



Ordinary kriging dalam penentuan lama penggalian tambang terbuka

Fauzi Pohan^{a,1}, Refky Adi Nata^a

^aSekolah Tinggi Teknologi Industri Padang, Prof. Dr. Hamka No. 121, Padang 25171, Indonesia

¹E-mail: fauzipohan@sttind.ac.id

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 16 September 19

Direvisi pada 24 Oktober 19

Disetujui pada 15 November 19

Tersedia daring pada 26 November 19

Kata kunci:

Jumlah Cadangan, Kriging, Koordinat Isopach, Lama Penggalian

Keywords:

Amount of Reserves, Duration of Excavation, Isopach Coordinates, Kriging.

ABSTRAK

Perkiraan sisa cadangan di PT. Allied Indo Coal Jaya belum dapat dipastikan, karena perhitungan cadangan mengacu pada hasil pengeboran eksplorasi yang cukup lama yaitu pada tahun 2008, sehingga perlu adanya evaluasi perhitungan cadangan ulang yang tersedia. Penelitian ini melakukan perhitungan produktivitas penambangan dengan mengukur *cycle time* alat *excavator* dan *dump truck*. Metode yang digunakan adalah metode *ordinary kriging* dengan menggunakan koordinat Isopach batubara. Dari hasil pengamatan dan pengolahan data di lapangan, diketahui bahwa batubara seam B1 di PT. Allied Indo Coal Jaya cenderung mengelompok pada ketebalan yang relatif tebal (*skewness negatif*) dengan *error variance* sebesar 0,0278, dan jumlah cadangan batubara sebesar 1,121,250 ton serta lama penggaliannya berdasarkan produksi aktualnya selama 3,2 tahun.

ABSTRACT

Estimated remaining reserves at PT. Allied Indo Coal Jaya can't be ascertained because the reserve calculation refers to the results of exploration drilling which is quite long in 2008, so it is necessary to evaluate the recalculation of available reserves. This study calculates mining productivity by measuring the cycle time of excavators and dump trucks. The method used is the ordinary kriging method using coal isopach coordinates. From observations and data processing in the field, it is known that B1 seam coal at PT. Allied Indo Coal Jaya tends to cluster at a relatively thick thickness (negative skewness) with an error variance of 0,0278, and the number of coal reserves of 1,121,250 tons and the duration of the excavation based on its actual production of 3,2 years.

Tersedia pada: <http://dx.doi.org/10.36055/tjst.v15i2.6598>.

1. Pendahuluan

Sistem penambangan adalah suatu cara atau teknik yang dilakukan untuk mengambil endapan bahan galian yang memiliki nilai ekonomis untuk diolah atau diproses lebih lanjut dengan tujuan mendapat keuntungan yang lebih besar. Sistem penambangan tersebut harus memperhatikan keamanan dan keselamatan kerja serta meminimalisasi dampak lingkungan yang dapat ditimbulkan. Secara umum, sistem dan metode penambangan dibagi menjadi 4 (empat) jenis, yaitu tambang terbuka (*surface mining*), tambang dalam atau tambang bawah tanah (*underground mining*), tambang bawah air (*underwater mining*) dan tambang di tempat (*insitu mining*).

PT. Allied Indo Coal Jaya merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan batubara dan memiliki Izin Usaha Penambangan (IUP) pada wilayah dengan luas 372,40 Ha. Kegiatan penambangan yang dilakukan PT. Allied Indo Coal Jaya adalah tambang terbuka dan tambang bawah tanah. Dalam setiap kegiatan pertambangan, salah satu persoalan utama dalam pembahasan metode estimasi cadangan, yang mana endapan bahan galian harus dilihat sebagai suatu gambaran cadangan yang utuh. Dalam hal ini, faktor penting dalam menggambarkan suatu endapan bahan galian adalah bagaimana cara pengelompokan atau pengklasifikasian bahan galian tersebut berdasarkan keadaan geologi, bentuk geometri, besarnya *cut off grade*, batas endapan dan sistem penambangannya [1].

