

## ESTIMASI SUMBERDAYA BATUBARA DENGAN DATA GEOMETRI DAN KUALITAS YANG TIDAK STASIONER: STUDI KASUS BATUBARA FORMASI BALIKPAPAN

Andrew Harryanto Sinaga<sup>1</sup>, Mohamad Nur Heriawan<sup>2</sup>, Agus Haris Widayat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung

<sup>2</sup>Kelompok Keahlian Eksplorasi Sumberdaya Bumi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung

Kontak e-mail: [andrewsinagaaa@gmail.com](mailto:andrewsinagaaa@gmail.com)

### ABSTRAK

Endapan batubara memiliki karakteristik berupa kontinuitas spasial yang relatif homogen mengikuti bidang perlapisannya. Karakteristik spasial dari kualitas dan kuantitas seam batubara tersebut dapat diolah berdasarkan data sebaran titik bor. Jika seam batubara memiliki karakteristik kualitas dan kuantitas yang relatif homogen secara spasial maka data disebut stasioner. Namun dalam beberapa kasus data kualitas dan kuantitas seam batubara terkadang memiliki pola yang tidak homogen melainkan memiliki *trend* tertentu yaitu nilai data cenderung naik atau turun ke arah tertentu secara spasial yang membuatnya menjadi tidak stasioner. Hal tersebut terjadi karena pengaruh faktor geologi tertentu pada saat atau setelah proses pengendapannya. Dalam penelitian ini dibahas mengenai solusi untuk estimasi sumberdaya batubara pada data kualitas dan kuantitas yang tidak stasioner dengan cara mengelompokkan data sebaran titik bor menjadi beberapa bagian secara spasial untuk mengurangi pengaruh *trend* tersebut. Estimasi sumberdaya batubara dilakukan dengan 2 (dua) pendekatan geostatistik yaitu *Ordinary Kriging* (OK) dan *Kriging with Trend* (KT) baik pada seluruh data maupun pada data yang telah dikelompokkan. Hasil estimasi menunjukkan bahwa *relative error* yang diperoleh, baik dengan OK maupun KT berbeda pada setiap kelompok data. Pendekatan yang memberikan *relative error* paling kecil akan direkomendasikan untuk estimasi sumberdaya pada data kualitas dan kuantitas batubara yang tidak stasioner. Studi kasus yang digunakan dalam penelitian ini adalah salah satu *seam* batubara di Formasi Balikpapan untuk data ketebalan dan sulfur total.

Kata kunci: sumberdaya batubara, tidak stasioner, *relative error*, *ordinary kriging*, *kriging with trend*

### LATAR BELAKANG

Endapan batubara memiliki karakteristik berupa kontinuitas spasial yang relatif homogen mengikuti bidang perlapisannya. Karakteristik spasial dari kualitas dan kuantitas seam batubara tersebut dapat diolah berdasarkan data sebaran titik bor. Jika seam batubara memiliki karakteristik kualitas dan kuantitas yang relatif homogen secara spasial maka data disebut stasioner. Namun dalam beberapa kasus data kualitas

dan kuantitas seam batubara terkadang memiliki pola yang tidak homogen melainkan memiliki *trend* tertentu yaitu nilai data cenderung naik atau turun ke arah tertentu secara spasial yang membuatnya menjadi tidak stasioner. Hal tersebut terjadi karena pengaruh faktor geologi tertentu pada saat atau setelah proses pengendapannya.

Dalam penelitian ini akan dibahas mengenai solusi untuk estimasi sumberdaya batubara pada data kualitas dan kuantitas yang tidak stasioner dengan cara mengelompokkan data sebaran titik bor menjadi beberapa bagian secara spasial untuk mengurangi pengaruh *trend* tersebut. Estimasi sumberdaya batubara dilakukan dengan 2 (dua) pendekatan geostatistik yaitu *Ordinary Kriging* (OK) dan *Kriging with Trend* (KT) baik pada seluruh data maupun pada data yang telah dikelompokkan. Pendekatan yang memberikan *relative error* paling kecil akan direkomendasikan untuk estimasi sumberdaya pada data kualitas dan kuantitas batubara yang tidak stasioner.

