



## ***Literatur Review Optimasi Jarak Lubang Bor dengan Metode Drill Hole Spacing Analysis (DHSA) dan Metode Drill Hole Spacing Optimization with Conditional Simulations***

Septi Wulandari<sup>\*1</sup>, Eddy Winarno<sup>2</sup>, Nur Ali Amri<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Magister Teknik Pertambangan UPN, SWK 104 Lingkar Utara, Yogyakarta, 55283, Indonesia

\*e-mail: septi.wulandari077@gmail.com

DOI:

### **Info Artikel**

Diserahkan:  
09 Juli 2022  
Direvisi:  
12 Juli 2022  
Diterima:  
02 Agustus 2022  
Diterbitkan:  
06 Agustus 2022

### **Abstrak**

Kegiatan eksplorasi merupakan kegiatan yang pasti dilakukan sebelum aktivitas penambangan dimulai. Pada tahap ini dilakukan pengeboran yang bertujuan untuk mendapatkan data yang akan digunakan dalam klasifikasi sumberdaya dan cadangan. Pengeboran membutuhkan biaya tinggi yang harus dikeluarkan oleh perusahaan untuk mendapatkan tingkat keyakinan yang tinggi sebelum melanjutkan ke tahapan selanjutnya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui metode dalam menentukan jarak bor optimum, sehingga diperoleh tingkat keyakinan tinggi dalam estimasi dan klasifikasi sumberdaya dengan biaya yang efisien berdasarkan studi literatur dari penelitian yang sudah ada sebelumnya. Hasil yang diperoleh adalah terdapat dua metode dalam analisis jarak lubang bor yaitu (a) *Drill Hole Spacing Analysis (DHSA)* dan (b) *Drill hole spacing optimization with conditional simulation*. DHSA diperhitungkan dengan metode *Global Estimation Variance* atau GEV, sedangkan metode *conditional simulation* dengan dua pendekatan utama yaitu *Turning Bands Metode (TBM)* dan *Sequential Gaussian Simulation (SGS)*.

**Kata kunci:** Jarak Titik Bor, DHSA, Conditional Simulations

### **Abstract**

*Exploration activities are activities that must be carried out before mining activities begin, at this stage drilling is carried out with the aim of obtaining data that will be used in the classification of resources and reserves. Drilling activities require high costs that must be incurred by the company to get a high level of confidence before proceeding to the next stage. This research was conducted to determine the method in determining the optimum drill spacing, so that a high level of confidence is obtained with an efficient cost based on literature studies from existing research. The results obtained are two methods in drill hole analysis, namely (a) Drill Hole Spacing Analysis (DHSA) and (b) Drill hole spacing optimization with conditional simulation. DHSA is calculated using the Global Estimation Variance or GEV method, while the conditional simulation method is calculated using indicators other than geological conditions that affect drilling activities.*

**Keyword:** Drill hole spacing, DHSA, Conditional Simulation

### **1. Pendahuluan**

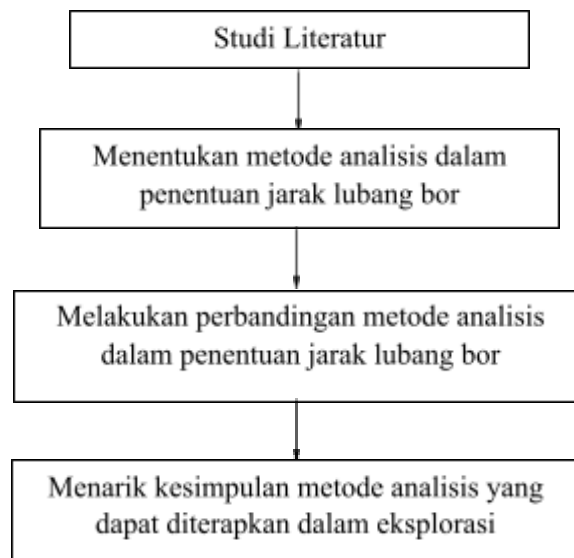
Kegiatan eksplorasi merupakan salah satu kegiatan dalam tahapan penambangan, kegiatan ini bertujuan untuk mendapatkan data yang akan digunakan sebagai dasar dalam evaluasi ekonomi pada suatu proyek pertambangan. Tingkat akurasi dalam evaluasi ekonomi dan evaluasi resiko lingkungan pada kegiatan pertambangan sangat ditentukan pada kualitas dari pengklasifikasian sumberdaya. Saat ini estimasi sumberdaya dan cadangan dilakukan berdasarkan kondisi geologi