Dalam penentuan sistem penambangan, informasi tentang banyak cadangan di suatu wilayah sangat diperlukan. Untuk menghitung banyak cadangan batubara di suatu wilayah dan menentukan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk penggalian, maka diperlukan perhitungan dan penggambaran cadangan secara rinci. Perhitungan cadangan dapat memberikan taksiran kualitas (*kadar/grade*) dan kuantitas (*tonase*) dari suatu cadangan, dalam hal ini adalah banyak cadangan batubara. Perkiraan sisa cadangan di PT. Allied Indo Coal Jaya belum dapat dipastikan, karena perhitungan cadangan mengacu pada hasil pengeboran eksplorasi pada tahun 2008. Untuk mengevaluasi sisa cadangan batubara di PT. Allied Indo Coal Jaya, maka perlu dilakukan perhitungan cadangan ulang dengan suatu metode perhitungan cadangan yang tersedia berdasarkan dari data koordinat Isopach batubara yang ada. Oleh sebab itu,

dilakukan pemodelan cadangan secara geostatistik. Analisis secara geostatistika dilakukan dengan tujuan untuk memperkirakan bagian dari suatu himpunan yang tersebar secara spasial melalui suatu pengukuran sehingga dapat dilakukan *interpolasi* pada data [2].

Kriging merupakan salah satu estimator geostatistik yang dirancang untuk melakukan penaksiran kadar blok sebagai kombinasi linear dari contoh-contoh yang ada di dalam/sekitar blok. Faktor bobot dipilih sedemikian rupa sehingga diperoleh 3 varian estimasi yang minimum. Melalui proses *kriging*, didapatkan nilai-nilai pengestimasi kadar-kadar blok berdasarkan kadar-kadar contoh yang telah dikoreksi [1]. Pada pembahasan *kriging* ini, telah ada beberapa penelitian yang dilakukan pada reservoir, mineral (biji besi) ataupun batubara. Diantaranya [3-8] yang pada penelitiannya berhasil menggambarkan penyebaran kualitas dan ketebalan dalam bentuk histogram, 2D maupun 3D, tonase cadangan, serta didapatkan koefisien korelasi (tingkat kepercayaan) yang tinggi.

2. Metodologi

2.1. Data

Data yang dikumpulkan berupa data hasil pengamatan lapangan PT. Allied Indo Coal Jaya sebagai berikut:

- *Cycle time excavator*
Cycle time excavator merupakan waktu edar yang diperlukan oleh alat muat *excavator* untuk melakukan satu siklus kerja dimulai dari pengisian bucket hingga menumpahkan muatan ke dalam alat angkut dan kembali kosong [9].
- *Cycle time dump truck*
Cycle time dump truck merupakan waktu edar yang diperlukan alat angkut untuk melakukan satu siklus kerja, meliputi waktu menunggu alat untuk dimuat, waktu mengatur posisi untuk dimuati, waktu diisi muatan, waktu mengangkut muatan, waktu dumping dan waktu kembali kosong [9].
- *Koordinat Isopach* batubara seam B1
Koordinat Isopach merupakan suatu koordinat yang menghubungkan titik-titik suatu formasi/lapisan dengan ketebalan yang sama.

2.2. Penentuan Penyebaran Ketebalan Batubara

Analisis statistik yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari dua yaitu statistik univarian dan bivarian

- Analisis statistik univarian

Varians (σ^2) yaitu variasi ukuran yang menyatakan penyebaran data di sekitar nilai rata-rata. *Varians* dapat diperoleh melalui persamaan (1) [5]:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{(n-1)} \quad (1)$$

Skewness (SK) atau ukuran kemiringan kurva merupakan nilai yang menunjukkan kecenderungan distribusi data berdasarkan kesimetrisan histogram suatu kurva. Nilai SK positif menyatakan distribusi data lebih banyak berada pada nilai yang lebih rendah atau miring ke kanan sedangkan nilai SK negatif menyatakan data terkonsentrasi pada nilai yang lebih tinggi atau miring ke kiri. *Skewness* dapat dihitung dengan persamaan (2) [10]:

$$SK = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3}{\sigma^3} \quad (2)$$

- Analisis statistik bivarian

Variogram merupakan alat pada metode geostatistik yang berguna untuk menunjukkan koreksi spasial antara data yang diukur. Pada penelitian ini menggunakan analisis variogram untuk mengetahui hubungan antara data koordinat yang ada pada koordinat Isopach sehingga diperoleh ketebalan lapisan batubara yang ada dan sebaran dari batubara tersebut, untuk menghitung *variogram* eksperimental dapat dinyatakan dengan persamaan (3) [10]:

$$\gamma(h) = \frac{\sum_{i=1}^n \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2}{2N(h)} \quad (3)$$

Keterangan:

- $\gamma(h)$: variogram eksperimental
- $Z(x_i)$: nilai kadar pada lokasi (x_i)
- $Z(x_i + h)$: nilai kadar pada lokasi , dan
- $N(h)$: banyak pasangan data.

