

APLIKASI KRIGING NON-LINIER PADA PENAKSIRAN KADAR BIJIH EMAS

(The Application of Non-Linear Kriging in Gold Ore Grade Estimation)

Waterman Sulistyana Bargawa

Magister Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta
waterman.sulistyana@gmail.com

Abstrak

Metode geostatistika banyak dikembangkan untuk penaksiran kadar bijih. Pada saat sekarang teknik yang populer pakai adalah ordinary kriging (OK). Namun metode tersebut sering bermasalah apabila diterapkan pada cebakan bijih emas yang memiliki distribusi dengan ekor yang panjang (tidak simetrik), yang ditandai dengan munculnya pencilan kadar tinggi. Penelitian ini mengenalkan metode kriging non-linier yaitu kriging indikator. Konsep dasar penaksiran adalah mengubah data menjadi nilai indikator, selanjutnya penaksiran kadar blok dilakukan dengan metode ordinary kriging. Aplikasi metode tersebut cukup akurat apabila diterapkan pada penaksiran kadar bijih emas.

Kata kunci: geostatistika, kriging indikator, urat bijih emas

Geostatistics method is widely used to estimate the ore reserves for many deposits. Currently OK method is more popular, but it is not quite suited for handling such outlier data with highly skewed distribution. The research presents an indicator kriging as a non-linear kriging method. The appeal of the indicator kriging is to change data into discriminator; furthermore block grade estimation is done using ordinary kriging. The application of the indicator kriging method in gold deposit is more accurate.

Key words: geostatistics, indicator kriging, gold vein

1. PENDAHULUAN

Perancangan tambang memerlukan model distribusi kadar bijih untuk pembuatan peta kemajuan penambangan. Geostatistika merupakan salah satu metode penaksiran kadar bijih yang cukup akurat, sehingga metode tersebut menjadi populer di industri pertambangan. Penaksiran kadar dalam metode ini menggunakan metode kriging. Metode pembobotan kriging mendasarkan pada jarak dan korelasi ruang (*spatial correlation*) antar titik sampel (*sample*). Korelasi ruang ditunjukkan oleh variogram, kovariansi dan korelogram.

Penaksiran kadar dengan metode OK banyak digunakan karena sederhana dan mudah dipahami (David, 1997; Journel & Huijbregts, 1978, Knudsen & Kim, 1978; Isaaks & Srivastava, 1989). OK dapat digunakan sebagai penaksir cadangan global, takbias (*unbiased*) dengan variansi minimum dan merupakan kombinasi linier (Matheron, 1963;

Knudsen & Kim, 1978; Myer, 1991), sehingga OK terkenal sebagai BLUE yaitu *Best Linier Unbiased Estimator* (Krige, 1978).

Metode OK menggunakan beberapa asumsi dasar yaitu :

- 1) Data berasal dari populasi yang berdistribusi normal atau distribusi yang dapat dengan mudah diubah menjadi distribusi normal (Anderson, 1972; Matheron, 1974, 1976a)
- 2) Data berasal dari populasi yang homogen dalam tiga dimensi, distribusi data independen terhadap letak di dalam ruang tersebut dan dapat dinyatakan dalam semivariogram.

Aplikasi metode OK di lapangan telah membuktikan bahwa hasil taksiran sumberdaya dan cadangan akan akurat apabila dilakukan pada nilai koefisien variasi mendekati satu, sampel cebakan tipe sedimenter dan porfiri.

Permasalahan mulai muncul pada penaksiran di daerah mineralisasi dengan kadar bijih yang eratik, sampel cebakan vein kecil (logam mulia) dengan koefisien variasi 2-5. Dalam cebakan tersebut sering terdapat nilai-nilai kadar yang tinggi sehingga pekerjaan variografi tidak memberikan hasil yang memuaskan (*pure nugget effect*). Penyelesaian yang dapat dilakukan adalah dengan cara menghilangkan kadar-kadar tinggi tersebut. Penghilangan nilai kadar tersebut didasarkan pada hasil produksi tambang percobaan (*bulk sampling*) atau dengan interpretasi geologi. Metode manipulasi ini dapat menyebabkan *under-estimation* pada jumlah logam mulia yang dihasilkan.

Metode lain yang sering digunakan adalah penghalusan data menggunakan cara transformasi, misalnya *normal-score*, *natural logarithms*. Bentuk akhir transformasi data adalah data non-linier sehingga dalam penyelesaian memerlukan metode penaksiran non linier, sampel : *Simple Lognormal Kriging* (Parker & Swatzer, 1975) tentang stationaritas kadar rata-rata, *Ordinary Lognormal Kriging* (Rendu, 1979) tentang ketidakstasioneran kadar rata-rata, *Disjunctive Kriging* (Jackson & Marechal, 1976, 1979; Young, 1982) dan *Multivariate Gaussian Kriging* (Verly, 1983, 1984).

