

Artikel Penelitian

## Estimasi Sumberdaya Galena Dengan Metode Geostatistik

### ***Galena Resource Estimation Using Geostatistical Methode***

Epafras Meihaga<sup>1\*</sup>, Emil Salim Kahmi Leka<sup>1</sup>, Eprilia Simamora<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, 60231, Indonesia

<sup>2</sup>Magister Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, UPN "Veteran" Yogyakarta, Yogyakarta, 55283, Indonesia

e-mail: epafraesmeihaga@unesa.ac.id

#### **ABSTRAK**

Estimasi sumberdaya yang akurat merupakan langkah krusial dalam perencanaan tambang, terutama pada endapan skarn yang memiliki karakter heterogen. Penelitian ini melakukan estimasi sumberdaya galena (Pb) pada zona *North Pit Cibujang Project*, Cihaur, Sukabumi dengan menerapkan pendekatan geostatistik. Sebanyak 16 titik bor dan 226 data assay dianalisis untuk membangun model spasial mineralisasi. Tahapan penelitian meliputi penyusunan database, validasi data, pemodelan variogram, serta pembuatan model blok tiga dimensi menggunakan perangkat lunak Micromine 2023. *Ordinary Kriging* dipilih sebagai metode interpolasi karena kemampuannya mengakomodasi struktur kontinuitas spasial dan menghasilkan estimasi dengan varians minimum. Model variogram spherical digunakan untuk menggambarkan hubungan spasial kadar Pb pada tubuh endapan. Estimasi dilakukan pada blok dengan kadar  $\geq 3\%$  Pb sebagai nilai cut-off. Hasil perhitungan menunjukkan total volume ekonomis sebesar 140.369,25 m<sup>3</sup> dengan tonase 448.020 ton dan kadar rata-rata berada pada kisaran 10,85% Pb.. Hasil ini memberikan dasar kuantitatif yang lebih andal bagi perencanaan tambang dan pengambilan keputusan teknis pada *North Pit Cibujang Project*.

Kata Kunci: Galena, Estimasi Sumberdaya, Geostatistik, Ordinary Kriging, Skarn

#### **ABSTRACT**

*Accurate resource estimation plays a critical role in mine planning, particularly for skarn deposits characterized by strong heterogeneity. This study estimates the galena (Pb) resources within the North Pit zone of the Cibujang Project, Cihaur, Sukabumi, using a geostatistical approach. Sixteen drill holes and 226 assay data were analyzed to construct the spatial model of mineralization. The workflow included database preparation, data validation, variogram modeling, and construction of a three-dimensional block model using Micromine 2023 software. Ordinary Kriging was selected as the interpolation method due to its ability to account for spatial continuity and provide minimum-variance estimates. A spherical variogram model was applied to represent the spatial structure of Pb distribution within the skarn deposit. Resource estimation was performed on blocks with Pb grades  $\geq 3\%$  as the cut-off grade. The results indicate an economic ore volume of 140,369.25 m<sup>3</sup> with an estimated tonnage of 448,020 tonnes and an average Pb grade 10,85%. These outcomes provide a reliable quantitative basis for technical decision-making and mine planning in the North Pit of the Cibujang Project.*

Keywords: Galena, Resource Estimation, Geostatistics, Ordinary Kriging, Skarn

---

#### **I. PENDAHULUAN**

Endapan skarn logam dasar dan logam mulia merupakan salah satu tipe endapan hidrotermal yang penting dalam konteks eksplorasi pertambangan mineral, khususnya logam-basis seperti timbal (Pb) dan seng (Zn). Menurut model deskriptif dari USGS, skarn Pb-Zn terbentuk saat intrusi magmatik

berasosiasi dengan batuan karbonat (misalnya batugamping atau batulanau karbonatik) sehingga terjadi alterasi *calc-silikat* dan pengendapan mineral sulfida seperti galena (PbS) dan sfalerit (ZnS) (Cox, 1986).

Mineral galena dalam endapan skarn sering menjadi target ekonomis karena kandungan timbal yang cukup tinggi, dan dalam banyak kasus juga mengandung

perak sebagai produk sampingan. Sebagai contoh, dalam endapan skarn Pb-Zn-Cu-Ag di Ruwai, Kalimantan Tengah, mineralisasi termasuk galena dan sfalerit dengan cadangan yang dilaporkan  $\pm 2,3$  juta ton dengan kadar rata-rata Pb  $\sim 6,44\%$  dan Zn  $\sim 14,98\%$  (Idrus, 2015).

