

Pengaruh outlier pada perhitungan sumberdaya emas di vein XYZ PT Antam UBPE Pongkor

Influence of outlier on gold resource estimation in vein XYZ at PT Antam UBPE Pongkor

Muhammad Imam Sidik Permana¹, Nurhakim², Hafidz Noor Fikri^{3*}, Halley Rionanda⁴

¹⁻³Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

⁴Grade Control Engineer PT Antam UBPE Pongkor

JL. A. Yani KM 35,5 Banjarbaru 70714. Telp 0812-5475-6338

e-mail: *im.sidik@gmail.com, nurhakim@ulm.ac.id, hafidz@ulm.ac.id

ABSTRAK

Outlier pada endapan bijih emas adalah data yang kadar Au-nya jauh berbeda dibandingkan dengan keseluruhan data, yang mungkin disebabkan oleh kesalahan pada saat sampling, analisis, atau input data atau memang terjadi secara natural. Tentu saja outlier akan mengganggu dalam proses analisis data dan estimasi sumberdaya sehingga harus diberi perlakuan khusus terhadap data yang dikategorikan sebagai outlier tersebut. Di sini, Perlakuan terhadap outlier secara statistik yang digunakan yaitu test for an extensive data set dan test for a restricted data set. Dalam mengidentifikasi outlier digunakan metode grafis menggunakan histogram serta diagram pencar, sedangkan estimasi sumberdaya menggunakan metode NNP dan IDS. Sumberdaya terukur bijih emas menggunakan metode NNP dan IDS sebesar 348.537 ton. Berdasarkan nilai cut off grade kadar Au > 3 gpt sumberdaya emas menggunakan metode NNP sebesar 499,55 kg emas, sedangkan metode IDS sebesar 49,72 kg emas. Di sisi lain, sumberdaya emas dengan extensive data set menggunakan metode NNP sebesar 502,60 kg emas, sedangkan metode IDS sebesar 31,25 kg dan sumberdaya emas dengan restricted data set menggunakan metode NNP sebesar 485,84 kg emas, dan metode IDS sebesar 32,93 kg emas.

Kata-kata kunci: Cutoff grade, extensive dan restricted data set, IDS, NNP

ABSTRACT

Outliers in gold ore deposits are data whose Au content is significantly different compared to the overall data, which may be caused by errors during sampling, analysis, or data input or indeed occur naturally. Outliers will interfere with the process of data analysis and resource estimation, so special treatment must be given to data categorized as outliers. Here, the statistical treatment of outliers used are test for an extensive data set and test for a restricted data set. In identifying outliers, graphical methods using histograms and scatter diagrams are used, while resource estimation uses the NNP and IDS methods. The measured resource of gold ore using the NNP and IDS methods is 348,537 tons. Based on the cut off grade value of Au > 3 gpt, the gold resource using the NNP method is 499.55 kg of gold, while the IDS method is 49.72 kg of gold. On the other hand, gold resources with extensive data set using NNP method amounted to 502.60 kg gold, while IDS method amounted to 31.25 kg and gold resources with restricted data set using NNP method amounted to 485.84 kg gold, and IDS method amounted to 32.93 kg gold.

Keywords: Cut-off grade, extensive and restricted data set, IDS, NNP

PENDAHULUAN

Kegiatan pertambangan memiliki tahapan yang harus dilalui yaitu penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, penambangan, pengolahan [1, 2, 3] dan dampak lingkungan [4]. Dari tahapan - tahapan tersebut, eksplorasi merupakan tahapan dasar dalam menentukan keberhasilan suatu kegiatan penambangan. Eksplorasi adalah tahapan untuk mengestimasi atau menaksir letak, jumlah, dan bentuk suatu endapan bahan galian.

Perhitungan sumberdaya berperan penting dalam menentukan jumlah, kualitas, dan kemudahan dalam eksplorasi secara komersial dari suatu endapan [5, 6]. Sebab hasil dari perhitungan sumberdaya yang baik dapat digunakan untuk mengevaluasi apakah sebuah kegiatan penambangan yang direncanakan layak untuk ditambang atau tidak [7, 8, 9, 10].

Dalam ilmu perhitungan sumberdaya terdapat berbagai metode yang dapat digunakan untuk menentukan kadar hingga besar sumberdaya suatu endapan. Mengingat pemilihan metode dalam perhitungan sumberdaya harus sesuai dengan sisi filosofinya, maka untuk endapan emas yang diusahakan oleh PT Antam UBPE Pongkor dimana

endapan emasnya tercampur dengan mineral pengotor tentu diperlukan metode untuk mengestimasi sumberdaya dari suatu endapan.

