

APLIKASI *BLOCK KRIGING* UNTUK PENAKSIRAN Kuantitas DAN KUALITAS CEBAKAN BATUBARA

Waterman Sulistyana Bargawa

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

ABSTRAK

Tujuan penulisan ini adalah penaksiran jumlah dan mutu lapisan batubara. Studi kasus dilakukan di daerah Provinsi Kalimantan Timur. Jumlah sumberdaya batubara ditaksir berdasarkan dua lapisan batubara utama dengan ketebalan antara 0,5-4,8m (*seam-A*) dan 0,5-3,45m (*seam-B*). Penyebaran kualitas batubara didasarkan pada nilai kalori, total sulfur, dan abu batubara. Model spasial dilakukan dengan geostatistika. Teknik *point* dan *block kriging* dipakai untuk menentukan taksiran kuantitas dan kualitas cebakan batubara di daerah penelitian. Taksiran *block kriging* mengindikasikan akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan taksiran *point kriging* pada studi kasus tersebut.

Kata kunci: geostatistika, *point kriging*, *block kriging*, batubara

The aim of this paper is estimating the tonnage and quality of the coal seam. Case study conducted in an area of East Kalimantan Province. Total coal resources are estimated based on the two main coal seam with thickness between 0.5-4.8m (Seam-A) and 0.5-3.45m (Seam-B). The distribution of coal quality is based on calorific value, total sulfur, and ash content. Spatial models performed with the geostatistic method. Point and block kriging technique is used to determine the estimated quantity and quality of coal deposits in the study area. Block kriging estimates indicate better accuracy compared with the point kriging estimates.

Keywords: Geostatistic, point kriging, block kriging, coal

1. PENDAHULUAN

Penaksiran jumlah dan kualitas sumberdaya batubara memerlukan teknik yang akurat sesuai kondisi geologi daerah penelitian. Studi kasus dalam penelitian ini adalah cebakan batubara di daerah Provinsi Kalimantan Timur. Daerah tersebut dikenal banyak sumberdaya batubara yang terus dikembangkan. Permasalahan yang sering dijumpai adalah rendahnya angka perolehan penambangan apabila dibandingkan penaksiran jumlah sumberdaya batubara hasil penyelidikan eksplorasi. Banyak teknik dalam geostatistika dikembangkan untuk penaksiran jumlah sumberdaya dan penyebaran kualitas lapisan batubara tersebut. Tulisan ini membahas teknik *point* dan *block kriging* untuk penaksiran kuantitas dan kualitas lapisan batubara.

2. BASIS DATA DAN METODE PENAKSIRAN

Secara geologi daerah penelitian termasuk dalam Cekungan Kutai, Kalimantan Timur yang berumur Oligomiosen sampai Pliosen. Formasi batuan yang berfasies delta terendapkan dalam cekungan tersebut dengan urutan tua ke muda sebagai berikut: Formasi Pamaluan berumur Oligomiosen-Miosen Bawah, Formasi Bebuluh berumur Miosen Bawah-Miosen Atas, Formasi Balikpapan berumur Miosen Atas, Formasi Kampungbaru berumur Pliosen dan endapan alluvial.

Berdasarkan pengamatan lapangan diketahui bahwa daerah penelitian termasuk dalam Formasi Balipapan-Pulubalang. Lokasi cebakan batubara menempati sebagian kecil dari Cekungan Kutai. Berdasarkan korelasi singkapan batubara dan titik-titik pemboran, lapisan batubara berupa *multi-seam*. Secara umum memiliki jurus berarah relatif baratdaya-timur laut dengan kemiringan lapisan batubara bervariasi antara 6-17⁰. Jenis litologi pada *overburden* dan *interburden* berupa batupasir, batulempung, dan batulanau.