Dalam konteks Indonesia, tipe endapan skarn logam dasar juga telah dikaji di beberapa daerah, misalnya studi mineralisasi di deretan Pegunungan Barisan (Sumatera) yang menyebutkan endapan skarn galena-dominan di Latong, Dairi, Tuboh. Dengan adanya potensi skarn galena tersebut, penting bagi kegiatan eksplorasi untuk melakukan estimasi sumberdaya yang andal guna mendukung keputusan teknis dan ekonomi (perencanaan tambang, desain pit, perkiraan biaya, dll). Estimasi sumberdaya yang akurat memerlukan pendekatan yang mempertimbangkan karakteristik spasial, heterogenitas, dan ketidakpastian dari data pengeboran dan analisis bijih.

Metode geostatistik, khususnya teknik seperti *Ordinary Kriging* (OK) dan variografi, menawarkan kerangka kuantitatif yang mampu memodelkan hubungan spasial antara data eksplorasi dan memprediksi tonase serta kadar bijih di daerah yang belum dibor. Beberapa literatur menunjukkan bahwa metode geostatistik lebih unggul dibandingkan metode interpolasi sederhana karena dapat menghitung varians estimasi dan memperhitungkan keterkaitan spasial antar data (Suwandi, 2024). Contohnya, dalam satu studi skarn logam dasar di Blok A Ruwai (Kalimantan Tengah), metode OK menghasilkan estimasi tonase dan kadar Pb-Zn dengan koefisien determinasi yang cukup baik ( $r^2 = 0.7$ ) dalam validasi silang. Di sisi lain, terdapat tantangan signifikan dalam penerapan metode geostatistik: data eksplorasi yang tidak memadai (jarak bor terlalu renggang, korelasi spasial rendah), heterogenitas bijih tinggi, perubahan litologi yang cepat pada endapan skarn, serta ketidakpastian dalam blok model dan asumsi variogram. Sebuah kajian terbaru menyebutkan bahwa ketidakpastian dalam estimasi sumberdaya harus diperhitungkan secara eksplisit agar tidak menimbulkan *over-* atau *under-estimation* yang dapat berdampak pada risiko teknis dan investasi (Wackernagel, 2003).

Sehubungan dengan itu, pada proyek studi ini — yakni di zona *North Pit* dari Cibujang Project terdapat tujuan untuk mengaplikasikan metode geostatistik dalam estimasi sumberdaya galena (Pb) pada endapan skarn. Fokus pada galena sangat relevan karena timbal merupakan logam yang strategis dalam banyak aplikasi industri, dan endapan skarn yang berasosiasi menghasilkan potensi yang menarik secara ekonomi. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan estimasi tonase dan kadar yang lebih andal, pemahaman tentang distribusi galena dalam tubuh endapan, sekaligus mengidentifikasi tingkat ketidakpastian estimasi guna memperkuat dasar

pengambilan keputusan tambang di *North Pit* Cibujang Project Cihaur, Sukabumi.

## II. METODE

### 2.1. Teori Estimasi Sumberdaya Mineral

Estimasi sumberdaya mineral merupakan proses kuantifikasi dari tonase dan kadar suatu endapan bijih berdasarkan data hasil eksplorasi seperti data bor, singkapan, dan pengujian laboratorium. Tujuan utamanya adalah untuk memperoleh perkiraan seakurat mungkin terhadap jumlah dan distribusi logam ekonomis yang dapat ditambang secara potensial (Sinclair & Blackwell, 2002).

Proses estimasi meliputi tahapan:

1. Pengumpulan data (bor, geokimia, geofisika, dan geologi).
2. Analisis statistik dan geostatistik (uji normalitas, autokorelasi spasial, variogram).
3. Interpolasi atau estimasi nilai di titik yang tidak terukur.
4. Validasi dan klasifikasi hasil estimasi.

Pada kasus endapan skarn galena, sebaran kadar Pb biasanya bersifat heterogen karena kontrol mineralisasi dikendalikan oleh kontak intrusi-batuhan karbonat dan zona alterasi silikat. Oleh karena itu, pendekatan geostatistik dipilih karena mampu mengakomodasi variasi spasial kadar bijih yang kompleks.