dan ditetapkan berdasarkan jarak titik informasi pada setiap kondisi geologi dan kelas sumberdayanya. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kepercayaan terhadap model geologi yang dibuat antara lain kualitas, kuantitas, dan distribusi data pengeboran [17]. Kegiatan pengeboran merupakan salah satu kegiatan dengan biaya yang tinggi, maka dari itu berdasarkan pedoman yang klasifikasi sumberdaya dan cadangan menyebutkan pada level keyakinan tertunjuk dan terukur jarak antar lubang bor boleh diperpanjang bila ada justifikasi teknis, misal jika ditunjang oleh analisis geostatistik [21][22]. Terdapat dua metode dalam analisis jarak lubang bor yaitu (a) *Drill Hole Spacing Analisis* (DHSA) dan (b) *Drill hole spacing optimization with conditional simulation* [24]. DHSA diperhitungkan dengan metode *Global Estimation Variance* atau GEV [4], sedangkan metode *conditional simulation* dengan dua pendekatan utama yaitu *Turning Bands Metode* (TBM) dan *Sequential Gaussian Simulation* (SGS) [6]. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui jarak bor yang optimum untuk dilakukan pada kegiatan eksplorasi, sehingga diperoleh tingkat keyakinan yang tinggi dengan biaya yang efisien dalam estimasi klasifikasi sumber daya dan cadangan.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian mengenai perbandingan antara dua metode dalam penentuan jarak lubang bor yang optimum ini dilakukan berdasarkan studi literatur. Sumber yang didapatkan berasal dari jurnal baik nasional maupun internasional. Penelitian ini berfokus pada perbandingan antara kedua metode yang selama ini dikenal dalam penentuan jarak lubang bor. Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## 3. Hasil Dan Pembahasan

### 3.1. Jarak Lubang Bor

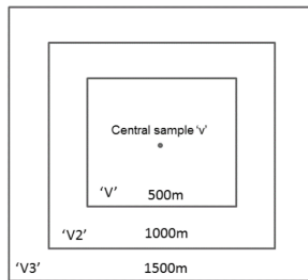
Sebagian besar perusahaan akan berusaha mendapatkan keuntungan maksimal dengan biaya minimum, dalam hal ini biaya pemboran merupakan salah satu biaya yang harus dikeluarkan dalam jumlah yang besar. Faktor yang paling mempengaruhi klasifikasi sumberdaya adalah jarak lubang bor [18]. Dengan alasan ekonomi untuk mendapatkan keuntungan yang maksimal dengan biaya minimal artinya jumlah lubang bor harus cukup untuk menjamin hasil klasifikasi tanpa biaya lebih yang perlu dikeluarkan, namun hal tersebut kembali lagi kepada manajemen untuk menentukan tingkat resiko yang bersedia diterima. Jarak lubang bor perlu dirancang sesuai dengan arah



mineralisasi [18], sehingga untuk mendapatkan jarak antar lubang bor yang optimal dan sesuai dengan area eksplorasi maka perlu dilakukan perhitungan yang tepat sebelumnya.

### 3.2. Metode Drill Hole Spacing Analysis (DHSA)

Metode perhitungan yang digunakan adalah *Global Estimation Variance* atau GEV. GEV menunjukkan ketepatan dari estimasi nilai rata-rata data secara keseluruhan. GEV menggunakan varians ekstensi untuk menghitung *error* ketika suatu blok di estimasi dengan menggunakan satu sampel yang terletak di tengah blok [4]. Metode yang digunakan untuk menentukan varians estimasi yang digunakan untuk penilaian tingkat kepercayaan dalam estimasi sumberdaya dikenal sebagai *Drill Hole Spacing Analysis* (DHSA). *Estimation variance* yang terkait dengan penggunaan nilai rata-rata yang diketahui untuk volume yang kecil 'v', yang akan digunakan untuk memperkirakan nilai pada wilayah yang jauh lebih besar, 'V' [12].



