

**PEMODELAN GEOLOGI 3D KANDUNGAN NIKEL PADA
DAERAH DISEKITAR TAMBANG MENGGUNAKAN
METODE UNIVERSAL KRIGING**

Tugas Akhir

Kelompok Keahlian : Pemodelan dan Simulasi

Sandi Heryandi

1107110012



Program Studi Sarjana Ilmu Komputasi

Fakultas Informatika

Universitas Telkom

Bandung

2016

Lembar Persetujuan

Pemodelan Geologi 3D Kandungan Nikel Pada Daerah Disekitar Tambang Menggunakan Metode Uiversal Kiging

3D Geological Modeling of Nickel Content In The Area Around Mine Using Universal Kriging

Sandi Heryandi

NIM : 1107110012

Tugas Akhir ini telah diterima dan di sahkan untuk memenuhi sebagian dari syarat
untuk memperoleh gelar sarjana Program Studi Sarjana Ilmu Komputasi

Fakultas Informatika Universitas Telkom

Bandung, April 2016

Menyetujui

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Sri Suryani P, S.Si.,M.si
NIP. 99750179-1

Yuliant Sibaroni, S.Si.,M.T
NIP. 00750198-1

Ketua Program Studi
Ilmu Komputasi

Dr. Deni Saepudin, S.Si.,M.Si.
NIP. 99750181-1

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sandi Heryandi

Nim : 1107110012

Program Studi : S1 Ilmu komputasi

Judul Tugas Akhir : Pemodelan Geologi 3D Kandungan Nikel Pada Daerah
Disekitar Tambang Menggunakan Metode Universal
Kriging

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini murni hasil karya saya sendiri dan tidak melakukan penjiplakan ataupun pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku. Segala bentuk sanksi maupun resiko yang dijatuhkan kepada saya apabila ditemukan adanya pelanggaran dalam hasil karya saya ini, saya siap mempertanggung jawabkannya.

Bandung, _____2016
Yang menyatakan,

Sandi Heryandi
NIM. 1107110012

Abstrak

Dalam pertambangan terdapat beberapa permasalahan yang salah satunya merupakan penaksiran kadar bahan tambang pada suatu daerah. Penaksiran atau pengestimasian berkaitan erat dengan metode yang digunakan dalam penaksiran kadar bahan tambang dengan tujuan hasil yang akurat. Dari berbagai metode yang digunakan salah satunya adalah kriging. Kriging adalah metode geostatistik yang digunakan untuk mengestimasi nilai dari sebuah titik atau blok sebagai kombinasi linier dari nilai yang terdapat disekitar titik yang akan diestimasi atau dengan kata lain menggunakan data spasial. Pada kasus ini, metode yang digunakan adalah Universal Kriging pada prediksi kandungan nikel dan besi disekitar tambang. Universal Kriging merupakan kriging dari data yang mempunyai kecenderungan tertentu. Dalam simulasinya, Pemodelan geologi 3D digunakan untuk menggambarkan permukaan serta kedalaman yang merepresentasikan hasil estimasi. Tahapan yang dilakukan meliputi perhitungan nilai semivariogram eksperimental, semivariogram teoritis, pengujian validasi model dan estimasi menggunakan universal kriging. Dari hasil estimasi yang telah dilakukan, pada layer 1 sebagian besar terdapat kandungan nikel jenis Limonite dengan variansi nikel 0.3371 dan besi 0.23, sedangkan pada layer 4 sebagian besar terdapat kandungan nikel jenis Low Grade Saprolite Ore dengan variansi nikel 0.5118 dan besi 0.3139. Semakin kecil nilai variansi maka akurasi estimasi semakin baik.

Kata kunci : Universal kriging, nikel, besi, semivariogram, geologi 3D.

Abstract

In mining field, there are several problems, one of which is a estimation of the levels of minerals in an area. Estimation is closely related to the methods that used in the estimation of the levels with the goal of accurate results. From the various methodused one of them is kriging. Kriging is a geostatistical methods used to estimate the value of a point or block as a linear combination of the value in around the point to be estimated or otherwise using spatial data. In this case, the method used is the Universal Kriging on prediction the level of nickel and iron around the mine. Universal Kriging is kriging of data that have a particular tendency. In the simulation, 3D geological modeling is used to describe the surface and a depth which represents the results of the estimation. Steps being taken including by calculation of experimental semivariogram value, the theoretical of semivariogram, validation testing and estimation models using universal kriging. From the estimation that has been done, the layer 1 is largely contained nickel content limonite types with variance nickel by 0.3371 and iron by 0.23, while in the layer 4 largely contained nickel content types Low Grade Saprolite Ore with variance nickel by 0.5118 and iron by 0.3139. The smaller value of the variance, the accuracy of estimation is getting better.

Keywords : *Universal Kriging, Nickel, Iron, semivariogram, Geological 3D.*

PERSEMBAHAN

Sebuah karya ini saya persembahkan untuk:

- ✚ Alloh Subhanahu Wata'ala
- ✚ Ibu dan bapak yang selalu mendoakan, mendukung dan menasehati segala bentuk apa yang penulis lakukan.
- ✚ Ipan Sopandi selaku kakak saya yang telah banyak membantu selama masa perkuliahan hingga tersusunnya Tugas Akhir ini.
- ✚ Teman-teman seperjuangan IK-35-01 terimakasih atas semua kerjasamanya, arahannya, kebersamaannya dan suka citanya selama perkuliahan ini.
- ✚ Bu Sri Suryani dan Pak Yuliant Sibaroni, yang telah membimbing dan mengarahkan dalam penyusunan Tugas Akhir ini
- ✚ Sumunandar Siagian yang telah memberi tempat gratiis.
- ✚ Aditya Fauzan atas bantuan cara menggunakan aplikasi tertentu.
- ✚ Rizky putra pratama sebagai team dalam penyelesaian tugas akhir.
- ✚ Dan semua pihak yang belum saya cantumkan yang turut membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Alloh Subhanahu Wata'ala yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya.

Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan rangka menyelesaikan studi Strata satu untuk memperoleh gelar sarjana di Telkom University.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat pada Tugas Akhir ini, untuk itu penulis sangat menghargai segala bentuk kritik dan saran yang dapat memperbaiki segala kekurangan tersebut.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan dan arahan berbagai pihak, maka dari itu, penulis mengucapkan terimakasih dan berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi para pembaca.

Bandung, _____2016

Penulis

DAFTAR ISI

Lembar Persetujuan	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
Abstrak	iii
<i>Abstract</i>	iv
PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR ISTILAH	xi
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi dan Penyelesaian Masalah	2
1.6 Sistematika penulisan	3
1.7 Jadwal kegiatan	4
BAB 2	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Nikel	5
2.2 Geologi	5
2.3 Data spasial	6
2.4 Varians dan Kovarians	6
2.5 Pengali Lagrange	7
2.6 Semivariogram 3D	7
2.6.1 Semivariogram Horizontal	7
2.6.2 Semivariogram Vertikal	11
2.7 Validasi Model	11
2.8 Universal Kriging	11

2.9	Variansi Minimum	12
2.10	Sistem Persamaan Universal kriging	13
PEMODELAN SISTEM		15
3.1	Data Penelitian.....	15
3.2	Pemodelan Umum sistem.....	15
3.3	Input Data	16
3.4	Menghitung <i>Semivariogram Eksperimental</i>	16
3.5	Fitting <i>Semivariogram Teoritis</i>	16
3.6	Validasi Model.....	17
3.7	Estimasi Universal Kriging	17
3.8	Output	17
BAB 4		18
HASIL DAN IMPLEMENTASI		18
4.1	Pengolahan Data.....	18
4.2	Pemilihan Model <i>Semivariogram Teoritis</i>	19
4.3	Peta Geologi Dengan Universal kriging	28
BAB 5		32
KESIMPULAN DAN SARAN		32
5.1	Kesimpulan	32
5.2	Saran.....	32
DAFTAR PUSTAKA		33
Lampiran 1		35
Lampiran 2		35
Lampiran 3		36
Lampiran 4		38

DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2-1 Model geologi 3D [8]</i>	6
<i>Gambar 2-2. Arah mata angin[15]</i>	7
<i>Gambar 2-3 Grafik model Spherical</i>	9
<i>Gambar 2-4 Grafik model Eksponensial</i>	10
<i>Gambar 2-5 Grafik model Gauss</i>	10
<i>Gambar 3-1 Pemodelan umum sistem</i>	15
<i>Gambar 4-1 Sebaran data</i>	18
<i>Gambar 4-1 Peta voronoi layer 1</i>	19
<i>Gambar 4-2 Peta voronoi layer 4</i>	19
<i>Gambar 4-3 plot data layer 1 terhadap masing-masing koordinat</i>	21
<i>2Gambar 4-4 plot data layer 4 terhadap masing-masing koordinat</i>	22
<i>Gambar 4-5 fitting semivariogram nikel model eksponensial layer 1</i>	24
<i>Gambar 4-6 semivariogram map nikel model eksponensial layer 1</i>	25
<i>Gambar 4-7 fitting semivariogram besi model gauss layer 1</i>	25
<i>Gambar 4-8 semivariogram map besi model Gauss layer 1</i>	26
<i>Gambar 4-9 fitting semivariogram nikel model gauss pada layer 4</i>	26
<i>Gambar 4-10 semivariogram map nikel model Gauss pada layer 4</i>	27
<i>Gambar 4-11 fitting semivariogram besi model gauss pada layer 4</i>	27
<i>Gambar 4-12 semivariogram map besi model Gauss pada layer 4</i>	28
<i>Gambar 4-13 Grid data</i>	28
<i>Gambar 4-14 Blok data estimasi</i>	29
<i>Gambar 4-15 peta geologi 3D kadar layer 1,</i>	29
<i>Gambar 4-16 peta geologi 3D variansi layer 1,</i>	30
<i>Gambar 4-17 peta geologi 3D kadar layer 4,</i>	30
<i>Gambar 4-18 peta geologi 3D variansi layer 4,</i>	31

DAFTAR TABEL

<i>Tabel 1: Jenis kandungan nikel</i>	5
<i>Tabel 2: Penjelasan arah mata angin</i>	7
<i>Tabel 3: Semivariogram horizontal nikel</i>	20
<i>Tabel 4: Semivariogram horizontal besi</i>	20
<i>Tabel 5: Pengujian range vertikal untuk nikel layer 1</i>	22
<i>Tabel 6: pengujian range vertikal untuk besi layer 1</i>	23
<i>Tabel 7: Pengujian range vertikal untuk nikel layer 4</i>	23
<i>Tabel 8: pengujian range vertikal untuk besi layer 4</i>	23
<i>Tabel 9: Semivariogram teoritis nikel</i>	24
<i>Tabel 10: Semivariogram teoritis besi</i>	24

DAFTAR ISTILAH

Kadar	Persentase kandungan nikel dalam ukuran tertentu.
x	Koordinat x pada pada bor daerah galian
y	Koordinat y pada pada bor daerah galian
z	Koordinat z pada pada bor daerah galian
s_i	Lokasi titik sampel ke- i
$Z(s)$	Nilai data pada lokasi
h	Jarak antar titik
$\hat{\gamma}(h)$	Semivariogram eksperimental
$\gamma(h)$	Semivariogram teoritis
a	Range
C_0+C	Sill
C_0	Nugget effect
$\hat{Z}(s_0)$	Nilai hasil estimasi
$\hat{\sigma}_e^2$	Nilai variansi universal kriging

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Indonesia merupakan negara dengan banyak sumber daya alam yang melimpah terkhusus barang tambang baik logam maupun non logam. Barang tambang merupakan sumber daya alam yang berasal dari dalam perut bumi yang sifatnya tidak bisa diperbaharui. Barang tambang sangat beragam jenisnya seperti minyak bumi, batu bara, nikel, tembaga, emas dan perak, biji besi dan banyak lagi yang lainnya.

Nikel merupakan unsur kimia metalik yang mempunyai sifat tahan karat[4]. Pada umumnya nikel digunakan sebagai bahan pembuat logam paduan yang memiliki karakteristik kuat, tahan panas dan tahan karat yang sangat berguna pada berbagai industri.

Potensi nikel paling banyak berada di Sulawesi Tenggara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan dan Maluku Utara. Dengan mengetahui hal tersebut upaya penambangan untuk mendapatkan nikel dalam jumlah besar terus dilakukan oleh industri pertambangan. Dengan demikian perlu adanya eksplorasi sumber daya nikel untuk mencapai hasil yang optimum. Eksplorasi sumberdaya dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai bahan galian maupun kondisi geologi. Supaya informasi yang didapatkan lengkap dan akurat perlu adanya pemodelan dan perhitungan sumber daya yang dapat dilakukan dengan berbagai metode yang didasarkan pada pertimbangan empiris maupun teoritis. Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk estimasi, diantaranya *Inverse Distance Weighted (IDW)*, *Spline*, *Kriging*, *Pointinterp*, *Natural Neighbor*, *Trend* dan *Topo to Raster*. Pada tugas akhir ini, dalam pemodelan geologi 3D terhadap kandungan nikel metode yang digunakan adalah *kriging* yakni *Universal Kriging* dengan data spasial. *Universal Kriging* dapat melakukan penaksiran pada data yang nonstasioner tanpa menghilangkan pengaruh drift atau trend. Melalui penggunaan *semivariogram* yang merupakan fungsi untuk mengukur korelasi spasial antara pengamatan, diperoleh sistem persamaan *Universal Kriging*.

