



TUGAS AKHIR - RF184838

PERBANDINGAN METODE *SEQUENTIAL GAUSSIAN SIMULATION* PADA RESISTIVITAS 2D DENGAN METODE RESISTIVITAS 3D DALAM PEMODELAN RESISTIVITAS 3D

FAIZ MUHAMMAD EKA PUTRA
NRP. 0341154000034

Dosen Pembimbing :
Dr. WIDYA UTAMA, DEA
FIRMAN SYAIFUDDIN, S.Si, MT

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - RF184838

PERBANDINGAN METODE *SEQUENTIAL GAUSSIAN SIMULATION* PADA RESISTIVITAS 2D DENGAN METODE RESISTIVITAS 3D DALAM PEMODELAN RESISTIVITAS 3D

FAIZ MUHAMMAD EKA PUTRA
NRP. 0341154000034

Dosen Pembimbing :
Dr. WIDYA UTAMA, DEA
FIRMAN SYAIFUDDIN, S.Si, MT

Departemen Teknik geofisika
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - RF184838

**COMPARISON OF *SEQUENTIAL GAUSSIAN SIMULATION*
METHODS OF 2D RESISTIVITY WITH 3D RESISTIVITY
METHODS IN 3D RESISTIVITY MODELLING**

FAIZ MUHAMMAD EKA PUTRA
NRP. 0341154000034

Advisors :
Dr. WIDYA UTAMA, DEA
FIRMAN SYAIFUDDIN, S.Si, MT

Department of Geophysical Engineering
Faculty of civil, Environmental and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Suarabaya, 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh :

Nama : Faiz Muhammad Eka Putra
NRP : 0341154000034
Departemen : Teknik Geofisika
Judul Tugas Akhir : Perbandingan Metode *Sequential Gaussian Simulation* pada Resistivitas 2D dengan Metode Resistivitas 3D dalam Pemodelan Resistivitas 3D

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 19 Juli 2019

1. Dr. Widya Utama, DEA (Pembimbing 1)
NIP. 19611024 198803 1 001
2. Firman Syarifuddin, S.Si, MT (Pembimbing 2)
NIP. 19840911 201404 1 001
3. Dr. Ir. Amien Widodo M.Si. (Penguji 1)
NIP. 19591010 198803 1 001
4. Anik Hilyah, S.Si, MT (Penguji 2)
NIP. 19790813 200812 2 002

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Petrofisika
Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya



Wien Lestari, ST., M.T.

NIP. 198110022012122003

v

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERBANDINGAN METODE *SEQUENTIAL GAUSSIAN SIMULATION* PADA RESISTIVITAS 2D DENGAN METODE RESISTIVITAS 3D DALAM PEMODELAN RESISTIVITAS 3D

Nama Mahasiswa : Faiz Muhammad Eka Putra
NRP : 0341154000034
Departemen : Teknik Geofisika
Pembimbing : Dr. Widya Utama, DEA
Firman Syaifuddin, S.Si, MT.

ABSTRAK

Metode Geolistrik Resistivitas 3D secara teori dapat menggambarkan kondisi bawah permukaan secara akurat dengan biaya yang relatif mahal. Sehingga untuk area yang luas survei ini lebih jarang digunakan daripada metode resistivitas 2D. Metode *Sequential Gaussian Simulation* merupakan salah satu alternatif untuk memodelkan kondisi bawah permukaan bumi secara 3D dari data resistivitas 2D. Dibuat model awal resistivitas yang terdapat dua lapisan. Lapisan pertama memiliki nilai resistivitas $10 \Omega\text{m}$ dan lapisan kedua memiliki nilai resistivitas $5 \Omega\text{m}$ yang terletak di bawah lapisan pertama. Kemudian dilakukan forward modelling pada metode resistivitas 2D dan metode resistivitas 3D untuk mendapatkan nilai resistivitas semu. Setelah itu dilakukan proses inversi data pada masing – masing metode untuk mendapatkan gambaran kondisi bawah permukaan dari model awal. Untuk pemodelan 3D pada metode resistivitas 2D menggunakan metode *Sequential Gaussian Simulation*. Pada penggunaannya dibutuhkan data analisis yaitu data harus terdistribusi normal dan membuat variogram sebagai acuan pemodelan 3D. Pemodelan 3D pada metode resistivitas 3D hanya diperlukan proses inversi data. Hasil Pemodelan 3D dengan metode *Sequential Gaussian Simulation* dapat menyamai model 3D dari resistivitas 3D. Didapati nilai resistivitas yang tidak jauh berbeda dari kedua model yaitu untuk lapisan 1 nilai resistivitas sekitar $10 \Omega\text{m}$ dan untuk lapisan kedua yaitu sekitar $5 \Omega\text{m}$. Selain itu model dapat menunjukkan kondisi bawah permukaan dengan baik.

Kata kunci : Resistivitas 2D, Resistivitas 3D, *Sequential Gaussian Simulation*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

COMPARISON OF SEQUENTIAL GAUSSIAN SIMULATION METHODS OF 2D RESISTIVITY WITH 3D RESISTIVITY METHODS IN 3D RESISTIVITY MODELLING

Name : Faiz Muhammad Eka Putra
NRP : 0341154000034
Department : Teknik Geofisika
Advisors : Dr. Widya Utama, DEA
Firman Syaifuddin, S.Si, MT.

ABSTRACT

3D resistivity method theoretically can describe subsurface conditions accurately at relatively expensive cost. So that for large areas this survey is less frequently used than 2D resistivity methods. Sequential Gaussian Simulation method is an alternative to describe the subsurface conditions in 3D from 2D resistivity data. The initial resistivity model is made with two layers. The first layer has a resistivity value 10 Ωm and the second layer has a resistivity value 5 Ωm which is located below the first layer. Then forward modelling is applied to 2D resistivity method and 3D resistivity method to get apparent resistivity values. After that inversion process is applied to both of resistivity method to get a picture of the subsurface conditions of initial resistivity model. 3D modeling of 2D resistivity method using the Sequential Gaussian Simulation method. In its applications data analysis is needed, the data must be normally distributed and make variogram as a reference of 3D modelling. 3D modelling in 3D resistivity method only requires data inversion. The results of 3D modeling with the Sequential Gaussian Simulation method can match the 3D model of 3D resistivity. The resistivity value found is not much different from the two models, namely, for layer 1 the resistivity value is around 10 Ωm and for the second layer is around 5 Ωm . In addition, the model can show subsurface conditions well.

Keywords : 2D Resistivity, 3D Resistivity, Sequential Gaussian Simulation.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas rahmat-Nya laporan Tugas Akhir yang berjudul “Perbandingan Metode *Sequential Gaussian Simulation* pada Resistivitas 2D dengan Metode Resistivitas 3D dalam Pemodelan Resistivitas 3D” ini dapat terselesaikan. Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tidak dapat terlaksanakan dengan baik tanpa bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah, Ibu, Tsania, Tsalisa dan semua keluarga yang memberikan dukungan moril maupun materi selama penulis menjalani tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Widya Utama, DEA dan Bapak Firman Syaifuddin, S.Si., M.T. selaku pembimbing di perguruan tinggi yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.
3. Tim Tugas Akhir JIPE (Sasa, Nadya, Widodo, Billy, Mirza, Risky, dan Mas Taufik) yang telah membantu dalam pengambilan data resistivitas dilapangan, pengolahan data, hingga pembuatan laporan Tugas Akhir.
4. Teman - teman yang senantiasa menemani dan membantu penulis saat mengerjakan Tugas Akhir di Lab. Komputasi.
5. Seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah banyak memberikan ilmu dan membantu secara administrasi selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
6. Seluruh teman-teman Teknik Geofisika ITS angkatan 2015 atas semangat dan dukungannya.
7. Kakak tingkat penulis (TG-03) serta adik tingkat penulis (TG-05 dan TG-06) yang selalu menyemangati dan menghibur penulis.
8. Keluarga besar Kontrasol yang sudah menemani penulis dalam perantauannya. Salam Gedang Sak Wit e
9. Anggota Warkuy TG Family yang selalu menemani penulis ketika di warkuy.
10. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat dituliskan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan dan hasil tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini membawa manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya 19 Juli 2019

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tugas akhir saya dengan judul “Perbandingan Metode *Sequential Gaussian Simulation* pada Resistivitas 2D dengan Metode Resistivitas 3D dalam Pemodelan Resistivitas 3D” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 19 Juli 2019

Faiz Muhammad Eka Putra
NRP. 0341154000034

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	xi
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah.....	1
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
1.6 Target Luaran.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Dasar Teori	3
2.1.1 Sifat Kelistrikan Batuan.....	3
2.1.2 Resistivitas 3D.....	5
2.1.2.1 Desain Akuisisi Resistivitas 3D.....	5
2.1.3 Metode Geostatistik	6
2.1.3.1 Variogram	6
2.1.3.1.1 Variogram Eksperimental	7
2.1.3.2 Varian.....	9
2.1.4 Two Point Statistic.....	9
2.1.5 Sequential Gaussian Simulation	10
2.2 Penelitian Terdahulu	10
BAB III METODE PENELITIAN	13
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	13
3.2 Data Penelitian.....	13

3.3 Alat dan Perangkat Lunak	13
3.4 Tahapan Penelitian	13
3.5 Pengolahan Data.....	15
3.5.1 Model awal dan <i>Forward modelling</i>	15
3.5.1.1 Model awal	15
3.5.1.2 Forward modelling 2D	15
3.5.1.3 Forward modelling 3D	17
3.5.2 Akuisisi Data Resistivitas.....	17
3.5.3 Inversi Resistivitas 2D dan Resistivitas 3D.....	18
3.5.3.1 Inversi Resistivitas 2D.....	18
3.5.3.2 Inversi Resistivitas 3D.....	19
3.5.4 Pemodelan 3D	21
3.5.4.1 Pemodelan 3D resistivitas 2D	21
3.5.4.2 Pemodelan 3D Resistivitas 3D	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Analisis Data	25
4.2 Hasil Pengolahan Data	25
4.2.2 Hasil Inversi	32
4.2.3 Pemodelan 3D	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	xxi
LAMPIRAN	xxv
BIODATA.....	xxix

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Uniform Grid line (Loke, 1999)	5
Gambar 2. 2 Non-uniform rectangular grid (Loke, 1999).....	6
Gambar 2. 3 Grafik variogram spherical (M.A. Oliver dan R. Webster, 2015) 8	
Gambar 2. 4 Komponen-komponen dalam variogram (M.A. Oliver dan R. Webster, 2015).....	9
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	14
Gambar 3. 2 Desain lintasan resistivitas 2D.....	15
Gambar 3. 3 hasil forward modelling lintasan 1	16
Gambar 3. 4 hasil forward modelling lintasan 4	16
Gambar 3. 5 Desain lintasan resistivitas 3D.....	17
Gambar 3. 6 Peta Lintasan Akuisisi Geolistrik 2D	18
Gambar 3. 7 Penampang Resistivitas 2D Lintasan 1.....	19
Gambar 3. 8 Penampang Resistivitas 2D Lintasan 4.....	19
Gambar 3. 9 Penampang Resistivitas 2D lapangan lintasan 1	19
Gambar 3. 10 Penampang resistivitas 3D secara vertikal dengan software res3Dinv.(a) sumbu X dan Z, (b) sumbu Y dan Z	20
Gambar 3. 11 Penampang resistivitas 3D secara horizontal dengan software res3Dinv	20
Gambar 3. 12 Hasil Analisis Data Distribusi Normal	21
Gambar 3. 13 Hasil Analisis Data Variogram.....	22
Gambar 3. 14 Model 3D volume resistivitas 2D.....	22
Gambar 3. 15 Model 3D volume resistivitas 3D.....	23
Gambar 4. 1 Hasil forward modelling resistivitas 2D lintasan 1	26
Gambar 4. 2 Hasil forward modelling resistivitas 2D lintasan 2.....	27
Gambar 4. 3 Hasil forward modelling resistivitas 2D lintasan 3.....	28
Gambar 4. 4 Hasil forward modelling resistivitas 2D lintasan 4.....	29
Gambar 4. 5 Hasil forward modelling resistivitas 2D lintasan 5.....	30
Gambar 4. 6 Hasil forward modelling resistivitas 2D lintasan 6.....	31
Gambar 4. 7 Hasil forward modelling resistivitas 3D. (a) pseudosection resistivitas semu bidang horizontal, (b) model resistivitas 3D.....	32
Gambar 4. 8 (a) model resistivitas pada intasan 1, (b)Hasil inversi resistivitas 2D lintasan 1	33
Gambar 4. 9 Hasil inversi resistivitas 3D dan model resistivitas (a) model resistivitas 3D, (b) hasil inversi bidang horizontal, (c) hasil inversi bidang vertikal sumbu YZ, (d) hasil inversi bidang vertikal sumbu XZ.	35
Gambar 4. 10 Data analisis distribusi normal	36
Gambar 4. 11 Hasil data analisis variogram.....	37
Gambar 4. 12 Model 3D volume resistivitas 2D.....	38
Gambar 4. 13 Intersection model 3D resistivitas 2D.....	38

