

Analisis Spasi Lubang Bor untuk Mengevaluasi Sumberdaya Timah Aluvial dan Mineral Ikutannya di Pulau Bangka dengan *Global Estimation Variance*

Raymond Kosher Sianturi¹, Mohamad Nur Heriawan^{2*}, Syafrizal²

¹ Program Studi Magister Rekayasa Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung

² Kelompok Keahlian Eksplorasi Sumberdaya Bumi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung

ABSTRAK Pulau Bangka merupakan daerah yang kaya akan mineralisasi timah yang dibawa oleh batuan granit. Selain kaya akan mineralisasi timah, *ilmenite*, *rutile*, *anatase*, *zircon*, *monazite*, dan *xenotime* juga hadir dalam batuan granit sebagai mineral aksesoris. Mineral-mineral ini juga terdapat dalam endapan sekunder timah aluvial dan disebut mineral ikutan timah (MIT). Optimasi spasi bor antara timah dan mineral ikutan timah dibutuhkan agar spasi tersebut dapat mewakili timah dan mineral ikutan timah. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pendekatan geostatistik melalui metode *Global Estimation Variance (GEV)* untuk menghitung nilai *relative error*. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa timah lebih homogen daripada mineral ikutan timah. Spasi optimum yang mewakili Sn (timah) dan mineral ikutan timah berdasarkan pada 8 (delapan) daerah di Pulau Bangka adalah 20 - 25 m untuk *measured*, 30 - 40 m untuk *indicated*, dan 40 - 50 m untuk *inferred*.

Kata Kunci: timah aluvial, mineral ikutan timah, spasi optimum, geostatistik, *global estimation variance*

ABSTRACT – Drill Hole Spacing Analysis for Evaluation of Tin and Associated Minerals Resources in Bangka Island Using Global Estimation Variance. Bangka Island is an area rich in granite rocks bearing tin mineralization. Besides that, *ilmenite*, *rutile*, *anatase*, *zircon*, *monazite*, and *xenotime* are also present in granite as mineral accessories. These minerals are also present in alluvial tin deposits and called as tin associated minerals. Optimization of drill hole spacing between tin and its associated minerals is indispensable so that these spacing can represent the spatial distribution of tin and its associated minerals. Global Estimation Variance (GEV) is used to calculate the relative error. This study showed that tin is more homogeneous than its associated minerals. The optimum spacings representing Sn (tin) and its associated minerals based on the case studies of eight sites at Bangka Island are 20 – 25 m, 30 – 40 m, and 40 – 50 m for obtaining the measured, indicated, and inferred resources, respectively.

Keywords: alluvial tin, tin associated minerals, optimum spacing, geostatistics, global estimation variance

Naskah masuk : 24 Juli 2020
Naskah direvisi : 7 Desember 2020
Naskah diterima : 11 Desember 2020

*Penulis korespondensi.
Email: heriawan@mining.itb.ac.id

PENDAHULUAN

Pulau Bangka merupakan bagian sabuk timah Asia Tenggara yang disusun oleh intrusi pluton granit yang kaya akan mineralisasi timah (Schwartz *et al.*, 1995; Ng *et al.*, 2017; Purwadi *et al.*, 2020). *Ilmenite*, *rutile*, *anatase*, *zircon*, *monazite*, dan *xenotime* hadir pada batuan granit sebagai mineral aksesoris (Syafrizal *et al.*, 2019a). Mineral-mineral tersebut juga terdapat pada endapan sekunder timah aluvial sebagai mineral

ikutan timah (MIT) (Syafrizal et al., 2019b). *Cassiterite*, *ilmenite*, *rutile*, *zircon*, *monazite*, dan *xenotime* merupakan mineral berat yang dapat terendapkan pada endapan aluvial (*placer*) karena memiliki ketahanan terhadap pelapukan kimia, *density* yang tinggi, dan *mechanical durability* (Evans, 1993).

Monazite dan *xenotime* merupakan mineral sumber untuk *rare earth elements (REEs)* di endapan aluvial (*placer*) (Bern et al., 2016; Syafrizal et al., 2019). Mineral-mineral pembawa REEs seperti *monazite* dan *xenotime* dapat terkonsentrasi dalam endapan *placer/sedimenter* sebagai bagian dari kumpulan mineral berat karena tahan terhadap pelapukan dan memiliki *density* 4,8 – 5,5 gr/cm³ untuk mineral *monazite* dan 4,4 – 5,1 gr/cm³ untuk mineral *xenotime* (Bern et al., 2016). REEs dapat digunakan untuk peralatan berteknologi tinggi (Gwenzi et al., 2018). *Ilmenite*, *rutile*, dan *anatase* merupakan beberapa mineral pembawa *titanium* yang memiliki sifat fisik ringan, mengkilap, kuat, tahan panas, tidak beracun, dan tahan terhadap korosi yang dapat digunakan pada beberapa industri, seperti industri *coating* (Yu & Wai, 2020). *Zircon* merupakan salah satu mineral pembawa *zirconium* yang memiliki sifat resisten dan tahan panas yang digunakan pada keramik, material tahan api, *foundry*, bahan kimia, dan reaktor nuklir (Perks & Mudd, 2019). Penelitian terhadap mineral ikutan timah di Pulau Bangka dibutuhkan agar dapat dieksploitasi dan dimanfaatkan di masa yang akan datang.

Geostatistik merupakan ilmu yang mempelajari tentang teori dan pengaplikasian dari variabel ter regional pada berbagai fenomena gejala alam (Matheron, 1971). Suatu variabel dikatakan ter regional jika variabel tersebut terdistribusi di ruang dan mencirikan fenomena tertentu, contohnya adalah kadar mineral di zona mineralisasi. Geostatistik dapat digunakan untuk mengoptimasi spasi lubang bor dengan menggunakan metode *Global Estimation Variance (GEV)* dan telah dilakukan oleh beberapa peneliti pada endapan batubara (Bertoli et al., 2013; Heriawan et al., 2020). GEV adalah konsep operasional dengan mengkarakterisasikan *error* yang berkaitan dengan pola pengambilan sampel tertentu dan geometri yang akan diestimasi (Bertoli et al., 2013). GEV menggunakan variansi ekstensi untuk menghitung *error* ketika suatu blok

diestimasi dengan menggunakan satu sampel yang terletak di tengah blok (Cornah et al., 2013).

Bertoli et al. pada tahun 2013 menggunakan GEV untuk optimasi spasi bor pada beberapa daerah di Bowen Basin dan membandingkannya dengan *Australian Coal Guidelines*. Heriawan et al. pada tahun 2020 juga menggunakan GEV untuk optimasi spasi bor di Cekungan Kutai dengan menggunakan data *non-stationary* dan membandingkannya dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 5015 tahun 2011 tentang pedoman pelaporan, sumberdaya, dan cadangan batubara. Dari hasil kedua penelitian ini, spasi optimum dari hasil GEV untuk sumberdaya *measured* lebih besar jika dibandingkan dengan *Australian Coal Guidelines* dan SNI. Sampai saat ini, penggunaan GEV pada endapan aluvial belum pernah dilakukan.

Penentuan klasifikasi sumberdaya yang umum digunakan adalah *search neighbourhoods* (50% dari *recent reports*), *drill-hole spacing* (30% dari *recent report*) dan/atau *kriging variance* (6% dari *recent report*) (Silva & Boisvert, 2014). Klasifikasi sumberdaya mineral dibagi menjadi *measured*, *indicated*, dan *inferred* yang tergantung pada tingkat keyakinan geologi (Battalgazy & Madani, 2019; Isatelle & Rivoirard, 2019). Hal ini didasarkan pada faktor-faktor yang berbeda seperti geometri atau model geologi, kualitas pengambilan sampel, dan jarak antara lubang bor (Isatelle & Rivoirard, 2019). Jarak spasi lubang bor yang lebih rapat dapat mengurangi faktor ketidakpastian yang berhubungan dengan nilai-nilai estimasi (Cornah et al., 2013).