Universal Kriging akan tepat jika diaplikasikan untuk data yang memiliki kecenderungan tertentu, seperti tebal lapisan yang berubah maupun menjauhnya lokasi dari *Channel sand*[8]. *Channel sand* adalah lokasi yang telah dijadikan target penambangan. Pemodelan geologi 3D (3DGM) membantu pendefinisian ruang dalam hubungan spasial antar objek geologi. Teknologi 3DGM memberikan informasi *geoscience* yang beragam.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana mengimplementasikan pemodelan geologi 3D dengan menggunakan metode universal kriging?
2. Bagaimana menyimulasikan estimasi kadar nikel pada daerah tambang nikel dalam bentuk geologi 3D?

1.3 Tujuan

Sebagai mana mengacu pada perumusan masalah, tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengimplementasikan pemodelan geologi 3D dengan metode universal kriging.
2. Menyimulasikan estimasi kadar nikel pada daerah tambang nikel dalam bentuk geologi 3D.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan untuk masalah yang akan diteliti pada tugas akhir ini adalah:

1. Data sampel merupakan data tambang nikel dan besi dengan koordinat x,y dan z.
2. Metode yang digunakan untuk mengestimasi kandungan nikel dan besi adalah *Universal Kriging*.
3. Data inputan berupa titik dari blok yang akan diestimasi yang merupakan koordinat x, y dan z beserta kadar nikel dan besi yang terkandung dari data sampel.

1.5 Metodologi dan Penyelesaian Masalah

Beberapa metode yang digunakan untuk penyelesaian dalam tugas akhir ini meliputi :

1. Studi literatur
Studi literatur atau kajian pustaka merupakan tahap pencarian pustaka yang mendukung topik tugas akhir didapat dari textbook, jurnal, internet yang digunakan untuk memahami konsep data spasial, metode kriging dan interpolasinya.
2. Pengumpulan data
Pengumpulan data digunakan sebagai sampel dalam memprediksi koordinat-koordinat yang mengandung nikel di sekitar tambang nikel.
3. Analisis dan perancangan sistem
Penganalisaan dan perancangan sistem menggunakan metode *Universal Kriging* yang mampu menghasilkan suatu model dengan keakuratan yang tinggi dan minimum error.
4. Implementasi sistem
Pada pengimplementasiannya menggunakan simulasi dengan aplikasi untuk melakukan berbagai macam perhitungan dan menghasilkan estimasi pada peta kontur lokasi dari data yang diperoleh.
5. Pengujian dan analisis akhir

Metode ini menguji dan menganalisa apakah model cocok dengan data yang telah dimiliki, dalam hal ini nilai-nilai residual harus sudah terstandarisasi sebagai landasan uji kevalidan model yang digunakan.

6. Penyusunan laporan

Menarik kesimpulan terhadap analisis pengujian dan hasil tugas akhir yang selanjutnya semua proses tersebut didokumentasikan dalam bentuk laporan.

1.6 Sistematika penulisan

a) **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini berisi uraian tugas akhir ini secara umum, meliputi latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi penyelesaian masalah, dan sistematika penulisan.

b) **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini membahas mengenai teori-teori penunjang yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir yang berkaitan dengan pemodelan geologi 3D universal kriging

c) **BAB 3 PERANCANGAN SISTEM**

Bab ini berisi pemodelan alur penyelesaian masalah secara terurut yang akan dilanjutkan pengimplementasiannya pada bab selanjutnya.

d) **BAB 4 HASIL DAN IMPLEMENTASI**

Bab ini membahas mengenai langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan pemodelan dengan universal kriging beserta analisis dari hasil yang diperoleh.

e) **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan dari tugas akhir ini dan saran-saran yang diperlukan untuk pengembangan lebih lanjut.

1.7 Jadwal kegiatan

Kegiatan	Bulan ke-1	Bulan ke-2	Bulan ke-3	Bulan ke-4	Bulan ke-5
Studi literature					
Pengumpulan data					
Analisa dan perancangan sistem					
Implementasi sistem					
Pengujian akhir					
Penyusunan laporan					

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab 2 ini akan dijelaskan mengenai teori – teori yang melandasi metode universal kriging yang akan dibahas pada subsub bab selanjutnya.

2.1 Nikel

Nikel merupakan logam *metallic-hard* yang berwarna putih keabu-abuan, keras, tergolong dalam logam peralihan dan tahan terhadap oksidasi, dan korosi [1]. Secara umum bijih nikel dibagi dalam dua jenis yaitu nikel sulfide dan nikel oksida dengan masing-masing memiliki karakteristik tersendiri dan cara pengolahannya pun tidak sama. Nikel oksida adalah produk pelapukan residual kimia pada batuan ultramafik yang berlangsung selama jutaan tahun sejak batuan ultramafic tersingkap dipermukaan bumi. Berdasarkan proses pembentukannya endapan nikel oksida terbagi menjadi beberapa zona dengan ketebalan dan kadar yang bervariasi [2].

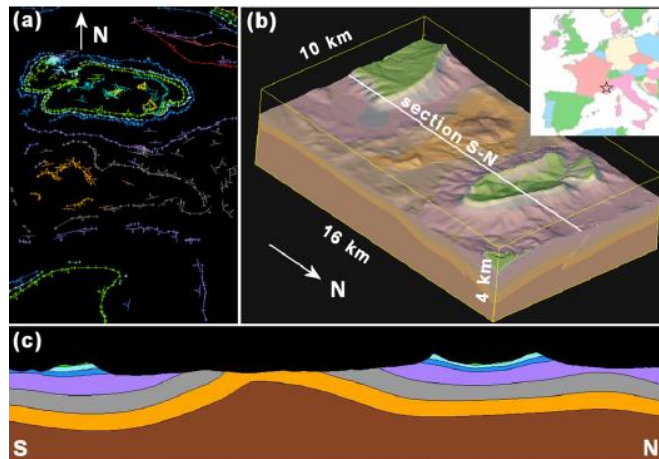
Nikel ditemukan dalam mineral pentlandit dalam bentuk lempeng-lempeng halus dan butiran kecil bersama phytrotin dan kalkopirit. Nikel biasanya terdapat diatas tanah yang terletak diatas batuan basa. Nikel digunakan dalam berbagai aplikasi komersial dan industri, seperti pelindung baja, pelindung tembaga, industry baterai, elektronik, aplikasi industry pesawat terbang, industry tekstil dan berbagai fungsi lainnya [3]. Berdasarkan jumlah kandungannya, nikel dapat dibedakan atas 4 bagian yaitu [4] [5]:

Tabel 1: Jenis kandungan nikel

Kadar Ni (%)	Kadar Fe (%)	Keterangan
≥ 2.0	≤ 25	Saprolite Ore
1.7 – 2.0	≤ 25	Low Grade Saprolite Ore
1.4 – 1.7	≥ 25	Limonite
≤ 1.2	≤ 25	Waste

2.2 Geologi

Geologi merupakan suatu ilmu yang mempelajari tentang bumi, sifat-sifatnya dan karakteristiknya. Dalam pemodelan, bentuk pemodelan 3D geologi dirancang untuk kebutuhan industri tambang. Model *Universal Kriging* dirancang untuk membangun model geologi 3D dari data yang tersedia. Interpolasi dari data tersebut berdasarkan *Universal Kriging* menggambarkan permukaan serta kedalaman yang merepresentasikan data [6]. Pemodelan geologi 3D (3DGM) dapat juga digunakan untuk menggambarkan asal-usul benda geologi melalui analisis data spasial terhadap teori metalogenik regional dan model endapan bijih khas [7]. Berdasarkan referensi [8] gambaran geologi 3D seperti pada gambar 2-1.



Gambar 2-1 Model geologi 3D [8]

Dari gambar 2-1 menunjukkan bahwa pada bagian (a) merupakan tampilan titik data yang diamati, pada bagian (b) merupakan tampilan dari geologi 3D yang dilihat dari sudut pandang South – West dan pada bagian (c) merupakan model geologi pada sudut pandang South-North.

2.3 Data spasial

Data spasial merupakan data yang diperoleh dari hasil pengukuran atau pengamatan yang memuat informasi mengenai lokasi dan pengukuran [9]. Data spasial dapat berupa data diskrit atau kontinu dan dapat juga memiliki lokasi spasial beraturan maupun tidak beraturan. Data spasial yang beraturan dimana data antar lokasi saling berdekatan atau dengan jarak yang sama besar, sedangkan yang tidak beraturan adalah data spasial dengan jarak yang berbeda. Nilai data lokasi s biasa dinotasikan dengan $Z(s)$, himpunan dari $Z(s)$ disebut proses spasial $\{Z(s) : s \in D\}$ dimana D adalah data set random di R^d .

2.4 Varians dan Kovarians

Variansi merupakan suatu ukuran bagi persebaran data. Variansi dari variabel random Z dinyatakan sebagai berikut :

$$\text{var}(Z) = E[Z - E(Z)]^2 \quad (2.1)$$

Jika Z merupakan variabel random kontinu, maka

$$\text{var}(Z) = E(Z^2) - [E(Z)]^2 \quad (2.2)$$

Fungsi kovariansi antara variabel $Z(s)$ dengan $Z(s+h)$ dimana h merupakan jarak adalah :

$$\text{cov}[Z(s), Z(s+h)] = E\{[Z(s) - E[Z(s)]] [Z(s+h) - E[Z(s+h)]]\} \quad (2.3)$$

2.5 Pengali Lagrange

Lagrange yang sering digunakan untuk mencari nilai ekstrim dengan fungsi $f(x, y, z)$ dengan batasan tertentu yang mana harus memenuhi $g(x, y, z) = c$. Dengan parameter L yang merupakan parameter baru yang dinamakan pengali *Lagrange* yang membentuk fungsi lagrange sebagai berikut :

$$F(x, y, z, L) = f(x, y, z) + L(g(x, y, z) - c) \quad (2.4)$$

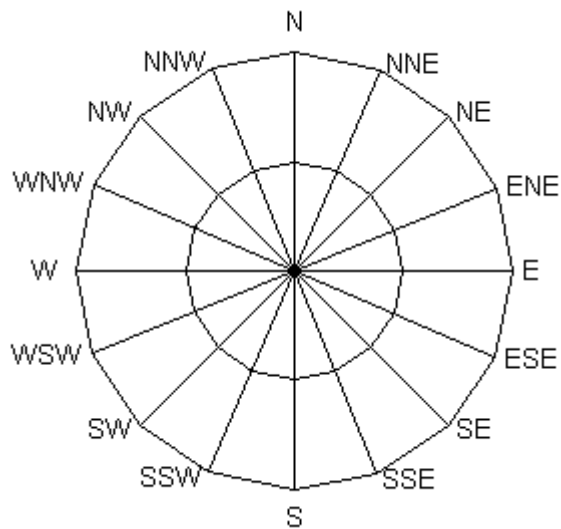
Syarat : $\frac{\partial F}{\partial x} = 0, \frac{\partial F}{\partial y} = 0, \frac{\partial F}{\partial z} = 0, \frac{\partial F}{\partial L} = 0$

2.6 Semivariogram 3D

Model semivariogram 3D merupakan gabungan dari semivariogram horizontal dan vertikal yang mana terdapat *range* dari horizontal dan *range* vertikal yang terbentuk dalam sebuah elips dalam melakukan estimasi [10].

2.6.1 Semivariogram Horizontal

Semivariogram digunakan untuk mengamati suatu korelasi antar data sampel. Dengan tidak menghilangkan sifat anisotropi semivariogram dihitung terhadap masing – masing arah [11]. Adapun arah yang digunakan meliputi sebagai berikut :



Gambar 2-2. Arah mata angin[15]

Untuk mengetahui arah mata angin dengan besaran derajat yang terbentuk disajikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2: Penjelasan arah mata angin

Singkatan	Arah	Derajat
N	North	348.75 - 11.25

NNE	North-northeast	11.25 - 33.75
NE	Northeast	33.75 - 56.25
ENE	East-northeast	56.25 - 78.75
E	East	78.75 - 101.25
ESE	East-southeast	101.25 - 123.75
SE	Southeast	123.75 - 146.25
SSE	South-southeast	146.25 - 168.75
S	South	168.75 - 191.25
SSW	South-southwest	191.25 - 213.75
SW	Southwest	213.75 - 236.25
WSW	West-southwest	236.25 - 258.75
W	West	258.75 - 281.25
WNW	West-northwest	281.25 - 303.75
NW	Northwest	303.75 - 326.25
NNW	North-northwest	326.25 - 348.75

Sedangkan *semivariogram* adalah setengah dari kuantitas $\gamma(h)$ [9]. *Semivariogram* dapat digunakan untuk mengukur korelasi spasial berupa variansi beda pengamatan pada lokasi $s+h$ dan s . Secara umum, *semivaiogram* didefinisikan sebagai berikut:

$$\hat{\gamma}(h) = \left(\frac{1}{2} \right) E \left[(Z(s+h) - Z(s))^2 \right] \quad (2.5)$$

Dalam penyelesaiannya, terdapat beberapa tahapan untuk mendapatkan model *semivariogram*. Tahapan pertama, *semivariogram* dihitung dari data sampel. Proses ini dikenal dengan *semivariogram* eksperimental yang dinyatakan dengan :

$$\hat{\gamma}(h) = \left(\frac{1}{2|N(h)|} \right) \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(s_i+h) - Z(s_i)]^2 \quad (2.6)$$

Dimana :

- $|N(h)|$: banyaknya pasangan data berbeda yang berjarak h
- $(s_i, s_i + h)$: pasangan titik yang berjarak h
- s_i : lokasi titik sampel ke- i
- $Z(s_i)$: nilai data pada lokasi s_i

Selanjutnya *semivariogram* tersebut dicocokkan kedalam sebuah fungsi yang di kenal dengan *semivariogram* teoritis. Dalam pencocokannya menghasilkan parameter-parameter yang harus dicari nilainya agar menghasilkan model yang cocok untuk *semivariogram* eksperimental.

