

Estimasi Sumberdaya Batubara menggunakan Metode *Ordinary Kriging* dan Metode Elemen Hingga, Studi Kasus: Endapan Batubara di Desa Pualamsari, Kabupaten Tapin, Kalimantan Selatan

Coal Resource Estimation using Ordinary Kriging and Finite Element Method, Case Study: Coal Deposits in Pualamsari Village, Tapin Regency, South Borneo

Hafidz Noor Fikri^{1*}, Arief Al Musthofa², Nurhakim³, Yuniar Siska Novianti⁴

¹⁻⁴Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

¹Department Applied Geosciences and Geophysics, Montanuniversitaet Leoben, Austria

email: ^{1*}hafidz@ulm.ac.id, ²almusthofa.arief@gmail.com, ³nurhakim@ulm.ac.id, yuniar@ulm.ac.id

ABSTRAK

Estimasi sumberdaya batubara merupakan proses kuantifikasi yang dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi geologi dan data yang dimiliki. Perkembangan teknologi membuat proses estimasi menjadi semakin cepat. Metode elemen hingga (MEH) yang merupakan proses diskritisasi model dan proses geostatistik estimasi *ordinary kriging* (OK) menggunakan model blok dilakukan pada parameter ketebalan untuk mengetahui sumberdaya batubara. Menggunakan 24 data bor touch coring dan cropline, kontur struktur roof dan floor batubara terolah sebagai batasan dalam model batubara. Estimasi sumberdaya batubara dengan metode OK menghasilkan kuantitas sebesar 1.8 juta ton. Perhitungan menggunakan MEH menghasilkan nilai sumberdaya sebesar dua juta ton. Selain itu, penggunaan metode OK dengan perangkat lunak *SGeMS* menghasilkan sumberdaya terukur yang lebih kecil karena area pengaruh ($\text{range} = 216 \text{ m}$), yang lebih kecil daripada nilai jarak titik informasi sesuai SNI 5015-2011 untuk kondisi geologi moderat (250 m). Cross validation dilakukan agar memberikan pertimbangan hasil estimasi OK. Perhitungan MEH menggunakan skema menerus saat melakukan diskritisasi. Perbedaan nilai sebesar 200 ribu ton memperlihatkan penggunaan metode yang berbeda pada batubara secara signifikan menghasilkan nilai yang berbeda.

Kata-kata kunci: Geostatistik, diskritisasi, kontur struktur, roof dan floor batubara, validasi silang

ABSTRACT

Coal resource estimation is a quantification process performed by considering geological conditions and data. The development of technology makes the estimation process increasingly faster. The finite element method (FEM) which is a model discretization process and geostatistical process of ordinary kriging (OK) estimation using block model were performed on thickness property to determine coal resources. Using 24 touch coring and cropline drill data, the contours of the roof and floor structure of the coal seam were processed as constraints in the coal model. Estimation of coal resources using OK method resulted in a quantity of 1.8 million tons. Calculation using the FEM resulted in a resource of two million tons. The difference in value of 200 thousand tons shows that the use of different methods on coal significantly produces different values. In particular, the use of the OK method with *SGeMS* software resulted in a smaller measured resource due to the area of influence ($\text{range} = 216 \text{ m}$), which is smaller than the information point distance value according to SNI 5015-2011 for moderate geological conditions (250 m). Cross validation was conducted to give consideration to the OK estimation results. The FEM calculation uses a continuous scheme in discretization. The disparity in value of 200 thousand tons shows that the use of different methods on coal significantly results in different results.

Key words: Geostatistics, discretization, structural contours, coal roof and floor, cross validation

Submitted: 15-01-2020; Revised: 18-10-2023; Accepted: 19-10-2023; Available Online: 20-10-2023

Published by: Mining Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Lambung Mangkurat

This is an open access article under the CC BYND license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

©2023, Geosapta

PENDAHULUAN

Estimasi sumberdaya merupakan salah satu proses yang penting pada kuantifikasi suatu endapan bahan galian baik itu berupa endapan bijih maupun endapan batubara [xxx]. Estimasi dapat dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi data yang tersedia baik itu nilai, kualitas, dan kuantitas [1,2,3,4]. Saat ini, tidak bisa dipungkiri bahwa perkembangan teknologi sangat membantu dalam percepatan perhitungan dan analisis suatu data, maka estimasi sumberdaya pun telah terkomputerisasi dengan berbagai jenis *software* yang sudah ada sekarang ini [5,6,7,8].