Gambar 2. Perhitungan *estimation variance* daerah persegi reguler V, dengan ukuran V2 dan V3 yang meningkat [23]

Adapun tahapan yang dilakukan adalah:

1. Perhitungan dimulai dengan mencari nilai varian ekstensi/estimasi ( $\sigma_k^2$ ) titik terhadap bidang bujur sangkar untuk model *spherical* dengan nilai *nugget variance* 0, dengan interpretasi *nugget variance* untuk variogram menggunakan sudut toleransi 180 [13] dan nilai *sill* 1 dengan plotting pada nomogram nilai varian ekstensi/estimasi, dapat dilihat pada Gambar 2.
2. Perhitungan varian estimasi titik terhadap bidang  $\sigma_k^2(r)$  harus disesuaikan dengan nilai *nugget variance* dan *sill* masing-masing parameter, yaitu:

$$\sigma_E^2(r) = C_0 + (C * \sigma_k^2) \quad [6]$$

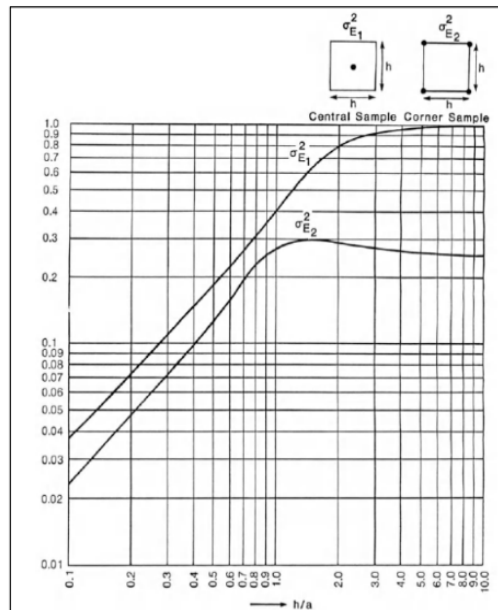
Nilai variansi estimasi global  $\sigma_k^2(R)$  dari pembagian nilai varian estimasi terhadap jumlah blok (N)

$$\sigma_E^2(R) = \sigma_E^2(r)/N \quad [6]$$

Perhitungan nilai *relative error*

$$\text{Relative Error} = \pm 1.96 \sigma_E \cdot 100\% / \text{mean} \quad [6]$$

3. Pembuatan grafik DHSA yang menampilkan perbandingan antara jarak lubang bor dan *relative error* sesuai dengan parameter.



Gambar 3. Nomogram Nilai Varian Ekstensi/Estimasi Titik terhadap Bidang Bujur Sangkar untuk Model *Spherical* [2]

Tabel 1. Perbandingan rekomendasi jarak lubang bor untuk klasifikasi sumberdaya batubara antara SNI 5015:2019 dengan *Australian Coal Guidelines for the Estimation and Classification of Coal Resources* 2014, *South Africa National Standard* (SANS 10320:2004) dan nilai *error tolerance*

| Klasifikasi Sumberdaya | SNI 5015:2019<br>Kriteria Jarak Titik Informasi Berdasarkan Kondisi Geologi [22] |                     |              | <i>Australian Coal Guidelines</i> , 2014 [3] | <i>South Africa National Standard</i> (SANS 10320:2004) [19] |                               | <i>Error Tolerance</i> [8][20] |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
|                        | Sederhana                                                                        | Moderat             | Kompleks     | Jarak antar titik informasi                  | <i>Multiple Seam</i>                                         | <i>Thick interbedded seam</i> |                                |
| <i>Measured</i>        | $200 < x \leq 400$                                                               | $100 < x \leq 400$  | $x \leq 100$ | $\leq 500$                                   | $< 350$                                                      | $< 350$                       | 0-10%                          |
| <i>Indicated</i>       | $500 < x \leq 1000$                                                              | $250 < x \leq 500$  | $x \leq 250$ | $\leq 1000$                                  | $< 500$                                                      | $< 1000$                      | 10-20%                         |
| <i>Inferred</i>        | $1000 < x \leq 1500$                                                             | $500 < x \leq 1000$ | $x \leq 500$ | $\leq 4000$                                  | $< 1000$                                                     | $< 3000$                      | $> 20\%$                       |