Parameter – parameter tersebut adalah :

1. Range (a)
Range adalah jarak maksimum dimana masih ada korelasi antar variable terregional.
2. Sill (C_0+C)
Sill adalah nilai *semivariogram* yang mengalami peningkatan sampai dengan jarak yang tidak terhingga sehingga antara dua variable terregional tidak berkorelasi. Biasanya nilai dari sill akan mendekati nilai variansi dari data.
3. Nugget effect (C_0)
Nugget effect adalah nilai *semivariogram* pada jarak disekitar nol.

Beberapa fungsi yang dapat dijadikan model *semivariogram* dalam metode *Universal Kriging* :

1. Model *Spherical*

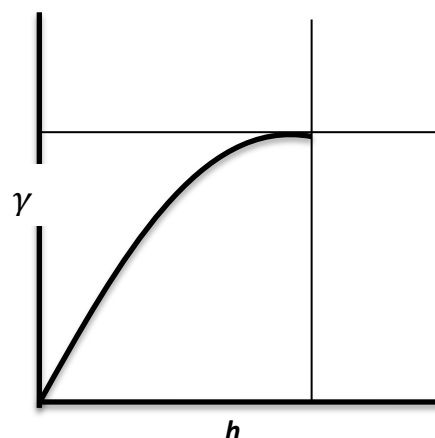
Secara umum persamaan model *spherical* ditulis sebagai berikut :

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left(\frac{3|h|}{2a} - \frac{|h|^3}{2a^3} \right) & , |h| < a \\ C_0 + C & , |h| \geq a \end{cases} \quad (2.7)$$

Dimana :

- h : jarak lokasi antar sampel
- C_0 : nuget effect
- C_0+C : sill
- a : range yang merupakan jarak pada saat nilai *semivariogram* mencapai sill
- $\gamma(h)$: nilai *semivariogram* teoritis pada saat jarak h

Berikut grafik dari model *spherical* :



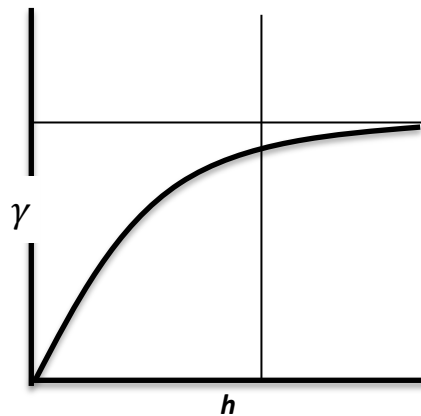
Gambar 2-3 Grafik model *Spherical*

2. Model Eksponensial

Secara umum persamaan model eksponensial ditulis sebagai berikut :

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left(1 - \ell \left(\frac{-|h|}{a} \right) \right) & , |h| < a \\ C_0 + C & |h| \geq a \end{cases} \quad (2.8)$$

Berikut grafik dari model eksponensial :



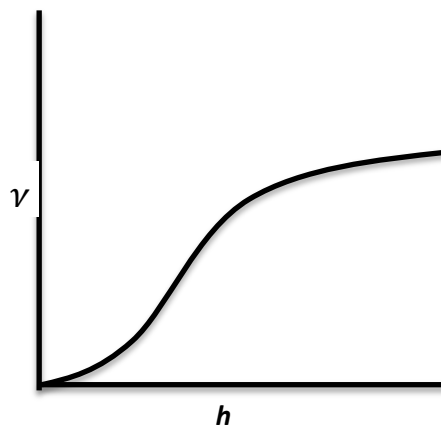
Gambar 2-4 Grafik model Eksponensial

3. Model Gauss

Secara umum persamaan model eksponensial ditulis sebagai berikut

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left(1 - \ell \left(\frac{|h|^2}{a^2} \right) \right) & , |h| < a \\ C_0 + C & |h| \geq a \end{cases} \quad (2.9)$$

Berikut grafik dari model gauss :



Gambar 2-5 Grafik model Gauss

2.6.2 Semivariogram Vertikal

Semivariogram vertikal dihitung terhadap koordinat vertikal dan hanya dilakukan pemilihan range saja. Sedangkan model semivariogramnya mengacu pada semivariogram horizontal yang telah terpilih [10].

2.7 Validasi Model

Pada tahap validasi dilakukan untuk menguji kesesuaian model semivariogram teoritis dengan semivariogram eksperimental dengan RMSE (*Root Mean Square Error*) yang merupakan akar dari MSE.

$$\text{MSE} = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n \left(Z(s_i) - \hat{Z}(s_i) \right)^2 \quad (2.10)$$

2.8 Universal Kriging

Universal Kriging merupakan bentuk umum dari *simple kriging* sebagai perluasan dari metode *ordinary kriging*. *Universal Kriging* dapat melakukan penaksiran pada data yang nonstasioner tanpa menghilangkan pengaruh drift atau trend. Estimator *Universal Kriging* $\hat{Z}(s_0)$ untuk fungsi random $Z(s_i)$ sebagai berikut :

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i) \quad (2.11)$$

Keterangan :

λ : Pembobotan yang menentukan ukuran jarak antar titik

Dengan asumsi bahwa *mean* dan *variansi* dari $Z(s_i)$ ada. Model $Z(s_i)$ dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Z(s) = m(s) + \varepsilon(s) \quad (2.12)$$

$m(s)$ merupakan persamaan *trend (drift)* dan $\varepsilon(s)$ adalah error yang memenuhi sifat *intrinsic stationarity* dengan $E[\varepsilon(s)] = 0$. Untuk *trend* dari model polynomial $f_1(s)$ dinyatakan sebagai berikut :

$$m(s) = \sum_{i=0}^n T_i f_i(s) \quad (2.13)$$

Dimana

$f_0(s)=1$

$f_i(s)$: koordinat lokasi

T_i : koefisien trend

n : banyaknya orde dalam persamaan trend.

Asumsi yang mendasar bahwa kriging termasuk *Universal Kriging* harus memenuhi kriteria BLUE (Best Linier Unbiased Estimator) [12].

2.9 Variansi Minimum

Variansi minimum merupakan variansi dari residual yang berarti selisih antara $Z(s)$ dengan taksirannya $\hat{Z}(s)$. Variansi dapat dinyatakan seperti persamaan berikut :

$$\text{var}[e(s_0)] = \text{cov}[\hat{Z}(s_0)\hat{Z}(s_0)] - 2\text{cov}[\hat{Z}(s_0)Z(s_0)] + \text{cov}[Z(s_0)Z(s_0)] \quad (2.14)$$

Bukti dari persamaan (2.14) dapat dilihat di lampiran 1

Berikut adalah penjabaran dari persamaan (2.14)

$$\bullet \quad \text{cov}[\hat{Z}(s_0)\hat{Z}(s_0)] = C_{00} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(s_i - s_j) \quad (2.15)$$

$$\bullet \quad -2\text{cov}[\hat{Z}(s_0)Z(s_0)] = -2C_{00} + 2\sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(s_i - s_0) \quad (2.16)$$

$$\bullet \quad \text{cov}[Z(s_0)Z(s_0)] = C_{00} \quad (2.17)$$

Bukti dari persamaan (2.15),(2.16)dan (2.17) dapat dilihat di lampiran 2. Substitusikan persamaan (2.15),(2.16)dan (2.17) kedalam persamaan (2.14), maka diperoleh sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{var}[e(s_0)] &= \text{var}[\hat{Z}(s_0) - Z(s_0) - Z(s_0)] = \hat{\sigma}_e^2 \\ \hat{\sigma}_e^2 &= \left(C_{00} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(s_i - s_j) \right) + \left(-2C_{00} + 2\sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(s_i - s_0) \right) + C_{00} \\ &= -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(s_i - s_j) + 2\sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(s_i - s_0) \end{aligned} \quad (2.18)$$

Kemudian supaya variansi tersebut minimum, maka perlu melakukan turunan parsial pertama dari $\hat{\sigma}_e^2$. Dalam pelaksanaannya, penurunan parsial dapat dilakukan dengan metode *Lagrange* seperti yang telah di bahas di persamaan (2.4). Sehingga fungsi *Lagrange* L dapat ditulis seperti berikut :

$$\begin{aligned} L &= -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(s_i - s_j) + 2\sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(s_i - s_0) + 2m_0 \left(1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i \right) \\ &\quad + 2\sum_{j=1}^p m_j \left(f_j(s_0) - \sum \lambda_i f_j(s_i) \right) \end{aligned} \quad (2.19)$$

Turunkan fungsi L diatas terhadap λ_i , m_0 dan m_j dengan $i=1..n$ dan $j=1..p$ dimana turunan terhadap λ_i dan m_j dengan $i=1$ dan $j=1$ dan turunan parsial tersebut sama dengan 0. Dari hasil penurunan L(λ ,m) diperoleh tiga buah persamaan berikut :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(s_j - s_k) + m_0 + \sum_{j=1}^p m_j f_j(s_k) = \gamma(s_k - s_0) \quad ; k = 1, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i f_k(s_i) = f_k(s_0) \quad ; k = 1, \dots, p \end{array} \right\} \quad (2.20)$$

Bukti dari persamaan (2.20) dapat dilihat di lampiran 3. Sehingga variansi *Universal Kriging* ditulis sebagai berikut :

$$\hat{\sigma}_e^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(s_i - s_0) + m_0 + \sum_{j=1}^p m_j f_j(s_0) \quad (2.21)$$

2.10 Sistem Persamaan Universal kriging

Seperti yang telah diketahui bahwa taksiran metode universal kriging yang dinyatakan pada persamaan (2.11) memenuhi sifat linier tak bias dengan RMSE yang minimum. Langkah meminimumkan RMSE sebenarnya sudah dilakukan bersamaan dengan pencarian variansi kriging yaitu dengan melakukan turunan parsial pertama fungsi *lagrange* L. Sehingga diperoleh tiga buah persamaan yang dijadikan satu rangkaian persamaan yaitu persamaan (2.20). Persamaan ini dikenal dengan sistem persamaan universal kriging. Supaya mempermudah dalam pencarian λ_i ; $i=1 \dots n$ persamaan (2.20) ditulis sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \gamma(s_1 - s_1) & \cdots & \gamma(s_n - s_1) & 1 & f_1(s_1) & \cdots & f_p(s_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \gamma(s_1 - s_n) & \cdots & \gamma(s_n - s_n) & 1 & f_1(s_n) & \cdots & f_p(s_n) \\ 1 & \cdots & 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ f_1(s_1) & \cdots & f_1(s_n) & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_p(s_1) & \cdots & f_p(s_n) & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ m_0 \\ m_1 \\ \vdots \\ m_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(s_1 - s_0) \\ \vdots \\ \gamma(s_n - s_0) \\ 1 \\ f_1(s_0) \\ \vdots \\ f_n(s_0) \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Matriks diatas dinotasikan sebagai :

$$\dot{Z}\lambda = \dot{Z}_0 \quad (2.23)$$

Atau

$$\begin{pmatrix} \dot{Z} & F \\ F' & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda \\ m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{Y}_0 \\ f_0 \end{pmatrix} \quad (2.24)$$

Yang berarti

$$\lambda = \dot{Z}^{-1} \dot{Z}_0 \quad (2.25)$$

Dimana :

\dot{Z} : komponen matriks yang terdiri dari *semivariogram* s_i dan s_j

F : komponen matriks yang terdiri dari drift s_i

0 : komponen 0

λ : komponen matriks bobot

m : komponen matriks dari bobot yang tidak diketahui

γ_0 : komponen matriks yang terdiri dari *semivariogram* s_0 dan s_i

f_0 : komponen matriks yang terdiri dari drift s_0

BAB 3

PEMODELAN SISTEM

Pemodelan sistem pada pemodelan geologi 3D kandungan nikel akan dijelaskan dan dianalisis dengan flowchart pada sub bab selanjutnya.