Data dalam permodelan ini berdasarkan 219 data bor, sesuai kondisi geologi daerah penelitian, data diolah menjadi 72 bor. Pada penelitian ini lapisan batubara difokuskan pada lapisan utama yaitu *seam-A* dan *seam-B*. Ketebalan batubara *seam-A* berkisar 0,5-4,8m sedangkan batubara *seam-B* berkisar 0,5-3,5m. Data ketebalan lapisan batubara yang diperoleh dari pemboran eksplorasi dikompositkan sesuai ketebalan masing-masing lapisan. Penaksiran sebaran kualitas batubara pada penelitian ini difokuskan hanya pada *seam-A*. Berdasarkan kajian keekonomian tambang (tidak dibahas pada tulisan ini), penaksiran sumberdaya batubara dibatasi pada *strip ratio* 6:1. Penaksiran kuantitas dan kualitas batubara dilakukan memakai metode *ordinary kriging* (OK) dengan teknik *block kriging* dan *point kriging*. Pada penaksiran OK, hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

(i) Mencari nilai penaksiran memakai persamaan (1) :

$$Z^* = \sum_{i=1}^n w_i \cdot Z_i \dots\dots\dots (1)$$

(ii) Bobot w_i dipecahkan melalui persamaan (2):

$$\sum_{i=1}^n w_i \cdot \bar{\gamma}(v, v) + \mu = \bar{\gamma}(v, V) \text{ dan } \sum_{i=1}^n w_i = 1 \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

Z^* = Nilai taksiran ketebalan/kualitas

$\bar{\gamma}(v, v)$ = Nilai rata-rata $\bar{\gamma}(h)$ jika salah satu ujung vektor h menunjukkan domain $v(h)$ sedangkan ujung lain menunjukkan domain $v(x)$.

$\bar{\gamma}(v, V)$ = Nilai rata-rata $\bar{\gamma}(h)$, jika salah satu ujung vektor h menunjukkan domain $V(x)$ atau blok, ujung lainnya menunjukkan domain $v(x)$ atau titik

w_i = Nilai bobot titik ke i .

Z_i = Nilai kualitas/ketebalan sampel yang dibobot.

μ = Pengali Lagrange.

Sedangkan variansi kriging dapat dinyatakan dalam persamaan (3) sebagai berikut :

$$\sigma_K^2 = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \bar{\gamma}(v, V) - \bar{\gamma}(V, V) + \mu \dots\dots\dots (3)$$

Permasalahan penaksiran kriging adalah mencari nilai w_i dan μ_i . Apabila ditulis dalam matriks (persamaan 4) diperoleh persamaan $[A] \cdot [X] = [B]$, sehingga $[X] = [A]^{-1} \cdot [B]$, dengan:

$$[A] = \begin{bmatrix} \bar{\gamma}(v_1, v_1) & \bar{\gamma}(v_1, v_2) & \dots & \bar{\gamma}(v_1, v_n) & 1 \\ \bar{\gamma}(v_2, v_1) & \bar{\gamma}(v_2, v_2) & \dots & \bar{\gamma}(v_2, v_n) & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{\gamma}(v_n, v_1) & \bar{\gamma}(v_n, v_2) & \dots & \bar{\gamma}(v_n, v_n) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot [X] = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \\ \mu \end{bmatrix} \cdot [B] = \begin{bmatrix} \bar{\gamma}(v_1, V) \\ \bar{\gamma}(v_2, V) \\ \dots \\ \bar{\gamma}(v_n, V) \\ x \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

[A] = Matrik antara sampel satu dengan yang lain

[X] = Matrik bobot dan μ

[B] = Matrik antara sampel dengan blok yang ditaksir.

Variansi kriging (persamaan 5) diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_k^2 = \bar{\gamma}(V, V) - [w]^{-1} \cdot [M] \dots\dots\dots (5)$$

Perbedaan antara *block kriging* dan *point kriging* adalah titik yang ditaksir digantikan oleh sebuah blok. Korelasi antara titik dengan blok adalah korelasi rata-rata antara titik sampel ke-*i* dan semua titik di dalam blok. Pada prakteknya yang digunakan adalah grid regular dari titik-titik di dalam blok. Pada saat sekarang pendekatan penaksiran memakai kovariansi lebih disukai dibandingkan dengan variogram. Pada *point kriging*, kovariansi matrik B adalah kovariansi antara titik dengan titik, sedangkan pada *block kriging* matrik tersebut adalah kovariansi antara blok dengan titik. Sistem kriging blok dapat ditulis seperti berikut (sama dengan persamaan 4) di atas:

$$\begin{matrix}
 & A & \cdot & w & = & B \\
 \begin{bmatrix} C_{11} & \cdot & \cdot & \cdot & C_{1n} & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ C_{n1} & \cdot & \cdot & \cdot & C_{nn} & 1 \\ 1 & \cdot & \cdot & \cdot & 1 & 0 \end{bmatrix} & \cdot & \begin{bmatrix} w_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_1 \\ \mu \end{bmatrix} & = & \begin{bmatrix} C_{1A} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ C_{1A} \\ 1 \end{bmatrix} & \dots\dots\dots & (6) \\
 (n+1) \times (n+1) & & (n+1) \times 1 & & (n+1) \times 1 & &
 \end{matrix}$$

