

ESTIMASI SEBARAN KARAKTERISTIK ENDAPAN SIRTU BERDASARKAN MODEL DARI VARIOGRAM ELEVASINYA

Sedarta ¹, Tengku Tibri ², Eka Onwardana ³

¹Fakultas Teknologi Mineral, Institut Sains dan Teknologi TD. Pardede
Jl. DR.TD. Pardede No.8 Medan, Sumatera Utara

Email: ¹sedarta@istp.ac.id, ²tengkutibri@istp.ac.id, ³ekaonwardana@istp.ac.id

Abstrak

Karena tingginya permintaan agregat alamiah untuk agregat konstruksi, sirtu (pasir dan batu) adalah salah satu yang paling banyak ditambang karena murah dalam biaya produksi. Sayangnya harga ekonominya rendah. Pencariannya didasarkan hanya kepada singkapan atau bagian tubuh endapan yang tersingkap ke permukaan. Kemiripan ciri-ciri permukaan topografi digunakan untuk mengestimasi penyebarannya mengarah kepada resiko atau ketidak-menentuan yang tinggi dalam pengestimasian cadangannya. Walau bagaimanapun juga, endapan yang seperti itu adalah hasil dari proses sedimentasi yang mungkin tererosi kemebali meninggalkan tubuh yang terpotong atau tersebar dalam bentuk lensa-lensa. Ketika permukaan topografi adalah hasil dari proses alam, elevasinya seharusnya tunduk kepada salah satu faktor pengendali, mis. proses geologi. Hal ini seharusnya mengikuti sebuah model variogram. Untuk itu, 3 data set telah diuji; 2 diantaranya terkait metode pengukuran dan data-set lainnya sebagai validator. Hasil simulasi mengungkap bahwa sirtu di desa Pardamean, Kecamatan Ajibata- Simalungun tunduk kepada variogram model Gaus atau TPLStable dengan kesalahan MSER 0,0961-m². Penyebarannya mengikuti distribusi fraktal dengan rentang cakupann ±100-m, sill 8-m dan tanpa nugget. Elevasi permukaan dapat dideterminasi oleh variogram model asalkan data-setnya representatif.

Kata Kunci : Sirtu, elevasi, variogram, model, akurasi

Abstract

Due to high demand of natural aggregate for construction aggregates, sand and gravel are one of the most much mined owing to cheap in production cost. Unfortunately, the value is low economically. The exploration is based only on the outcrop or any part of deposit body exposed to surface. The similarity of the topography surface traits is used to estimate the dissemination leading to high risk or uncertainty in the reserve-estimating. Such a deposit however, is a result of sedimentary process which may be re-eroded leaving behind a truncated body or disseminated in the form of lenses. Since the topographic surfaces are result of natural processes, the elevation must depend on one of controlling factors, e.g. geological process. This must comply with a variogram model. Therefore, 3 data sets have been tested; 2 of them related to measurement methods and the other is as a validator. Simulation results disclose that the sand and gravel in Desa Pardamean, Kec. Ajibata – Simalungun is governed by Gaussian or TPL-Stable model variogram with MSER 0.0961-m². The dissemination is fractal distribution with covered range ±100-m, variation (sill) = 8-m and no nugget. The surface elevation can be estimated using variogram model unless the data set is not representative.

Key word: sand and gravel, elevation, variogram, model, accuracy

1 PENDAHULUAN

Agregat konstruksi merupakan kebutuhan yang esensial bagi masyarakat modern. Ia dicampur dengan zat pengikat, mis. semen atau aspal, untuk menghasilkan sebuah bentuk, baik kolom atau lapisan; sesuai kebutuhan. Karakteristik dari agregat tidak saja dapat mempengaruhi proses penyiapan, pengadonan dan penanganan adukannya tetapi juga kekuatan dan daya tahan dari aplikasinya (Beshr et al., 2003; Chi et al., 2003; Mačiulaitis et al., 2009). Di Indonesia, volume permintaan agregat konstruksi berfluktuasi namun secara rata-rata meningkat 2,79% per tahun dari 2011-2020, (bps.go.id, 2020).

Dalam prakteknya agregat konstruksi sebagian besar disediakan melalui proses penambangan. Walau bagaimanapun, mereka ditemukan memiliki kelekatan dengan zat pengikat yang lebih baik (Zhou & Chen, 2017). Khusus untuk mortar atau beton kualitas sedang-rendah; agregatnya biasanya berasal dari campuran pasir dan batu dalam berbagai ukuran (Sirtu). Ia disediakan oleh penambang-penambang skala kecil yang umumnya beroperasi disekitar daerah pengguna/pembeli-nya. Sirtu yang ada pada daerah aliran sungai (*DAS*) adalah yang paling umum ditambang karena biaya produksinya murah. Ia tidak membutuhkan proses pemberaian seperti pada batuan induk. Akan tetapi, karena dilarang (Kepmen-ESDM No.: 1827 K/30/MEM/2018), sirtu diluar *DAS* terutama yang memiliki singkapan biasanya dijadikan target. Ketika ketebalan dari singkapan lebih besar dari *minimum-stopping*, dan sebarannya dirasa telah mencukupi, maka ia dianggap layak untuk ditambang (oleh pengusaha). Volume sumberdayanya, umumnya dihitung dengan metode *cross-section* berdasarkan elevasi area singkapan, yang salah satunya dapat diperoleh melalui *google-earth*.

