

## **Analisis Spasial *Ordinary Kriging* Persebaran Emas Berdasarkan Data Geokimia Permukaan Awak Mas, Sulawesi Selatan**

<sup>1</sup>Ani Amalia, <sup>2</sup>Piter Lepong, <sup>3</sup>Adrianus Inu Natalisanto

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

<sup>2</sup>Laboratorium Geofisika, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

<sup>3</sup>Laboratorium Fisika Dasar, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

Email : [amaliaani0113@gmail.com](mailto:amaliaani0113@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Nilai kadar emas dapat diketahui dari hasil pengujian laboratorium dan atau dengan dilakukannya prediksi dengan teknik interpolasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk memilih model semivariogram terbaik diantara semivariogram *spherical*, eksponensial, dan Gaussian dan menafsirkan pola penyebaran mineral emas menggunakan metode geostatistik *ordinary kriging* berdasarkan data *sampling channel* mineralisasi emas permukaan. Langkah pertama dalam pengolahan data adalah membuat semivariogram menggunakan *software* SGEMS dengan nilai *nugget*, *sill*, dan *range* masing-masing sebesar 0,01, 0,1, dan 600. Kemudian diinterpolasi menggunakan ketiga model untuk mendapatkan model terbaik berdasarkan nilai RMSE terkecil. Model yang didapatkan adalah model Gaussian. Hasil dari penelitian ini adalah pola penyebaran mineral emas permukaan banyak ditemukan pada daerah barat laut (NW) dan barat daya (SW) yang dipengaruhi oleh struktur geologi.

**Kata Kunci:** Mineral Emas, Model Gaussian, *Ordinary Kriging*

### **ABSTRACT**

The grade of gold result using the assay analysis in laboratory limited only on the sampling points. Kriging interpolation is the most recommended methods for interpolation of grade estimation within the certain or entire exploration area. The purpose of this study is using the channeling and surface data sampling. Experimental variogram is calculated then tested with semivariogram model in order to determine the best model among the Spherical, Exponential, and Gaussian. Interpretation and distribution pattern of gold minerals is processing using ordinary kriging geostatistical method. Data processing using SGEMS software result the nugget, sill, and range which are 0.01, 0.1, and 600 respectively. The best selected model was Gaussian, attained with the smallest error using RMSE calculation. The result showing that surface mineral distribution trend along North-West (NW) which correlated to the main fault of geological structure in the Awak Mas study area.

**Keywords:** Gold Mineral, Gaussian Model, Ordinary Kriging

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki sumberdaya alam melimpah, diantaranya hasil pertambangan mineral emas yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Untuk mendapatkan informasi sumberdaya alam seperti mineral emas di bawah permukaan tanah diperlukan beberapa tahapan eksplorasi seperti kondisi geologi, geofisika, geokimia, dan pemetaan *rock* sampling di permukaan tanah untuk kemudian dilakukan tahapan pengeboran. Tahapan eksplorasi perlu dilakukan untuk mengevaluasi kegiatan apakah sumberdaya emas tersebut layak atau tidak secara ekonomis untuk ditambang [1].

Awak Mas merupakan salah satu pertambangan mineral emas yang dalam 11 tahun pertama dapat menghasilkan 100.000 ons emas per tahun dan diperkirakan memiliki cadangan 1,1 juta ons emas dan 2 juta ons sumber daya emas di Sulawesi Selatan.

Pada tahapan eksplorasi, penyebaran mineralisasi emas dapat diinterpolasi menggunakan ilmu geostatistik ilmu ini merupakan kombinasi ilmu statistika yang mempertimbangkan mineral emas permukaan sebagai hasil variabel dalam struktur spasial. Dalam metode geostatistik terdapat beberapa metode salah satunya metode *ordinary kriging*. Pemilihan metode *ordinary kriging* ini dikarenakan penggunaan semivariogram atau teknik interpolasi untuk memodelkan struktur korelasi spasial sangat sederhana dan mudah dipahami serta penaksirannya akurat apabila

dilakukan pada nilai koefisien variansi yang kecil [1].