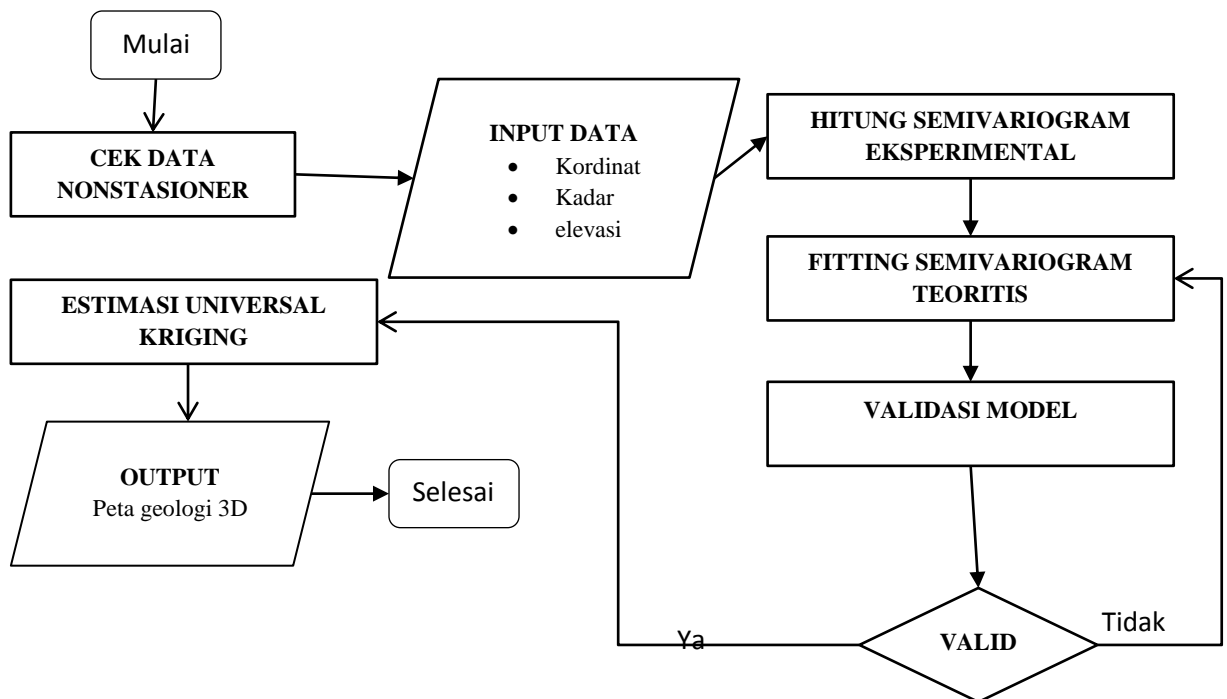
3.1 Data Penelitian

Data sampel diperoleh dari PT.K yang berupa koordinat lokasi x,y,z beserta informasi kandungan nikel dan besi. Data tersebut merupakan data pada layer 1 dan layer 4 dengan jumlah titik masing – masing sebanyak 44 yang dapat dilihat di lampiran 4.

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini memiliki sifat nonstasioner, dengan kata lain rata-rata dari kandungan nikel dan besi tidak konstan. Peta voronoi merupakan salah satu cara untuk mengetahui kestasioneran data spasial [13]. Data yang stasioner dapat dilihat melalui keacakan *thiessen poligon* ketika disimbolkan oleh entropi atau stDev [13].

3.2 Pemodelan Umum sistem

Pemodelan sistem ini bertujuan untuk menentukan alur proses dalam pengestimasian nikel dan besi dengan menggunakan metode universal kriging seperti yang disajikan dibawah ini :



Gambar 3-1 Pemodelan umum sistem

Dengan menggunakan *Universal Kriging* dalam proses pemodelannya, inputan yang digunakan adalah kandungan nikel dan besi, koordinat, dan elevasi yang akan menghasilkan output sistemnya adalah berupa peta geologi 3D yang mengandung informasi lokasi, kandungan nikel, kandungan besi dan elevasi. Dalam pengimplementasiannya beberapa proses perhitungan seperti menghitung semivariogram eksperimental, fitting semivariogram teoritis dan validasi dibantu dengan menggunakan software sistem informasi geografis yaitu ArcMap yang merupakan bagian dari software ArcGis yang diproduksi oleh ESRI (*Environment Science and Research Institute*) kemudian dilanjutkan dengan SGeMS (*Stanford Geostatistical Modeling Software*) sebagai proses estimasi Universal kriging dan interpolasi geologi 3D.

Proses – proses yang dilakukan pada tahapan perancangan sistem diatas adalah :

3.3 Input Data

Data merupakan spasial yang terdiri dari kadar nikel dan besi, koordinat dan elevasi. Data yang akan digunakan untuk metode universal kriging merupakan data yang bersifat nonstasioner. Oleh karena itu dilakukan pengecekan terlebih dahulu dengan menggunakan peta voronoi. Pada peta voronoi menunjukkan apabila terdapat bentuk *theissen poligon* yang sama terhadap ketetanggaannya, berarti data tersebut bersifat nonstasioner.

3.4 Menghitung Semivariogram Eksperimental

Pada tahapan ini proses perhitungan *semivariogram eksperimental* dilakukan hanya pada horizontalnya saja atau dengan kata lain perhitungan hanya melibatkan koordinat x, y dan kadarnya, selain itu perhitungan juga dilakukan terhadap setidaknya empat vektor arah yang berbeda karena adanya sifat anisotropi yang secara umum menggunakan persamaan (2.6).

3.5 Fitting Semivariogram Teoritis

Setelah dihasilkan *semivariogram eksperimental* maka selanjutnya dilakukan fitting semivariogram teoritis terhadap tiga model teoritis meliputi *spherical*, *eksponential* dan *gaussian*. Untuk mengetahui model yang paling baik yaitu dilakukan uji validasi yang akan dibahas pada bagian 3.6.

Model yang terpilih pada *fitting* ini menghasilkan variabel – variabel yang akan digunakan pada proses estimasi. Sesuai yang telah dijelaskan pada 2.6.1 variabel tersebut meliputi *nugget effect*, *sill* dan *range (horizontal dan verikal)*. Karena pada tugas ini menggunakan *semivariogram 3D* yang artinya terdapat *semivariogram horizontal* dan *semivariogram vertikal*, maka hasil

dari *fitting* ini merupakan *semivariogram horizontal*. Sedangkan untuk *semivariogram verikal* susai yang telah dibahas pada 2.6.2 bahwa dalam perhitungannya, model yang digunakan mengikuti model yang terpilih pada *semivariogram horizontal* dan hanya melakukan pemilihan range untuk vertikal.

3.6 Validasi Model

Uji validasi model dilakukan dengan menggunakan RMSE (Root Mean Square Error) yang sesuai pada 2.7.

Dari semua model yang telah di *fit*-kan, maka pemilihan model yang terbaik dipilih sesuai dengan nilai RMSE yang paling kecil diantara model – model tersebut.

3.7 Estimasi Universal Kriging

Untuk menghasilkan nilai estimasi dari data yang telah tersedia, selanjutnya dilakukan proses estimasi dengan universal kriging.

Proses perhitungan ini diperlukan beberapa inputan yang merupakan hasil dari semivariogram teoritis yang terpilih. Untuk perhitungannya, digunakan rumus yang berada pada persamaan 2.24.

3.8 Output

Hasil dari estimasi ini merupakan suatu peta kontur 3D yang berbentuk suatu blok dengan informasi yang dihasilkan merupakan suatu nilai kadar nikel dan besi beserta variansi kriging yang disimbolkan dengan suatu warna untuk tingkat keberadaanya. Blok tersebut ditentukan terlebih dahulu dengan tujuan untuk membatasi wilayah estimasi sehingga tidak terlalu jauh terhadap titik sampel.

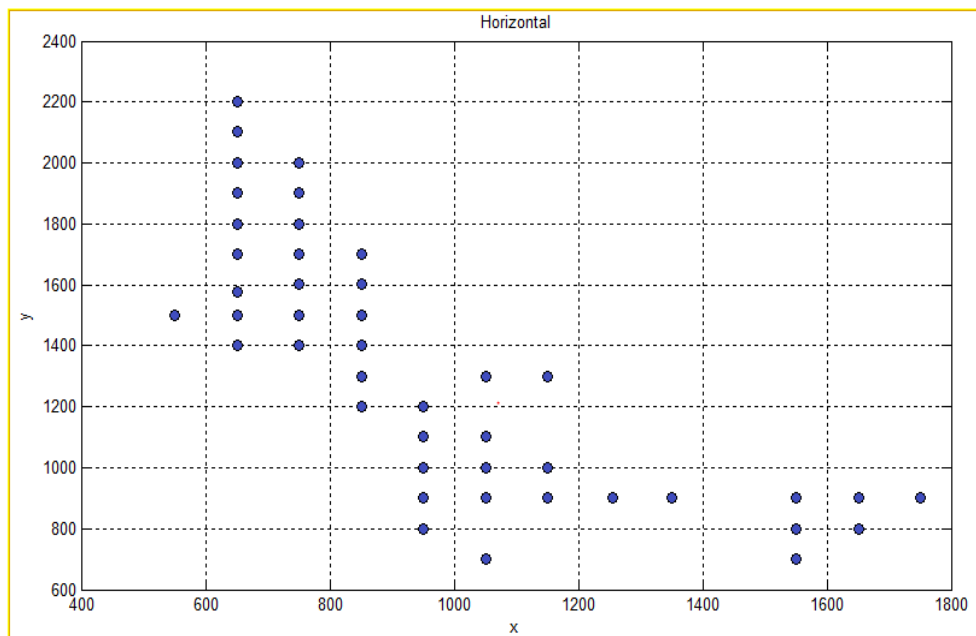
BAB 4

HASIL DAN IMPLEMENTASI

Bab ini akan membahas bagaimana mengimplementasikan metode *Universal Kriging* pada data pengamatan dan menampilkan hasil estimasi beserta interpolasinya dengan menggunakan software sistem informasi geografis seperti yang telah dibahas pada bab sebelumnya.

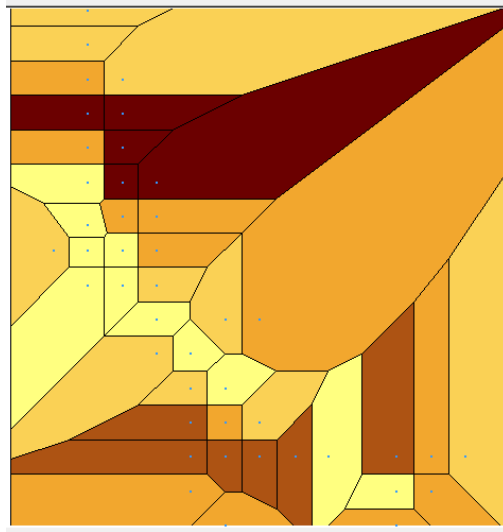
4.1 Pengolahan Data

Dalam pengestimasi, pengolahan data dilakukan dengan dengan mempertimbangkan sifat – sifat data yang dalam tugas akhir ini data bersifat nonstasioner dengan sebaran datanya dapat dilihat pada plot dibawah ini:



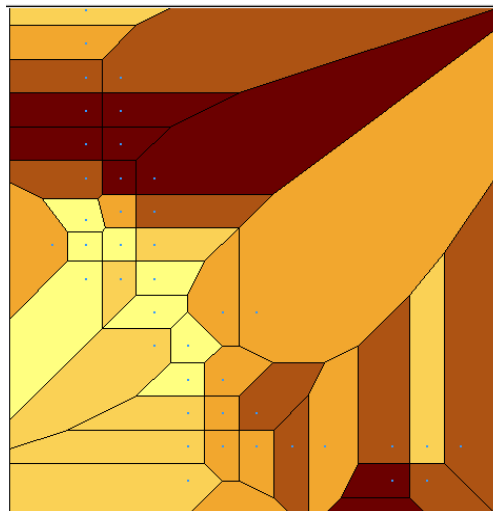
Gambar 4-1 Sebaran data

Untuk mengetahui hal tersebut, telah dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa untuk mengetahui kestasioneran data dapat dilakukan dengan menggunakan peta voronoi. Berikut hasil peta voronoi pada setiap layer :



Gambar 4-2 Peta voronoi layer 1

Pada gambar diatas menunjukkan ada *theissen poligon* yang memiliki bentuk sama terhadap ketetanggaannya, berarti data pada layer 1 bersifat nonstasioner. Selanjutnya untuk peta voronoi layer 4 disajikan pada gambar dibawah ini.



Gambar 4-3 Peta voronoi layer 4

Gambar diatas menunjukkan ada *theissen poligon* yang memiliki bentuk sama terhadap ketetanggaannya, berarti data pada layer 4 bersifat nonstasioner. Karena datanya bersifat nonstasioner, maka metode universal kriging dapat digunakan untuk proses estimasi tanpa menghilangkan trend.

4.2 Pemilihan Model Semivariogram Teoritis

Pada pemodelan geologi dengan menggunakan model universal kriging, sebelum dilakukan proses estimasi, langkah yang dilakukan sebelumnya adalah pemilihan model semivariogram teoritis. Model semivariogram teoritis dibentuk

dari penggabungan model teoritis untuk semivariogram horizontal dan vertikal. Adapun hasil dari semivariogram horizontal ditampilkan pada *Tabel 3 dan Tabel 4*.