Pada kenyataannya, endapan sirtu terbentuk dari jenis material dan oleh proses geologi yang tertentu. Geometrinya dapat tidak teratur dan sebaran dapat tidak merata. Disamping itu, *isoline* (elevasi) yang ada pada *google-earth* adalah hasil estimasi berdasarkan

metode tertentu dan umumnya memiliki kesalahan (El-Ashmawy, 2016; Xiong et al., 2017). Oleh karenanya, penelitian ini bermaksud untuk mendiskusikan karakteristik sebaran sebuah endapan sirtu berdasarkan model dari kemiripan nilai-nilai elevasinya (*variogram*). Dengan demikian para penambang diharapkan dapat memahami karakteristik dari endapan sirtu yang akan ia tangani; terutama terkait perhitungan jumlah sumberdayanya.

2 DASAR TEORI

2.1 Sirtu

Sirtu adalah singkatan dari pasir dan batu (*sand and gravel*). Ia terdiri atas fragmen batuan berbagai ukuran. Wujudnya lepas tidak terkonsolidasi, hasil proses transportasi dan pengendapan (Bliss, 1993). Mereka disebut sirtu bila persentase kerikilnya (*gravel*, 2-64 mm) > 25% wt (Doeglas, 1968; Langer, 1988).

Endapan seperti yang disebut itu dapat bervariasi dalam komposisi dan ukuran fragmen termasuk ketebalan, arah dan luas dari persebarannya karena keseluruhannya dikontrol oleh setting geologinya (Bliss & Page, 1994) yang disebut dengan *drift* (Matheron, 1963). Perlapisan mereka dapat ditutupi oleh, mis.: tanah atau lempung; dibawah permukaan dan dapat hadir secara berulang (Al-Ali & Al-Khafaji, 2022). Sirtu dengan karakteristik seperti itu umum ditemukan terkait batuan piroklastik. Endapannya dapat terjadi secara setempat, berupa lensa-lensa atau sisa dari aliran sungai purba. Sirtu jenis ini mungkin saja kembali terkikis (oleh sungai pasca pengendapannya) meninggalkan endapan tipis atau terpotong secara parsial.

2.2 Variogram

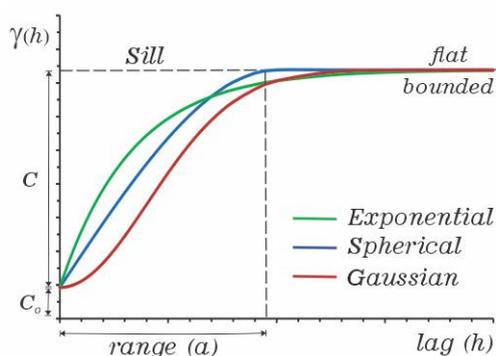
Variogram didefinisikan sebagai varian dari nilai-nilai spasial pada jarak (*lag*) tertentu. Ia dapat digunakan untuk mengukur ketidakmiripan (*disimilarity*) ciri atau karakter dari suatu kumpulan nilai. Misalkan terdapat dua nilai $Z(x)$ dan $Z(x+h)$ masing-masing pada titik x dan $x+h$ dimana h adalah *lag*, maka fungsi ketidakmiripan dari kedua titik:

$$2\gamma(h) = \text{AVE}[(Z(x) - Z(x+h))^2] \text{----- (1)}$$

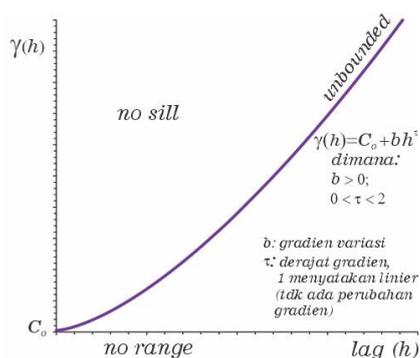
Bila proses tersebut diterapkan terhadap keseluruhan pasangan data maka fungsi rata-rata dari ketidak-miripan menjadi:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2 \cdot N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \text{ - (2)}$$

Gamma (γ) pada per. [1] adalah varian; sementara pada pers. [2] disebut *semi-variogram* atau *co-variogram*. Nilai mereka tergantung kepada jarak absolut antar titik ($|h|$). Bentuk kurva dari plot *covariogram* vs jarak umumnya dapat tunduk kepada satu atau beberapa fungsi kontiniu (disebut *variogram teoritis*) mis. bola, eksponensial, gauss, linier, polinomial atau kombinasinya (Mälicke, 2022). Variogram teoritis ini dibedakan menjadi 2 jenis (Oliver & Webster, 2014), yaitu *bounded (stasioner)* dan *unbounded* (tidak berujung; lihat Gambar 1 dan Gambar 2); yang merepresentasikan karakteristik dari objeknya (Michel, 1977).



