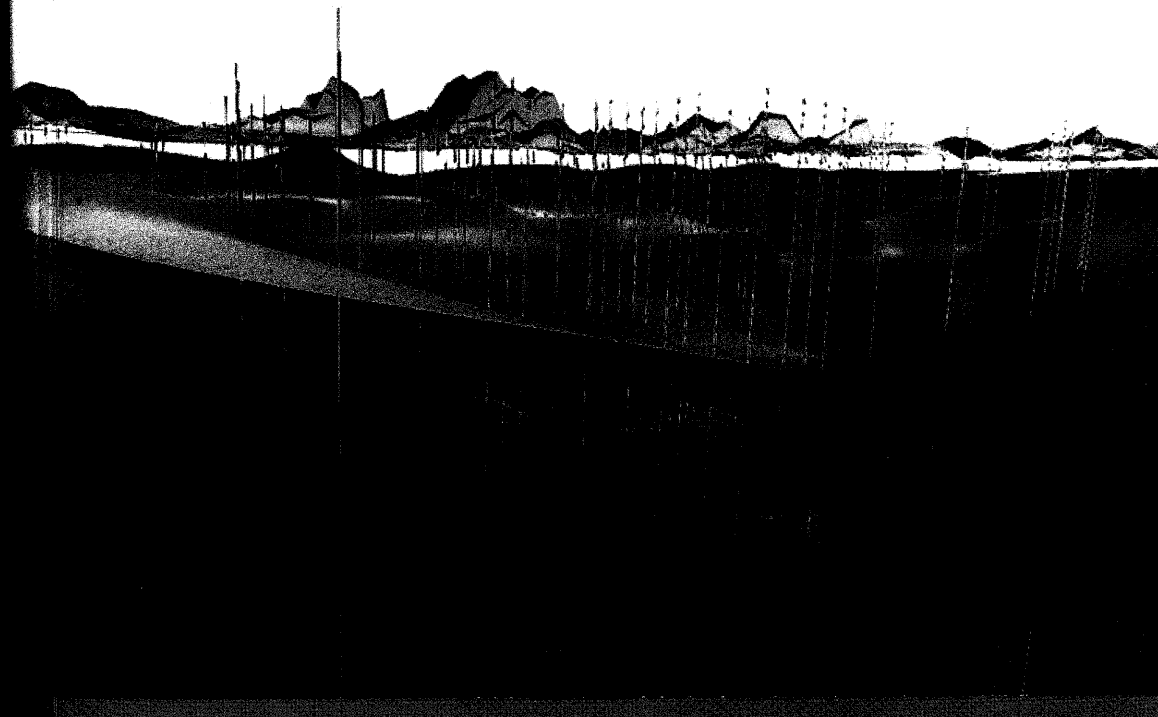


BUKU AJAR

# PEMODELAN **GEOSTATISTIK**

Dr. Ir. Imam Setiaji Ronoatmojo, M.T  
Dr. Ir. Muhammad Burhannudinnur, M.Sc



**Hak Cipta dilindungi oleh Undang-Undang.**

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian maupun keseluruhan isi buku ini dalam bentuk apa pun, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Judul Buku : Buku Ajar : Pemodelan Geostatistik  
Penulis : Dr. Ir. Imam Setiaji Ronoatmojo, M.T  
Dr. Ir. Muhammad Burhannudinnur, M.Sc  
Diterbitkan oleh : Penerbit Universitas Trisakti, Jakarta  
Cetakan Pertama : Februari 2020  
ISBN : 978-602-0750-18-7

**Sanksi Pelanggaran :**

Pasal 72 Undang-Undang No. 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,- (satu juta rupiah) atau penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,- (lima miliar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak terkait sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), dipidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan atau denda paling banyak Rp 500.000.000,- (lima ratus juta rupiah).

BUKU AJAR

# PEMODELAN GEOSTATISTIK

Disusun oleh:

Dr. Ir. Imam Setiaji Ronoatmojo, M.T  
Dr. Ir. Muhammad Burhannudinnur, M.Sc



Penerbit Universitas Trisakti, Jakarta

# BUKU AJAR PEMODELAN GEOSTATISTIK

**Dr. Ir. Imam Setiaji Ronoatmojo, M.T**  
**Dr. Ir. Muhammad Burhannuddinur, M.Sc**

**Penerbit Universitas Trisakti**

Anggota Ikatan Penerbit Indonesia (IKAPI)

Tanda Anggota No. 134/DKI/99

Jl. Kyai Tapa No. 1 Grogol

Jakarta 1140

Cetakan Pertama Februari 2020

Buku Ajar : Pemodelan Geostatistik/

Dr. Ir. Imam Setiaji Ronoatmojo, M.T, Dr. Ir. Muhammad  
Burhanuddinur, M.Sc --

Jakarta : Penerbit Universitas Trisakti, 2020.

xxx, 206 hlm.; 15,5 x 23 cm.

ISBN : 978-602-0750-18-7

## PRAKATA

Mata kuliah Pemodelan Geostatistik merupakan mata kuliah wajib pada Prodi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi, Universitas Trisakti. Sebagaimana kita tahu bahwa pemodelan merupakan suatu metode yang berperan penting di dalam menjelaskan bagaimana penyebaran dari suatu sifat fisik batuan, seluruh aspek kajian geologi kini tidak terlepas dari pemodelan secara 1D, 2D atau 3D bahkan kini pemodelan secara *time lapse* (4D). Kebutuhan akan pemodelan semakin meningkat seiring dengan perkembangan penelitian hubungan antara sifat fisik batuan. Metode ini berkembang secara cepat didukung oleh kemajuan teknologi di bidang komputasi. Kemampuan prosesor komputer untuk mengolah volume data matriks semakin cepat, semakin besar serta semakin presisi.

Adapun materi yang tercakup dalam pembahasan, dimulai dari pemahaman dasar pemodelan geostatistik, sebaran data, probabilitas dan distribusi normal, analisis *univariate*, analisis *bivariate*, medan variabel spasial, model prediksi spasial mekanik, model prediksi spasial statistik, variogram dan *kriging*. Sebagai tambahan untuk mempermudah pembacaan persamaan matematika, disajikan pula notasi operasi matematika pada bagian awal. Tak kalah pentingnya, dalam pelaksanaannya kuliah ini juga menggunakan perangkat lunak S-GeMS, yakni suatu perangkat lunak *open source* dari *Stanford University*, agar mahasiswa bisa mempraktikkan secara langsung baik dengan menggunakan data tutorial maupun data sendiri. Untuk itu pada bagian akhir dari buku ini disertakan panduan singkat penggunaannya.

Akhir kata, kami ucapkan terimakasih kepada Dekan FTKE Dr. Ir. Afiat Anugrahadi, M.S., Wakil Dekan I Dr. Ir. Fajar Hendrasto, Dip. Geoth. Tech., M.T., Ketua Prodi Teknik Geologi Dr. Ir. Arista Muhartanto, M.T., KMK Geofisika Dr. Ir. Hidartan, M.T., team reviewer yang terdiri dari Dr. Ir. Chairul Nas, M.T., dan Dr. Suryo Prakoso, M.T., serta Ibu Yuniar Susanti, S.T. yang telah berkenan membantu administrasi pada saat *review* berlangsung.

Jakarta, 3 November 2018

Dr.Ir. Imam Setiaji Ronoatmojo, MT  
Dr.Ir. Muhammad Burhannudinnur, M.Sc

## DAFTAR ISI

<b>PRAKATA</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR DAN SUMBERNYA</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>NOTASI OPERASI MATEMATIKA</b> .....	xix
<b>BAB I MENGAPA BELAJAR PEMODELAN GEOSTATISTIK?</b> .	1
A. Pentingnya Mempelajari Pemodelan Geostatistik.....	1
B. Prediksi Geostatistik.....	4
C. Geostatistik versus Interpolasi.....	7
D. Keterbatasan.....	10
<b>RANGKUMAN</b> .....	11
<b>UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN</b> .....	12
<b>BAHAN DISKUSI</b> .....	12
<b>PUSTAKA</b> .....	12
<b>BAB II SEBARAN DATA</b> .....	15
A. Pengertian Data .....	15
B. Pembuatan Histogram .....	16
C. Evaluasi Histogram .....	23
<b>RANGKUMAN</b> .....	26
<b>UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN</b> .....	26
<b>BAHAN DISKUSI</b> .....	27
<b>PUSTAKA</b> .....	27

<b>BAB III</b>	<b>DISTRIBUSI NORMAL</b> .....	29	<b>RANGKUMAN</b> .....	79
	A. Motivasi .....	29	<b>UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN</b> .....	79
	B. Distribusi Normal Standar .....	32	<b>BAHAN DISKUSI</b> .....	79
	C. Perkiraan Normal terhadap Binomial .....	36	<b>PUSTAKA</b> .....	80
	<b>RANGKUMAN</b> .....	39		
	<b>UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN</b> .....	39	<b>BAB VII</b>	<b>MODEL PREDIKSI SPASIAL MEKANIK</b> .....
	<b>BAHAN DISKUSI</b> .....	39		A. Interpolasi Jarak Terbalik.....
	<b>PUSTAKA</b> .....	40		B. Regresi Koordinat .....
				C. Spline.....
<b>BAB IV</b>	<b>ANALISIS UNIVARIATE</b> .....	41		<b>RANGKUMAN</b> .....
	A. Nomenklatur dan Notasi .....	41		<b>UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN</b> .....
	B. Variabel Acak Univariante .....	42		<b>BAHAN DISKUSI</b> .....
	<b>RANGKUMAN</b> .....	49		<b>PUSTAKA</b> .....
	<b>UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN</b> .....	49		
	<b>BAHAN DISKUSI</b> .....	49	<b>BAB VIII</b>	<b>MODEL PREDIKSI SPASIAL STATISTIK</b> .....
	<b>PUSTAKA</b> .....	49		A. Kriging.....
<b>BAB V</b>	<b>ANALISIS BIVARIATE</b> .....	51		B. Korelasi Lingkungan .....
	A. Variabel Acak Bivariate .....	51		C. Prediksi dari Peta Poligon .....
	B. Aritmatika Bivariate .....	54		D. Model Hybrid .....
	<b>RANGKUMAN</b> .....	56		<b>RANGKUMAN</b> .....
	<b>UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN</b> .....	56		<b>UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN</b> .....
	<b>BAHAN DISKUSI</b> .....	56		<b>BAHAN DISKUSI</b> .....
	<b>PUSTAKA</b> .....	56		<b>PUSTAKA</b> .....
<b>BAB VI</b>	<b>MEDAN VARIABEL SPASIAL</b> .....	59		
	A. Variabel Lingkungan.....	59	<b>BAB IX</b>	<b>VARIOGRAM</b> .....
	B. Aspek-aspek Keragaman Variabel .....	65		A. Properti Matematika .....
	C. Model Prediksi Spasial .....	74		B. Regularisasi dan Efek Nugget.....
				C. Model Variogram .....
				D. Contoh Kasus .....