Pengetahuan sumberdaya batubara yang baik sangatlah penting dalam tahapan pertambangan batubara. Penentuan sumberdaya secara hati-hati akan membantu pada saat pengambilan keputusan kegiatan pertambangan selanjutnya [9,10,11]. Untuk meyakinkan hasil yang diestimasi, penggunaan beberapa metode menjadi krusial ketika penentuan sumberdaya batubara [9,12], sehingga pemahaman menyeluruh mengenai kelebihan dan kekurangan suatu metode estimasi memegang peranan kunci [9,13,14,15,16].

Endapan batubara merupakan endapan sedimen unik karena secara visual, relatif bisa dilihat perbedaannya

terhadap endapan sedimen di atas dan di bawahnya apabila tersingkap sempurna di permukaan [9,17]. Di sisi lain, hal ini memperlihatkan bahwa ternyata lapisan batubara memiliki bentuk yang tidak sederhana di alam [9,17,18]. Banyak sekali terjadi lipatan, patahan, maupun persilangan di kemenerusan lapisan batubara [9,17,18].

Di sisi yang berbeda, proyek eksplorasi batubara memiliki keterbatasan biaya saat pengambilan sampel bor [18,19,20]. Keterbatasan ini menyebabkan lubang bor yang dihasilkan harus tepat dan efisien dalam membantu proses estimasi sumberdaya [18,19,20].

Dengan meyakinkan, metode geostatistik di batubara terbukti membantu dalam penentuan sumberdaya secara baik [5,19]. Ordinary kriging -salah satu tahapan akhir metode geostatistik-, secara ilmiah memberikan nilai sumberdaya dengan kepercayaan yang bisa dipertanggung jawabkan. Menggunakan MEH [20], sebagai perbandingan menjadikan bahasan nilai sumberdaya semakin menarik. MEH merupakan perhitungan yang memotong suatu bangun tiga dimensi menjadi elemen dengan suatu batas tertentu (*state variable*) [6,21].

Penulis mencoba menghitung dan melakukan estimasi sumberdaya batubara menggunakan dua metode tersebut dan menganalisis perbedaan nilai yang dihasilkan.

METODOLOGI

Piranti lunak yang dipergunakan penulis adalah *software SGeMS* untuk metode OK, lalu penggunaan *software MineScape 5.7* untuk MEH.

Tahapan perhitungan sumberdaya pada penelitian ini terdiri dari tahapan adalah sebagai berikut.

1. Tahap persiapan. Tahapan ini berupa studi literatur dan studi pustaka yang terkait lokasi penelitian. Beberapa data regional (geologi, stratigrafi, dan morfologi) diperlukan untuk membantu penilaian awal endapan batubara.
2. Tahap pengumpulan data eksplorasi. Pengumpulan data didapatkan dari pengambilan data langsung (*sampling*) di lapangan maupun berdasarkan literatur yang berhubungan dengan lokasi penelitian.
3. Analisis data eksplorasi. Dilakukan analisis statistik sebagai filter pertama untuk memahami data yang diperoleh. Pertimbangan geologi dilakukan untuk memahami data pada saat analisis statistik dilakukan.
4. Pendekatan geostatistik. Tahap ini memiliki dua proses utama yaitu membuat variogram (eksperimental dan model), kemudian melakukan estimasi *ordinary kriging* (OK). Pertimbangan statistik sebelumnya merupakan hal kunci untuk proses ini. Estimasi ketebalan di titik tengah blok, dilanjutkan dengan model blok dan nilai ketebalan sebagai tinggi model blok.
5. Perhitungan menggunakan elemen hingga. Model geologi yang diolah pada MEH diusahakan semirip mungkin menggunakan skema *continuous*.
6. Sumberdaya terukur (kuantitas) dihitung, di antara dua metode tersebut dilakukan analisis untuk memahami perbedaan nilai yang dihasilkan.