Nilai kovariansi C_{iA} tidak jauh berbeda dengan kovariansi antar titik seperti C_{i0} , tetapi C_{iA} adalah kovariansi rata-rata antara sampel tertentu dengan semua titik di dalam blok A.

$$C_{iA} = \frac{1}{A} \sum C_{ij} \dots\dots\dots (7)$$

Dalam praktek, A menggunakan diskret nomor titik dalam x, y, dan z sebagai pendekatan C_{iA} . Variansi kriging didapat dalam persamaan sebagai berikut :

$$\sigma^2_{OK} = C - \left[\sum (w_i - C_{iA}) + \mu \right] \dots\dots\dots (8)$$

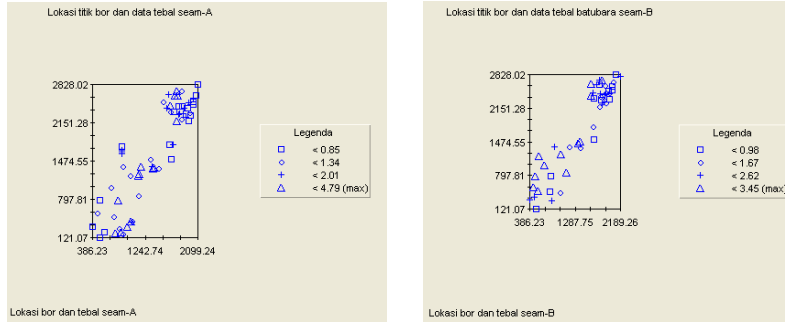
Teknik kriging menggunakan parameter penaksiran yaitu variogram komposit, arah, dan jarak pencarian sampel, serta jumlah sampel maksimum dan minimum.

3. METODOLOGI

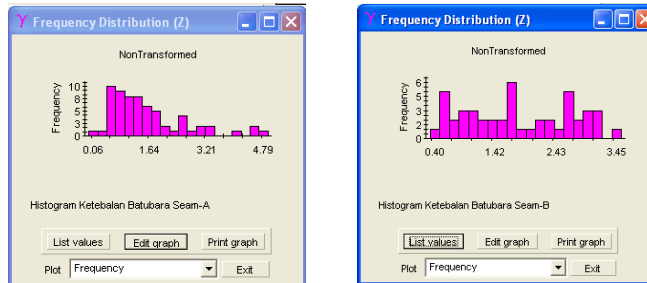
Permodelan sumberdaya batubara digunakan pada penelitian ini untuk mengetahui jumlah sumberdaya dan penyebaran kualitas batubara secara 3D. Pekerjaan permodelan meliputi: pembuatan basis data (pemasukan dan pengecekan data), permodelan topografi dan geologi batubara, konstruksi model, dan presentasi model.

3.1. Pembuatan basis data

Berdasarkan 72 data pemboran dapat dikorelasikan sebaran batubara *seam-A* dan *seam-B* di daerah penelitian. Gambar 1 di bawah menunjukkan sebaran data pemboran dan distribusi ketebalan batubara *seam-A* dan *seam-B* di daerah penelitian. Analisis statistik deskriptif diperlukan untuk mengetahui gambaran data. Gambar 2 di bawah menunjukkan histogram ketebalan lapisan batubara *seam-A* dan *seam-B* dengan fenomena *positive skewed*.



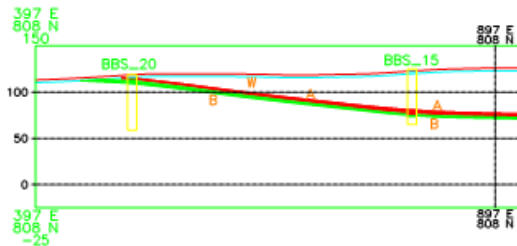
Gambar 1. Lokasi pemboran dan distribusi ketebalan batubara *seam-A* dan *seam-B*



Gambar 2. Histogram ketebalan lapisan batubara *seam-A* dan *seam-B*

3.2. Permodelan topografi dan geologi batubara

Model topografi diperoleh dari pengukuran pemetaan di lapangan. Model tersebut digunakan untuk membatasi ekstrapolasi data ke arah vertikal, sehingga pekerjaan penaksiran sumberdaya hanya dilakukan pada daerah model dengan batasan dua lapisan batubara utama yaitu *seam-A* dan *seam-B*, serta lapisan *overburden* dan *interburden* dengan *strip ratio* maksimum 6:1. Gambar 3 menunjukkan gabungan antara model topografi dan geologi batubara di daerah penelitian.