RANGKUMAN.....	128
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN .....	129
BAHAN DISKUSI.....	129
PUSTAKA .....	129
<b>BAB X KRIGING.....</b>	<b>131</b>
A. Definisi.....	131
B. Notasi.....	134
C. Kriging dengan Mean Diketahui.....	136
D. Kriging dengan Mean Tidak Diketahui .....	139
<b>RANGKUMAN.....</b>	<b>141</b>
<b>UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN .....</b>	<b>142</b>
<b>BAHAN DISKUSI.....</b>	<b>143</b>
<b>PUSTAKA .....</b>	<b>143</b>
<b>BAB XI UJI PARAMETER ORDINARY KRIGING.....</b>	<b>145</b>
A. Persiapan .....	145
B. Hasil Analisis Variogram.....	148
C. Kriging dengan Variasi Range.....	150
D. Kesimpulan .....	179
<b>RANGKUMAN.....</b>	<b>179</b>
<b>UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN .....</b>	<b>180</b>
<b>BAHAN DISKUSI.....</b>	<b>180</b>
<b>PUSTAKA .....</b>	<b>180</b>
<b>PETUNJUK SINGKAT PENGGUNAAN</b>	
<b>PERANGKAT LUNAK S-GeMS.....</b>	<b>181</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>205</b>

## DAFTAR GAMBAR DAN SUMBERNYA

Gambar 1	Alur kerja estimasi geostatistik (Zhang, 2011).....	4
Gambar 2	Alur kerja simulasi geostatistik (Zhang, 2011).....	5
Gambar 3	Alur kerja berdasarkan realisasi yang dihasilkan oleh simulasi geostatistik (Zhang, 2011).....	6
Gambar 4	Estimasi permeabilitas yang tidak diketahui Z0 berdasarkan pada serangkaian nilai permeabilitas yang diketahui pada n lokasi (Zhang, 2011).....	8
Gambar 5	Estimasi Z0 yang tidak diketahui yang diberikan oleh 7 nilai yang diketahui. Angka dalam kurung adalah bobot yang ditetapkan ke nilai yang diketahui berdasarkan jarak terbalik (Zhang, 2011).....	9
Gambar 6	Histogram .....	22
Gambar 7	Pola umum histogram .....	23
Gambar 8	Kurva distribusi normal.....	30
Gambar 9	Probabilitas nilai dalam kawasan distribusi normal.....	33
Gambar 10	Probabilitas nilai $Pz \geq a$ .....	33
Gambar 11	Probabilitas nilai $Pa \leq z \leq b$ .....	34
Gambar 12	Hubungan antara distribusi binomial dan perkiraan distribusi normal .....	38
Gambar 13	Distribusi diskrit (Zhang, 2011).....	43
Gambar 14	Distribusi kontinu (Zhang, 2011).....	46
Gambar 15	Contoh korelasi positif: plot sebaran tinggi dan berat untuk kelas sekolah menengah pertama (Zhang, 2011).....	52

Gambar 16	Contoh pencuplikan variabel secara teratur di seluruh area yang diminati (setiap grid node) (Hengl, 2009).....	68	Gambar 21	Rentang elips untuk model anisotropik (Hengl, 2009).....	97
Gambar 17	Prediksi spasial adalah proses memperkirakan nilai properti (kuantitatif) di lokasi yang tidak dikunjungi dalam area yang dicakup oleh pengamatan yang ada: (a) skema dalam ruang horizontal, (b) nilai beberapa variabel target dalam satu dimensi ruang (Hengl, 2009) .....	74	Gambar 22	Variogram pada masing-masing orientasi anisotropik (Hengl, 2009) .....	98
Gambar 18	Prediksi spasial menyiratkan aplikasi prediksi algoritma ke jaringan node array (prediksi titik spasial). Hasilnya kemudian ditampilkan menggunakan peta raster (Hengl, 2009).....	75	Gambar 23	Model variogram dengan sill unit dan parameter skala-1: (a) spherical; (B) cubic; (c) exponential; (d) Gaussian; (e) generalized Cauchy (Chiles and Delfiner, 1999) .....	122
Gambar 19	Langkah-langkah pemodelan variogram: (a) lokasi pengambilan sampel (155) dan nilai yang diukur dari variabel target, (b)awan variogram yang memperlihatkan semivarian untuk semua pasangan (variabel log-transformed), (c) semivarian yang digabungkan dengan lag sekitar 100 m, dan (d) model variogram akhir dipasang menggunakan pengaturan default di gstat (Hengl, 2009).....	92	Gambar 24	Nilai properti pada kasus 1D .....	123
Gambar 20	Beberapa konsep dasar tentang variograms: (a) perbedaan antara semivarian dan kovarian; (B) dalam geostatistik penting untuk membedakan antara variasi sill ( $C_0 + C_1$ ) dan parameter sill ( $C_1$ ) dan antara parameter range ( $R$ ) dan range praktis; (c) variogram yang tidak menunjukkan korelasi spasial dapat ditentukan oleh parameter tunggal ( $C_0$ ); (D) variogram tak terbatas (Hengl, 2009).....	94	Gambar 25	Nilai properti pada kasus 2D .....	125
			Gambar 26	Nilai properti pada kasus 2D dengan pola non-gridding .....	126
			Gambar 27	Sebaran data porositas dengan pola non-gridding .....	146
			Gambar 28	Histogram properti porositas pada Zone A.....	147
			Gambar 29	Beberapa kurva variogram variasi azimuth properti porositas pada Zone A.....	148
			Gambar 30	Histogram estimasi range 100 meter porositas pada Zone A .....	150
			Gambar 31	Histogram sebaran variance estimasi range 100 meter porositas pada Zone A.....	151
			Gambar 32	Model sebaran variance estimasi range 100 meter porositas pada Zone A.....	152
			Gambar 33	Model estimasi range 100 meter porositas pada Zone A.....	153
			Gambar 34	Histogram estimasi range 500 meter porositas pada Zone A .....	153
			Gambar 35	Histogram sebaran variance estimasi range 500 meter porositas pada Zone A.....	154

Gambar 36 Model sebaran variance estimasi range 500 meter porositas pada Zone A.....	155
Gambar 37 Model estimasi range 500 meter porositas pada Zone A.....	155
Gambar 38 Histogram estimasi range 1000 meter porositas pada Zone A.....	156
Gambar 39 Histogram sebaran variance estimasi range 1000 meter porositas pada Zone A.....	157
Gambar 40 Model sebaran variance estimasi range 1000 meter porositas pada Zone A.....	158
Gambar 41 Model estimasi range 1000 meter porositas pada Zone A.....	158
Gambar 42 Histogram estimasi range 2000 meter porositas pada Zone A.....	159
Gambar 43 Histogram sebaran variance estimasi range 2000 meter porositas pada Zone A.....	160
Gambar 44 Model sebaran variance estimasi range 2000 meter porositas pada Zone A.....	160
Gambar 45 Model estimasi range 2000 meter porositas pada Zone A.....	161
Gambar 46 Histogram estimasi range 3000 meter porositas pada Zone A.....	161
Gambar 47 Histogram sebaran variance estimasi range 3000 meter porositas pada Zone A.....	162
Gambar 48 Model sebaran variance estimasi range 3000 meter porositas pada Zone A.....	163
Gambar 49 Model estimasi range 3000 meter porositas pada Zone A.....	164
Gambar 50 Histogram estimasi range 4000 meter porositas pada Zone A.....	164

Gambar 51 Histogram sebaran variance estimasi range 4000 meter porositas pada Zone A.....	165
Gambar 52 Model sebaran variance estimasi range 4000 meter porositas pada Zone A.....	166
Gambar 53 Model estimasi range 4000 meter porositas pada Zone A.....	166
Gambar 54 Histogram estimasi range 5500 meter porositas pada Zone A.....	167
Gambar 55 Histogram sebaran variance estimasi range 5500 meter porositas pada Zone A.....	168
Gambar 56 Model sebaran variance estimasi range 5500 meter porositas pada Zone A.....	169
Gambar 57 Model estimasi range 5500 meter porositas pada Zone A.....	169
Gambar 58 Histogram estimasi range 6500 meter porositas pada Zone A.....	170
Gambar 59 Histogram sebaran variance estimasi range 6500 meter porositas pada Zone A.....	171
Gambar 60 Model sebaran variance estimasi range 6500 meter porositas pada Zone A.....	172
Gambar 61 Model estimasi range 6500 meter porositas pada Zone A.....	172
Gambar 62 Histogram estimasi range 7500 meter porositas pada Zone A.....	173
Gambar 63 Histogram sebaran variance estimasi range 7500 meter porositas pada Zone A.....	174
Gambar 64 Model sebaran variance estimasi range 7500 meter porositas pada Zone A.....	175
Gambar 65 Model estimasi range 7500 meter porositas pada Zone A.....	175



Gambar 66	Histogram estimasi range 10000 meter porositas pada Zone A .....	176
Gambar 67	Histogram sebaran variance estimasi range 10000 meter porositas pada Zone A.....	177
Gambar 68	Model sebaran variance estimasi range 10000 meter porositas pada Zone A.....	178
Gambar 69	Model estimasi range 10000 meter porositas pada Zone A.....	178

## DAFTAR TABEL

Tabel 1	Data pengukuran ketebalan lapisan (meter) yang diukur pada setiap lokasi satu pengukuran.....	18
Tabel 2	Penentuan jumlah klas interval untuk pembuatan histogram .....	19
Tabel 3	Penentuan interval dan masing-masing nilai tengah pada kasus di atas.....	20
Tabel 4	Penentuan frekwensi atau jumlah populasi dalam interval .....	21
Tabel 5	Penentuan nilai probabilitas Z dalam distribusi normal.....	36
Tabel 6	Distribusi nilai mahasiswa untuk penghitungan probabilitas.....	44
Tabel 7	Ketebalan akuifer (m) sepanjang jarak (m) secara grid.....	46
Tabel 8	Beberapa variabel lingkungan umum yang menarik bagi pengambilan keputusan dan sifat-sifatnya (Hengl, 2009).....	62
Tabel 9	Koordinat pada kasus non gridding.....	127
Tabel 10	Penghitungan jarak Euclidean dan kuadrat beda nilai .....	127
Tabel 11	Struktur utama dari linear kriging.....	132

## NOTASI OPERASI MATEMATIKA

Simbol	Kategori	Penjelasan	Contoh
$=$	kesamaan atau sama dengan	$x = y$ berarti $x$ dan $y$ mewakili hal atau nilai yang sama.	$1 + 1 = 2$
$\neq$	ketidaksamaan atau tidak sama dengan	$x \neq y$ berarti $x$ dan $y$ tidak mewakili hal atau nilai yang sama.	$1 \neq 2$
$<$ $>$	ketidaksamaan lebih kecil dari; lebih besar dari	$x < y$ berarti $x$ lebih kecil dari $y$ $x > y$ berarti $x$ lebih besar dari $y$	$3 < 4$ $5 > 4$
$\leq$ $\geq$	ketidaksamaan bersyarat lebih kecil dari atau sama dengan; lebih besar dari atau sama dengan	$x \leq y$ berarti $x$ lebih kecil dari atau sama dengan $y$ $x \geq y$ berarti $x$ lebih besar dari atau sama dengan $y$	$3 \leq 4$ atau $5 \leq 5$ $5 \geq 4$ atau $5 \geq 5$
$+$	aritmatika	$4 + 6$ berarti jumlah antara 4 dan 6	$2 + 7 = 9$
	tambah		
	teori himpunan	$A_1 + A_2$ berarti pemisahan kesatuan antara himpunan $A_1$ dan $A_2$	$A_1 = \{1, 2, 3, 4\} \wedge$ $A_2 = \{2, 4, 5, 7\} \Rightarrow$ $A_1 + A_2 = \{(1, 1), (2, 1), (3, 1), (4, 1), (2, 2), (4, 2), (5, 2), (7, 2)\}$