Gambar 4. 14 Model 3D volume resistivitas 3D	39
Gambar 4. 15 Intersection model 3D volume resistivitas 3D	39
Gambar 4. 16 Data analisis distribusi normal resistivitas 2D lapangan.....	40
Gambar 4. 17 Data analisis variogram resistivitas 2D lapangan.....	41
Gambar 4. 18 Model 3D volume resistivitas 2D lapangan	42
Gambar 4. 19 intersection model 3D resistivitas 2D lapangan	42
Gambar 4. 20 Model 3D volume resistivitas 3D lapangan	43
Gambar 4. 21 Proses forward modelling dari model 3D resistivitas 2D lapangan. a) model awal awal, b) hasil forward modelling.	44
Gambar 4. 22 Model 3D volume hasil forward modelling data resistivitas 2D.	45
Gambar 4. 23 Intersection model 3D volume hasil forward modelling data resistivitas 2D.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jangkauan nilai resistivitas batuan(Telford dkk., 1990).....	4
Tabel 2. 2 Nilai resistivitas litologi batuan (Aisha, 2018).....	10

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Metode Geolistrik resistivitas adalah metode geofisika yang memanfaatkan sifat kelistrikan batuan yaitu tahanan jenis (resistivitas). Metode ini digunakan untuk memetakan bentuk bawah permukaan bumi berdasarkan persebaran nilai resistivitas batuan (Loke, 1999). Survei resistivitas sudah banyak digunakan dan dikembangkan hingga muncul metode resistivitas 3D untuk mendapatkan bentuk bawah permukaan bumi yang lebih mendekati dengan kondisi di lapangan. Namun mahalnya biaya survei metode resistivitas 3D mengakibatkan metode ini akan dilakukan apabila dianggap perlu.

Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, data resistivitas 1D dan 2D kini dapat dimodelkan menjadi model resistivitas 3D dengan memanfaatkan perkembangan ilmu geostatistika. Penerapan ilmu geostatistika pada pemodelan resistivitas 3D merupakan salah satu solusi untuk mendapatkan model bawah permukaan bumi yang mendekati kondisi di lapangan tanpa menghabiskan biaya yang tinggi. Namun kenyataannya kita tidak mengetahui bagaimana kondisi bawah permukaan bumi di lapangan secara detail. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang sejauh mana pemanfaatan pendekatan geostatistika dalam pemodelan resistivitas 3D dapat menggambarkan kondisi bawah permukaan bumi.

Dalam tugas akhir ini, akan dibuat model awal untuk mendapatkan data sintesis resistivitas 2D dan 3D yang kemudian dilakukan pemodelan resistivitas 3D pada kedua data sintesis tersebut. Pendekatan geostatistika metode *Sequential Gaussian Simulation* akan diterapkan pada data resistivitas 2D untuk mengoptimalkan pemodelan 3D. Pemodelan 3D dari data sintesis resistivitas 3D dilakukan sebagai pembandingan dengan asumsi pemodelan tersebut lebih dapat menggambarkan model awal.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana proses pemodelan 3D data resistivitas 2D dengan menggunakan metode *Sequential Gaussian Simulation*?
2. Bagaimana proses pemodelan 3D data resistivitas 3D?
3. Bagaimana perbandingan hasil pemodelan 3D dari data resistivitas 2D dan hasil pemodelan 3D dari data resistivitas 3D?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini menggunakan data sintesis yang didapat dari model awal.

2. Penelitian hanya menggunakan metode *Sequential Gaussian Simulation* untuk pengolahan geostatistika.
3. Pengukuran untuk penerapan hasil analisis dilakukan pada lapangan buatan atau lapangan yang sudah diketahui kondisi bawah permukaannya.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui proses pemodelan 3D data sintetis resistivitas 2D dengan menggunakan metode *Sequential Gaussian Simulation*.
2. Untuk mengetahui proses pemodelan 3D data sintetis resistivitas 3D.
3. Untuk mengetahui perbandingan hasil pemodelan 3D dari data sintetis resistivitas 2D dengan hasil pemodelan 3D dari data sintetis resistivitas 3D.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui dan memahami pemanfaatan geostatistika pada pemodelan 3D data resistivitas 2D.
2. Penelitian ini dapat dijadikan acuan untuk pemilihan survei resistivitas yang sesuai dengan kebutuhan.

1.6 Target Luaran

Luaran dari penelitian ini berupa paper dan jurnal GEOSAINTEK mengenai perbandingan metode resistivitas 3D dengan metode *Sequential Gaussian Simulation* pada resistivitas 2D dalam pemodelan resistivitas 3D.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Sifat Kelistrikan Batuan

Bumi diasumsikan sebagai bola padat yang bersifat homogen, dengan asumsi ini maka seharusnya resistivitas yang terukur merupakan resistivitas sebenarnya. Akan tetapi pada kenyataannya bumi terdiri atas lapisan- lapisan dengan resistivitas yang berbeda-beda, sehingga potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut. Dengan demikian harga resistivitas yang terukur bukan merupakan harga resistivitas untuk satu lapisan saja, tetapi beberapa lapisan (Reynold, 2011).

Arus listrik yang dapat menembus permukaan bola yang mempunyai luas A , tebal dr , dan beda potensial dV antara dua titik dalam bola bagian luar dan dalam:

$$I = - \frac{\Delta dv}{\rho dr} \quad (2.1)$$

Luas permukaan dari setengah bola $= 2\pi r^2$, maka persamaan (1) menjadi :

$$I = - \frac{2\pi r}{\rho} \frac{dv}{dr} \quad (2.2)$$

(Telford dkk., 1990).

Setiap Batuan memiliki sifat fisika yang berbeda – beda termasuk sifat kelistrikannya. Salah satu sifat kelistrikan tersebut adalah sifat tahanan jenis (resistivitas) dimana sifat tersebut menunjukkan kemampuan batuan batuan dalam menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas batuan maka semakin sulit batuan tersebut untuk menghantarkan arus listrik, begitu juga sebaliknya.

Menurut nilai resistivitasnya, batuan digolongkan menjadi 3 golongan, yaitu :

Konduktor baik	: $10^{-6} < \rho < 1 \Omega m$
Konduktor sedang	: $1 < \rho < 10^7 \Omega m$
Isolator	: $\rho > 10^7 \Omega m$

Terdapat jangkauan nilai kelistrikan pada tiap batuan yang dapat membantu dalam penentuan jenis batuan berdasarkan nilai resistivitasnya. Tabel 2.1 menunjukkan beberapa contoh jangkauan nilai resistivitas batuan. Nilai ini tidak hanya bergantung pada jenis batuan saja, tetapi juga bergantung pada pori dan kandungan fluida pada batuan tersebut.

Tabel 2. 1 Jangkauan nilai resistivitas batuan(Telford dkk., 1990)

Bahan	Resistivitas (Ωm)
Udara	~
Pirit	3×10^{-1}
Galena	2×10^{-3}
Kwarsa	$4 \times 10^{10} - 2 \times 10^{14}$
Kalsit	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$
Batuan Garam	$30 - 1 \times 10^{13}$
Mika	$9 \times 10^{12} - 1 \times 10^{14}$
Basalt	$10 - 1 \times 10^7$
Batuan Gamping	$50 - 1 \times 10^7$
Batuan Pasir	$50 - 1 \times 10^8$
Batuan Serpih	$20 - 1 \times 10^3$
Dolomit	$10^2 - 10^4$
Pasir	$1 - 10^3$
Lempung	$1 - 10^2$
Air Tanah	$0.5 - 3 \times 10^2$
Air Laut	0.2

Teori dasar yang digunakan pada metode resistivitas ini adalah hukum ohm yang menyatakan bahwa arus (I) yang mengalir pada suatu medium adalah berbanding lurus dengan beda potensial (V) dan berbanding terbalik dengan resistansi (R) medium. Menurut matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$V = IR \quad (2.3)$$

Pengukuran dengan alat ini bekerja dimana alat akan memberikan arus kedalam permukaan melalui dua elektroda. Kemudian dua elektroda lain menangkap respon tersebut dalam bentuk beda potensial perbedaan potensial tiap pengambilan data tersebut merepresntasikan adanya perbedaan material yang pada bawah permukaan bumi(Telford dkk., 1990).

Menurut Loke (2000), spasi elektroda yang digunakan saat pengukuran data dapat mempengaruhi kedalaman datum. Selain itu panjang maksimal lintasan juga mempengaruhi kedalaman maksimum datum. Berikut merupakan persamaannya :

$$faktorkedalaman = \frac{ze}{a} \quad (2.4)$$

Atau

$$faktorkedalaman = \frac{ze}{L} \quad (2.5)$$

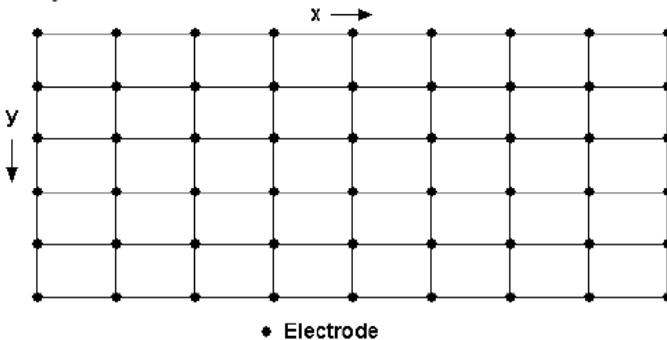
2.1.2 Resistivitas 3D

Semua struktur geologi sesungguhnya dalam bentuk 3D, oleh karena itu diperlukan adanya suatu metode resistivitas yang mampu memberikan gambaran struktur geologi dalam bentuk 3D juga. Metode geolistrik resistivitas 3D merupakan metode yang mampu memberikan gambaran 3D dari bawah permukaan secara lebih detail dibandingkan dengan metode resistivitas 2D. Metode resistivitas 3D mampu menunjukkan distribusi resistivitas secara vertikal maupun horizontal (Loke, 1999).

Saat ini penggunaan metode resistivitas 3D merupakan subjek penelitian aktif namun belum penggunaannya belum sebanyak metode resistivitas 2D. Hal ini dikarenakan biaya yang dikeluarkan untuk survei 3D relatif lebih tinggi dari daerah yang cukup luas. Kekurangan ini dapat diatasi dengan dua cara, pertama dengan pengembangan instrumen resistivimeter *multi-channel* yang bisa membaca data dengan sekali penginjeksian arus sehingga mengurangi waktu, biaya dan tenaga saat survei. Kedua mengembangkan teknologi mikro komputer berkecepatan tinggi yang disiapkan untuk melakukan proses inversi data dalam skala besar dengan petak survei lebih luas dalam waktu yang lebih singkat (Loke, 1999).

2.1.2.1 Desain Akuisisi Resistivitas 3D

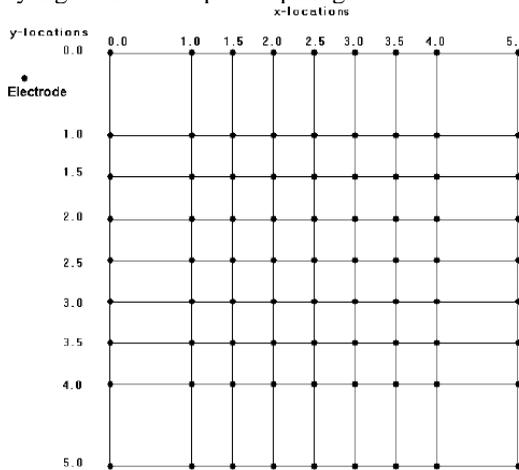
Pada akuisisi resistivitas 3D, elektroda disusun secara teratur dengan jarak yang sama hingga membentuk persegi panjang (*uniform grid line*) seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Uniform Grid line* (Loke, 1999)

Desain pada gambar 2.2 tidak selalu dapat diterapkan pada semua kondisi di lapangan karena kondisi permukaan bumi tidak semua datar. Pada lokasi tertentu dengan kondisi topografi yang abstrak, tidak memungkinkan untuk menyusun elektroda pada jarak yang sama. Biasanya jarak elektroda arus lebih besar dibanding area survei. Dalam hal ini, desain *Non-uniform grid line* dapat digunakan untuk menambah *grid line* agar elektroda arus (C_1 dan C_2) masuk

dalam survei grid. Untuk itu jarak antara *grid line* harus ditambah secara bertahap hingga *grid line* terakhir mencapai elektroda terluar. Pada akuisisi resistivitas 3D, konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi *pole – pole*, *pole – dipole*, dan *dipole – dipole*. Hal ini dikarenakan konfigurasi selain tiga konfigurasi memiliki jangkauan data yang lebih buruk pada tepian grid.