Persamaan (3) hanya berlaku untuk data yang memiliki arah 0° dan memiliki jarak antar-pasangan (*lag*) yang sama sebesar h . Sedangkan untuk data yang memiliki jarak antar contoh tidak teratur diperlukan suatu batas toleransi (jarak yang masih dipengaruhi oleh data tersebut) untuk kedua variabel tersebut [3].

Selain dua analisis statistik di atas, digunakan juga proses penentuan estimator *kriging*. Pada *ordinary kriging*, hal-hal yang perlu diperhatikan diantaranya nilai estimasi variabel blok, bobot λ_i , dan varian *kriging*.

- Nilai estimasi variabel blok

Nilai estimasi variabel dari masing-masing blok diperoleh dengan menggunakan persamaan di bawah ini [10]:

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z_i, \quad (4)$$

- Menentukan bobot λ_i dihitung menggunakan persamaan di bawah ini [10]:

$$\sum_{i=1}^n (\lambda_i \cdot \gamma(v, v)) + \mu = \gamma(v, V) \text{ dengan } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (5)$$

- *Varians kriging* dapat dinyatakan dengan persamaan berikut [10]:

$$\partial^2 K = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot \gamma(v, V) - \gamma(V, V) + \mu, \quad (6)$$

Keterangan:

Z^*	: nilai taksiran kadar (ketebalan batubara)
Z_i	: nilai kadar (ketebalan batubara) yang dibobot,
$\gamma(V, V)$: nilai rata-rata (h) jika salah satu ujung vektor h menunjukkan domain $v(x)$ dan ujung lainnya menunjukkan domain $v(x)$ juga
$\gamma(v, V)$: nilai rata-rata (h) jika salah satu ujung vektor h menunjukkan domain $V(x)$ dan ujung lainnya menunjukkan domain $v(x)$ dan ujung lainnya menunjukkan domain $V(x)$ juga,
$\partial^2 K$: <i>varians kriging</i>
γ_i	: nilai bobot
μ	: pengali Lagrange.

2.3. Perhitungan Waktu Edar (Cycle time)

Waktu edar merupakan waktu yang diperlukan oleh alat untuk melakukan satu siklus kerja. Jika waktu edar suatu alat mengecil, maka tingkat produksinya semakin tinggi. Waktu edar alat muat merupakan jumlah total waktu yang diperlukan oleh sebuah alat muat untuk melakukan satu siklus kerja, yang dimulai dari pengisian bucket hingga menumpahkan muatan ke dalam alat angkut dan kembali kosong, secara matematis, dapat dihitung dengan persamaan (7) [9, 10].

$$C_{Tm} = T_{m1} + T_{m2} + T_{m3} + T_{m4} \quad (7)$$

Keterangan:

C_{Tm}	: total waktu edar alat muat (detik)
T_{m1}	: waktu untuk menggali muatan (detik)
T_{m2}	: waktu <i>swing</i> bermuatan (detik)
T_{m3}	: waktu untuk menumpahkan muatan (detik)
T_{m4}	: waktu <i>swing</i> tidak bermuatan (detik).

2.4. Perhitungan Produktivitas

Produktivitas alat muat dapat dihitung dengan persamaan (8) [9, 10].

$$Q_a = \frac{q_a \times 3600 \times E_a}{C_{Tma}}, \quad (8)$$

Keterangan:

Q_a	: produktivitas alat muat per jam (m^3 /jam),
q_a	: kapasitas produksi alat muat per siklus (m^3),
E_a	: efisiensi kerja alat muat,
C_{Tma}	: waktu siklus alat muat per detik, dengan kapasitas produksi persiklus <i>excavator</i> dapat ditemukan dengan persamaan (9) [9].

$$q_a = ql \times K, \quad (9)$$

Keterangan:

q_a	: produktivitas per siklus (m^3),
ql	: kapasitas <i>bucket</i> monjong (m^3),
K	: faktor <i>bucket</i> .