Gambar 1. Variogram teoritis bounded



Gambar 2. Variogram teoritis unbounded

2.3 Drift

Pada kenyataannya, sebaran nilai-nilai objek dapat memiliki tren tertentu sehingga asumsi random (*isotrop*) mungkin tidak terpenuhi mengarah kepada ciri-ciri *anisotropi*. Untuk itu, proses pencarian pasangan dilakukan secara bertahap dengan arah dan dan luasan tertentu. Arah pencarian (φ), biasanya dimulai dari sumbu-x (*East*) meningkat dengan interval tertentu kearah sumbu-y, mis.: 30°. Pendeterminasian pasangan didasar-kan kepada jarak lag (h), toleransi (*tolerance*, α) dan rentang (*bandwidth*, w) tertentu. Nilai α : 22.5 ($\pi/8$), 25°, 30°, atau 60° (Mälicke, 2022; Michel, 1977; Oliver & Webster, 2014); sementara $w = \frac{1}{2}$ jarak lag (h) adalah yang paling umum didiskusikan di dalam literatur. Spasi lag biasanya = lebar atau panjang maksimum dibagi 30 (Oliver & Webster, 2014).

Bila nilai-nilai parameter model relatif sama untuk semua arah berarti objek dikategorikan *isotrop* selain itu *anisotrop*. Variogram yang bervariasi dalam *range (a)* disebut *anisotropi geometri*; sementara dalam *sill (C)* disebut *anisotropi zona*. Pers. [7] mendeterminasi besarnya nilai sebuah *anisotropi*.

$$\Omega(\varphi) = \{A^2 \cos^2(\varphi - \vartheta) + B^2 \sin^2(\varphi - \vartheta)\}^{\frac{1}{2}} \text{----- (7)}$$

dimana Ω : nilai *anisotropi*; φ : arah pencarian; ϑ : arah dari range terbesar; A : range pada arah ϑ ; B : range terkecil. Bahwa pada daerah tertentu kombinasi *anisotropi geometri* dan *anisotropi zona* telah dilaporkan didalam literatur (Eriksson & Siska, 2000).

2.4 Kriging

Kriging adalah nama lain dari metode interpolasi kuadrat terkecil untuk menyediakan prediksi linier tidak bias, terbaik dalam arti varian terkecil. Berdasarkan karakteristik dar parameter variogramnya, kriging dibedakan menjadi 2, yaitu: a) *ordinary* untuk variogram *isotrop*; dan b) *universal* atau *kriging with drift*, untuk variogram yang *anisotrop*.

Pada ordinary kriging nilai pada sebuah titik/blok $\hat{Z}(x_o)$ didasarkan kepada nilai-nilai observasi $Z(x_i)$ dihitung dengan persamaan:

$$\left. \begin{aligned} \hat{Z}(x_o) &= \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \\ \sum_{i=1}^N \lambda_i &= 1 \end{aligned} \right\} \text{----- (8)}$$

λ_i adalah pembobot (penaksir) untuk tiap $Z(x_i)$. Ia merupakan sebuah pengganda *lagrang* yang akan meminimalkan nilai varian total. Ketika sebaran keragaman tidak *anisotrop*, maka nilai titik ditaksir dengan rumus:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^N \lambda_i f_k Z(x_i) &= f_k \hat{Z}(x_o) \\ k &= 1, 2, \dots, \dots, p \end{aligned} \right\} \text{----- (9)}$$