Gambar 2. 2 *Non-uniform rectangular grid* (Loke, 1999)

2.1.3 Metode Geostatistik

Secara etimologis, istilah geostatistika mengarah pada studi statistik fenomena alam dari G. Matheron yang pertama menggunakan istilah ini secara luas. Menurut Matheron, Geostatistika adalah aplikasi yang memformalkan fungsi acak untuk pengintaian dan estimasi fenomena alam. Fenomena alam sering kali dapat ditandai dengan sebarannya dalam satu atau lebih variabel yang disebut variabel regioanlisasi. Salah satu contohnya adalah distribusi nilai dalam ruang tiga dimensi. (Journal and Huijbregts, 1978). Dalam penelitian ini metode Geostatistika digunakan untuk pemodelan 3D untuk data geolistrik resistivitas 2D.

2.1.3.1 Variogram

Analisis variogram merupakan satu tahapan dalam geostatistik yang mendeskripsikan variasi dalam sebuah parameter sebagai sebuah fungsi jarak pisah. Analisa ini didasarkan pada suatu prinsip bahwa dua titik yang berdekatan akan lebih memiliki kemungkinan untuk mempunyai nilai parameter yang mirip dibandingkan dengan dua titik yang berjauhan. Secara umum, ada dua aspek penting dalam variogram, yaitu:

1. Seberapa mirip dua nilai antara dua titik yang berdekatan

2. Seberapa jauh jarak dua titik sebelum mereka dapat disimpulkan mereka tidak mempunyai hubungan satu sama lain.

Variogram merupakan landasan dari aplikasi metode geostatistika. Variogram eksperimental dan model *fitting* variogram harus akurat, dengan begitu model dapat menggambarkan varian dengan baik. Jika variogram mendeskripsikan varian dengan buruk maka hasil dari estimasi model akan buruk pula, dan akan memiliki validasi yang kecil bahkan tidak dapat di validasi meskipun model yang dihasilkan sangat bagus (*smooth*). (M.A. Oliver dan R. Webster, 2015)

2.1.3.1.1 Variogram Eksperimental

Variogram eksperimental adalah variogram yang dihitung berdasarkan data yang ada. Hal ini dilakukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [X_i + h - Z(X_i)]^2 \quad (2.6)$$

Dimana:

$Z(X_i)$ adalah nilai data di titik X_i

$Z(X_i+h)$ adalah nilai data di titik X_i+h

$N(h)$ adalah banyaknya pasangan titik yang memiliki jarak h

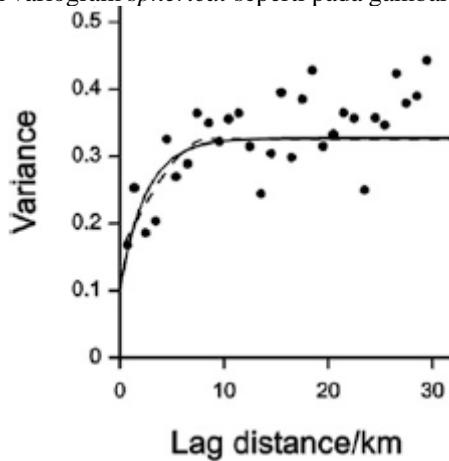
Persamaan 2.4 mendeskripsikan varians antara titik-titik data sebagai sebuah fungsi jarak antara titik-titik data (Lag) h . Perhitungan ini dilakukan untuk setiap jarak lag yang dikehendaki. Lag didefinisikan sebagai sebuah rentang jarak yang diberikan oleh jarak minimum dan jarak maksimum. Jumlah titik-titik data dalam sebuah Lag memberikan nilai N dalam formula diatas. Varian sebuah lag adalah rata-rata varians semua titik data yang terpisahkan oleh lag ini. Variogram eksperimental dihitung untuk arah yang kita definisikan sebelumnya. Arah dari perhitungan variogram sangat menentukan sifat isotropi dan anisotropi data. (M.A. Oliver dan R. Webster, 2015)

2.1.3.1.2 Variogram Teoritis

Untuk keperluan analisis, variogram eksperimental ini harus diganti dengan variogram teoritis, yang kurvanya paling mendekati variogram eksperimentalnya. Dalam geostatistik, pencocokan antara variogram eksperimental dan teoritis disebut analisis struktur (*structural analysis*). Berikut merupakan empat jenis model dan persamaan variogram teoritis yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Model bola (*spherical model*)
- Model gaussian
- Model eksponensial
- Model linear

Tipe variogram *spherical* atau disebut juga tipe Matheron lebih sering digunakan. Grafik variogram *spherical* seperti pada gambar 2.3.

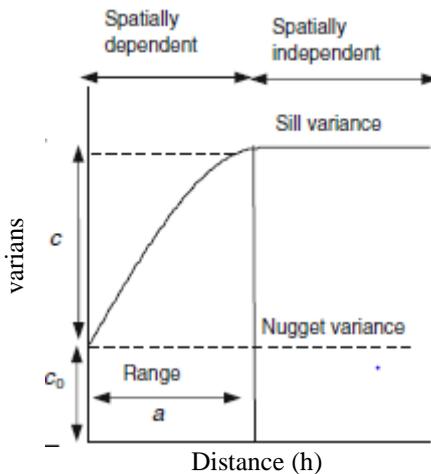


Gambar 2. 3 Grafik variogram *spherical* (M.A. Oliver dan R. Webster, 2015)

Variogram memiliki parameter – parameter yang sangat berpengaruh pada analisis data geostatistika. Parameter – parameter tersebut yaitu:

1. Varians : rata-rata perbedaan antara titik-titik yang berpasangan
2. Sill : Varians terbesar di antara data
3. Range : Jarak yang ditunjukkan pada kondisi sill
4. Nugget : Tingkat ketidak miripan pada jarak nol (error eksperimental)

Gambaran dari parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2. 4 Komponen-komponen dalam variogram (M.A. Oliver dan R. Webster, 2015)

2.1.3.2 *Varian*

Sebelum menginjak ke perhitungan varian, perlu diketahui tentang perhitungan untuk hubungan antara dua gugus data. Teknik tersebut adalah kovarian dimana X_i adalah nilai variabel yang dianggap sebagai X, Y_i nilai variabel yang dianggap sebagai Y, X_{avg} dan Y_{avg} adalah nilai rata-rata dari variabel X dan Y dengan persamaan umum sebagai berikut

$$Covariance = \frac{\sum(X_i - X_{avg})(Y_i - Y_{avg})}{n-1} \quad (2.7)$$

Sementara itu, varian merupakan ukuran seberapa jauh sebuah kumpulan bilangan tersebar. Varian disebut juga sebagai simpangan baku. Nilai varian nol mengindikasikan bahwa semua nilai sama, nilai varian rendah mengindikasikan bahwa data sangat dekat dengan nilai rata-rata, dan varian tinggi mengindikasikan nilai tersebar di sekitar nilai rata-rata dan dari data satu dengan data lainnya.

2.1.4 *Two Point Statistic*

Prinsip dasar metode *Two Point Statistic* (TPS) adalah menggunakan dua titik statistik berbasis variogram dan algoritma- algoritma lain yang memanfaatkan konsep statistik dengan banyak titik. Algoritma simulasi tradisional (2 titik) bertujuan untuk menghasilkan model kovarian $C(h)$ sebelumnya atau yang berhubungan dengan variogram yang secara statistik juga berhubungan dengan dua nilai, yaitu $z(u)$ dan $z(u+h)$. Beberapa metode *Two Point Statistic* adalah sebagai berikut

- a. LUISM (*Gaussian simulation with LU decomposition*)
- b. SGISM (*Sequential Gaussian simulation*)
- c. COSGIM (*Sequential Gaussian co-simulation*)
- d. DSSIM (*Direct sequential simulation*)
- e. SISIM (*Sequential indicator simulation*)
- f. COSISIM (*Sequential indicator co-simulation*)
- g. BSSIM (*Block sequential simulation*)
- h. BESIM (*Block error simulation*)

Untuk persiapan data yang akan dilakukan simulasi ini adalah data harus berupa distribusi normal sebelum dilakukan simulasi ini. Sementara ide awal dari TPS ini salah satunya adalah *Sequential Gaussian simulation* atau lebih dikenal sebagai SGS ini menggunakan simulasi *kriging*. Data yang telah disimulasikan tersebut membuat kovarian baru menggunakan nilai dari simulasi sebelumnya (Li dkk., 2015).

2.1.5 Sequential Gaussian Simulation

Metode *Sequential Gaussian Simulation* merupakan salah satu metode simulasi yang paling representatif yang algoritmanya berdasarkan prinsip *sequential simulation* dimana nilai rata-rata dan varians didapatkan dari sistem *kriging*. *Sequential Gaussian Simulation* menghitung hasil dari estimasi konvensional dan mengestimasi varians dari data yang sudah dilakukan transformasi normal. Pendekatan ini memerlukan model variogram berdasarkan data yang sudah dilakukan transformasi normal. Simulasi pada metode ini dilakukan pada setiap titik *grid*. Setelah simulasi pada setiap titik *grid* selesai, hasilnya ditransformasikan kembali ke data asli (Hohn, 1999).

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai rekonstruksi 3D dari penampang 2D dengan menggunakan metode geostatistika telah dilakukan oleh Aisha (2018). Target dari penelitian yang dilakukan oleh Aisha adalah untuk memodelkan persebaran batuan karbonat serta rekonstruksi kejadian geologi di Kecamatan Jenu. Dalam penelitiannya terdapat 43 lintasan geolistrik 2D dengan panjang lintasan sebesar 705 m, jumlah elektroda 48 buah, dan spasi elektroda 15 m menggunakan konfigurasi *Wenner*. Penampang resistivitas 2D yang didapatkan menghasilkan 4 litologi batuan, yaitu dolomit, batugamping, batupasir, dan batulempung yang terdapat pada tabel 2.2. Nilai resistivitas hasil pengukuran ini sesuai dengan tabel referensi pada gambar 2.4 dimana nilai resistivitas dolomit dan *limestone* diatas 10 Ωm . Namun, nilai resistivitas batupasir dan batulempung menunjukkan rentang nilai yang jauh dibawah referensi. Hal ini bisa dikarenakan oleh faktor kehadiran fluida dalam pori-pori batuan yang menyebabkan nilai resistivitas turun. Kemudian hasil pengukuran resistivitas 2D dianalisis geostatistika dari mulai perhitungan parameter histogram, pembuatan variogram, fitting variogram menggunakan model variogram *spherical* pada 21 lintasan, dan dilakukan interpolasi geostatistika. Simulasi metode geostatistika yang digunakan dalam penelitian ini untuk menjadikan penampang 2D menjadi 3D adalah metode *Sequential Gaussian Simulation* (SGS). Penampang resistivitas 2D juga dikorelasikan dengan N-SPT.

Tabel 2. 2 Nilai resistivitas litologi batuan (Aisha, 2018)

No	<i>Range</i> Resistivitas (Ωm)	Litologi
1	>100	Dolomit
2	75-100	Batugamping
3	3.2-1	Batupasir
4	<0.32	Batulempung

Berdasarkan penelitian mengenai perhitungan volume batuan dengan metode geolistrik, terdapat persamaan dengan penelitian tugas akhir ini, yaitu metode yang digunakan adalah metode geostatistika untuk perhitungan volume dan mengubah penampang resistivitas 2D menjadi penampang resistivitas 3D. Dengan samanya metode yang digunakan ini, pada penelitian ini dilakukan peningkatan guna memberikan manfaat kepada pembaca. Pada penelitian ini dapat dibuktikan bahwa dengan melakukan interpolasi menggunakan metode geostatistika, khususnya *Kriging*, menghasilkan interpolasi yang lebih halus dan lebih sesuai dengan kondisi sebenarnya di bawah permukaan bumi dibandingkan dengan metode konvensional. Sedangkan perbedaan dari penelitian oleh Aisha adalah lokasi penelitian, dimana target *limestone* masih berupa batuan kompak di bawah permukaan bumi, sedangkan pada penelitian Tugas Akhir ini batuan yang diteliti sudah terdeformasi dan tidak pada bentuk aslinya. Hal ini mengakibatkan nilai hasil pengukuran penelitian sebelumnya masih mirip dengan tabel referensi pada gambar 2.4. Metode interpolasi yang digunakan pada penelitian terdahulu ini juga berbeda, yaitu metode interpolasi SGS, sedangkan pada penelitian tugas akhir ini digunakan metode *Kriging*. Pada penelitian tugas akhir ini digunakan *Kriging*, karena *Kriging* merupakan metode yang banyak digunakan dan terbukti lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2019 hingga bulan Juni 2019 di Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

3.2 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sintesis dari *forward modelling* model awal.