Penentuan spasi lubang bor untuk masing-masing klasifikasi sumberdaya yang dapat mewakili timah dan mineral ikutan timah belum ditentukan. Hal ini dibutuhkan agar mineral ikutan timah dapat dieksploitasi dan dimanfaatkan. Mengacu pada Permen ESDM No. 25/2018 tentang perusahaan pertambangan mineral dan batubara serta Permen ESDM No. 26/2018 tentang pelaksanaan kaidah pertambangan yang baik dan pengawasan pertambangan mineral dan batubara, pemerintah mengamanahkan untuk melakukan konservasi mineral timah beserta mineral ikutannya. Penelitian untuk menentukan spasi bor optimum untuk timah dan mineral ikutannya dibutuhkan sehingga spasi bor tersebut dapat mewakili timah dan mineral ikutan timah.

METODE

Metode penelitian yang dilakukan meliputi analisis statistik, analisis spasial, dan optimasi spasi bor dengan menggunakan *GEV*. Analisis statistik dilakukan untuk mengetahui variabilitas dari komoditas/mineral tanpa memperhatikan lokasi sampel/bor di daerah penelitian. Analisis spasial dilakukan dengan melihat *range*/daerah pengaruh dari variogram dan bertujuan untuk mengetahui variabilitas secara spasial dari komoditas/mineral di daerah penelitian. *GEV* digunakan untuk menghitung nilai *relative error* yang menunjukkan variabilitas secara global dari komoditas/mineral di daerah penelitian. Umumnya sebaran kadar pada endapan aluvial lebih bervariasi searah dengan aliran sungai dan pola spasi bor lebih rapat untuk yang searah dengan aliran. Namun pada penelitian ini karena daerah dengan keterdapatannya data pemboran yang diperoleh tidak cukup luas dan dianggap tidak cukup mewakili untuk melihat anisotropik di daerah penelitian, maka digunakan variogram *omnidirectional* dengan daerah pengaruh ke segala arah sama atau isotropik.

Penentuan spasi bor optimum untuk timah dan mineral ikutan timah dengan menggunakan *GEV* dilakukan dengan menggunakan 3 pendekatan, yaitu: 1) berdasarkan kriteria Sinclair dan Blackwell (2002), 2) berdasarkan pedoman pengklasifikasian sumberdaya PT Timah Tbk., dan 3) berdasarkan nilai *relative error*. Hasil spasi bor optimum untuk timah dan mineral ikutan timah dari ke-3 pendekatan ini dibandingkan dan dianalisis untuk menentukan spasi bor yang mewakili timah dan mineral ikutan timah. Penentuan spasi bor yang mewakili timah dan mineral ikutan timah diambil dari spasi bor yang lebih kecil agar dapat mewakili semua komoditas/mineral tersebut.

Data

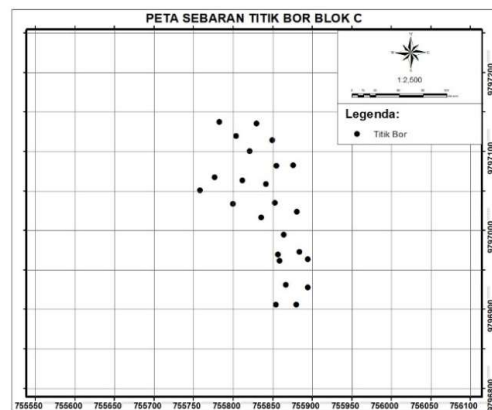
Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder berupa data pemboran yang didapatkan dari PT Timah Tbk. Data pemboran ini berada pada 20 daerah di Pulau Bangka dan berjumlah 560 titik bor. Data yang digunakan merupakan data 2D yang berisi informasi koordinat titik bor yang telah ditransformasi menjadi koordinat lokal dan kadar yang dinotasikan dengan TDH (timah dihitung) dari Sn (timah) dan mineral ikutan timah (MIT). TDH

(timah dihitung) adalah hasil perhitungan dari kekayaan (kadar) bijih atau mineral dan memiliki satuan kg/m^3 .

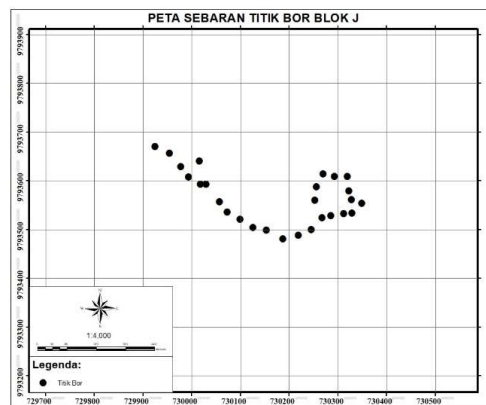
Data bor di masing-masing daerah dipilih untuk dianalisis secara spasial dengan kriteria pola pemboran yang cukup teratur dan minimal terdapat 20 titik bor di daerah tersebut. Dari 20 daerah, 8 daerah yang memenuhi kriteria dan dapat dianalisis secara spasial. Contoh sebaran titik bor yang dapat dianalisis secara spasial dapat dilihat pada Gambar 1. Contoh sebaran titik bor yang tidak dapat dianalisis secara spasial pada Gambar 2.

Statistik dan penentuan pencilan

Data bor di masing-masing daerah yang memenuhi kriteria selanjutnya dilakukan analisis statistik *univariate* dan penentuan pencilan.



Gambar 1. Sebaran titik bor di Blok C.



Gambar 2. Sebaran titik bor di Blok J.

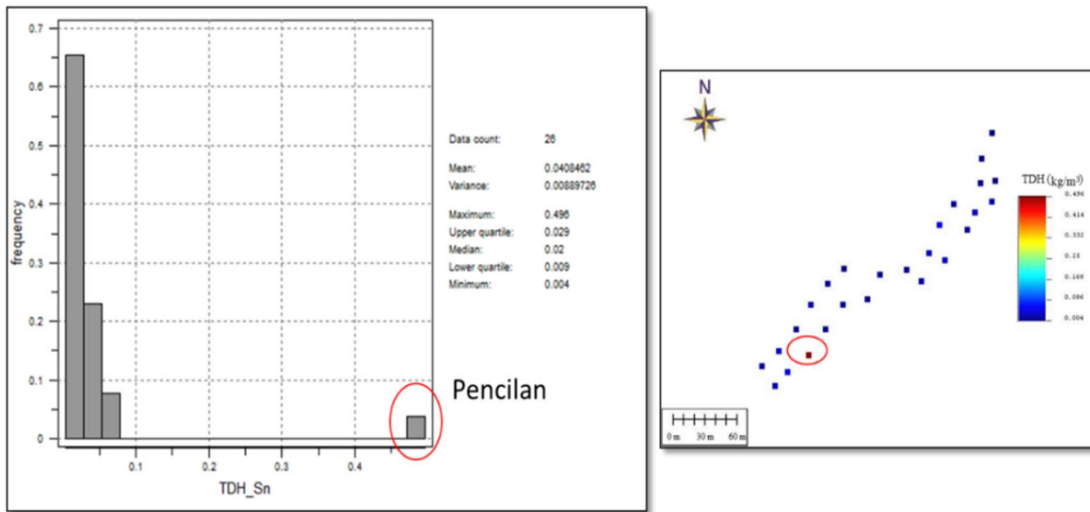
Analisis statistik *univariate* dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter atau karakteristik populasi dari data kadar/TDH (timah dihitung) Sn (timah) dan mineral ikutan timah di setiap daerah. Komoditas/mineral yang akan dianalisis di masing-masing daerah minimal terdapat pada 10 lubang bor. Jika komoditas/mineral terdapat pada < 10 lubang bor, komoditas/mineral tersebut tidak dianalisis. Hal ini karena daerah tersebut dianggap tidak memiliki prospek keterdapatan komoditas/mineral tersebut

sehingga tidak dianalisis. Statistik *univariate* dari setiap komoditas/mineral yang akan dianalisis pada masing-masing daerah dapat dilihat pada Tabel 1.

