

Penggunaan kriging untuk analisis estimasi data ash content, moisture dan sulfur di tambang batubara formasi Warukin

The use of kriging for estimation analysis of ash content, moisture and sulphur data in Warukin formation coal mine

Pillayati^{1*}, Nurhakim¹, Hafidz Noor Fikri¹

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

e-mail: *¹Pillayati@ulm.ac.id, ¹Nurhakim@ulm.ac.id, ¹Hafidz@ulm.ac.id

ABSTRAK

Tambang batubara di daerah penelitian menggunakan metode poligonal untuk mengestimasi sumber daya batubara di area konsesi, baik untuk data kuantitas maupun kualitas. Metode ini dipilih karena penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kondisi geologi di daerah ini adalah moderat. Masalah yang dihadapi dalam menggunakan metode poligonal adalah kualitas batubara pada lapisan batubara yang sama kadang-kadang nilainya bervariasi. Penelitian ini kemudian menerapkan metode geostatistik untuk menganalisis estimasi data kualitas batubara. Metode geostatistik yang digunakan untuk menghitung kualitas batubara adalah pendekatan ordinary kriging dengan menggunakan variogram spherical dengan arah omnidirectional dan searah *strike*. Hasil yang didapat adalah nilai perbedaan hasil relatif hasil estimasi secara omnidirectional dan searah *strike* yang menghasilkan nilai yang tidak terlalu jauh berbeda. Sebagai contoh, nilai minimal ash sebenarnya adalah 1,2%, sedangkan pada hasil estimasi nilai ash minimal adalah 2,47% (omnidirectional) dan 2,41% (searah *strike*). Begitu pula pada nilai maksimal ash sebenarnya adalah 5,7% sedangkan pada hasil estimasi nilai ash maksimalnya adalah 3,97% (omnidirectional) dan 3,98% (searah *strike*). Hal ini menunjukkan bahwa presisi hasil estimasi sangat baik sehingga penggunaan permodelan variogram omnidirectional saja sudah cukup mewakili. Meskipun hasil estimasi cukup baik secara keseluruhan, ada beberapa titik yang terlihat *overestimate* dan *underestimate*. Hal ini terjadi karena adanya *smoothing effect* pada hasil estimasi.

Kata-kata kunci: geostatistik, kualitas batubara, moisture, ordinary kriging, sulfur, variogram spherical

ABSTRACT

Coal mining companies in the study area use the polygonal method to estimate coal resources in the concession area, both for quantity and quality data. This method was chosen because previous studies have shown that the geological conditions in this area are moderate. The problem encountered in using the polygonal method is that the quality of coal in the same coal seam sometimes varies in value. This research then applies geostatistical methods to analyse the spatial relationship between coal quality data. The geostatistical method used to calculate coal quality is the ordinary kriging approach using spherical variograms. The results obtained are the relative difference values of the omnidirectional and strike direction estimation results, which produce values that are not too different. For example, the actual minimum ash value is 1.2%, while the estimated minimum ash value is 2.47% (omnidirectional) and 2.41% (strike direction). Similarly, the maximum actual ash value is 5.7%, while the estimated maximum ash values are 3.97% (omnidirectional) and 3.98% (strike direction). This shows that the precision of the estimation results is so good that omnidirectional variogram modeling is representative enough. Although the estimation results are pretty good overall, some points look overestimated and underestimated because of the smoothing effect on the estimation results.

Keywords: coal quality, geostatistic, moisture, ordinary kriging, spherical variogram, sulphur

PENDAHULUAN

Parameter utama seperti ash content, moisture, dan sulfur menjadi faktor penting dalam penentuan penggunaan batubara, baik untuk pembangkit listrik, industri semen, maupun penggunaan metalurgi. Parameter kualitas batubara saling berkaitan, antara *total moisture*, sulfur, dan *ash* yang akan memengaruhi nilai kalori [1]. Analisis proksimat dan ultimat biasanya digunakan untuk menentukan parameter kualitas batubara, termasuk *moisture*, *ash content*, *volatile matter*, *fix carbon*, dan sulfur [2] [3] [4]. Parameter-parameter tersebut sangat penting untuk menentukan peringkat dan kualitas batubara, yang memengaruhi nilai ekonomi dan potensi penggunaannya [2] [5]. Di tambang-tambang batubara Formasi Warukin, variabilitas spasial kualitas batubara cukup memberikan tantangan dalam pemodelan dan estimasi sumber daya. Salah satu metode estimasi yang banyak digunakan dalam industri pertambangan modern adalah kriging, yaitu teknik geostatistik berbasis variogram. Analisis variogram sangat penting untuk estimasi kriging yang akurat [6] [7]. Metode kriging banyak digunakan untuk mengestimasi parameter kualitas batubara seperti kadar abu, kelembaban, sulfur, dan nilai kalori pada endapan batubara [6] [7] [8].