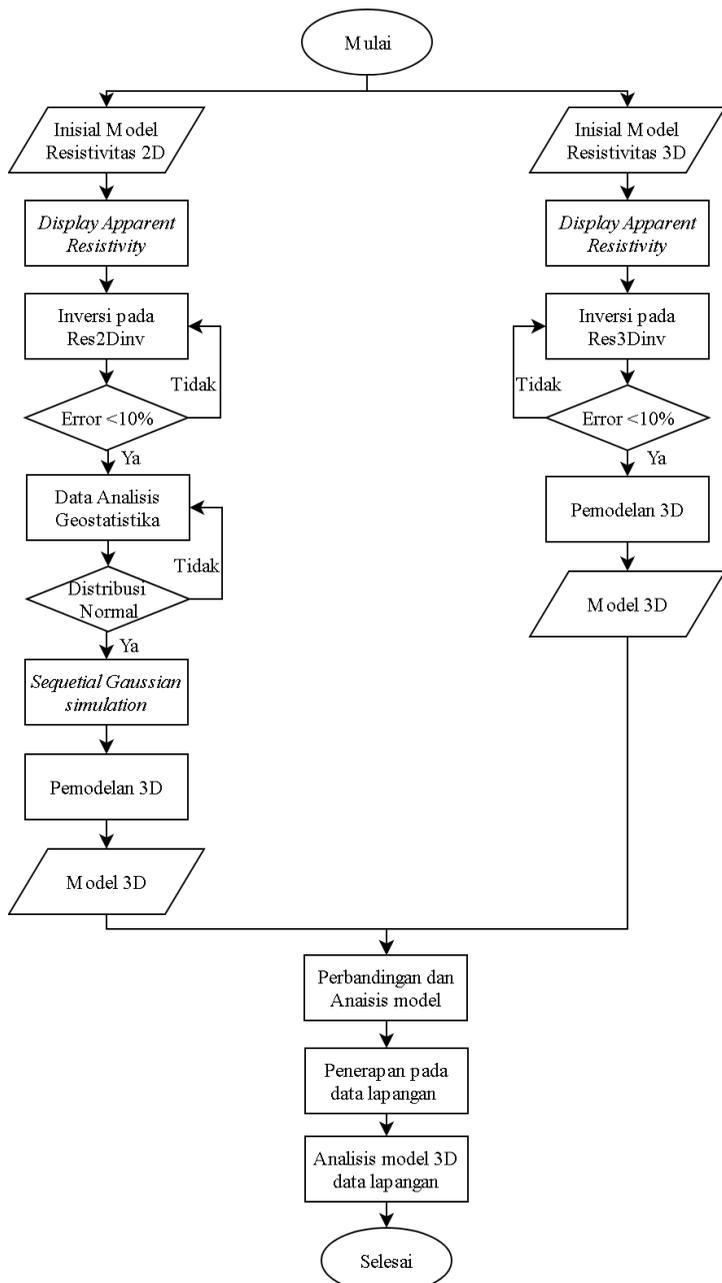
3.3 Alat dan Perangkat Lunak

Beberapa alat dan perangkat lunak memadai dibutuhkan selama proses pengolahan data penelitian. Alat dan perangkat lunak yang digunakan sebagai berikut:

1. Laptop
2. *Software Res2Dmod*
3. *Software Res3Dmod*
4. *Software Res2Dinv*
5. *Software Res3Dinv*
6. *Software Petrel*
7. *Software Voxler*

3.4 Tahapan Penelitian

Setelah dibuat model awal, dilakukan pengolahan data mulai dari studi literatur hingga didapati hasil yang diharapkan. Tahapan penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.1



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.5 Pengolahan Data

Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahap pengolahan data seperti diagram alir pada gambar 3.1. Berikut merupakan penjelasan untuk setiap tahap pengolahan hingga didapatkan model Resistivitas 3D.

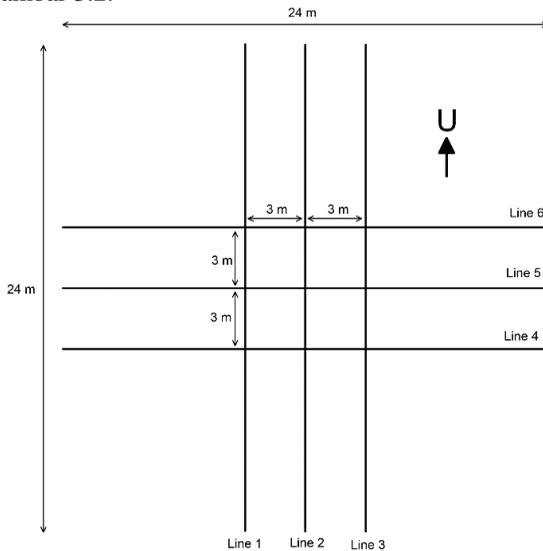
3.5.1 Model awal dan *Forward modelling*

3.5.1.1 Model awal

Penelitian ini menggunakan model awal yang kemudian dilakukan *forward modelling* untuk mendapatkan nilai resistivitas semu dari model yang sudah dibuat. Pada model awal, dibuat sebanyak 2 lapisan. Lapisan pertama berada di paling atas, memiliki nilai resistivitas sebesar $10 \Omega\text{m}$ dengan ketebalan yang bervariasi dan semakin menebal ke bagian tengah model hingga mencapai kedalaman 4 meter. Lapisan kedua berada dibawah lapisan pertama, memiliki nilai resistivitas sebesar $5 \Omega\text{m}$.

3.5.1.2 *Forward modelling 2D*

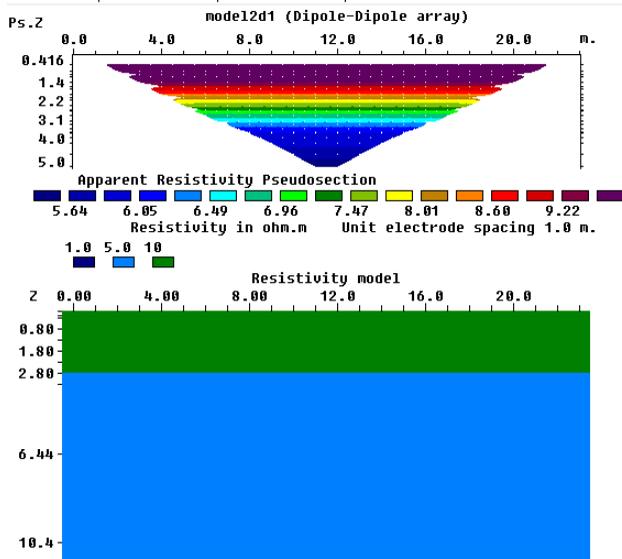
Untuk memperoleh data resistivitas 2D, dilakukan *forward modelling* pada model awal dengan menggunakan software *Res2Dmod*. Terdapat enam lintasan dengan panjang lintasan 24 m yang saling menyalang (*cross*) yaitu tiga lintasan berorientasi Utara-Selatan dan tiga lintasan berorientasi Barat-Timur seperti pada gambar 3.2.



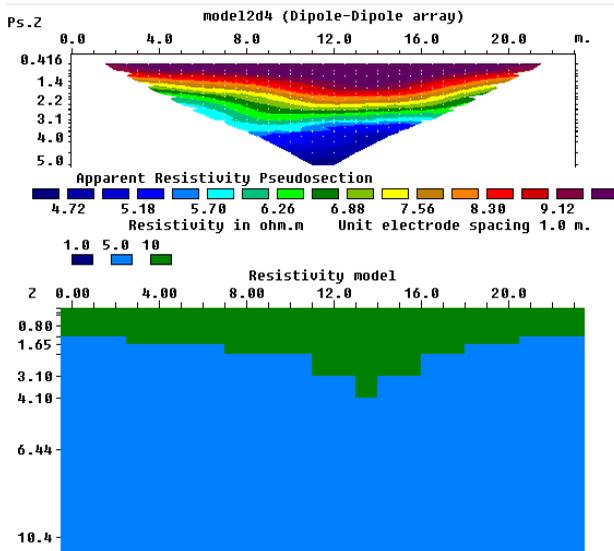
Gambar 3. 2 Desain lintasan resistivitas 2D

Berikut merupakan contoh hasil *forward modelling*, gambar 3.3 merupakan hasil *forward modelling* dari lintasan 1 yang berorientasi Utara – Selatan. Gambar 3.4

merupakan hasil *forward modelling* dari lintasan 4 yang berorientasi Barat – Timur.



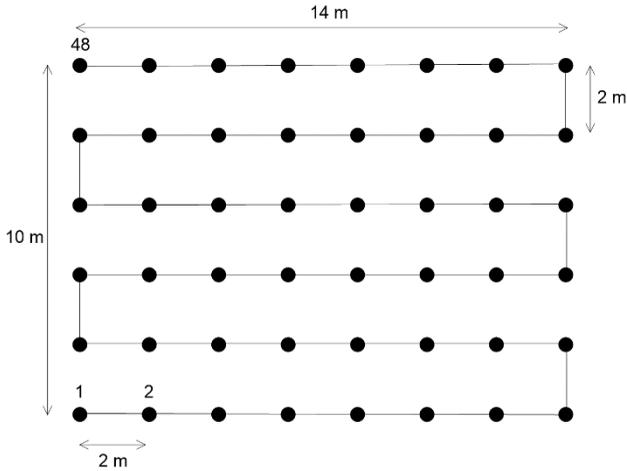
Gambar 3. 3 hasil *forward modelling* lintasan 1



Gambar 3. 4 hasil *forward modelling* lintasan 4

3.5.1.3 Forward modelling 3D

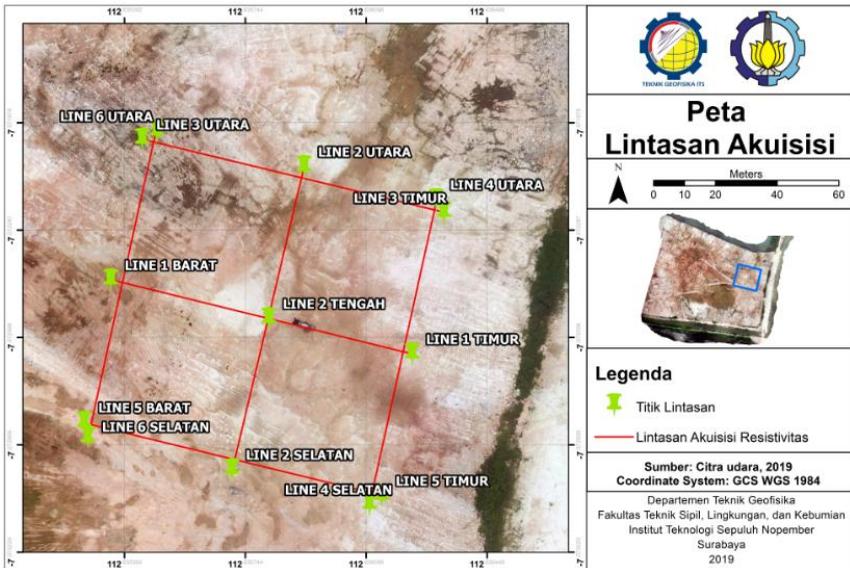
Untuk memperoleh data resistivitas 3D, dilakukan *forward modelling* pada model awal dengan menggunakan software *Res3Dmod*. Untuk Resistivitas 3D digunakan elektroda sebanyak 48 buah (8 elektroda pada sumbu X dan 6 elektroda pada sumbu Y) dengan jarak antara elektroda dua meter. Konfigurasi yang digunakan adalah *dipole-dipole*. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 3.5 berikut.