Penelitian sebelumnya tentang penyebaran mineral emas menggunakan metode *Ordinary kriging* [2] menghasilkan penyebaran mineralisasi emas dipengaruhi oleh struktur geologi yaitu patahan dan lipatan.

Tujuan penelitian ini untuk menafsirkan pola penyebaran mineralisasi emas permukaan menggunakan metode geostatistik *ordinary kriging* berdasarkan data sampling mineral emas permukaan berdasarkan model semivariogram terbaik di antara model *spherical*, model eksponensial dan model Gaussian.

## 2. TEORI

Endapan epitermal didefinisikan sebagai salah satu endapan dari sistem hidrotermal yang terbentuk pada kedalaman dangkal yang umumnya pada busur vulkanik yang dekat dengan permukaan. Dua tipe endapan epitermal yaitu sulfida rendah (*low sulphidation*) dan sulfida tinggi (*high sulphidation*) yang membedakan terutama pada sifat kimia fluida, alterasi dan mineralogi seperti gambar 1.

a. Endapan Epitermal Sulfida Rendah (*Epithermal Low Sulfidation*). Endapan ini dicirikan oleh larutan hidrotermal yang bersifat netral dan mengisi celah-celah batuan. Endapan ini terbentuk jauh dari tubuh intrusi berasosiasi dengan lingkungan vulkanik, dan terbentuk melalui larutan sisa magma yang berpindah jauh dari sumbernya kemudian bercampur dengan air

meteorik yang mengandung CO<sub>2</sub>, NaCl, dan H<sub>2</sub>S di dekat permukaan dan membentuk jebakan tipe sulfidasi rendah. Sistem ini terbentuk pada tektonik lempeng subduksi, kolisi dan pemekaran [3].

- b. Endapan Epitermal Sulfida Tinggi (*Epithermal High Sulfidation*). Endapan ini dicirikan dengan batuan induk batuan vulkanik bersifat asam hingga intermedit dengan kontrol struktur berupa sesar secara regional atau intrusi subvulkanik.

Endapan ini terbentuk oleh sistem dari fluida hidrotermal yang berasal dari intrusi magmatik yang cukup dalam, fluida ini bergerak secara vertikal dan horizontal menembus rekahan-rekahan pada batuan dengan suhu yang relatif tinggi (200-300)°C, fluida didominasi oleh fluida magmatik yang mengandung HCl, SO<sub>2</sub>, dan CO<sub>2</sub> [3].

Awak Mas merupakan salah satu pertambangan emas di Sulawesi Selatan pada peta struktur Awak Mas (gambar 2) menunjukkan bahwa terdapat tiga sesar utama yang didominasi oleh sesar normal pada arah NNE (Utara Timur Laut)-SSW (Selatan Bart Daya) yaitu sesar Chinese, Sesar Garic, dan sesar Discovery. Pembentukan emas dibagi menjadi lima bagian yaitu mapacing, ogan, lamatik, tanjung dan rante. Sesar tersebut membentuk struktur pembatas yang memisahkan bagian tersebut [4].

Analisis geostatistika adalah proses pencocok antara semivariogram eksperimental dengan semivariogram teoritis ini disebut analisis struktural (*structural*

*analysis*). Semivariogram eksperimental adalah semivariogram yang diperoleh dari pengamatan atau data hasil pengukuran. Dapat dirumuskan sebagai berikut : [5]

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

$\gamma(h)$  : Nilai semivariogram dengan jarak h

$Z(x_i)$  : Nilai pengamatan dititik  $x_i$

$Z(x_i + h)$  : Nilai pengamatan dititik  $x_i + h$

$N(h)$  : Banyaknya pasangan titik yang mempunyai jarak h

Beberapa parameter yang diperlukan untuk mendeskripsikan semivariogram adalah: [6]

1. Efek *nugget* ( $C_0$ )

Efek *nugget* merupakan pendekatan nilai semivariogram pada jarak nol.

2. *Sill* ( $C$ )

*Sill* adalah nilai semivariogram pada saat tidak terjadi peningkatan yang signifikan.

