

Estimasi Sumberdaya Untuk Data Dengan Distribusi Lognormal Pada Endapan Urat Emas Gunung Pongkor Dengan Pendekatan Geostatistik

Idris Herkan Afandi¹, M. Nur Heriawan²

1&2 Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan Institut Teknologi Bandung
ha_idris@yahoo.co.id

ABSTRACT

This study aims to determine the method of estimation and data processing are suitable to the lognormal distribution data. Data obtained from the assay data of gold vein mineralization from Gunung Pongkor, West Java. Data provided are relatively only a few or not proportionate to the volume of mineral bodies, range of space (average 50 m to the north), as well as lognormal distribution data. Data collection was enlarged by conducting composites within 1 m, resulting in 828 points. Further mineral, the data is divided into the data without a top cut and the data with a top cut, for the benefit to estimate data also has been transformed into logarithm. Variogram modeling performed on each data to get a geostatistical parameters. The estimation method that used are methods such as of Ordinary Kriging (OK), Lognormal Ordinary Kriging (OLK) and Sichel's t-estimator. The criteria used suitably is the correlation coefficient value estimation results with actual levels valued m_{mineral} than 0.6. Assumptions for the best method is the method that has the best accuracy between the regression line with line bisector and for the method that has a variance estimation is a method which has an average smallest variance estimation. The cumulative distribution curve estimation results show the difference in the results of the estimates using the data without a top cut and the data with a top cut. This research resulted in the values of the correlation coefficient from the three methods are m_{mineral} than 0.6. The most appropriate regression line with a line bisektor is Lognormal Ordinary Kriging method (OLK) both use the data without a top cut and the data with a top cut and the average of smallest variance estimation is a method of Ordinary Kriging (OK) that use data with the top cut.

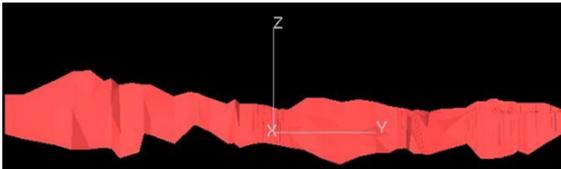
Key Words : *Geostatic, Lognorma Distribution, Lognormal kriging*

I. PENDAHULUAN

Dalam optimasi sumberdaya sangat berhubungan dengan distribusi kadar sampel di lapangan. Dalam hal ini emas merupakan mineral yang hampir seluruh distribusi kadar sampelnya merupakan distribusi tidak simetris, kurang lebih miring atau condong ke sisi kiri (*positive skewnees*), hal ini disebabkan oleh adanya data pencilan (*outlier*).

Data pencilan sangat sensitif terhadap distribusi data dan struktur spasial untuk estimasi, namun nilai kadar emas yang tinggi dan bahkan sangat tinggi tidak dapat diabaikan, karena nilai – nilai tersebut menunjukkan zona – zona kadar tinggi yang sangat penting untuk suatu eksploitasi deposit. Karena itu perlakuan dan taksiran terhadap nilai dengan kadar tinggi merupakan hal yang sangat penting dalam evaluasi sumberdaya terhadap sebuah keberadaan zona mineralisasi.

Mineralisasi umumnya dikontrol oleh struktur membentuk sistem urat. Sistem urat di tambang pongkor terdiri dari sembilan urat kuarsa-adularia-karbonat kaya mangan oksida dan limonit, tetapi miskin mineral-mineral sulfide. Urat-urat ini memiliki panjang antara 740-2700 meter, dengan ketebalan beberapa meter dan kedalaman dapat mencapai 200 meter, memotong tiga satuan vulkanik utama yang membentuk suatu kipas.



Gambar 3. Pemodelan badan bijih urat emas

B. Analisis Statistik Ruang

1). Variogram

Semivariogram merupakan suatu metode yang berfungsi untuk menganalisis data secara geostatistik. Data yang dekat dengan titik yang ditaksir memiliki kecenderungan nilai yang lebih mirip dibandingkan dengan data yang lebih jauh. Variogram dihitung dengan menghitung perbedaan rata-rata antar dua titik sampel dengan jarak tertentu.