Semua metode tersebut di atas ternyata tidak populer. Ketidakpopuleran ini disebabkan oleh hipotesis yang digunakan berdasarkan pada distribusi yang ketat, memerlukan pendekatan matematika yang kompleks, susah dipahami oleh sebagian besar praktisi pertambangan. Berdasarkan kelemahan tersebut, dikembangkan metode penaksiran yaitu metode IK (*Indicator Kriging*).

2. METODE INDIKATOR KRIGING

2.1 Konsep dasar

Metode penaksiran IK tidak menggunakan asumsi distribusi normal (bebas), dan tetap memperhitungkan *outlier* (kadar-kadar yang tinggi), sehingga dapat diterapkan untuk penaksiran logam mulia seperti emas dengan histogram yang sangat tidak simetri. Metode IK ini didasarkan pada konsep probabilitas. Data diubah menjadi indikator bernilai nol (0) dan satu (1) relatif terhadap suatu kadar batas (diskriminator). Tujuan penaksiran IK adalah menaksir probabilitas pada berbagai kadar batas yang telah ditentukan.

Distribusi kadar pada mineralisasi kadar yang rendah dan terdapat *outlier* seperti cebakan emas dan perak menunjukkan histogram yang sangat tidak simetri. Beberapa *outlier* dengan jumlah kurang dari 5% populasi (kurang dari 5% tonase), dapat diperhitungkan karena dapat menambah jumlah logam yang ditaksir (sekitar 20-40%), sehingga sangat berpengaruh pada keekonomian proyek. *Outlier* dapat dilihat dengan mudah pada histogram distribusi kadar conto. *Outlier* terlihat sebagai perbedaan tinggi yang menyolok pada histogram distribusi. Perbedaan tinggi histogram tersebut dapat dilihat secara jelas pada historam distribusi *log*, sedangkan pada histogram aritmatika (*reguler scale*) kurang terlihat dengan jelas.

Sebuah indikator dapat dinyatakan dalam peubah berupa ya/tidak atau 1/0. Misalnya, sampel berwarna merah bernilai 1, warna lain bernilai 0. Nilai rata-rata sampel di dalam kelompok adalah proporsi dari sampel berwarna merah dalam kelompok tersebut, dengan lain perkataan : menaksir jumlah material berwarna merah dari sampel-sampel yang dikumpulkan.

Indikator tidak hanya digunakan untuk mengkuantitatifkan peubah seperti warna saja, namun data numerik misal kadar bijih. Data tersebut dapat dikelompokkan dengan menentukan sebuah nilai indikator. Sebagai ilustrasi, kadar emas memiliki indikator kadar batas sebesar 3 gram/ton, apabila sebuah sampel mempunyai kadar sebesar 5 gram/ton maka dapat diubah menjadi nilai indikator 1, sedangkan sampel dengan kadar sebesar 1 gram/ton menjadi nilai indikator 0. Indikator-indikator tersebut dapat digunakan untuk menaksir jumlah material diatas kadar batas dalam suatu blok. Dengan pengertian di atas, apabila diketahui sampel-sampel di dalam blok bernilai indikator 1 yaitu sebesar 90%, dapat dikatakan bahwa 90% blok tersebut terdiri dari material dengan kadar di atas 3 gram/ton.

Nilai indikator rata-rata seperti proporsi material di atas kadar batas dapat ditaksir menggunakan beberapa metode interpolasi kadar dengan cara menentukan lebih dahulu kadar batas dan nilai-nilai indikator sampel (0 dan 1). Metode interpolasi dapat dilakukan dengan pembobotan ID (*inverse distance*) dan kriging. Pada sampel kasus di atas, proporsi yang ditaksir adalah rata-rata tertimbang (*weighted average*) dari sampel-sampel di dalam atau sekitar blok yang bernilai 0 dan 1. Pembobotan dengan metode penaksiran kriging tidak hanya tergantung pada jarak sampel atau blok tetapi juga konfigurasi antar titik sampel serta kontinuitas spasial dari indikator-indikator tersebut yang dapat dikuantifikasikan melalui variogram indikator.