Beberapa studi di Indonesia juga telah menunjukkan keunggulan metode kriging dalam estimasi kualitas batubara. Misalnya, kandungan sulfur yang sangat penting untuk pemanfaatan batu bara dapat dimodelkan dengan menggunakan kriging untuk mengetahui variasi vertikal dalam lapisan batu bara [5]. Beberapa studi lain membandingkan metode geostatistik dengan IDW (*inverse distance weighting*) untuk mengestimasi ketebalan batubara, *calorific value*, dan kandungan sulfur [9] [10]. Perbandingan antara kriging dengan IDW (*Inverse Distance Weighting*) secara umum menunjukkan bahwa kriging lebih akurat berdasarkan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) [9] [10]. Studi-studi ini berkontribusi dalam meningkatkan estimasi dan klasifikasi kualitas batubara, yang sangat penting untuk operasi penambangan yang efisien dan pemanfaatan batubara yang tepat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan

metode kriging dalam mengestimasi *ash content*, *moisture*, dan sulfur di tambang batubara formasi Warukin, serta mengevaluasi akurasi model menggunakan metode *cross-validation*. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis untuk pengembangan model kualitas batubara di Indonesia.

METODOLOGI

Pengumpulan data dilakukan dengan dua cara, yaitu:

1. Pengamatan lapangan
Pengamatan lapangan dilakukan dengan melakukan pengamatan langsung terhadap kondisi lapangan dan gambaran aktivitas pemboran eksplorasi.
2. Pengambilan data di lapangan
Sedangkan pengambilan data diperoleh dari data utama (primer) dan literatur-literatur yang berhubungan dengan permasalahan yang ada (data sekunder). Data primer yang didapat adalah data ketebalan batubara dan kualitas batubara yaitu *total moisture* dan *sulphur*. Sedangkan data sekunder yang digunakan antara lain gambaran umum daerah penyelidikan (peta lokasi, peta wilayah PKP2B, kondisi geologi lokal, data curah hujan), keadaan umum perusahaan, dan metode pemboran eksplorasi.

Teknik analisis data yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Analisis secara statistik
Analisis secara statistik dilakukan dengan cara mengolah data titik bor menjadi histogram untuk setiap parameter batubara. Kemudian dilakukan analisis statistik *bivariate* dengan metode *scatter plot* untuk mengetahui hubungan antara dua variabel.
2. Analisis secara geostatistik
Sedangkan pada analisis geostatistik, dilakukan pengestimasian dengan dua macam model variogram yaitu variogram *omnidirectional* (ke segala arah) dan model variogram ke arah *strike*.

HASIL DAN DISKUSI

ANALISIS STATISTIK DATA BOR

Analisa statistik dilakukan pada *seam* batubara dengan menggunakan parameter *ash content* (%), *total moisture* (%) dan *total sulphur* (%). Ketiga parameter tersebut dibuat histogramnya untuk kemudian tersebut diolah untuk dianalisa. Adapun data histogram yang dianalisa meliputi *number of data*, minimum data, maksimum data, *mean*, *median*, *variance* dan standar deviasi seperti pada tabel-1 berikut ini.

Tabel-1. Analisa statistik data penelitian

Parameter	<i>Number of Data</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Mean</i>	<i>Median</i>	<i>Variance</i>	<i>Standar Deviasi</i>
<i>Ash Content</i>	98	0.88	10.9	3.67	3.23	2.41	1.552
<i>Total Moisture</i>	98	33.13	43.82	38.92	39.19	3.7	1.923
<i>Total Sulphur</i>	98	0.1	0.74	0.34	0.29	0.0212	0.145

Selanjutnya dilakukan analisis statistik *bivariate* dengan metode diagram pencar (*scatter plot*) untuk mengetahui hubungan antara tiga variabel dan dikaji korelasi antar parameter kualitas batubara seperti pada tabel-2 berikut ini.

Tabel-2. Perhitungan koefisien korelasi antar dua variabel

	<i>Ash Content</i>	<i>Total Moisture</i>	<i>Total Sulphur</i>
<i>Ash Content</i>	1		
<i>Total Moisture</i>	0.255	1	
<i>Total Sulphur</i>	0.491	-0.206	1

Dari hasil analisa statistik *bivariate* dengan menggunakan *scatter plot* (tabel 5-2), maka dapat diperkirakan besar kontribusi nilai suatu parameter terhadap nilai parameter yang lain dengan menggunakan koefisien penentuan atau *coefficient of determination* (r^2). Sebagai contoh, jika koefisien korelasi *ash content* dengan *total moisture* adalah 0.255, maka koefisien penentuannya adalah $r^2 = 0.065 = 6.5\%$. Perhitungan koefisien penentuan masing – masing parameter terdapat pada tabel-3 berikut:

Tabel-3. Perhitungan koefisien penentuan (dalam %)

	Ash Content	Total Moisture	Total Sulphur
Ash Content	100		
Total Moisture	6.502	100	
Total Sulphur	24.108	4.244	100

ANALISIS GEOSTATISTIK DATA BOR

Pada data penelitian dilakukan pengestimasi dengan dua macam model variogram, yaitu variogram *omnidirectional* (ke segala arah) dan variogram dengan *direction* ke arah *strike*. Dalam hal ini, *strike* yang digunakan adalah 315° NE, sesuai dengan arah *strike seam* penelitian. Pada eksperimental variogram terdapat parameter-parameter yang harus ditentukan terlebih dahulu, yaitu *lag tolerance*, *num of lags*, *lag separation* dan *direction*. Nilai parameter yang dipakai seperti pada tabel-3 berikut.