Secara praktis variogram eksperimental dihitung dengan:

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

Dimana:

$\gamma(h)$ = Variogram untuk arah tertentu dari jarak h
 $h = 1d, 2d, 3d, 4d$ (d = jarak rata-rata antar conto)

$z(x_i)$ = nilai kadar pada titik x_i

$z(x_{i+h})$ = data pada titik yang berjarak h dari x_i

$N(h)$ = jumlah pasangan data

2). Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal, yaitu logaritma nilai individual perconto memiliki distribusi normal. Pada penggunaan distribusi lognormal, nilai individual $Z(x)$ ditransformasi ke dalam nilai logaritma. Tipe logaritma yang digunakan dapat

berupa logaritma natural, dimana data $Z(x)$ ditransformasi menjadi $\ln Z(x)$ ataupun logaritma biasa, dimana nilai $Z(x)$ ditransformasi menjadi $\log Z(x)$.

Dalam penelitian ini nilai individual $Z(x)$ ditransformasi ke dalam logaritma biasa yaitu nilai $Z(x)$ ditransformasi menjadi $Y(x)$, dengan:

$$Y(x) = \log (Z(x))$$

Dengan μ dan σ^2 adalah rata-rata dan varians $Y(x)$

Back transformation untuk menentukan nilai rata-rata dan varians $Z(x)$ dari data $Y(x)$ adalah:

$$\text{Rata - rata } (Z(x)) = E(Z_x)$$

$$E(Z_x) = \text{Antilog} \left[\mu + \frac{1}{2} \sigma^2 \right]$$

$$\text{Varians } (Z(x)) = \sigma^2(Z_x) - 1$$

$$\sigma^2(Z_x) = [E(Z_x)]^2 (\text{Antilog}(\sigma^2) - 1)$$

(Modifikasi dari P.A Down, 1982)

3). Metode Penaksiran

a. Ordinary Kriging

Ordinary Kriging merupakan metode estimasi yang tidak memperhatikan nilai rata-rata sampel. Pada prinsipnya, misalkan terdapat n sampel pada posisi $Z(x_i)$ untuk menaksir kadar Z pada blok R , dengan menggunakan ordinary kriging adalah:

$$Z_{OK}^*(R) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z(x_i)$$

Untuk mendapatkan harga estimasi yang tidak bias, maka jumlah faktor bobot dibuat sama dengan 1, dengan persamaan:

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

Persyaratan bahwa jumlah λ_i yang tidak diketahui adalah satu, dapat didekati dengan pertolongan suatu *lagrange multiplier* v . Dengan cara ini diharapkan perbedaan Z dan Z^* adalah nol. Selanjutnya sistem persamaan linier (*kriging sistem*) untuk mendapatkan faktor bobot λ_i dapat ditulis sebagai berikut:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(S_i, S_j) + v = \bar{y}(x_i, R)$$

Varians estimasi dengan memperhatikan faktor bobot adalah:

$$\sigma_{OK}^2(R) = -\bar{\gamma}(R, R) + v + \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{\gamma}(x_i, R)$$

(Modifikasi dari Sinclair dan Blackwell, 2002)

b. Ordinary Lognormal Kriging (OLK)

Data kadar $Z(x)$ ditransformasi ke dalam $Y(x) = \text{Log}(Z(x))$ kemudian data tersebut diolah dengan *ordinary kriging*. *Semivariogram* diolah dan dimodelkan menurut data $Y(x)$.

Back transformation unbiased untuk estimasi dan standar deviasi *ordinary lognormal kriging* adalah:

$$Z_{OLK}^*(R) = \text{Antilog}(Y_{OK}^*(R) + \frac{\sigma_{OK}^2(R)}{2} - v)$$

$$\sigma_{OLK}^2(R) = (E(Zx))^2 \cdot \text{Antilog}(\sigma_Y^2) \cdot [1 + \text{Antilog}(-\sigma_{OK}^2 + v)] \cdot (\text{Antilog}(v) - 2)$$

(Modifikasi dari P.A Down, 1982)

c. Sichel s't estimator

Estimasi ini tidak memperhitungkan jarak antar sampel dari blok yang akan di estimasi, cocok untuk blok dengan ukuran cukup besar yang memiliki beberapa sampel dan cocok untuk *search volume* yang memiliki ukuran hampir sama dengan blok yang akan di estimasi. Untuk blok yang berada dalam satu *search volume* yang sama maka akan memiliki nilai estimasi *Sichel s't estimator* yang sama.