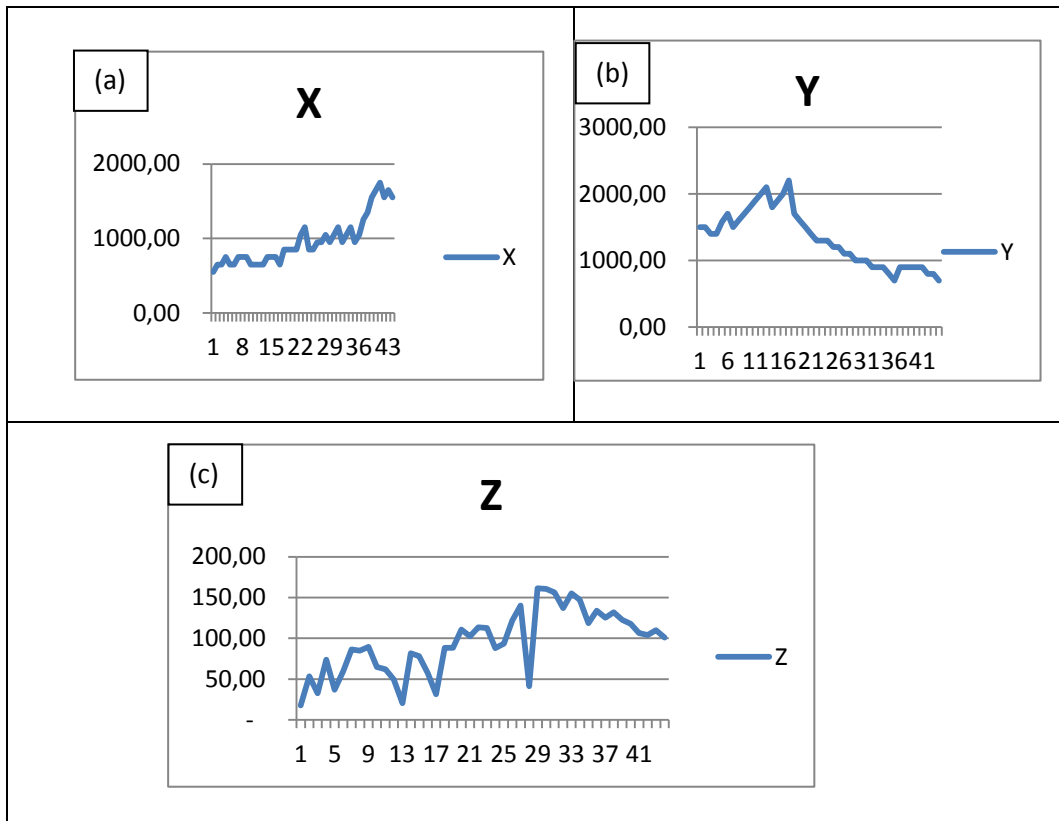
Tabel 3: Semivariogram horizontal nikel

Layer	Model	Nuget	Partial Sill	dir	Major	Minor	RMSE
1	Spherical	0,302	0,101	121,11	1920,937	644,2156	0,618
	Exponential	0,288	0,113	123,57	1920,937	644,2156	0,617
	Gauss	0,320	0,092	119,17	1920,937	644,2156	0,624
4	Spherical	0,448	0,225	162,77	1920,937	717,3012	0,766
	Exponential	0,429	0,220	164,17	1920,937	644,2156	0,761
	Gauss	0,475	0,227	164,53	1920,937	673,7165	0,754

Tabel 4: Semivariogram horizontal besi

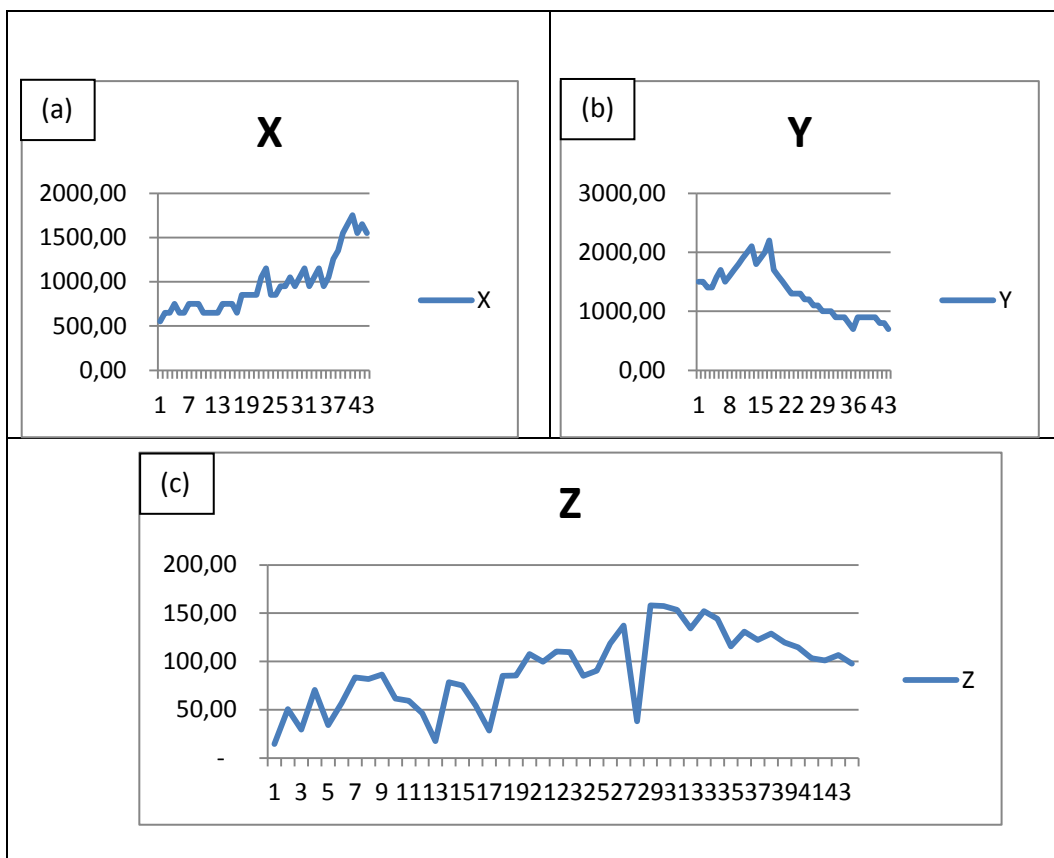
Layer	Model	Nuget	Partial Sill	dir	Major	Minor	RMSE
1	Spherical	0,206	0,047	132,36	1920,937	644,2156	0,5105
	Exponential	0,204	0,045	131,30	1920,937	644,2156	0,511
	Gauss	0,211	0,050	132,36	1920,937	644,2156	0,508
4	Spherical	0,196	0,196	39,02	463,5743	194,0345	0,661
	Exponential	0,090	0,312	39,37	463,5743	194,0345	0,662
	Gauss	0,263	0,137	20,91	463,5743	209,1144	0,656

Dari tabel 3 dan 4 dipilih model yang memiliki RMSE terkecil diantara model lain pada setiap layer. Kemudian pada model semivariogram vertikal dilakukan pemilihan *range* saja, sedangkan model semivariogramnya mengacu pada semivariogram horizontal yang sudah terpilih. Sebelum dilakukan penentuan *range* vertikal, dilakukan pemeriksaan kecenderungan ada tidaknya trend pada x, y dan z disetiap layer. Adapun hasil pemeriksaannya dilakukan secara visualisasi sebagai berikut.



Gambar 4-4 plot data layer 1 terhadap masing-masing koordinat
 (a) Plot terhadap koordinat x. (b) Plot terhadap koordinat y
 (c) Plot terhadap koordinat z

Dari gambar diatas dapat diamati bahwa pada layer 1 kecenderungan trend naik dimiliki oleh koordinat x. Kemudian untuk plot masing – masing koordinat pada layer 4 dapat dilihat pada *Gambar 4-5*.



Gambar 4-5 plot data layer 4 terhadap masing-masing koordinat
 (a) Plot terhadap koordinat x. (b) Plot terhadap koordinat y
 (c) Plot terhadap koordinat z

Gambar 4-5 menunjukkan bahwa pada layer 4 memiliki kesamaan dengan layer 1 yaitu trend dengan kecenderungan naik dimiliki oleh koordinat x. Setelah mengetahui kecenderungan trend data, kemudian dilakukan pengolahan selanjutnya yaitu untuk menentukan model semivariogram yang cocok dalam melakukan estimasi. Berikut hasil pengujian beberapa nilai *range vertikal* :

Tabel 5: Pengujian *range vertikal* untuk nikel layer 1

range	kadar min	kadar max	var
100	-0,5404	3,677	0,3379
150	-0,5404	2,957	0,3377
200	-0,5404	2,637	0,3371
214	0,4953	2,555	0,3371
250	0,4953	2,548	0,3371

Dari tabel diatas dapat diamati bahwa untuk *range vertikal* dibawah 214 menghasilkan estimasi kadar dibawah nol yang mana tidak bisa dijadikan ukuran dalam nilai pengestimasian, sehingga *range vertikal* untuk nikel yang digunakan adalah 214 dan memenuhi bahwa *range vertikal* kurang dari *minor range*.

Tabel 6: pengujian range vertikal untuk besi layer 1

range	kadar min	kadar max	var
100	-11,69	76,14	0,23
150	-2,096	69,92	0,23
200	2,263	69,92	0,23

Dari tabel diatas dapat diamati bahwa untuk *range vertikal* dibawah 150 menghasilkan estimasi kadar dibawah nol yang mana tidak bisa dijadikan ukuran dalam nilai pengestimasi, sehingga *range vertikal* untuk besi yang digunakan adalah 200 dan memenuhi bahwa *range vertikal* kurang dari *minor range*.

Tabel 7: Pengujian range vertikal untuk nikel layer 4

range	kadar min	kadar max	var
100	-0,971	6,483	0,5174
150	0,0562	6,694	0,512
200	0,2311	3,712	0,5118
250	0,1846	3,712	0,5118

Dari tabel diatas dapat diamati bahwa untuk *range vertikal* yang berada dibawah 150 menghasilkan estimasi kadar dibawah nol yang mana tidak bisa dijadikan ukuran dalam nilai pengestimasi. Namun pada *range* 150 menghasilkan kadar maksimum 6,694 dimana nilai tersebut melebihi nilai maksimum untuk kadar nikel. Dengan begitu, *range vertikal* untuk nikel layer 4 bisa digunakan adalah 200 dan memenuhi bahwa *range vertikal* kurang dari *range minor*.

Tabel 8: pengujian range vertikal untuk besi layer 4

range	kadar min	kadar max	var
100	1,393	83,15	0,3147
150	1,393	83,15	0,3139
200	1,392	137,7	0,3136

Dari *Tabel 8* dapat diamati bahwa *range vertikal* yang bisa digunakan adalah 150 yang mana telah memenuhi bahwa *range vertikal* kurang dari *range minor* dan batas kadar maksimum tidak melebihi batas. Dari hasil pemilihan semivariogram horizontal dan vertikal, didapat model semivariogram teoritis yang disajikan pada *Tabel 9* dan *Tabel 10*.

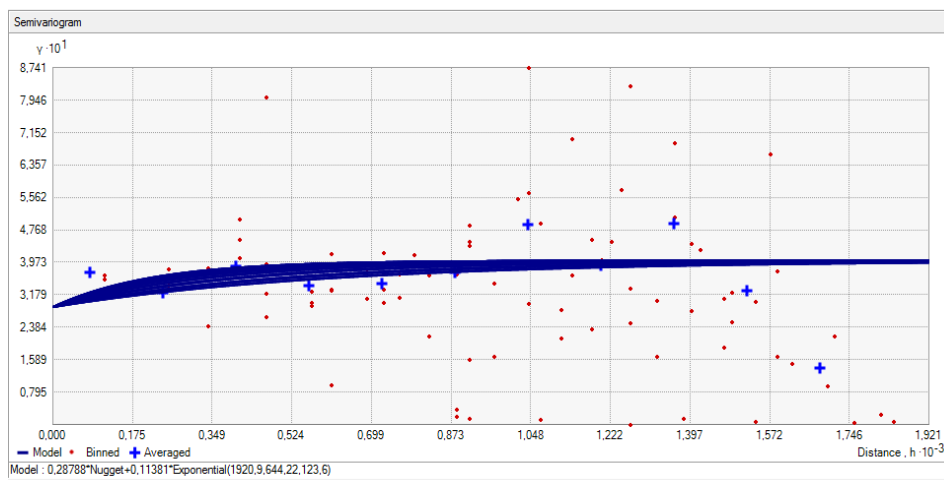
Tabel 9: Semivariogram teoritis nikel

Layer	Model	Nugget	Partial Sill	dir	Range			RMSE
					Vertikal	Minor	Major	
1	Eksponensial	0,287	0,113	123,57	214	644,2156	1920,937	0,617
4	Gauss	0,475	0,227	164,53	200	673,7165	1920,937	0,754

Tabel 10: Semivariogram teoritis besi

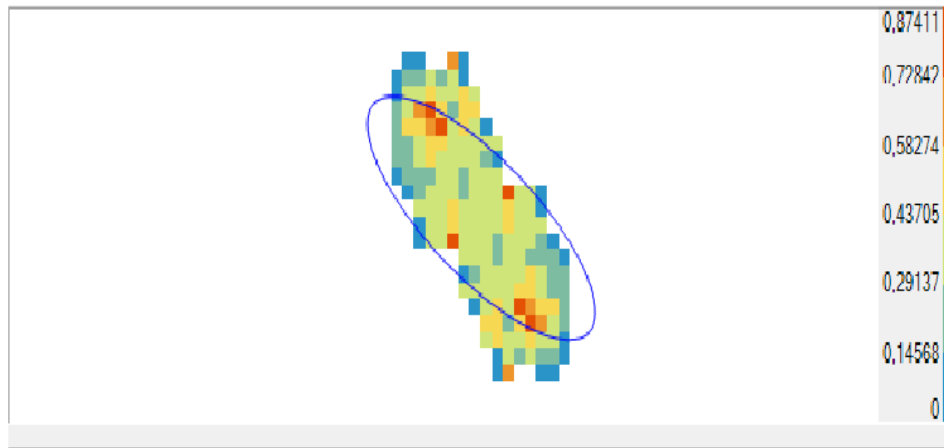
Layer	Model	Nugget	Partial Sill	dir	Range			RMSE
					Vertikal	Minor	Major	
1	Gauss	0,211	0,051	132,36	200	644,2156	1920,937	0,508
4	Gauss	0,263	0,137	20,917	150	209,1144	463,5743	0,656

Dari tabel diatas diperoleh informasi – informasi semivariogram teoritis yang terpilih dan dibawah ini adalah gambaran dari semivariogram teoritisnya.