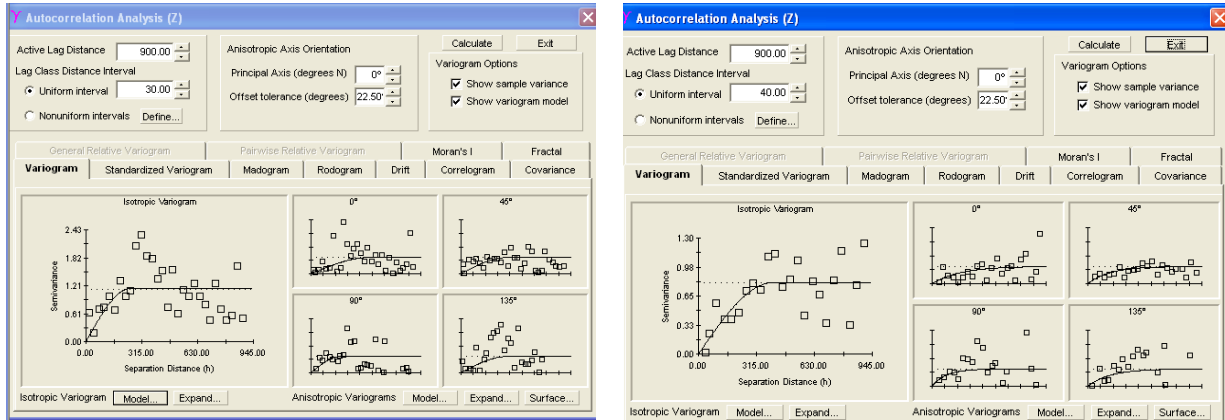
Gambar 3. Model topografi dan geologi batubara di daerah penelitian

Oleh karena cebakan batubara merupakan endapan berlapis, model geologi batubara dilakukan dengan konsep *gridded seam model*. Model geologi diperoleh berdasarkan korelasi lapisan batubara pada setiap lubang bor dan pertimbangan kondisi geologi di daerah penelitian.

3.3. Konstruksi model

Penaksiran sumberdaya dan distribusi kualitas batubara di daerah penelitian memakai metode geostatistika dengan teknik *block kriging*. Sebagai pembanding dalam penaksiran jumlah dan kualitas batubara digunakan teknik *point kriging*. Tahapan pertama dalam penaksiran tersebut adalah pembuatan variogram eksperimental, tahapan selanjutnya adalah pencocokan model, dan penentuan parameter variogram untuk penaksiran kuantitas serta kualitas batubara. Analisis

variografi dilakukan untuk ketebalan lapisan, nilai kalori, total sulfur, dan abu batubara. Gambar 4 di bawah menunjukkan hasil variografi ketebalan batubara *seam-A* dan *seam-B*.



Gambar 4. Hasil variografi ketebalan batubara *seam-A* dan *seam-B*

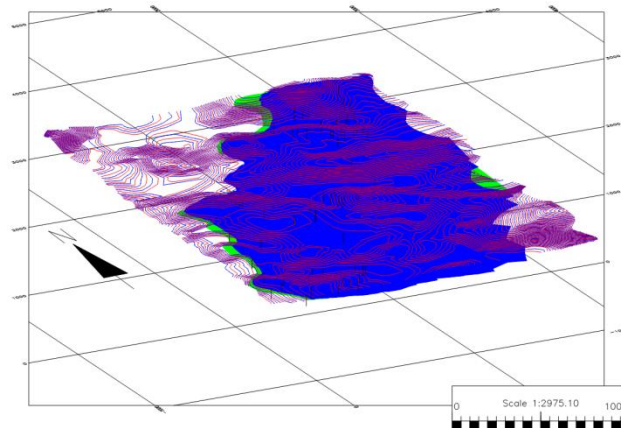
Parameter variogram untuk penaksiran kuantitas dan kualitas batubara dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Rekapitulasi parameter variogram untuk penaksiran

