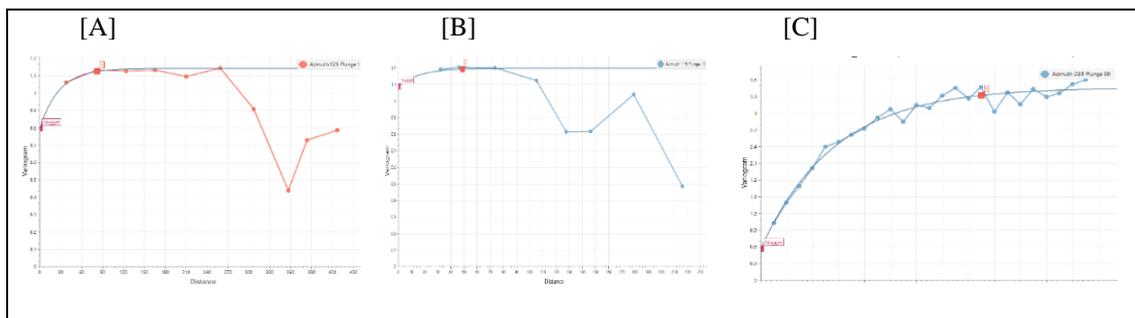
Untuk membuat model variogram yang akurat, kita perlu menganalisis data dari berbagai arah. Dalam kasus ini, analisis dilakukan pada tiga arah utama: major, minor dan vertikal. Setiap arah ini mewakili pola penyebaran mineral yang berbeda.

Model variogram memiliki beberapa parameter penting, yaitu:

- 1 Nugget: Menunjukkan tingkat variasi acak dalam data yang tidak dapat dijelaskan oleh model spasial.
- 2 Sill: Menunjukkan variabilitas total data.
- 3 Range: Menunjukkan jarak maksimum di mana dua titik masih memiliki korelasi spasial.
- 4 Partial sill: Perbedaan antara *sill* dan *nugget*.

Nilai-nilai parameter ini kemudian digunakan untuk membangun model variogram yang paling sesuai dengan data kita.

Secara sederhana, model variogram seperti peta yang menunjukkan bagaimana nilai suatu mineral berubah dari satu titik ke titik lainnya dalam suatu area. Model variogram yang baik, kita dapat membuat perkiraan yang lebih akurat tentang jumlah mineral yang terkandung dalam suatu deposit. Dengan memahami variogram, kita dapat membuat keputusan yang lebih baik dalam perencanaan penambangan. Hasil analisis variogram dapat dilihat pada **Tabel 2.** dan **Gambar 4.**



Gambar 4. [A]Arah Major, [B] Minor dan [C] Vertikal (Downhole)(Micromine 2025)

Tabel 2. hasil fitting variogram model

Arah	Model	Nugget	Partial Sill	Ranges	Azimuth	Plunge
Major	Spherical	0,65	0,235	102	25	4
Minor	Spherical	0.62	0.21	45	115	10
Vertikal	Spherical	0,56	0,240	16.5	289	80

Sebelum menghitung jumlah sumberdaya mineral, kita perlu membuat sebuah model 3D dari area tambang yang disebut "blok model". Model ini membagi area tambang menjadi kubus-kubus kecil yang disebut "blok". Setiap blok mewakili sebagian kecil dari tambang. Mengapa kita perlu membuat blok model

- Untuk mempermudah perhitungan: Dengan membagi area tambang menjadi blok-blok, kita bisa menghitung jumlah mineral dalam setiap blok, lalu menjumlahkannya untuk mendapatkan total keseluruhan.
- Sesuaikan dengan data bor: Ukuran blok dibuat sesuai dengan jarak antara lubang bor, sehingga setiap blok mewakili volume batuan yang telah kita ambil sampelnya.
- Untuk perencanaan penambangan: Model 3D ini akan sangat berguna untuk merencanakan bagaimana cara menambang mineral secara efisien dan aman.