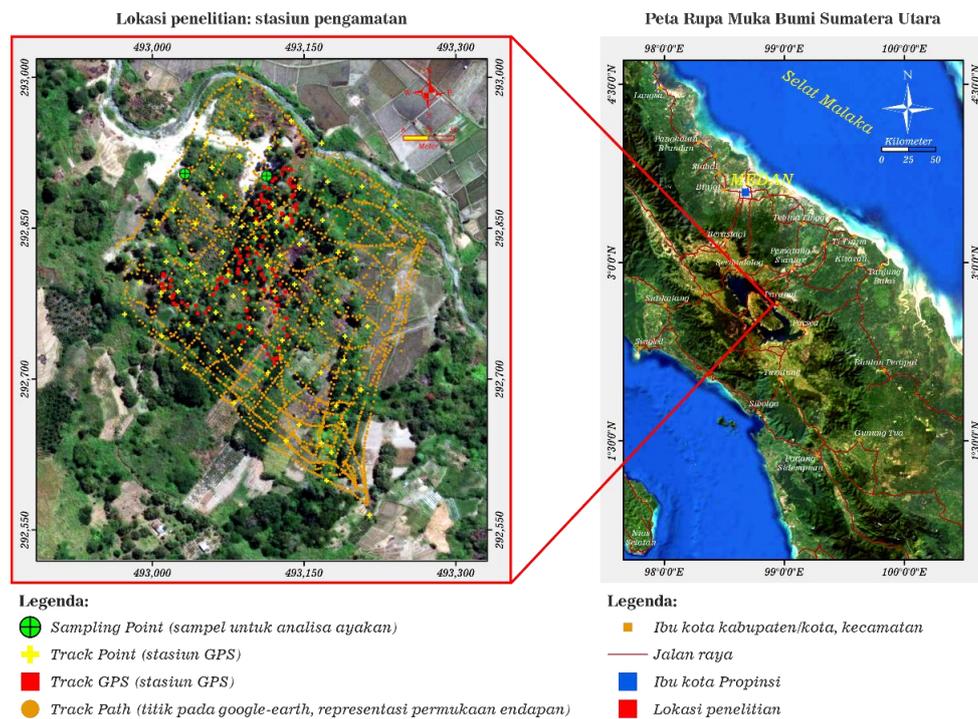
f_k adalah sebuah penganda bobot (λ_1) yang membuat penaksiran, nilai yang dihasilkan, sesuai dengan karakteristik sebaran. Oleh karenanya ia disebut sebagai penaksir berarah (*directional*).

Untuk menyelidiki ketelitian dari proses estimasi, *Oliver dan Webster* (2014) mengusulkan 2 indikator, diantaranya kuadrat kesalahan rata-rata, *MSER*:

$$= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)]^2 \text{----- (10)}$$

3 METODE

Untuk menguji kinerja variabel terregional dalam mendeterminasi sebaran dari sebuah deposit sirtu pengukuran elevasi menggunakan GPS Oregon 750 dilakukan terhadap sebuah daerah singkapan sirtu yang ada di desa Pardamean, kecamatan Ajibata, kabupaten Simalungun. Pengukuran dilakukan dalam 2 (dua) sebaran, yaitu 1) Track Point; dan 2) Track GPS. Sebagai pembanding, elevasi permukaan topografi wilayah studi dideterminasi berdasarkan data *google-earth* (*Track Path*; lihat Gambar 3)



Gambar 3. Lokasi penelitian dan stasiun pengukuran/sampling

Dalam penelitian ini, sistem koordinat yang digunakan adalah *WGS-1984*. Proses pengolahan data dilakukan menggunakan *python ver. 3.10.8*; dimana konversi data koordinat dilakukan menggunakan modul *pyproj ver 3.6.0* sementara pengolahan data variabel terregional dilakukan menggunakan module *GsTools ver. 1.5.0* dan *pykrig ver. 1.7.0* (Mueller et al., 2022). Proses pengujian dilakukan menggunakan 14 model variogram, 6-90 kelas lag, $\pi/8$ sudut pencarian. Karakteristik sebaran endapan output simulasi divalidasi menggunakan data distribusi ukuran butir (agregat) penyusun sirtu hasil dari 2 titik pengamatan.

4 HASIL DAN DISKUSI

4.1 Variasi elevasi

Wilayah studi memiliki panjang 267.55-m N; lebar 431.31-m E dengan luas 11.54 Ha. Elevasinya berkisar antara 909.20 - 944.90 m-dpl. Dari 2 metode perekaman elevasi yang dilakukan; *Track Point* men-demonstrasikan rata dan simpangan yang lebih mendekati sebaran elevasi wilayah studi (lihat Tabel 1 dan Gambar 4). Berdasarkan data statistiknya, *Track GPS* merepresentasikan tidak saja kemencongan yang lebih besar tetapi juga kurtosis yang lebih tajam;

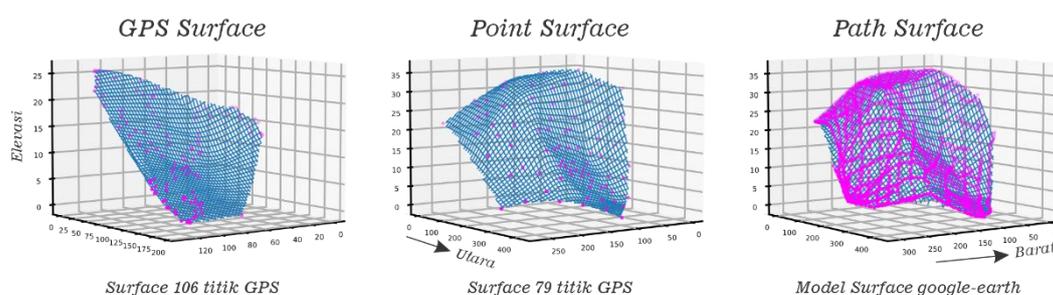
dibanding *Track Point* relatif terhadap *Track Path*.