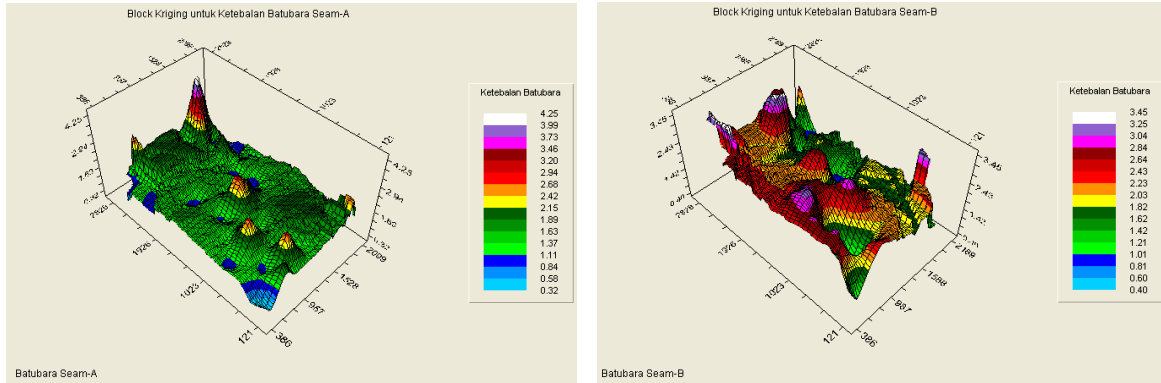
Par.variogr	Model	Nugget	Sill (C_0+C)	Range minor (m)	Range major (m)
Par.kualitas					
Ketebalan seam-A	<i>spherical</i>	0	1,15	250	500
Ketebalan seam-B	<i>exponential</i>	0	0,80	350	700
Nilai kalori	<i>exponential</i>	4.600	12.710	350	750
Total sulfur	<i>spherical</i>	0,295	0,790	350	700
Abu batubara	<i>spherical</i>	0,500	3,000	300	600

3.4. Presentasi model

Presentasi model merupakan penyajian model topografi dan geologi batubara di daerah penelitian. Gambar 5 menunjukkan batubara *seam-A* dan *seam-B* hasil korelasi lubang bor, sedangkan Gambar 6 menunjukkan taksiran ketebalan (3D) batubara *seam-A* dan *seam-B*.



Gambar 5. Batubara *seam-A* (biru) dan *seam-B* (hijau) hasil korelasi lubang bor



Gambar 6. Taksiran ketebalan batubara *seam-A* dan *seam-B* memakai *block kriging*

4. HASIL-HASIL DAN PEMBAHASAN

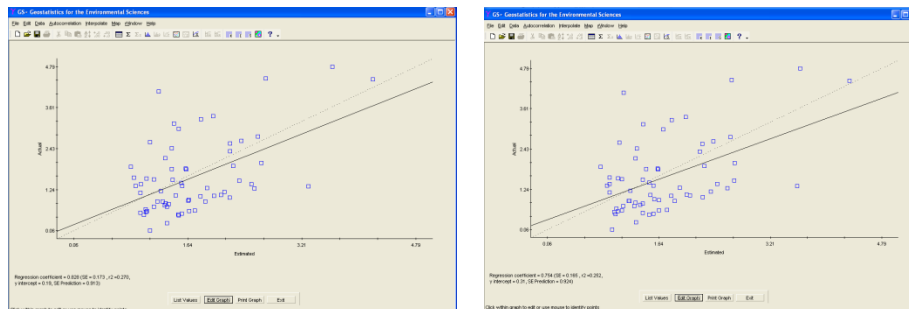
Tabel 2 menunjukkan hasil statistik batubara *seam-A* dan *seam-B*. Perbedaan jumlah data pada *seam-A* (72 buah) dan *seam-B* (47 buah) disebabkan tidak semua lubang bor menembus *seam-B*. Walaupun jumlah lubang bor pada *seam-B* lebih sedikit, namun secara statistika data *seam-B* lebih baik dengan nilai simpangan baku dan koefisien variasi yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan data *seam-A*. Pada penaksiran sumberdaya batubara dibatasi ketebalan minimum lapisan sebesar 0,5m.