2.2 Pendekatan matematika metode IK

Penjelasan matematika untuk menjabarkan metode IK sebagai berikut: suatu kadar $z(x)$ pada lokasi x , dengan $x \in \text{deposit}, D$; dengan mengasumsikan L kadar batas, z_c , maka setiap titik $x \in D$ dapat dinyatakan sebagai:

$$f(x,z) = \begin{cases} 1, & \text{jika } z(x) \leq z_c \\ 0, & \text{jika } z(x) > z_c \end{cases} \quad (3.1)$$

Persamaan (3.1) dapat dijabarkan dengan konsep probabilitas sebagai berikut: apabila dalam suatu populasi terdapat suatu kadar $z(x)$ bernilai kurang dari kadar batas (z_c) yang ditentukan, maka kadar tersebut mempunyai nilai indikator 1 sehingga disebut sebagai kadar bijih sedangkan kadar lain yang bernilai lebih dari kadar batas mempunyai nilai indikator 0 dan tidak disebut kadar bijih. Berdasarkan persamaan (3.1), seluruh data selanjutnya diubah menjadi L peubah baru yang bernilai 0 dan 1. Proporsi P dari peubah $z(x)$ di bawah kadar batas z_c dalam daerah $A \subset D$ dinyatakan dalam persamaan:

$$P(A; z) = \frac{1}{A} \int_A i(x, z_c) dx \quad \in [0,1] \quad (3.2)$$

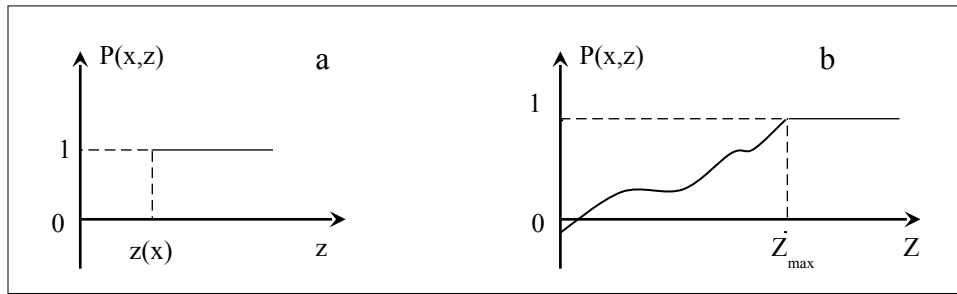
Apabila $P(A; z)$ diketahui, proporsi dari peubah diatas kadar batas z_c dinyatakan:

$$\text{Proporsi } z(x) > z_c = 1 - P(A; z) \quad (3.3)$$

Gambar 1 di bawah menunjukkan $i(x,z)$ dan $P(A; z)$ sebagai fungsi z dapat dilihat sebagai CDF (*cumulative distribution function*) dengan $P(A; z)$ menjadi rata-rata untuk semua $x \in A$.

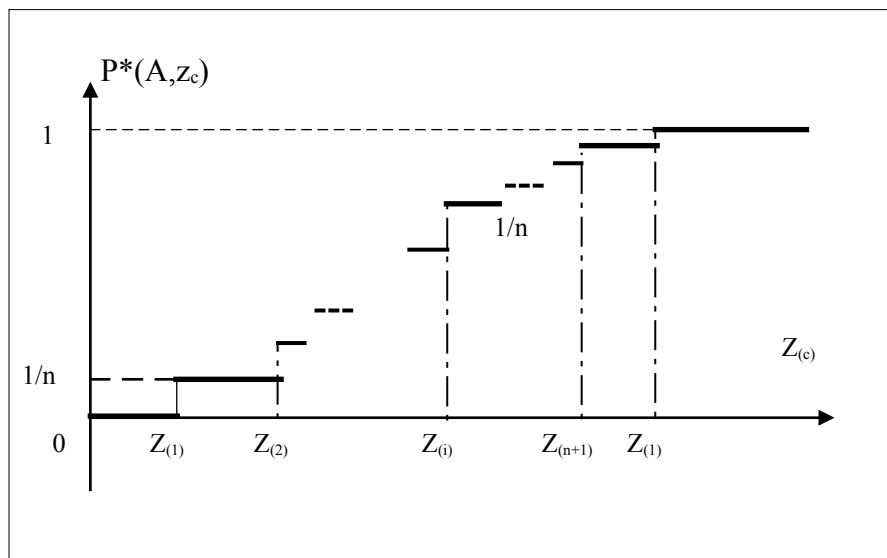
Proporsi dapat ditaksir dengan n nilai data dari $z(x)$. Jika $i(x_\alpha)$ dengan $x_\alpha \in A$, $\alpha=1 \dots n$, dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$P^*(A; z) = \frac{1}{n} \sum_{\alpha=1}^n i(x_{\alpha}; z_c) \tag{3.4}$$



Gambar 1. (a) fungsi indikator pada titik x
(b) proporsi nilai $z(x) \leq z$ dalam daerah A

Gambar 2 di bawah ini menunjukkan rata-rata hitung sederhana dari peubah indikator.