### TINJAUAN PUSTAKA

Menurut de Souza dkk. (2003), sumberdaya batubara diklasifikasikan berdasarkan nilai *relative error* (**Tabel 1**).

**Tabel 1** Klasifikasi sumberdaya batubara berdasarkan nilai *relative error*

Sumberdaya	<i>Measured</i>	<i>Indicated</i>	<i>Inferred</i>
<i>Relative Error</i>	0 - 10%	10 - 20%	20 - 50%

Data yang digunakan pada metode OK merupakan data spasial dengan rata-rata populasi tidak diketahui dan di asumsi bersifat stasioner. Estimasi OK terdiri dari beberapa tahapan. Tahap pertama adalah menentukan semi variogram empiris. Tahap kedua adalah menentukan semivariogram numerik. Tahap ketiga adalah menghitung semi *variance*. Terakhir yaitu menghitung estimasi variansi error.

Estimator OK bisa ditulis sebagai (Deutsch & Journel,1998):

$$\tilde{Z}(X_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i) \quad (1)$$

dimana:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (2)$$

keterangan:

$\tilde{Z}(X_0)$  = Nilai prediksi pada variabel X

$\lambda_i$  = Pembobot yang menentukan ukuran jarak antar titik

$i$  = 1,2,, n, dimana n adalah banyaknya data yang akan diolah

$\tilde{Z}(X_i)$  = Nilai aktual pada variabel X pada data ke-i

Klasifikasi sumberdaya mineral dapat ditentukan oleh *relative error* yang didapat dari persamaan:

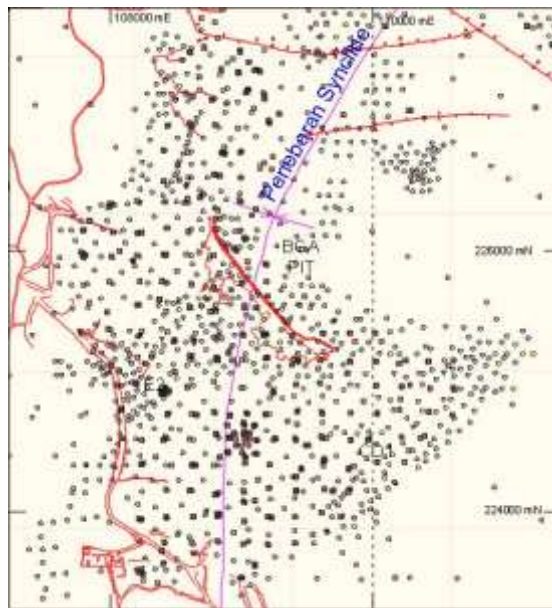
$$Relative\ error = \pm 1.96 \frac{\sigma_K}{z^*} \cdot 100\% \quad (3)$$

Estimator KT bisa ditulis:

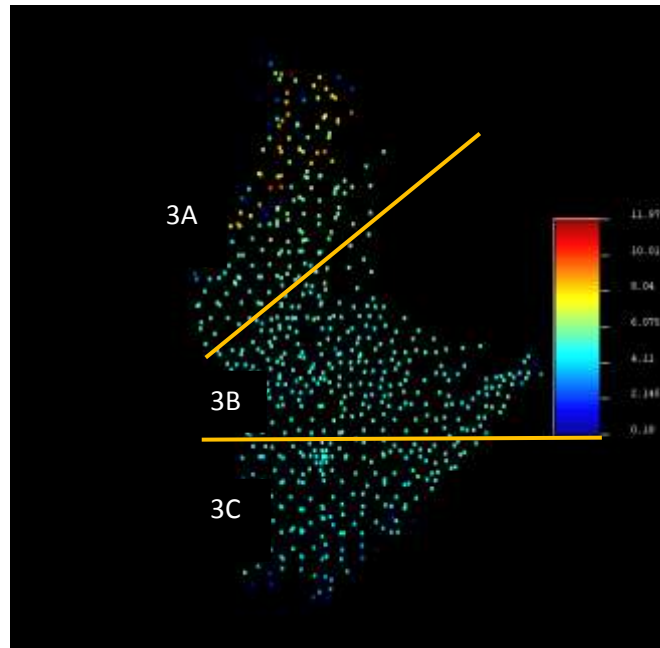
$$Z(u) = \sum_{\alpha=1}^n \varepsilon_{\alpha}(u)Z(u_{\alpha}) \quad (4)$$