Tabel-3. Nilai parameter variogram eksperimental

Lag Tolerance	Num of Lags	Lag Separation	Direction			
			Azimuth	Dip	Tolerance	Bandwidth
100	58	200	0	0	91	100
100	58	200	315	0	20	100

Kemudian dibuat variogram eksperimental sesuai dengan nilai parameter yang telah dibuat. Bentuk variogram eksperimental ini sama antara variogram *omnidirectional* maupun variogram yang searah dengan *strike*. Setelah membuat variogram eksperimental, selanjutnya menentukan nilai variogram model yang akan digunakan. Nilai parameter variogram model (*omnidirectional*) yang didapat terlihat pada tabel-4.

Tabel-4. Nilai parameter variogram model (*omnidirectional*)

Coal Properties	Nugget	Sill Contribution	Model	Range
Ash Content	1	1.41	Spherical	1800
Total Moisture	1.7	2	Spherical	900
Total Sulphur	0.01	0.01127	Spherical	950

Selain menentukan nilai parameter variogram model untuk variogram *omnidirectional*, ditentukan juga parameter variogram model untuk variogram yang searah dengan *strike* seperti pada tabel-5.

Tabel-5. Nilai parameter variogram model searah *strike*

Coal Properties	Nugget	Sill Contribution	Model	Range	
				Min	Max
Ash Content	1	1.41	Spherical	1800	1800
Total Moisture	0.7	3	Spherical	1600	1600
Total Sulphur	0.01	0.01127	Spherical	800	800

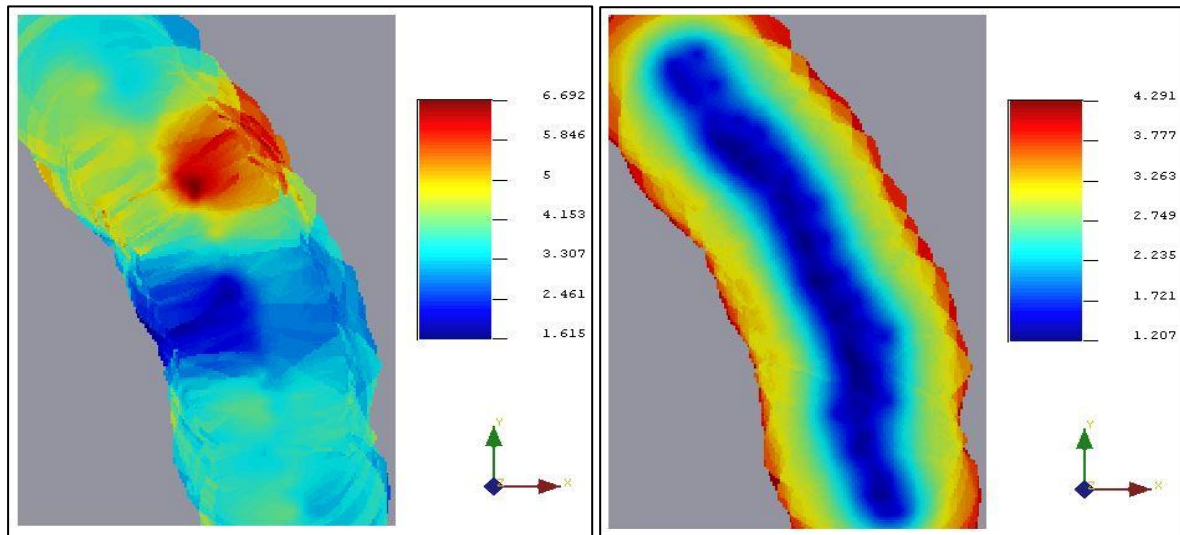
Setelah ditentukan parameter-parameternya, kemudian dibuat variogram model yang sesuai dengan parameter tersebut. Setelah diperoleh model variogram yang sesuai dengan data yang ada, kemudian model variogram tersebut digunakan untuk mengestimasi.