3. *Range* ( $a$ )

*Range* merupakan jarak h dimana nilai mencapai *sill* atau jarak maksimum dimana masih terdapat korelasi antar data. Hubungan dari parameter-parameter semivariogram tersebut diberikan pada gambar 3.

Beberapa model semivariogram teoritis yang diketahui dan biasanya digunakan sebagai pembanding dari semivariogram eksperimental adalah: [6].

- a. Model *Spherical*

Bentuk model *spherical* dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\gamma(h) = \begin{cases} c \left[ \frac{3|h|}{2a} - \frac{1}{2} \left( \frac{|h|^3}{a^3} \right) \right], & |h| < a \\ c, & |h| \geq a \end{cases} \quad (2)$$

$\gamma(h)$  : Nilai semivariogram dengan jarak  $h$

$C$  : Nilai Sill

$a$  : Nilai Range

$h$  : Jarak pada titik  $h$

b. Model Eksponensial

Bentuk model eksponensial dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\gamma(h) = c \left[ 1 - \exp \left( -\frac{h}{a} \right) \right] \quad (3)$$

$\gamma(h)$  : Nilai semivariogram dengan jarak  $h$

$C$  : Nilai Sill

$a$  : Nilai Range

$h$  : Jarak pada titik  $h$

c. Model Gaussian

Bentuk model Gaussian dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\gamma(h) = c \left[ 1 - \exp \left( -\frac{h^2}{a^2} \right) \right] \quad (4)$$

$\gamma(h)$  : Nilai semivariogram dengan jarak  $h$

$C$  : Nilai Sill

$a$  : Nilai Range

$h$  : Jarak pada titik  $h$

Dalam penelitian ini metode *kriging* digunakan untuk melihat pola

penyebaran mineralisasi emas permukaan dengan simbol  $\hat{Z}(x_0)$ , yang secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (5)$$

Dengan

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (6)$$

$\hat{Z}(x_0)$  : nilai estimasi dititik  $x_i$

$Z(x_i)$  : Nilai pengamatan dititik  $x_i$

$\lambda$  : vektor pembobot ke- $i$

Persamaan 6 menandakan bahwa nilai penjumlahan vektor pembobotan sama dengan 1. Untuk memperoleh nilai *error* yang kecil maka selisih nilai  $Z(x_i)$  dan nilai harus minimum. Persamaan *ordinary kriging* juga dapat dinotasikan dalam persamaan matrik sebagai berikut : [6].

$$\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \dots & \gamma_{1n} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \dots \\ \gamma_{n1} & \dots & \gamma_{nn} & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \dots \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{11} \\ \dots \\ \gamma_{n1} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

*Cross validation* digunakan untuk mengevaluasi kinerja model. Hal ini dilakukan untuk menentukan model semivariogram terbaik, semivariogram dikatakan terbaik jika memiliki nilai RMSE mendekati nilai 0 [7]. *Root Mean Square Error (RMSE)* yang paling sering digunakan untuk membandingkan akurasi antara dua atau lebih model dalam analisis spasial.

$$RMSE = \sqrt{\frac{SSE}{n}} \quad (8)$$

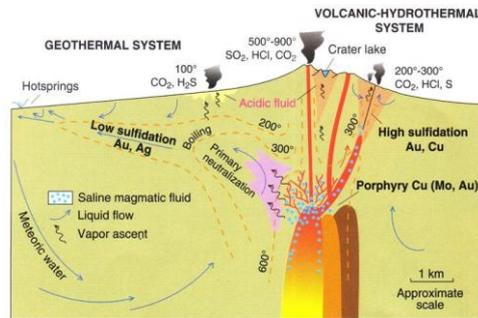
di mana

$$SumofSquare (SSE) = \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (9)$$