Jadi, dalam penelitian ini, area tambang dibagi menjadi blok-blok dengan ukuran 6 meter x 6 meter x 1 meter. Ukuran ini dipilih karena sesuai dengan jarak rata-rata antara lubang bor. Dengan model 3D ini, kita bisa mendapatkan gambaran yang lebih jelas tentang distribusi mineral di dalam tanah dan memperkirakan berapa banyak mineral yang bisa kita tambang.

Tabel 3. Parameter ukuran blok model

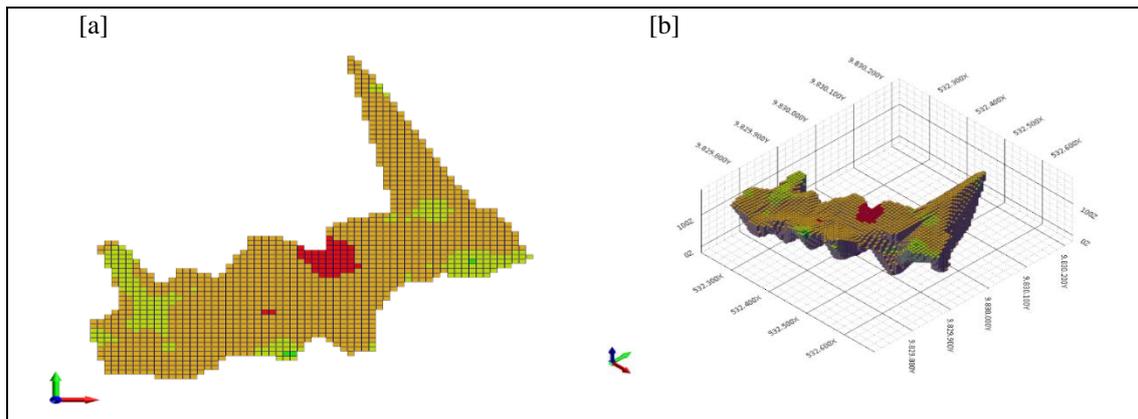
Parameter	Easting	Northing	RL
Minimal	532234.594084084	9829714.89059656	-19.00406421145
Maximal	532670.094084084	9830182.89059656	169.9959357885
Ukuran blok	6.5 meter	6.5 meter	1 meter

### Blok model hasil estimasi kriging

Setelah kita memiliki model 3D dari tambang yang dibagi menjadi blok-blok, langkah selanjutnya adalah menghitung kadar mineral galena pada setiap blok.

- Pengolahan Data: Data kadar mineral dari hasil pengeboran (*assay*) diproses terlebih dahulu dengan cara menggabungkan data dari beberapa meter menjadi satu nilai rata-rata (*komposit*). Hal ini dilakukan untuk mendapatkan data yang lebih representatif untuk setiap blok.
- Estimasi dengan *ordinary kriging*: Metode statistik yang disebut *ordinary kriging* digunakan untuk memperkirakan kadar mineral pada setiap blok yang belum diketahui kadarnya. Metode ini akan mempertimbangkan kadar mineral pada blok-blok di sekitarnya.
- Hasil Akhir: Hasil dari proses estimasi ini adalah sebuah model 3D yang menunjukkan distribusi kadar mineral di seluruh tambang. Model ini dapat dilihat pada gambar 6.

Secara sederhana, setelah kita memiliki peta 3D dari tambang yang dibagi menjadi blok-blok, kita akan mengisi setiap blok dengan perkiraan kadar mineral. Perkiraan ini didapatkan dengan menganalisis data dari lubang bor di sekitar blok tersebut. Hasil akhirnya adalah peta 3D yang menunjukkan di mana konsentrasi mineral paling tinggi dan berapa banyak mineral yang bisa kita dapatkan dari setiap bagian tambang.