Penentuan pencilan menggunakan nilai *coefficient of variation (CoV)*. Jika nilai $CoV \geq 1.5$, maka data tersebut dianggap memiliki pencilan dan jika nilai $CoV < 1.5$, maka data tersebut dianggap tidak memiliki pencilan. Contoh penentuan pencilan dilihat pada Gambar 3.

Tabel 1. Parameter statistik kadar atau TDH Sn (timah) dan mineral ikutan timah di setiap daerah.

Daerah	Komoditas/ Mineral	TDH (kg/m ³)						
		Mean	Median	Standard Deviation	Coefficient of Variation	Minimum	Maximum	Count
Blok A	Sn	0.017	0.005	0.032	1.850	0.001	0.130	20
	Ilm+Rut+Ana	0.023	0.012	0.031	1.315	0.003	0.118	20
	Mon	0.001	0.000	0.003	2.093	0	0.011	20
	Zir	0.013	0.006	0.020	1.530	0.002	0.095	20
Blok B	Sn	0.016	0.005	0.046	2.910	0	0.230	24
	Ilm+Rut+Ana	0.067	0.025	0.092	1.364	0	0.349	24
	Zir	0.002	0.000	0.003	1.731	0	0.014	24
Blok C	Sn	0.036	0.027	0.032	0.899	0	0.102	24
	Ilm+Rut+Ana	0.116	0.102	0.089	0.770	0.028	0.447	24
	Zir	0.030	0.017	0.029	0.961	0.001	0.107	24
Blok D	Sn	0.031	0.018	0.063	2.059	0.002	0.427	44
	Ilm+Rut+Ana	0.040	0.029	0.042	1.032	0.002	0.211	44
	Zir	0.040	0.009	0.143	3.552	0.001	0.954	44
Blok E	Sn	0.023	0.007	0.038	1.654	0	0.156	27
	Ilm+Rut+Ana	0.007	0.006	0.006	0.981	0	0.023	27
	Zir	0.019	0.013	0.020	1.068	0	0.067	27
Blok F	Sn	0.008	0.003	0.012	1.518	0	0.044	28
	Ilm+Rut+Ana	0.031	0.016	0.039	1.247	0.002	0.145	28
	Zir	0.014	0.002	0.033	2.374	0	0.150	28
Blok G	Sn	0.015	0.003	0.041	2.715	0	0.211	29
	Ilm+Rut+Ana	0.100	0.076	0.089	0.895	0	0.409	29
	Zir	0.0004	0	0.001	3.184	0	0.008	29
Blok H	Sn	0.041	0.020	0.094	2.312	0.004	0.496	26
	Ilm+Rut+Ana	0.010	0.008	0.006	0.600	0.001	0.024	26
	Zir	0.015	0.011	0.013	0.868	0	0.049	26



Gambar 3. Contoh penentuan pencilan Sn (timah). Catatan: lingkaran merah merupakan pencilan

Variogram

Analisis spasial dengan menggunakan variogram dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui homogenitas yang dapat ditunjukkan oleh range/daerah pengaruh (a) variogram dari komoditas/mineral di daerah penelitian. Variogram digunakan untuk melihat variabilitas antara 2 data yang dipisahkan oleh suatu jarak di suatu daerah. Variogram dihitung dengan rumus perbedaan rata-rata antara dua titik dengan jarak tertentu. Secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

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

dimana $\gamma(h)$ merupakan variogram eksperimental, $Z(X_i)$ adalah nilai pada lokasi (X_i), $Z(X_i+h)$ adalah nilai pada lokasi (X_i) yang dipisahkan oleh jarak (h).

Pembuatan dan *fitting* variogram menggunakan *software* SGeMS. Variogram yang digunakan adalah variogram *omnidirectional* dengan arah $N0^\circ E$ dan toleransi sudut 90° . *Fitting* pada variogram menggunakan model *spherical* dan dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter pada variogram seperti *nugget effect* (C_0), *range/daerah pengaruh* (a), dan *sill* (C_0+C_1). *Sill* pada variogram di-*set* agar mendekati nilai *variance* dari data. Contoh variogram dari masing-masing komoditas/mineral dapat dilihat pada

Gambar 4. Parameter variogram hasil *fitting* dari setiap komoditas/mineral pada masing-masing daerah dapat dilihat pada Tabel 2.

Perhitungan *relative error* menggunakan *GEV*

Sebelum melakukan optimasi spasi bor, perhitungan nilai *relative error* dengan menggunakan *Global Estimation Variance (GEV)* dilakukan terlebih dahulu. Metode *GEV* digunakan untuk mencari nilai *relative error* secara global di suatu daerah. Pada penelitian ini digunakan 5 skenario spasi bor untuk menentukan spasi bor optimum di masing-masing daerah. Variasi spasi bor yang digunakan adalah 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, dan 60 m. Masing-masing skenario spasi pemboran akan dihitung nilai *relative error*.

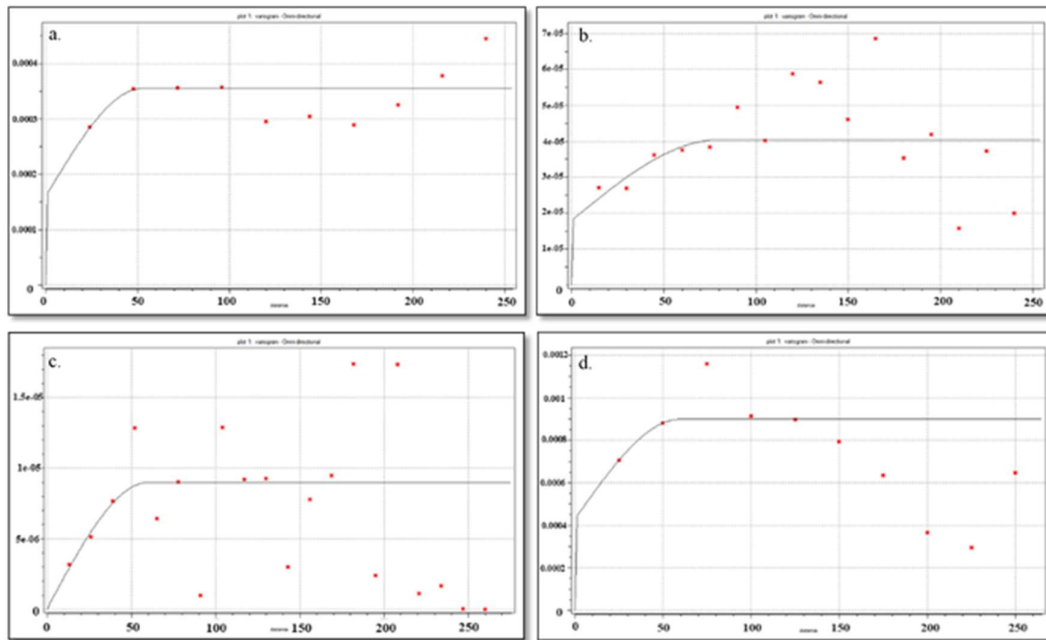
Untuk menghitung varians estimasi menggunakan rumus di bawah ini:

$$\sigma_e^2 = 2\bar{\gamma}(S, V) - \bar{\gamma}(V, V) - \bar{\gamma}(S, S) \quad (2)$$

dimana σ_e^2 adalah varians estimasi, $\bar{\gamma}(S, V)$ adalah nilai variogram rata-rata titik ke blok, $\bar{\gamma}(V, V)$ adalah nilai variogram rata-rata blok ke blok, dan $\bar{\gamma}(S, S)$ adalah nilai variogram titik ke titik.