### 2.2. Geostatistik

Geostatistik adalah cabang ilmu statistik yang mempelajari fenomena yang memiliki dependensi spasial (*spatial dependence*). Salah satu konsep dasarnya adalah fungsi variogram, yang menggambarkan tingkat kemiripan (autokorelasi) antara nilai-nilai sampel pada jarak tertentu.

#### 2.2.1. Variogram

Variogram didefinisikan sebagai (Isaaks dan Srivastava, 1989) :

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

dengan:

- $\gamma(h)$ = semivarian untuk lag (jarak)  $h$ ,
- $N(h)$ = jumlah pasangan titik yang terpisah sejauh  $h$ ,
- $Z(x_i)$ = nilai kadar pada titik  $x_i$ ,
- $Z(x_i + h)$ = nilai kadar pada titik lain sejauh  $h$ .

Kurva variogram kemudian dimodelkan menggunakan fungsi teoritis (misalnya *spherical*, *exponential*, atau *gaussian* model) untuk mendapatkan parameter:

- *Nugget* ( $C_0$ ): varians pada jarak sangat kecil (representasi *error* dan variasi mikro),
- *Sill* ( $C + C_0$ ): nilai maksimum semivarian,

- *Range* (a): jarak di mana autokorelasi spasial hilang.

### 2.2.2. Ordinary Kriging (OK)

Metode *Ordinary Kriging* adalah teknik interpolasi linier berbobot optimal berdasarkan model variogram. Prinsipnya adalah memperkirakan nilai di titik tak terukur ( $Z^*(x_0)$ ) sebagai kombinasi linier dari data terukur di sekitarnya (Isaaks dan Srivastava, 1989):

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

dengan kendala:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

Bobot  $\lambda_i$  ditentukan dengan menyelesaikan sistem persamaan Kriging system (Isaaks dan Srivastava, 1989) :

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(x_i - x_j) + \mu = \gamma(x_i - x_0), i = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

di mana  $\mu$  adalah Lagrange multiplier. Hasil OK memberikan nilai estimasi kadar dan varian estimasi ( $\sigma^2_K$ ), yang menggambarkan tingkat ketidakpastian estimasi di tiap blok.

### 2.2.3. Klasifikasi Sumberdaya dan Cadangan

Untuk hasil estimasi yang dapat diterima secara internasional, klasifikasi sumberdaya mineral harus mengacu pada kode pelaporan seperti:

Tabel 1. Klasifikasi Sumberdaya

Sistem Klasifikasi	Kategori	Deskripsi
KCMI 2017 / JORC 2012	<i>Inferred Resource</i>	Estimasi berdasarkan data terbatas dan keyakinan geologi rendah.
	<i>Indicated Resource</i>	Diperoleh dari data cukup rapat dengan interpretasi geologi yang masuk akal dan korelasi spasial baik.
	<i>Measured Resource</i>	Didasarkan pada data yang sangat rapat, kontrol geologi sangat baik, dan ketidakpastian rendah.
	<i>Probable Reserve</i>	Bagian dari <i>Indicated Resource</i> yang telah melalui studi kelayakan teknis dan ekonomi.

<i>Proved Reserve</i>	Bagian dari <i>Measured Resource</i> dengan keyakinan tertinggi secara geologi dan ekonomi.
-----------------------	---

Klasifikasi sumberdaya dengan metode OK menggunakan nilai berdasarkan *Relative Kriging Standard Deviation* (RKSD) (Marwanza, I. 2023).

$$RKSD = 1.96 \times \frac{\sigma e}{z^*}$$

Keterangan :

$\sigma e$  = *Kriging Standard Deviation*

$z^*$  = *Kriging Value*

Klasifikasi sumberdaya berdasarkan RKSD sebagai berikut :

1. Terukur (*measured*), suatu blok mempunyai nilai  $\leq 0,3$ .
2. Terunjuk (*indicated*), suatu blok mempunyai nilai  $\leq 0,3$  sampai  $< 0,5$ .
3. Tereka (*inferred*), suatu blok mempunyai nilai  $\geq 0,5$ .