ESTIMASI DISTRIBUSI KUALITAS BATUBARA MENGGUNAKAN *ORDINARY KRIGING*

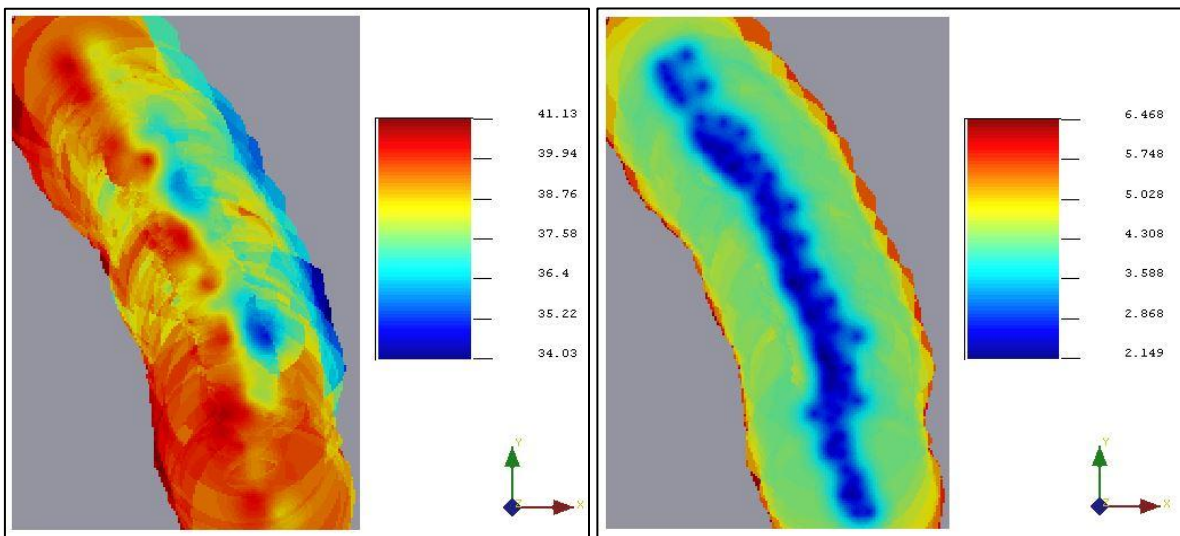
Setelah dilakukan analisis secara statistik dan penentuan variogram, maka selanjutnya akan dilakukan estimasi kualitas batubara menggunakan metode *ordinary kriging*. Penentuan ukuran blok yang akan digunakan berdasarkan ukuran

blok dari perusahaan yaitu 50 m x 50 m dengan luas area penelitian 8000 m x 12000 m. Sebagai pembatas, digunakan nilai *searching radius* sebesar 2000 m untuk semua parameter.

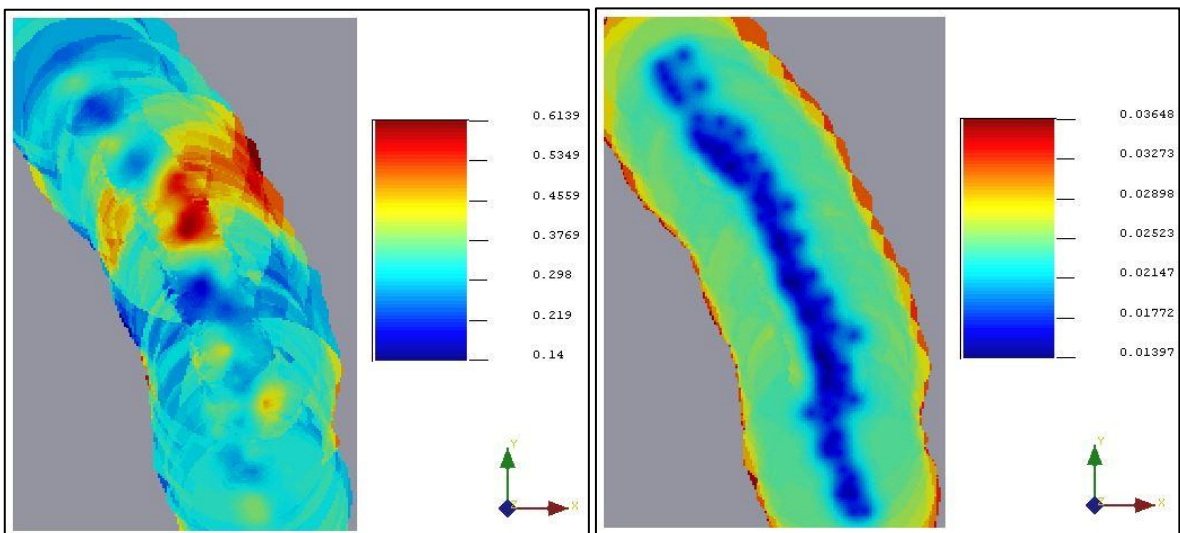
Hasil estimasi dan varians estimasi menggunakan *ordinary kriging* dan variogram *omnidirectional* yang digunakan pada data penelitian dapat dilihat pada gambar-1, gambar-2, dan gambar-3.