PENGOLAHAN DATA DAN HASIL

Kondisi geologi

Daerah penelitian berada di Desa Pualamsari Kecamatan Binuang, Kabupaten Tapin Provinsi Kalimantan Selatan (Gambar-4). Batubara termasuk dalam Formasi Tanjung yang berumur Eosen dengan nilai kalori

antara sedang – tinggi. Tidak ada struktur yang terlihat pada endapan yang dihitung, dengan kemenerusan mencapai kilometer.

Analisis statistik data bor (ketebalan)

Statistik parameter ketebalan batubara diperoleh dari satu *seam* batubara yang merupakan hasil kegiatan pemboran *touch coring*. Statistik data yang akan digunakan ialah berupa nilai minimum, nilai maksimum, nilai *median*, nilai *mean*, nilai *variance* dan nilai *standard deviation* dari masing-masing tahapan pemboran dilokasi penelitian. Varian (*variance*) senilai 3.77 memperlihatkan tingginya perbedaan ketebalan antar 24 lubang bor yang dimiliki. Nilai maksimum (10.1 m) dan nilai minimum (0.85 m) dengan rerata ketebalan sebesar 3.88 m mempertegas perbedaan nilai ketebalan. Nilai analisis statistik data bor pada daerah penelitian ditampilkan pada Tabel-1.

Tabel-1. Analisis statistik parameter ketebalan

Parameter	Thickness data (m)
<i>Number of values</i>	24
<i>Sum</i>	93.13
<i>Minimum</i>	0.85
<i>Maximum</i>	10.1
<i>Range</i>	9.25
<i>Mean</i>	3.88
<i>Median</i>	4.40
<i>Mode</i>	4.70
<i>Variance</i>	3.77
<i>Standard deviation</i>	1.94

Analisis variogram

Variogram merupakan sebuah langkah maupun cara dalam hubungan antara satu titik bor dengan titik bor lainnya secara statistik. *Variogram* digunakan untuk mengetahui hubungan data (lubang bor) yaitu jarak antar lubang bor, yang akan menghasilkan beberapa nilai kunci, salah satunya adalah range (Tabel-2). Analisis *variogram* ini menggunakan parameter ketebalan batubara (Tabel-1), data ketebalan ini dimodelkan dengan bantuan *software SGeMS*, parameter kunci dari model *variogram* pun dihasilkan (Tabel-2, Gambar-1).

Pemodelan batubara

Pemodelan lapisan batubara merupakan salah satu langkah yang dilakukan untuk mengetahui bentuk serta perbedaan lapisan batubara dari permodelan, baik letak, kedalaman, *strike* dan *dip* lapisan. Pemodelan batubara yang dilakukan dengan melakukan proses korelasi antara data pemboran yang terdiri dari ketebalan, elevasi, *roof* dan *floor* batubara serta data *cropline*.

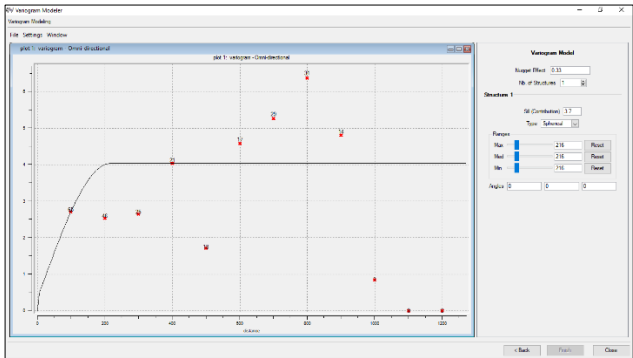
Proses pemodelan batubara dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Penentuan lapisan serta korelasi atau hubungan batubara dari data pemboran, yaitu dengan membuat data *survey* yang berisikan koordinat, elevasi dan kedalaman total titik pemboran. Selain itu, juga dapat dibuat data litologi, yang berupa elevasi *roof*, elevasi *floor*, dan *thickness*.
- b. Proses pengolahan data *survey* dan litologi dengan menggunakan bantuan *software Minescape 5.7*. Data topografi digunakan sebagai batas bagian atas lapisan batubara yang dimodelkan.