### 2.2.4. Perhitungan Sumberdaya (Tonase dan Kadar Rata-Rata)

Setelah blok-blok hasil *kriging* diperoleh, estimasi sumberdaya total dihitung dengan (Isaaks dan Srivastava, 1989) :

$$T = \sum_{i=1}^n V_i \times D_i$$

$$\bar{G} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i \times V_i \times D_i}{\sum_{i=1}^n V_i \times D_i}$$

dengan:

- $T$  = tonase total (ton),
- $V_i$  = volume blok ke- $i$  ( $m^3$ ),
- $D_i$  = densitas batuan (ton/ $m^3$ ),
- $G_i$  = kadar logam (Pb %) blok ke- $i$ ,
- $\bar{G}$  = kadar rata-rata sumberdaya (%Pb).

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Data Titik Bor dan Kadar

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari hasil kegiatan eksplorasi yang telah dilakukan pada area tambang Cibujang *project*. Kegiatan eksplorasi tersebut mencakup pemboran eksplorasi pada blok *north pit*, yang bertujuan untuk mengetahui sebaran dan kadar mineralisasi galena (Pb) pada endapan skarn.

Data utama yang digunakan berupa data titik bor (*drill hole* data) dan data kadar hasil analisis laboratorium. Total data pemboran yang digunakan sebanyak 16 titik bor, dengan jumlah data *assay* mencapai 226 sampel. Setiap data pemboran mencakup informasi mengenai kode lubang bor (*hole ID*), posisi koordinat (*easting*,

*northing, elevation*), kedalaman (*depth*), sudut kemiringan (*dip*), serta kadar logam Pb (%).

Data hasil pemboran tersebut diperoleh dari pengujian laboratorium terhadap sampel inti bor (*core sample*) yang telah dipreparasi dan dianalisis menggunakan metode kimia standar industri. Seluruh data kemudian dikompilasi dalam bentuk tabel spreadsheet untuk memastikan keseragaman format dan konsistensi data. Tahap selanjutnya dilakukan pengolahan data menggunakan perangkat lunak *Micromine 2023*, yang berfungsi untuk melakukan analisis spasial, pembuatan model blok (*block model*), serta estimasi sumberdaya galena menggunakan metode geostatistik (*Ordinary Kriging*).

Proses pengolahan di *Micromine* meliputi input data koordinat dan kadar, pemeriksaan kualitas data (*data validation*), analisis variogram untuk mengetahui hubungan spasial antar titik data, hingga estimasi nilai kadar dan tonase sumberdaya pada setiap blok. Hasil akhir berupa model sumberdaya galena tiga dimensi yang mencerminkan distribusi kadar dan volume mineralisasi pada endapan skarn di *North Pit Cibujang Project*.

### 3.2. Estimasi Sumberdaya

Adapun tahapan yang dilakukan dalam proses estimasi sumberdaya galena pada endapan skarn di area *North Pit Cibujang Project* meliputi beberapa langkah utama sebagai berikut:

#### a) Pembuatan Database

Pembuatan *database* merupakan tahap awal dalam proses estimasi sumberdaya yang bertujuan untuk menyusun sistem penyimpanan dan pengelolaan data eksplorasi, khususnya data hasil pemboran (*drilling data*). Tahapan ini memudahkan dalam proses *input, updating, validasi*, hingga *output* data sehingga integritas dan konsistensi data dapat terjaga.

*Database* yang telah tersusun menjadi acuan utama untuk memastikan ketepatan dan keterpaduan informasi eksplorasi. Validasi dilakukan terhadap pengelompokan dan kebenaran data agar penyebaran titik bor (*drillhole*) dapat merepresentasikan kondisi geologi yang sebenarnya.

Dalam penelitian ini, sistem database dirancang berdasarkan beberapa parameter utama, yaitu *hole ID* (identitas lubang bor), koordinat titik bor (*easting, northing, dan elevation*), kedalaman lubang bor (*depth from – depth to*), data litologi hasil logging yang menggambarkan karakter endapan skarn (misalnya zona mineralisasi, batuan inang, dan batas kontak metasomatik), serta kadar unsur Pb (galena) hasil analisis laboratorium.