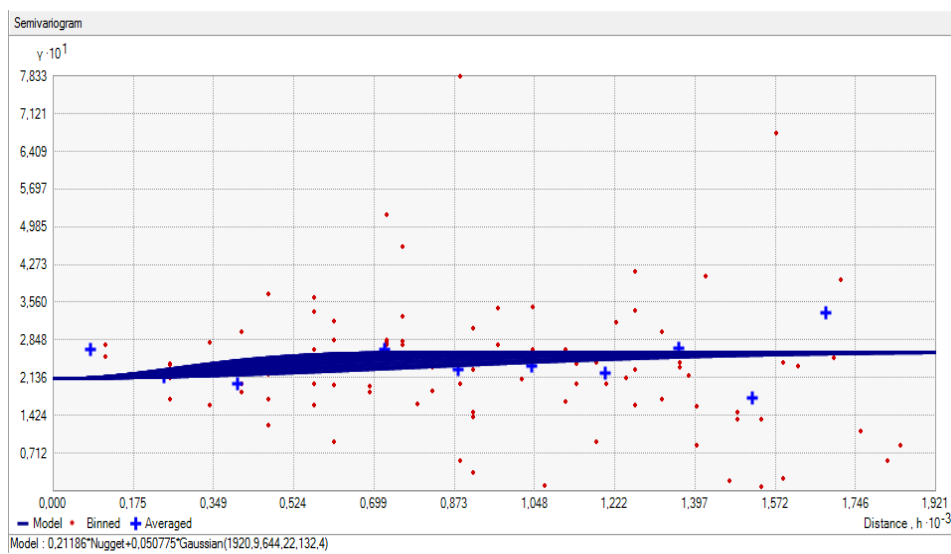
Gambar 4-6 fitting semivariogram nikel model eksponensial layer 1

Pada nikel, semivariogram yang terpilih yaitu model eksponensial yang ditunjukkan pada Gambar 4-6 diatas. Gambar tersebut secara jelas menunjukkan bahwa model semivariogram terbentuk pada setiap arah yang memiliki sifat anisotropi sehingga menghasilkan parameter – parameter yang kemudian membentuk suatu elips untuk proses estimasi seperti pada gambar dibawah ini.



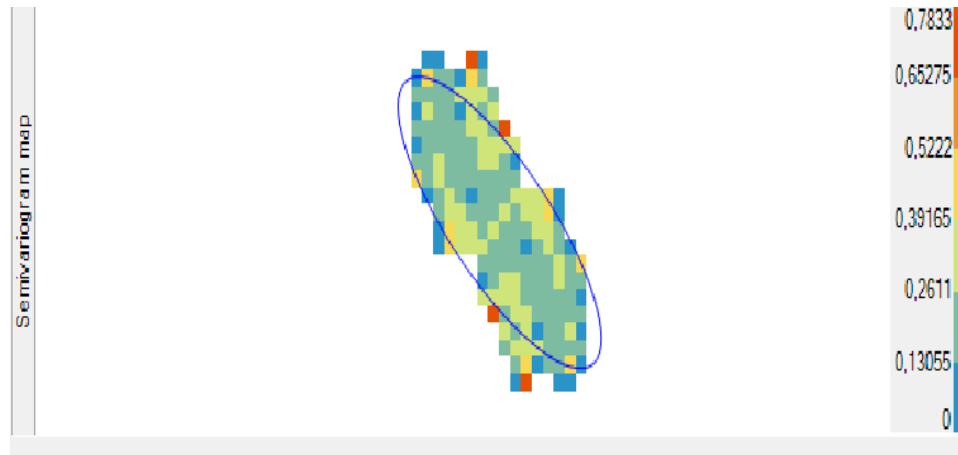
Gambar 4-7 semivariogram map nikel model eksponensial layer 1

Gambar diatas merupakan pengaplikasian dari parameter – parameter semivariogram yakni *sill*, *range major* dan *range minor* sehingga pada pengestimasiannya dilakukan hanya menggunakan titik – titik terdekatnya saja yang berada didalam elips dan sumbu utama terletak sekitar derajat 123,5742 atau NW-SE. Dengan kata lain dapat dikatakan bahwa arah untuk memprediksi kadar nikel layer 1 mengikuti arah NW-SE.



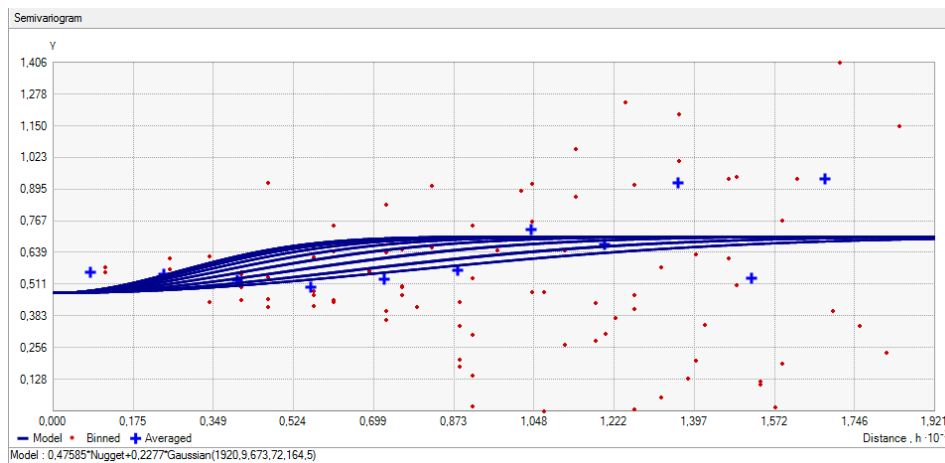
Gambar 4-8 fitting semivariogram besi model gauss layer 1

Pada besi, semivariogram yang terpilih yaitu model gauss yang ditunjukkan pada Gambar 4-8 diatas. Gambar tersebut secara jelas menunjukkan bahwa model semivariogram terbentuk pada setiap arah yang memiliki sifat anisotropi sehingga menghasilkan parameter – parameter yang kemudian membentuk suatu elips untuk proses estimasi seperti pada gambar dibawah ini.



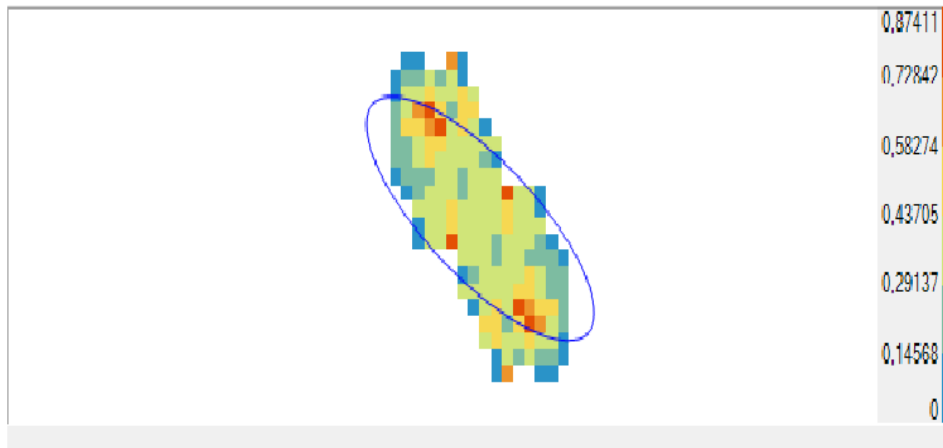
Gambar 4-9 semivariogram map besi model Gauss layer 1

Gambar diatas merupakan pengaplikasian dari parameter – parameter semivariogram yakni *sill*, *range major* dan *range minor* sehingga pada pengestimasiannya dilakukan hanya menggunakan titik – titik terdekatnya saja yang berada didalam elips dan sumbu utama terletak sekitar derajat 132,3633 atau NW-SE. Dengan kata lain dapat dikatakan bahwa arah untuk memprediksi kadar besi layer 1 mengikuti arah NW-SE.



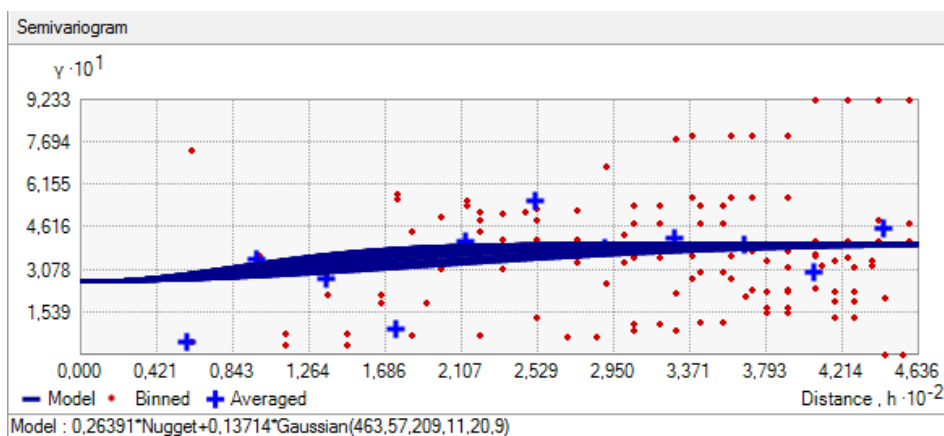
Gambar 4-10 fitting semivariogram nikel model gauss pada layer 4

Sama seperti layer 1, pada layer 4 nikel memiliki model semivariogram yang bersifat anisotropi dengan menampilkan grafik setiap arah sehingga menghasilkan parameter – parameter yang kemudian membentuk suatu elips untuk proses estimasi seperti pada gambar dibawah ini.



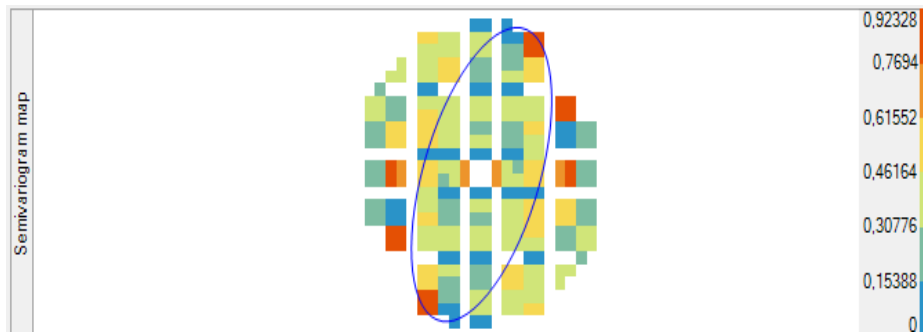
Gambar 4-11 semivariogram map nikel model Gauss pada layer 4

Gambar diatas merupakan pengaplikasian dari parameter – parameter semivariogram yakni *sill*, *range major* dan *range minor* sehingga pada pengestimasiannya dilakukan hanya menggunakan titik – titik terdekatnya saja yang berada didalam elips. Sumbu utama terletak sekitar derajat 164,5313 atau SSE-NNW. Dengan kata lain dapat dikatakan bahwa arah untuk memprediksi kadar nikel pada layer 4 mengikuti arah SSE-NNW.



Gambar 4-12 fitting semivariogram besi model gauss pada layer 4

Seperti halnya pada model – model sebelumnya, model diataspun memiliki karakteristik yang sama dan berikut semivariogram map dari model diatas.



Gambar 4-13 semivariogram map besi model Gauss pada layer 4

Gambar diatas merupakan pengaplikasian dari parameter – parameter semivariogram yakni *sill*, *range major* dan *range minor* sehingga pada pengestimasiannya dilakukan hanya menggunakan titik – titik terdekatnya saja yang berada didalam elips. Elips pada permukaan semivariogram menunjukkan kisaran semivariogram dalam arah yang berbeda. Dalam hal ini, sumbu utama terletak sekitar derajat 20,91797 atau NNE-SSW. Dengan kata lain dapat dikatakan bahwa arah untuk memprediksi kadar besi pada layer 4 mengikuti arah NNE-SSW.