Tabel 2. Hasil statistik batubara *seam-A* dan *seam-B*

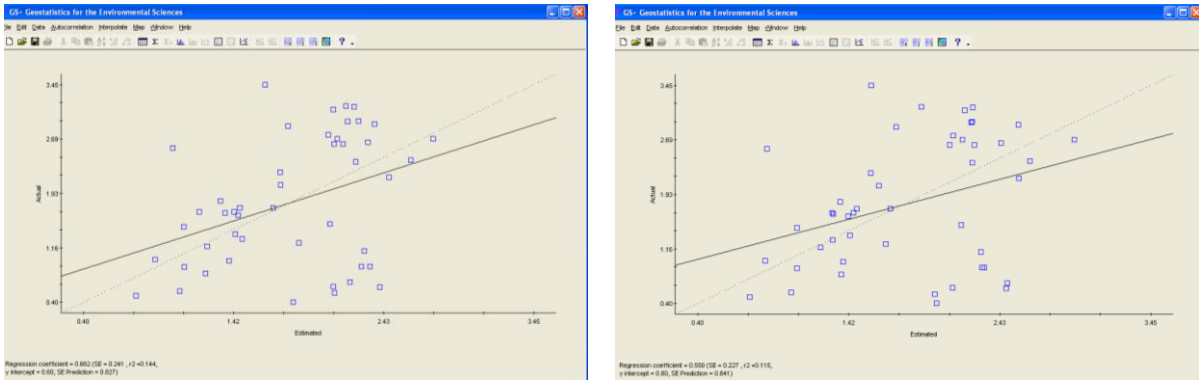
No.	Parameter statistik	<i>Seam-A</i>	<i>Seam-B</i>
1	Jumlah contoh (n)	72	47
2	<i>Mean</i>	1,60	1,80
3	Variansi	1,14	0,80
4	Simpangan baku	1,07	0,89
5	<i>Skewness</i>	1,27	0,09
6	<i>Kurtosis</i>	1,12	-1,30
7	Minimum	0,50	0,50
8	Maksimum	4,79	3,45
9	Koefisien variasi ($CV=\sigma/m$)	0,67	0,49

4.1. PERBANDINGAN ANTARA *BLOCK* DAN *POINT KRIGING*

Hasil *cross validation* dilakukan untuk membandingkan hasil penaksiran memakai teknik *block* dan *point kriging*. Gambar 8 dan 9 menunjukkan hasil *cross validation* batubara *seam-A* dan *seam-B*. Berdasarkan diagram pencar (*scatter plot*), hasil penaksiran dengan *point kriging* lebih memencar sedangkan hasil *block kriging* lebih mendekati ke arah garis regresi 45⁰.



Gambar 8. *Cross validation* hasil penaksiran *block* dan *point* untuk batubara *seam-A*



Gambar 9. Cross validation hasil penaksiran block dan point untuk batubara seam-B

Berdasarkan Gambar 8 dan 9 dapat direkapitulasi hasil *cross validation* secara statistik (Tabel 3).

Tabel 3. Perbandingan hasil *cross validation* penaksiran block dan point kriging

	Block kriging	Point kriging
<i>Seam-A</i>		
<i>Regression coefficient</i>	0,838	0,754
<i>SE</i>	0,173	0,165
<i>r2</i>	0,270	0,252
<i>Y intercept</i>	0,190	0,310
<i>SE Prediction</i>	0,913	0,924
<i>Seam-B</i>		
<i>Regression coefficient</i>	0,700	0,550
<i>SE</i>	0,241	0,227
<i>r2</i>	0,144	0,115
<i>Y intercept</i>	0,600	0,800
<i>SE Prediction</i>	0,827	0,841

Berdasarkan Gambar 8, 9, dan Tabel 3 dapat diperoleh hasil penaksiran sumberdaya batubara. Penaksiran menggunakan teknik *block kriging* lebih cocok dipakai di daerah penelitian dibandingkan dengan teknik *point kriging*, karena menghasilkan parameter statistika lebih baik (Tabel 3).