2.5. Perhitungan Lama Penggalian

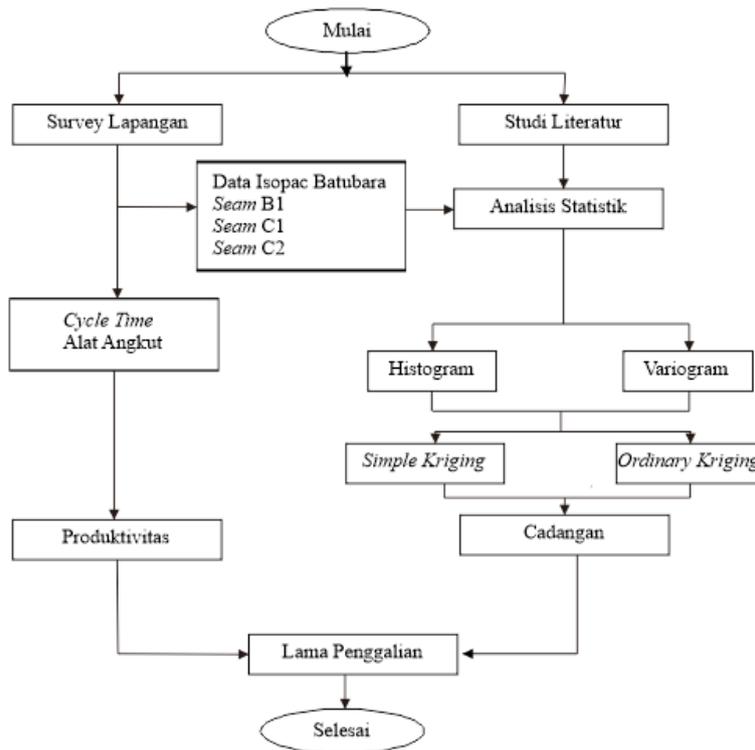
Untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk menggali batubara, dapat dihitung dengan persamaan (10) [8, 10]

$$LP = \frac{TC}{P}, \quad (10)$$

Keterangan:

LP	: lama penggalian (tahun),
TC	: total cadangan (ton),
P_r	: produksi (ton/tahun)

Adapun alur kegiatan penelitian ini seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Penyebaran Ketebalan Batubara

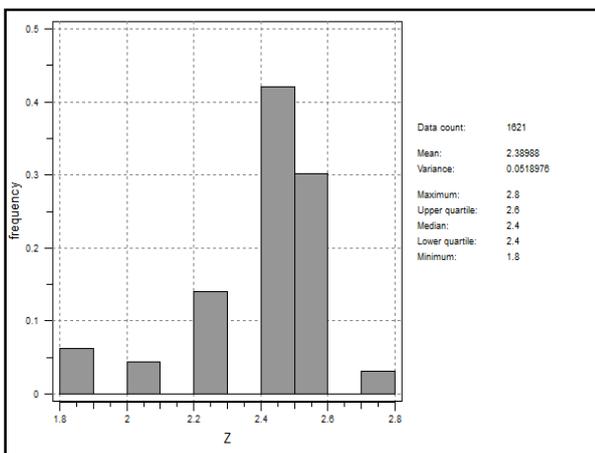
Dari hasil analisis statistik univarian terhadap ketebalan batubara pada histogram, analisis data harus dilihat. Pada bagian ini disajikan analisis data dari batubara seam B1.