METODOLOGI

Mineralisasi Emas di Daerah Penelitian

Proses pembentukan mineral emas - perak dengan sistem epitermal sulfida rendah, biasanya akan terjadi pada zona yang cukup jauh dari tubuh magmatik. Larutan sisa magmatik yang disebut dengan larutan hidrotermal akan menerobos *host rock* melewati celah dan rekahan, dengan temperatur maksimum 250°C. Selanjutnya larutan sisa magma tersebut akan berangsur membeku dan jika pada larutan tersebut mengandung mineral emas, maka larutan sisa magma dengan sendirinya mengandung logam emas. Ciri khas cebakan emas merupakan fase epitermal sulfida rendah antara lain suhu relatif rendah (50 - 250°C) dengan salinitas bervariasi antara 0-5 wt.%, terbentuk pada kedalaman dangkal (~1 km) dengan jenis air berupa air meteorik serta sedikit air magmatik dan kandungan mineral kuarsa - adularia - serisit [11].

Batuan induk mineralisasi emas Pongkor adalah batuan erupsi gunungapi yang disusun oleh tuf breksi, tuf lapili dan lava andesit, yang tertutupi oleh breksi vulkanik berumur Kuarter. Batuan induk ini merupakan salah satu paket erusif yang setara dengan formasi berumur Tersier [12].

Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil pemboran permukaan *Vein XYZ* sebanyak 26 data bor dan 174 sampel *full coring* yang terdiri dari :

1. Data *collar*, meliputi koordinat titik bor dan total kedalaman stiap titik bor.
2. Data *survey*, meliputi data *dip* dan *azimuth* dari setiap titik bor.
3. Data *assay*, meliputi data kadar Au dan Ag pada setiap interval titik bor.
4. Data *lithology*, meliputi data jenis batuan pada setiap titik bor.

Model blok

Pemakaian model blok bertujuan untuk memodelkan suatu cebakan mineral menjadi blok tiga dimensi Dalam kerangka model blok inilah semua tahapan pekerjaan dilakukan, mulai dari penaksiran kadar, perancangan bata penambangan hingga ke perancangan tambang jangka panjang dan jangka pendek [13].

Nearest neighbour point (NNP)

Dalam kerangka model blok, dikenal jenis penaksiran *polygon* dengan jarak titik terdekat (rule of nearest point), yaitu nilai hasil penaksiran hanya dipengaruhi oleh nilai contoh yang terdekat, atau dengan kata lain titik (blok) terdekat memberikan nilai pembobotan satu untuk titik yang ditaksir, sedangkan titik (blok) yang lebih jauh memberikan nilai pembobotan nol (tidak punya pengaruh) [13].

Inverse Distance Square (IDS)

Metode *Inverse distance square* merupakan suatu cara penaksiran yang telah memperhitungkan adanya hubungan letak ruang (jarak), merupakan kombinasi linier atau harga rata – rata terbobot (weighted average) dari titik – titik data yang ada di sekitarnya [13].

Analisis Statistik Univariate dan Bivariate

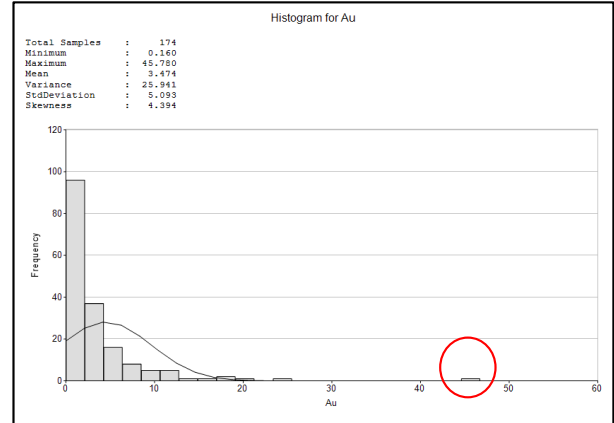
Analisis statistik dilakukan dengan penggambaran histogram dan *scatter plot* untuk menentukan batas kadar maksimum. Analisis statistik dilakukan pada parameter kadar Au dan Ag dari data titik bor di lokasi *Vein XYZ* dengan beberapa metode perhitungan statistik deskriptif dari parameter tersebut (Tabel-1). Hasil perhitungan statistik data digunakan sebagai batas dan acuan dalam pembuatan blok model.