Tabel 1. Statistik elevasi wilayah studi

X-East (Timur)	Y-North (Utara)	Parameter	Elevasi Track			
			GPS	Point	Path	
492,972.74	292,564.56	Min.	915.50	909.50	909.20	
493,240.29	292,995.87	Max.	940.90	944.90	944.80	
Panjang [X] = 267.55 m Lebar [Y] = 431.31 m Luas [X · Y] = 11.54 Ha			Mean	926.62	925.74	927.68
			STDev.	7.08	9.45	10.63
			Skew	0.29	0.24	-0.03
			Kurt	-0.97	-1.01	-1.36
			N-Rec	106	79	2017

Catatan: Pada proses estimasi, nilai-nilai *X*, *Y* dan *Z* (elevasi) direduksi oleh nilai-nilai minimumnya sehingga nilai terkecil mereka dapat me dan keduanya mendemostrasikan perilaku yang $ddnjadi = 0$.

Track GPS karena konsentrasi pengukuran relatif hanya berada di tengah area target (lihat Gambar 3) menghasilkan luasan mesh-grid yang lebih sempit dibanding *Track Point*. *Track Point*, meskipun memiliki jumlah data elevasi yang lebih sedikit (79 data) menghasilkan view yang relatif tidak berbeda dengan profil *google-earth*; dibanding dengan mesh grid *Track GPS* (106 data elevasi). *Track Point* tampak tidak saja memiliki punggung tetapi juga lembah; seperti halnya *surface* dari *google earth*.



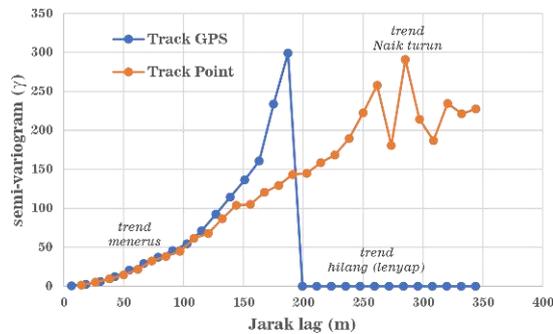
Gambar 4. Mesh grid tiap track

4.2. Variogram Eksperimental

Berdasarkan variogram eksperimental dari kedua data set diketahui bahwa *Track GPS* memiliki kecenderungan yang tidak stasioner

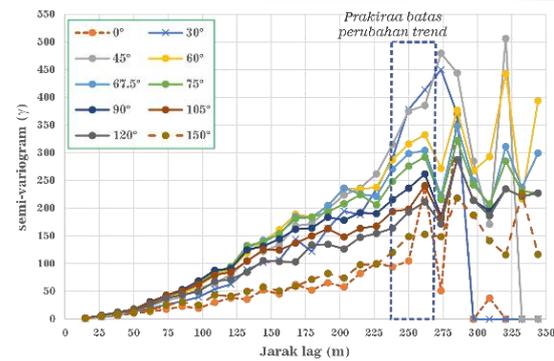
sementara *Track Point* menunjukkan kecenderungan stasioner ketika jarak lag sekitar 250-m. Dalam jarak pendek baik track GPS maupun *Track Point* menunjukkan trend yang menerus namun ketika jarak lag $> \pm 100$ -m

keduanya mendemonstrasikan sebuah penyimpangan (lihat Gambar 5). Kedua track menunjukkan nilai varogram hingga jarak lag 350-m, artinya cakupan data dapat menerangkan perbedaan kemiripan hingga 350-m.



Gambar 5. Variogram eksperimental

Berdasarkan arah pencarian pasangan, variogram dari *Track Point* arah 0 - 150° mendemonstrasikan *range (A)* yang tetap namun derajat ketidak miripannya (*sill, C*) tampak berbeda (lihat Gambar 6. Hal ini mengarah kepada interpretasi sebaran endapan yang tidak isotrop, dengan jenis *anisotropy geometri*.