Untuk menghitung *Global Estimation Variance (GEV)* menggunakan rumus di bawah ini:

$$GEV = \frac{\sigma_e^2}{N} \quad (3)$$



Gambar 4. Contoh variogram, a. Sn (timah), b. Ilmenite+Rutile+Anatase, c. Monazite, dan d. Zircon.

dimana GEV adalah *Global Estimation Variance*, σ^2_e adalah varians estimasi, dan N adalah jumlah blok di suatu luasan daerah atau area. Untuk luas area dan jumlah N pada setiap skenario spasi bor pada masing-masing daerah dapat dilihat pada Tabel 3.

Dengan menggunakan asumsi tingkat kepercayaan (*confidence level*) pada penelitian ini adalah 95%, nilai *relative error* dihitung dengan menggunakan rumus:

$$relative\ error = \frac{\pm 2\sqrt{GEV}}{\bar{Z}} \times 100\% \quad (4)$$

dimana *relative error* adalah nilai *relative error*, GEV adalah *Global Estimation Variance*, dan \bar{Z} adalah nilai rata-rata (*mean*). Untuk spasi bor yang lebih besar dari skenario spasi bor, perhitungan nilai *relative error* menggunakan ekstrapolasi dengan regresi linear.

Optimasi spasi lubang bor

Optimasi spasi bor atau *Drill-Hole Spacing Analysis (DHSA)* adalah teknik geostatistik yang menggunakan GEV untuk menghitung tingkat presisi pada berbagai kerapatan atau spasi sampel untuk endapan tertentu (Journel dan Huijbregts, 1978; Geovariances, 2016). Pada penelitian ini,

optimasi spasi bor dilakukan menggunakan 3 (tiga) pendekatan, yaitu: 1) berdasarkan kriteria Sinclair dan Blackwell (2002), 2) berdasarkan pedoman pengklasifikasian sumberdaya PT Timah Tbk., dan 3) berdasarkan nilai *relative error*. Penentuan spasi bor optimum untuk Sn (timah) diambil dari spasi optimum rata-rata (*mean*), sedangkan untuk mineral ikutan timah spasi bor optimum diambil dari spasi optimum rata-rata (*mean*) terkecil antara mineral ikutan timah. Hasil spasi bor optimum ini akan cukup mewakili Sn (timah) dan mineral ikutan timah dengan asumsi distribusi spasi bor dan *relative error* adalah normal.

Berdasarkan kriteria Sinclair dan Blackwell (2002)

Pengklasifikasian nilai *relative error* pada masing-masing klasifikasi sumberdaya untuk endapan aluvial sampai saat ini belum ada. Oleh karena itu, pada penelitian ini menggunakan pengklasifikasian nilai *relative error* untuk masing-masing klasifikasi sumberdaya berdasarkan kriteria Sinclair dan Blackwell (2002). Pengklasifikasian nilai *relative error* ini untuk endapan porfiri Cu dan epitermal Au. Nilai *relative error* dari hasil perhitungan menggunakan GEV selanjutnya di-plot ke dalam bentuk grafik

Tabel 2. Parameter variogram setiap komoditas/mineral di masing-masing daerah.

Parameter Variogram	C ₀	C ₁	Nugget Ratio	a (m)	
Blok A	Sn	0.000001	0.000137	0.7%	85
	Ilm+Rut+Ana	0.00001	0.00099	1%	70
	Mon	0.0000001	0.0000089	1%	60
	Zir	0.000035	0.0000205	63%	55
Blok B	Sn	0.000038	0.000019	67%	118
	Ilm+Rut+Ana	0.006	0.002	75%	68
	Zir	0.0000025	0.00000082	75%	20
Blok C	Sn	0.0001	0.00097	9%	70
	Ilm+Rut+Ana	0.0055	0.0024	70%	45
	Zir	0.00043	0.00047	48%	60
Blok D	Sn	0.0002	0.000056	78%	85
	Ilm+Rut+Ana	0.0005	0.00123	29%	65
	Zir	0.00033	0.00025	57%	95
Blok E	Sn	0.00016	0.000195	45%	53
	Ilm+Rut+Ana	0.000018	0.0000224	45%	80
	Zir	0.00012	0.00026	32%	80
Blok F	Sn	0.000008	0.000015	35%	30
	Ilm+Rut+Ana	0.0005	0.00117	30%	45
	Zir	0.000055	0.000016	77%	20
Blok G	Sn	0.00001	0.000059	14%	120
	Ilm+Rut+Ana	0.000059	0.00765	0.8%	90
	Zir	0.0000005	0.0000018	22%	160
Blok H	Sn	0.00012	0.00018	40%	63
	Ilm+Rut+Ana	0.000006	0.00003	17%	90
	Zir	0.000025	0.000165	13%	76

agar lebih memudahkan untuk penentuan spasi bor optimum. Berikut ini merupakan pengklasifikasian sumberdaya dengan *relative error* berdasarkan kriteria Sinclair dan Blackwell (2002).

$$\text{Measured } 30\% \leq \text{Indicated } 50\% \leq \text{Inferred } (5)$$

Optimasi spasi bor berdasarkan kriteria Sinclair dan Blackwell (2002) yang dilakukan pada penelitian menggunakan nilai *relative error* < 30%, 30% - 50%, dan > 50% berturut-turut untuk kategori *measured*, *indicated*, dan *inferred*. Contoh grafik penentuan spasi optimum untuk setiap klasifikasi sumberdaya pada masing-masing komoditas/mineral berdasarkan pendekatan ini dapat dilihat pada Gambar 5.

Untuk spasi optimum masing-masing komoditas/mineral di setiap daerah berdasarkan pendekatan ini dapat dilihat pada Tabel 4.

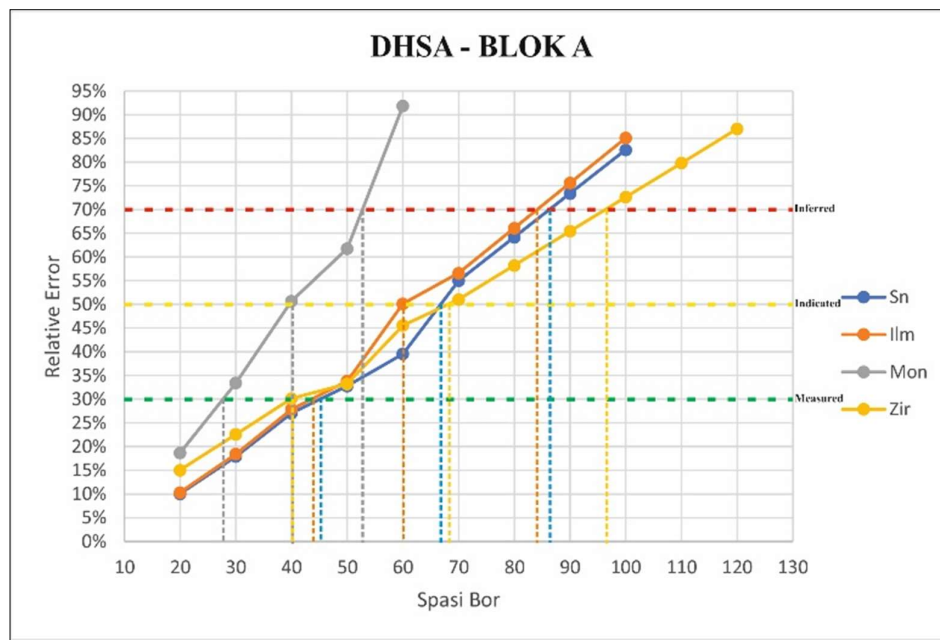
Berdasarkan pedoman pengklasifikasian sumberdaya PT Timah Tbk.