Gambar 2 Fungsi distribusi kumulatif menurut persamaan (3.2)

Berdasarkan kemenerusan ruang $z(x)$, $\{z(x), x_{\alpha} \in D\}$, dapat memberikan taksiran:

$$P^*(A; z) = \sum_{\alpha=1}^N \lambda_{\alpha}(z_c) \cdot i(x_{\alpha}; z) \tag{3.5}$$

Berdasarkan $x_{\alpha} \in D$ dan n bobot $\lambda_{\alpha}(z_c)$

Apabila diberikan z maka fungsi acak $I(x,z)$ muncul sebagai distribusi binomial dengan nilai harapan :

$$E\{1(x; z)\} = 1 \cdot \text{Prob}\{Z(x) \leq z\} + 0 \cdot \text{Prob}\{Z(x) > z\}$$

$$= \text{Prob}\{Z(x) \leq z\} = F(z) \quad (3.6)$$

Untuk semua $x \in$ stasioner di daerah D

Journel (1983,) mengatakan bahwa bobot λ_α dihitung dengan sistem *Simple Kriging* (SK) melalui perhitungan data indikator residual $[I(X_\alpha; Z) - F^*(z)] \cdot F^*(z)$ merupakan penaksir takbias dari frekuensi, $F(z)$:

$$F(z) = E\{P(A; Z_c)\} \quad (3.7)$$

Apabila data tidak dikelompokkan secara parsial, penaksir $F^*(z)$ dapat dihitung dari histogram data yang ada. Pengelompokkan kembali (*declustering*) memberikan alternatif untuk menaksir nilai harapan $F(z)$. Selanjutnya dengan kriging ditaksir *residual* $[P(A; z) - F^*(z)]$, sehingga

$$P^*(A; Z_c) - F^*(Z_c) = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_\alpha(Z_c) [i(X_\alpha; Z_c)] = F^*(Z_c) \quad (3.8)$$

Keterangan :

$\lambda_\alpha(Z_c)$ = Pembobot ke α untuk kadar batas Z_c . Penaksiran dengan SK ini berbeda dengan penaksir OK, yaitu jumlah pembobot tidak sama dengan satu. Penyusunan kembali persamaan memberikan hasil sebagai berikut (3.9) :

$$P^*(A; Z_c) = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_\alpha(Z_c) i(X_\alpha; Z_c) + \left[1 - \sum_{\alpha=1}^n \lambda_\alpha(Z_c) \right] F^*(Z_c) \quad (3.9)$$

Persamaan sistem SK tanpa Parameter Lagrange (Journel and Huijbregts; 1978, p.562) dapat ditulis sebagai berikut (3.10) :

$$\sum_{\beta=1}^n \lambda_\beta(Z_c) \rho_i(X_\alpha - X_\beta; Z_c) = \bar{\rho}_i(X_\alpha; A; Z_c), \text{ untuk } \alpha = 1, \dots, N \quad (3.10)$$

adalah nilai korelogram indikator untuk jarak $X_\alpha - X_\beta$ pada kadar batas Z_c dan nilai $\rho_i(X_\alpha; A; Z_c)$ adalah nilai rerata korelogram indikator antara lokasi X_k dan blok yang ditaksir. korelogram dihitung dari :

$$\rho_i(h, Z_c) = 1 - \gamma_i(h; z) / \text{var } i(x; z), \quad (3.11)$$

Keterangan : $\text{Var } i(x; z) = F^*(z) - F^*(z)^2$ menggunakan L kadar batas sama dengan perhitungan grafik, permodelan L semivariogram.

Perhitungan $L > 1$ semivariogram dapat diselesaikan dengan beberapa program untuk menghitung semivariogram setelah dimodifikasi menjadi indikator (kode). Kriging memberikan penyelesaian sistem persamaan L, sebab sebagian besar waktu kriging digunakan dalam pencarian sampel-sampel untuk setiap blok yang ditaksir. Semua

persamaan L akan dapat diselesaikan setelah pencarian sampel ini. Penaksiran linier probabilitas L kadar batas menghasilkan beberapa jenis kurva. Untuk setiap kadar batas dapat digambarkan sebuah kurva probabilitas, $P^*(A;Z_c)$ yang tidak melebihi kadar batas atau probabilitas kelebihan $z = 1 - P^*(A;Z_c)$.