Simbol	Kategori	Penjelasan	Contoh
—	aritmatika	9 - 4 berarti 9 dikurangi 4.	8 - 3 = 5
	kurang		
	aritmatika	-3 berarti negatif dari angka 3.	-(-5) = 5
	negatif		
	Melengkapi teori himpunan kurang; tanpa	A - B berarti himpunan berisi semua elemen dari A tanpa elemen dari B	{1,2,4} - {1,3,4} = {2}
X	aritmatika	3 x 4 berarti perkalian dari 3 dan 4	7 x 8 = 56
	kali		
	teori himpunan	X x Y berarti himpunan semua pasangan berurutan dengan elemen pertama dari setiap pasangan yang dipilih dari X dan elemen kedua yang dipilih dari Y	{1,2} x {3,4} = {(1,3), (1,4), (2,3), (2,4)}
	product		
	aljabar vektor	u x v berarti hasil cross dari vektor u dan v	(1,2,5) x (3,4,-1) = (-22, 16, -2)
cross			
÷	aritmatika	6 ÷ 3 atau 6/3 berarti 6 dibagi 3.	2 ÷ 4 = 0,5 12/4 = 3
	bagi		

Simbol	Kategori	Penjelasan	Contoh
√	bilangan real	√x berarti bilangan positif yang kuadratnya x.	√4 = 2
	akar kuadrat		
	Bilangan kompleks	Jika $z = r \exp(i\phi)$ dinyatakan dalam koordinat kutub dengan $-\pi < \phi \leq \pi$ , maka $\sqrt{z} = \sqrt{r} \exp(i\phi/2)$ .	√(-1) = i
	<i>the complex square root of; square root</i>		
	Bilangan absolut	x  berarti means jarak dalam garis nyata (atau bidang kompleks) antara x dan nol	3  = 3,  -5  = 5  i  = 1,  3+4i  = 5
!	<i>combinatorics</i>	n! adalah hasil perkalian dari 1x2x...xn.	4! = 1 x 2 x 3 x 4 = 24
	faktorial		
~	statistik	X ~ D, berarti variabel acak X memiliki distribusi probabilitas D	X ~ N(0, 1), standard normal distribution
	distribusi probabilitas		

Simbol	Kategori	Penjelasan	Contoh
$\Rightarrow$ $\rightarrow$ $\supset$	logika proporsional	$A \Rightarrow B$ berarti jika A benar maka B juga benar; jika A salah maka tidak ada yang dikatakan tentang B	$x = 2 \Rightarrow x^2 = 4$ adalah benar tetapi $x^2 = 4 \Rightarrow x = 2$ umumnya tidak benar (karena $x$ dapat $-2$ ).
	Menyiratkan; jika dan kemudian	$\rightarrow$ dapat berarti sama dengan $\Rightarrow$ , atau mungkin memiliki arti untuk fungsi yang diberikan di bawah ini  $\supset$ dapat berarti sama dengan $\Rightarrow$ , atau mungkin memiliki arti untuk superset yang diberikan	
$\Leftrightarrow$ $\leftrightarrow$	logika proporsional	$A \Leftrightarrow B$ berarti A adalah benar jika B adalah benar dan A adalah salah jika B adalah salah.	$x + 5 = y + 2 \Leftrightarrow x + 3 = y$
	Jika dan hanya jika		
$\neg$ $\sim$	logika proporsional	Per nyataan $\neg A$ adalah benar jika dan hanya jika A adalah salah.	$\neg(\neg A) \Leftrightarrow A$ $x \neq y \Leftrightarrow \neg(x = y)$
	negasi	Garis miring yang ditempatkan melalui operator lain sama dengan « $\neg$ » yang ditempatkan di depan	

Simbol	Kategori	Penjelasan	Contoh
$\wedge$ dan	logika proporsional, teori kisi	Pernyataan $A \wedge B$ adalah benar jika A dan B adalah benar keduanya; meskipun ini salah	$n < 4 \wedge n > 2 \Leftrightarrow n = 3$ ketika $n$ adalah bilangan natural e yang besarnya adalah 2.71828 1828459 ..... yang merupakan bilangan irasional
$\vee$ atau	logika proporsional, teori kisi	Pernyataan $A \vee B$ adalah benar jika A atau B (ataupun keduanya) adalah benar; jika keduanya salah, maka pernyataan ini salah	$n \geq 4 \vee n \leq 2 \Leftrightarrow n \neq 3$ ketika $n$ adalah bilangan natural ang besarnya adalah 2.71828 1828459 ..... yang merupakan bilangan irasional

Simbol	Kategori	Penjelasan	Contoh
$\oplus$ $\underline{\vee}$	Logika proporsional, aljabar Boolean	Pernyataan $A \oplus B$ adalah benar baik ketika A atau B, tetapi bukan keduanya adalah benar.	$(\neg A) \oplus A$ adalah selalu benar, $A \oplus A$ adalah selalu salah
	xor	$A \underline{\vee} B$ berarti sama dengan pernyataan tersebut.	
$\forall$	logika predikat untuk semua, untuk beberapa, untuk masing-masing	$\forall x: P(x)$ berarti $P(x)$ adalah benar untuk semua $x$ .	$\forall n \in \mathbb{N}: n^2 \geq n$ .
$\exists$	logika predikat di sana ada	$\exists x: P(x)$ berarti setidaknya ada satu $x$ sehingga $P(x)$ benar	$\exists n \in \mathbb{N}: n$ adalah bilangan genap
$\exists!$	logika predikat ada persis satu	$\exists! x: P(x)$ berarti ada persis satu $x$ sehingga $P(x)$ benar	$\exists! n \in \mathbb{N}: n + 5 = 2n$ .
$:=$ $\equiv$ $\Leftrightarrow$	definisi	$x := y$ or $x \equiv y$ berarti $x$ didefinisikan sebagai nama lain untuk $y$ (tetapi perhatikan bahwa $\equiv$ juga dapat berarti hal-hal lain, seperti kongruensi)	$\cosh x := (1/2)(\exp x + \exp(-x))$
	didefinisikan sebagai		
	dimana saja	$P \Leftrightarrow Q$ berarti $P$ didefinisikan secara logis setara dengan $Q$	$A \text{ XOR } B \Leftrightarrow (A \vee B) \wedge \neg(A \wedge B)$

Simbol	Kategori	Penjelasan	Contoh
$\{, \}$	teori himpunan	$\{a, b, c\}$ berarti himpunan dari $a, b$ , and $c$ .	$\mathbb{N} = \{0, 1, 2, \dots\}$
	himpunan dari..		
$\{ : \}$ $\{   \}$	teori himpunan	$\{x : P(x)\}$ berarti himpunan semua $x$ sehingga $P(x)$ yang benar. $\{x   P(x)\}$ sama dengan $\{x: P(x)\}$	$\{n \in \mathbb{N} : n^2 < 20\} = \{0, 1, 2, 3, 4\}$
	himpunan... sedemikian rupa sehingga		
$\emptyset$ $\{\}$	teori himpunan	$\emptyset$ berarti himpunan yang tidak memiliki elemen.	$\{n \in \mathbb{N} : 1 < n^2 < 4\} = \emptyset$
	himpunan kosong	$\{\}$ juga berarti hal yang sama.	
$\in$ $\notin$	teori himpunan	$a \in S$ berarti $a$ adalah anggota dari himpunan $S$ ; $a \notin S$ berarti $a$ bukan anggota $S$	$(1/2)^{-1} \in \mathbb{N}$ $2^{-1} \notin \mathbb{N}$
	adalah anggota himpunan dari		
$\subseteq$ $\supseteq$	teori himpunan	$A \subseteq B$ berarti setiap anggota dari $A$ adalah juga anggota dari $B$ .	$A \cap B \subseteq A$ ; $Q \subset R$
	sub-himpunan	$A \subset B$ berarti $A \subseteq B$ tetapi $A \neq B$ .	
$\supseteq$ $\supset$	teori himpunan	$A \supseteq B$ berarti setiap anggota dari $B$ adalah juga anggota $A$ .	$A \cup B \supseteq B$ ; $R \supset Q$
	super himpunan	$A \supset B$ berarti $A \supseteq B$ tetapi $A \neq B$ .	

Simbol	Kategori	Penjelasan	Contoh
U	teori himpunan	A ∪ B berarti himpunan yang berisi semua elemen dari A dan juga semua yang dari B, tidak ada yang lain	$A \subseteq B \Leftrightarrow A \cup B = B$
	kesatuan dari himpunan .... dan.....		
∩	teori himpunan	A ∩ B berarti himpunan yang berisi semua elemen yang memiliki kesamaan A dan B	$\{x \in \mathbb{R} : x^2 = 1\} \cap \mathbb{N} = \{1\}$
	irisan		
\	teori himpunan	A \ B berarti himpunan yang berisi semua elemen A yang tidak dalam B	$\{1,2,3,4\} \setminus \{3,4,5,6\} = \{1,2\}$
	minus; tanpa		
()	teori himpunan	f(x) berarti nilai fungsi f dari anggota x.	Jika $f(x) := x^2$ , maka $f(3) = 3^2 = 9$ .
	dari		
	umum	Perintah lakukan operasi di dalam tanda kurung terlebih dahulu	$(8/4)/2 = 2/2 = 1$ , tetapi $8/(4/2) = 8/2 = 4$ .
f: X → Y	teori himpunan	f: X → Y berarti fungsi f memetakan himpunan X ke dalam himpunan Y.	Katakan f: Z → N didefinisikan $f(x) = x^2$ .
	dari ... untuk		

Simbol	Kategori	Penjelasan	Contoh
O	teori himpunan	f ∘ g adalah suatu fungsi sehingga $(f \circ g)(x) = f(g(x))$ .	if $f(x) = 2x$ , dan $g(x) = x + 3$ , sehingga $(f \circ g)(x) = 2(x + 3)$
	tersusun atas		
N	bilangan natural	N berarti himpunan $\{0, 1, 2, 3, \dots\}$ , tetapi perhatikan konsep bilangan natural untuk konvensi yang berbeda	$\{ a  : a \in \mathbb{Z}\} = \mathbb{N}$
	N		
Z	bilangan integer	Z berarti $\{\dots, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, \dots\}$ .	$\{a :  a  \in \mathbb{N}\} = \mathbb{Z}$
	Z		
Q	bilangan rasional	Q berarti $\{p/q : p, q \in \mathbb{Z}, q \neq 0\}$	$3.14 \in \mathbb{Q}$ $\pi \notin \mathbb{Q}$
	Q		
R	bilangan real	R berarti $\{\lim_{n \rightarrow \infty} a_n : \forall n \in \mathbb{N} : a_n \in \mathbb{Q}, \text{ batasan yang ada}\}$ .	$\pi \in \mathbb{R}$ $\sqrt{-1} \notin \mathbb{R}$
	R		
C	bilangan kompleks	C bilangan kompleks $\{a + bi : a, b \in \mathbb{R}\}$ .	$i = \sqrt{-1} \in \mathbb{C}$
	C		