Pedoman pengklasifikasian sumberdaya yang dilakukan oleh PT Timah Tbk. pada endapan aluvial menggunakan analisa variogram khususnya *range*/daerah pengaruh. Pedoman pengklasifikasian sumberdaya PT Timah Tbk. untuk endapan aluvial adalah:

- < 2/3 *range* untuk *measured*
- 2/3 dan < 1 *range* untuk *indicated*
- 1 *range* untuk *inferred*

Tabel 3. Luas daerah dan jumlah N pada setiap skenario spasi bor.

Daerah	Luas Daerah	Jumlah N Setiap Skenario Spasi Bor				
		20 m	30 m	40 m	50 m	60 m
Blok A	120 m × 260 m	78	36	21	18	10
Blok B	160 m × 340 m	136	72	36	28	18
Blok C	160 m × 260 m	104	54	28	24	15
Blok D	260 m × 240 m	156	72	42	30	20
Blok E	200 m × 200 m	100	49	25	16	16
Blok F	280 m × 220 m	154	80	42	30	20
Blok G	380 m × 340 m	323	156	90	56	42
Blok H	240 m × 240 m	144	64	36	25	16



Gambar 5. Penentuan spasi bor optimum berdasarkan kriteria Sinclair dan Blackwell di daerah Blok A.

Optimasi spasi bor berdasarkan pedoman pengklasifikasian sumberdaya PT Timah Tbk. yang dilakukan pada penelitian ini adalah $2/3$ range, 1 range, dan > 1 range berturut-turut untuk kategori *measured*, *indicated*, dan *inferred*. Untuk spasi optimum masing-masing komoditas/mineral di setiap daerah berdasarkan pendekatan ini dapat dilihat pada Tabel 5.

Berdasarkan relative error

Pendekatan berdasarkan *relative error* merupakan modifikasi dari pendekatan ke-2. Sebelum melakukan optimasi spasi bor dengan menggunakan pendekatan ini, dilakukan perhitungan dan penentuan nilai *relative error* untuk masing-masing klasifikasi sumberdaya pada endapan aluvial berdasarkan spasi bor optimum dengan menggunakan pedoman pengklasifikasian

Tabel 4. Spasi optimum berdasarkan kriteria Sinclair dan Blackwell (2002).

Daerah	Komoditas/ Mineral	Measured (30%)	Indicated (50%)	Inferred (70%)
Blok A	Sn	45	65	85
	Ilm+Rut+Ana	40	60	80
	Mon	25	40	50
	Zir	40	65	95
Blok B	Sn	35	65	90
	Ilm+Rut+Ana	-	-	-
	Zir	-	-	-
Blok C	Sn	60	100	135
	Ilm+Rut+Ana	50	90	125
	Zir	40	70	100
Blok D	Sn	-	-	-
	Ilm+Rut+Ana	55	85	120
	Zir	35	65	90
Blok E	Sn	30	45	65
	Ilm+Rut+Ana	40	75	105
	Zir	40	75	105
Blok F	Sn	40	60	85
	Ilm+Rut+Ana	40	60	85
	Zir	-	-	-
Blok G	Sn	65	105	150
	Ilm+Rut+Ana	115	190	260
	Zir	30	50	70
Blok H	Sn	60	100	135
	Ilm+Rut+Ana	90	150	210
	Zir	60	100	140

sumberdaya yang dilakukan oleh PT Timah Tbk. Nilai *relative error* yang digunakan adalah hasil dari perhitungan dengan menggunakan *GEV*. Untuk nilai *relative error* masing-masing klasifikasi sumberdaya dapat dilihat pada Tabel 6.

Penentuan nilai *relative error* untuk masing-masing klasifikasi sumberdaya pada endapan aluvial diambil dari pembulatan nilai rata-rata (*mean*) *relative error* terkecil antara Sn (timah) dan mineral ikutan timah. *Relative error* untuk masing-masing klasifikasi sumberdaya adalah 20%, 35%, dan 55% berturut-turut untuk kategori *measured*, *indicated*, dan *inferred*.

Selanjutnya dilakukan optimasi spasi bor berdasarkan nilai *relative error* yang telah diperoleh tersebut. Nilai *relative error* dari hasil perhitungan menggunakan *GEV* selanjutnya di-plot ke dalam bentuk grafik agar lebih

memudahkan untuk penentuan spasi bor optimum. Contoh grafik penentuan spasi optimum untuk setiap klasifikasi sumberdaya pada masing-masing komoditas/mineral berdasarkan pendekatan ini dapat dilihat pada Gambar 6. Untuk spasi optimum masing-masing komoditas/mineral di setiap daerah berdasarkan pendekatan ini dapat dilihat pada Tabel 7.

HASIL DAN DISKUSI

Analisis statistik

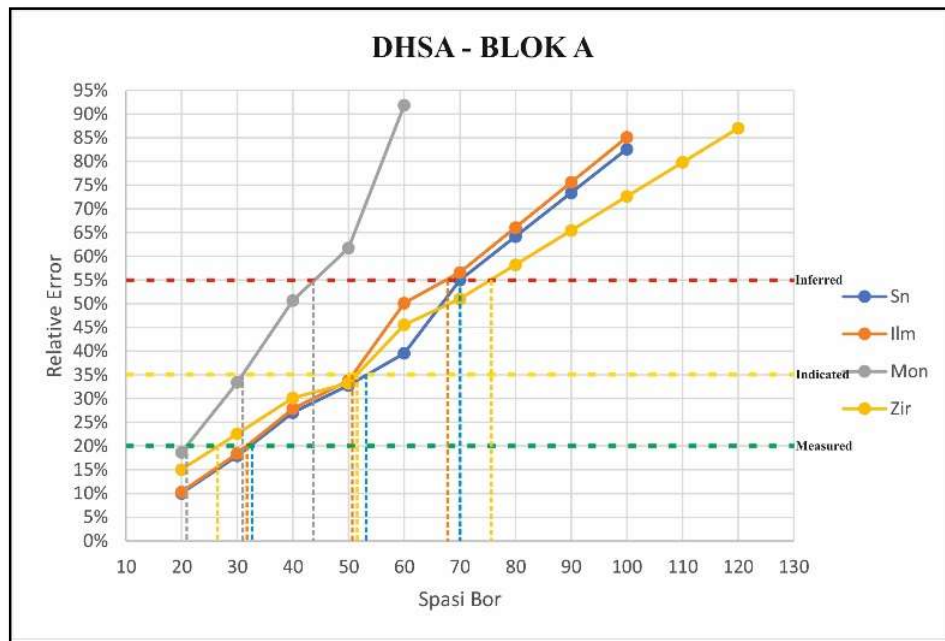
Berdasarkan analisis statistik *univariate* pada Tabel 1, komoditas/mineral yang paling dominan pada 8 (delapan) daerah di Pulau Bangka adalah Sn (timah) dan *ilmenite+rutile+anatase*. Hal ini dapat dilihat pada kadar atau TDH rata-rata (*mean*) pada masing-masing daerah dimana Sn

Tabel 5. Spasi optimum berdasarkan pedoman pengklasifikasian sumberdaya PT Timah Tbk.