Nilai rerata yang ditaksir dapat dihitung melalui persamaan yang lain, yaitu :

$$Q^*(a, o) = \sum_{i=1}^L z_i [P^*(A, z_{i+1}) - P^*(A, z_i)] \quad (3.11)$$

Keterangan : z_i = nilai tengah dari interval (z_i, z_{i+1})

Nilai tengah dapat dihasilkan dari persamaan :

$\frac{|z_i - z_{i+1}|}{2}$ atau nilai rerata yang diteliti dari semua nilai dalam selang (z_i, z_{i+1}) . Persamaan untuk menghitung volume harapan (*expectation*) kurang dari kadar batas z_1 dengan $L' < L$ yaitu:

$$Q^*(A, z) = \sum z_i [P^*(A, z_i) - P^*(A, z_{i-1})] \quad (3.12)$$

Dengan cara yang sama, volume harapan yang lebih besar dari kadar batas z_1 yaitu:

$$Q^*(A, z) = \sum z_i [P^*(A, z_{i+1}) - P^*(A, z_i)] \quad (3.13)$$

Kurva isokuantil dapat digambarkan dari fungsi distribusi untuk setiap grid. Nilai tengah dapat dicari dengan interpolasi antara z_a dan z_{a+1} dengan $P^*(A; z_a)$ merupakan nilai terbesar dari $P^*(A; z_c) \leq 0,5$

3. HASIL-HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1 Aplikasi metode IK pada data simulasi

Secara tradisional indikator-indikator ditentukan secara mutlak misalnya memilih sejumlah kadar batas (sekitar 10 – 15 tergantung pada kuantil distribusi kadar sampel), kemudian menentukan nilai indikator sampel untuk tiap kadar batas yang dipilih tersebut. Untuk nilai-nilai kadar batas yang rendah diberikan nilai indikator 1 dan kadar batas tinggi bernilai 0.

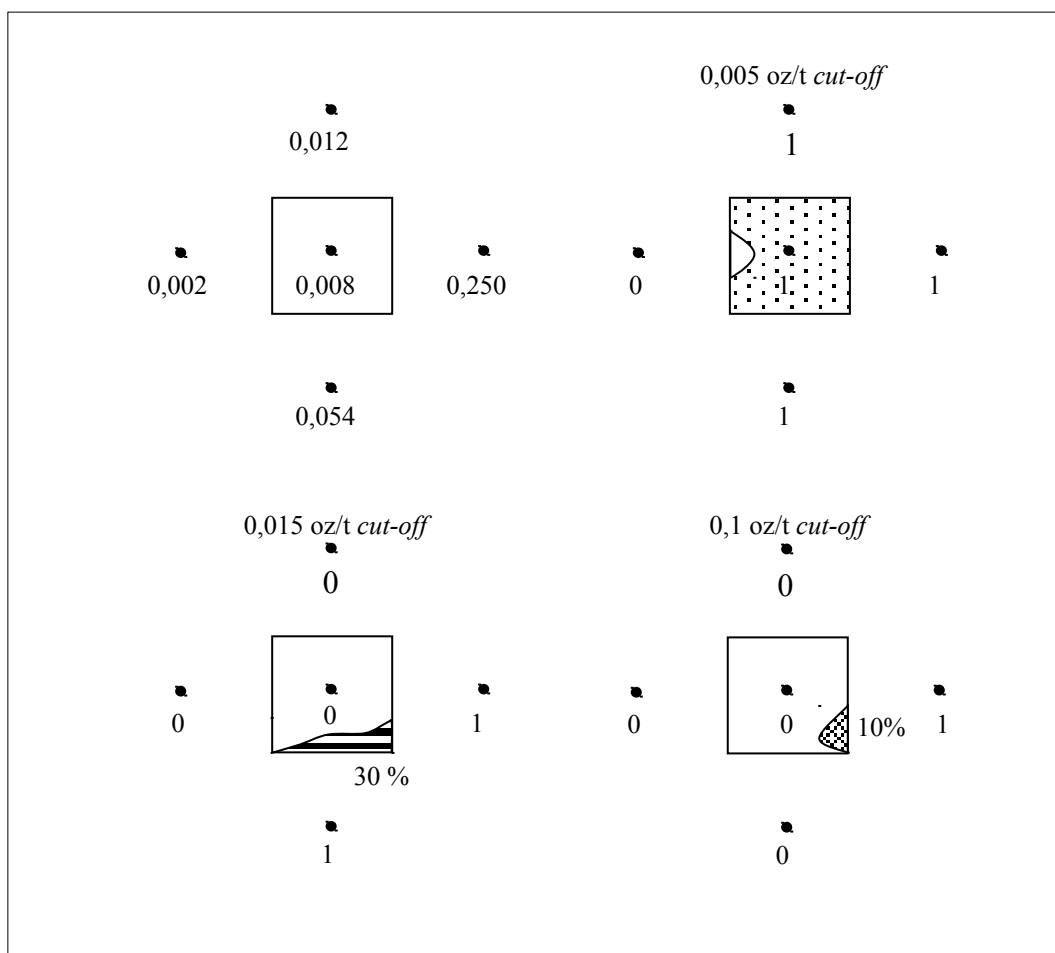
Pendekatan ini dilakukan untuk studi kasus sebagai berikut: sebuah sampel mempunyai kadar 0,008 oz/t terletak dalam sebuah blok dan dikelilingi empat sampel

lainnya dengan kadar berturut-turut 0,002 oz/t; 0,012 oz/t; 0,054 oz/t, dan 0,25 oz/t, lihat gambar di bawah (nilai dalam oz/t).