Simbol	Kategori	Penjelasan	Contoh
$\infty$	bilangan tak terhingga	$\infty$ adalah elemen dari garis bilangan yang dikembangkan yang lebih besar dari semua bilangan real	$\lim_{x \rightarrow 0} 1/ x  = \infty$
	infinity		
$\pi$	geometri euclidean	$\pi$ berarti perbandingan (rasio) antara keliling lingkaran dengan diameternya.	$A = \pi r^2$ adalah luas lingkaran dengan jari-jari (radius) $r$
	pi		
	aljabar linier	$\ x\ $ adalah panjang dari anggota $x$ dari sebuah vektor	$\ x+y\  \leq \ x\  + \ y\ $
	panjang dari vektor		
$\Sigma$	aritmatika	$\sum_{k=1}^n a_k$ berarti $a_1 + a_2 + \dots + a_n$ .	$\sum_{k=1}^4 k^2 = 1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2 = 1 + 4 + 9 + 16 = 30$
	jumlah ... dari... ke .		
$\Pi$	aritmatika	$\prod_{k=1}^n a_k$ berarti $a_1 a_2 \dots a_n$ .	$\prod_{k=1}^4 (k+2) = (1+2)(2+2)(3+2)(4+2) = 3 \times 4 \times 5 \times 6 = 360$
	produk dari ... ke ...		
	teori himpunan	$\prod_{i=0}^n Y_i$ berarti himpunan dari semua $(n+1)$ - $(Y_0, \dots, Y_n)$ .	$\prod_{n=1}^3 R = R^n$
	produk Cartesian		
$'$	kalkulus	$f'(x)$ turunan dari fungsi $f$ pada titik $x$ , misalnya kemiringan dari suatu nilai tangen.	If $f(x) = x^2$ , sehingga $f'(x) = 2x$
	turunan dari		

Simbol	Kategori	Penjelasan	Contoh
$\int$	kalkulus	$\int f(x) dx$ berarti sebuah fungsi yang turunannya adalah $f$ .	$\int x^2 dx = x^3/3 + C$
	integral tanpa batasan		
$\int$	kalkulus	$\int_a^b f(x) dx$ berarti suatu daerah bertanda pada sumbu $x$ dan merupakan grafis dari fungsi $f$ antara $x = a$ dan $x = b$ .	$\int_0^b x^2 dx = b^3/3;$
	integral dengan batasan antara ....dan....		
$\nabla$	kalkulus	$\nabla f(x_1, \dots, x_n)$ adalah vektor turunan parsial ( $df / dx_1, \dots, df / dx_n$ ).	If $f(x,y,z) = 3xy + z^2$ maka $\nabla f = (3y, 3x, 2z)$
	del, nabla, gradien dari		
$\partial$	kalkulus	dengan $f(x_1, \dots, x_n)$ , $\partial f / \partial x_i$ turunan dari fungsi $f$ yang meliputi $x_i$ dengan semua variabel yang terjaga konstan	If $f(x,y) = x^2y$ , maka $\partial f / \partial x = 2xy$
	Turunan parsial		
	topologi	$\partial M$ berarti batas dari $M$	$\partial \{x : \ x\  \leq 2\} = \{x : \ x\  = 2\}$
batas dari			
$\perp$	geometri	$x \perp y$ berarti $x$ tegak lurus terhadap $y$	jika $l \perp m$ dan $m \perp n$ maka $l \parallel n$ .
	tegak lurus terhadap		
	teori kisi	$x = \perp$ berarti $x$ adalah anggota bernilai paling rendah	$\forall x : x \wedge \perp = \perp$

Simbol	Kategori	Penjelasan	Contoh
=	teori model	A ⊆ B berarti kalimat A mencakup kalimat B, yaitu setiap model di mana A benar, B juga benar	A ⊆ A ∨ ¬A
	mencakup		
-	logika proporsional, logika predikat	x ⊢ y berarti y berasal dari x.	A → B ⊢ ¬B → ¬A
	menyimpulkan atau berasal dari		
△	teori kelompok	N ◁ G berarti N adalah anggota kelompok normal grup G	Z(G) ◁ G
	anggota normal		
/	teori kelompok	G/H berarti hasil bagi dari grup G modulo subkelompoknya H	{0, a, 2a, b, b+a, b+2a} / {0, b} = {{0, b}, {a, b+a}, {2a, b+2a}}
	mod		
≈	teori kelompok	G ≈ H berarti kelompok G adalah isomorfik kelompok H	Q / {1, -1} ≈ V, di mana Q adalah kelompok angka empat dan V adalah kelompok empat Klein.
	isomorfik		

# BAB I

## MENGAPA BELAJAR PEMODELAN GEOSTATISTIK?

### Capaian Pembelajaran :

Mahasiswa dapat memahami definisi dan ruang lingkup geostatistik serta keterbatasan daripada pembelajaran geostatistik.

### Deskripsi:

Dalam bab ini mahasiswa akan diajak untuk memahami pengertian geostatistik dan perbedaannya dengan statistik klasik, ruang lingkup geostatistik serta keterbatasannya.

### A. Pentingnya Mempelajari Pemodelan Geostatistik

Statistik klasik umumnya ditujukan untuk analisis dan interpretasi ketidakpastian yang disebabkan oleh pengambilan sampel yang terbatas dari properti yang diteliti. Namun menyimpang dari statistik klasik, pada geostatistik tidak ada ikatan dengan model distribusi populasi yang diasumsikan, misalnya, semua sampel dari suatu populasi secara normal terdistribusi serta independen satu sama lain, melainkan sebagian besar data ilmu kebumihan (misalnya, sifat fisik batuan atau konsentrasi kontaminan) sering tidak memenuhi asumsi tersebut karena distribusinya dapat sangat pencong (*highly skewed*) dan/atau memiliki korelasi spasial (yaitu, nilai data dari lokasi yang berdekatan cenderung bermiripan dibandingkan nilai data dari lokasi yang berjauhan). Bagi kebanyakan ahli geologi, fakta bahwa sampel dengan jarak dekat cenderung serupa tidak mengherankan karena sampel tersebut bisa jadi dipengaruhi oleh proses transportasi atau pengendapan fisik dan kimia yang serupa.



Bila dibandingkan dengan statistik klasik yang bertujuan menguji distribusi statistik dari sekumpulan data sampel, maka geostatistik menggabungkan distribusi statistik dari data sampel dan korelasi spasial di antara data sampel. Karena perbedaan ini, banyak masalah ilmu kebumiharian lebih efektif ditangani dengan menggunakan metode geostatistik. Sebagaimana dinyatakan oleh Marc Cromer (dalam *Geostatistics for Environmental and Geotechnical Applications*, 1996, ASTM International, diedit oleh Rouhani et al.) bahwa metode geostatistik menyediakan perangkat untuk menangkap, melalui pemeriksaan yang ketat, informasi deskriptif tentang fenomena dari kerapatan data, seringkali data yang bias, sebab seringkali data sampel mahal biayanya. Pemeriksaan lanjutan dan ketelitian kuantitatif dari prosedur, menyediakan wahana untuk mengintegrasikan pemahaman kualitatif dan kuantitatif, dengan membiarkan data berbicara sendiri. Akibatnya, proses akan menghasilkan interpretasi yang dianggap paling masuk akal, lalu disertai dengan pemeriksaan dari data dalam menanggapi interpretasi yang tidak sesuai. Penerapan geostatistik untuk masalah lingkungan (pembersihan kontaminan air tanah) juga telah membuktikan alat integrasi yang kuat, yang memungkinkan koordinasi kegiatan mulai dari akuisisi data lapangan hingga desain untuk analisis. Misalnya, pengumpulan data sering tidak lengkap, yang mengakibatkan ketidakpastian dalam memahami masalah dan meningkatkan risiko kegagalan. Walaupun ketidakpastian ini seringkali dapat dikurangi dengan pengambilan sampel tambahan, manfaatnya harus diseimbangkan dengan meningkatnya biaya. Dengan demikian, geostatistik menawarkan cara untuk mengukur ketidakpastian, sambil memanfaatkan data yang ada untuk mendukung optimalisasi pengambilan sampel.

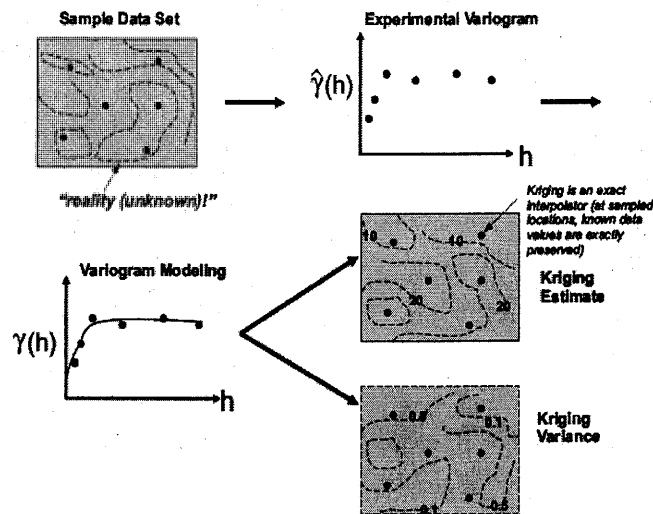
Geostatistik adalah kumpulan teknik numerik untuk karakterisasi atribut spasial terutama menggunakan dua perangkat yakni model

probabilistik dan sifat khas data spasial. Model probabilistik yang digunakan untuk data spasial dengan cara mirip dengan analisis deret waktu yang mencirikan data serta teknik pengenalan pola. Model probabilistik digunakan sebagai cara untuk menangani ketidakpastian pada jarak yang cukup jauh dari lokasi pengambilan sampel, yang merupakan perubahan radikal dari pendekatan alternatif seperti metode estimasi jarak terbalik. Kemudian, yang kedua, menggunakan sifat khas dari data spasial yaitu ketidakbebasan dan keheterogenan. Ketidakbebasan diakibatkan adanya perhitungan galat pengamatan dan hasil yang diteliti dalam satu titik ditentukan oleh titik yang lainnya dalam sistem dan keheterogenan disebabkan adanya perbedaan wilayah. Jadi, definisi dari **geostatistik adalah suatu metode statistik yang dipakai untuk mengamati relasi antarvariabel yang diukur pada titik tertentu dengan variabel yang sama diukur pada titik dengan jarak tertentu dari titik pertama (data spasial) dan dipakai untuk mengestimasi parameter di tempat yang tidak diketahui datanya** (Oliver dan Carol, 2005).

Sebagai suatu disiplin ilmu, geostatistik dikembangkan secara intens pada tahun 1960-an oleh seorang insinyur asal Prancis bernama Georges Matheron, yang tertarik pada penilaian cadangan bijih dalam pertambangan. Geostatistik tidak berkembang seketika. Seperti disiplin ilmu yang lain, geostatistik terus dibangun berdasarkan hasil perkembangan sebelumnya, banyak yang dirumuskan dengan tujuan berbeda di berbagai bidang. Ide-ide yang secara konseptual terkait dengan apa yang sekarang kita sebut geostatistik atau statistik spasial ditemukan dalam karya beberapa perintis, seperti A.N. Kolmogorov dalam *turbulent flow* dan N. Wiener dalam pemrosesan *stochastic* (tahun 1940-an); D. Krige pada disiplin tambang (tahun 1950-an); serta B. Matheron pada disiplin kehutanan dan L.S. Gandin pada disiplin meteorologi.