Gambar 5. hasil blok model menggunakan *ordinary kriging* (Micromine 2025)

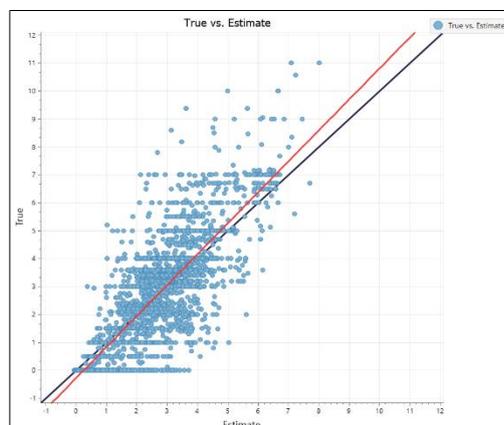
### Validasi data

Untuk memeriksa apakah hasil perhitungan kadar mineral galena yang kita dapatkan dari model komputer (estimasi) sudah akurat, kita membandingkannya dengan data kadar mineral yang sebenarnya dari hasil analisis sampel batuan.

Cara membandingkannya:

- Gambar Sebaran: Kita membuat grafik yang menunjukkan hubungan antara kadar mineral yang dihitung (dari model komputer) dan kadar mineral yang diukur langsung dari sampel batuan. Grafik ini disebut crossvalidasi.
- Hitung Nilai Statistik: Kita menghitung beberapa nilai statistik untuk mengukur seberapa baik hasil perhitungan kita mendekati hasil pengukuran yang sebenarnya. Nilai-nilai ini antara lain:
  - RMSE (*Root Mean Square Error*): Menunjukkan rata-rata selisih antara nilai yang dihitung dan nilai yang diukur. Semakin kecil nilai RMSE, semakin akurat hasil perhitungan kita.
  - Koefisien Korelasi ( $r$ ): Menunjukkan seberapa kuat hubungan antara nilai yang dihitung dan nilai yang diukur. Nilai  $r$  berkisar antara -1 hingga 1, di mana nilai mendekati 1 menunjukkan korelasi positif yang kuat.
  - Koefisien Determinasi ( $R^2$ ): Menunjukkan proporsi variabilitas data yang dapat dijelaskan oleh model. Nilai  $R^2$  yang mendekati 1 menunjukkan bahwa model kita dapat menjelaskan sebagian besar variasi data.

Dari hasil perhitungan, diperoleh nilai RMSE sebesar 0,40, koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,67, dan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,44. dapat dilihat pada **gambar 6**.



Gambar 6. Crossvalidation Metode *Ordinary Kriging* (Micromine 2025)

Berdasarkan hasil perhitungan teknik estimasi ordinary kriging, diperoleh nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) sebesar 0,04, koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,98, dan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,96. Dari data tersebut, dapat disimpulkan bahwa model ordinary kriging yang digunakan memiliki tingkat akurasi yang cukup baik, ditunjukkan oleh nilai RMSE yang relatif rendah. Nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,98 mengindikasikan adanya hubungan yang cukup kuat antara nilai estimasi dengan nilai aktual. Sementara itu, koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,96 menunjukkan bahwa 96% variasi data dapat

dijelaskan oleh model tersebut. Meskipun hasilnya cukup baik, masih terdapat ruang untuk perbaikan guna meningkatkan keakuratan dan kemampuan prediksi model.

**Tabel 4.** Klasifikasi Sumberdaya menggunakan nilai RKSD

Metode	Voulme (m3)	Density (t/m <sup>3</sup> )	Tonnase (t)	Pb (%)	Klasifikasi RKSD
ordinary kriging	1.555.856,25	7,5	11.668.921,88	3,96	<i>Indicated</i>
	7.309,25	7,5	54.819,38	4	<i>Inferred</i>
	2.012.325,25	7,5	15.092.439,38	3,70	<i>Measured</i>