c. Pemeriksaan hasil permodelan batubara yang telah ada, apabila menghasilkan permodelan yang tidak sesuai dengan penafsiran awal dari data hasil korelasi pemboran maupun aturan-aturan pemodelan yang telah ditentukan, maka selanjutnya akan dilakukan evaluasi tahapan permodelan yang telah dilakukan.

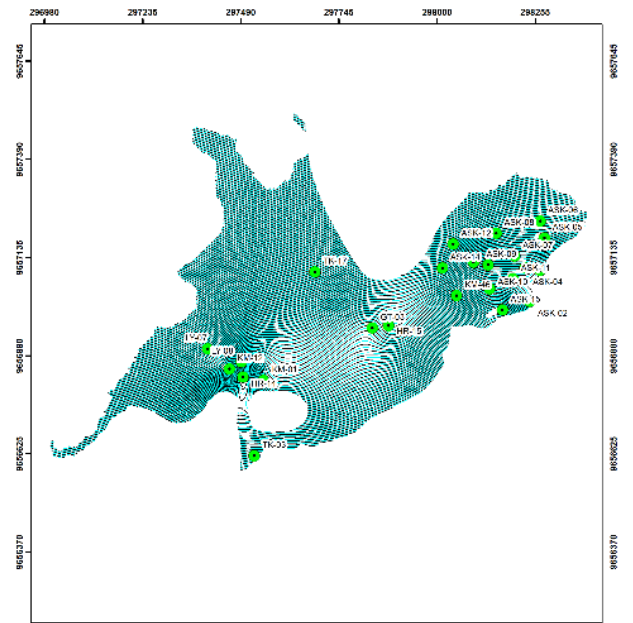
Tabel-2. Nilai model variogram spherical

Seam	Azimuth	Tolerance	Nugget effect	Sill	Model	Range
C	Omni-directional	50	0.33	3.7	Spherical	215



Gambar-1. Analisis variogram parameter ketebalan

Hasil permodelan berupa model geologi batubara yang ditampilkan dalam bentuk kontur struktur *roof* dan kontur struktur *floor* (Gambar-2). Model blok untuk estimasi menggunakan model ini sebagai batasan dan merupakan parameter untuk perhitungan MEH.



Gambar-2. Kontur struktur batubara. Titik berwarna hijau merupakan distribusi lubang bor

Batasan estimasi sumberdaya batubara

Perhitungan sumberdaya batubara didasarkan pada data yang didapat dari kegiatan pemboran. Dalam hal ini dari lubang bor didapatkan ketebalan batubara dengan pendekatan beberapa asumsi sebagai berikut.

- a. Daerah lingkup (pengaruh) yang digunakan adalah masing-masing bor dengan acuan dasar adalah garis sebaran (*cropline*) *seam* batubara.
- b. Ketebalan batubara berbeda tergantung pemodelan dari skema untuk satu daerah pengaruh titik.
- c. Tonase adalah luas daerah pengaruh dikalikan tebal batubara dikalikan 1.3 ton/m³ (densitas batubara)

Sumberdaya batubara terukur metode *ordinary kriging*

Pemodelan batubara dengan metode *ordinary kriging* dengan perangkat lunak *SGeMS*, menggunakan blok model dalam penentuan area yang diestimasi. Metode estimasi sumberdaya yang digunakan adalah metode *OK* dalam penghitungannya diperoleh hasil penaksiran sumberdaya dengan *range* (sebesar 216).