Pada studi kasus ini (Gambar 3) hanya digunakan tiga kadar batas yaitu sebesar 0,005 oz/t; 0,015 oz/t dan 0,10 oz/t. Kadar batas pertama (0,005 oz/t) digunakan untuk membedakan antara daerah mineralisasi dan *barren rock*.

Perubahan kadar bijih dengan nilai indikator dapat dilihat bahwa di sekeliling blok hanya ada satu sampel dengan indikator 0, sedangkan sampel lain mempunyai nilai indikator 1. Selanjutnya blok ditaksir dengan metode sepejarak atau kriging sehingga diperoleh hasil taksiran blok sebesar 0,9; artinya 90 % blok merupakan daerah mineralisasi dengan kadar di atas 0,005 oz/ton.

Kadar batas kedua (0,015 oz/t) digunakan untuk memisahkan material yang mempunyai kadar sangat rendah yaitu sekitar 0,01 oz/t. Dengan perhitungan yang sama diperoleh dua sampel dengan indikator 0 yang terletak di dalam dan di luar blok yang ditaksir. Penaksiran blok dengan cara yang sama menghasilkan probabilitas blok sebesar 0,30 (15% pembobot untuk setiap sampel diluar blok dan 40% pembobot untuk sampel di dalam blok).



Gambar 3. Ilustrasi penaksiran kadar dengan metode IK pada cebakan bijih emas
Perhitungan dengan kadar batas terakhir (0,10 oz/t) diperoleh satu sampel dengan nilai indikator 1 dan blok yang ditaksir mempunyai nilai probabilitas 0,10.

Secara ringkas blok yang ditaksir dengan berbagai kadar batas memberikan hasil:

- * $1,0 - 0,9 = 10\%$ blok terdiri dari material bukan mineralisasi dengan kadar nol
- * $0,9 - 0,3 = 60\%$ blok terdiri dari material kadar rendah yaitu 0,009 oz/t
- * $0,3 - 0,1 = 20\%$ blok terdiri dari material kadar medium yaitu 0,039 oz/t
- * $0,1 = 10\%$ blok terdiri dari material kadar tinggi yaitu 0,332 oz/t

Kadar material di dalam setiap kelompok merupakan rata-rata hitung biasa dari semua kadar sampel dalam kelompok tersebut. Taksiran kadar rata-rata blok pada sampel di atas adalah :

$$= (0,1 \times 1) + (0,6 \times 0,009) + (0,2 \times 0,039) + (0,1 \times 0,332) \\ = 0,046 \text{ oz/t}$$

Berdasarkan pertimbangan pengaruh sebesar 40% terhadap sampel di dalam blok dan pengaruh sebesar 15% terhadap keempat sampel, penaksiran kadar menjadi:

$$= (0,15 \times 0,002) + (0,15 \times 0,012) + (0,15 \times 0,25) + (0,15 \times 0,054) + (0,4 \times 0,008) \\ = 0,051 \text{ oz/t}$$

Apabila terdapat sampel dengan kadar tinggi sebesar 2 oz/t (*outlier*) sebagai pengganti kadar 0,25 oz/t, dengan cara yang sama, kadar rata-rata menjadi sebesar 0,313 oz/t. Penaksiran kadar sangat tergantung dari nilai kadar *outlier* tersebut. Hal ini merupakan kelebihan cara penaksiran kadar dengan metode IK. Berdasarkan studi kasus di atas dapat ditunjukkan bahwa 30% blok tersebut terdiri dari material di atas 0,015 oz/t dengan kadar 0,137 oz/t.