Sichel s't estimator (t) dapat dirumuskan:

$$t = e^{\bar{x}} \times \tau_n(V)$$

Dengan:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Ln}(x_i + m)}{n}$$

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Ln}(x_i + a) - \bar{x})^2}{n}$$

$$\tau_n(V) = \frac{1 + \sum_{r=1}^{\infty} (n-1)^r V^r}{[2^r r! (n-1)(n+1) \times (n+2r-3)]}$$

m = konstanta bilangan bulat

III. METODOLOGI

Pada penelitian ini dilakukan pengolahan data yaitu data tanpa *top cut* dan data dengan *top cut*, kemudian data tersebut digunakan untuk mengestimasi blok pada badan bijih menggunakan metode *Ordinary Kriging (OK)*, *Ordinary Lognormal Kriging (OLK)* dan *Sichel's t-estimator*. Sebelum diestimasi dilakukan validasi terhadap hasil estimasi, tujuannya adalah untuk mengetahui apakah hasil estimasi dari metode tersebut cocok dengan kadar sebenarnya.

Pemodelan variogram pada endapan urat emas dibantu oleh *software* SGeMS. Secara umum posisi endapan urat emas adalah N350°E/75° untuk itu variogram *experimental* dibuat ke dalam 3 arah, yaitu:

1. Searah *azimuth* endapan yaitu N350°E dengan *dip* variogram 0°
2. Searah *dip* endapan yaitu N80°E dengan *dip* variogram 75°
3. Searah lubang bor (memotong endapan) yaitu N260°E dengan *dip* variogram 60°

Validasi hasil estimasi dilakukan dengan mengestimasi titik dari titik data yang telah dihilangkan nilai kadarnya, nilai kadar yang telah dihilangkan menjadi nilai kadar *actual* pada titik tersebut. Selanjutnya nilai kadar hasil estimasi dari metode – metode estimasi akan dibandingkan dengan nilai kadar *actual*. Kriteria yang digunakan adalah korelasi hasil estimasi terhadap kadar *actual* lebih dari 0,6 yang berarti ada korelasi yang kuat antara hasil estimasi dengan kadar *actual*.

Titik untuk estimasi diambil secara acak pada data tengah dari tiga data log bor yang berkesinambungan dengan nilai varians dari ke-3 data tersebut kurang dari 3. Pengambilan varians kurang dari 3, karena diasumsikan minimal ada 2 data di dekat titik estimasi yang nilainya tidak jauh berbeda sehingga hasil estimasi titik tersebut lebih mendekati nilai kadar *actual*nya. Sampel yang terambil dari sebaran data tersebut sebanyak 85 titik data.

Pada estimasi kadar dilakukan dengan membuat blok estimasi berukuran 1 x 2,5 x 4, dari pemodelan endapan urat emas diperoleh 68.746 blok, dengan asumsi *density* batuan adalah 2,5 sehingga tonase setiap blok adalah 25 ton. Dengan demikian jumlah sumberdaya mineral adalah 1.718.650 ton.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