3.1.1. Analisis histogram

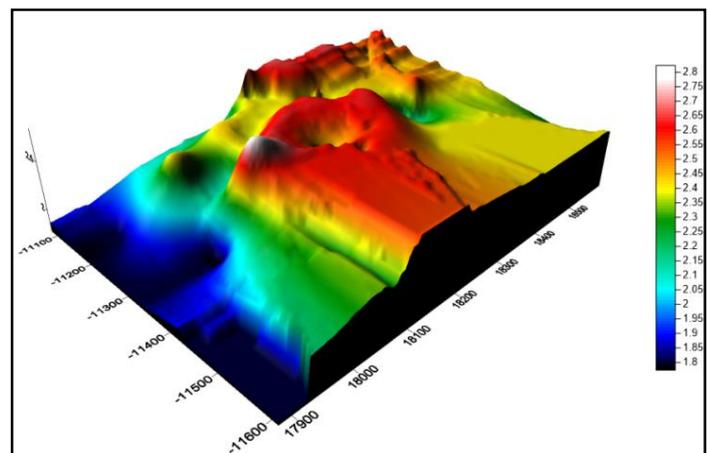
Histogram ketebalan batubara seperti yang terlihat pada Gambar 2 menunjukkan bahwa ketebalan batubara memiliki distribusi taksimetri (*skewness*) negatif yang berarti bahwa batubara seam B1 cenderung mengelompok pada ketebalan relatif tebal (dengan nilai rata-ran 2,38988 m dengan nilai ketebalan maksimum pada 2,8 m). Hal tersebut ditunjukkan juga dengan nilai koefisien variasi (*coefficient of variation*) sebesar 0,05 dan didukung dengan hasil dari sebaran batubara pada Gambar 3. Warna merah menunjukkan ketebalan dari batubara seam B1 pada umumnya berada pada ketebalan diatas 2 m.

3.1.2. Analisis variogram

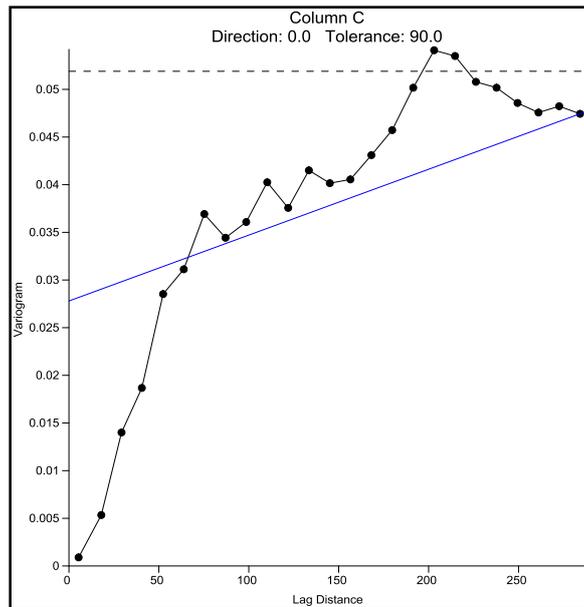
Setelah analisis penentuan penyebaran ketebalan batubara, maka selanjutnya dilakukan analisis statistik univarian dengan variogram terhadap masing-masing seam batubara. Pada Gambar 4 merupakan kurva variogram dari seam B1 batubara di PT. AIC Jaya.



Gambar 2. Histogram ketebalan batubara seam B1 Bin 10.



Gambar 3. Ketebalan batubara seam B1.



Gambar 4. Variogram ketebalan batubara seam B1.

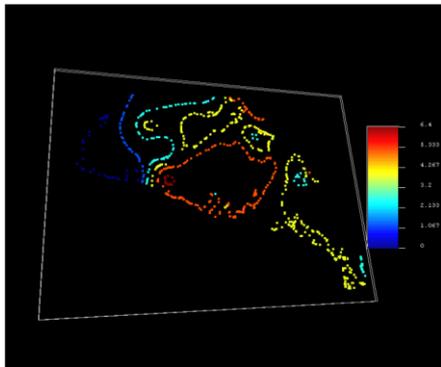
Dari analisis pada Tabel 1, diketahui bahwa batubara pada PT. Allied Indo Coal Jaya cenderung mengelompok pada ketebalan yang relatif tebal. Dilihat juga pada histogram yang cenderung ke arah kanan atau pada ketebalan yang tinggi (*skewness negative*). Hal ini dapat diterima karena penelitian ini mengacu pada penelitian terdahulu yang diteliti oleh [1] tentang analisis penyebaran ketebalan dan porositas batubara, dimana penelitian tersebut menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0,94.

Tabel 1. Hasil analisis univarian dan bivarian.