Seluruh data tersebut dikompilasi ke dalam format *spreadsheet* dan selanjutnya diimporkan ke dalam perangkat lunak *Micromine* untuk proses pengolahan data geologi tiga dimensi. Hasil pengolahan ini menampilkan sebaran spasial titik bor dalam bentuk

model 3D, yang menggambarkan distribusi kadar Pb dan karakteristik geometri endapan galena.

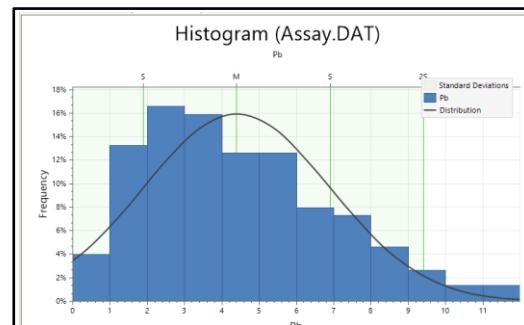
Visualisasi ini kemudian digunakan untuk mengidentifikasi pola penyebaran mineralisasi, zona kadar tinggi, serta batas litologi yang relevan untuk tahap estimasi sumberdaya berikutnya.

#### b) Analisis Statistik

Hasil analisis statistik univariat kadar Pb dari data *assay* ditunjukkan pada tabel di bawah ini :

Tabel 2. Analisis Statistik

Parameter	Pb
Number of Values	226
Minimum Value	0,50
Maximum Value	11,92
Mean	4,40
Median	4,02
Standard Deviation	2,5
Variance	6,26
Coefficient of Variation	0,569



Gambar 1. Histogram Analisis Statistik

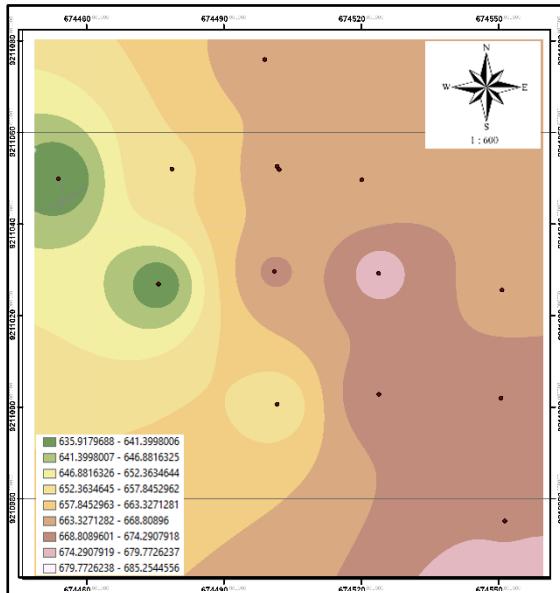
#### c) Pembuatan Model Blok (*Block Model*)

Model blok merupakan representasi spasial tiga dimensi dari endapan galena yang disusun berdasarkan data geologi dan kadar hasil pemboran. Tahapan ini bertujuan untuk mengubah data titik menjadi model volumetrik yang dapat digunakan dalam estimasi sumberdaya dengan metode geostatistik.

Model blok dalam *Micromine* dibangun dengan mendefinisikan dimensi blok (panjang, lebar, dan tinggi) sesuai dengan jarak antar titik bor dan arah struktur geologi utama. Data dari database geologi kemudian diproyeksikan ke dalam model blok sehingga setiap blok mewakili nilai kadar rata-rata berdasarkan metode interpolasi *Ordinary Kriging*. Ukuran blok model dalam penelitian ini adalah 7,5m x 7,5m x 1m diperoleh dari perhitungan  $\frac{1}{4}$  (satu per empat) dari jarak antar sampel 30m (Hustrulid dan Kuchta, 1995).

Hasil dari pembuatan model blok berupa distribusi kadar Pb dalam bentuk tiga dimensi yang menunjukkan variasi kadar pada setiap zona mineralisasi. Model ini juga membantu dalam proses klasifikasi sumberdaya berdasarkan tingkat kepercayaan geologi dan jarak antar titik bor.

Dengan demikian, hasil visualisasi model blok tidak hanya memberikan gambaran sebaran kadar bijih galena, tetapi juga menjadi dasar untuk perhitungan tonase dan kadar rata-rata sumberdaya yang lebih akurat sesuai dengan standar pelaporan geologi yang berlaku (misalnya SNI 13-4726-1998 atau KCMI Code 2017).