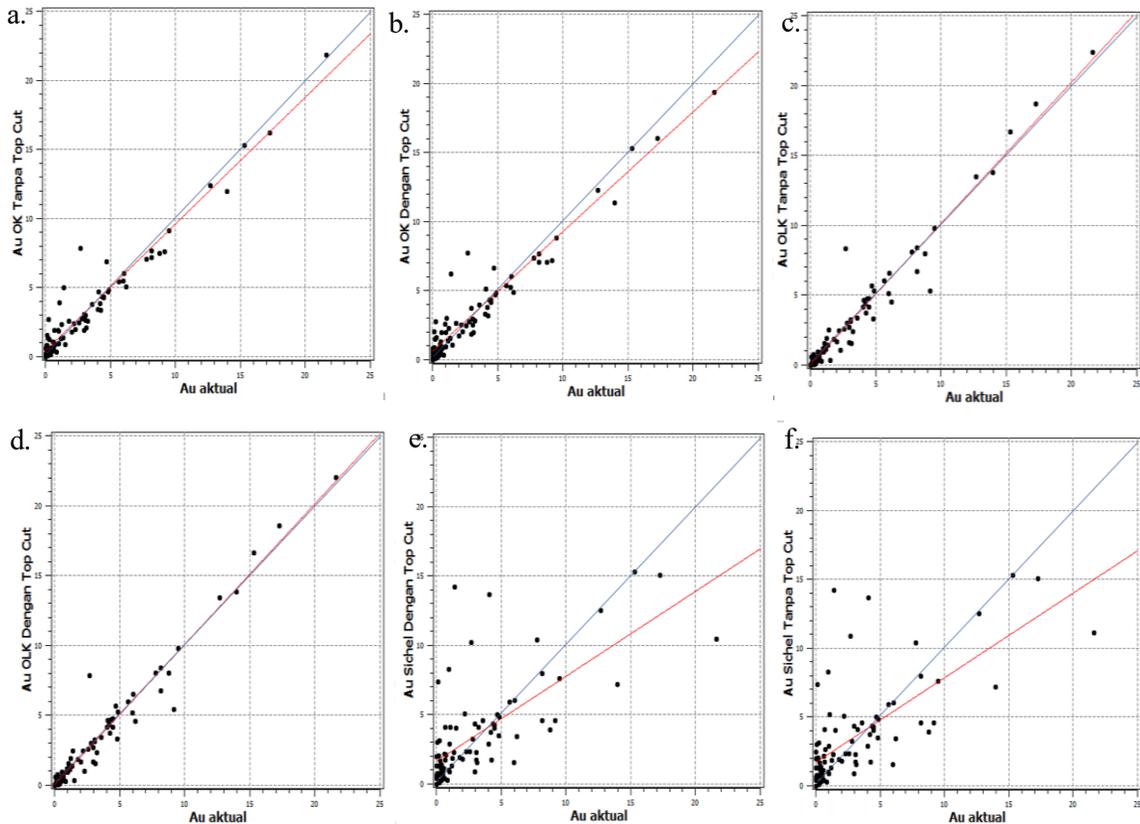
A. Hasil

1). Hasil Validasi

Validasi hasil estimasi dari metode estimasi merupakan proses validasi terhadap hasil estimasi dari metode – metode estimasi yang digunakan untuk mengestimasi data lognormal.

Tabel 1. Hasil estimasi pada titik validasi

Metode Estimasi	Rata-rata Au Actual (ppm) (Sb X)	Rata-rata hasil estimasi (ppm) (Sb Y)	Korelasi	Regresi Linier	
				Slop	Intercept
OK tanpa <i>top cut</i>	3,07	3,246	0,97	0,917	0,43
OK dengan <i>top cut</i>	3,07	3,24	0,963	0,867	0,578
OLK tanpa <i>top cut</i>	3,07	3,1	0,975	1,01	-0,005
OLK dengan <i>top cut</i>	3,07	3,08	0,978	1,006	-0,003
Sichel tanpa <i>top cut</i>	3,07	3,58	0,7	0,61	1,69
Sichel dengan <i>top cut</i>	3,07	3,54	0,7	0,61	1,66



Gambar 4. Scatter plot korelasi dan regresi linier garis merah = regresi linier, biru = garis bisektor (a. OK dengan *top cut*, b. OK tanpa *top cut*, c. OLK dengan *top cut*, d. OLK tanpa *top cut*, e. Sichel dengan *top cut*, f. Sichel tanpa *top cut*.)

2). Hasil Estimasi Pada Blok

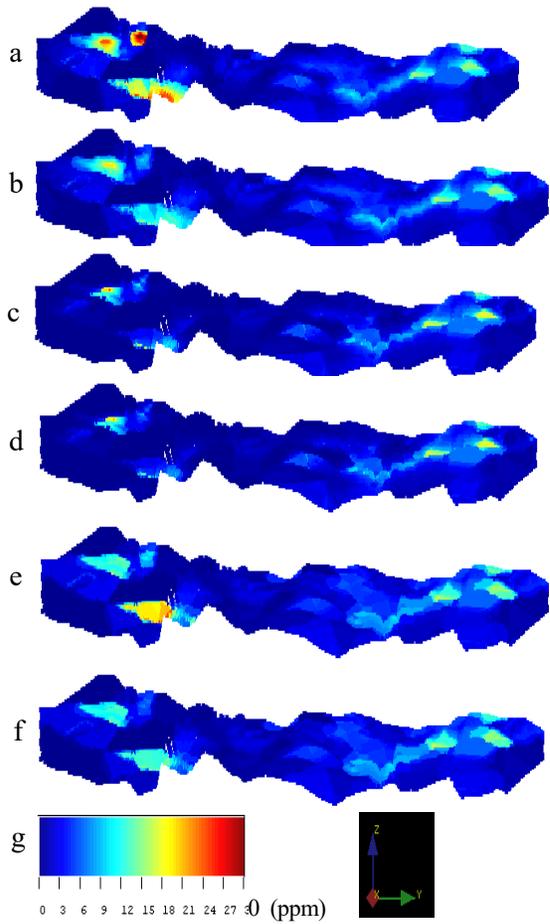
Berikut merupakan hasil estimasi dan varians estimasi pada blok (Tabel 2)