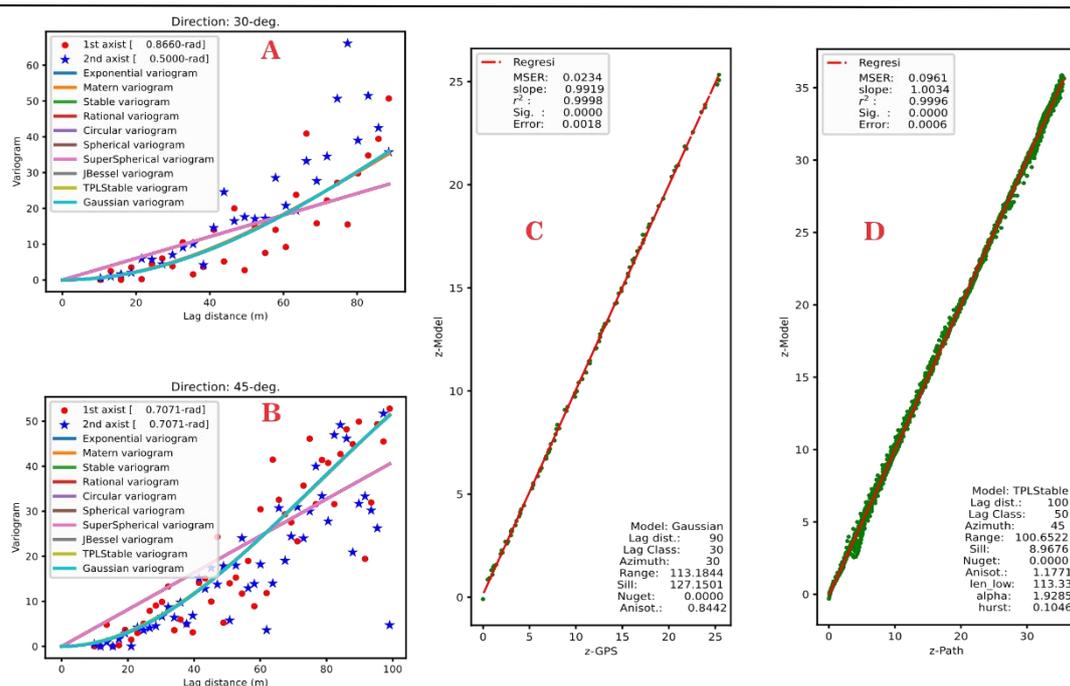
Gambar 6. Directional variogram

4.3. Variogram Model

Hasil simulasi menunjukkan bahwa model dari variogram sebaran elevasi yang paling sesuai adalah Gaussian namun sebagian besar termasuk dalam kategori model Gaussian terpotong (*Truncated Power Law olinel Stable*) (lihat Tabel 2). Model variogram dari *Track Point* dapat digunakan untuk mendeterminasi data *Track GPS* dan *Track Path* ; masing-masing dengan MESRR 0.0234 dan 0.0961-m. Error pada kedua data berada pada semua rentang ketinggian (lihat Gambar 7 C dan D). Batas persebaran ketidak miripan ±100-m pada arah (azimuth) N 30-65° E. Arah tersebut dihasilkan dari jarak lag 75-135-m.

Tabel 2. Model variogram dan estimasi kuadrat error (MESRR)

Track Path					Track GPS				
Model	Lag Distance	N-Kelass	Azimuth	MESRR	Model	Lag Distance	N-Kelass	Azimuth	MESRR
TPLStable	100	50	45	0.0961	Gaussian	90	30	30	0.0234
TPLStable	75	50	65	0.0986	TPLStable	105	30	45	0.0341
TPLStable	135	20	45	0.1096	TPLStable	100	15	45	0.0352
TPLStable	120	50	45	0.1132	TPLStable	100	15	30	0.0413
TPLStable	135	50	45	0.1138	TPLStable	80	50	45	0.0415
...



Gambar 7. Variogram Model sebaran elevasi endapan

4.4 Diskusi

4.4.1. Karakteristik sebaran sirtu

Model dari variogram experimental *Track Point* adalah *TPLStable*. Fungsinya memiliki pangkat dengan sebuah parameter dasar yaitu yang mengkarakterisasi jarak Euclidean diantara 2 titik (*len-law*). Pangkatnya (*Hurst coefisien*) kebalikan dari dimensi *fraktal*. Dengan demikian ia menandakan sebaran elevasi endapan mengikuti pola perubahan acak fraktal (Müller et al., 2021). Persebaran tersebut, tampak tidak teratur namun sebenarnya memiliki sebuah pola keteraturan dengan keacakan tinggi (nilai *Hurst* yang rendah mengartikan dimensi fraktal tinggi).

Model tidak memiliki nuget (= 0.0) sehingga dapat diinterpretasikan bahwa sebaran nilai elevasi (sebaran sirtu) tidak mengandung perbedaan karakter untuk tiap titik pengamatan. Variasi mereka tidak bersifat *eratik* namun cenderung konsisten. Begitu juga dengan variasi nilai beda tingginya yang relatif sempit (± 8 -m); terdeteksi ketika jarak antar titik ± 100 -m. Itulah sebabnya mengapa pada area yang sempit fenomena perubahan tersebut tersebut relatif tidak terlihat.