**B. Prediksi Geostatistik**

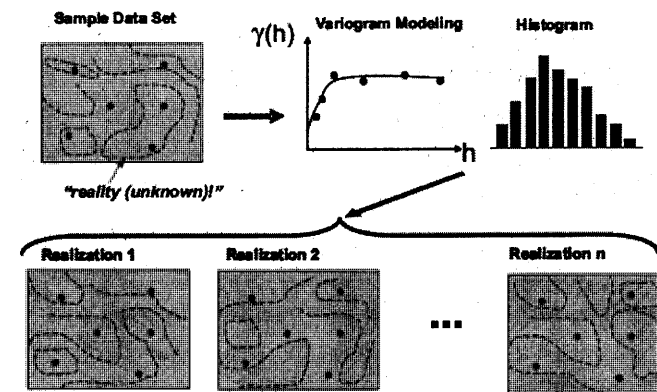
Tujuan geostatistik adalah untuk memprediksi kemungkinan distribusi spasial suatu sifat fisik tertentu. Prediksi semacam itu seringkali berbentuk peta atau serangkaian peta. Ada dua bentuk dasar prediksi: estimasi (Gambar 1) dan simulasi (Gambar 2). Dalam estimasi, dihasilkan suatu perkiraan (peta) statistik tunggal dari kejadian spasial. Estimasi didasarkan pada data sampel dan dari model (variogram) yang ditentukan sebagai yang paling akurat mewakili korelasi spasial dari data sampel. Perkiraan atas model tunggal ini biasanya diperoleh dengan teknik *kriging*. Sementara, pada simulasi ditunjukkan dengan banyak model dengan beberapa kemungkinan (kadang-kadang disebut "gambar") dari distribusi properti yang diperoleh dengan menggunakan model korelasi spasial seperti yang dilakukan untuk *kriging*. Perbedaannya adalah adanya alternatif yang memungkinkan ukuran kuantifikasi ketidakpastian, suatu opsi yang tidak tersedia pada estimasi secara geostatistik.



**Gambar 1** Alur kerja estimasi geostatistik (Zhang, 2011)

Jika kita tengok pada prediksi geostatistik estimasi (Gambar 1), maka prediksi bobot sangat ditentukan oleh hasil pemodelan variogram, yang pada akhir estimasi ditunjukkan oleh nilai dari *variance* sebagai indikator dari sebaran data terhadap suatu nilai rata-rata (*mean*). Tampak bahwa jika nilai *variance* tinggi maka data hasil prediksi mempunyai selisih yang lebih besar daripada nilai *variance* yang rendah. Dari penjelasan ini dapat dipahami bahwa akurasi dari suatu prediksi estimasi sangat ditentukan oleh banyaknya sampel. Kurangnya data sampel akan berakibat pada ambiguitas yang terjadi pada saat pemodelan.

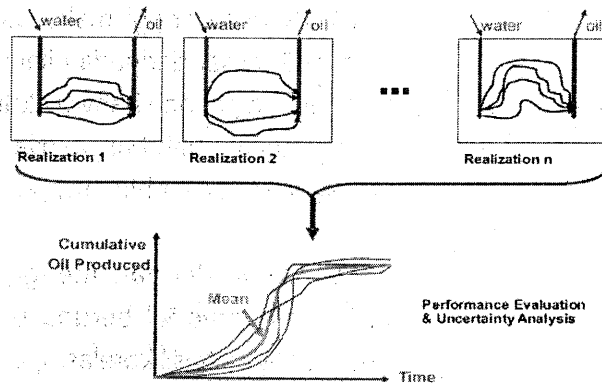
Berikutnya, prediksi geostatistik dengan menggunakan prediksi simulasi yang tidak bersifat tunggal berupa beberapa realisasi (Gambar 2). Hal ini terkait dengan hasil korelasi spasial yang memungkinkan adanya beberapa skenario, dimana masing-masing realisasi memberikan ukuran secara kuantitatif nilai korelasinya, sehingga kita bisa menilai skenario mana yang paling mendekati.



**Gambar 2** Alur kerja simulasi geostatistik (Zhang, 2011)

Geostatistik memainkan peran yang semakin meningkat baik dalam bidang hidrologi atau karakterisasi reservoir hidrokarbon,

terutama didorong oleh kenyataan bahwa heterogenitas dalam sifat-sifat petrofisika (misalnya permeabilitas dan porositas) yang mendominasi aliran fluida, transportasi zat terlarut, dan migrasi multifase di bawah permukaan.



**Gambar 3** Alur kerja berdasarkan realisasi yang dihasilkan oleh simulasi geostatistik (Zhang, 2011)

Selanjutnya dengan geostatistik yang mengubah sekumpulan data lapangan yang jarang (kurang rapat) menjadi peta spasial (estimasi *kriging*), geostatistik menawarkan cara untuk menciptakan kembali heterogenitas yang dimasukkan ke dalam aliran numerik dan pemodelan. Di sisi lain, dengan mengubah sekumpulan data yang jarang menjadi peta spasial (simulasi tanpa syarat/bersyarat), menawarkan cara untuk mengevaluasi ketidakpastian pemodelan karena sifat yang tidak pasti dari masing-masing peta (Gambar 3). Baik dalam simulasi reservoir dan pemodelan air tanah, misalnya, simulasi Monte Carlo adalah teknik yang populer. Perhatikan bahwa ketidakpastian ini mencerminkan kurangnya pengetahuan kita tentang keadaan bawah permukaan meskipun "medan kebenaran" geologis tidak diketahui atau bersifat deterministik.

### C. Geostatistik versus Interpolasi

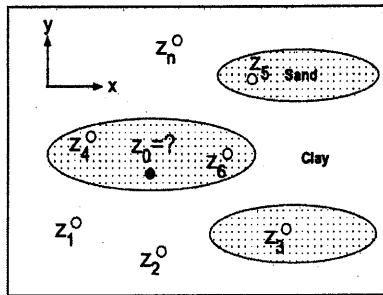
Dalam estimasi geostatistik, kita hendak memperkirakan sifat fisik di lokasi yang tidak dicuplik datanya, berdasarkan karakteristik korelasi spasial dari nilai sifat fisik di lokasi sampel yang ada. Tetapi, mengapa kita tidak menggunakan interpolasi sederhana saja? Lalu bagaimanakah korelasi spasial dimasukkan dalam pendekatan geostatistik? Contoh sederhana di bawah dapat menggambarkan hal ini dengan lebih jelas (Gambar 4): kita tahu permeabilitas di  $n$  lokasi sampel, lalu kita hendak memperkirakan permeabilitas di lokasi yang tidak dicuplik,  $z_0$ . Maka dengan menggunakan metode kebalikan jarak, nilai yang tidak diketahui dapat dievaluasi sebagai berikut:

$$z_0 = \sum_{i=1}^n w_i z_i \tag{1.1}$$

$$w_i = \frac{1/d_i}{\sum_{i=1}^n (1/d_i)} \tag{1.2}$$

Dalam hal ini adalah nilai yang diprediksi yang merupakan penjumlahan perkalian nilai yang diketahui di sekitar nilai yang diprediksi dikalikan dengan bobot masing-masing, dimana bobot masing-masing ( $w_i$ ) merupakan kebalikan daripada jarak ( $d$ ) secara proporsional, sehingga semakin jauh jaraknya maka nilai bobotnya semakin rendah demikian sebaliknya jika jaraknya semakin dekat, maka bobot akan semakin tinggi. Prediksi pembobotan seperti ini masih bisa dianggap lebih bertanggungjawab daripada pembobotan dengan interpolasi nilai variabel  $z_i$  berdasarkan suatu nilai antara dari nilai-nilai yang diketahui seperti yang lazim dilakukan dengan operasi pengkonturan. Namun, pada dasarnya baik metode ini maupun metode pengkonturan telah mencampur-adukkan antara variabel bebas berupa koordinat spasial dengan variabel terikat berupa sifat

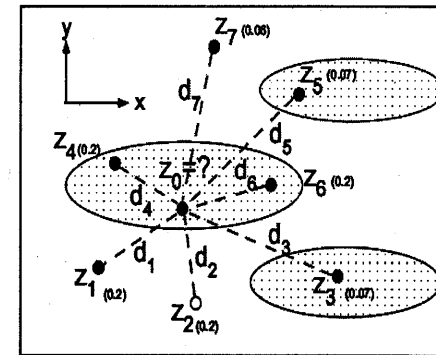
fisik suatu materi atau batuan. Penyebaran sifat fisik batuan bisa jadi dikontrol oleh adanya suatu jarak, namun hal tersebut tidak secara serta merta, sebab dipengaruhi oleh banyak sebab lain, sehingga perubahannya pun tidak bisa dikatakan linier dengan perubahan jarak. Perubahan tersebut bersifat non-linier dengan gradien yang berubah-ubah pada perubahan secara spasial.



**Gambar 4** Estimasi permeabilitas yang tidak diketahui  $Z_0$  berdasarkan pada serangkaian nilai permeabilitas yang diketahui pada  $n$  lokasi (Zhang, 2011)

Sebagai contohnya seperti tampak pada gambar di atas. Berdasarkan persamaan yang telah disebutkan di atas maka bobot yang diperoleh untuk titik 1,2,4,6 semuanya sama dengan 0,2 . Hal ini terjadi karena jaraknya masing-masing ke  $z_0$  sama. Namun, dari pemahaman geologi, kita menyadari bahwa permeabilitas dalam tubuh batupasir yang memanjang akan menyerupai arah lateral. Dengan demikian, titik 4 dan 6 harus diberi bobot lebih tinggi daripada titik 1 dan 2. Ini jelas bukan kasus yang menggunakan kebalikan jarak. Dengan demikian, dalam metode interpolasi konvensional (misal kebalikan jarak terbalik, kuadrat kebalikan jarak), informasi tentang korelasi spasial tidak dimasukkan.

Kita dapat melihat dari persamaan di atas merupakan penaksir linier, yaitu,  $z_0$  adalah jumlah nilai terbobot dari  $n$  nilai yang diketahui. Setiap bobot ( $w_i$ ) ditetapkan pada  $z_i$ , yang diketahui ditentukan oleh jarak titik data yang diketahui ke titik data yang tidak diketahui. Untuk  $n = 7$ , misalnya, bobot dapat dihitung dengan mudah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Tampak pula distribusi nilai-nilai berdasarkan hubungan yang linier antara nilai properti fisik dengan koordinat spasial. Hal ini yang menimbulkan kerancuan saat kita menggunakan metode interpolasi yang tanpa memperhitungkan korelasi secara spasial. Sebagaimana yang telah dikemukakan di atas, pada setiap perubahan sifat fisik secara spasial belum tentu sama dengan nilai jaraknya. Hal ini yang menjadi permasalahan utama saat lahirnya ilmu geostatistik.



**Gambar 5** Estimasi  $Z_0$  yang tidak diketahui yang diberikan oleh 7 nilai yang diketahui. Angka dalam kurung adalah bobot yang ditetapkan ke nilai yang diketahui berdasarkan jarak terbalik (Zhang, 2011)

Sementara itu pada estimasi geostatistik didorong untuk mempertimbangkan korelasi sifat fisik secara spasial. Secara umum, estimasi geostatistik terdiri dari 3 langkah: (1) memeriksa kesamaan antara satu set titik sampel data (diketahui) melalui analisis variogram

eksperimental; (2) menyesuaikan fungsi matematika yang diizinkan dengan variogram eksperimental; (3) melakukan interpolasi *kriging* berdasarkan fungsi ini. Dalam contoh di atas, korelasi spasial akan terungkap oleh nilai-nilai  $z_4$  dan  $z_6$  yang lebih mirip (langkah (1)). Ini akan dimodelkan melalui langkah (2) (pemodelan variogram). Kemudian, dengan menggunakan *kriging*, kita akan menemukan bahwa bobot yang ditetapkan untuk poin 4 dan 6 akan meningkat (bobot 1 dan 2 akan berkurang karena bobot total harus berjumlah 1,0) (langkah (3)). Dalam *kriging*, berdasarkan pada bobot baru, estimasi linear yang terbaik dan tidak bias dari  $z_0$  akan diperoleh. Lebih lanjut (meskipun kadang-kadang opsional tergantung pada tujuan penelitian), ketidakpastian dalam bidang yang diperkirakan juga dievaluasi.