Tabel-3. Sumberdaya dengan estimasi *ordinary kriging*

No	Sumberdaya	Volume	Ton
1	Measured (terukur)	1,427,100	1,855,230

Sumberdaya batubara terukur metode elemen hingga

Metode estimasi sumberdaya dengan MEH menggunakan perangkat lunak *MineScope 5.7* dalam penghitungannya menggunakan daerah pengaruh sebesar 250 meter.

Tabel-4. Sumberdaya dengan metode elemen hingga

No	Sumberdaya	Volume	Ton
1	Measured (terukur)	1,550,764	2,015,993

Cross validation estimasi *ordinary kriging*

Beberapa model variogram biasa bisa sesuai dengan variogram eksperimental, yang dikenal dengan *best fitted*. Setelah model tersebut dianggap *fitted* maka kegiatan *cross validation* digunakan. Prosedur proses ini dengan cara mengurangi satu data secara sementara kemudian melakukan estimasi kriging pada data yang tersisa. Hasil estimasi pada data yang dihilangkan itu dibandingkan dengan data sebenarnya. Perhitungan *cross validation* menggunakan perangkat lunak *ArcMap 10.3*. Data ketebalan (*thickness*) dengan model *omnidirectional*. (Gambar-3). Secara visual terlihat bahwa untuk lapisan batubara yang memiliki tebal kurang dari 0.42 m menunjukkan hasil prediksi yang lebih besar daripada ketebalan hasil pengukuran di lapangan (*over-estimate*), demikian pula sebaliknya. Hal ini berkaitan dengan *smoothing effect* yang terjadi pada saat kegiatan estimasi dan memperlemah kepercayaan terhadap hasil estimasi.

PEMBAHASAN

Penggunaan dua metode ini pasti akan menghasilkan perbedaan hasil. Perbedaan hasil sebesar 160 ribu ton (perbedaan mencapai 8 %), menunjukkan nilai yang cukup besar (Tabel-5). Meski memiliki *boundary* yang sama pada kedua metode tersebut (*roof*, *floor*, *cropline*) namun perbedaan signifikan saat volum untuk perhitungan dibangun. *OK* menggunakan blok model yang seragam sedangkan MEH menggunakan elemen-elemen kecil. Bentuk volum yang berbeda tersebut berperan besar pada perbedaan sumberdaya yang dihasilkan.

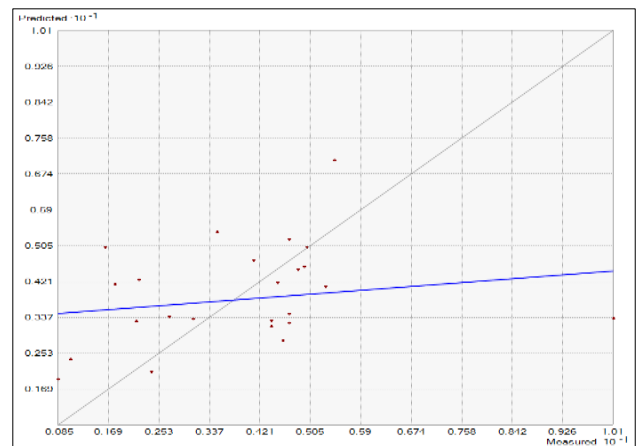
Kelemahan utama blok model yang seragam adalah area yang bisa diakomodir pada *boundary* sangat terbatas. Hal ini tentu saja akan menghasilkan nilai yang memiliki bias cukup tinggi. Sedangkan pada MEH dengan elemen-elemen yang lebih fleksibel, model pada *boundary* diakomodir dengan lebih baik. Variasi ketebalan model blok yang dihasilkan dari metode OK secara kemenerusan lapisan akan menghasilkan model yang lebih baik, hal ini tidak didapatkan pada perhitungan MEH yang bersifat lebih tidak teratur. Tentu saja analisis yang lebih baik pada pemodelan yang dihasilkan sangat diperlukan seperti

Penggunaan metode geostatistik estimasi OK selain menghasilkan nilai sumberdaya juga bisa dilakukan kontrol estimasi salah satunya yang umum digunakan adalah validasi silang (*cross validation*) yang akan membantu melihat kemungkinan estimasi apakah mempunyai kemungkinan *over-estimate* atau *under-estimate*.