### PENGOLAHAN DATA

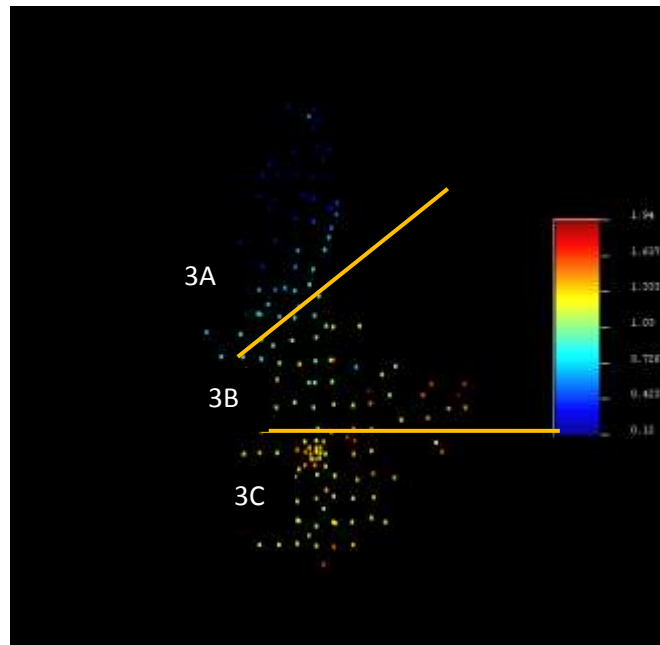
Peta geologi daerah penelitian ditunjukkan pada **Gambar 1**. Berdasarkan jumlah data dan pola pemboran, maka daerah penelitian dibagi menjadi 2 domain yaitu seluruh data (*all*) dan dibagi menjadi 3 kelompok (*cluster*). Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2** dan **3**.



**Gambar 1** Peta geologi daerah penelitian



**Gambar 2** Pengelompokan spasial pada data ketebalan seam batubara



**Gambar 3** Pengelompokan spasial pada data *total sulphur*

Sari numerik untuk seluruh data (*all*) dan 3 kelompok (*cluster*) dapat dilihat pada **Tabel 2, 3 dan 4**.

**Tabel 2** Sari Numerik *Relative Error Ordinary Kriging* dan *Kriging with Trend Total Sulphur* dan *Thickness* pada seluruh data (*all*)

<i>Parameter</i>	<i>Total Sulphur</i>		<i>Thickness</i>	
	<i>OK</i>	<i>KT</i>	<i>OK</i>	<i>KT</i>
<i>Mean</i>	202	216	68	80
<i>Median</i>	112	114	64	64
<i>Mode</i>	80	471	74	89
<i>Standard Deviation</i>	170	290	30	121
<i>Minimum</i>	74	72	40	36
<i>Maximum</i>	740	6647	934	3725
<i>Count</i>	873	871	1152	1142

**Tabel 3** Sari Numerik *Relative Error Ordinary Kriging* dan *Kriging with Trend Total Sulphur* pada 3 kelompok (*cluster*)

<i>Parameter</i>	<i>Total Sulphur</i>					
	<i>OK3A</i>	<i>KT3A</i>	<i>OK3B</i>	<i>KT3B</i>	<i>OK3C</i>	<i>KT3C</i>
<i>Mean</i>	143	153	86	92	33	38
<i>Median</i>	136	139	79	82	32	33
<i>Mode</i>	86	71	57	#N/A	32	197
<i>Standard Deviation</i>	40	91	24	33	2	21
<i>Minimum</i>	75	66	52	52	29	29
<i>Maximum</i>	227	1215	144	297	38	275
<i>Count</i>	247	247	412	412	281	281

**Tabel 4** Sari Numerik *Relative Error Ordinary Kriging* dan *Kriging with Trend Thickness* pada 3 kelompok (*cluster*)