Gambar 2. Sebaran Titik Bor

### 3.3. Estimasi Sumberdaya dengan Metode *Ordinary Kriging*

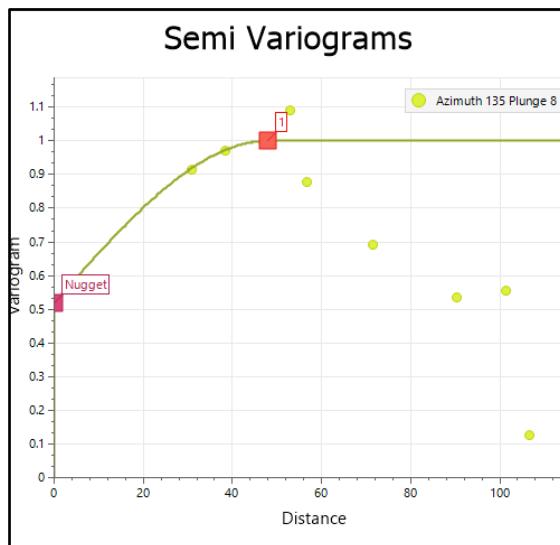
Proses estimasi sumberdaya galena pada endapan skarn di North Pit Cibujang Project dilakukan menggunakan metode *Ordinary Kriging* (OK) melalui perangkat lunak *Micromine*. Metode ini merupakan pendekatan geostatistik yang banyak digunakan dalam estimasi sumberdaya mineral karena memperhitungkan hubungan spasial antar data serta menghasilkan estimasi yang tidak bias dengan varian minimum.

Prinsip dasar *Ordinary Kriging* adalah bahwa kadar suatu titik yang tidak diketahui dapat diperkirakan dari kadar titik-titik sampel di sekitarnya dengan mempertimbangkan struktur geostatistik yang digambarkan oleh variogram. Variogram digunakan untuk menganalisis korelasi spasial kadar terhadap jarak dan arah, sehingga dapat menentukan tingkat homogenitas atau heterogenitas distribusi mineral dalam tubuh endapan.

Dalam penelitian ini, model variogram yang digunakan adalah *spherical* variogram model, yang dianggap paling sesuai dengan karakteristik distribusi kadar galena di zona skarn. Parameter variogram yang diperoleh—meliputi nilai *nugget*, *sill*, dan *range*—diperoleh dari analisis *experimental variogram* berdasarkan data hasil pemboran. Berdasarkan hasil *fitting* variogram arah yang digunakan azimuth  $135^\circ$ .

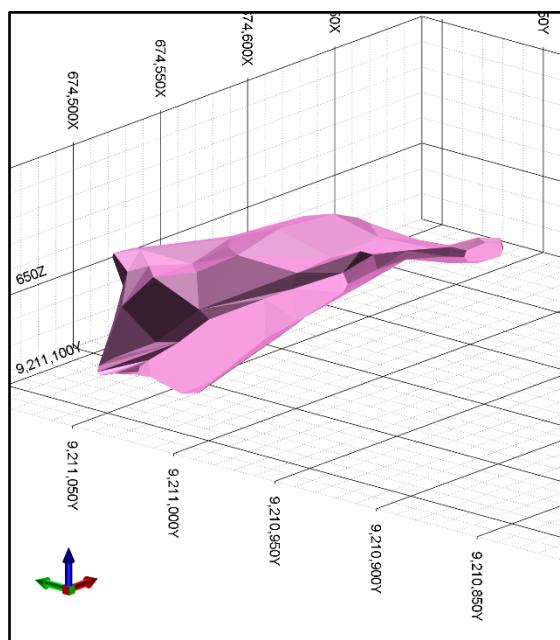
Selanjutnya, nilai *Cut-Off Grade* (COG) yang diterapkan untuk membedakan zona ekonomis dan non-ekonomis ditetapkan sebesar 3% Pb. Nilai ini

ditetapkan berdasarkan kajian kelayakan teknis dan ekonomi serta mempertimbangkan batas minimum kadar galena yang dapat ditambang secara ekonomis pada kondisi geologi setempat.