Range model *Gaussian* (113.18-m) mendekati jarak *Euclidian* pada model *TPLStable* (113.33-m). Pola perubahan tersebut tersebar relatif ke arah timur-laut. Arah tersebut konsisten dengan posisi sampling-point dimana pada kedua titik pengamatan tersebut ditemukan sirtu dengan distribusi ukuran yang berbeda (Ade, 2022). Bahwa kurva variogram relatif landai, meningkat secara perlahan tunduk kepada model *Gaussian* yang mengindikasikan bahwa distribusi tersebut merupakan nilai-nilai elevasi dari litologi sedimen (Michel, 1977). Karakteristik endapan (sirtu) khas ke arah tertentu, anisotropinya adalah geometri bukan zonal, terkonfirmasi oleh model variogramnya yang berarah (Eriksson & Siska, 2000).

4.4.2. Penentuan titik pengukuran

Dari dua data set (*Track Point* dan *Track GPS*) yang digunakan untuk mendeleniasi variasi dari nilai elevasi terungkap bahwa jumlah set pengukuran tidak selamanya menjadi penentu dalam menyediakan sebuah model spasial yang sah. *Track GPS* dengan jumlah data set 107 pengukuran ditemukan tidak dapat didekati

oleh model yang manapun. Ia memiliki $r^2 < 0.75$. Padahal, secara statistik keduanya memiliki parameter yang relatif sama baik rata-rata maupun simpangannya (lihat Tabel 1). Sebaliknya, *Track Point* dengan 79 data set ditemukan memiliki model yang sah. Modelnya mampu mendeterminasi nilai-nilai *Track Path* dengan error 0,0234-m. Hal yang seperti ini juga telah didiskusikan di dalam literatur (Surfer, 2019).

Menurut Tolosana-Delgado et al (2019), penentuan titik data pengukuran harus memperhatikan keterwakilan variasi secara spasial. Sebuah data set $z \in R^D$ disebut sah jika komponen ke k -nya z_k merepresentasikan bagian k dengan memperhatikan komponen lainnya. Ketika dua data set memiliki parameter statistika yang sama namun berbeda dalam spasial, asalkan representatif, keduanya seharusnya tunduk kepada salah satu model yang telah didefinisikan; yang berbeda hanyalah dalam tekstur sebaran nilai-nilainya (Surfer, 2019).

4.4.3. Ketelitian estimasi

Geostatistics mendeterminasi nilai titik menggunakan prediktor. Bobot dari tiap prediktor diketahui dari sebuah variogram model; dimana kombinasi antar prediktor bersifat linear dan tidak bias (*BLUE, best linear unbiased error*). Model bertanggungjawab terhadap variasi ketidak miripan variabel antar lokasi sehingga menghasilkan taksiran yang presisi atau dengan ketelitian yang tinggi. Geostatistika bahkan dapat membuat penaksiran berdasarkan multi data sehingga banyak digunakan dalam estimasi nilai ruang terutama dalam estimasi cadangan pada dunia pertambangan (Matheron, 1963).

Dalam penelitian ini prediktor *Track Point* mendeterminasi nilai-nilai *Track GPS* menggunakan model TPLStable dengan kuadrat kesalahan 0,0234-m² (lihat Gambar 7) atau setara dengan ±15,3-cm. Jika error pembacaan GPS mengandung kesalahan ±6-9 cm (Hong et al., 2005), berarti nilai-nilai estimasi tersebut lebih rendah dari yang seharusnya; kecuali dengan mempertimbangkan kesalahan pada kedua GPS. Pada *Track Path*, kuadrat kesalahannya 0,0961

m² atau setara dengan 31-cm. Bila kesalahan pada *google earth* oleh karena perbedaan ketinggian 5 ke 25 m = 1.85 – 5,69-m; berarti akurasi dari prediktor *Track Point* jauh lebih baik.

Berdasarkan *Table 2* diketahui bahwa sebuah model dapat menghasilkan ketelitian berbeda untuk nilai parameter model (jarak dan jumlah kelas lag, arah pencarian ‘azimuth, dan sudut pencarian) yang berbeda. Penentuan nilai-nilai mereka dapat diacu melalui model variogram eksperimennya seperti yang telah disinggung sebelumnya. Untuk jumlah kelas lag, aturan sturges (=30) dapat dijadikan acuan meskipun pada beberapa literatur ada juga yang membuat 25 (Surfer, 2019) atau 6 (Mueller et al., 2022; Oliver & Webster, 2014). Untuk sudut pencarian, $\pi/8$ adalah yang paling umum digunakan.