Tabel 2. Perbandingan rekomendasi jarak lubang bor untuk klasifikasi sumberdaya Timah dan Mineral Ikutan Timah (MIT) [15]

| Klasifikasi Sumberdaya | Pedoman Klasifikasi Sumberdaya PT. Timah Tbk. |     | Sinclair dan Blackwell (2002) ( <i>measured 30%, indicated 50%, inferred 70%</i> ) |     |
|------------------------|-----------------------------------------------|-----|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|                        | Sn                                            | MIT | Sn                                                                                 | MIT |
| <i>Measured</i>        | 50                                            | 40  | 45                                                                                 | 25  |
| <i>Indicated</i>       | 75                                            | 60  | 75                                                                                 | 40  |
| <i>Inferred</i>        | 115                                           | 90  | 105                                                                                | 50  |



Tabel 3. Penulisan Reverensi untuk DHSA

| Nama Penulis, Judul, Tahun Terbit | Lokasi Penelitian                                   | Hasil Peneitian Jarak Lubang Bor (meter) |                  |                 | Keterangan                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                   |                                                     | <i>Measured</i>                          | <i>Indicated</i> | <i>Inferred</i> |                                                                                                                                                                   |
| [4]                               | <i>South Walker Creek</i>                           | 250                                      | 500              | 1000            | Batubara Area Rangal untuk tingkat sumberdaya terukur tidak memberikan tingkat kepercayaan yang tinggi, sehingga jarak lubang bor perlu dikurangi                 |
|                                   | <i>Poitrel</i>                                      | 400                                      | 750              | 1800            |                                                                                                                                                                   |
|                                   | <i>Blackwater</i>                                   | 550                                      | 1050             | 2100            |                                                                                                                                                                   |
|                                   | <i>Daunia</i>                                       | 650                                      | 1250             | 2800            |                                                                                                                                                                   |
|                                   | <i>Caval Ridge</i>                                  | 500                                      | 1000             | 2450            | Batubara Area Moranbah, klasifikasi sumberdaya terukur jarak lubang bor yang terlalu dekat, sehingga spasi lubang bor bisa diperbesar                             |
|                                   | <i>Goonyella Riverside</i>                          | 650                                      | 1250             | 3150            |                                                                                                                                                                   |
|                                   | <i>Peak Downs</i>                                   | 700                                      | 1300             | 2600            |                                                                                                                                                                   |
|                                   | <i>Norwich Park</i>                                 | 750                                      | 1450             | 3550            |                                                                                                                                                                   |
|                                   | <i>Saraji</i>                                       | 750                                      | 1400             | 2500            |                                                                                                                                                                   |
|                                   | <i>Caval Ridge</i>                                  | 800                                      | 1400             | 2800            |                                                                                                                                                                   |
|                                   | <i>Peak Downs</i>                                   | 850                                      | 1700             | 4200            |                                                                                                                                                                   |
|                                   | <i>Gregory Crinum</i>                               | 1100                                     | 1900             | 3600            | Batubara Area German Creek, klasifikasi sumberdaya terunjuk jarak lubang bor yang terlalu dekat, sehingga spasi lubang bor bisa diperbesar                        |
|                                   | <i>Crinum M Blok</i>                                | 1100                                     | 1900             | 3600            |                                                                                                                                                                   |
| [14]                              | <i>Case A Colliery (40 km southwest of Witbank)</i> | 1200                                     | 2400             | > 2400          | Secara umum, standar klasifikasi yang ditetapkan SANS 10320:2004, jarak lubang bor ditetapkan terlalu ketat dalam klasifikasi sumberdaya                          |
|                                   | <i>Case B (30 km west of Witbank)</i>               | 1000                                     | 2400             | >2400           |                                                                                                                                                                   |
| [25]                              | <i>Seam 1</i>                                       | 950                                      | 1650             | 2650            | Area Penambangan PT. Kaltim Prima Coal, Kalimantan Timur<br>Secara keseluruhan jarak daerah pengaruh yang didapatkan lebih tinggi dibandingkan dengan standar SNI |
|                                   | <i>Seam 2</i>                                       | 1150                                     | 1850             | 4300            |                                                                                                                                                                   |
|                                   | <i>Seam 3</i>                                       | 750                                      | 1100             | 2150            |                                                                                                                                                                   |