Gambar 3. 5 Desain lintasan resistivitas 3D

3.5.2 Akuisisi Data Resistivitas

Akuisisi data resistivitas dilakukan pada lapangan buatan “MG” yang sudah ditimbun dengan batuan karbonat dan dipadatkan. Sehingga sudah diketahui kondisi bawah permukaan di lokasi pengukuran. Tanah asli di lapangan MG ini adalah lempung bercampur dengan pasir laut. Sehingga kondisi bawah permukaan yaitu batuan karbonat dan dibawahnya adalah lempung pasiran. Akuisisi data dilakukan untuk resistivitas 2D dan resistivitas 3D. Untuk pengukuran resistivitas 2D, total terdapat 6 lintasan pengukuran dengan panjang masing-masing lintasan 96 m. Konfigurasi yang digunakan adalah *Wenner-Schlumberger* dikarenakan sensitif untuk anomali lateral dan vertikal (Loke,2000). Jumlah elektroda yang digunakan adalah 48 elektroda dengan spasi antar elektroda 2 m. Lintasan disusun saling menyilang, susunan lintasan dapat dilihat pada gambar 3.6.



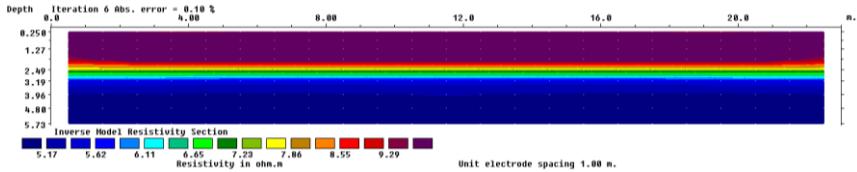
Gambar 3. 6 Peta Lintasan Akuisisi Geolistrik 2D

Untuk pengukuran resistivitas 3D menggunakan desain lintasan sesuai dengan *forward modelling* resistivitas 3D pada gambar 3.5. Pengukuran dilakukan pada titik tengah pada persilangan antara lintasan 1 dan lintasan 2. Jumlah elektroda yang digunakan adalah 48 elektroda dengan spasi antara elektroda adalah 2 m.

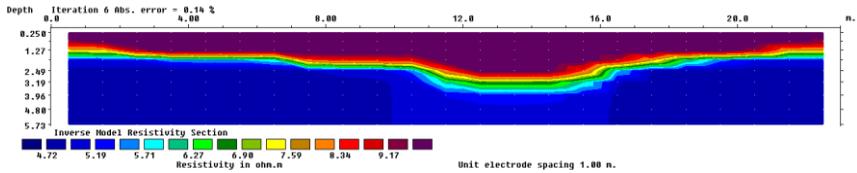
3.5.3 Inversi Resistivitas 2D dan Resistivitas 3D

3.5.3.1 Inversi Resistivitas 2D

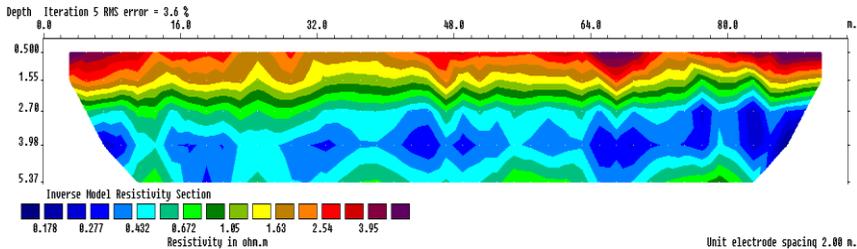
Untuk setiap hasil *forward modelling* resistivitas 2D didapatkan nilai resistivitas semu. Selanjutnya dari resistivitas semu ini perlu diolah lebih lanjut untuk mendapatkan model bawah permukaan bumi secara dua dimensi yang diharapkan sesuai dengan model awal yang telah dibuat. Untuk pengolahan resistivitas semu secara dua dimensi digunakan software *Res2Dinv* dengan menggunakan inversi *Least square* sehingga dihasilkan penampang resistivitas. Inversi yang sama juga diterapkan pada data lapangan. Berikut merupakan contoh hasil inversi dengan software *Res2Dinv*. Gambar 3.7 merupakan penampang resistivitas 2D hasil inversi pada lintasan 1 yang berorientasi Utara Selatan. Gambar 3.8 merupakan penampang resistivitas 2D hasil inversi pada lintasan 4 yang berorientasi Barat – Timur. Gambar 3.9 merupakan contoh hasil inversi resistivitas 2D data lapangan pada lintasan 1.



Gambar 3. 7 Penampang Resistivitas 2D Lintasan 1



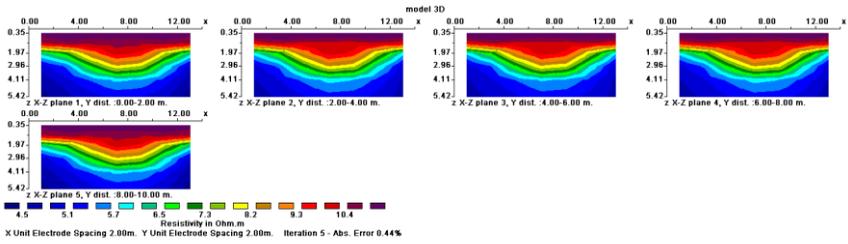
Gambar 3. 8 Penampang Resistivitas 2D Lintasan 4



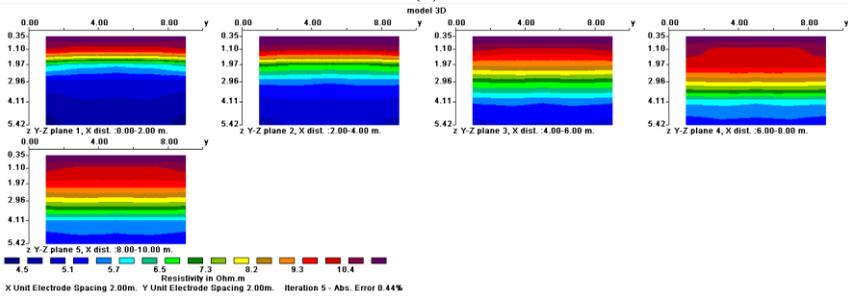
Gambar 3. 9 Penampang Resistivitas 2D lapangan lintasan 1

3.5.3.2 Inversi Resistivitas 3D

Seperti halnya resistivitas 2D, untuk setiap hasil *forward modelling* resistivitas 3D didapatkan nilai resistivitas semu. Selanjutnya dari resistivitas semu ini perlu diolah lebih lanjut untuk mendapatkan model bawah permukaan bumi secara tiga dimensi yang diharapkan sesuai dengan model awal yang telah dibuat. Untuk pengolahan inversi resistivitas semu secara tiga dimensi digunakan software *Res3Dinv* dengan inversi *least square*. Pada data resistivitas 3D lapangan juga digunakan inversi yang sama. Pengolahan pada software *Res3Dinv* dihasilkan penampang 3D resistivitas secara vertikal dan horizontal. Berikut merupakan hasil pengolahan resistivitas 3D.

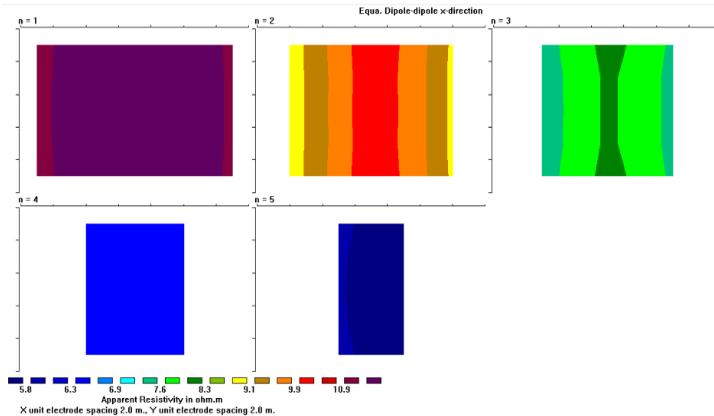


(a)



(b)

Gambar 3. 10 Penampang resistivitas 3D secara vertikal dengan *software res3Dinv*.(a) sumbu X dan Z, (b) sumbu Y dan Z

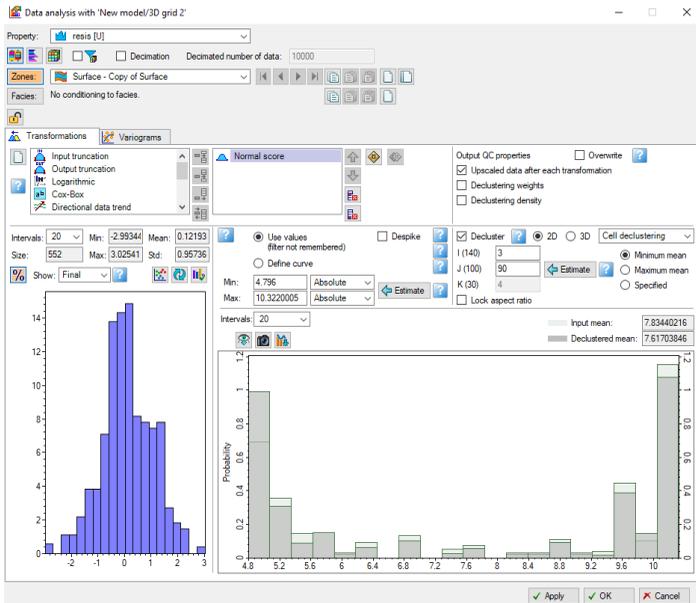


Gambar 3. 11 Penampang resistivitas 3D secara horizontal dengan *software res3Dinv*

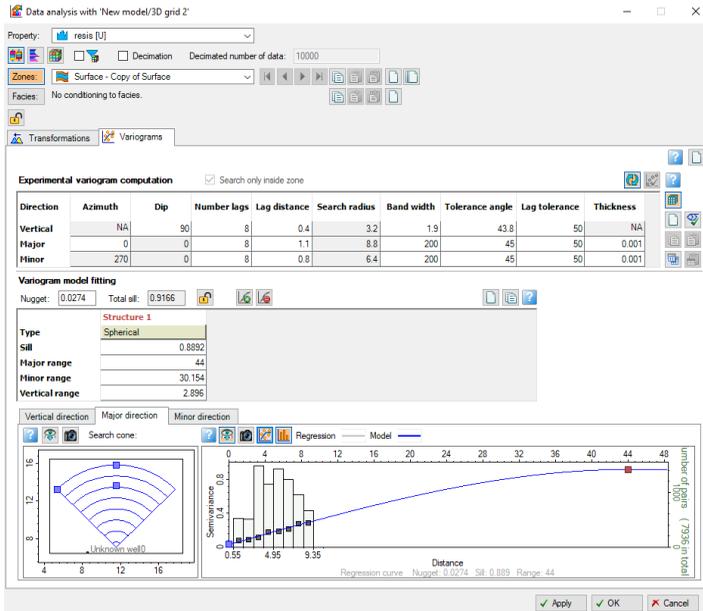
3.5.4 Pemodelan 3D

3.5.4.1 Pemodelan 3D resistivitas 2D

Hasil inversi pada tiap lintasan 2D didapatkan nilai resistivitas yang kemudian dilakukan *export* data ke format XYZ dari *software Res2Dinv* untuk tiap lintasan. Setelah itu pada enam lintasan tersebut dimasukkan pada *software Petrel 2015* dan disusun seperti gambar 3.2 agar dapat dilakukan pemodelan 3D. Pada pemodelan 3D ini digunakan metode *Sequential Gaussian Simulation* untuk interpolasi di daerah yang tidak terdapat data nilai resistivitas. Setelah *input* data selesai kemudian dilakukan data analisis untuk mengecek distribusi data dari semua nilai resistivitas dan pembuatan variogram seperti pada gambar 3.12 dan gambar 3.13