4.2. PENYEBARAN LAPISAN BATUBARA

Rekonstruksi lapisan batubara didasarkan pada data jurus dan kemiringan singkapan batubara yaitu berarah baratdaya-timurlaut dengan kemiringan ke arah tenggara, dan data bor sehingga dapat ditentukan arah *cropline* batubara. Secara visual penaksiran ketebalan memakai teknik *block* dan *point kriging* menunjukkan hasil yang mirip, namun secara statistika teknik *block kriging* menghasilkan taksiran lebih baik. Ketebalan batubara *seam-A* relatif merata di daerah penelitian, namun agak sedikit menebal dan tidak merata di bagian tengah daerah penelitian.

Analisis statistika spasial mengidentifikasi ketidakmenerusan lapisan B, hal ini disebabkan kekurangan data pemboran di bagian tengah daerah penelitian. Penambahan lubang bor di bagian tengah daerah penelitian perlu dilakukan untuk meningkatkan akurasi taksiran ketebalan batubara *seam-B*.

Berdasarkan kontur struktur lapisan atap dan lantai batubara *seam-A* dan *seam-B*, batasan daerah model, serta *strip ratio* 6:1 diperoleh jumlah sumberdaya batubara sebesar 4.500.000ton.

4.3. PENYEBARAN KUALITAS BATUBARA

Penyebaran kualitas batubara ditunjukkan melalui nilai kalori, kandungan belerang, dan kandungan abu batubara. Berdasarkan parameter penaksiran (Tabel 1) sebagai data masukan teknik *block kriging* dapat diketahui sebaran kualitas batubara *seam-A* (lihat Lampiran 3).

Penyebaran nilai kalori relatif tinggi (sekitar 6.000 kkal/kg, adb) di bagian tengah daerah penelitian. Sedangkan sebaran nilai kalori relatif rendah ke arah bagian utara dan baratdaya. Penyebaran kandungan belerang (*total sulphur*) relatif rendah di bagian tengah daerah penelitian, sedangkan di bagian utara dan barat kandungan belerang relatif tinggi. Pada areal tersebut perlu mendapat perhatian karena kandungan belerang lebih dari 1% (adb). Penyebaran kandungan abu batubara relatif rendah di bagian timur daerah penelitian, sedangkan ke arah utara dan barat daerah penelitian relatif meningkat (cenderung relatif lebih dari 8%, adb).

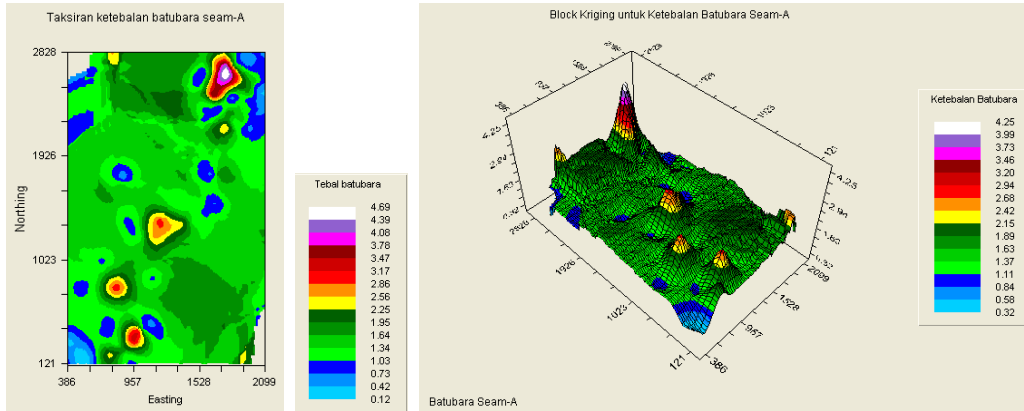
5. KESIMPULAN

- a. Penaksiran sumberdaya batubara memakai teknik *block kriging* di daerah penelitian lebih akurat dibandingkan dengan *point kriging*.
- b. Taksiran jumlah sumberdaya batubara memakai *block kriging* sebesar 4.500.000ton.
- c. Kualitas batubara relatif baik di bagian tengah daerah penelitian dengan nilai kalori sekitar 6.000 kkal/kg (adb), total sulphur cukup rendah di bawah 1% (adb), dan kandungan abu batubara relatif rendah di bawah 8% (adb).
- d. Akurasi taksiran sebaran kualitas dan kuantitas batubara dapat ditingkatkan dengan penambahan titik bor di bagian tengah dan barat laut daerah penelitian.