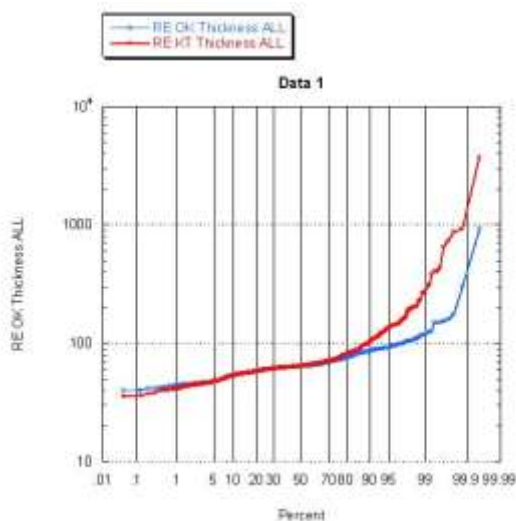
<i>Parameter</i>	<i>Thickness</i>					
	<i>OK3A</i>	<i>KT3A</i>	<i>OK3B</i>	<i>KT3B</i>	<i>OK3C</i>	<i>KT3C</i>
<i>Mean</i>	88	118	34	59	61	65
<i>Median</i>	86	94	34	34	57	58
<i>Mode</i>	88	96	41	#N/A	50	71
<i>Standard Deviation</i>	22	133	4	190	14	21
<i>Minimum</i>	60	60	29	30	48	44
<i>Maximum</i>	261	1686	58	3710	150	256
<i>Count</i>	376	373	569	556	346	342

Tabulasi variogram yang dihasilkan untuk masing-masing variabel ditunjukkan pada **Tabel 5**.

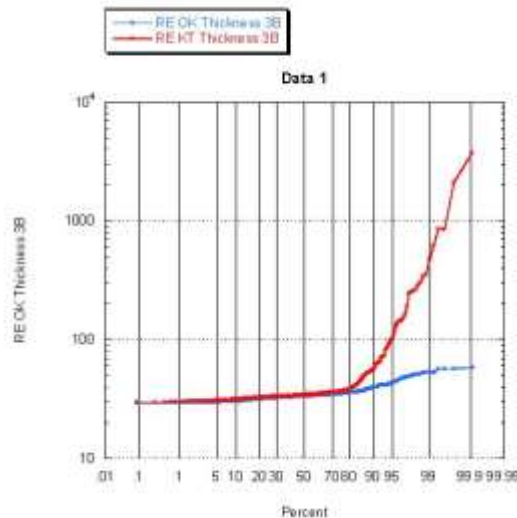
**Tabel 5** Tabulasi Variogram

		<i>Model Variogram</i>	<i>Nugget Variance</i>	<i>Sill</i>	<i>Range (m)</i>
<i>ALL</i>	<i>TS</i>	<i>Spherical</i>	0.009	0.2	4800
	<i>Thickness</i>	<i>Spherical</i>	0.78	0.88	2400
<i>3 Kelompok (Cluster)</i>	<i>TS 3A</i>	<i>Spherical</i>	0.0079	0.017	1300
	<i>Thickness 3A</i>	<i>Spherical</i>	3.8	1.26	350
	<i>TS 3B</i>	<i>Spherical</i>	0.0001	0.038	1025
	<i>Thickness 3B</i>	<i>Spherical</i>	0.1	0.33	2350
	<i>TS 3C</i>	<i>Spherical</i>	0.0164	0.04	1200
	<i>Thickness 3C</i>	<i>Spherical</i>	0.13	0.8	1500

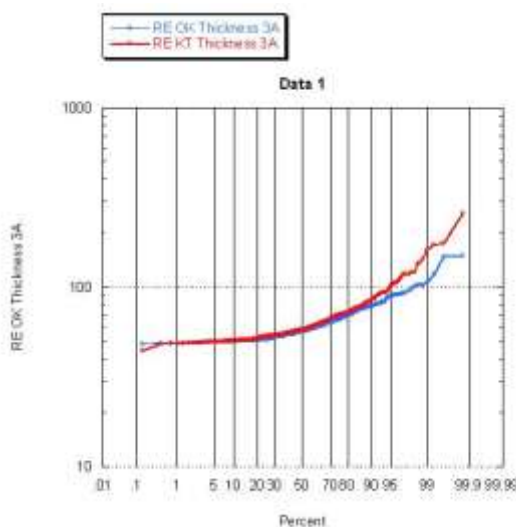
Dari hasil relative error, dihasilkan grafik *probabiliy plot* perbandingan *relative error Thickness* antara metode *Ordinary Kriging* (OK) dan *Kriging with Trend* (KT) pada seluruh data dan pada data yang telah dikelompokkan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4, 5, 6, dan 7**. Grafik *probabiliy plot* perbandingan *relative error Total Sulphur* antara metode *Ordinary Kriging* (OK) dan *Kriging with Trend* (KT) pada seluruh data dan pada data yang telah dikelompokkan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 8, 9, 10, dan 11**.