Dari analisis *univariate* (Gambar-1) kadar Au dengan menggunakan histogram dijelaskan bahwa distribusi data bernilai positif yang ditunjukkan dengan puncak kurva berada dikiri dengan nilai skewness 4,39. Hasil analisis data didapatkan nilai minimum kadar Au 0,16 gpt, nilai maksimum kadar Au 45,78 gpt, kadar rata – rata Au sebesar 3,47 gpt, dan nilai standard deviasinya sebesar 5,093.

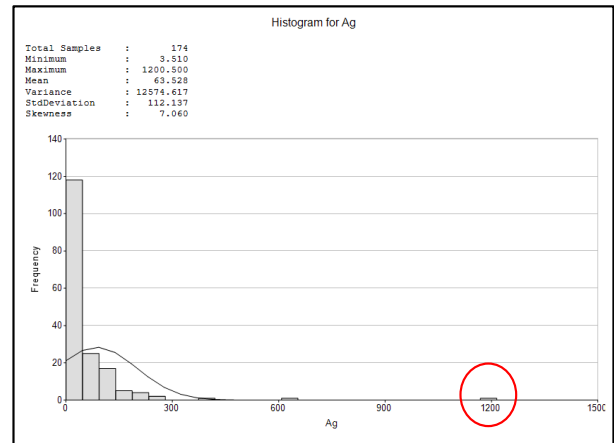
Dari analisis *univariate* data kadar Ag (Gambar-2) dengan menggunakan histogram dijelaskan bahwa distribusi data bernilai positif yang ditunjukkan dengan puncak kurva berada dikiri dengan nilai skewness 7,06.

Hasil analisis data didapatkan nilai minimum kadar Ag 3,51 gpt, nilai maksimum kadar Ag 1200,50 gpt, dan kadar rata – rata Ag sebesar 63,52 gpt, dan nilai standard deviasinya sebesar 112,137.

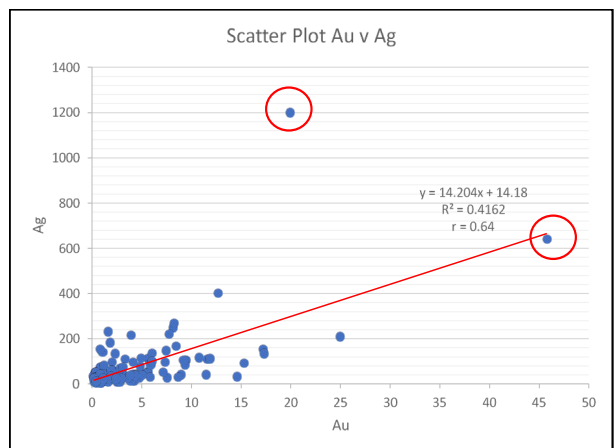
Dari analisis *bivariate* (Gambar 3) dengan menggunakan *scatter plot*, dijelaskan bahwa hubungan antara kadar Au dan Ag pada lokasi yang sama mempunyai hubungan yang kuat ditandai dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,64. Garis merah yang naik menunjukkan bahwa setiap kenaikan kadar Au diikuti dengan kenaikan kadar Ag.



Gambar-1. Histogram Au



Gambar-2. Histogram Ag



Gambar-3. Scatter Plot Au v Ag

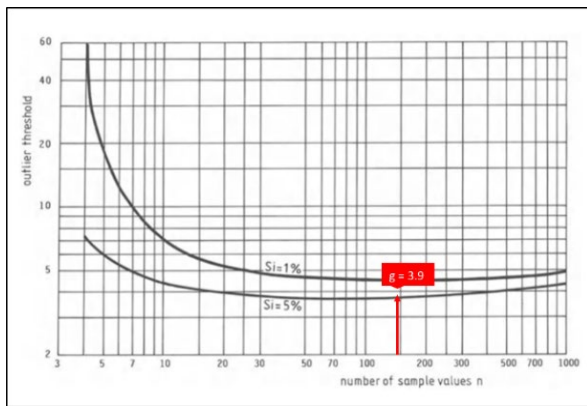
Pada histogram Au dan Ag serta *scatter plot* Au dan Ag terdapat data *outlier* yang ditunjukkan oleh lingkaran berwarna merah. *Outlier* adalah suatu data yang jauh berbeda dibandingkan dengan keseluruhan data. Data

yang jauh berbeda ini dapat disebabkan oleh kesalahan pada saat sampling, analisis, atau input data oleh subjek. Dengan demikian, *outlier* akan mengganggu dalam proses analisis data dan estimasi sehingga harus diberi perlakuan khusus terhadap data *outlier*.