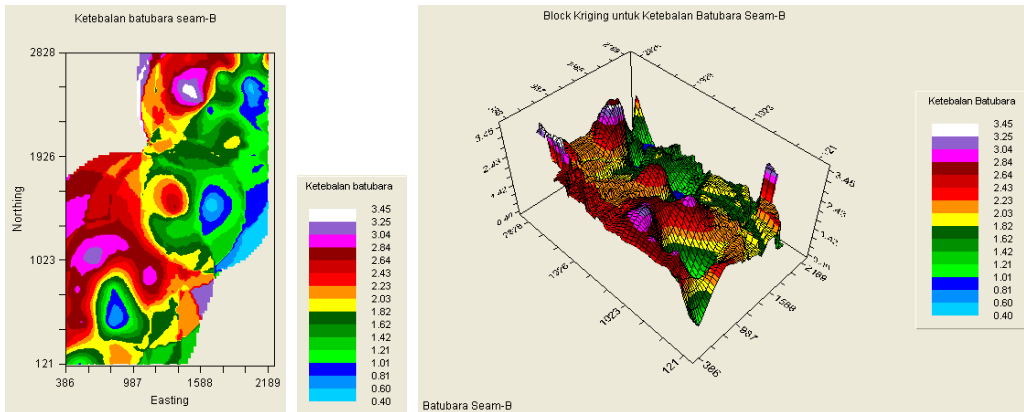
DAFTAR PUSTAKA

1. Aloysius, E.C., Waterman, S. (2001), Resources modeling and estimation of copper-gold porphyry deposit-the ordinary kriging approach, *Prosiding TPT X Perhapi 2001*, Bandung.
2. Efendy, A., (2009), Metode geostatistika untuk memprediksi kualitas batubara, *Magister Teknik Pertambangan*, UPN "Veteran" Jogjakarta.
3. Heriawan, M.N., (2008), Uncertainty asesment of coal tonnage by spatial modeling of seam distribution and coal quality, *International Journal of Coal Geology*, Volume 76, Issue 3, 3 November 2008, Pages 217-226.
4. Waterman, S., (2009), Pendekatan weighted jackknife ordinary kriging pada permasalahan outlier dan ukuran presisi, *Prosiding TPT XVIII dan Kongres Perhapi 2009*, Jakarta.
5. Waterman, S., Hartono, H.G. (2001), Gold vein modeling using two stage indicator kriging, *Proceeding of Indonesian Association of Geologists-Geosea 2001, 30th Annual Conference-10th Regional Congres*, September 10-12, 2001, Yogyakarta.

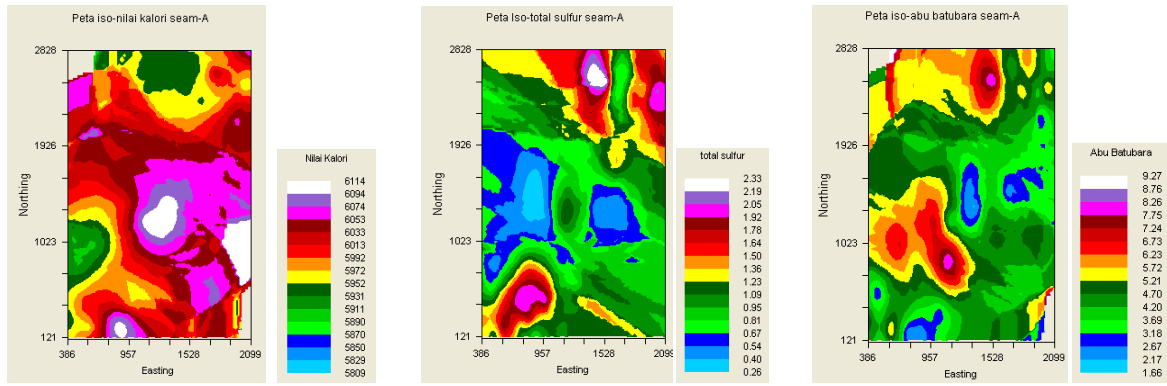
LAMPIRAN



Lampiran 1. Hasil penaksiran ketebalan batubara *seam-A* memakai *block kriging*



Lampiran 2. Hasil penaksiran ketebalan batubara *seam-B* memakai *block kriging*



Lampiran 3. Hasil penaksiran nilai kalori, total sulphur, dan abu batubara seam-A memakai *block kriging*