Daerah	Komoditas/ Mineral	Range awal (<i>a</i>)	Measured $2/3 a$	Indicated <i>a</i>	Inferred $1.5 a$
Blok A	Sn	85	55	85	125
	Ilm+Rut+Ana	70	45	70	105
	Mon	60	40	60	90
	Zir	55	35	55	80
Blok B	Sn	118	75	115	175
	Ilm+Rut+Ana	68	-	-	-
	Zir	20	-	-	-
Blok C	Sn	70	45	70	105
	Ilm+Rut+Ana	45	30	45	65
	Zir	60	40	60	90
Blok D	Sn	85	-	-	-
	Ilm+Rut+Ana	65	40	65	95
	Zir	95	60	95	140
Blok E	Sn	53	35	50	80
	Ilm+Rut+Ana	80	50	80	120
	Zir	80	50	80	120
Blok F	Sn	30	20	30	45
	Ilm+Rut+Ana	45	30	45	65
	Zir	20	-	-	-
Blok G	Sn	120	80	120	180
	Ilm+Rut+Ana	90	60	90	135
	Zir	160	105	160	240
Blok H	Sn	63	40	60	95
	Ilm+Rut+Ana	90	60	90	135
	Zir	76	50	75	115

Tabel 6. Nilai *relative error* masing-masing klasifikasi sumberdaya untuk setiap komoditas/mineral.

Komoditas/ Mineral	<i>Relative error (%)</i>					
	<i>Measured</i>		<i>Indicated</i>		<i>Inferred</i>	
	<i>Range</i>	<i>Mean</i>	<i>Range</i>	<i>Mean</i>	<i>Range</i>	<i>Mean</i>
Sn	13 - 56	31	20 - 85	50	33 - 129	76
Ilm+Rut+Ana	14 - 36	23	22 - 57	37	35 - 90	56
Mon	51	51	92	92	139	139
Zir	21 - 104	44	36 - 159	67	57 - 240	100



Gambar 6. Penentuan spasi bor optimum berdasarkan relative error di daerah Blok A.

dan *ilmenite+rutile+anatase* memiliki nilai *mean* yang lebih tinggi. Sn (timah) dominan di 2 (dua) lokasi, yaitu Blok E, dan Blok H, sedangkan *ilmenite+rutile+anatase* dominan di 6 (enam) lokasi, yaitu Blok A, Blok B, Blok C, Blok D, Blok F, dan Blok G.

Komoditas/mineral yang selalu terdapat pada > 10 lubang bor di daerah penelitian adalah Sn (timah), *ilmenite+rutile+anatase*, dan *zircon*. Mineral ikutan timah pembawa REEs seperti *monazite* dan *xenotime* di daerah penelitian terdapat pada ≤ 10 lubang bor. *Monazite* terdapat pada 10 lubang bor dari 20 bor berada pada daerah Blok A dengan kadar rata-rata (*mean*) sebesar 0.001 kg/m³. Selain itu, di daerah lainnya *monazite* hanya terdapat pada ≤ 5 lubang bor. Untuk *xenotime* terdapat dalam jumlah yang lebih kecil daripada *monazite*. *Xenotime* hanya terdapat pada ≤ 2 lubang bor.

Secara keseluruhan, *monazite* lebih bervariasi daripada Sn (timah) dan mineral ikutan timah lainnya. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 8, dimana nilai rata-rata *coefficient of variation (CoV)* dari *monazite* lebih besar daripada Sn (timah) dan mineral ikutan timah lainnya. Namun, terdapat komoditas/mineral yang lebih bervariasi daripada *monazite* seperti Sn (timah) di Blok B, Blok G, dan

Blok H serta *Zircon* di Blok D, Blok F, dan Blok G.

Jika dilihat dari histogram, semua data kadar yang dinotasikan oleh TDH (timah dihitung) Sn (timah) dan mineral ikutan timah di daerah penelitian menunjukkan distribusi *lognormal*. Histogram dengan distribusi *lognormal* menunjukkan bahwa nilai *mean* dari data lebih besar dari nilai *median* dari data. Nilai *CoV* dari semua data yang menunjukkan nilai > 0.5 juga membuktikan bahwa semua data yang digunakan memiliki distribusi *lognormal*.

Analisis spasial (Variogram)

Berdasarkan parameter variogram pada Tabel 2, nilai *range*/daerah pengaruh Sn (timah) dan mineral ikutan timah berkisar antara 20 – 160 m. Untuk *nugget ratio* berkisar antara 0.7 – 78%. Hal ini menunjukkan bahwa masih terdapat beberapa komoditas/mineral di daerah penelitian yang memiliki *nugget ratio* yang tinggi atau *extreme nugget effect* (≥ 75%). *Nugget ratio* yang tinggi ini dapat diakibatkan oleh spasi pengambilan sampel/bor kurang rapat dan pola pengambilan sampel yang belum teratur. Untuk lokasi-lokasi yang memiliki *extreme nugget effect*

Tabel 7. Spasi optimum berdasarkan *relative error*.

Daerah	Komoditas/ Mineral	Measured (20%)	Indicated (35%)	Inferred (55%)
Blok A	Sn	30	50	70
	Ilm+Rut+Ana	30	50	65
	Mon	20	30	40
	Zir	25	50	75
Blok B	Sn	25	45	70
	Ilm+Rut+Ana	-	-	-
	Zir	-	-	-
Blok C	Sn	45	70	110
	Ilm+Rut+Ana	30	55	95
	Zir	30	50	80
Blok D	Sn	-	-	-
	Ilm+Rut+Ana	35	60	95
	Zir	25	45	70
Blok E	Sn	20	30	50
	Ilm+Rut+Ana	30	45	80
	Zir	30	45	80
Blok F	Sn	30	45	70
	Ilm+Rut+Ana	30	45	65
	Zir	-	-	-
Blok G	Sn	45	75	120
	Ilm+Rut+Ana	80	135	205
	Zir	20	35	55
Blok H	Sn	40	70	110
	Ilm+Rut+Ana	65	110	165
	Zir	45	70	110

Tabel 8. *Coefficient of variation* dari setiap komoditas/mineral.

Komoditas/ Mineral	<i>Coefficient of Variation</i>	
	<i>Range</i>	<i>Mean</i>
Sn	0.90 - 2.91	1.99
Ilm+Rut+Ana	0.60 - 1.36	1.03
Mon	2.09	2.09
Zir	0.87 - 3.55	1.91

direkomendasikan untuk dilakukan *infill drilling* atau perbaikan pola pemboran agar lebih teratur dan dapat dilihat pada Tabel 9.

Berdasarkan nilai daerah pengaruh setiap komoditas/mineral pada Tabel 10, dapat dilihat bahwa secara keseluruhan Sn (timah) memiliki

nilai rata-rata daerah pengaruh yang lebih besar daripada mineral ikutan timah (MIT). Hal ini menunjukkan bahwa Sn (timah) di daerah penelitian lebih homogen daripada mineral ikutan timah (MIT). Komoditas/mineral yang paling bervariasi adalah *monazite* dengan nilai rata-rata daerah pengaruh 60 m.

Tabel 9. Rekomendasi pada daerah dengan *extreme nugget effect*.