4.3 Peta Geologi Dengan Universal kriging

Peta geologi merupakan hasil akhir dari pengestimasi yang memberikan informasi kadar dan variansinya. Tampilan dari hasil estimasi merupakan suatu blok yang terbentuk dari batasan – batasan setiap koordinat yang bertujuan untuk membatasi wilayah estimasi supaya berada disekitaran datanya saja. Batasan yang digunakan untuk data ini yaitu sebagai berikut :

Grid Dimensions

Number of cells in X

Number of cells in Y

Number of cells in Z

Cell Size

The dimensions of a single cell

Size in X

Size in Y

Size in Z

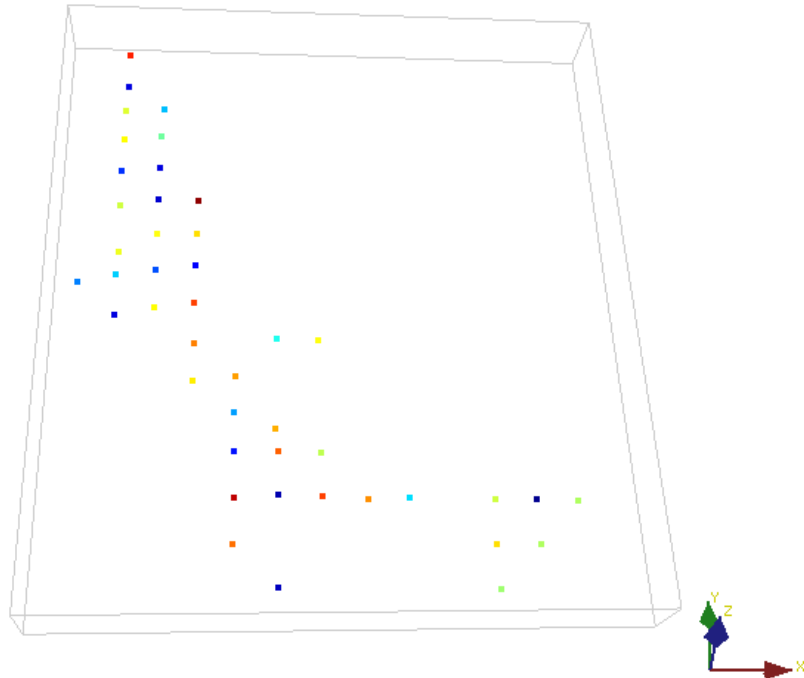
Origin Coordinates

The coordinates of the lower left corner of the grid

Ox Oy Oz

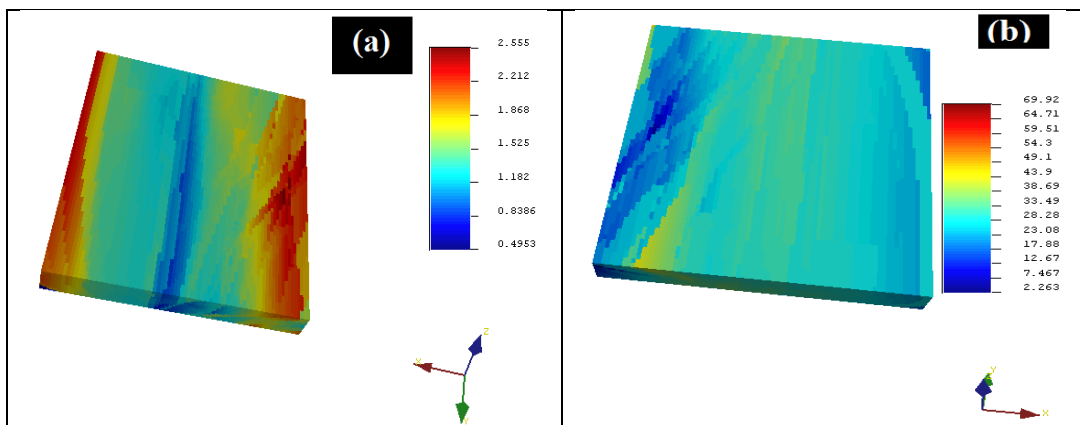
Gambar 4-14 Grid data

Dengan menggunakan ukuran grid seperti pada gambar diatas, maka terbentuk suatu blok yang membatasi wilayah estimasi seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 4-15 Blok data estimasi

Setelah dilakukan penentuan ukuran blok, selanjutnya dilakukan proses estimasi universal kriging dengan parameter – parameter yang telah didapat pada tahapan sebelumnya. Adapun hasil dari estimasi geologi 3D dengan universal kriging disajikan pada Gambar 4-16 sampai Gambar 4-19.

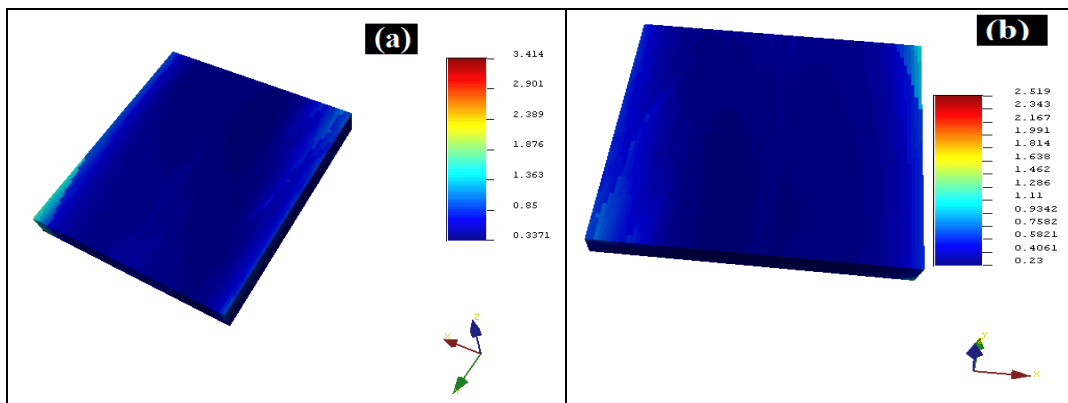


Gambar 4-16 Peta geologi 3D kadar layer 1,

(a) kadar nikel . (b) kadar besi

Dari gambar diatas warna blok pada nikel didominasi warna hijau kebiruan. Berdasarkan legend, dapat diperoleh informasi bahwa warna tersebut menunjukkan kadar nikel berada di level 1,182% – 1,868%. Sedangkan pada besi terlihat bahwa blok didominasi oleh warna biru muda yang menunjukkan bahwa kadar besi berada pada level 23% – 28%.

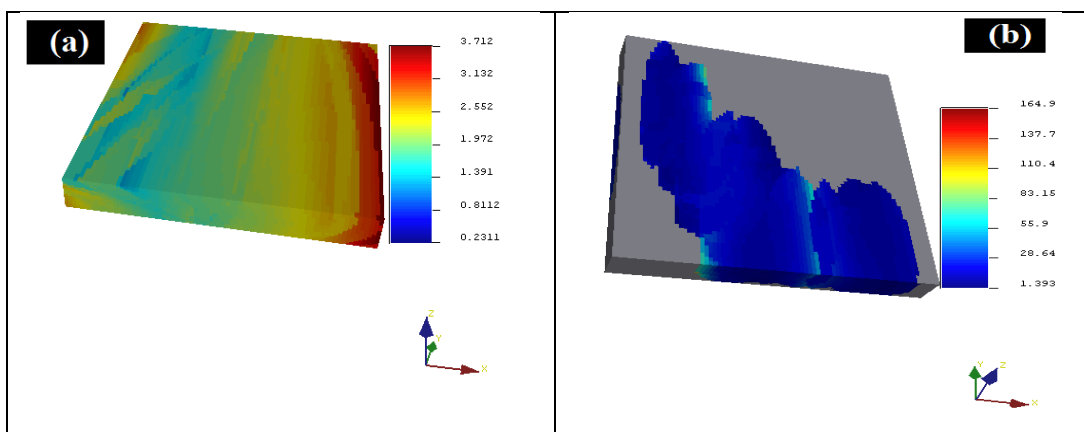
Berdasarkan referensi tentang kandungan nikel [4] [5], dapat disimpulkan bahwa kadar nikel yang terkandung pada layer 1 jenis nikelnya adalah Limonite. Hal tersebut didukung oleh nilai variansi yang ditunjukkan pada gambar 4-17 yaitu untuk nikel 0,3371 dan besi 0,23.



Gambar 4-17 Peta geologi 3D variansi layer 1,

(a) variansi nikel. (b) variansi besi.

Selanjutnya untuk peta geologi layer 4 ditampilkan pada Gambar 4-18 dan Gambar 4-19.

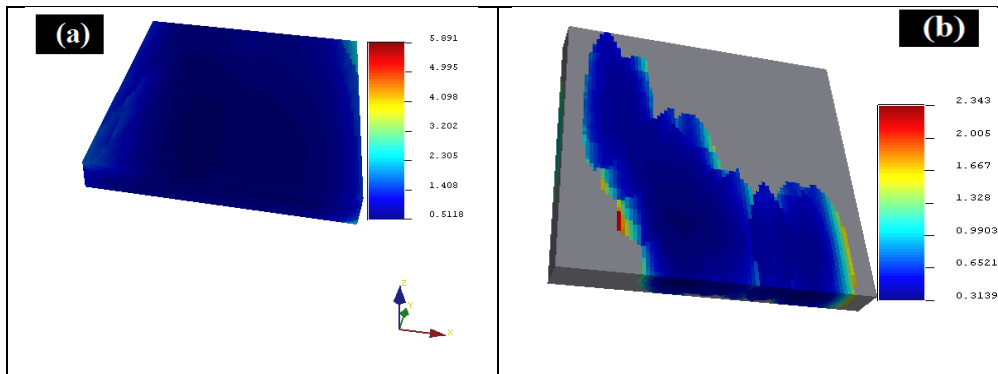


Gambar 4-18 Peta geologi 3D kadar layer 4,

(a) kadar nikel. (b) kadar besi

Dari gambar diatas warna blok pada nikel didominasi warna hijau kekuningan. Berdasarkan legend, dapat diperoleh informasi bahwa warna tersebut menunjukkan kadar nikel berada di level 1,972% – 2,552%. Sedangkan pada besi terlihat bahwa blok didominasi oleh warna biru yang menunjukkan bahwa kadar besi berada pada 15,0165% – 28,64% .

Berdasarkan referensi tentang kandungan nikel [4] [5], dapat disimpulkan bahwa kadar nikel pada layer 4 jenis nikelnya adalah Low Grade Saprolite Ore. Hal tersebut didukung oleh nilai variansi yang ditunjukkan pada *Gambar 4-19* yaitu untuk nikel 0,5118 dan besi 0,3139.



25Gambar 4-19 Peta geologi 3D variansi layer 4,

(a) variansi nikel. (b) variansi besi.

Dari hasil keseluruhan yang telah diperoleh bahwa metode universal kriging ini menghasilkan nilai variansi yang minimum. Berdasarkan referensi [14] semakin kecil nilai variansi maka akurasi estimasi semakin baik.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- Implementasi universal kriging pada pemodelan geologi 3D untuk kadar nikel dan besi dilakukan terlebih dahulu memastikan bahwa data bersifat nonstasioner dan selanjutnya menentukan model semivariogram 3D yang terdiri dari gabungan tiga *range* vertikal, minor dan major dengan model yang terbaik adalah eksponensial untuk nikel layer 1, gaus untuk besi layer 1 kemudian gaus untuk nikel dan besi layer 4.
- Berdasarkan hasil estimasi dengan universal kriging diperoleh informasi bahwa pada layer 1 jenis nikelnya adalah Limonite dengan kandungan nikel 1,182% – 1,868% dan besi 12,2558% – 25,71308% yang memiliki variansi 0,3371 untuk nikel dan 0,23 untuk besi. Sedangkan untuk layer 4 bahwa jenis nikelnya adalah Low Grade Saprolite Ore dengan kandungan nikel berada pada level 1,972% – 2,552% dan kandungan besi pada level 15,0165% – 28,64% yang memiliki variansi 0,5118 untuk nikel dan 0,3139 untuk besi, semakin kecil nilai variansi maka akurasi estimasi semakin baik.