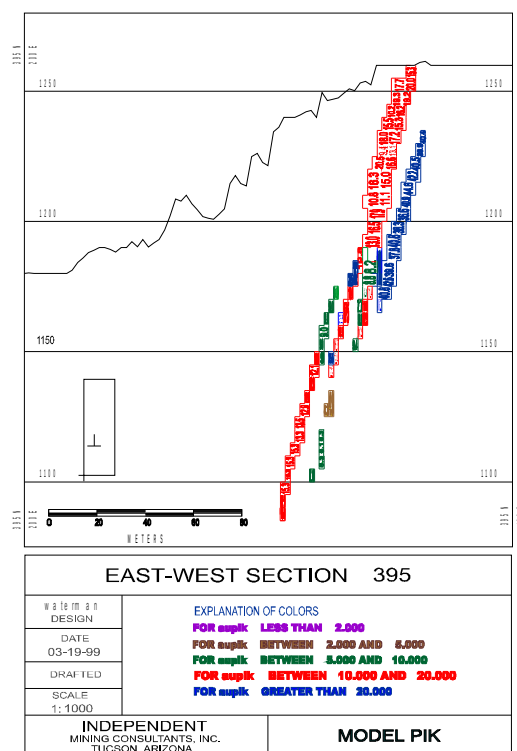
3.2 Aplikasi metode IK pada *data set* tambang bijih emas

Data set dalam penelitian ini adalah kadar bijih emas di daerah Jawa Barat Indonesia. Cebakan urat bijih emas merupakan *tension gash fracture* yang diisi oleh cairan hidrotermal pembawa bijih emas membentuk urat-urat kuarsa dan teralterasi pada dinding batuan. Mineralisasi kadar tinggi emas ditemukan pada alterasi silisik yang berhubungan dengan zone sesar ditandai mineral lempung.

Data pemodelan bijih emas berasal dari 57 lubang bor dan 10 data lombong (*stope*). *Assay* menunjukkan kemiringan distribusi moderat (skewed to the right) dengan *coefficient*

of variation sebesar 1.50. Analisis desil (*decile analysis*) merekomendasikan tidak diperlukan pemotongan kadar tinggi. Interval *assay* dirata-ratakan menjadi komposit sepanjang 2m untuk memperoleh geometri *support* yang sama. Statistik komposit memberikan data kadar rata-rata emas sebesar 12.80 g/t Au.

Variogram dihitung berdasarkan semua data sepanjang jurus urat bijih emas (N12°E) dan sepanjang kemiringan urat bijih emas (75° to west). Model variogram adalah *spherical model*. Gambar 4 menunjukkan variogram indikator sepanjang jurus dan kemiringan urat bijih emas pada diskriminator 3 g/t Au.



Gambar 4. Variogram indikator urat bijih emas pada diskriminator 3 g/t Au

Pemodelan sumberdaya bijih emas di lokasi penelitian menghasilkan jumlah, kadar dan kandungan logam emas memakai empat kadar batas (*cut-off grade*). Tabel 1 di bawah menunjukkan hasil penelitian pada diskriminator 0, 4, 6, dan 10g/t.

Analisis regresi dipakai untuk mengetahui keakuratan metode penaksiran kadar bijih emas memakai metode kriging indikator. Tabel 2 di bawah ini menunjukkan hasil regresi linier terhadap taksiran kadar emas. Berdasarkan nilai parameter regresi, metode kriging indikator sesuai untuk diterapkan untuk penaksiran kadar bijih emas.

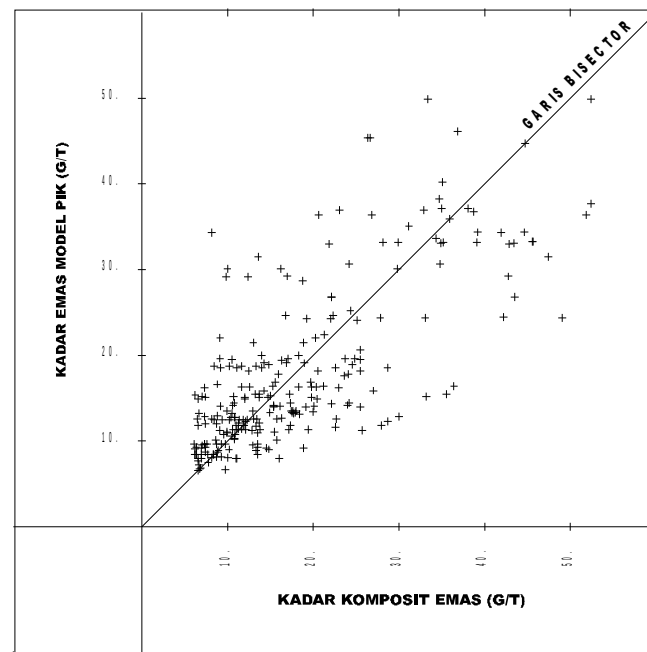
Tabel 1. Hasil pemodelan urat bijih emas

Cog (g/t)	Jumlah sumberdaya Au (ton)
0	404,16
4	400,56
6	376,27
10	295,72
Cog (g/t)	Kadar (g/t)
0	18,62
4	18,76
6	19,59
10	22,66
Cog (g/t)	Kandungan logam Au (kg)
0	7.525
4	7.514
6	7.371
10	6.701