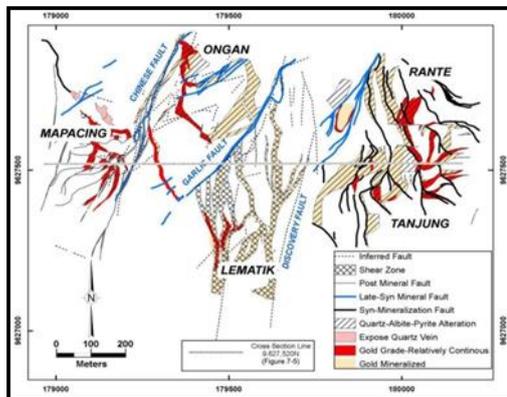
Nilai  $e_i$  didapat dari:

$$e_i = z(x_i) - \hat{z}(x_i) \quad (10)$$

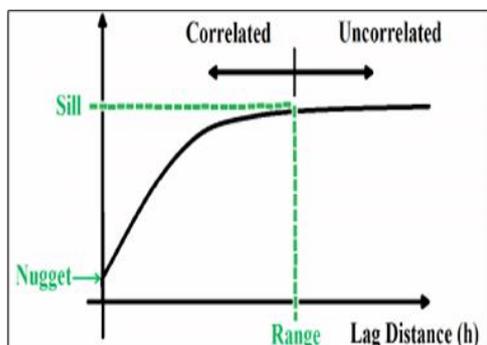
[6].



**Gambar 1** Endapan Emas Epitermal [3].



**Gambar 2** Peta Struktur Awak Mas [4].



**Gambar 3** Semivariogram [8].

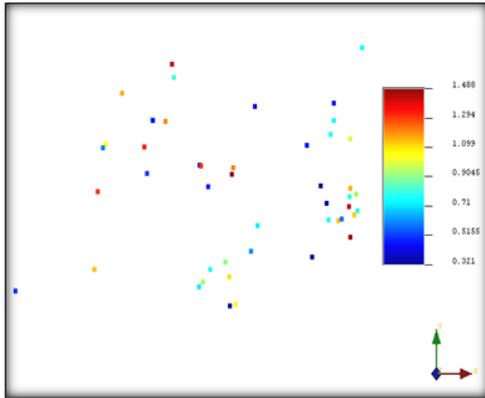
### 3. METODE

Penelitian ini dilaksanakan selama bulan Februari-Juni 2021 di Laboratorium Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman.

Prosedur pengolahan data pada penelitian ini adalah dikumpulkan data sekunder sampel batuan channel emas permukaan berjumlah 47 titik-titik data yang berupa nilai kadar mineral dan titik koordinat (*easting* dan *northing*). Selanjutnya dilakukan pemeriksaan kestasioneran data berdasarkan nilai mean, mean dan modus data menggunakan *Software SPSS*. Kemudian dilakukan *plotting* data Koordinat X (*easting*), Y (*northing*) dan Z (kadar mineral emas permukaan) menggunakan *software SgeMS*, dilakukan analisis struktural agar menghasilkan nilai *nugget*, *sill* dan *range*. Dicari model semivariogram terbaik dengan melakukan *cross validation*. Selanjutnya diinterpolasi nilai kadar mineralisasi emas permukaan menggunakan metode *ordinary kriging*. Kemudian dihasilkan peta kontur pola penyebaran mineralisasi emas permukaan berdasarkan model semivariogram terbaik kemudian dioverlay dengan peta geologi struktur Awak Mas.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

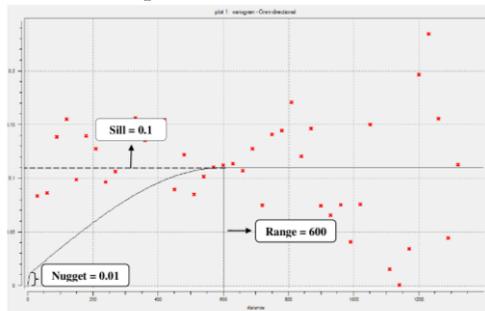
Berdasarkan data penelitian, titik-titik mineralisasi emas sebanyak 47 data dan tersebar seperti Gambar 4:



**Gambar 4** Sebaran data mineral emas permukaan Awak Mas

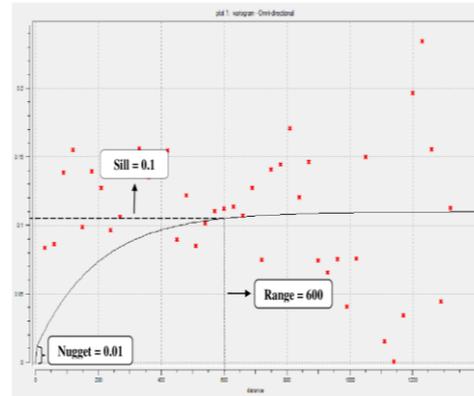
Dari data *di atas* dilakukan analisis struktural untuk ketiga model agar mendapatkan nilai *sill*, *nugget* dan *range*. Berikut merupakan gambar semivariogram dari ketiga model:

a. Model *spherical*



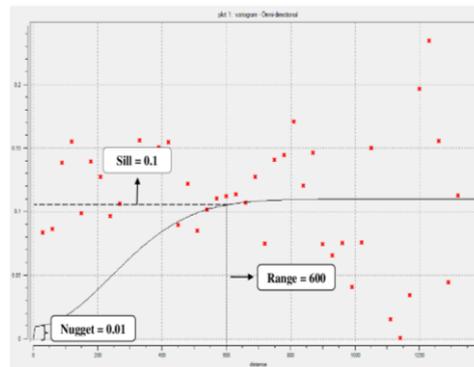
**Gambar 5** Semivariogram Model *Spherical*

b. Model Eksponensial



**Gambar 6** Semivariogram Model Eksponensial

c. Model Gaussian

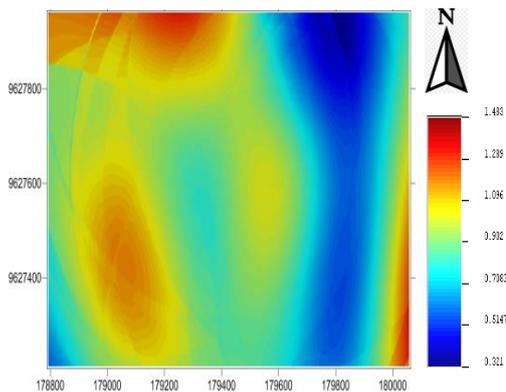


**Gambar 7** Semivariogram Model Gaussian

**Tabel 1** Hasil Validasi Silang

Parameter	Model Semivariogram Awak Mas		
	<i>Spherical</i>	Eksponensial	Gaussian
RMSE	0,38287	0,38406	0,37198

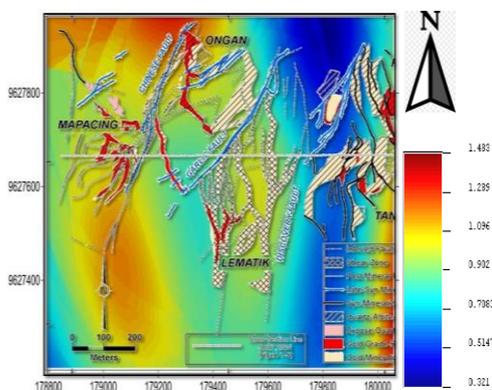
*Cross validation* atau validasi silang digunakan untuk menentukan model terbaik yang digunakan dalam menghasilkan peta kontur pola penyebaran mineralisasi emas permukaan menggunakan *ordinary kriging*. Dari tabel *di atas* dapat disimpulkan model *Gaussian* adalah model terbaik karena memiliki nilai RMSE terkecil di antara model yang lain.



**Gambar 8** Peta Kontur Pola Penyebaran Mineralisasi Emas Permukaan

Pola persebaran mineral emas sebagian besar tersebar pada arah barat laut (NW) dan arah barat daya (SW) dibandingkan bagian arah timur laut (NE) dan arah tenggara (SE). Hal ini dikarenakan nilai mineral emas permukaan dominan tertinggi nilai 0,7083 g/t sampai dengan 1,289 g/t dan banyak terdapat di bagian tersebut.