|      |                                                      |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                               |
|------|------------------------------------------------------|------|------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [15] | Timah                                                | 30   | 55   | 85   | 1. MIT lebih bervariasi dibandingkan dengan Sn, baik dilihat secara statistik maupun spasial.                                                                                                                                 |
|      | MIT                                                  | 20   | 30   | 40   | 2. Nilai jarak optimum diambil dari jarak optimum MIT dikarenakan MIT memiliki spasi optimum yang lebih kecil daripada Sn.                                                                                                    |
| [10] | Formasi Balikpapan, Cekungan Kutai, Kalimantan Timur | 1000 | 2000 | 2600 | Penelitian mengkaji penurunan ketebalan lapisan dan total sulfur dari lapisan batubara dengan empat pendekatan yaitu pegelompokkan data spasial, perluasan ukuran grid /blok, transformasi data, dan penggunaan data residual |

### 3.3. Metode Drill Hole Spacing Optimization with Conditional Simulations

Metode *conditional simulations* mengasumsikan beberapa variabel dalam melakukan simulasi yang sangat spesifik dan melebihi 2 parameter [1]. Adapun berdasarkan *literatur review* terdapat beberapa metode perhitungan yang digunakan dalam optimasi jarak lubang bor dengan *conditional simulations* yang dapat dilihat pada Tabel 4., dua pendekatan utama yang digunakan dalam industri pertambangan adalah *Turning Bands Method* (TBM) [11] dan *Sequential Gaussian Simulation* (SGS) [7]. Metode yang akan dijelaskan dalam pendekatan ini adalah metode SGS, dengan tahapan perhitungan sebagai berikut:

1. Untuk melakukan simulasi dengan SGS, perlu dilakukan pengecekan kembali untuk data yang telah ditransformasi dengan melihat histogram, nilai *mean*, dan *variance*. Parameter untuk data terdistribusi normal antara lain yaitu nilai *mean* mendekati 0, dan *variance* mendekati 1
2. Pembuatan variogram atau *point gaussian semivariogram* dengan arah *omnidirectional*.
3. Proses simulasi dengan SGS yaitu dengan melakukan simulasi berupa realisasi data pada masing-masing blok simulasi, yang selanjutnya dilakukan *back transform*.
4. Perhitungan nilai *Global Standardised Estimation Precision* (GSEP) atau nilai *relative error* pada setiap blok simulasi. Perhitungan GSEP menggunakan nilai residual [6] dengan cara menghitung selisih antara nilai realisasi tiap blok dengan nilai rata-rata yang telah dihitung sebelumnya.
5. Perhitungan nilai standar deviasi estimasi setiap blok dengan rumus:

$$\sigma E = \frac{SD}{N} \quad [6]$$

Dengan SD standar deviasi dan N adalah jumlah titik bor di daerah penelitian.

6. Perhitungan nilai GSEP atau *relative error*

$$GSEP = \pm 1.96 \sigma_E \cdot 100\% / \text{mean} \quad [6]$$

Tabel 4. Penulisan Reverensi untuk *Drill Hole Spacing Optimization with Conditional Simulations*



| Nama Penulis, Judul, Tahun Terbit | Lokasi Penelitian                                   | Hasil Penelitian                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Keterangan                                                                                                     |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [9]                               | Tambang Emas Eldorado                               | Pada simulasi ke 22 didapatkan angka ketidakpastian yang turun dengan ukuran blok 10 x 25 x 10                                                                                                                                                                                                                                                      | Menggunakan 90 lubang bor simulasi                                                                             |
| [5]                               | Endapan Murrin-Murrin Nikel-Cobalt, Australia Barat | Perhitungan jarak bor optimum dilakukan dengan simulasi ukuran 12mx12m (512 lubang), 18mx12m (320 lubang), 18mx18m (210 lubang), dan 25mx25m (210 lubang) dengan hasil:<br>1. Biaya pengeboran naik 8 sen/ton untuk ukuran 12mx12m dan 25mx25m, dengan laba naik \$2/ton (35%) pada <i>cut-off</i> tinggi dan \$0.50/ton pada <i>cut-off</i> rendah | Metode yang digunakan adalah simulasi multivariate dengan <i>minimum/maximum autocorrelation factors</i> (MAF) |
| [6]                               | Moranbah North, Queensland, Australia               | 1. Metode GEV secara konseptual bersifat sederhana dan cepat, baik digunakan pada lapisan dengan kondisi geologi sederhana<br>2. Metode DGM dan CS memiliki fleksibilitas tinggi dan cocok untuk endapan dengan variabilitas kualitas batubara tinggi                                                                                               |                                                                                                                |