Gambar-1. Hasil Estimasi (kiri) dan varians estimasi (kanan) untuk *ash content*

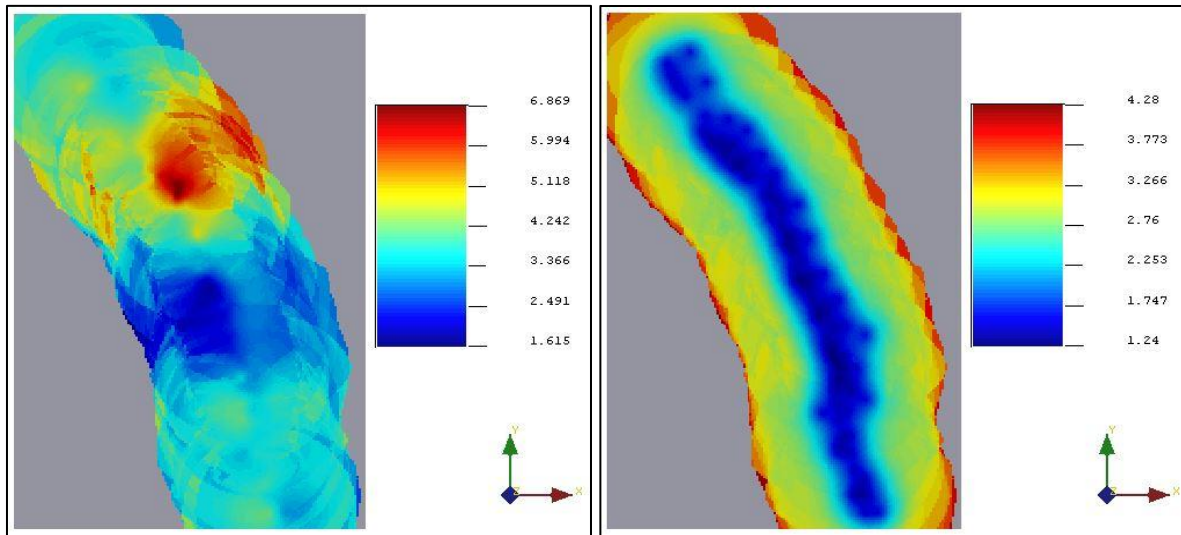


Gambar-2. Hasil Estimasi (kiri) dan varians estimasi (kanan) untuk *total moisture*

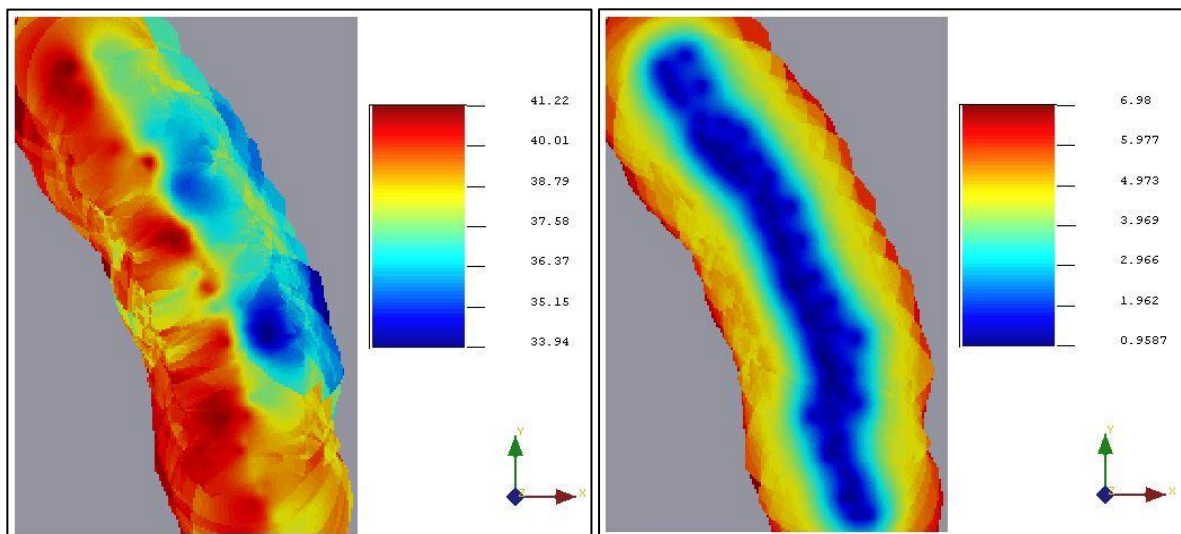


Gambar-3. Hasil Estimasi (kiri) dan varians estimasi (kanan) untuk *total sulphur*

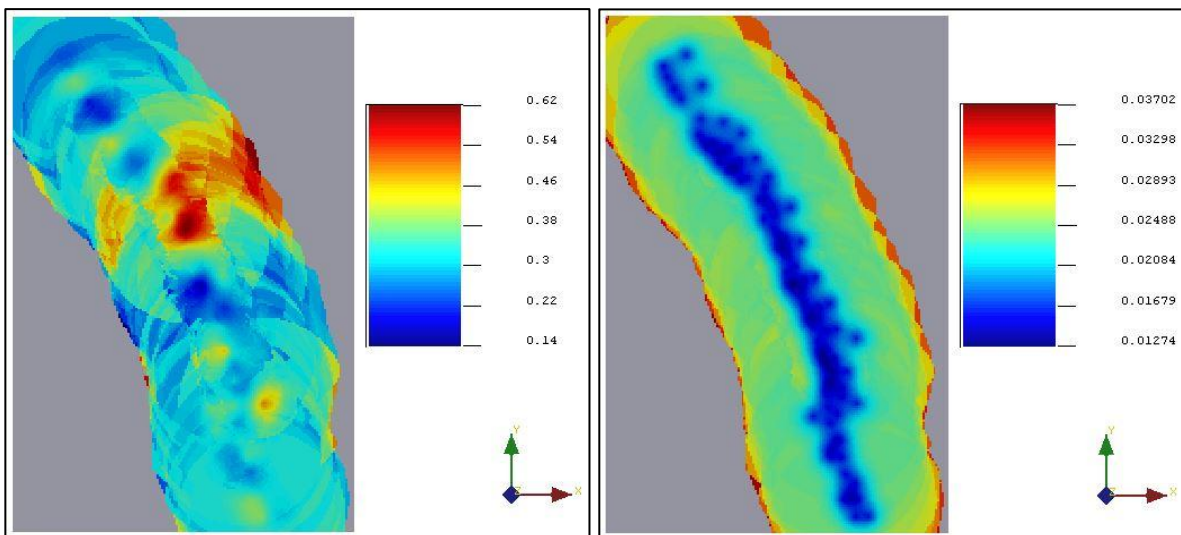
Sedangkan hasil estimasi menggunakan *ordinary kriging* dan variogram model dengan arah 315° dapat dilihat pada gambar-4, gambar-5, gambar-6 berikut:



Gambar-4. Hasil Estimasi (kiri) dan varians estimasi (kanan) untuk *ash content*



Gambar-5. Hasil Perhitungan Hasil Estimasi (kiri) dan varians estimasi (kanan) untuk *total moisture*



Gambar-6. Hasil Estimasi (kiri) dan varians estimasi (kanan) untuk *total sulphur*

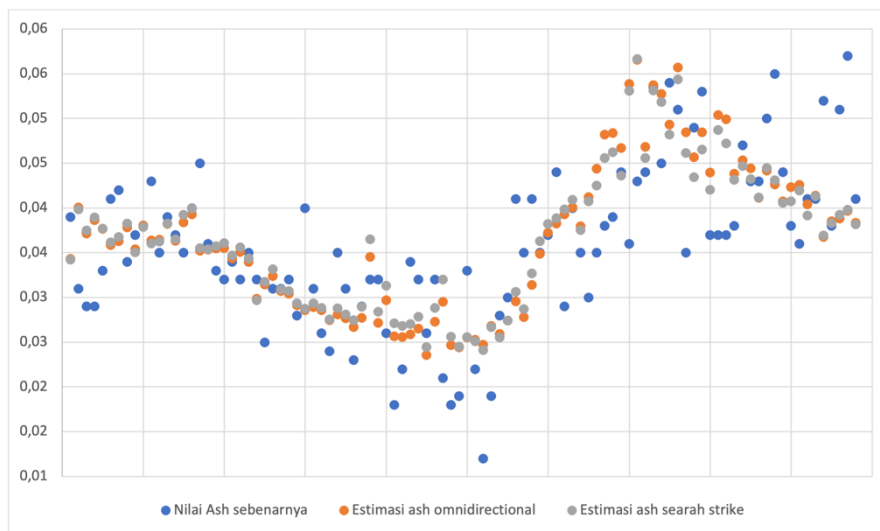
PEMBAHASAN DAN ANALISA

Jumlah titik bor yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 98 titik data. Sedangkan ukuran blok yang digunakan adalah 50 x 50 meter dengan *searching radius* sejauh 2000 meter dan area seluas 8000 x 12000 meter sebagai batasannya.

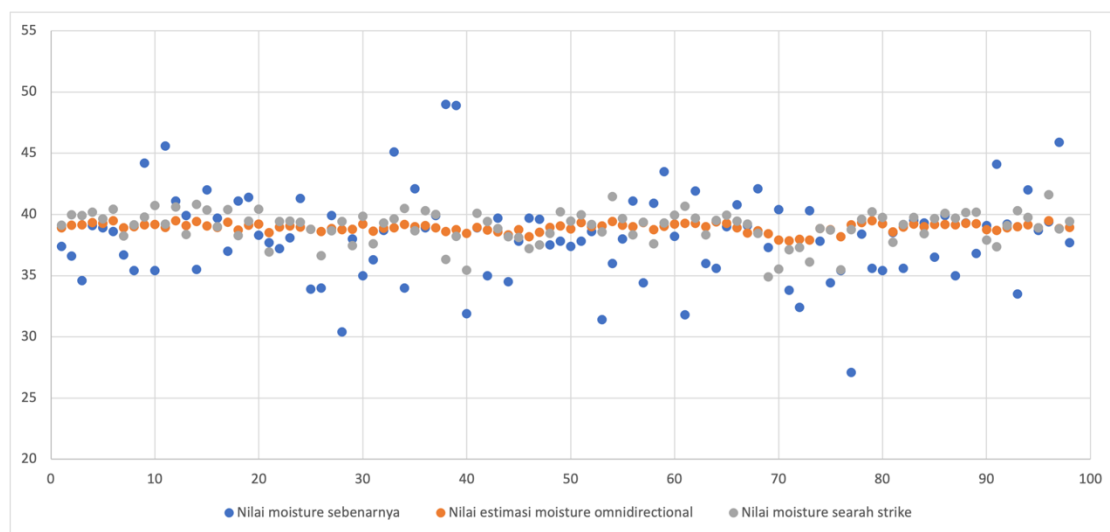
Berdasarkan analisa statistik pada daerah penelitian, histogram yang dihasilkan memperlihatkan data terdistribusi cukup bagus. Hal ini terlihat dari standar deviasi (tabel-1) dari data-data tersebut, yaitu sebesar 1.552% untuk ash content, 1.923% untuk total moisture dan 0.145% untuk sulphur. Hasil perhitungan pada tabel-3 mengenai koefisien korelasi terlihat bahwa seluruh koefisien korelasi antar parameter berada di bawah 50%, dengan demikian dapat dikatakan bahwa tidak ada hubungan langsung dari besarnya nilai suatu parameter kualitas batubara dengan nilai parameter kualitas batubara yang lain.