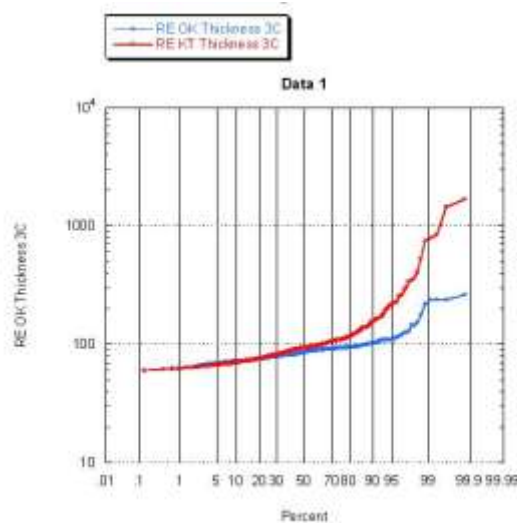
**Gambar 4** Perbandingan *relative error* dengan metode OK dan KT pada seluruh data *Thickness*



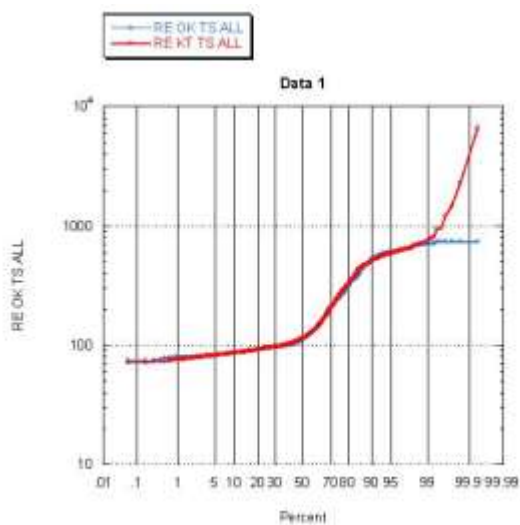
**Gambar 6** Perbandingan *relative error* dengan metode OK dan KT pada kelompok 3B *Thickness*



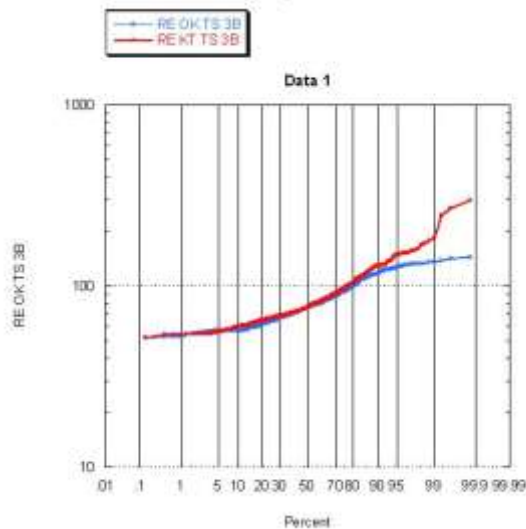
**Gambar 5** Perbandingan *relative error* dengan metode OK dan KT pada kelompok 3A *Thickness*