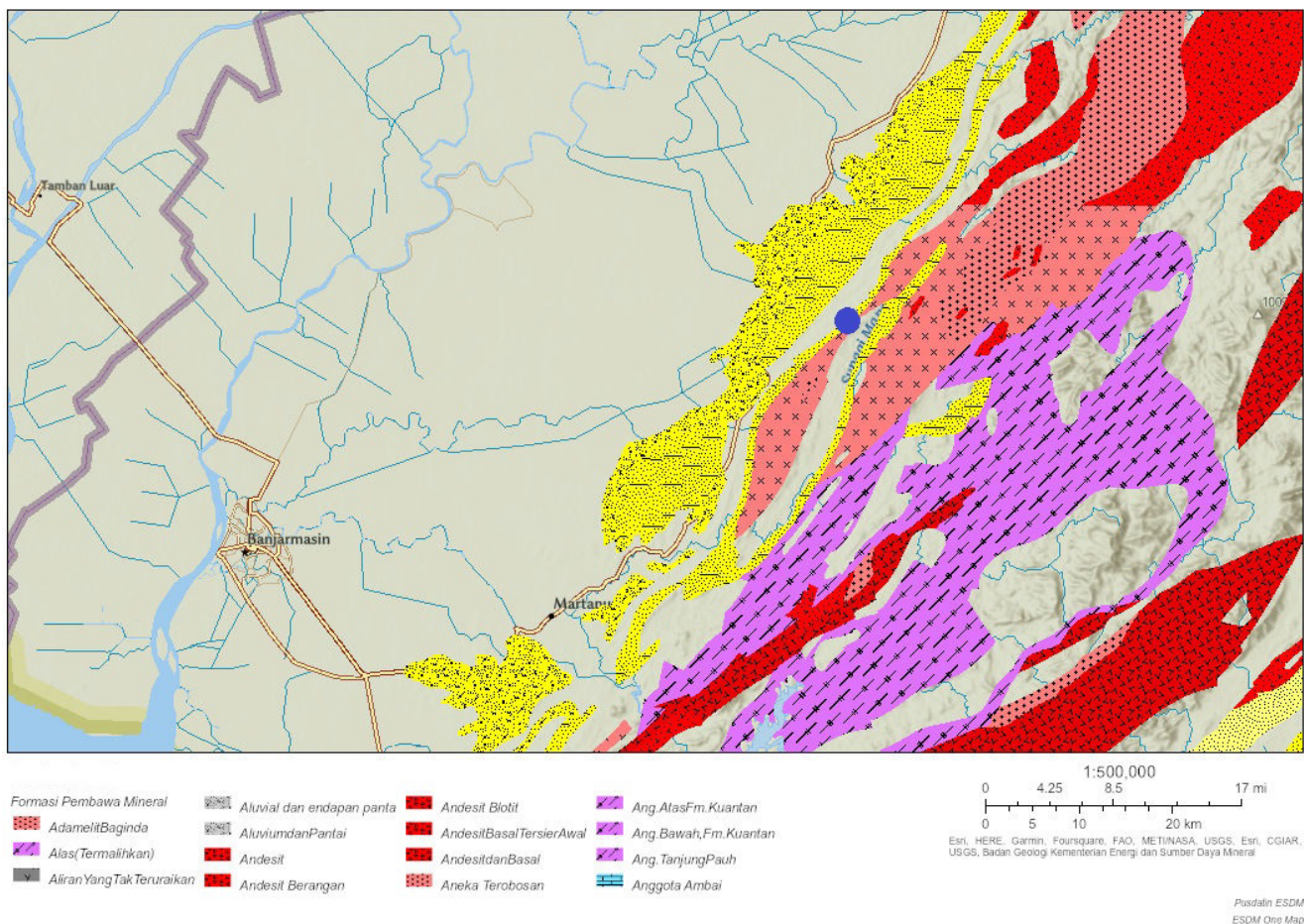
Smoothing effect (Gambar-3) menghasilkan nilai yang *over-estimate* di ketebalan lebih dari 3.3 meter dan sebaliknya *under-estimate* di angka kurang dari 3.3 meter. Angka ini jelas terlihat bahwa estimasi menunjukkan kecenderungan ke nilai rerata di nilai ketebalan 3.8 meter.