Berdasarkan hasil studi literatur mengenai kedua metode dalam optimasi jarak lubang bor, maka perbandingan dari kedua metode tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan antara Metode DHSA dan CS

| Parameter                         | Metode DHSA                                                                                                                              | Metode CS                                                                                                |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Metode Perhitungan</b>         | <i>Global Estimation Variance</i> (GEV)                                                                                                  | <i>Turning Bands Method</i> (TBM) dan <i>Sequential Gaussian Simulation</i> (SGS)                        |
| <b>Input data</b>                 | Lebih sederhana, karena perhitungan <i>relative error</i> setiap blok dapat langsung dihitung setelah nilai variansi estimasi didapatkan | Lebih rumit, karena harus melakukan lebih banyak simulasi realisa data setiap blok                       |
| <b>Waktu pengerjaan</b>           | Relatif lebih cepat                                                                                                                      | Memakan waktu yang lebih lama berkaitan komputasi, dengan diperlukannya manipulasi dan pemeriksaan model |
| <b>Jenis endapan/bahan galian</b> | - Baik digunakan pada lapisan dengan kondisi geologi sederhana untuk batubara                                                            | - Baik digunakan untuk endapan dengan variabilitas kualitas batubara yang tinggi                         |



|                                    |                                                                                                                                       |                                                                             |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
|                                    | - Metode GEV juga dapat digunakan untuk endapan tipe alluvial                                                                         |                                                                             |
| <b>Penerapan hasil perhitungan</b> | Hasil perhitungan bersifat ocal atau diterapkan pada satu daerah penelitian dengan homogenitas endapan, kontinuitas spasial yang sama | Hasil perhitungan bersifat ocal atau diterapkan pada satu daerah penelitian |

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan studi literatur dari berbagai jurnal maupun buku mengenai penentuan jarak lubang bor yang optimum dengan metode DHSA dan CS maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. DHSA dengan menggunakan metode GEV secara konseptual sederhana dengan waktu pengerjaan yang lebih singkat, yang baik digunakan pada kondisi geologi sederhana.
2. Metode CS memerlukan waktunya pengerjaan yang lebih rumit berkaitan dengan komputasi, namun dapat diterapkan pada kondisi endapan dengan variabilitas tinggi.
3. Metode penentuan jarak lubang bor ini diperlukan, berkaitan dengan tingkat keyakinan estimasi sumberdaya/cadangan maupun biaya eksplorasi.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Penyusunan paper ini tidak terlepas dukungan dari berbagai pihak khususnya Kepada Prodi Magister Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta.