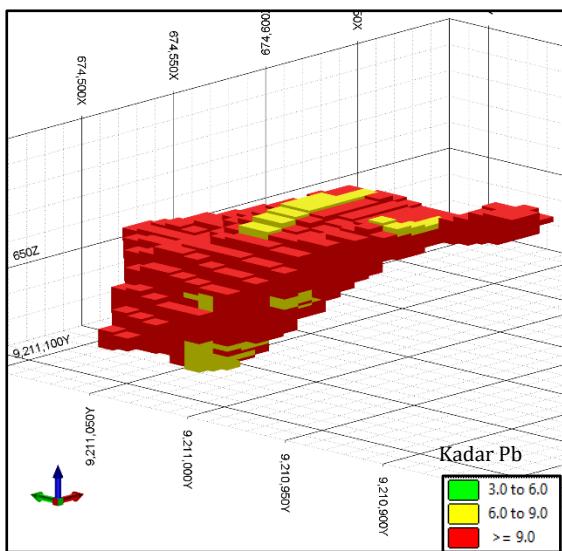


Gambar 3. Variogram Spherical

Model blok hasil estimasi divisualisasikan dalam format tiga dimensi menggunakan *Micromine*, yang menampilkan distribusi spasial kadar Pb di seluruh area penelitian. Visualisasi menunjukkan adanya variasi kadar yang mengikuti pola mineralisasi skarn, di mana zona dengan kadar di atas 3% Pb mengindikasikan potensi sumberdaya yang signifikan, sedangkan zona di bawah batas COG digolongkan sebagai material non-ekonomis.



Gambar 4. Model bijih galena

Gambar 5. Hasil blok model *ordinary kriging*

### 3.4. Hasil Estimasi Sumberdaya Metode *Ordinary Kriging*

Perhitungan volume pada penelitian ini dilakukan berdasarkan hasil pemodelan blok tiga dimensi (*block model*) yang diperoleh dari hasil estimasi kadar menggunakan metode *Ordinary Kriging* (OK) di perangkat lunak *Micromine*. Setiap blok pada model mewakili volume tertentu dari tubuh endapan galena yang telah terdefinisi oleh batas geologi dan nilai *Cut-Off Grade* (COG) sebesar 3% Pb.

Tahapan perhitungan dimulai dengan menghitung volume setiap blok hasil estimasi yang termasuk ke dalam zona ekonomis, yaitu blok dengan kadar Pb  $\geq 3\%$ . Total volume endapan galena diperoleh dengan menjumlahkan seluruh volume blok yang memenuhi kriteria tersebut.

Selanjutnya, untuk memperoleh tonase sumberdaya, volume total dikalikan dengan nilai densitas batuan ( $\rho$ ) dari endapan skarn yang mengandung galena. Nilai densitas ini diperoleh berdasarkan hasil pengukuran laboratorium terhadap contoh batuan representatif dari zona mineralisasi.

Hasil dari perhitungan ini menghasilkan estimasi total sumberdaya galena dalam satuan ton, yang kemudian diklasifikasikan berdasarkan tingkat kepercayaan geologi dan jarak antar titik bor. Adapun hasil estimasi sumberdaya galena yang diperoleh melalui metode Ordinary Kriging dapat dilihat pada Tabel 3, yang menampilkan nilai volume, tonase, serta kadar rata-rata Pb untuk setiap zona mineralisasi pada endapan skarn di North Pit Cibujang Project. Kategori dibagi menjadi 3, yaitu *low grade* 3 - 6 %, *medium grade* 6 – 9%, dan *high grade* >9%.

Adapun estimasi metode Ordinary Kriging (OK) dalam klasifikasi sumberdaya menggunakan metode RKSD (Relative Kriging Standard Deviation)  $\geq 0,5$  *inferred*,  $0,3 \leq \text{RKSD} < 0,5$  *indicated*, dan  $\leq 0,3$  *measured*.