Kelebihan metode geostatistik ini tidak bisa dihadirkan pada perhitungan MEH. Namun, MEH

menghasilkan model yang secara relatif bisa mengikuti *boundary* yang diminuta dengan lebih tepat dan mengkuantifikasi nilai volumenya. Mengingat hal itu, perhitungan menggunakan dua metode ini sangat relevan dilakukan bersamaan pada saat perhitungan sumberdaya dengan harapan kepercayaan nilai yang tinggi.



Gambar-3. *Cross validation* estimasi OK



Gambar-4. Lokasi penelitian (titik berwarna biru) serta geologi regional lokasi penelitian. Lokasi penelitian berada di kaki Gunung Meratus pada Formasi Tanjung (area berwarna kuning dengan pola garis). Sumber: [21]

Tabel-5. Perbedaan sumberdaya hasil dua perhitungan

Sumberdaya estimasi OK	Sumberdaya perhitungan MEH	Perbedaan nilai	Rerata sumberdaya	% perbedaan
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
(1)	(2)	(2) – (1)	((2) + (1)) / 2	(3) / (4) * 100
1,855,230	2,015,993	160,763	1,935,612	8.3

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil estimasi yang dilakukan dengan membandingkan antara hasil estimasi OK dengan hasil estimasi pada MEH diperoleh hasil estimasi sumberdaya sebagai berikut:

1. Penggunaan metode *ordinary kriging* dengan perangkat lunak *SGeMS* menghasilkan sumberdaya dengan nilai range = 216 m, memperlihatkan pengaruh yang masih bisa diestimasi di area tersebut, yang lebih kecil daripada nilai jarak titik informasi sumberdaya terukur sesuai SNI 5015 - 2011 untuk kondisi geologi moderat (250 m).
2. Distribusi *drill holes* yang kurang baik, dimana penyebaran titik *drill holes* yang tidak merata atau tidak representatif pada daerah penelitian yang menyebabkan hasil estimasi sumberdaya kurang baik yang menghasilkan *smoothing effect* pada estimasi *ordinary kriging*.
3. Nilai sumberdaya batubara dengan MEH yang lebih besar dibandingkan dengan estimasi *ordinary kriging* memperlihatkan MEH secara volum terlihat bisa mengcover batasan *roof* dan *floor* lebih baik, tidak blok model estimasi OK. Namun estimasi OK memiliki kontrol hasil yang sangat baik (*cross validation*).

SARAN

Adapun saran yang diberikan pada penelitian ini yaitu:

1. Distribusi data bor berupa jarak antar titik lubang bor sangat mempengaruhi hasil estimasi, strategi yang baik dengan mempertimbangkan distribusi spasial dalam melakukan pemboran eksplorasi lanjutan merupakan hal yang penting agar data bisa mewakili area secara baik.
2. Estimasi sumberdaya pada metode OK memerlukan kehati-hatian pada saat *fitting variogram*, serta penentuan model variogram pada saat fitting. Pasangan data yang dihasilkan pada saat melakukan eksperimental variogram menjadi catatan tersendiri pada saat *fitting variogram*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan banyak masukan yang bermanfaat untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Armstrong, M., 1998. *Basic Linear Geostatistics*. Springer-Verlag: Berlin.
- [2] Widayat A.H.. 2005. *Metode Perhitungan Cadangan*. Modul Responsi. ITB: Bandung.
- [3] Heriawan, dkk. 2005. *Geostatistik Untuk Permodelan Sumberdaya*. ITB : Bandung.
- [4] Dwiantoro, M., Widodo, L. E., Annisa. 2017. Pemodelan Matematis Metode Elemen Hingga Untuk Menghitung Sumberdaya Batubara Daerah Pondok Labu, Cekungan Kutai, Kalimantan Timur. Jurnal GEOSAPTA Vol 3 No.2: Banjarbaru
- [5] Marwanza, I., Nas, C., Azizi, M. A., Simamora, J. H., 2019. Comparison between moving windows statistical method and kriging method in coal resource estimation. In Journal of Physics: Conference Series Vol. 1402, No. 3, p. 033016: IOP Publishing.
- [6] Fikri H. N., 2017. Perhitungan sumberdaya terukur endapan batubara menggunakan metode lingkaran dan metode elemen hingga. Jurnal GEOSAPTA Vol. 3 No.2: Banjarbaru
- [7] Roberts, L. N. R., Biewick, L. H. 1999. Calculation of coal resources using ARC/INFO and EarthVision: Methodology for the National Coal Resource Assessment. US Department of the Interior, US Geological Survey.
- [8] Gül, Y. A. V. U. Z., Küçükkarasu, O. 2020. Resource estimation for Alpagut-Dodurga coal field and determination of spatial distribution of coal quality parameters. Turkish Journal of Earth Sciences, Vol 29 No 3, 521-537.
- [9] Sinclair and Blackwell, 2000. *Applied Mineral Inventory Estimation*. Cambridge University Press. United Kingdom.
- [10] Firdaus, A., Saismana, U., Hakim, R. N., 2021. Perhitungan sumberdaya batubara di wilayah IUP Operasi Produksi PT Angsana Jaya Energi, Provinsi Kalimantan Selatan. Jurnal Himasapta, Vol 6 No 2, 67-71.
- [11] Wandy, M., Saismana, U., Riswan, R., Hakim, R. N., Gusfrimanuel, G., 2016. Perhitungan Cadangan Batubara dan Perancangan Pit PT Anugrah Karya Raya, Desa Penain, Kec. Teweh Tengah Kabupaten Barito Utara, Kalimantan Tengah. Jurnal Geosapta, Vol 1 No 01: Banjarbabru
- [12] SNI, 2011. *Pedoman Pelaporan Sumberdaya dan Cadangan Batubara*. BSN. Jakarta.
- [13] Hatton, W., Fardell, A., 2012. New discoveries of coal in Mozambique—Development of the coal resource estimation methodology for International Resource Reporting Standards. International Journal of Coal Geology, Vol 89, 2-12.
- [14] Atalay, F., Tercan, A. E., 2017. Coal resource estimation using Gaussian copula. International Journal of Coal Geology, Vol 175, pp 1-9.

- [15] Heriawan, M. N., Koike, K., 2008. Identifying spatial heterogeneity of coal resource quality in a multilayer coal deposit by multivariate geostatistics. *International Journal of Coal Geology*, Vol 73 (3-4), pp 307-330.
- [16] Heriawan, M. N., Koike, K. 2008. Uncertainty assessment of coal tonnage by spatial modeling of seam distribution and coal quality. *International journal of coal geology*, Vol 76 (3), pp 217-226.
- [17] Diessel, C. F., 2012. Coal-bearing depositional systems. Springer Science & Business Media.
- [18] Heriawan, M. N., Pillayati, P., Widodo, L. E., Widayat, A. H., 2020. Drill hole spacing optimization of non-stationary data for seam thickness and total sulfur: A case study of coal deposits at Balikpapan Formation, Kutai Basin, East Kalimantan. *International Journal of Coal Geology*, Vol 223, 103466.
- [19] Saikia, K., Sarkar, B. C., 2006. Exploration drilling optimisation using geostatistics: a case in Jharia Coalfield, India. *Applied Earth Science*, 115(1), 13-22.
- [20] Armstrong, M., 1983. Comparing drilling patterns for coal reserve assessment. *Australas. Inst. Min. Metall. Proc.:(Australia)*, 288.
- [21] Widodo, L. E., Anaperta, Y. M., Anggayana, K., Natural resources estimation using finite element method – case study: coal resources estimation, 2006, *Proceeding of 9th ISME: Bandung*.