Dalam analisis geostatistik, variogram dibuat menjadi dua yaitu omnidirectional (ke segala arah) dan ke arah *strike* dengan tujuan agar ada perbandingan antar hasil estimasi. Angka 315° diambil dari arah *strike seam* batubara daerah penelitian. Lag separation yang digunakan pada variogram eksperimental sebesar 200 meter, sesuai dengan jarak rata-rata lubang bor yaitu sebesar 210.18 meter dengan jarak terdekat satu sama lain 13.65 meter dan jarak terpanjang sebesar 603.14 meter. Toleransi yang dipakai sebesar 100 meter sesuai dengan aturan geostatistik bahwa toleransi nilainya $\frac{1}{3}$ sampai $\frac{1}{2}$ dari lag separation. Pada variogram model, model yang dipakai adalah spherical. Model spherical merupakan model yang umum digunakan karena ekspresi polinomialnya yang simpel dan cenderung bisa dekat dengan variogram eksperimental.

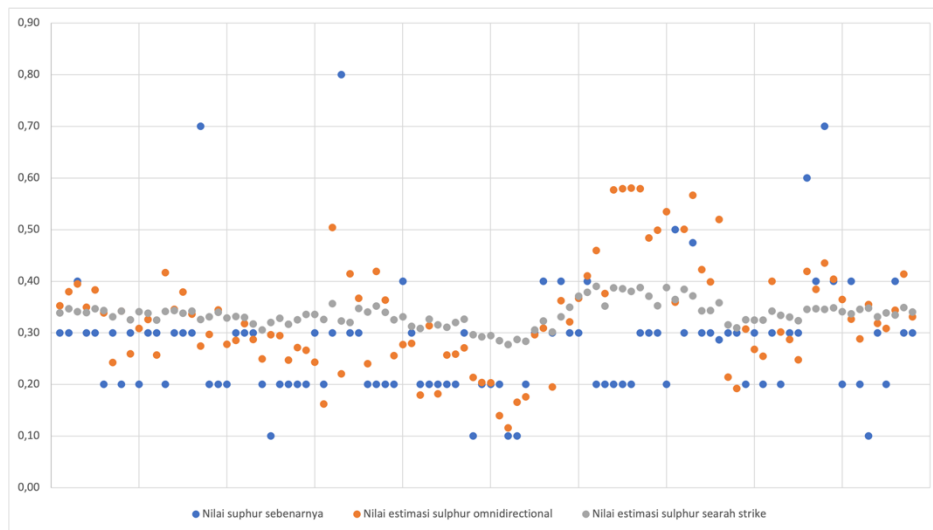
Setelah diestimasi dibuat grafik *cross-validation* sebagai perbandingan antara kualitas sebenarnya dengan hasil estimasi, baik *omnidirectional* maupun searah *strike* (gambar-7, gambar-8, dan gambar-9).



Gambar-7. Grafik perbandingan nilai ash sebenarnya dengan hasil estimasi



Gambar-8. Grafik perbandingan nilai moisture sebenarnya dengan hasil estimasi



Gambar-9. Grafik perbandingan nilai sulphur sebenarnya dengan hasil estimasi

Pada gambar-gambar di atas terlihat jelas bahwa nilai kualitas batubara yang tinggi cenderung *underestimate* (hasil estimasi lebih rendah dari nilai sebenarnya) dan sebaliknya, pada nilai kualitas yang rendah hasil estimasi cenderung *overestimate* (hasil estimasi lebih tinggi). Hal ini lebih dikenal dengan *smoothing effect* (efek penghalusan). Sebagai contoh, nilai minimum ash sebenarnya adalah 1,2%, sedangkan pada hasil estimasi nilai ash minimum adalah 2,47% (*omnidirectional*) dan 2,41% (*searah strike*). Begitu pula pada nilai maksimal ash sebenarnya adalah 5,7% sedangkan pada hasil estimasi nilai ash maksimalnya adalah 3,97% (*omnidirectional*) dan 3,98% (*searah strike*). Meskipun cukup baik secara keseluruhan, ada beberapa titik yang terlihat *overestimate* dan *underestimate*. Sebagai contoh, saat nilai *moisture* sebenarnya pada salah satu *drill hole* sebesar 27,1% sedangkan nilai *moisture* estimasi sebesar 39,16% (*omnidirectional*) dan 38,74% (*searah strike*). Sementara pada *drill hole* yang lain, nilai *moisture* sebenarnya sebesar 49% sedangkan nilai *moisture* estimasi sebesar 38,61% (*omnidirectional*) dan 36,31% (*searah strike*). Meskipun selisih nilai-nilai tersebut terlihat tidak terlalu jauh, hal ini kembali memperkuat adanya *smoothing effect* pada estimasi.