#### D. Keterbatasan

Menariknya, geostatistik memodelkan objek matematika, bukan objek geologis. Sebagai contoh, diberikan satu set pengukuran spasial dari nilai *isopach*, seorang geolog dapat membuat berbagai peta kontur berdasarkan pemahamannya tentang geologi yang mendasarinya. Proses ini digambarkan sebagai pengenalan pola dari seorang ahli geologi yang memiliki ide geologi yang mendasarinya saat melakukan interpretasi. Geostatistik, bagaimanapun, tidak mengenali pola, melainkan didasarkan pada seperangkat prinsip matematika.

Seperti yang dinyatakan oleh Journel (1989), geostatistik adalah seni, dan dengan demikian, tidak sepenuhnya dapat diotomatisasikan atau tidak sepenuhnya objektif. Dalam percobaan yang dilakukan oleh US EPA, 12 ahli geostatistik independen diberikan dataset yang sama dan diminta untuk melakukan *kriging* yang sama. Dua belas hasilnya sangat berbeda karena kesimpulan analisis data

yang sangat berbeda, model variogram, pilihan jenis *kriging*, dan strategi pencarian. Sebagaimana ditekankan oleh Journel, bahwa tidak ada algoritma universal yang diterima, untuk menentukan model variogram/kovarian, bahwa (1) validasi silang pun tidak menjamin bahwa prosedur estimasi akan menghasilkan estimasi yang terbaik di lokasi yang tidak dicuplik; (2) *kriging* tidak harus menjadi metode estimasi yang paling tepat; (3) keputusan paling bertanggungjawab dari setiap studi geostatistik perlu dibuat dari awal dalam analisis data eksplorasi.

#### RANGKUMAN

1. Geostatistik adalah suatu metode statistik yang dipakai untuk mengamati relasi antarvariabel yang diukur pada titik tertentu dengan variabel yang sama diukur pada titik dengan jarak tertentu dari titik pertama (data spasial) dan dipakai untuk mengestimasi parameter di tempat yang tidak diketahui datanya (Oliver dan Carol, 2005).
2. Ada dua bentuk dasar prediksi geostatistik yakni estimasi dan simulasi.
3. Dalam estimasi, dihasilkan suatu perkiraan (peta) statistik tunggal dari kejadian spasial. Estimasi didasarkan pada data sampel dan pada model (variogram) yang ditentukan sebagai yang paling akurat mewakili korelasi spasial dari data sampel. Perkiraan atau peta tunggal ini biasanya diproduksi dengan teknik *kriging*.
4. Dalam simulasi, banyak peta dengan kemungkinan yang sama (kadang-kadang disebut "gambar") dari distribusi properti diproduksi, menggunakan model korelasi spasial yang sama seperti yang diperlukan untuk *kriging*.

### UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN

1. Apakah beda antara statistik klasik dan geostatistik?
2. Kenapa penyelesaian metode geostatistik bisa dianggap sama dengan penyelesaian deret waktu?
3. Apa yang beda mendasar antara prediksi estimasi dan simulasi?
4. Apa beda antara *deterministic* dan *stochastic*?

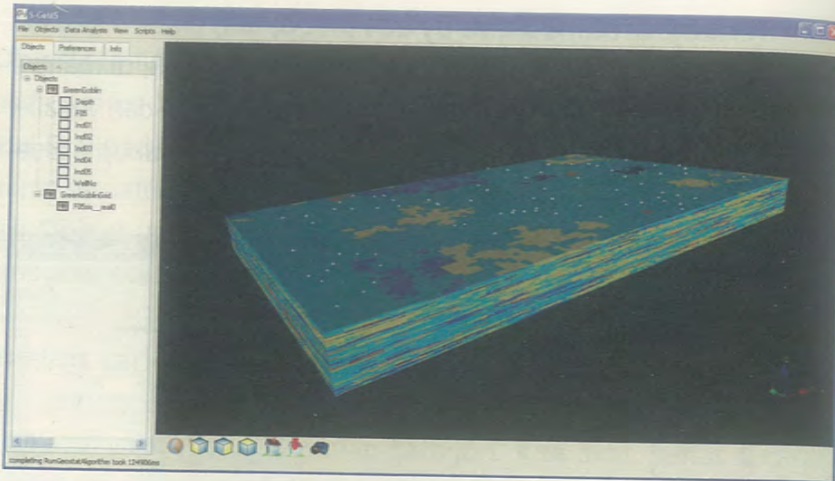
### BAHAN DISKUSI

Diskusikan dalam kelompok kondisi geologi yang bagaimana yang mengakibatkan ketidakpastian sebagaimana yang disebutkan di dalam pemodelan geostatistik.

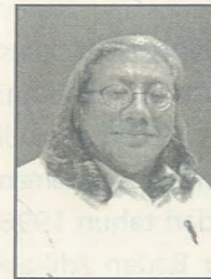
### PUSTAKA

- Caers, J., 2005, Petroleum Geostatistics: Richardson, Tex., Society of Petroleum Engineers
- Chilès, J. P. and Delfiner, P., 1999, Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty: New York, Wiley-Interscience
- Clayton, 2002, Geostatistical Reservoir, Oxford University Press
- Cromer, M.V., 1996, Geostatistics for Environmental and Geotechnical Application: a Technology Transferred, in Rouhani et al.
- Goovaerts, P., 1997, Geostatistics for Natural Resources Evaluation: New York, Oxford University Press
- Isaaks E.H., and Srivastava, R.M, 1989, An Introduction to Applied Geostatistics, Oxford University Press
- Journel, A.G., 1989, Fundamentals of Geostatistics in Five Lessons, Short Course Presented at the 28th International Geological Congress Washington, D.C., American Geophysical Union, Washington, D.C

- Kitanidis, P., 1997, Introduction to Geostatistics, Application in Hydrogeology, Cambridge University Press
- Olea, R.A., 2009, A Practical Primer n Gestatistics, U.S. Geological Survey, Open-File Report 2009-1103
- Oliver, S., and Carol, A.G., 2005, Statistical Methods for Spatial Data Analysis, Chapman & Hall/CRC, Boca Rotan
- Zhang, Y., 2011, Introduction to Geostatistics: Course Notes, University of Wyoming



## BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Imam Setiaji Ronoatmojo, M.T lahir di Cilacap, 1 Juli 1960. Meraih gelar Doktor dari Institut Teknologi Bandung pada tahun 2011 dengan disertasi "*Estimasi Tetapan Anisotropi Medium Isotrop Transversal Tegak dari Difraksi Gelombang Seismik-P dengan Pendekatan Polinomial Orde-3*", mempunyai kebaruan berupa penurunan persamaan anisotropi dari fungsi difraksi, sebelumnya berupa penurunan persamaan dari fungsi refleksi. Beliau juga aktif sebagai instruktur di bidang Desain Parameter Seismik 3-D dan Geomekanika. Selama hampir 3 dekade mengabdikan diri pada sebuah perusahaan jasa minyak PT. Elnusa Tbk dengan jabatan akhir sebagai *Principal of Elnusa Petroleum School*. Setelah pensiun dari PT. Elnusa Tbk pada tahun 2015, penulis menjadi tenaga pengajar tetap di Universitas Trisakti dengan mata kuliah Geofisika Hidrokarbon, Pemodelan Geostatistik dan Mekanika Batuan. Disamping itu sebagai pengajar tidak tetap pada Program Magister F-MIPA Universitas Indonesia pada mata kuliah Seismologi Eksplorasi dan Geofisika Instrumentasi. Karya lain berupa Buku Ajar Mekanika Batuan dan penemuan metode baru berupa penurunan persamaan tetapan anisotropi berdasarkan fungsi difraksi Gelombang Seismik-P serta memperoleh Hak Cipta pada tahun 2019 HAKI No:EC0020191775, 29 Mei 2019.



Dr. Ir. Muhammad Burhannudinnur, M.Sc, lahir di Bantul, 10 Oktober 1967. Sarjana stata-1 Teknik Geologi ditempuh di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, Master Petroleum Geosxience diselesaikan Univeristi Brunei Darussalam, lulus program Doktor Geologi di Institut Teknologi Bandung. Riwayat pekerjaan: sejak 1992 mengabdikan sebagai dosen di Teknik Geologi Universitas Trisakti dengan pengalaman lain sebagai senior konsultan di Schlumberger dari tahun 1996 sampai 2002. Kini menjabat sebagai Direktur Badan Afiliasi Teknologi Mineral Usakti dan Direktur Lembaga Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Trisakti. Terlibat aktif dalam kegiatan industri dan masyarakat sebagai konsultan GGR kegiatan Migas, instruktur *fieldtrip*, pengajar kursus sejak 1996. Organisasi: Ketua Assosiasi Prodi Teknik Geologi Indonesia, Pengurus IAGI, anggota aktif AAPG, SEG dan EAGE.



Buku ajar ini dirancang sebagai referensi dasar mata kuliah Pemodelan Geostatistik pada Prodi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi, Universitas Trisakti. Sebagaimana diketahui, kini pemodelan berperan penting di dalam menjelaskan penyebaran sifat fisik batuan. Seluruh aspek kajian geologi tidak terlepas dari pemodelan secara 1D, 2D atau 3D bahkan pemodelan *time lapse* (4D). Kebutuhan akan pemodelan semakin meningkat seiring dengan perkembangan penelitian hubungan antara sifat fisik batuan. Kemajuan teknologi di bidang komputasi ikut mendorong perkembangan metode pemodelan. Kemampuan prosesor komputer mengolah volume data matriks semakin besar, semakin cepat dan semakin presisi.

Adapun materi yang tercakup dalam pembahasan, dimulai dari pemahaman dasar pemodelan geostatistik, sebaran data, probabilitas dan distribusi normal, analisis *univariate*, analisis *bivariate*, medan variabel spasial, model prediksi spasial mekanik, model prediksi spasial statistik, variogram dan *kriging*. Dalam pelaksanaannya kuliah ini juga menggunakan perangkat lunak S-GeMS, yakni suatu perangkat lunak *open source* dari *Stanford University*. Agar mahasiswa bisa mempraktikkan secara langsung, maka pada bagian akhir dari buku ini disertakan panduan singkat penggunaannya.

ISBN 978-602-0750-18-7



# pemodelan geostatistik

*by* Imam Ronoatmojo

---

**Submission date:** 20-Aug-2019 10:05AM (UTC+0700)

**Submission ID:** 1161607645

**File name:** BUKU\_AJAR\_\_Pemodelan\_Geostatistik1.pdf (2.44M)

**Word count:** 25313

**Character count:** 163450

**BUKU AJAR**  
**PEMODELAN GEOSTATISTIK**

Oleh :  
Dr.Ir. Imam Setiaji Ronoatmojo, MT



**18**  
**PRODI TEKNIK GEOLOGI**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI KEBUMIHAN DAN ENERGI**  
**UNIVERSITAS TRISAKTI**  
**2019**

## PRAKATA

Mata kuliah Pemodelan Geostatistik merupakan mata kuliah wajib pada Prodi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi, Universitas Trisakti. Sebagaimana kita tahu bahwa pemodelan merupakan suatu metode yang berperan penting di dalam menjelaskan bagaimana penyebaran dari suatu sifat fisik batuan, seluruh aspek kajian geologi kini tidak terlepas dari pemodelan secara 1D, 2D atau 3D bahkan kini pemodelan secara time lapse (4D). Kebutuhan akan pemodelan semakin meningkat seiring dengan perkembangan penelitian hubungan antara sifat fisik batuan. Maka perkembangan metode pemodelan berkembang secara cepat dengan didukung oleh perkembangan teknologi di bidang komputasi. Kemampuan prosesor komputer mengolah data matriks dalam volume semakin besar dan semakin cepat mengubah tingkat presisi model lebih baik.