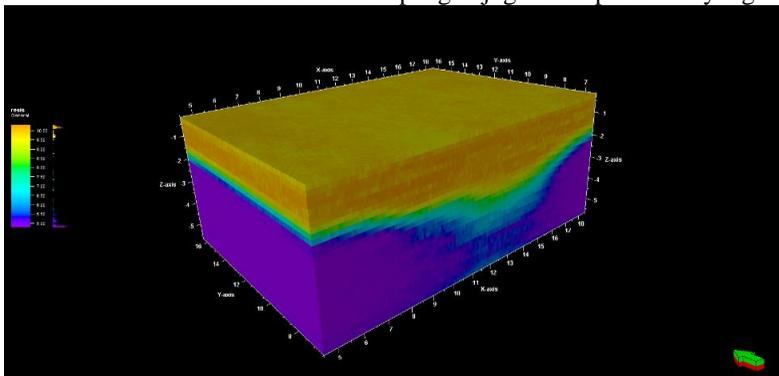


Gambar 3. 12 Hasil Analisis Data Distribusi Normal



Gambar 3. 13 Hasil Analisis Data Variogram

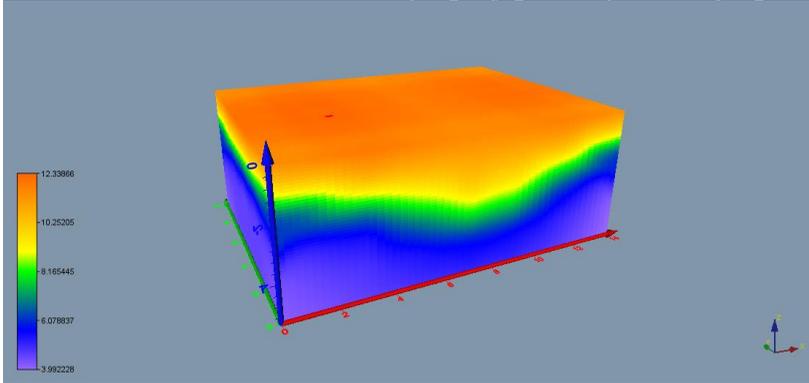
Untuk melakukan estimasi menggunakan metode *Sequential Gaussian Simulation* data harus terdistribusi normal. Setelah data terdistribusi normal maka dapat dilakukan pembuatan variogram sebagai acuan dalam melakukan estimasi. Dalam penggunaan metode *Sequential Gaussian Simulation* perlu adanya model yang berfungsi sebagai model kontrol, akhirnya dibuatlah model 3D menggunakan metode *Kriging* dengan data analisis yang sama. Kemudian dibuatlah model 3D dengan metode *Sequential Gaussian Simulation* seperti pada gambar 3.14. Pada data resistivitas 2D lapangan juga diterapkan cara yang sama.



Gambar 3. 14 Model 3D volume resistivitas 2D

3.5.4.2 Pemodelan 3D Resistivitas 3D

Hasil inversi dari software *Res3Dinv* menghasilkan nilai resistivitas yang kemudian dilakukan *export* data ke format XYZ untuk software *Voxler*. Setelah itu data yang sudah di-*export* dimasukkan ke dalam software *Voxler* untuk dilakukan pemodelan 3D. Hasil pemodelan 3D dapat dilihat pada gambar 3.15 berikut. Pada data resistivitas 3D lapangan juga diterapkan cara yang sama.



Gambar 3. 15 Model 3D volume resistivitas 3D

Halaman ini sengaja dikosongkan

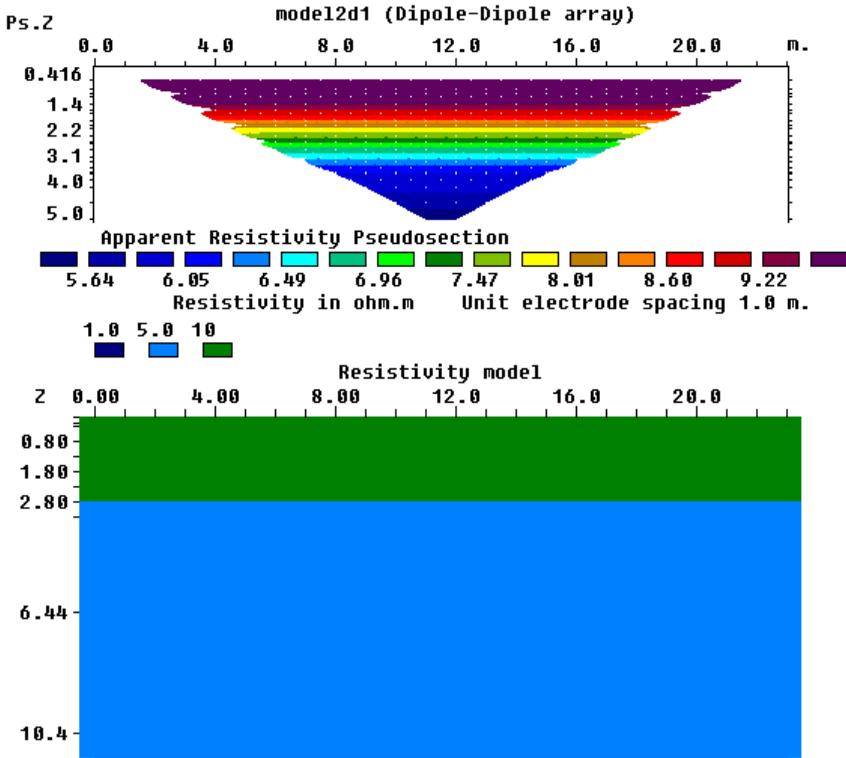
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

Telah dilakukan pembuatan model awal yang terdapat dua lapisan. Lapisan pertama berada di paling atas, memiliki nilai resistivitas sebesar $10 \Omega\text{m}$ dengan ketebalan yang bervariasi dan semakin menebal ke bagian tengah model hingga mencapai kedalaman 4 meter. Lapisan kedua berada dibawah lapisan pertama, memiliki nilai resistivitas sebesar $5 \Omega\text{m}$. Pembuatan model awal ini disesuaikan dengan kondisi lapangan yang akan dilakukan akuisisi data di lapangan tersebut. Selanjutnya akan dilakukan *forward modelling* pada model awal ini guna mendapatkan nilai resistivitas semu. *Forward modelling* yang dilakukan yaitu *forward modelling* resistivitas 2D dan *forward modelling* resistivitas 3D. Nilai resistivitas semu ini yang kemudian menjadi data sintesis untuk penelitian ini. Kemudian dari data sintesis resistivitas 2D dan resistivitas 3D tersebut akan diolah menjadi model 3D resistivitas. Hasil pemodelan 3D ini nanti akan dibandingkan dan dianalisis. Kemudian hasil analisis akan diterapkan pada data lapangan.

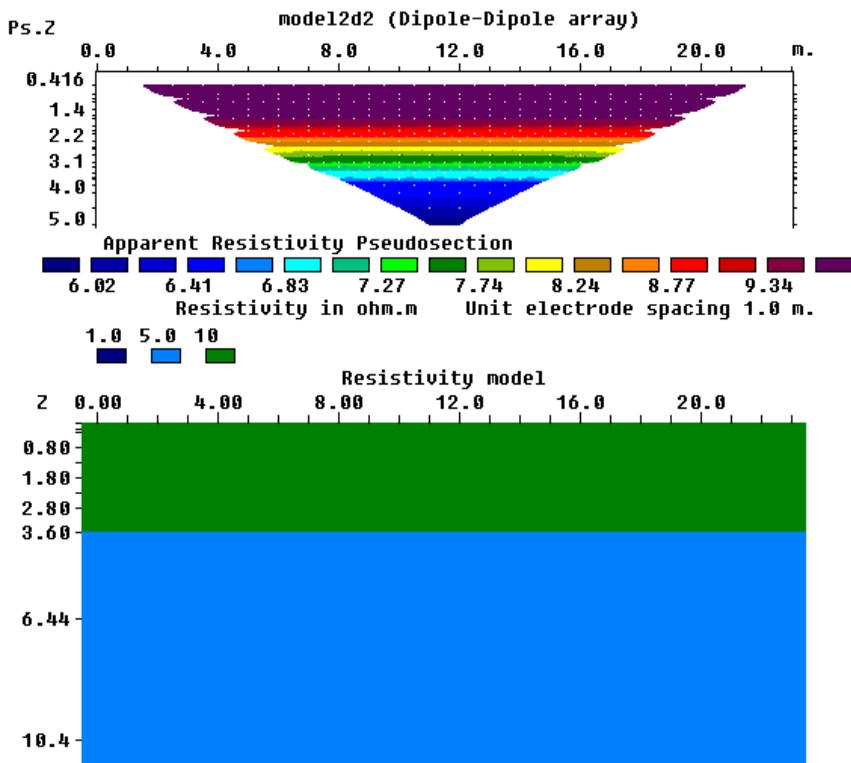
4.2 Hasil Pengolahan Data

Forward modelling dilakukan untuk mendapatkan data nilai resistivitas semu. Setelah dilakukan proses *forward modelling*, nilai resistivitas semu yang didapat harus mendekati dengan nilai resistivitas pada model awal. Untuk *forward modelling* resistivitas 2D menggunakan 6 lintasan yang saling bersilangan yaitu lintasan 1, 2, dan 3 berorientasi Utara-Selatan, sedangkan lintasan 4, 5, dan 6 berorientasi Barat-Timur seperti pada gambar 3.2. Konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi *dipole – dipole*. Konfigurasi ini dipilih karena sensitif untuk anomali lateral maupun vertikal. Gambar 4.1 merupakan hasil *forward modelling* resistivitas 2D lintasan 1.



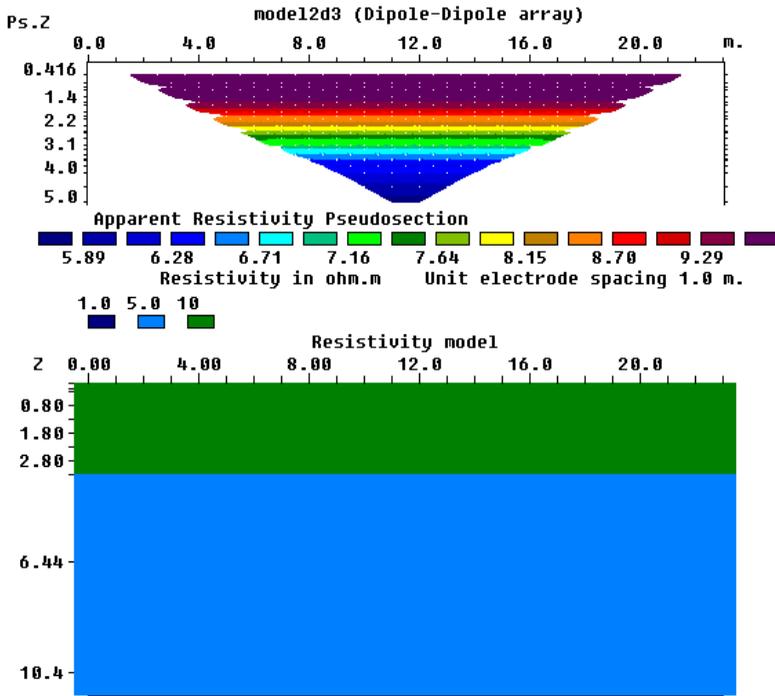
Gambar 4. 1 Hasil *forward modelling* resistivitas 2D lintasan 1

Gambar 4.1 pada model resistivitas dapat dilihat bahwa batas lapisan pertama dengan nilai resistivitas 10 Ωm dan lapisan kedua dengan nilai resistivitas 5 Ωm berada pada kedalaman 2,8 m. Pada *pseudosection* resistivitas semu, di kedalaman 2,8 m (batas antara lapisan satu dan lapisan dua) memiliki nilai resistivitas semu antara 7,47 Ωm – 8,01 Ωm . Hal ini berbeda dengan model resistivitas yang telah dibuat dikarenakan adanya interpolasi pada batas lapisan tersebut antara lapisan pertama dengan lapisan kedua. Selain itu pada *pseudosection* hanya didapati kedalaman maksimum mencapai 5 m sedangkan pada model resistivitas yang dibuat mencapai kedalaman >10 m. Hal ini dikarenakan panjang lintasan pengukuran adalah 24 m. Menurut Loke (2002) untuk konfigurasi *dipole-dipole* jika panjang lintasan maksimal adalah 24 m maka kedalaman maksimal yang dicapai sekitar 5 m.