Perlakuan Data Outlier

Perlakuan terhadap data *outlier* terdiri dari:

1. *Test for an extensive data set* adalah uji untuk menghitung nilai rata – rata dan standar deviasi tanpa nilai tertinggi dikali dengan *g*, dimana *g* adalah nilai batas *outlier* yang dapat ditentukan melalui diagram *outlier threshold*. Uji *extensive data set* akan memberikan perlakuan terhadap data *outlier* berupa mereduksi data – data tertinggi kadar Au yang diidentifikasi sebagai *outlier* [14, Gambar 4].



Gambar-4. Diagram outlier threshold

2. *Test for a restricted data set* bisa disebut juga dengan *Q Test* yang digunakan untuk melakukan identifikasi dan penolakan data *outlier*. Pada *Q test* hanya dapat menolak satu data dari kumpulan data *Q test*. Uji *restricted data set* akan memberikan perlakuan terhadap data *outlier* berupa membuang data – data tertinggi kadar Au [14].

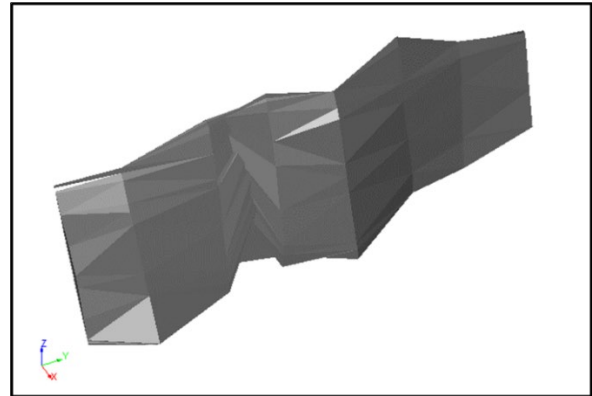
Tabel-1. Statistik Deskriptif kadar Au

Statistik	Au	Au extensive	Au restricted
Jumlah DH	26	26	26
Jumlah Sampel	174	174	174
Mean	3,47	3,11	3,23
Median	1,78	1,78	1,77
Mode	0,38	13	0,54
Standard Deviation	5,11	3,37	3,97
Sample Variance	26,09	11,35	15,78
Kurtosis	28,86	1,99	7,89
Skewness	4,43	1,68	2,56
Range	45,62	12,84	24,75
Minimum	0,16	0,16	0,16
Maximum	45,78	13	24,91
Sum	604.54	540.57	558.76

HASIL DAN DISKUSI

Permodelan Endapan

Hasil penentuan batas model endapan (Gambar 5) diperoleh endapan berbentuk tabular memanjang dari Utara ke Selatan dengan ketebalan rata - rata sebesar 91,66 m, panjang rata - rata sebesar 377,6 m, lebar rata - rata sebesar 129,49 m, kemiringan rata - rata sebesar 73,770, serta total luas area sebesar 89.151,63 m² dan volume sebesar 36.867,74 m³.



Gambar-5. Model Endapan

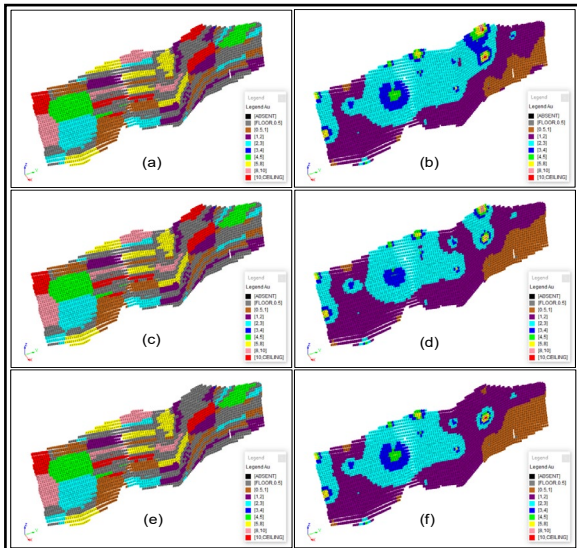
Dalam melakukan proses estimasi, terlebih dahulu dibuatkan model blok. Sistem model blok secara keseluruhan merupakan *support* geometri untuk melakukan penaksiran nilai kadar Au. Model blok yang digunakan dalam estimasi sumberdaya emas akan berupa blok tiga dimensi, dimana memiliki dimensi panjang, lebar dan tinggi, terdiri dari *grid* atau *cell* yang lebih kecil dan keseluruhan model blok yang dibuat harus melingkupi semua lubang bor. Penentuan ukuran blok model yang digunakan adalah berdasarkan dimensi lubang bukaan terowongan yaitu dengan 4 meter x 4 meter x 3 meter didapatkan jumlah blok 6.004 blok.