Berikut merupakan varians estimasi pada blok (Gambar 6):

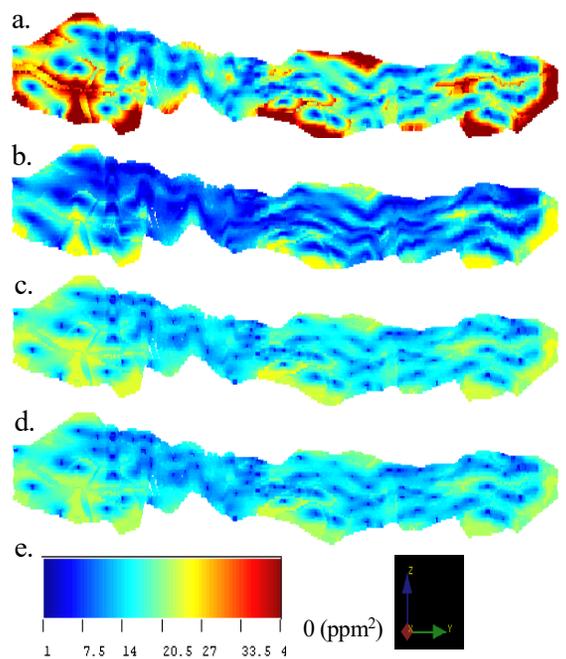
Tabel 2. Hasil estimasi dan varians estimasi pada blok

Metode Estimasi	Rata-rata hasil estimasi (ppm)	Varians hasil estimasi (ppm ²)	Rata-rata varians estimasi (ppm ²)	Standar deviasi estimasi (ppm)
OK tanpa top cut	4,15	20,70	19,83	± 4,45
OK dengan top cut	3,37	11,70	11,32	± 3,36
OLK tanpa top cut	2,83	10,46	15,48	± 3,93
OLK dengan top cut	2,77	9,90	15,00	± 3,87
Sichel tanpa top cut	4,21	18,40	-	-
Sichel dengan top cut	3,94	13,12	-	-

Berikut merupakan gambar hasil estimasi pada blok (Gambar 5) :



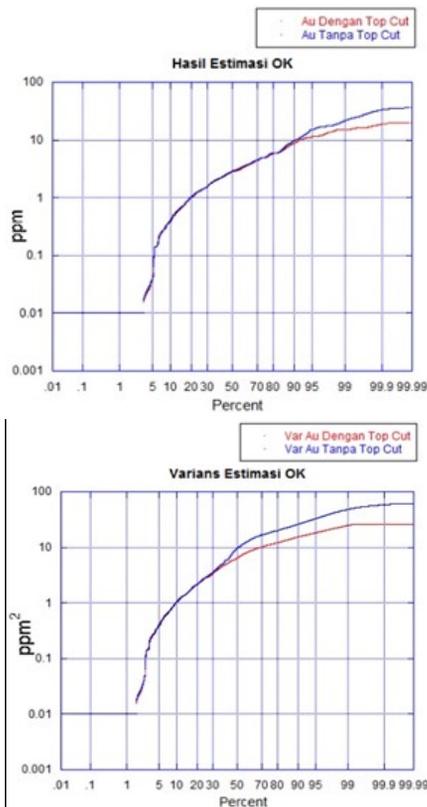
Gambar 5 Hasil Estimasi (a. OK tanpa top cut, b. OK dengan top cut, c. OLK tanpa top cut, d. OLK dengan top cut, e. Sichel tanpa top cut, f. Sichel dengan top cut, g. Skala warna hasil estimasi)



Gambar 6 Varians Estimasi (a. OK tanpa top cut, b. OK dengan top cut, c. OLK tanpa top cut, d. OLK dengan top cut, e. Skala warna varians estimasi)