#### 6. Referensi:

- [1] Almeida, A.S. and Journel, A.G., “Joint simulation of multiple-variables with a Markov-type coregionalization model,” *Mathematical Geology*, 1994, vol 2, no. 5. P. 565-588
- [2] Annels, A. E., “*Mineral Deposit Evaluation: A Practical Approach*,” 1991, Netherlands: Springer.
- [3] Australian guidelines for the estimation and classification of coal resources, “*Prepared by the Guidelines Review Committee on behalf of the Coalfields Geology Council of New South Wales and the Queensland Resources Council*,” 2014.
- [4] Bertoli, O., A. Paul, Z. Casley, and D. Dunn, “Geostatistical drill hole spacing analysis for coal resource classification in the Bowen Basin, Queensland,” *International Journal of Coal Geology*, 2013, 112, 107-113
- [5] Boucher, A., R. Dimitrakopoulos, and J.A. Vargas-Guzman, “Joint Simulations, Optimal Drillhole Spacing and The Role of The Stockpile,” In: *O. Leuangthong and C. V. Deutsch (eds.)*, 2004, Geostatis Banff, pp. 35-44.
- [6] Cornah, A., Vann, J., Driver, I., “Comparison of three geostatistical approaches to quantify the impact of drill spacing on resource confidence for a coal seam (with a case example from Moranbah North, Queensland, Australia).” *Int. J. Coal Geol.*, 2014, 112, 114-124.
- [7] Deutsch, C.V., Journel, A.G., “*GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide*. Oxford University Press, 1992, New York.
- [8] Diehl, P., and M. David., “Classification of Ore Reserves/Resources Based on Geostatistical Methods,” *CIM. Bull.*, 1982, 75 (838): 127-35.



- [9] Gorla, S., A. Galli, and M. Armstrong. "Quantifying the impact of additional drilling on an open pit gold project," In: *2001 annual conference of the International Association for Mathematical Geology. Cancun*, 2001, Mexico
- [10] Heriawan, M. N., P. Pillayati, L. E. Widodo, and A. H. Widayat, "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*, 2020, 223(March), 103466
- [11] Journel, A., "Geostatistics for the conditional simulation of ore bodies," *Economic Geology* 69., 1974, 673–688.
- [12] Journel, A.G., Huijbregts, C.J., "*Mining Geostatistic*," Academic Press Inc. 1978, London.
- [13] Michel, D., "*Geostatistical Ore Reserve Estimation*." New York: Oxford, 1977.
- [14] Nengovhela, A. C., "The Application of Geostatistics in Coal Estimation And Classification." M. Sc Thesis. *University of the Witwatersrand. Johannesburg, South Africa*., 2018.
- [15] Sianturi, R. K., M. N. Heriawan, dan Syafrizal, "Analisis Spasi Lubang Bor untuk Mengevaluasi Sumberdaya Timah Aluvial dan Mineral Ikutannya di Pulau Bangka dengan Global Estimation Variance." *Dalam: Ris.Geo.Tam Vol. 30, No.2.*, 2020, pp. 153-170
- [16] Sianturi, R. K., dkk., "Perbandingan Tiga Pendekatan untuk Memodelkan Ketidakpastian dalam Estimasi Sumberdaya Timah dan Mineral Ikutan Timah pada Endapan Alluvial." *Dalam: Indonesian Mining Professionals Journal Volume 2.*, 2021, Nomor 2, November 2020: 65 – 74.
- [17] Silva, D. S. F., & Boisvert, J. B., "Mineral resource classification: a comparison of new and existing techniques." *Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*., 2014, 114(March), 265–273
- [18] Snowden, D.V., "Practical interpretation of resource classification guidelines." *AusIMM.*, 1996, *Annual Conference*.
- [19] South African National Standard, "South African guide to the systematic evaluation of Coal Resources and Coal Reserves." *SANS 10320:2004.*, 2004, ISBN 0-626-16174-6.
- [20] Souza, L. E., J. F. C. L. Costa, and J.C. Koppe, "Comparative Analysis of the Resource Classification Techniques: Case Study of the Conceicao Mine, Brazil." *Applied Earth Science*, 2010.
- [21] Standard Nasional Indonesia, "Pedoman pelaporan sumberdaya dan cadangan mineral." *SNI 4726:2019*, 2019.
- [22] Standard Nasional Indonesia, "Pedoman pelaporan sumberdaya dan cadangan batubara." *SNI 5015:2019*, 2019.
- [23] Williams, C. S., K. Henderson, S. Summers. *Practical application of drill hole spacing analysis in coal resource estimation*. Peabody Energy Australia. South Brisbane, Qld 4101
- [24] Vargas, A. M., "Optimizing grade-control drillhole spacing with conditional simulation." *Minería y Geología.*, 2017, vol. 33, no. 1, pp. 1-12
- [25] Zulkarnain, I., and W. S. Bargawa, "Classification of Coal Resources Using Drill Hole Spacing Analysis (DHSA)." *Journal of Geological Resource and Engineering* 6., 2018, pp. 151-159