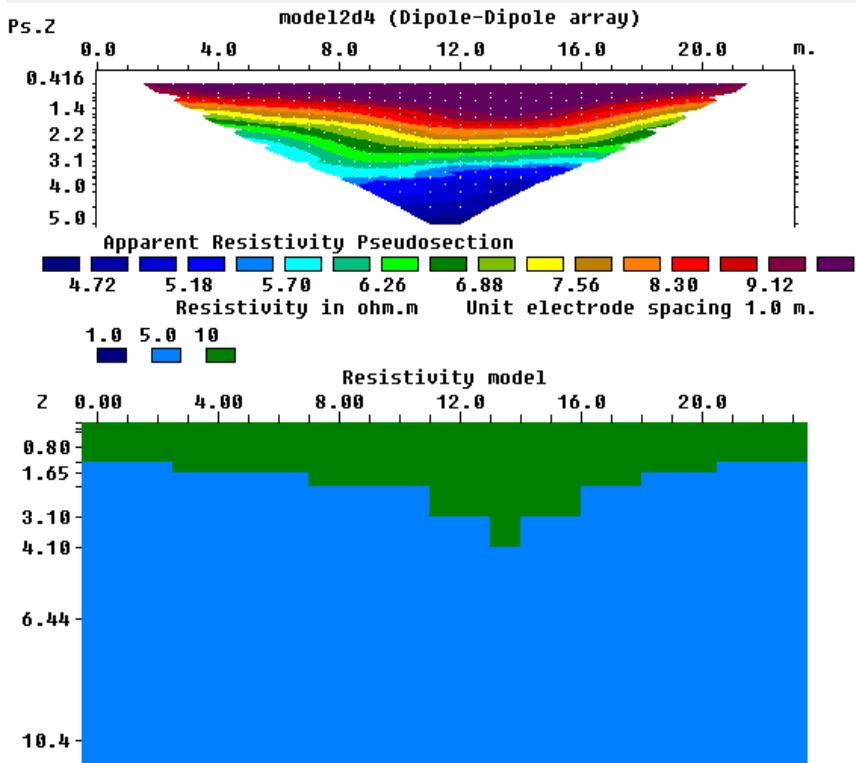
Gambar 4. 2 Hasil *forward modelling* resistivitas 2D lintasan 2

Pada Gambar 4.2 di model resistivitas dapat diketahui bahwa batas lapisan pertama dan lapisan kedua berada pada kedalaman 3,6 m. Jika dilihat pada *pseudosection* resistivitas semu, di kedalaman 3,6 m (batas antara lapisan satu dan lapisan dua) memiliki nilai resistivitas semu antara $7,27 \Omega\text{m} - 7,74 \Omega\text{m}$. Terdapat perbedaan antara nilai resistivitas semu pada *pseudosection* dengan nilai resistivitas pada model resistivitas. Hal ini dikarenakan adanya interpolasi pada batas lapisan tersebut antara lapisan pertama dengan lapisan kedua. Selain itu pada *pseudosection* hanya didapati kedalaman maksimum mencapai 5 m, sedangkan pada model awal yang telah dibuat kedalaman mencapai >10 m. Hal ini dikarenakan panjang lintasan pengukuran adalah 24 m. Menurut Loke (2002) untuk konfigurasi *dipole-dipole* jika panjang lintasan maksimal adalah 24 m maka kedalaman maksimal yang dicapai sekitar 5 m.



Gambar 4. 3 Hasil *forward modelling* resistivitas 2D lintasan 3

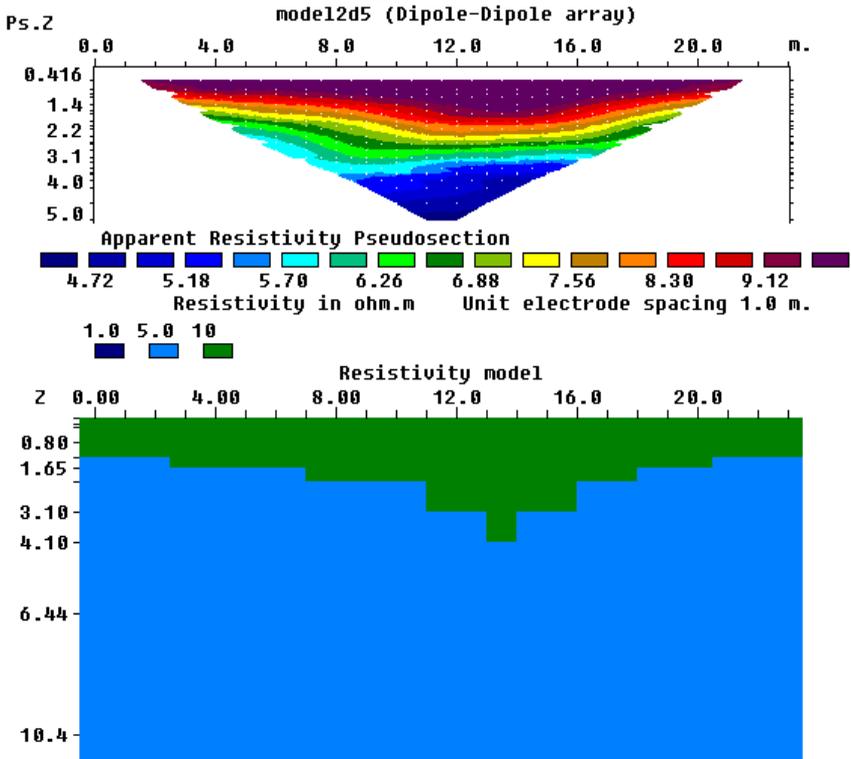
Dari gambar 4.3 pada model resistivitas dapat dilihat bahwa batas lapisan pertama dengan nilai resistivitas 10 Ωm dan lapisan kedua dengan nilai resistivitas 5 Ωm berada pada kedalaman 3,2 m. Pada *pseudosection* resistivitas semu, di kedalaman 3,2 m (batas antara lapisan satu dan lapisan dua) memiliki nilai resistivitas semu antara 6,71 Ωm – 7,16 Ωm . Hal ini berbeda dengan model resistivitas yang telah dibuat dikarenakan adanya interpolasi pada batas lapisan tersebut antara lapisan pertama dengan lapisan kedua. Selain itu pada *pseudosection* hanya didapati kedalaman maksimum mencapai 5 m sedangkan pada model resistivitas dibuat mencapai kedalaman >10 m. Hal ini dikarenakan panjang lintasan pengukuran adalah 24 m. Menurut Loke (2002) untuk konfigurasi *dipole-dipole* jika panjang lintasan maksimal adalah 24 m maka kedalaman maksimal yang dicapai sekitar 5 m.



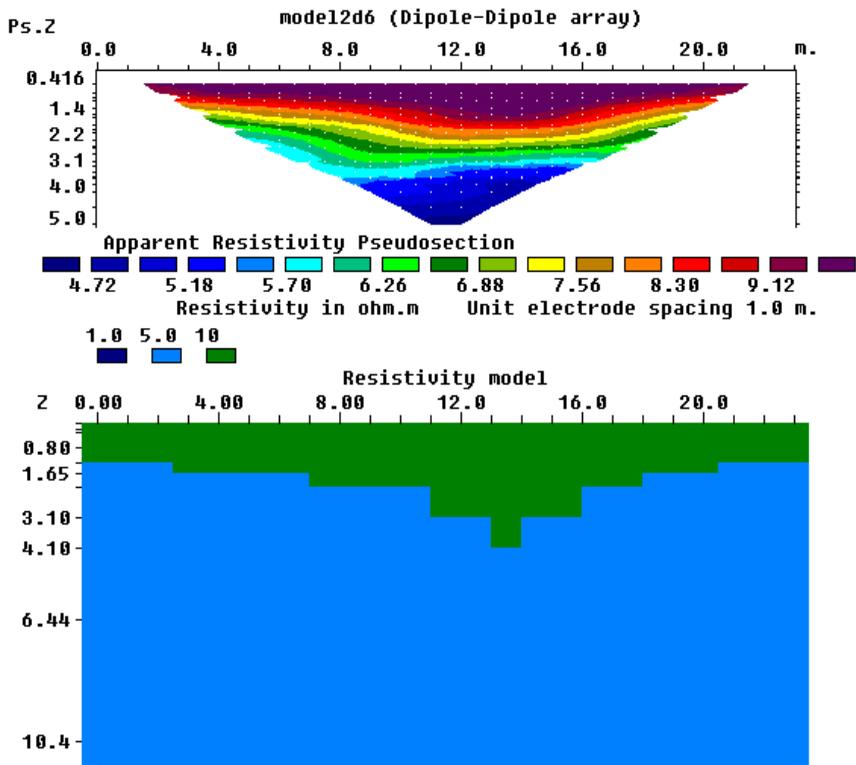
Gambar 4. 4 Hasil *forward modelling* resistivitas 2D lintasan 4

Pada Gambar 4.4 di model resistivitas dapat diketahui bahwa batas lapisan pertama dan lapisan kedua berada pada kedalaman yang bervariasi. Batas paling dalam berada pada kedalaman 4,1 m. Jika dilihat pada *pseudosection* resistivitas semu, pada batas antara lapisan satu dan lapisan dua memiliki nilai resistivitas semu antara 5,7 Ωm – 6,26 Ωm . Terdapat perbedaan antara nilai resistivitas semu pada *pseudosection* dengan nilai resistivitas pada model resistivitas. Hal ini dikarenakan adanya interpolasi pada batas lapisan tersebut antara lapisan pertama dengan lapisan kedua. Selain itu pada *pseudosection* hanya didapati kedalaman maksimum mencapai 5 m sedangkan pada model resistivitas dibuat mencapai kedalaman >10 m. Hal ini dikarenakan panjang lintasan pengukuran adalah 24 m. Menurut Loke (2002) untuk konfigurasi *dipole-dipole* jika panjang lintasan maksimal adalah 24 m maka kedalaman maksimal yang dicapai sekitar 5 m.

Forward modelling pada lintasan 5 dan lintasan 6 dibuat sama dengan lintasan 4 karena arah orientasi lintasan yang sama dan kondisi model awal dari arah Barat-Timur tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Nilai resistivitas semu yang didapat untuk lintasan 5 dan lintasan 6 juga sama seperti yang terlihat pada gambar 4.5 dan gambar 4.6.

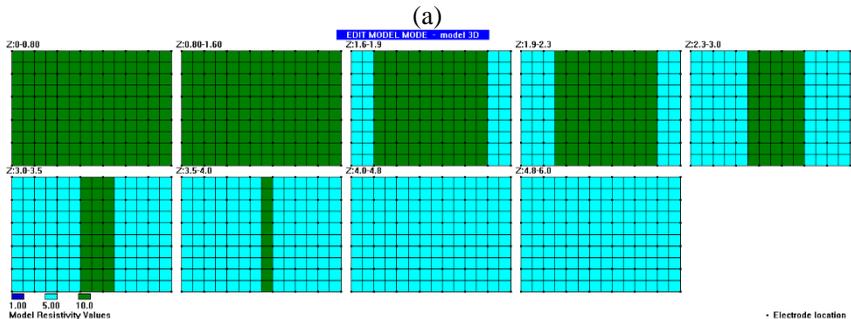
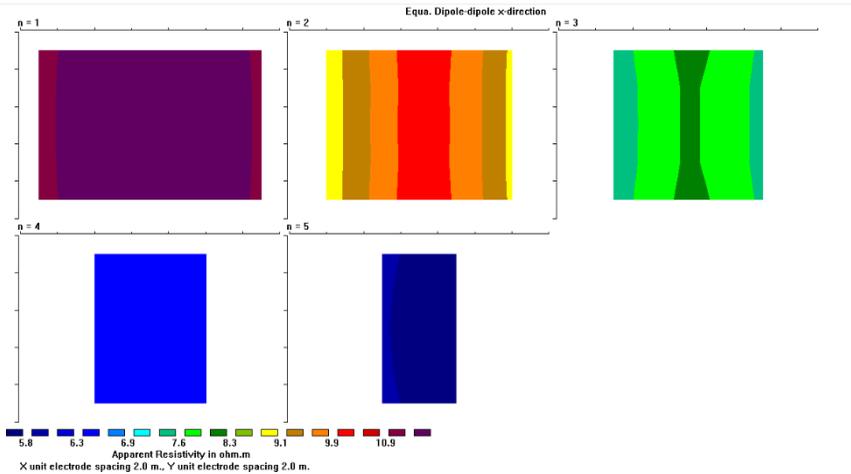


Gambar 4.5 Hasil *forward modelling* resistivitas 2D lintasan 5



Gambar 4.6 Hasil *forward modelling* resistivitas 2D lintasan 6

Forward modelling pada resistivitas 3D digunakan elektroda sebanyak 48 buah (8 elektroda pada sumbu X dan 6 elektroda pada sumbu Y) dengan jarak antara elektroda dua meter dan menggunakan konfigurasi *dipole-dipole*. Konfigurasi ini dipilih karena lebih sensitif pada anomali vertikal dan cocok dengan model awal yang dibuat karena heterogenitasnya ke arah vertikal. Gambar 4.7 merupakan hasil *forward modelling* resistivitas 3D.