**3). Perbandingan Hasil Estimasi
a. Pada Metode OK**

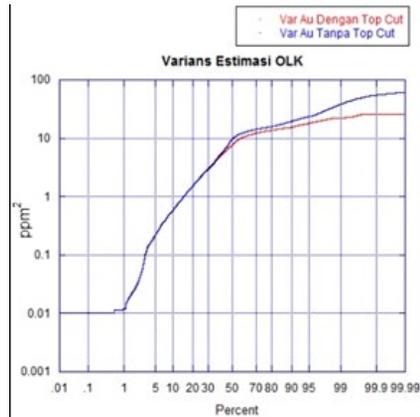
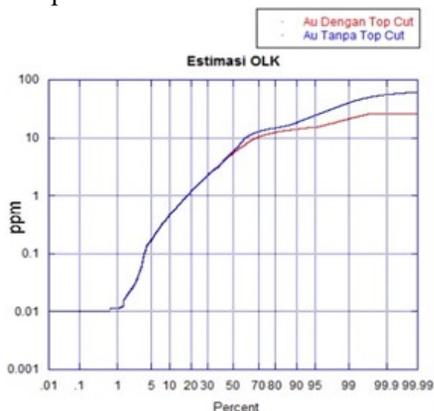
Gambar 7 menunjukkan distribusi frekuensi kumulatif hasil estimasi dan varians estimasi dari metode OK. Terlihat bahwa secara umum hasil estimasi dan varians estimasi OK tanpa top cut memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan hasil estimasi dan varians estimasi OK dengan top cut.



Gambar 7. Distribusi frekuensi kumulatif pada metode OK

b. Pada Metode OLK

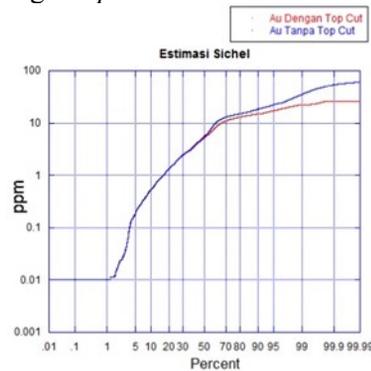
Gambar 8 menunjukkan distribusi frekuensi kumulatif hasil estimasi dan varians estimasi dari metode OLK. Terlihat bahwa secara umum hasil estimasi dan varians estimasi OLK tanpa top cut memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan hasil estimasi dan varians estimasi OLK dengan top cut.



Gambar 8. Distribusi frekuensi kumulatif pada metode OLK

c. Sichel

Gambar 9 menunjukkan distribusi frekuensi kumulatif hasil estimasi dan varians estimasi dari metode Sichel. Terlihat bahwa secara umum hasil estimasi Sichel tanpa top cut memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan hasil estimasi Sichel dengan top cut.



Gambar 9. Distribusi frekuensi kumulatif pada metode Sichel

4). Hasil uji t pada metode estimasi

Berikut merupakan hasil uji t pada hasil estimasi beberapa metode estimasi yang menggunakan top cut dan tanpa top cut. (Tabel 3).

Tabel 3. Hasil Uji t pada metode estimasi

Metode Estimasi	Tanpa Top Cut vs Dengan Top Cut	t - Value	t - Probability
Ordinary Kriging (OK)	Hasil Estimasi	-0,67	0,5
	Varians Estimasi	-7,97	< 0,0001
Ordinary Lognormal Kriging (OLK)	Hasil Estimasi	-0,12	0,899
	Varians Estimasi	-1,93	0,05
SICHEL	Hasil Estimasi	-0,45	0,65

B. Pembahasan

Dari hasil validasi yang membandingkan kadar Au *actual* dengan hasil kadar Au hasil estimasi pada titik tersebut, diperoleh bahwa ketiga metode baik menggunakan data tanpa *top cut* maupun data dengan *top cut* memiliki korelasi yang lebih dari 0,6 yang artinya memiliki korelasi kuat bahkan untuk metode OK, OLK memiliki korelasi sangat kuat terhadap kadar Au *actual*. Hal ini secara statistik menunjukkan adanya kesamaan hasil estimasi dengan kadar *actual* dalam arti jika kadar *actual*nya tinggi maka hasil estimasinya tinggi dan sebaliknya jika kadar *actual*nya rendah maka hasil estimasinya juga rendah.

Untuk keakuratan hasil estimasi dengan kadar *actual* ditentukan oleh sebaran pasangan titik-titik hasil estimasi dan kadar *actual* (Gambar 4) harapannya adalah titik-titik tersebut berada pada garis bisektor, secara statistik sebaran titik-titik pada *scatter plot* dapat di buat suatu garis yang mewakili titik-titik tersebut yaitu garis regresi linier. Secara statistik garis regresi yang paling dekat dengan garis bisektor adalah hasil estimasi dari metode OLK baik OLK yang menggunakan data tanpa *top cut* maupun OLK yang menggunakan data dengan *top cut*.