Adapun materi yang tercakup dalam pembahasan, dimulai dari pemahaman dasar pemodelan geostatistik, sebaran data, probabilitas dan distribusi normal, analisis univariate, analisis bivariate, medan variabel spasial, model prediksi spasial mekanik, model prediksi spasial statistik, variogram dan kriging. Dalam pelaksanaannya kuliah ini juga menggunakan perangkat lunak S-GeMS, suatu perangkat lunak *open source* dari Stanford University, agar mahasiswa bisa mempraktekan secara langsung baik dengan menggunakan data tutorial maupun data sendiri. Untuk itu pada bagian akhir dari buku ini disertakan panduan singkat penggunaannya.

Jakarta, 3 November 2018

Dr.Ir. Imam Setiaji Ronoatmojo, MT

## DAFTAR ISI

PRAKATA.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR DAN SUMBERNYA.....	v
DAFTAR TABEL.....	vi
BAB I.....	1
MENGAPA BELAJAR PEMODELAN GEOSTATISTIK?.....	1
A. Pentingnya Mempelajari Pemodelan Geostatistik.....	1
B. Prediksi Geostatistik.....	2
C. Geostatistik versus Interpolasi.....	4
D. Keterbatasan.....	6
RANGKUMAN.....	7
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN.....	7
BAHAN DISKUSI.....	7
BAB II.....	8
SEBARAN DATA.....	8
A. Pengertian Data.....	8
B. Pembuatan Histogram.....	9
C. Evaluasi Histogram.....	13
RANGKUMAN.....	15
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN.....	15
BAHAN DISKUSI.....	15
BAB III.....	16
DISTRIBUSI NORMAL.....	16
A. Motivasi.....	16
B. Distribusi Normal Standar.....	18
C. Perkiraan normal terhadap binomial.....	20
RANGKUMAN.....	22
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN.....	22
BAHAN DISKUSI.....	22
BAB IV.....	23
ANALISIS UNIVARIATE.....	23
A. Nomenlatur dan Notasi.....	23
B. Variabel Acak Univariate.....	24
RANGKUMAN.....	28
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN.....	28
BAHAN DISKUSI.....	28
BAB V.....	29
ANALISIS BIVARIATE.....	29
A. Variabel Acak Bivariate.....	29
B. Aritmatika Bivariate.....	31
RANGKUMAN.....	32
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN.....	32
BAHAN DISKUSI.....	32
BAB VI.....	33
MEDAN VARIABEL SPASIAL.....	33
A. Variabel Lingkungan.....	33
B. Aspek-aspek Keragaman Variabel.....	35
C. Model Prediksi Spasial.....	40
RANGKUMAN.....	43
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN.....	43
BAHAN DISKUSI.....	43
BAB VII.....	44
MODEL PREDIKSI SPASIAL MEKANIK.....	44
A. Interpolasi Jarak Terbalik.....	44
B. Regresi Koordinat.....	45
C. Spline.....	46
RANGKUMAN.....	47
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN.....	47

BAHAN DISKUSI .....	48
BAB VIII .....	49
MODEL PREDIKSI SPASIAL STATISTIK .....	49
A. Kriging .....	49
B. Korelasi Lingkungan .....	56
C. Prediksi dari Peta Poligon .....	60
D. Model Hybrid .....	61
RANGKUMAN .....	62
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN .....	62
BAHAN DISKUSI .....	63
BAB IX .....	64
VARIOGRAM .....	64
A. Properti Matematika .....	64
B. Regularisasi dan Efek Nugget .....	67
C. Model Variogram .....	68
D. Contoh Kasus .....	70
RANGKUMAN .....	74
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN .....	74
BAHAN DISKUSI .....	75
BAB X .....	77
KRIGING .....	77
A. Definisi .....	77
B. Notasi .....	79
C. <i>Kriging</i> dengan <i>Mean</i> Diketahui .....	80
D. <i>Kriging</i> dengan <i>Mean</i> Tidak Diketahui .....	82
RANGKUMAN .....	84
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN .....	84
BAHAN DISKUSI .....	84
DAFTAR PUSTAKA .....	85
PETUNJUK SINGKAT PENGGUNAAN PERANGKAT LUNAK S-GeMS .....	87

## DAFTAR GAMBAR DAN SUMBERNYA

Gambar 1 Alur kerja estimasi geostatistik (Zhang, 2011).....	3
Gambar 2 Alur kerja simulasi geostatistik (Zhang, 2011).....	3
Gambar 3 Alur kerja berdasarkan realisasi yang dihasilkan oleh simulasi geostatistik (Zhang, 2011).....	4
Gambar 4 Estimasi permeabilitas yang tidak diketahui $Z_0$ berdasarkan pada serangkaian nilai permeabilitas yang diketahui pada $n$ lokasi (Zhang, 2011).....	5
Gambar 5 Estimasi $Z_0$ yang tidak diketahui diberikan oleh 7 nilai yang diketahui. Angka dalam kurung adalah bobot yang ditetapkan ke nilai yang diketahui berdasarkan jarak terbalik (Zhang, 2011).....	6
Gambar 6 Histogram .....	12
Gambar 7 Pola umum histogram .....	13
Gambar 8 Kurva distribusi normal .....	16
Gambar 9 Probabilitas nilai dalam kawasan distribusi normal .....	18
Gambar 10 Probabilitas nilai $Pz \geq a$ .....	19
Gambar 11 Probabilitas nilai $Pa \leq z \leq b$ .....	19
Gambar 12 Hubungan antara distribusi binomial dan perkiraan distribusi normal .....	21
Gambar 13 Distribusi diskrit (Zhang, 2011) .....	24
Gambar 14 Distribusi kontinu (Zhang, 2011) .....	26
Gambar 15 Contoh korelasi positif: plot sebaran tinggi dan berat untuk kelas sekolah menengah pertama (Zhang, 2011).....	29
Gambar 16 Contoh pencuplikan variabel secara teratur di seluruh area yang diminati (setiap <i>grid node</i> ) (Hengl, 2009).....	36
Gambar 17 Prediksi spasial adalah proses memperkirakan nilai properti (kuantitatif) di lokasi yang tidak dikunjungi dalam area yang dicakup oleh pengamatan yang ada: (a) skema dalam ruang horizontal, (b) nilai beberapa variabel target dalam satu dimensi ruang (Hengl, 2009).....	41
Gambar 18 Prediksi spasial menyiratkan aplikasi prediksi algoritma ke jaringan <i>node array</i> (prediksi titik spasial). Hasilnya kemudian ditampilkan menggunakan peta raster (Hengl, 2009) .	41
Gambar 19 Langkah-langkah pemodelan variogram: (a) lokasi pengambilan sampel (155) dan nilai yang diukur dari variabel target, (b)awan variogram yang memperlihatkan semivarian untuk semua pasangan (variabel <i>log-transformed</i> ), (c) semivarian yang digabungkan dengan <i>lag</i> sekitar 100 m, dan (d) model variogram akhir dipasang menggunakan pengaturan <i>default</i> di <i>gstat</i> (Hengl, 2009) .....	51
Gambar 20 Beberapa konsep dasar tentang variograms: (a) perbedaan antara semivarian dan kovarian; (B) dalam geostatistik penting untuk membedakan antara variasi <i>sill</i> ( $C_0 + C_1$ ) dan parameter <i>sill</i> ( $C_1$ ) dan antara parameter <i>range</i> ( $R$ ) dan <i>range</i> praktis; (c) variogram yang tidak menunjukkan korelasi spasial dapat ditentukan oleh parameter tunggal ( $C_0$ ); (D) variogram tak terbatas (Hengl, 2009).....	52
Gambar 21 Rentang elips untuk model anisotropik (Hengl, 2009) .....	54
Gambar 22 Variogram pada masing-masing orientasi anisotropik (Hengl, 2009) .....	54
Gambar 23 Model variogram dengan <i>unit sill</i> dan parameter skala-1: (a) <i>spherical</i> ; (B) <i>cubic</i> ; (c) <i>exponential</i> ; (d) <i>Gaussian</i> ; (e) <i>generalized Cauchy</i> (Chiles and Delfiner, 1999).....	70
Gambar 24 Nilai properti pada kasus 1D .....	71
Gambar 25 Nilai properti pada kasus 2D .....	72
Gambar 26 Nilai properti pada kasus 2D dengan pola <i>non-gridding</i> .....	73

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Data pengukuran ketebalan lapisan (meter) yang diukur pada setiap lokasi satu pengukuran .....	10
Tabel 2 Penentuan jumlah klas interval untuk pembuatan histogram .....	10
Tabel 3 Penentuan interval dan masing-masing nilai tengah pada kasus di atas .....	11
Tabel 4 Penentuan frekwensi atau jumlah populasi dalam interval .....	12
Tabel 5 Distribusi nilai mahasiswa untuk penghitungan probabilitas .....	25
Tabel 6 Ketebalan akuifer (m) sepanjang jarak (m) secara grid .....	26
Tabel 7 Beberapa variabel lingkungan umum yang menarik bagi pengambilan keputusan dan sifat-sifatnya (Hengl, 2009) .....	34
Tabel 8 Koordinat pada kasus <i>non gridding</i> .....	73
Tabel 9 Penghitungan jarak Euclidean dan kuadrat beda nilai .....	74
Tabel 10 Bentuk utama dari <i>linear kriging</i> .....	78



## BAB I

### MENGAPA BELAJAR PEMODELAN GEOSTATISTIK?

#### Capaian Pembelajaran :

Mahasiswa dapat memahami definisi dan ruang lingkup geostatistik serta keterbatasan daripada pembelajaran geostatistik.

#### Deskripsi:

Dalam bab ini mahasiswa akan diajak untuk memahami pengertian geostatistik dan perbedaannya dengan statistik klasik, ruang lingkup geostatistik serta keterbatasannya.

#### A. Pentingnya Mempelajari Pemodelan Geostatistik

Statistik klasik umumnya dikhususkan untuk analisis dan interpretasi ketidakpastian yang disebabkan oleh pengambilan sampel terbatas dari properti yang diteliti. Namun menyimpang dari statistik klasik, pada geostatistik tidak ada ikatan dengan model distribusi populasi yang diasumsikan, misalnya, semua sampel dari suatu populasi secara normal didistribusikan dan independen satu sama lain. Sebagian besar data ilmu kebumihan (misalnya, sifat fisik batuan, konsentrasi kontaminan) sering tidak memenuhi asumsi ini karena distribusinya dapat sangat penceng (*highly skewed*) dan /atau memiliki korelasi spasial (yaitu, nilai data dari lokasi yang berdekatan cenderung bermiripan daripada nilai data dari lokasi yang berjauhan). Bagi kebanyakan ahli geologi, fakta bahwa sampel dengan jarak dekat cenderung serupa tidak mengherankan karena sampel tersebut bisa jadi dipengaruhi proses transportasi atau pengendapan fisik dan kimia yang serupa.