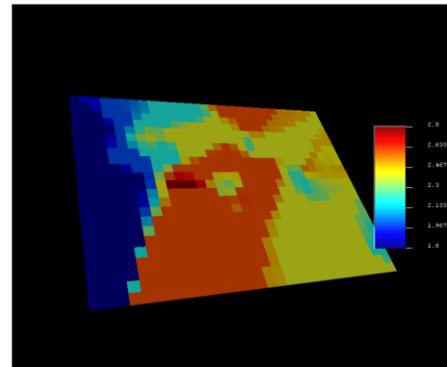
Analisis	Parameter	Seam B1
Histogram	Mean	2,3
	Varians	0,05
	Maksimum	2,8
	Kuartil	2,6
	Median	2,4
	Kuartil bawah	1,8
	Minimum	290
Variogram	Max lag distance	25
	Number of lags	11,6
	Error variance	0,0278
	Toleransi	90

3.2. Analisis Jumlah Cadangan

Metode yang digunakan untuk menentukan banyak cadangan batubara menggunakan metode *kriging*. Pembuatan blok seperti Gambar 5 pada peta penyebaran ketebalan batubara.



Gambar 5. Frame blok penyebaran.



Gambar 6. Kriging seam B1.

Blok dibuat dengan *cell size* 25×25×2 m pada batubara seam B1, sedangkan untuk grid dimensi seam B1 batubara 30×22×1. Metode *kriging* yang digunakan pada penelitian ini adalah *ordinary kriging*. Berikut pengolahan data *kriging* yang dilakukan pada seam batubara B1:

Tabel 2. Cadangan batubara.

Metode	Parameter	Seam B1
Kriging	Panjang (m)	25
	Lebar (m)	25
	Tebal (m)	2
	Jumlah balok	690
	Densitas (ton/m ³)	1,3
	Tonase (ton)	1.121.250

Dari perhitungan jumlah cadangan dengan menggunakan metode *kriging* adalah sebesar 1.121.250 ton, seperti terlihat pada Tabel 2. Pada metode ini dilakukan perhitungan berdasarkan ukuran dan jumlah blok yang didapatkan saat proses estimasi

3.3. Penentuan Lama Penggalan Batubara

Tabel 3. Spesifikasi alat muat.

Alat muat	Efisiensi kerja alat	Kapasitas <i>bucket</i> (q)	Faktor <i>bucket</i> (K)	<i>Sweel faktor</i> (SF)
Excavator	0,83	1,4 m ³	0,8	0,74

Tabel 4. *Cycle time* alat muat.

Proses	Tumpah (detik)	Swing kosong (detik)	Gali (detik)	Swing isi (detik)	CT (detik)
1	2,49	7,65	13,70	7,03	30,87
2	3,19	4,14	8,89	5,25	21,47
3	2,38	4,99	10,72	5,39	23,48
4	2,33	4,55	10,87	5,59	23,34
5	2,34	4,34	13,27	6,51	26,46
6	2,49	3,43	8,85	5,03	19,80
7	2,90	4,11	8,28	3,45	18,74

Berdasarkan data pada Tabel 3 maka diperoleh kapasitas produksi per siklus dengan persamaan (9).

$$q = 1,4 \text{ m}^3 \times 0,8 = 1,162 \text{ m}^3.$$

Adapun untuk menghitung *cycle time* dengan persamaan (7). Berdasarkan Tabel 4, sehingga diperoleh waktu siklus *excavator* (C_{Tm}) = 21,39 detik. Sehingga diperoleh produksi total dengan menggunakan persamaan (8).

$$Q = \frac{1,162 \times 3600 \times 0,83}{21,39} \times 0,7 = 120,117 \text{ bcm/jam}$$

$$Q = 120,117 \text{ bcm/jam} \times 8 \text{ jam/hari} \times 30 \text{ hari/bulan}$$

$$Q = 28.828,08 \text{ bcm/bulan.}$$

Berdasarkan realisasi produksi batubara perbulan yang didapatkan pada saat pengamatan lapangan di PT. Allied Indo Coal Jaya sebesar 28.828,08 bcm/bulan. Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa jika batubara digali berdasarkan target produksi sebesar 15.000 ton/tahun, maka waktu yang dibutuhkan untuk menggali batubara adalah 6,2 tahun. Pada keadaan aktual di lapangan, penggalian batubara tidaklah konstan. Terdapat waktu dimana penggalian meningkat atau menurun, misalnya penggalian meningkat pada saat setelah aktivitas peledakan. Informasi pada Tabel 5 menunjukkan produksi aktual sebesar 28.828,08 ton/bulan maka waktu yang dibutuhkan untuk menggali batubara yang dilakukan secara terus-menerus adalah 3,2 tahun.