Tabel 2. Hasil regresi linier antara data dan taksiran kadar emas

Parameter regresi	Nilai
Jumlah sampel	255
<i>Intercept</i>	3,02
<i>Slope</i>	0,65
<i>Standard error of estimate (SEE)</i>	2,36
<i>Coefficient of correlation (R)</i>	0,70

Diagram pencar digunakan untuk mengetahui akurasi taksiran kadar emas. Pada Gambar 5 di bawah menunjukkan *plotting* data dan taksiran untuk setiap lokasi yang sama. Hasil statistik menunjukkan bahwa penaksiran kadar bijih emas memakai metode kriging indikator cukup akurat.



Gambar 5. Diagram pencar antara data dan taksiran pada lokasi yang sama

4. KESIMPULAN

1. Penaksiran kadar dengan metode IK cocok diterapkan pada cebakan logam mulia (*precious metal*) seperti bijih emas yang memiliki distribusi kadar yang tidak simetris.
2. Keuntungan metode penaksiran dengan nilai indikator yaitu dapat digunakan untuk penaksiran perolehan blok dengan cara mengetahui jumlah *waste* di dalam blok tersebut. Cara penaksiran tersebut dapat digunakan untuk mengetahui kadar dan tonase (*grade-tonnage*) pada suatu penambangan bijih.
3. Metode IK termasuk dalam metode penaksiran non linier yang relatif sederhana, waktu penggunaan lebih singkat dan mudah dipahami karena menggunakan metode OK untuk menaksir kadar rata-rata.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Adisoma G.S., 1993, *The Application of The Jackknife in Geostatistical Resource Estimation : Robust Estimator and Its Measure of Uncertainty*, Unpublished Ph.D. Dissertation, The University of Arizona.
2. Adisoma G.S., and Kim Y.C., 1994, *Jackknife Kriging: A Natural way to Unsmooth Ordinary Kriging Estimation*, Regional APCOM Symposium, Computer

- Applications and Operations Research in The Mineral Industries, 20th – 23TM June 1994, Slovenia, hal. 63-66.
3. Meer, F.V.D., 1993, *Introduction to Geostatistic*, Geology Division, Gel 38, ITC, November, 72 hal.
 4. Stephen, H., 1984, *Nonparametric Geostatistics*, Elsevier Applied Science Publishers, London, 145 hal.
 5. Hu, L.Y., 1989, *Comparing Gamma Isofactorial Disjunctive Kriging and Indicator Kriging for Estimating Local Spatial Distributions*, *Geostatistics, Journal*, Vol.1, hal.335-345.
 6. Isaak, E.H. & Srivastava M.R., 1989, *An Introduction to Applied Geostatistics*, Oxford University Press, New York, 561 hal.
 7. Journel, A.G., 1989, *Fundamental of Geostatistics in Five Lessons*, Short Course, American Geophysical Union, Washington D.C., 40 hal.
 8. Journel, A.G., 1984, *Geostatistics : Models and Tools for The Earth Science*, *Journal, Mathematical Geology* 18, No.1, hal.119-140
 9. Journel, A.G., 1992, *Geostatistics : Roadblocks and Challenges*, Fourth International Geostatistics Congress, 12 hal.
 10. Journel, A.G., 1988, *Geostatistics For The Environment Science, An introductions*, Project No. CR 811993, Applied Earth Sciences Department, Stanford University, Stanford, CA 94305, 135 hal.
 11. Journel, A.G., 1983, *Non Parametric Estimation of Spatial Distribution*, *Mathematical Geology* 15, Journal, hal.445-468.
 12. Journel, A.G., 1985, *Recoverable Reserves Estimation : The Geostatistical Approach*, *Mining Engineering, Journal*, June, hal.563-568.
 13. Myers, D.E, 1991, *Interpolation and Estimation with Spatially Located Data*, Department of Mathematics, University of Arizona, Tucson, Tutorial,Journal, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, hal.209-228.
 14. Parrish, I.S., 1997, *Geologist's Gordian Knot : To Cut or Not To Cut*, *Mining Engineering, Journal*, April, hal.45-49.
 15. Philip, G.M., and Watson D.F., 1986, *Matheronian Geostatistics – Quo Vadis ?*, *Journal, Mathematical Geology* 15, No.1,hal.93-117
 16. Sullivan J.A., 1984, *Non-Parametric Estimation of Spatial Distribution*, Unpublished Ph.D. Dissertation, Stanford University, 367 hal.

17. Waterman, S., 2009, Pendekatan weighted jackknife ordinary kriging pada permasalahan outlier dan ukuran presisi, *Prosiding TPT Perhapi*, Jakarta.