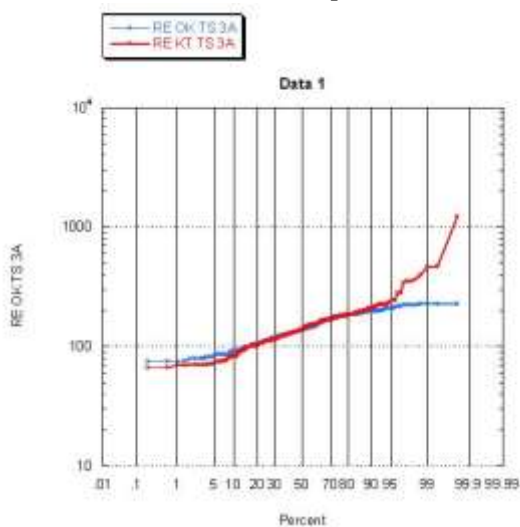
**Gambar 7** Perbandingan *relative error* dengan metode OK dan KT pada kelompok 3C *Thickness*



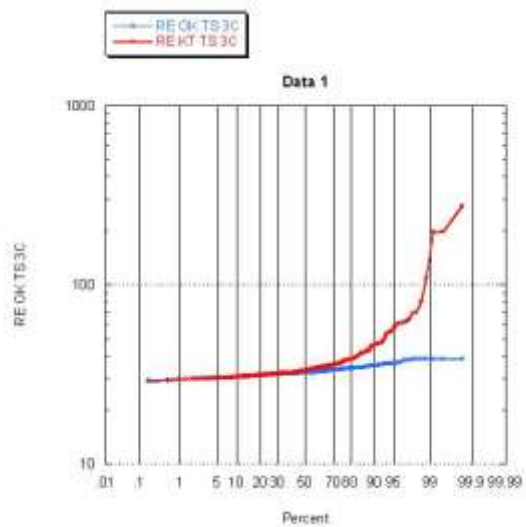
**Gambar 8** Perbandingan *relative error* dengan metode OK dan KT pada seluruh data *Total Sulphur*



**Gambar 10** Perbandingan *relative error* dengan metode OK dan KT pada kelompok 3B *Total Sulphur*



**Gambar 9** Perbandingan *relative error* dengan metode OK dan KT pada kelompok 3A *Total Sulphur*



**Gambar 11** Perbandingan *relative error* dengan metode OK dan KT pada kelompok 3C *Total Sulphur*

Perbandingan hasil estimasi sumberdaya dengan pendekatan *Ordinary Kriging* dan *Kriging with Trend* pada seluruh data dapat dilihat pada **Tabel 6** dan pengelompokan menjadi 3 kelompok (*cluster*) dapat dilihat pada **Tabel 7**.



**Tabel 6** Hasil estimasi sumberdaya dengan pendekatan *Ordinary Kriging* dan *Kriging with Trend* pada seluruh data

Sumberdaya	Measured	Indicated	Inferred	Total
OK ALL (juta ton)	0	0	20.8	20.8
KT ALL (juta ton)	0	0	19.92	19.92
Total	0	0	40.72	40.72

**Tabel 6** Hasil estimasi sumberdaya dengan pendekatan *Ordinary Kriging* dan *Kriging with Trend* pada pengelompokan menjadi 3 kelompok (*cluster*)

Sumberdaya	Measured	Indicated	Inferred	Total
OK 3A (juta ton)	0	0	4.85	4.85
OK 3B (juta ton)	0	0	36.44	36.44
OK 3C (juta ton)	0	0	0	0
Total	0	0	41.29	41.29
KT 3A (juta ton)	0	0	4.51	4.51
KT 3B (juta ton)	0	0	32.92	32.92
KT 3C (juta ton)	0	0	0	0
Total	0	0	37.43	37.43

## ANALISIS DATA

Dari sari numerik *relative error* antara *Ordinary Kriging* dan *Kriging with Trend* pada *Thickness* dan *Total Sulphur* dalam seluruh data dan pengelompokan menjadi 3 kelompok (*cluster*), yang terdiri dari beberapa parameter, yaitu *mean*, *median*, *mode*, dan *standard deviation* menunjukkan bahwa *Kriging with Trend* cenderung lebih baik dibandingkan dengan *Ordinary Kriging*. Dari hasil beberapa parameter tersebut tidak dapat menunjukkan keunggulan dari *Ordinary Kriging* dan *Kriging with Trend* karena hanya melihat hasil statistika deskriptif dari kedua metode bukan dari penyebaran data dari masing-masing blok Maka dari hasil tersebut dilanjutkan dengan perbandingan *relative error* antara *Ordinary Kriging* dan *Kriging with Trend* pada *Thickness* dan *Total Sulphur* dalam seluruh data dan pengelompokan menjadi 3 kelompok (*cluster*).