Tabel 5. Lama penggalian batubara.

Parameter	RKAP (15.000 ton/bulan)	Aktual (28.828,08 ton/bulan)
Total cadangan		1.121.250
Lama penggalian (bulan)	74,75	38,89
Lama penggalian (tahun)	6,2	3,2

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengalaman lapangan dan analisis studi kasus, selanjutnya dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Penyebaran ketebalan batubara di PT. Allied Indo Coal Jaya cenderung mengelompok pada ketebalan yang relatif tebal. Terlihat dari histogram masing-masing seam yang cenderung ke arah kanan atau pada ketebalan yang tinggi (skewness negatif). Dengan error variance pada seam B1 sebesar 0,0278.
- Jumlah cadangan batubara dengan menggunakan metode *ordinary kriging* didapatkan sebesar 1.121.250 ton.
- Lama penggalian batubara pada PT. Allied Indo Coal Jaya jika digali berdasarkan target produksi 15.000 ton/bulan adalah selama 6,2 tahun. Sedangkan jika digali berdasarkan produksi aktual di lapangan sebesar 28.828,08 ton/bulan didapatkan lama penggalian 3,2 tahun.

Ucapan terima kasih

Terimakasih kepada PT. Allied Indo Coal Jaya yang telah membantu dalam pengambilan data dan dokumentasi serta terimakasih kepada DPRM Dikti atas pembiayaan sehingga penelitian ini dapat berlangsung dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asy'ari M. A., Rachmat H., dan Aflan Z. (2013). Geologi dan Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit Menggunakan Metode Ordinary Kriging di PT. Aneka tambang Tbk. *Jurnal INTEKNA Communication*, 1, 7–15.
- [2] Awali A. A., Hasbi Y., dan Rita R. (2013). Estimasi Kandungan Hasil Tambang Menggunakan Ordinary Indicator Kriging. *Jurnal Gaussian*, 2, 1–10.
- [3] Yulhendra D., dan Yoszi M. A. (2013). Estimasi Sumberdaya Batubara dengan Menggunakan Geostatistik Kriging. *Jurnal Teknologi Informasi & Pendidikan*. 6, 168-177
- [4] Zhang M., Yizhoung Z., dan Gaoming Y. (2017). Applied Geostatistics Analysis for Reservoir Characterization Based on the SGeMS (Stanford Geostatistical Modeling Software). *Open Journal of Yangtze Gas and Oil*. 2, 45-66
- [5] Guskarnali. (2016). Metode Point Kriging untuk Estimasi Sumberdaya Bijih Besi (Fe) Menggunakan Data Assay (3D) pada Daerah Tanjung Buli Kabupaten Halmahera Timur. *Promine Journal*, 2, 13-20.
- [6] Sun L. X., Yun J. W., Chaosheng Z., Hui L. W. (2019). Performance of median kriging with robust estimators of the variogram in outlier identification and spatial prediction for soil pollution at a field scale. *Science of the Total Environment*. 666, 902-914.
- [7] Daya. A.A. (2012). Reserve estimation of central part of Chohgart north anomaly iron ore deposit through ordinary kriging method. *International Journal of Mining Science and Technology*. 22, 573-577.
- [8] Perez A. J. P., E. Aracil., and L. Perez de Villar. (2014). A combined methodology using electrical resistivity tomography, ordinary kriging and porosimetry for quantifying total C trapped in carbonate formations associated with natural analogues for CO₂ leakage. *Journal of Applied Geophysics*. 105, 21-33.
- [9] Pohan A. F., Refky A. N., dan Ronal F. (2017). Efisiensi Alat Muat dan Alat Angkut Untuk Pengupasan *Overburden* Pada Site A di PT. Samantaka Batubara Desa Pauh Ranap Kecamatan Peranap Kabupaten Indragiri Hulu Provinsi Riau. *Jurnal Sains dan Teknologi Industri (STTIND) Padang*, 1, 1-8.
- [10] Gusman M. (2009). Estimasi Cadangan Batugamping dengan Metode Kriging Blok 3 (Tiga) Dimensi. *Tesis*. Program Studi Rekayasa Pertambangan ITB.