Distribusi Kadar Au Hasil Estimasi NNP dan IDS

Setelah penentuan model blok dilakukan interpolasi data kadar Au sebanyak 174 sampel Au dengan radius pencarian data pada *X axis*, *Y axis*, *Z axis* masing – masing sebesar 1000 dengan bentuk pencarian data berupa *isotropic*.

Perhitungan sumberdaya emas menghitung sumberdaya dengan metode NNP dan IDS pada kadar Au, kadar Au hasil uji *extensive data set* dan, kadar Au hasil uji *restricted data set*.

Pada model hasil estimasi dilakukan komparasi distribusi kadar Au yang dilakukan pada model blok, jumlah blok, dimensi blok, dan luas area yang sama, hanya berbeda pada metode estimasi yang digunakan. Kadar Au bernilai tinggi pada metode NNP dan IDS ditunjukkan pada blok yang berwarna kuning, merah muda, dan merah dimana pada metode NNP terdistribusi tidak merata sedangkan pada metode IDS terdistribusi terpusat. Sedangkan untuk kadar Au yang bernilai sedang pada metode NNP dan IDS ditunjukkan pada blok berwarna biru muda, biru, dan hijau dimana pada metode NNP terdistribusi tidak merata dan pada metode IDS terdistribusi terpusat (Gambar-6).



Keterangan :

- (a) : Hasil estimasi kadar Au dengan metode NNP
- (b) : Hasil estimasi kadarAu dengan metode IDS
- (c) : Hasil estimasi kadar Au dengan metode NNP menggunakan data hasil uji *extensive data set*
- (d) : Hasil estimasi kadarAu dengan metode IDS menggunakan data hasil uji *extensive data set*
- (e) : Hasil estimasi kadar Au dengan metode NNP menggunakan data hasil uji *restricted data set*
- (f) : Hasil estimasi kadar Au dengan metode IDS menggunakan data hasil uji *restricted data*

Gambar-6. Model hasil estimasi distribusi kadar Au

Tabel-2. Hasil perhitungan sumberdaya emas

Kadar (gpt)	Au NNP		Au IDS		Au NNP <i>extensive</i>		Au IDS <i>extensive</i>		Au NNP <i>restricted</i>		Au IDS <i>restricted</i>	
	Tonnase (ton)	Kadar rata - rata (gpt)	Tonnase (ton)	Kadar rata - rata (gpt)	Tonnase (ton)	Kadar rata - rata (gpt)	Tonnase (ton)	Kadar rata - rata (gpt)	Tonnase (ton)	Kadar rata - rata (gpt)	Tonnase (ton)	Kadar rata - rata (gpt)
(0 - 0.5)	120044	0.0	75	0.5	120044	0.0	163	0.5	123897	0.0	255	0.5
(0.5 - 1)	33163	0.7	24097	0.9	33163	0.7	36368	0.9	33163	0.7	43343	0.8
(1 - 2)	35821	1.5	153422	1.6	35821	1.5	183355	1.6	35821	1.5	184185	1.6
(2 - 3)	45961	2.4	127814	2.4	45961	2.4	106406	2.3	45961	2.4	96375	2.3
(3 - 4)	14	3.9	29191	3.4	14	3.9	13625	3.4	14	3.9	15302	3.4
(4 - 5)	35675	4.4	7223	4.4	35675	4.4	4256	4.4	35675	4.4	4851	4.4
(5 - 8)	17268	6.5	5286	6.0	17268	6.5	3327	6.1	17268	6.5	3424	6.1
(8 - 10)	27405	9.1	1019	8.8	27405	9.1	917	8.7	27405	9.1	521	8.8
(≥ 10)	33186	14.5	408	11.4	33186	12.6	120	11.3	29333	14.6	282	11.8
Total	348537	4.8	348537	4.4	348537	4.6	348537	4.4	348537	4.8	348537	4.4

Dari Grafik kadar - tonnase bijih terhadap *cut off grade* hasil estimasi kadar Au *extensive* (Gambar 8) dapat disimpulkan bahwa setiap kenaikan *cut off grade*, maka akan terjadi penurunan jumlah tonase pada setiap metode. Perbedaannya hanya pada jumlah tonase. Pada metode NNP jumlah tonase pada *cut off* 3 gpt sebesar 113.534 ton dengan kadar rata – rata 4,4 gpt, sedangkan pada metode IDS jumlah tonase bijih emas dengan *cut off* yang sama sebesar 8.619 ton dengan kadar rata – rata 3.6 gpt. Selisih tonnase dari kedua metode sebesar 104.915 ton atau 92,4 %.