Daerah	Komoditas/ Mineral	Nugget Ratio	Rekomendasi
Blok A	Sn	0.7%	-
	Ilm+Rut+Ana	1%	
	Mon	1%	
	Zir	63%	
Blok B	Sn	67%	<i>Infill Drilling</i>
	Ilm+Rut+Ana	75%	
	Zir	75%	
Blok C	Sn	9%	-
	Ilm+Rut+Ana	70%	
	Zir	48%	
Blok D	Sn	78%	Perbaikan pola pemboran agar lebih teratur
	Ilm+Rut+Ana	29%	
	Zir	57%	
Blok E	Sn	45%	-
	Ilm+Rut+Ana	45%	
	Zir	32%	
Blok F	Sn	35%	Perbaikan pola pemboran agar lebih teratur
	Ilm+Rut+Ana	30%	
	Zir	77%	
Blok G	Sn	14%	-
	Ilm+Rut+Ana	0.8%	
	Zir	22%	
Blok H	Sn	40%	-
	Ilm+Rut+Ana	17%	
	Zir	13%	

Tabel 10. Daerah pengaruh (a) setiap komoditas/mineral.

Komoditas/ Mineral	Daerah Pengaruh (a)	
	Range	Mean
Sn	30 – 120 m	78 m
Ilm+Rut+Ana	45 – 90 m	69 m
Mon	60 m	60 m
Zir	20 – 160 m	71 m

Spasi lubang bor optimum

Spasi bor optimum untuk Sn (timah) dan mineral ikutan timah (MIT) berdasarkan 3 (tiga) pendekatan yang digunakan, masing-masing dapat dilihat pada Tabel 11, Tabel 12, dan Tabel 13.

Berdasarkan kriteria Sinclair dan Blackwell (2002) yang dapat dilihat pada Tabel 11, spasi bor optimum untuk Sn (timah) adalah 45 m, 75 m, dan

105 m berturut-turut untuk kategori *measured*, *indicated*, dan *inferred*. Spasi lubang bor optimum untuk mineral ikutan timah adalah 25 m, 40 m, dan 50 m berturut-turut untuk kategori *measured*, *indicated*, dan *inferred*. Komoditas/mineral dengan spasi lubang bor optimum terkecil dengan menggunakan pendekatan ini adalah *monazite*.

Berdasarkan pedoman pengklasifikasian sumberdaya PT Timah Tbk. yang dapat dilihat

Tabel 11. Spasi bor optimum Sn (timah) dan mineral ikutan timah berdasarkan kriteria Sinclair dan Blackwell (2002).

Komoditas/ Mineral	Spasi Optimum (m)					
	Measured		Indicated		Inferred	
	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean
Sn	30 - 65	45	45 - 105	75	65 - 150	105
Ilm+Rut+Ana	40 - 115	60	60 - 190	100	80 - 260	140
Mon	25	25	40	40	50	50
Zir	30 - 60	40	50 - 100	70	70 - 140	100

Tabel 12. Spasi bor optimum Sn (timah) dan mineral ikutan timah berdasarkan pedoman pengklasifikasian sumberdaya PT Timah Tbk.

Komoditas/ Mineral	Spasi Optimum (m)					
	Measured		Indicated		Inferred	
	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean
Sn	20 - 80	50	30 - 120	75	45 - 180	115
Ilm+Rut+Ana	30 - 60	45	45 - 90	65	65 - 135	100
Mon	40	40	60	60	90	90
Zir	35 - 105	55	55 - 160	85	80 - 240	130

Tabel 13. Spasi bor optimum Sn (timah) dan mineral ikutan timah berdasarkan *relative error*.

Komoditas/ Mineral	Spasi Optimum (m)					
	Measured		Indicated		Inferred	
	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean
Sn	20 - 45	30	30 - 75	55	50 - 120	85
Ilm+Rut+Ana	30 - 80	40	45 - 135	70	65 - 205	110
Mon	20	20	30	30	40	40
Zir	20 - 45	30	35 - 70	50	55 - 110	75

Tabel 14. Perbandingan 3 (tiga) pendekatan optimasi spasi bor.

No.	Pendekatan Optimasi Spasi Bor	Komoditas/ Mineral	Spasi Optimum (m)		
			Measured	Indicated	Inferred
1.	Kriteria Sinclair dan Blackwell (2002) (<i>measured 30%, indicated 50%, inferred 70%</i>)	Sn	45	75	105
		MIT	25	40	50
2.	Pedoman Pengklasifikasian Sumberdaya PT Timah Tbk.	Sn	50	75	115
		MIT	40	60	90
3.	<i>Relative error (measured 20%, indicated 35%, inferred 55%)</i>	Sn	30	55	85
		MIT	20	30	40

pada Tabel 12, spasi bor optimum untuk Sn (timah) adalah 50 m, 75 m, dan 115 m berturut-turut untuk kategori *measured*, *indicated*, dan *inferred*. Spasi bor optimum untuk mineral ikutan timah adalah 40 m, 60 m, dan 90 m berturut-turut untuk kategori *measured*, *indicated*, dan *inferred*. Komoditas/mineral dengan spasi bor optimum terkecil dengan menggunakan pendekatan ini adalah *monazite*.

Berdasarkan nilai *relative error* pada endapan aluvial yang dapat dilihat pada Tabel 13, spasi bor optimum untuk Sn (timah) adalah 30 m, 55 m, dan 85 m berturut-turut untuk kategori *measured*, *indicated*, dan *inferred*. Spasi bor optimum untuk mineral ikutan timah adalah 20 m, 30 m, dan 40 m berturut-turut untuk kategori *measured*, *indicated*, dan *inferred*. Komoditas/mineral dengan spasi bor optimum terkecil dengan menggunakan pendekatan ini adalah *monazite*.

Spasi bor optimum untuk masing-masing klasifikasi sumberdaya pada setiap komoditas/mineral yang diperoleh dengan menggunakan 3 (tiga) pendekatan selanjutnya dibandingkan. Perbandingan dari 3 (tiga) pendekatan yang digunakan untuk optimasi spasi bor dapat dilihat pada Tabel 14.

Berdasarkan perbandingan 3 (tiga) pendekatan optimasi spasi bor pada Tabel 14, dapat dilihat bahwa spasi optimum untuk mineral ikutan timah pada setiap klasifikasi sumberdaya lebih kecil daripada Sn (timah). Hal ini menunjukkan bahwa mineral ikutan timah memiliki variabilitas yang lebih tinggi daripada Sn (timah). Komoditas/mineral yang memiliki variabilitas paling tinggi adalah *monazite*.

Pedoman pengklasifikasian sumberdaya PT Timah Tbk. untuk komoditas/mineral Sn (timah) hasilnya mendekati pendekatan berdasarkan kriteria Sinclair dan Blackwell (2002). Hal ini menandakan bahwa pedoman pengklasifikasian sumberdaya PT Timah Tbk. untuk Sn (timah) sudah sesuai. Spasi bor optimum untuk Sn (timah) berdasarkan data-data pada 8 (delapan) daerah di Pulau Bangka adalah 45 – 50 m, 75 m, dan 105 – 115 m berturut-turut untuk kategori *measured*, *indicated*, dan *inferred*.

Untuk mineral ikutan timah, jika menggunakan pedoman pengklasifikasian sumberdaya PT Timah Tbk. (pendekatan ke-2) hasil spasi bor optimum kurang rapat dan berbeda jika

dibandingkan dengan pendekatan ke-1 dan ke-3. Hasil spasi optimum dengan menggunakan pendekatan ke-1 dan ke-3 tidak terlalu berbeda jauh. Untuk mineral ikutan timah, spasi bor yang cocok adalah berdasarkan pendekatan ke-1 dan ke-3. Spasi optimum untuk mineral ikutan timah berdasarkan data-data pada 8 (delapan) daerah di Pulau Bangka adalah 20 – 25 m, 30 – 40 m, dan 40 – 50 m berturut-turut untuk kategori *measured*, *indicated*, dan *inferred*.