Bila dibandingkan dengan statistik klasik yang bertujuan menguji distribusi statistik dari sekumpulan data sampel, geostatistik menggabungkan distribusi statistik dari data sampel dan korelasi spasial di antara data sampel. Karena perbedaan ini, banyak masalah ilmu kebumihan lebih efektif ditangani dengan menggunakan metode geostatistik. Sebagaimana dinyatakan oleh Marc Cromer (dalam *Geostatistics for Environmental and Geotechnical Applications*, 1996, ASTM International, diedit oleh Rouhani et al.) bahwa metode geostatistik menyediakan perangkat untuk menangkap, melalui pemeriksaan yang ketat, informasi deskriptif tentang fenomena dari kerapatan data, seringkali data yang bias, sebab seringkali data sampel mahal biayanya. Pemeriksaan lanjutan dan ketelitian kuantitatif dari prosedur menyediakan wahana untuk mengintegrasikan pemahaman kualitatif dan kuantitatif dengan membiarkan data berbicara sendiri. Akibatnya, proses akan menghasilkan interpretasi yang paling masuk akal dengan pemeriksaan lanjutan dari data dalam menanggapi interpretasi yang tidak sesuai. Penerapan geostatistik untuk masalah lingkungan (misalnya, pembersihan

kontaminan air tanah) juga telah membuktikan alat integrasi yang kuat, yang memungkinkan koordinasi kegiatan mulai dari akuisisi data lapangan hingga desain untuk analisis. Misalnya, pengumpulan data sering tidak lengkap, yang mengakibatkan ketidakpastian dalam memahami masalah dan meningkatkan risiko kegagalan. Walaupun ketidakpastian ini seringkali dapat dikurangi dengan pengambilan sampel tambahan, manfaatnya harus diseimbangkan dengan meningkatnya biaya. Dengan demikian, geostatistik menawarkan cara untuk mengukur ketidakpastian, sambil memanfaatkan data yang ada untuk mendukung optimalisasi pengambilan sampel.

Geostatistik adalah kumpulan teknik numerik untuk karakterisasi atribut spasial terutama menggunakan 2 perangkat yakni model probabilistik yang digunakan untuk data spasial dengan cara mirip dengan analisis deret waktu yang mencirikan data serta teknik pengenalan pola. Model probabilistik digunakan sebagai cara untuk menangani ketidakpastian pada jarak yang cukup jauh dari lokasi pengambilan sampel, yang merupakan perubahan radikal dari pendekatan alternatif seperti metode estimasi jarak terbalik. Jadi, definisi dari **geostatistik adalah suatu metode statistik yang dipakai untuk mengamati relasi antar variabel yang diukur pada titik tertentu dengan variabel yang sama diukur pada titik dengan jarak tertentu dari titik pertama (data spasial) dan dipakai untuk mengestimasi parameter di tempat yang tidak diketahui datanya (Oliver dan Carol, 2005)**. Kemudian sifat khas dari data spasial yaitu ketidakbebasan dan keheterogenan. Ketidak-bebasan diakibatkan adanya perhitungan galat pengamatan dan hasil yang diteliti dalam satu titik ditentukan oleh titik yang lainnya dalam sistem dan keheterogenan disebabkan adanya perbedaan wilayah.

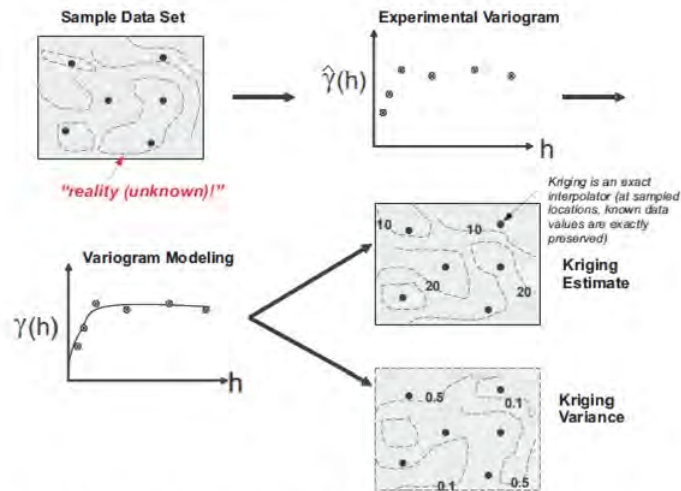
Sebagai suatu disiplin ilmu, geostatistik dikembangkan secara intens pada tahun 1960-an oleh seorang insinyur asal Prancis bernama Georges Matheron, yang tertarik pada penilaian cadangan bijih dalam pertambangan. Geostatistik tidak berkembang seketika. Seperti disiplin ilmu yang lain, geostatistik terus dibangun berdasarkan hasil perkembangan sebelumnya, banyak yang dirumuskan dengan tujuan berbeda di berbagai bidang. Ide-ide yang secara konseptual terkait dengan apa yang sekarang kita sebut geostatistik atau statistik spasial ditemukan dalam karya beberapa perintis, seperti A.N. Kolmogorov dalam *turbulent flow* dan N.Wiener dalam pemrosesan *stochastic* (tahun 1940-an); D. Krige pada disiplin tambang (tahun 1950-an); serta B. Matheron pada disiplin kehutanan dan L.S. Gandin pada disiplin meteorologi.

## **B. Prediksi Geostatistik**

Tujuan geostatistik adalah untuk memprediksi kemungkinan distribusi spasial suatu sifat fisik tertentu. Prediksi semacam itu seringkali berbentuk peta atau serangkaian peta. Ada dua bentuk dasar prediksi: estimasi (Gambar 1) dan simulasi (Gambar 2). Dalam estimasi, dihasilkan suatu perkiraan (peta) statistik tunggal dari kejadian spasial. Estimasi didasarkan pada data sampel dan pada

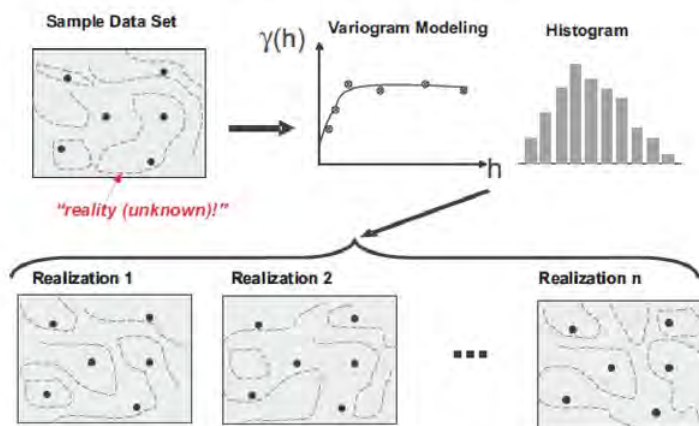
model (variogram) yang ditentukan sebagai yang paling akurat mewakili korelasi spasial dari data sampel. Perkiraan atau peta tunggal ini biasanya diproduksi dengan teknik kriging. Di sisi lain, dalam simulasi, banyak peta dengan kemungkinan yang sama (kadang-kadang disebut "gambar") dari distribusi properti diproduksi, menggunakan model korelasi spasial yang sama seperti yang dilakukan untuk kriging. Perbedaan antara peta alternatif memberikan ukuran kuantifikasi ketidakpastian, opsi yang tidak tersedia pada estimasi kriging.

### Geostatistical Estimation



Gambar 1 Alur kerja estimasi geostatistik (Zhang, 2011)

### Geostatistical Simulation



Gambar 2 Alur kerja simulasi geostatistik (Zhang, 2011)

## BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Cilacap, 1 Juli 1960. Meraih gelar Doktor dari Institut Teknologi Bandung pada tahun 2011 dengan disertasi “Estimasi Tetapan Anisotropi Medium Isotrop Transversal Tegak dari Difraksi Gelombang Seismik-P dengan Pendekatan Polinomial Orde-3”, mempunyai kebaruan berupa penurunan persamaan anisotropi dari fungsi difraksi, sebelumnya berupa penurunan persamaan dari fungsi refleksi. Beliau juga aktif sebagai instruktur di bidang Desain Parameter Seismik 3-D dan Geomekanika. Selama hampir 3 dekade mengabdikan diri pada sebuah perusahaan jasa minyak PT. Elnusa Tbk dengan jabatan akhir sebagai *Principal of Elmusa Petroleum School*. Setelah pensiun dari PT.Elnusa Tbk pada tahun 2015, penulis menjadi tenaga pengajar tetap di Universitas Trisakti dengan mata kuliah Geofisika Hidrokarbon, Pemodelan Geostatistik dan Mekanika Batuan. Disamping itu sebagai pengajar tidak tetap pada Program Magister F-MIPA Universitas Indonesia pada mata kuliah Seismologi Eksplorasi dan Geofisika Instrumentasi. Karya lain berupa Buku Ajar Mekanika Batuan dan penemuan metode baru berupa penurunan persamaan tetapan anisotropi berdasarkan fungsi difraksi Gelombang Seismik-P serta memperoleh Hak Cipta pada tahun 2019 HAKI No:EC0020191775, 29 Mei 2019.

# pemodelan geostatistik

---

## ORIGINALITY REPORT

---

3%

SIMILARITY INDEX

3%

INTERNET SOURCES

2%

PUBLICATIONS

2%

STUDENT PAPERS

---

## PRIMARY SOURCES

---

1

[pt.scribd.com](https://pt.scribd.com)

Internet Source

1%

2

[digilib.unila.ac.id](https://digilib.unila.ac.id)

Internet Source

<1%

3

[faculty.gg.uwyo.edu](https://faculty.gg.uwyo.edu)

Internet Source

<1%

4

[pubs.usgs.gov](https://pubs.usgs.gov)

Internet Source

<1%

5

[edoc.pub](https://edoc.pub)

Internet Source

<1%

6

[people.ku.edu](https://people.ku.edu)

Internet Source

<1%

7

Chilès, . "Structural Analysis", Wiley Series in Probability and Statistics, 2012.

Publication

<1%

8

[epdf.tips](https://epdf.tips)

Internet Source

<1%

9

[www.scribd.com](https://www.scribd.com)

Internet Source

<1%

10

[dergipark.org.tr](http://dergipark.org.tr)

Internet Source

<1%

11

[docshare.tips](http://docshare.tips)

Internet Source

<1%

12

Submitted to University of the Phillipines

Student Paper

<1%

13

[www.riccardogalletti.com](http://www.riccardogalletti.com)

Internet Source

<1%

14

"Basic Statistical Concepts", Econometrics,  
2008

Publication

<1%

15

Christian Gau. "Geostatistik in der  
Baugrundmodellierung", Springer Nature, 2011

Publication

<1%

16

[k4mar137.blogspot.com](http://k4mar137.blogspot.com)

Internet Source

<1%

17

Submitted to University of New England

Student Paper

<1%

18

[id.123dok.com](http://id.123dok.com)

Internet Source

<1%

19

Kamran Mostafaei, Hamidreza Ramazi.  
"Investigating the applicability of induced

<1%

# polarization method in ore modelling and drilling optimization: A case study from Abassabad, Iran", Near Surface Geophysics, 2019

Publication

---

---

Exclude quotes      On

Exclude matches      < 15 words

Exclude bibliography      On