Grafik kadar - tonnase bijih terhadap *cut off grade* hasil estimasi kadar Au *restricted* (Gambar 9) menunjukkan estimasi kadar Au dengan metode NNP dan IDS. Estimasi dengan metode NNP dan IDS menunjukkan grafik linier yang turun pada tonase terhadap *cut off* Au. Setiap kenaikan *cut off* Au maka terjadi penurunan jumlah tonase dari bijih.

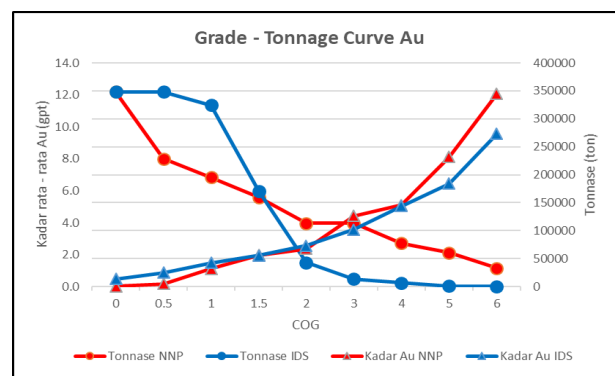
Hasil Perhitungan Sumberdaya

Grafik kadar - tonnase bijih terhadap *cut off grade* hasil estimasi kadar Au menunjukkan estimasi kadar Au dengan metode NNP dan IDS (Gambar 7, Tabel 2). Estimasi dengan metode NNP dan IDS menunjukkan grafik linier yang turun pada tonase terhadap *cut off* Au. Setiap kenaikan *cut off* Au maka terjadi penurunan jumlah tonase dari bijih. Kemudian kadar rata – ratanya berada diatas posisi *cut off grade*.

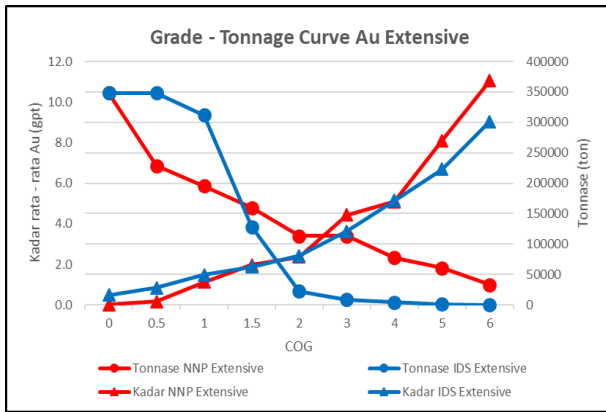
Dari Grafik kadar - tonnase bijih terhadap *cut off grade* hasil estimasi kadar Au dapat disimpulkan bahwa setiap kenaikan *cut off grade*, maka akan terjadi penurunan jumlah tonase pada setiap metode. Perbedaannya hanya pada jumlah tonase. Pada metode NNP jumlah tonase pada *cut off* 3 gpt sebesar 113.534 ton dengan kadar rata – rata 4,4 gpt, sedangkan pada metode IDS jumlah tonase bijih emas dengan *cut off* yang sama sebesar 13.937 ton dengan kadar rata – rata 3.6 gpt. Selisih tonnase dari kedua metode sebesar 99.577 ton atau 87,7 %.

Grafik kadar - tonnase bijih terhadap *cut off grade* hasil estimasi kadar Au *extensive* menunjukkan estimasi kadar Au dengan metode NNP dan IDS. Estimasi dengan metode NNP dan IDS menunjukkan grafik linier yang turun pada tonase terhadap *cut off* Au. Setiap kenaikan *cut off* Au maka terjadi penurunan jumlah tonase dari bijih. Kemudian kadar rata – ratanya berada diatas posisi *cut off grade*.

Kemudian kadar rata – ratanya berada diatas posisi *cut off grade*.