Pola persebaran mineral emas sebagian besar tersebar pada arah barat laut (NW) dan arah barat daya (SW) dibandingkan bagian arah timur laut (NE) dan arah tenggara (SE). Hal ini karena struktur geologi seperti sesar banyak ditemukan pada arah barat laut (NW) dan arah barat daya (SW) dan sebagai kontrol proses penyebaran mineral. Persebaran mineral emas permukaan sebagian besar pada arah barat laut (NW) dan arah barat daya (SW) yang termasuk kedalam zona Mapacing, Ogan dan Lamatik. Sedangkan pada arah Timur Laut (NE) dan arah Tenggara (SE) memiliki nilai mineral emas permukaan yang relatif rendah termasuk kedalam zona Tanjung dan sebagian Rante. Adanya anomali mineral emas yang ditemukan disebabkan oleh mineralisasi hidrotermal yang dikendalikan oleh Sesar Chinese dan Sesar Garlic dengan arah Utara Timur Laut (NNE) – Selatan Barat Daya (SSW). Sesar ini memberikan ruang untuk aliran hidrotermal menuju kepermukaan dan menyebabkan anomali geokimia yaitu perbedaan nilai yang signifikan pada areal penelitian. Sebagian besar mineral emas ditemukan dekat dengan struktur sesar, hal ini menunjukkan bahwa pembentukan mineral emas dipengaruhi oleh struktur geologi. Selain itu mineral emas yang rendah ditemukan jauh dari struktur sesar perbedaan ini terbentuk karena adanya dispersi primer batuan induk. Pada umumnya daerah yang memiliki struktur sesar penyebaran mineral emas lebih cepat dikarenakan aliran hidrotermal



**Gambar 9** Overlay dengan Peta Struktur Geologi Awak Mas

mengikuti rekahan batuan baik batuan yang retak maupun yang berubah karena anomali geokimia atau dengan kata lain bahwa mineralisasi dan penyebaran mineral emas permukaan dikontrol oleh struktur sesar.

## 5. KESIMPULAN

Metode Geostatistika *Ordinary Kriging* dapat digunakan untuk menentukan pola penyebaran mineralisasi emas permukaan dengan model semivariogram Gaussian sebagai terbaik karena memiliki nilai RMSE terkecil di antara model yang lain dan pola penyebaran mineral emas permukaan banyak ditemukan pada daerah barat laut (NW) dan barat daya (SW) yang dipengaruhi oleh struktur geologi

## 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis kepada keluarga dan teman-teman penulis yang banyak membantu dalam menyelesaikan studi dan penulisan jurnal ini.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Rahman, "Identifikasi Zona Mineralisasi Emas Berdasarkan Data Controlled Source Audio-Frequency Magnetotellurics (CSAMT) dengan Data Pendukung Induced Polarization (IP) Di lapangan AU," *Universitas Lampung*, 2018.
- [2] P. Lindagato, "Application of

Geostatistical Analyst Methods in Discovering Concealed Gold and Pathfinder Elements as Geochemical Anomalies Related to Ore Mineralisation," *Cang'an University*, 2018.

- [3] F. Pirajno, "Hydrothermal Mineral Deposit: Principle and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist.," *Afrika Selatan*, 1992.
- [4] L. Querubin, "Awak Mas Structural Mapping: Preliminary Results, Luwu District, South Sulawesi, Indonesia," *Pan Asia*, 2011.
- [5] A. Alfiana, "Metode Ordinary Kriging Pada Geostatistika," *Universitas Negeri Yogyakarta*, 2010.
- [6] E. Respatti, "Perbandingan Metode Ordinary Kriging Dan Inverse Distance Weighted Untuk Estimasi Elevasi Pada Data Topografi," *Universitas Mulawarman*, 2014.
- [7] A. Kurniawan, "Estimasi Sumberdaya Emas Menggunakan Metode Ordinary Kriging Pada

Pit X, PT. Indo Muro Kencana,  
Kec. Tanah Siang, Kab. Murang  
Raya, Kalimantan Tengah,"  
*Universitas Pembangunan*  
*Nasional "Veteran"*, 2019.

- [8] K. a. B. L. Baba, "Geostatistical  
Analysis for Delineating Sterile  
Inclusions in Sidi Chennane'  
Phosphatic series, Marrocco,"  
*Mohammed V-Agdal University*,  
2015.