5.2 Saran

Dalam penyempurnaan ataupun perbaikan tugas ini dapat dilakukan dengan membuat suatu program atau algoritma yang bisa mengeksekusi dalam pengolahan data hingga menampilkan hasil dalam satu pemrosesan saja sehingga dapat efisien waktu dalam pengerjaannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Mastromatteo, "Nickel: A Review of Its Occupational Health Aspects," *Journal of Occupational Medicine*, vol. 9, no. 3, pp. 127-136, Mar. 1967.
- [2] S. Unknown, K. Anggayana, and D. Guntoro, "Karakteristik Mineralogi Endapan Nikel Laterit di Daerah Titanggea Kabupaten Konawe Selatan Sulawesi Tenggara," 2011.
- [3] J. L. Gerberdig, "Toxicological Profile for Nickel," *Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry*, p. 11, Aug. 2005.
- [4] antam.com. [Online].
http://www.antam.com/index.php?option=com_content&task=view&id=35&Itemid=41&lang=id
- [5] digilib.itb.ac.id. [Online]. <http://digilib.itb.ac.id/files/disk1/619/jbptitbpp-gdl-fatahgunaw-30940-3-2008ta-2.pdf>
- [6] P. C. J, A. C, G. A, and L. T, "Modelling the Geometry of Geological Units and its Uncertainty in 3D From Structural Data: The Potential-Field Method," Nov. 2004.
- [7] J. Pouliot, K. Bédard, D. Kirkwood, and B. Lachance, "Reasoning about geological space: Coupling 3D GeoModels and topological queries as an aid to spatial data selection," *Computers & Geosciences*, vol. 34, no. 5, pp. 529-541, May 2008.
- [8] P. Calcagno, J. P. Chilès, G. Courrioux, and A. Guillen, "Geological modelling from field data and geological knowledge Part I. Modelling method coupling 3D potential-field interpolation and geological rules," *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, pp. 147-157, Jun. 2008.
- [9] N. Cressie, *Statistics For spatial Data Revised Edition*. New York: John Wiley and Sons, 1993.
- [10] M. Armstrong, "Basic Linear Geostatistics," in *Basic Linear Geostatistics*. Fontainebleau, 1998.
- [11] <http://climate.umn.edu/>. [Online].
http://climate.umn.edu/snow_fence/components/winddirectionanddegreeswithouttable3.htm
- [12] r. o. gilbert and j. c. simpson, "Kriging For estimating Spatial Pattern Of Contaminants : Potential and Problems," Nov. 1983.

- [13] K. Krivoruchko and E. Krause, "Concepts and Applications of Kriging," *Esri international User Conference*, Jul. 2012.
- [14] S. Zhou, Y. Zhou, M. Wang, X. Xin, and F. Chen, "Thickness, porosity, and permeability prediction : comparative studies and application of the geostatistical modeling in an oil field," *Environmental system research*, 2014.

LAMPIRAN

Lampiran 1

$$\begin{aligned}
 \sigma^2(e(s_0)) &= E[(\hat{Z}(s_0) - E[\hat{Z}(s_0)])^2] \\
 &= E[(\hat{Z}(s_0)\hat{Z}(s_0) - \hat{Z}(s_0)E[\hat{Z}(s_0)] - \hat{Z}(s_0)E[\hat{Z}(s_0)] \\
 &\quad + E[\hat{Z}(s_0)]E[\hat{Z}(s_0)])] \\
 &= E[\hat{Z}(s_0)\hat{Z}(s_0)] - 2E[\hat{Z}(s_0)]E[Z(s_0)] + E[Z(s_0)]E[Z(s_0)] \\
 &= cov[\hat{Z}(s_0)\hat{Z}(s_0)] - 2cov[\hat{Z}(s_0)Z(s_0)] + cov[Z(s_0)Z(s_0)]
 \end{aligned}$$

Lampiran 2

$$\begin{aligned}
 \text{Jika } \hat{Z}(s_0) &= \sum \lambda Z(s_0) \\
 cov[\hat{Z}(s_0)\hat{Z}(s_0)] &= E[(\hat{Z}(s_0) - E[\hat{Z}(s_0)]) - ((\hat{Z}(s_0) - E[\hat{Z}(s_0)]) \\
 &= E[(\hat{Z}(s_0)\hat{Z}(s_0) - \hat{Z}(s_0)E[\hat{Z}(s_0)] - \hat{Z}(s_0)E[\hat{Z}(s_0)] \\
 &\quad + E[\hat{Z}(s_0)]E[\hat{Z}(s_0)])] \\
 &= \\
 E[\hat{Z}(s_0)\hat{Z}(s_0)] - E[\hat{Z}(s_0)]E[Z(s_0)] - E[\hat{Z}(s_0)]E[Z(s_0)] + \\
 E[\hat{Z}(s_0)]E[\hat{Z}(s_0)] \\
 &= E[\hat{Z}(s_0)\hat{Z}(s_0)] - \hat{Z}(s_0)\hat{Z}(s_0) \\
 &= C_{00} - \sum \lambda Z(s) \sum \lambda Z(s) \\
 &= C_{00} - \sum \sum \lambda_i \lambda_j \gamma(s_i - s_j) \\
 -2cov[\hat{Z}(s_0)Z(s_0)] &= -2E[(\hat{Z}(s_0) - E[\hat{Z}(s_0)]) - (Z(s_0) - E[Z(s_0)])] \\
 &= -2E[\hat{Z}(s_0)\hat{Z}(s_0) - \hat{Z}(s_0)E[\hat{Z}(s_0)] - \hat{Z}(s_0)E[\hat{Z}(s_0)] \\
 &\quad + E[\hat{Z}(s_0)]E[Z(s_0)]] \\
 &= -2E[\hat{Z}(s_0)\hat{Z}(s_0)] + 2E[\hat{Z}(s_0)]E[Z(s_0)] + 2E[\hat{Z}(s_0)]E[Z(s_0)] \\
 &\quad - 2E[Z(s_0)]E[\hat{Z}(s_0)] \\
 &= -2C_{00} + 2E[\hat{Z}(s_0)]E[Z(s_0)] \\
 &= -2C_{00} + \sum \lambda_i \gamma(s_i - s_0) \\
 cov[Z(s_0)Z(s_0)] &= \sigma^2 = C_{00}
 \end{aligned}$$

Lampiran 3

- Turunan parsial pertama terhadap λ_i ,

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_i} = \frac{\partial}{\partial \lambda_i} \left[- \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(s_i - s_j) + 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(s_i - s_0) + 2m_0 \left(1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i \right) + 2 \sum_{j=1}^p m_j \left(f_j(s_0) - \sum_{i=1}^n \lambda_i f_j(s_i) \right) \right]$$

Untuk $i = 1$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_1} = \frac{\partial}{\partial \lambda_1} \left[-2\lambda_1 \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(s_1 - s_j) + 2\lambda_1 \gamma(s_1 - s_0) + 2m_0 - (1 - \lambda_1) + 2 \sum_{j=1}^p m_j \left(f_j(s_0) - \lambda_1 f_j(s_1) \right) \right] = 0$$

$$= -2 \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(s_1 - s_j) + 2\gamma(s_1 - s_0) - 2m_0 - 2 \sum_{j=1}^p m_j f_j(s_1) = 0$$

$$2 \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(s_1 - s_j) + 2m_0 + 2 \sum_{j=1}^p m_j f_j(s_1) = 2\gamma(s_1 - s_0)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(s_1 - s_j) + m_0 + \sum_{j=1}^p m_j f_j(s_1) = \gamma(s_1 - s_0)$$

Secara umum , persamaan diatas dapat di tulis sebagai berikut:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(s_k - s_j) + m_0 + \sum_{j=1}^p m_j f_j(s_k) = \gamma(s_k - s_0)$$

Untuk $k=1$

- Turunan parsial pertama terhadap m_0

$$\frac{\partial L}{\partial m_0} =$$

$$\frac{\partial}{\partial m_0} \left[- \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(s_i - s_j) + 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(s_i - s_0) + 2m_0 \left(1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i \right) + 2 \sum_{j=1}^p m_j \left(f_j(s_0) - \sum_{i=1}^n \lambda_i f_j(s_i) \right) \right] = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial m_0} = 2 \left(1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i \right) = 0$$

$$1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

- Turunan parsial terhadap m_j , dimana $j=1, \dots, p$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial m_j} = \frac{\partial}{\partial m_j} & \left[- \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(s_i - s_j) \right. \\ & + 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(s_i - s_0) + 2m_0 \left(1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i \right) \\ & \left. + 2m_1 \left(f_j(s_0) - \sum_{i=1}^n \lambda_i f_1(s_i) \right) \right] = 0 \end{aligned}$$

$$\frac{\partial L}{\partial m_j} = 2 \left(f_1(s_0) - \sum_{i=1}^n \lambda_i f_1(s_i) \right) = 0$$

$$f_1(s_0) - \sum_{i=1}^n \lambda_i f_1(s_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i f_1(s_i) = f_1(s_0)$$

Secara umum , persamaan diatas dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{\partial L}{\partial m_k} = 2 \left(f_k(s_0) - \sum_{i=1}^n \lambda_i f_k(s_i) \right) = 0$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i f_k(s_i) = f_k(s_0) \quad \text{untuk } k=1, \dots, p$$

Lampiran 4

Data pada layer 1 (kiri) dan layer 4 (kanan)

X	Y	Z	Ni	Fe
551,17	1500,72	17,47	2,00	18,85
651,17	1500,72	53,57	1,99	22,47
651,17	1400,72	32,47	1,37	12,68
751,17	1400,72	73,71	1,82	35,53
651,17	1575,72	37,08	2,28	34,04
651,17	1700,72	59,79	2,30	32,72
751,17	1500,72	86,52	2,26	16,85
751,17	1600,72	84,92	1,51	34,94
751,17	1700,72	89,42	2,14	12,01
651,17	1800,72	64,72	2,00	15,57
651,17	1900,72	62,15	1,94	35,34
651,17	2000,72	49,28	1,99	33,33
651,17	2100,72	20,35	0,97	12,63
751,17	1800,72	81,62	3,41	12,54
751,17	1900,72	78,23	0,84	29,14
751,17	2000,72	57,45	2,15	21,58
651,17	2200,72	31,35	1,17	44,33
851,17	1700,72	88,22	1,22	50,72
851,17	1600,72	88,45	0,87	36,63
851,17	1500,72	110,81	2,32	13,58
851,17	1400,72	102,60	1,31	43,42
1051,17	1300,72	113,30	0,98	25,84
1151,17	1300,72	112,61	1,32	34,92
851,17	1300,72	88,05	1,70	40,44
851,17	1200,72	93,54	1,54	36,34
951,17	1200,72	121,80	1,29	39,58

X	Y	Z	Ni	Fe
551,17	1500,72	14,47	2,41	18,17
651,17	1500,72	50,57	2,02	16,15
651,17	1400,72	29,47	2,40	8,25
751,17	1400,72	70,71	1,35	11,26
651,17	1575,72	34,08	2,62	11,93
651,17	1700,72	56,79	2,36	15,51
751,17	1500,72	83,52	1,93	9,25
751,17	1600,72	81,92	1,82	14,91
751,17	1700,72	86,42	0,67	7,25
651,17	1800,72	61,72	0,89	7,11
651,17	1900,72	59,15	2,40	10,40
651,17	2000,72	46,28	2,99	11,60
651,17	2100,72	17,35	1,24	10,51
751,17	1800,72	78,62	3,51	8,28
751,17	1900,72	75,23	0,54	6,93
751,17	2000,72	54,45	1,66	11,20
651,17	2200,72	28,35	1,57	49,85
851,17	1700,72	85,22	1,19	37,84
851,17	1600,72	85,45	0,70	30,66
851,17	1500,72	107,81	1,67	8,15
851,17	1400,72	99,60	1,31	46,91
1051,17	1300,72	110,30	1,12	22,66
1151,17	1300,72	109,61	2,94	8,73
851,17	1300,72	85,05	1,33	18,16
851,17	1200,72	90,54	2,27	12,36
951,17	1200,72	118,80	1,36	37,42

951,17	1100,72	140,19	1,95	20,34
1051,17	1100,72	41,20	1,51	38,54
951,17	1000,72	161,19	2,52	14,63
1051,17	1000,72	160,50	1,06	42,04
1151,17	1000,72	156,30	1,04	32,10
951,17	900,72	137,20	1,00	48,53
1051,17	900,72	155,23	2,46	10,41
1151,17	900,72	147,20	2,05	43,48
951,17	800,72	118,60	1,22	41,29
1051,17	700,72	133,90	2,32	11,27
1256,17	900,72	125,39	1,09	40,29
1351,17	900,72	132,00	0,45	22,91
1551,17	900,72	122,70	0,96	32,65
1651,17	900,72	117,80	2,52	9,06
1751,17	900,72	106,50	1,39	31,53
1551,17	800,72	104,20	1,30	37,07
1651,17	800,72	109,80	1,30	31,32
1551,17	700,72	100,90	1,11	30,98

951,17	1100,72	137,19	1,83	12,86
1051,17	1100,72	38,20	1,77	40,75
951,17	1000,72	158,19	2,31	17,32
1051,17	1000,72	157,50	1,21	40,04
1151,17	1000,72	153,30	2,28	18,45
951,17	900,72	134,20	1,22	46,03
1051,17	900,72	152,23	1,64	7,85
1151,17	900,72	144,20	3,19	8,29
951,17	800,72	115,60	2,06	20,79
1051,17	700,72	130,90	1,49	8,10
1256,17	900,72	122,39	2,04	12,16
1351,17	900,72	129,00	1,16	41,08
1551,17	900,72	119,70	2,23	10,12
1651,17	900,72	114,80	2,95	7,74
1751,17	900,72	103,50	2,26	11,52
1551,17	800,72	101,20	3,02	7,94
1651,17	800,72	106,80	3,55	9,45
1551,17	700,72	97,90	1,11	33,35