Gambar-gambar di atas juga menunjukkan bahwa kedua hasil estimasi menghasilkan nilai yang tidak terlalu jauh berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa presisi hasil estimasi *ordinary kriging* antara *omnidirectional* dan *searah strike* sangat baik sehingga permodelan variogram secara omnidirectional saja sudah cukup mewakili.

KESIMPULAN

1. Koefisien korelasi antar parameter berada di bawah 50%, dengan demikian dapat dikatakan bahwa tidak ada hubungan langsung dari besarnya nilai suatu parameter kualitas batubara dengan nilai parameter kualitas batubara yang lain.
2. Meskipun hasil estimasi cukup baik secara keseluruhan, ada beberapa titik yang terlihat *overestimate* dan *underestimate*. Hal ini terjadi karena adanya *smoothing effect* pada hasil estimasi.
3. Nilai perbedaan hasil relatif hasil estimasi secara omnidirectional dan searah *strike* menghasilkan nilai yang tidak terlalu jauh berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa presisi hasil estimasi sangat baik sehingga penggunaan permodelan variogram omnidirectional saja sudah cukup mewakili.
4. Sebaiknya dilakukan analisis estimasi untuk *seam* batubara yang lain di formasi Warukin untuk lebih memperkuat kesimpulan bahwa untuk kondisi geologi moderat cukup menggunakan permodelan variogram omnidirectional saja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Anggreini, S. Bahtiar, F. Widyawati and S. Hidayat, "Analisis Hubungan Kandungan Total Moisture, Total Sulphur dan Ash Content terhadap Gross Calorific Value pada Batubara," *Jurnal Tambora*, vol. 5, pp. 50-55, 2021.
- [2] E. Malaidji, A. Anshariah and A. Budiman, "Analisis Proksimat, Sulfur, dan Nilai Kalor dalam Penentuan Kualitas Batubara di Desa Pattappa Kecamatan Pujananting Kabupaten Barru Provinsi Sulawesi Selatan," *Jurnal Geomine*, vol. 6, pp. 131-137, 2018.
- [3] Z. Nur, M. Oktavia and D. Desmawita, "Analisis Kualitas Batubara di Pit dan Stockpile dengan Metoda Analisis Proksimat di PT. Surya Anugrah Sejahtera Kecamatan Rantau Pandan Kabupaten Bungo Provinsi Jambi," *Jurnal Mine Magazine*, vol. 1, pp. 1-5, 2020.
- [4] B. Sardi, M. Ripky, F. A. Marhum, S. Nampo and M. Arif, "Analisis Proksimat, Ultimat, dan Kadar Sulfur dalam Penentuan Kualitas Batubara pada Formasi Bobong Pulau Taliabu-Maluku," *Sultra Journal of Mechanical Engineering (SJME)*, vol. 2, pp. 45-53, 2023.

- [5] Y. S. Novianti, R. N. Hakim, Nurhakim and H. N. Fikri, "Total Sulfur Variability Analysis of Coal Deposits using Ordinary Kriging Estimation," in *3Rd International Conference on Earth Science, Mineral, and Energy*, Yogyakarta, 2020.
- [6] M. Reza, Nurhakim and Y. S. Noviyanti, "Analisis Model Variogram pada Penaksiran Kualitas Endapan Batubara dengan Metode Ordinary Kriging," *Jurnal Geospata*, vol. 8, pp. 19-26, 2022.
- [7] V. Wulandari, R. N. Hakim and H. N. Fikri, "Analisis Variography pada Estimasi Ordinary Kriging Endapan Batubara di Kecamatan Murung Pudak, Kabupaten Tabalong, Provinsi Kalimantan Selatan," *Jurnal Geomine*, 2020.
- [8] D. Martiwi, Nurhakim and H. N. Fikri, "Estimasi Kualitas Batubara dengan Metode Sequential Gaussian Simulation di Kabupaten Tanah Bumbu Provinsi Kalimantan Selatan," *Jurnal Himasapta*, vol. 7, pp. 75-78, 2022.
- [9] E. Nirwan, "Perbandingan Metode Kriging Dan Inverse Distance Weighting Untuk Estimasi Ketebalan Dan Kualitas Batubara di Lapangan Sangatta Kalimantan Timur," *FTKE - Usakti*, Jakarta, 2020.
- [10] S. Wahyuni, S. Supriyanto and D. Djayus, "Estimasi Sebaran Kualitas Batubara (Ash Content) Menggunakan Metode Invers Distance Weighted (IDW) dan Ordinary Kriging (OK) di PT. Kayan Putra Utama Coal Site Separi, Kalimantan Timur," *Jurnal Geosains Kutai Basin*, vol. 2, pp. 1-6, 2019.