## KESIMPULAN

- Berdasarkan metode estimasi *ordinary kriging*, sumberdaya galena diklasifikasikan ke dalam tiga kategori berdasarkan RKSD, yaitu *measured*, *indicated*, dan *inferred*. Kategori *measured* memiliki volume sebesar 2.012.325 m<sup>3</sup>, dengan densitas 7,5 t/m<sup>3</sup>, menghasilkan tonase sebesar 15.092.439 ton dan kadar galena sebesar 3,70%. Kategori *indicated* memiliki volume 1.555.856,25 m<sup>3</sup>, dengan densitas 7,5 t/m<sup>3</sup>, menghasilkan tonase 11.668.921ton dan kadar Pb 3,96%. Sementara itu, kategori *inferred* memiliki volume 7.309,25 m<sup>3</sup>, dengan densitas 7,5 t/m<sup>3</sup>, menghasilkan tonase 54.819 ton dan kadar Pb 4%.
- Berdasarkan hasil perhitungan teknik estimasi *ordinary kriging*, diperoleh nilai RMSE (Root Mean Square Error) sebesar 0,04, koefisien korelasi (r) sebesar 0,98, dan koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) sebesar 0,96. Dari data tersebut, dapat disimpulkan bahwa model *ordinary kriging* yang digunakan memiliki tingkat akurasi yang cukup baik, ditunjukkan oleh nilai RMSE yang relatif rendah. Nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,98 mengindikasikan adanya hubungan yang cukup kuat antara nilai estimasi dengan nilai aktual, sementara koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) sebesar 0,96 menunjukkan bahwa 96% variasi data dapat dijelaskan oleh model tersebut.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT Kapuas Prima Coal, serta bapak Dr. Ir. Nurkhamim, S.T., M.T. dan Bapak Ir. Aldin Ardian, ST., MT., Ph. D, Kepala Laboratorium Simulasi dan Komputasi Tambang Universitas Veteran Yogyakarta yang telah meminjamkan lisensi *software micromine 2025* dan teman-teman Magister Teknik Pertambangan Universitas Veteran Yogyakarta, yang telah membantu penulisan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Armstrong, M., (1998), Basic Linear Geostatistic. Page 25-46 Springer.
- Asy'ari, M. A., Hidayatullah, R., & Zulfadli, A. (2013). Geologi Dan Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit Menggunakan Metode Ordinary Kriging Di Pt. Aneka Tambang, Tbk. Jurnal INTEKNA: Informasi Teknik dan Niaga, 13(1). <https://core.ac.uk/download/pdf/542938231.pdf>
- Elordi, A., Celaya, E., & Lopez, H. (2024). Development Of Methods Based On Neural Networks In The Estimation Of Mineral Resources. Dyna. <https://doi.org/10.6036/11077>
- Isaaks, E.H. & R.M. Srivastava. (1989). Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York. <https://doi.org/10.1007/BF02065815> \
- Ibe, O.C. (2014). Introduction To Descriptive Statistics. DOI:10.1016/B978-0-12-800852-2.00008-0
- Josselin, J.M., & Maux, B.L. (2017). Descriptive Statistics And Interval Estimation. DOI:10.1007/978-3-319-52827-4\_3
- KCMI, (2011). Kode Pelaporan Hasil Eksplorasi, Sumberdaya Mineral, dan Cadangan Mineral Indonesia, Komite Cadangan Mineral Indonesia (KCMI).
- Laboratorium (2025) Simulasi dan Komputasi Tambang Universitas "Veteran" Nasional Yogyakarta.
- Meinert, L. D. (1992). Skarns and skarn deposits. Geoscience Canada. <https://journals.lib.unb.ca/index.php/GC/article/view/3773/4287>

- Samson, M., & Deutsch, C. (2021). A Hybrid Estimation Technique Using Elliptical Radial Basis Neural Networks and Cokriging. *Mathematical Geosciences*. <https://doi.org/10.1007/S11004-021-09969-3>
- SNI 4726: (2019). Pedoman pelaporan hasil eksplorasi, sumberdaya, dan cadangan mineral, Badan Standarisasi Nasional Indonesia. <https://www.perhapi.or.id/doc/sni-4726.pdf>
- Bargawa, W. S., & Amri, N. A. (2016, February). Mineral resources estimation based on block modeling. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1705, No. 1). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.4940249>
- Departemen tim eksplorasi dan Produksi PT Kapuas Prima Coal.
- Idrus, A., Setijadji, L. D., Tamba, F., & Anggara, F. (2011). Geology and characteristics of Pb-Zn-Cu-Ag skarn deposit at Ruwai, Lamandau Regency, Central Kalimantan. *Journal of Applied Geology*, 3(1).
- Meinert, L. D. (1992). Skarns and skarn deposits. *Geoscience Canada*.