Tabel 3. Hasil Estimasi Sumberdaya

Grade	Volume (m <sup>3</sup> )	Density (t/m <sup>3</sup> )	Tonnes (t)	Pb (%)
<b>3-6</b>	3.625,5	3,2	10.440	5,54
<b>6-9</b>	30.825	3,2	98.640	6,89
<b>&gt;9</b>	105.918,75	3,2	338.940	12,17
<b>Total</b>	140.369,25	3,2	448.020	10,85

Tabel 4. Klasifikasi Sumberdaya

Volume (m <sup>3</sup> )	Density (t/m <sup>3</sup> )	Tonnes (t)	Pb (%)	Klasifikasi RKSD
<b>1.800</b>		5.760	2,31	Inferred
<b>30.543,75</b>	3,2	97.740	3,38	Indicated
<b>108.025,5</b>		345.681,6	4,90	Measured

## IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa metode Ordinary Kriging efektif digunakan dalam estimasi sumberdaya galena pada endapan skarn di zona *North Pit Cibujang Project*. Pada cut-off grade 3% Pb, diperoleh total volume sebesar 140.369,25 m<sup>3</sup>, tonase 448.020 ton, dan kadar rata-rata tertimbang 10,85% Pb. Klasifikasi sumberdaya berdasarkan nilai RKSD menunjukkan variasi tingkat kepercayaan dari kategori *inferred* sebesar 5.760 ton, *indicated* sebesar 97.740 ton dan *measured* sebesar 345.681,6 ton. Hasil ini memberikan dasar teknis yang andal untuk mendukung perencanaan tambang dan pengambilan keputusan di area penelitian.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada PT. Generasi Muda Bersatu dalam proses pengumpulan data dan analisis; dan Universitas Surabaya yang telah mendukung penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Cox, D. P. (1986). *Descriptive model of Zn-Pb skarn deposits, model 18c*. United States Geological Survey Bulletin 1693. <https://pubs.usgs.gov/bul/b1693/html/bull4u7i.htm>
- Gu, A. (2023). Geostatistical approaches for resource estimation in mining and exploration. *Journal of Environmental Risk Assessment and Remediation*, 7(3), 182. <https://doi.org/10.35841/aaerar-7.3.182>
- Hustrulid, W., & Kuchta, M. (1995). Open Pit Mine Planning & Design Volume 1 Fundamentals 3<sup>rd</sup> Edition. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Idrus, A., Setijadji, L. D., & Tamba, F. (2015). Geology and characteristics of Pb-Zn-Cu-Ag skarn deposit at Ruwai, Lamandau Regency, Central Kalimantan. *Indonesian Journal on*

- Geoscience*, 6(4), 191–201.  
<https://doi.org/10.17014/ijog.v6i4.126>
- Isaaks, E.H., & Srivastava, R. M. (1989). *Applied Geostatistics*. Oxford University Press. New York.
- KCMI. (2017). *Kode Komite Cadangan Mineral Indonesia*. Komite Cadangan Mineral Indonesia.  
<https://kcmi.or.id>
- Marín Ballón, E. M., Jiménez-Pacheco, H., Rondón, M. O. M., Linares Flores Castro, A. E., & Urday Luna, F. E. (2019). Review of Matheron's Kriging method and its application at the estimation of mineral deposits. *Véritas*, 20(1), 59–63.  
<https://doi.org/10.35286/veritas.v20i1.227>
- Marwanza, I. (2023). Pendekatan Geologi dan Geostatistik dalam Klasifikasi dan Estimasi Endapan Batubara. *Diva Pustaka*. Purbalingga, Jawa Tengah.
- Silva, R. A. (2020). A comparative analysis between geostatistics and machine learning methods for mineral resource estimation. *International Journal of Geoscience, Engineering and Technology*, 2(1), 14–22.  
<https://doi.org/10.70597/ijget.v2i1.380>
- Sinclair, A. J., & Blackwell, G. H. (2002). *Applied mineral inventory estimation*. Cambridge University Press.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511546152>
- Suwandi, T., & Nurkhamim, N. (2024). Analysis of geostatistical methods for mineral resource estimation: A literature review. *Mining Technology Journal*, 2(2), 1–10.\*  
<https://doi.org/10.31315/mtj.v2i2.14008>
- Wackernagel, H. (2003). *Multivariate geostatistics: An introduction with applications* (3rd ed.). Springer-Verlag.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-05294-5>
- Wahid, M. A., & Winarno, E. (2024). Overview methods calculation resource and reserve estimation. *Journal of Engineering, Mining and Technology*, 4(2), 265–269.\*  
<https://ejurnal.itats.ac.id/jemt/article/download/5344/4029>