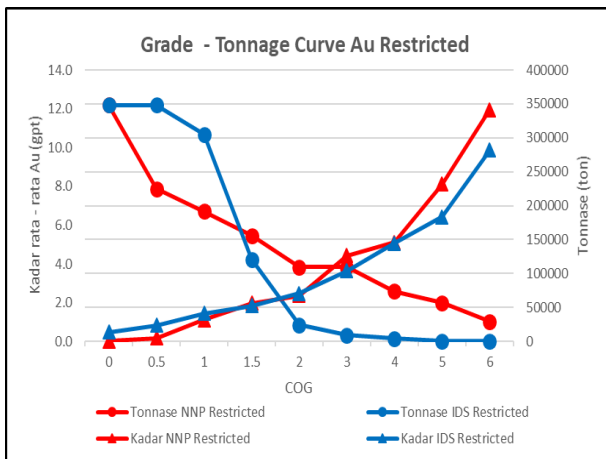


Gambar-7. Grafik Kadar - Tonnase Bijih terhadap *cut off grade* hasil estimasi kadar Au



Gambar-8. Grafik Kadar - Tonnase Biji terhadap *cut off grade* hasil estimasi kadar Au *extensive*

Dari Grafik kadar - tonnase biji terhadap *cut off grade* hasil estimasi kadar Au *restricted* dapat disimpulkan bahwa setiap kenaikan *cut off grade*, maka akan terjadi penurunan jumlah tonase pada setiap metode. Perbedaannya hanya pada jumlah tonase. Pada metode NNP jumlah tonase pada *cut off* 3 gpt sebesar 109.681 ton dengan kadar rata – rata 4,4 gpt, sedangkan pada metode IDS jumlah tonase biji emas dengan *cut off* yang sama sebesar 9.077 ton dengan kadar rata – rata 3.6 gpt. Selisih tonnase dari kedua metode sebesar 100.604 ton atau 91,7 %.



Gambar-9. Grafik Kadar - Tonnase Biji terhadap *cut off grade* hasil estimasi kadar Au *restricted*

Jumlah Sumberdaya Terukur Logam Emas

Berdasarkan SNI 4726 : 2011 tentang Pedoman pelaporan, sumberdaya, dan cadangan mineral, hasil perhitungan sumberdaya emas termasuk ke dalam katagori Sumberdaya Terukur. Hal ini didasarkan pada hasil eksplorasi rinci dan lokasi informasi cukup rapat dengan rata – rata interval lubang bor 50 m secara laterit.

Tabel-3. Jumlah Sumberdaya Terukur Logam Emas

Sumberdaya Terukur Au	Kadar Rata – rata Au (gpt)	Tonnase Biji (ton)	Logam Au (kg)
Au NNP	4,4	113.53	499,55
Au IDS	3,6	13.94	49,72
Au <i>extensive</i> NNP	4,4	113.53	502,60
Au <i>extensive</i> IDS	3,6	8.62	31,25
Au <i>restricted</i> NNP	4,4	109.68	485,54
Au <i>restricted</i> IDS	3,6	9.08	32,93

Dapat dilihat pada tabel Jumlah Sumberdaya Terukur Logam Emas bahwa perolehan sumberdaya logam emas hasil estimasi dengan metode NNP cenderung berkisar antara 485 – 500 kg, sedangkan perolehan sumberdaya logam emas dengan metode IDS memiliki selisih hampir 90 % lebih kecil dari perolehan metode NNP (Tabel 3).

Perbandingan logam Au antara metode NNP dengan IDS yang berbeda sangat signifikan ini disebabkan oleh metode yang digunakan sangat sensitif, oleh karena itu hendaknya dilakukan analisis data secara geostatistik [15].

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah :

1. Hasil penentuan batas model endapan diperoleh endapan berbentuk tabular memanjang dari Utara ke Selatan dengan ketebalan rata - rata sebesar 91,66 m, panjang rata - rata sebesar 377,6 m, lebar rata - rata sebesar 129,49 m, kemiringan rata - rata sebesar 73,770, serta total luas area sebesar 89.151,63 m² dan volume sebesar 36.867,74 m³.
2. Hasil perhitungan sumberdaya terukur emas menggunakan metode NNP dan IDS adalah sebesar 348.537 ton. Berdasarkan nilai *cut off grade* kadar Au > 3 gpt hasil perhitungan sumberdaya emas menggunakan metode NNP sebesar 499,55 kg dan IDS sebesar 49,72 kg. Hasil perhitungan sumberdaya emas dengan *extensive data set* menggunakan metode NNP sebesar 502,60 kg dan IDS sebesar 31,25 kg. Hasil perhitungan sumberdaya emas dengan *restricted data set* menggunakan metode NNP sebesar 485,54 kg dan IDS sebesar 32,93 kg.
3. Penyebab perbedaan hasil estimasi sumberdaya emas dan perak dengan kedua metode adalah jumlah titik yang berpengaruh dalam suatu blok. Dimana perhitungan dengan metode *inverse distance square* dihitung berdasarkan titik data yang terdekat dengan titik yang ditaksir akan memberikan bobot yang lebih besar dari pada titik data yang lebih jauh. Sedangkan perhitungan dengan metode *nearest neighbour point* memperhitungkan nilai di suatu blok didasari oleh nilai titik yang paling dekat dengan blok tersebut.