Perbandingan *relative error* antara *Ordinary Kriging* dan *Kriging with Trend* pada *Thickness* dan *Total Sulphur* dalam seluruh data dan pengelompokan menjadi 3 kelompok (*cluster*) tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Pada semua gambar grafik dapat dilihat perbedaan *relative error* cenderung terjadi setelah lebih dari 80%. Hal ini menunjukkan bahwa dari semua grafik dapat dilihat bahwa metode *Ordinary Kriging* lebih baik daripada metode *Kriging with trend* karena memiliki *relative error* yang lebih kecil dibandingkan dengan *Kriging with Trend*.

Selain itu juga telah dilakukan pengecekan hasil klasifikasi berdasarkan *Ordinary Kriging* dan *Kriging with Trend* pada *Thickness* dengan nilai *kriging relative error*. Untuk sumberdaya

terukur, memiliki nilai *relative error* 0-10%. Untuk sumberdaya tertunjuk, memiliki nilai *relative error* 10-20%. Dan untuk sumberdaya tereka, memiliki nilai *relative error* >20%.

Hasil klasifikasi berdasarkan *Ordinary Kriging* dan *Kriging with Trend* pada *Thickness* dengan nilai *kriging relative error* menunjukkan hasil estimasi sumberdaya yang berbeda antara kedua metode. Hasil estimasi sumberdaya berdasarkan *Ordinary Kriging* dapat dikatakan *overconfident* dan hasil estimasi sumberdaya berdasarkan *Kriging with Trend* dapat dikatakan *underconfident*. Dari **Tabel 5** dan **6** didapatkan hasil estimasi sumberdaya dengan metode *Ordinary Kriging* lebih tinggi dibandingkan *Kriging with Trend*. Hasil estimasi sumberdaya juga lebih besar pada pengelompokan menjadi 3 kelompok (*cluster*) daripada seluruh data. Hal ini dikarenakan perhitungan estimasi sumberdaya dengan boundary yang lebih kecil dibandingkan dengan seluruh data.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil *probabilty plot* perbandingan antara *Ordinary Kriging* dan *Kriging with Trend* pada *Thickness* dan *Total Sulphur* dalam seluruh data dan pengelompokan menjadi 3 kelompok (*cluster*) mengalami perbedaan cenderung terjadi setelah lebih dari 80% pada distribusi kumulatif.
2. Dari klasifikasi berdasarkan *kriging relative error* tersebut, untuk seluruh data diperoleh hasil estimasi sumberdaya *inferred* dengan metode *Ordinary Kriging* dan *Kriging with Trend* masing-masing sebesar 20,80 juta ton dan 19,92 juta ton. Sementara untuk pengelompokan menjadi 3 kelompok (*cluster*) diperoleh hasil estimasi sumberdaya *inferred* dengan metode *Ordinary Kriging* dan *Kriging with Trend* masing-masing kelompok sebesar 41,29 juta ton dan 37,43 juta ton.

Adapun saran untuk penelitian berikutnya adalah: perlunya dilakukan penelitian lanjutan dengan mengembangkan pengelompokan data untuk mencari solusi estimasi sumberdaya yang terbaik pada data yang non stasioner.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung yang telah memfasilitasi penelitian ini dengan Riset P3MI 2018 dan terima kasih juga kepada PT Kaltim Prima Coal atas kerja samanya dalam penelitian ini terutama untuk penggunaan dataset.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Standardisasi Nasional, 2011. *Pedoman Pelaporan, Sumberdaya, dan Cadangan Batubara, SNI 5015:2011*.

2. Coalfields Geology Council of New South Wales dan the Queensland Resources Council, 2014. *Australian Guidelines For The Estimation And Classification Of Coal Resources, 2014 Edition*. Sydney, Australia.
3. de Souza, L.E., Costa, J.F.C.L., dan Koppe, J.C., 2004. *Uncertainty estimate in resources assessment: a geostatistical contribution*. Natural Resources Research 13 (1).
4. Deutsch, C.V. and Journel, A.G.,1998. *Geostatistical Software Library and User's Guide*, Oxford University Press Inc., New York.