Dengan demikian secara korelasi ketiga metode estimasi memenuhi kriteria validasi yang disyaratkan dan secara statistic hasil estimasi dari metode OLK memiliki ketepatan yang lebih akurat terhadap kadar *actual*, diikuti metode OK dan metode *Sichel*. Untuk rata-rata varians estimasi tertinggi pada metode OK dengan menggunakan data tanpa *top cut* yaitu 19,83 ppm² dan rata-rata varians estimasi terendah pada metode OK dengan menggunakan data dengan *top cut* yaitu 11,32 ppm².

Dari rata-rata hasil estimasi metode OLK memiliki sifat mengestimasi kadar dengan nilai lebih rendah dibanding dengan metode estimasi yang lain. Dengan asumsi metode estimasi yang baik adalah metode estimasi yang memiliki varians estimasi yang kecil maka metode OK dengan menggunakan data dengan *top cut* menjadi

estimasi yang lebih baik diantara metode estimasi yang lain.

Hasil uji-t pada Estimasi *Ordinary Kriging* (OK) menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata hasil estimasi OK tanpa *top cut* dengan rata-rata hasil estimasi OK dengan *top cut*. Hasil uji-t juga menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata varians estimasi OK tanpa *top cut* dengan rata-rata varians estimasi OK dengan *top cut*. Dengan demikian penggunaan data tanpa *top cut* dan data dengan *top cut* pada metode OK tidak berpengaruh pada nilai hasil estimasi tetapi berpengaruh pada nilai varians estimasinya.

Hasil uji-t pada Estimasi *Ordinary Lognormal Kriging* (OLK) menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata hasil estimasi OLK tanpa *top cut* dengan rata-rata hasil estimasi OLK dengan *top cut*. Hasil uji-t juga menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata varians estimasi OLK tanpa *top cut* dengan rata-rata varians estimasi OLK dengan *top cut*. Dengan demikian penggunaan data tanpa *top cut* dan data dengan *top cut* pada metode OLK tidak berpengaruh pada nilai hasil estimasi dan nilai varians estimasinya.

Hasil uji-t pada estimasi *Sichel* menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata hasil estimasi *Sichel* tanpa *top cut* dengan rata-rata hasil estimasi *Sichel* dengan *top cut*. Dengan demikian penggunaan data tanpa *top cut* dan data dengan *top cut* pada metode *Sichel* tidak berpengaruh pada nilai hasil estimasinya.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, secara umum dapat disimpulkan bahwa terdapat dua metode yang paling cocok untuk mengestimasi kadar emas yang berdistribusi lognormal yaitu:

1. Penggunaan metode OLK baik menggunakan data tanpa *top cut* maupun menggunakan data dengan *top cut*, karena memiliki ketepatan yang paling tinggi terhadap kadar *actual*.

2. Penggunaan metode OK dengan menggunakan data dengan *top cut* karena memberikan rata-rata varians estimasi paling kecil.

REFERENSI

- Cressie, Noel A.C. 1993. *Statistics For Spatial Data*. USA
- Dowd, P. A. (1982). *Lognormal Kriging – The General Case*. *Mathematical Geology*, vol14, no 5.
- Krige, D.G,. (1981). *Lognormal-de Wijsian Geostatistics for Mineral Evaluation*. Institute of Mining and Metallurgy Johannesburg : South African
- Milesi, J. P., Marcoux, E., Sitorus, T., Simandjuntak, M., Leroy, J. and Baily, L. (1999). *Pongkor (West Java): A Pliocene supergene-enriched epithermal Au-Ag-(Mn) deposit*. *Mineralium Deposita*, 34, 131–149.
- Newland, James,. dkk. *Grade Estimation Studio 3 User Guide*. Datamine Software Limited.
- Rendu,J.M, 1981. *An Introduction to Geostatistical Methods of Mineral Evaluation*. South Africa: Institute of Mining and Metalurgy Johannesburg
- Sinclair, A.J., and Blackwall, G.H, 2002. *Applied Mineral Inventory Estimation*. Cambridge University Press.
- Yamamoto, Jorge K. 2008. *Assessing Uncertainties for Lognormal Kriging Estimates*. Shanghai, P. R. China, June 25-27, 2008, pp. 62-69