SARAN

Saran yang dapat penulis berikan adalah sebagai berikut :

1. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah lebih banyak membaca dan mendapatkan bahan tentang *outlier* agar mendapatkan lebih banyak cara untuk mendeteksi dan memberikan perlakuan terhadap data *outlier*.
2. Permodelan dengan model blok yang diestimasi dengan metode NNP dan IDS di PT Aneka Tambang Tbk. UBPE Pongkor dapat dijadikan bahan lanjutan untuk perhitungan sumberdaya menggunakan metode Geostatistik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] N. P. Rapele, *et al.*, “Ekstraksi Emas dan Perak Menggunakan Tiourea”, *J. Geosapta*, vol. 8, no. 1, pp. 39-43, 2022.

- [2] N. Yessica, *et al.*, "Studi Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Hasil Fraksinasi pada Slurry Overflow Mill Cyclone PT Kasongan Bumi Kencana", *J. Himasapta*, vol. 8, no. 1, pp. 59-62, 2023.
- [3] Aspinall, Clive, and Eng. P., "Small-scale mining in Indonesia", International Institute for Environment and Development and the World Business Council for Sustainable Development Rep., September 2001.
- [4] D. E. Andini, "Kualitas Air Lindian (Leachate) Hasil Uji Kinetik Cebakan Emas Epithermal High Sulfidation", *J. Geosapta*, vol. 4, no. 1, pp. 43-53, 2018.
- [5] W. Conoras, and A. Djin, "Pemodelan Estimasi Sumberdaya Endapan Emas (Au) Daerah Loloda Menggunakan Metode Inverse Distance Cube (ID3) Dan Ordinary Kriging (OK)", *J. DINTEK*, vol. 14, no. 2, pp 82-95, 2021.
- [6] I. H. Afandi, and M. N. Heriawan, "Estimasi Sumberdaya Untuk Data Dengan Distribusi Lognormal Pada Endapan Urat Emas Gunung Pongkor Dengan Pendekatan Geostatistik", *POLITEKNOSAINS*, vol. 17, no. 1, pp 68-76, 2018.
- [7] W. Nurmansyah, *et al.*, "Kajian Optimalisasi Rancangan Teknis Penambangan Emas di PT. Gorontalo Minerals Blok I Kompleks Sungai Mak Jobsite Motomboto North Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo", *J. Teknologi Pertambangan*, vol. 7, no. 1, pp. 36-48, 2021.
- [8] A. Amalia, *et al.*, "Analisis Spasial Ordinary Kriging Persebaran Emas Berdasarkan Data Geokimia Permukaan Awak Mas, Sulawesi Selatan", *J. Geosains Kutai Basin*, vol. 5, no. 2, pp. 1-9, 2022.
- [9] M. K. Hidayat, *et al.*, "Pemodelan dan Estimasi Sumberdaya Bijih Emas di PT. DEF Kecamatan Simpenan, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat" in *Bandung Conference Series: Mining Engineering UNISBA* vol. 2, no. 1, 2022. pp. 122-131.
- [10] E. M. Hendarwati, *et al.*, "Pemilihan Semivariogram Terbaik Berdasarkan Root Mean Square Error (RMSE) pada Data Spasial Eksplorasi Emas Awak Mas", *J. Geosains Kutai Basin*, vol. 6, no. 1, pp. 47-52, 2023.
- [11] A. Basuki, *et al.*, "The Gunung Pongkor Gold-Silver Deposit, West Java, Indonesia" *J. of Geochemical Exploration*. vol 50. pp. 371-391, 1994.
- [12] I. W. Warmada, *Ore mineralogy and geochemistry of the Pongkor epithermal gold-silver deposit, Indonesia*, Papierflieger, 2003.
- [13] W. A. Haris, *Modul Responsi TE-3231, Metode Perhitungan Cadangan*, Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2005.
- [14] F. W. Wellmer, "Rechnen fiir Lager statten forschler und Rohstoffkundler (Statistical Evaluations in Exploration for Mineral Deposits)." *Translate by Duncan Large*, Hannover: Springer, 1998.
- [15] P. Lindagato, P., *et al.*, "Application of geostatistical analyst methods in discovering concealed gold and pathfinder elements as geochemical anomalies related to ore mineralisation", *Geologos*, vol. 24 no. 2, pp 95-109, 2018.