Pedoman pengklasifikasian sumberdaya PT Timah Tbk. (pendekatan ke-2) hanya memperhitungkan homogenitas dan kontinuitas spasial yang ditunjukkan oleh *range/daerah* pengaruh (*a*) variogram. Sedangkan, pendekatan yang menggunakan nilai *relative error* berdasarkan perhitungan *Global Estimation Variance (GEV)* seperti pendekatan ke-1 dan ke-3, memperhitungkan variasi kadar pada jarak dekat yang ditunjukkan oleh nilai *nugget effect* (C_0), homogenitas dan kontinuitas spasial yang ditunjukkan oleh *range/daerah* pengaruh (*a*), dan ukuran wilayah penelitian. Selain itu, pendekatan ke-1 dan ke-3 yang berbasis *GEV* juga memperhitungkan populasi dan variasi dari data kadar yang ditunjukkan oleh kadar rata-rata (*mean*) dan nilai *variance* (statistik), dimana nilai *sill* (C_0+C_1) merupakan nilai yang mendekati nilai *variance*.

Spasi bor yang optimum yang dapat mewakili Sn (timah) dan mineral ikutan timah (MIT) adalah spasi optimum terkecil antara Sn (timah) dan mineral ikutan timah. Berdasarkan data-data pada 8 (delapan) daerah di Pulau Bangka, spasi optimum yang mewakili Sn (timah) dan mineral ikutan timah adalah 20 – 25 m, 30 – 40 m, dan 40 – 50 m berturut-turut untuk kategori *measured*, *indicated*, dan *inferred*. Spasi ini diambil dari spasi optimum mineral ikutan timah dikarenakan mineral ikutan timah memiliki spasi optimum yang lebih kecil daripada Sn (timah). Selain itu, mineral ikutan timah juga lebih bervariasi daripada Sn (timah) berdasarkan data-data pada 8 (delapan) daerah di Pulau Bangka.

KESIMPULAN

Secara statistik maupun secara spasial, mineral ikutan timah (MIT) lebih bervariasi daripada Sn (timah). Hal ini dapat dilihat dari nilai *coefficient of variation* (*CoV*) dan *range/daerah* pengaruh (*a*) variogram. Selain itu, variabilitas global yang

dapat dilihat dari hasil *Global Estimation Variance (GEV)* menunjukkan mineral ikutan timah juga lebih bervariasi daripada Sn (timah). Komoditas/mineral yang paling bervariasi adalah *monazite*. Sn (timah) secara keseluruhan lebih homogen daripada mineral ikutan timah. Hal ini berarti spasi bor untuk mineral ikutan timah harus lebih rapat daripada Sn (timah).

Berdasarkan data-data pada 8 (dalapan) daerah di Pulau Bangka, spasi optimum yang mewakili Sn (timah) dan mineral ikutan timah adalah 20 – 25 m, 30 – 40 m, dan 40 – 50 m berturut-turut untuk kategori *measured*, *indicated*, dan *inferred*. Spasi ini diambil dari spasi optimum mineral ikutan timah dikarenakan mineral ikutan timah lebih bervariasi daripada Sn (timah). Spasi optimum untuk Sn (timah) sendiri adalah 45 – 50 m, 75 m, dan 105 – 115 m berturut-turut untuk kategori *measured*, *indicated*, dan *inferred*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Timah Tbk. yang telah memberikan dukungan dalam bentuk diskusi dan dataset dalam penelitian ini. Penulis berterima kasih kepada editor dan reviewer yang telah memberikan komentar dan masukan dalam perbaikan naskah tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Battalgazy, N., & Madani, N., 2019. Categorization of Mineral Resources Based on Different Geostatistical Simulation Algorithms: A Case Study from an Iron Ore Deposit. *Natural Resources Research*. <https://doi.org/10.1007/s11053-019-09474-9>

Bern, C. R., Shah, A. K., Benzel, W. M., & Lowers, H. A., 2016. The distribution and composition of REE-bearing minerals in placers of the Atlantic and Gulf coastal plains, USA. *Journal of Geochemical Exploration*, 162, 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.12.011>

Bertoli, O., Paul, A., Casley, Z., & Dunn, D., 2013. Geostatistical drillhole spacing analysis for coal resource classification in the Bowen Basin, Queensland. *International Journal of Coal Geology*, 112, 107–113. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2012.12.010>

Cornah, A., Vann, J., & Driver, I., 2013. 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). *International Journal of Coal Geology*, 112, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2012.11.006>

Evans, A. M., 1993. *Ore Geology and Industrial Minerals: An Introduction (Third Edit)*. Blackwell Publishing.

Geovariances, 2016. *Drill Hole Spacing Analysis*. Retrieved from <https://www.geovariances.com/wp-content/uploads/2016/07/geovarianceswhitepaper-dhsa.pdf>.

Gwenzi, W., Mangori, L., Danha, C., Chaukura, N., Dunjana, N., & Sanganyado, E., 2018. Sources, behaviour, and environmental and human health risks of high- technology rare earth elements as emerging contaminants. *Science of the Total Environment*, 636, 299–313. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.235>

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*, 223(March), 103466. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2020.103466>

Isatelle, F., & Rivoirard, J., 2019. Mineral Resources classification of a nickel laterite deposit: Comparison between conditional simulations and specific areas. *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 119(October), 871–882.

Journel, A. G., & Huijbregts, C. J., 1978. *Mining Geostatistic*. Academic Press. USA.

Matheron, G., 1971. *The Theory of Regionalized Variables and Its Applications*. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.

Ng, S. W., Whitehouse, M. J., Roselee, M. H., Teschner, C., Murtadha, S., Oliver, G. J. H., Ghani, A. A., & Chang, S.-C., 2017. Late Triassic granites from Bangka, Indonesia : A

- continuation of the Main Range granite province of the South-East Asian Tin Belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, 138(March), 548–561. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.03.002>
- Perks, C., & Mudd, G., 2019. Titanium, zirconium resources, and production: A state of the art literature review. *Ore Geology Reviews*, 107(July 2018), 629–646. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.02.025>
- Purwadi, I., Werff, H. M. A. Van Der, & Lievens, C., 2020. Targeting rare earth element bearing mine tailings on Bangka Island, Indonesia, with Sentinel-2 MSI. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, 88(December 2019), 102055. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102055>
- Schwartz, M. O., Rajah, S. S., Askury, A. K., Putthapiban, P., & Djaswadi, S., 1995. The Southeast Asian Tin Belt. *Earth-Science Reviews*, 38, 95–293.
- Silva, D. S. F., & Boisvert, J. B., 2014. Mineral resource classification: a comparison of new and existing techniques. *Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 114(March), 265–273.
- Sinclair, A. J., & Blackwell, G. H., 2002. *Applied Mineral Inventory Estimation*. Cambridge University Press.
- Syafrizal, Amertho, S. D., Azwardi, I., Indriati, T., Nabilla, A. O., Suharjo, E. G. W., & Hede, A. N. H., 2019a. Karakterisasi Mineral Ikutan Timah pada Endapan Primer, Sekunder, dan Tailing di Bangka Selatan dan Belitung. *PROSIDING TPT XXVIII PERHAPI 2019* (pp. 807–816).
- Syafrizal, Pradana, A. S., Amertho, S. D., Azwardi, I., Heriawan, M. N., & Hede, A., 2019b. Studi Distribusi Mineral Ikutan Timah (MIT) untuk Mendukung Metoda Penanganan Sampel pada Kegiatan Eksplorasi. *PROSIDING TPT XXVIII PERHAPI 2019 STUDI* (pp. 797–806).
- Yu, S., & Wai, A. M., 2020. Upgrading of Titanium Dioxide from Ilmenite Concentrate. *ETSJ*, 02(02), 245–249.