Untuk proses optimasi, dukungan bahasa pemrograman terhadap multi-processing memungkinkan untuk mencari nilai-nilai parameter yang menghasilkan model yang paling cocok (fit) atau ketelitian yang paling akurat,

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa dapat dibuat kesimpulan:

1. Sebaran endapan sirtu dapat dideterminasi dengan metode variable teregional menggunakan geostatistik
2. Sebaran endapan sirtu desa perdamen mengikuti fungsi variogram Gaussian dan Gaussian Terpotong (TPLStable)
3. Model TPLStable dapat menghasilkan estimasi nilai elevasi endapan sirtu secara presisi
4. Koordinat data set ditemukan menentukan akurasi model. Data set harus diambil dengan merepresentasikan variasi objek yang ingin dipelajari

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Ade Arriza Akbar Mahasiswa Teknik Pertambangan ITSP, NIM 21.286.8179 atas izin yang diberikan dalam penggunaan data skripsinya

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Ali, S., & Al-Khafaji, S. (2022). Spatial Distribution and Reserve Estimation of sand and gravel. *Kuwait Journal of Science*, 49(4), 1–28. doi:10.48129/kjs
- Beshr, H., Almusallam, A. A., & Maslehuddin, M. (2003). Effect of coarse aggregate quality on the mechanical properties of high strength concrete. *Construction and Building Materials*, 17(2), 97–103. doi: 10.1016/S0950-0618(02)00097-1
- Bliss, J. D. (1993). Modeling Sand and Gravel Deposits- Initial Strategy and Preliminary Examples. In *USGS*. pubs.usgs.gov/of/1993/0200/report.pdf
- Bliss, J. D., & Page, N. J. (1994). Modeling Surficial Sand and Gravel deposit. *Nat Resour Res*, 3, 237–249. doi: 10.1007/BF02259048
- Chi, J. M., Huang, R., Yang, C. C., & Chang, J. J. (2003). Effect of aggregate properties on the strength and stiffness of lightweight concrete. *Cement and Concrete Composites*, 25(2), 197–205. doi: 10.1016/S0958-9465(02)00020-3
- Doeglas, D. J. (1968). Grain-Size Indices, Classification and Environment. *Sedimentology*, 10(2), 83–100. doi: 10.1111/j.1365-3091.1968.tb01101.x
- El-Ashrawy, K. L. A. (2016). Investigation of the Accuracy of Google Earth Elevation Data. *Artificial Satellites*, 51(3), 89–97. doi:10.1515/arsa-2016-0008
- Eriksson, M., & Siska, P. P. (2000). Understanding anisotropy computations. *Mathematical Geology*, 32(6), 683–700. doi: 10.1023/A:1007590322263
- Hong, S., Lee, M. H., Chun, H. H., Kwon, S. H., & Speyer, J. L. (2005). Observability of error states in GPS/INS integration. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 54(2), 731–742. doi: 10.1109/TVT.2004.841540
- Langer, W. H. (1988). Natural aggregates of the conterminous United States. *US Geological Survey Bulletin*, 1594.
- Mačiulaitis, R., Vaičiene, M., & Žurauskienė, R. (2009). The effect of concrete composition and aggregates properties on performance of concrete. *Journal of Civil Engineering and Management*, 15(3), 317–324. doi: 10.3846/1392-3730.2009.15.317-324
- Mälicke, M. (2022). SciKit-GStat 1.0: a SciPy-flavored geostatistical variogram estimation toolbox written in Python. *Geoscientific Model Development*, 15(6), 2505–2532. doi: 10.5194/gmd-15-2505-2022
- Matheron, G. (1963). Principles of geostatistics. *Economic Geology*, 58(8), 1246–1266. doi: 10.2113/gsecongeo.58.8.1246
- Michel, D. (1977). *Geostatistic Ore Reserve*. Elsevier Scientific.
- Mueller, S., Schueler, L., Zech, A., & Hebe, F. (2022). A toolbox for geostatistical modelling in Python. *Geosci. Model Dev*, 15, 3161–3182. doi: 10.5194/gmd-15-3161-2022
- Müller, S., Heße, F., Attinger, S., & Zech, A. (2021). The extended generalized radial flow model and effective conductivity for truncated power law variograms. *Advances in Water Resources*, 156(February), 0–7. doi: 10.1016/j.advwatres.2021.104027
- Oliver, M. A., & Webster, R. (2014). A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *Catena*, 113, 56–69. doi: 10.1016/j.catena.2013.09.006
- Surfer. (2019). *Full user's guide*. goldensoftware.com
- Tolosana-Delgado, R., Mueller, U., & van den Boogaart, K. G. (2019). Geostatistics for Compositional Data: An Overview. *Mathematical Geosciences*, 51 (4), 485–526. doi: 10.1007/s11004-018-9769-3
- Xiong, J., Thenkabail, P. S., Tilton, J. C., Gumma, M. K., Teluguntla, P., Oliphant, A., Congalton, R. G., Yadav, K., & Gorelick, N. (2017). Nominal 30-m cropland extent map of continental Africa by integrating pixel-based and object-based algorithms using Sentinel-2 and Landsat-8 data on google earth engine. *Remote Sensing*, 9(10), 1–27. doi:

10.3390/rs9101065

Zhou, C., & Chen, Z. (2017). Mechanical properties of recycled concrete made with different types of coarse aggregate. *Construction and Building Materials*, 134, 497–506. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.12.163