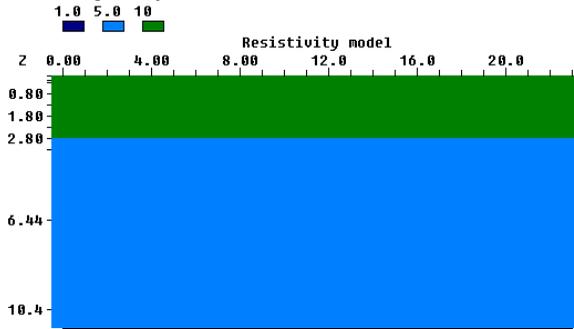
Gambar 4. 7 Hasil *forward modelling* resistivitas 3D. (a) *pseudosection* resistivitas semu bidang horizontal, (b) model resistivitas 3D

Gambar 4.7(a) menunjukkan bahwa nilai resistivitas semu yang dihasilkan proses *forward modelling* sudah sesuai dengan model resistivitas (gambar 4.7(b)). Terdapat nilai resistivitas semu yang tidak ada pada model resistivitas namun nilainya tidak jauh berbeda. Nilai ini muncul di sekitar batas lapisan pertama ($10 \Omega\text{m}$) dengan lapisan kedua ($5 \Omega\text{m}$). Nilainya sedikit berbeda karena hasil interpolasi dari proses *forward modelling*.

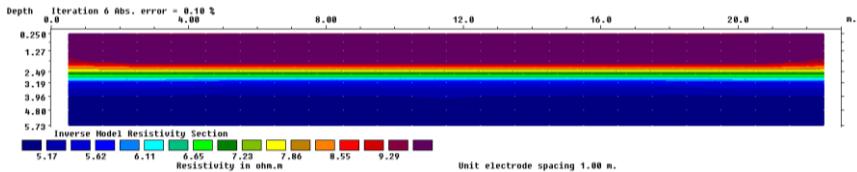
4.2.2 Hasil Inversi

Proses inversi data dalam penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan kondisi bawah permukaan yang sesuai dengan model awal yang sudah dibuat dari nilai resistivitas semu yang sudah didapat. Dalam setiap proses inversi

terdapat nilai eror, semakin kecil nilai eror maka hasil yang didapat lebih mendekati model awal. Batas maksimal eror dalam penelitian ini adalah 10%. Jika eror masih lebih dari 10% maka akan dilakukan inversi lagi dengan menambahkan jumlah iterasi dari proses inversi tersebut. Untuk inversi pada resistivitas 2D dilakukan pada setiap lintasan. Gambar 4.8 merupakan contoh hasil proses inversi yaitu pada lintasan 1.



(a)



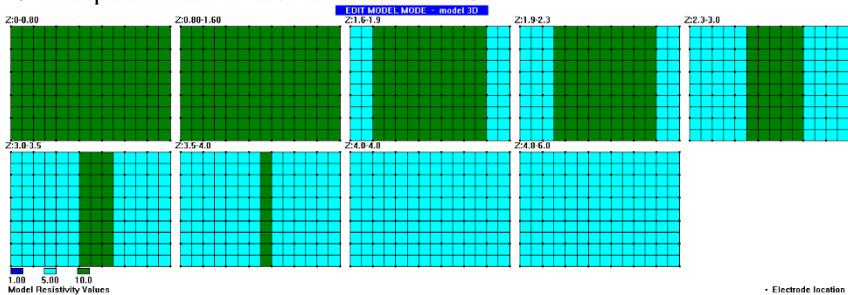
(b)

Gambar 4. 8 (a) model resistivitas pada intasan 1, (b)Hasil inversi resistivitas 2D lintasan 1

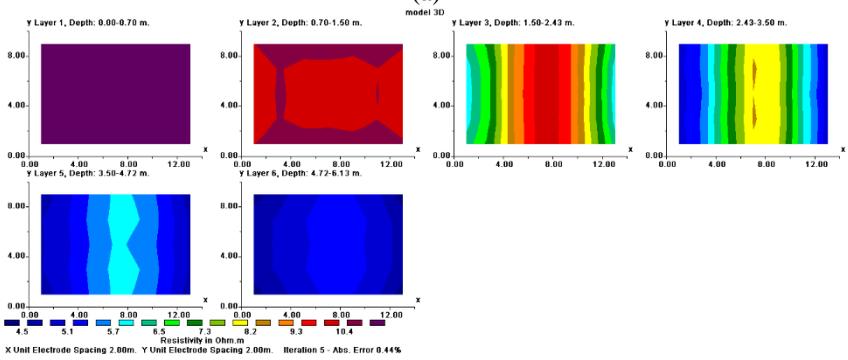
Gambar 4.8 (b) menunjukkan bahwa eror yang didapat dari proses inversi lintasan 1 sebesar 0.1 %. Nilai eror yang kecil menunjukkan bahwa hasil inversi mendekati dengan model resistivitas yang telah dibuat. Pada model resistivitas diketahui bahwa lapisan pertama yang mempunyai nilai resistivitas 10 Ωm kedalamannya mencapai 2,8 m. Kemudian dibawahnya terdapat lapisan kedua yang mempunyai nilai resistivitas 5 Ωm hingga mencapai kedalaman >10,4 m. Hasil inversi pada gambar 4.8 (a) menunjukkan kondisi bawah permukaan dimana pada kedalaman 0-2 m memiliki nilai resistivitas 10 Ωm . Kemudian pada kedalaman 3,96 m – 5,73 m memiliki nilai resistivitas 5 Ωm . Hal ini sudah sesuai dengan model resistivitas, tetapi pada kedalaman 2 – 3,96 m memiliki nilai resistivitas yang bervariasi antara 5,17 Ωm – 9,29 Ωm . Dari model resistivitas diketahui bahwa pada kedalaman tersebut merupakan batas antara kedua lapisan. Sehingga pada saat dilakukan proses inversi, interpolasi pada

daerah tersebut akan dipengaruhi oleh dua nilai resistivitas yaitu 5 Ωm dan 10 Ωm . Hal ini diperkuat dengan variasi nilai resistivitas pada daerah tersebut tidak terdapat nilai resistivitas yang lebih kecil dari 5 Ωm atau lebih besar dari 10 Ωm . Kemudian untuk kedalaman maksimal pada hasil inversi tidak sama dengan model resistivitas yaitu hanya mencapai kedalaman 5,7 m sedangkan model resistivitas kedalaman maksimalnya mencapai 10,4 m. Hal ini diakibatkan oleh data nilai resistivitas semu yang dimasukkan ke *software res2Dinv* berasal dari proses *forward modelling* sebelumnya yang kedalaman maksimalnya juga 5 m. Pada lintasan lainnya cara pembahasannya sama dengan lintasan 1. Nilai eror yang didapat dari hasil inversi lintasan 2, 3, 4, 5, dan lintasan 6 tidak ada yang lebih dari 10% dan hasil dapat dilihat di lampiran.

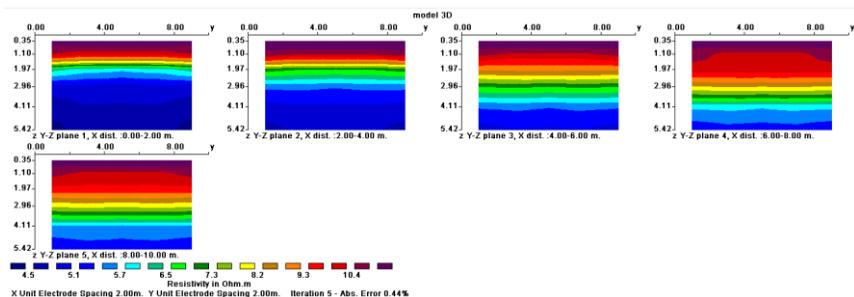
Inversi resistivitas 3D menggunakan *software Res3Dinv*. Gambar 4.9 merupakan hasil inversi dari resistivitas 3D.



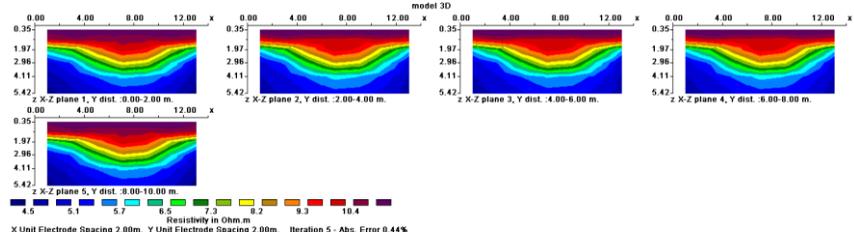
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4. 9 Hasil inversi resistivitas 3D dan model resistivitas (a) model resistivitas 3D, (b) hasil inversi bidang horizontal, (c) hasil inversi bidang vertikal sumbu YZ, (d) hasil inversi bidang vertikal sumbu XZ.

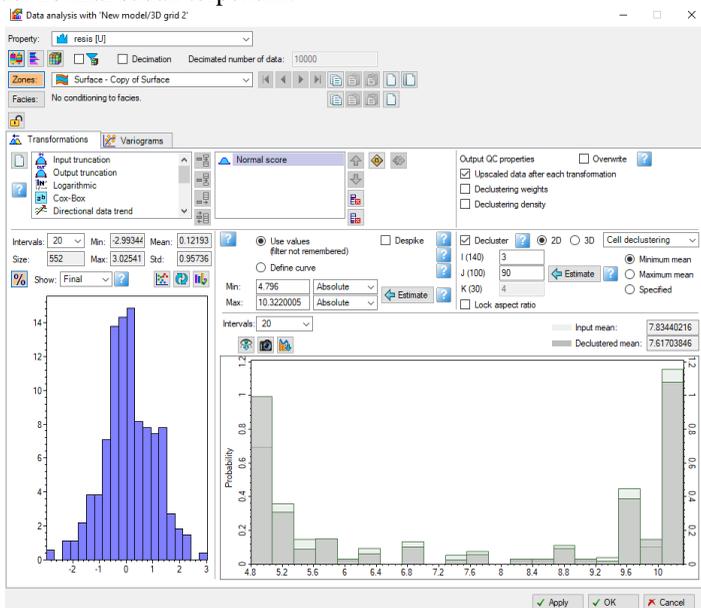
Pada Gambar 4.9 diketahui bahwa nilai eror hasil proses inversi resistivitas 3D setelah iterasi ke lima adalah 0,44%. Jika nilai eror kecil maka kondisi bawah permukaan hasil inversi mendekati model resistivitas. Gambar 4.9 b menunjukkan enam *layer* hasil inversi bidang horizontal. *Layer* 1 dan *layer* 2 menampilkan kedalaman 0 – 1,5 m yang memiliki nilai resistivitas sekitar 10 Ω m. Hal ini sesuai dengan model resistivitas yang dibuat yaitu hingga kedalaman 1,6 m nilai resistivitasnya 10 Ω m. *Layer* 3 menampilkan kedalaman 1,5 – 2,43 m yang memiliki nilai resistivitas bervariasi yaitu 5,4 – 10,7 Ω m. Nilai resistivitas 10,7 Ω m ditemui dibagian tengah *layer* kemudian nilai resistivitas semakin mengecil ke arah kanan dan kiri dari penampang hingga mencapai nilai 5,4 Ω m. Hal ini sesuai dengan model resistivitas pada kedalaman 1,6 – 2,3 Ω m dimana bagian tengah model merupakan lapisan dengan nilai resistivitas 10 Ω m dan dibagian samping kanan dan kiri model adalah 5 Ω m.

Layer 4 menampilkan kedalaman 2,4 – 3,5 m. Pada *layer* 4 didapati kondisi yang sama dengan *layer* 3, hanya saja di bagian tengah *layer* nilai resistivitas lebih kecil yaitu bervariasi dari 8,3 Ω m hingga 9,2 Ω m. Dari hal ini dapat dilihat bahwa lapisan yang memiliki nilai resistivitas lebih tinggi semakin

mengerucut kebawah dan sesuai dengan model resistivitas 3D yang dibuat. Hal ini juga dapat dilihat pada gambar 4.9 b dan gambar 4.9 c *Layer 5* dan *layer 6* menampilkan kedalaman 3,5 – 6,13 m yang memiliki nilai resistivitas sekitar 5 Ω m. Hal ini sesuai dengan model resistivitas yang dibuat yaitu mulai kedalaman 3,5 m hingga 6 m lapisan mulai homogen dengan nilai resistivitas 5 Ω m. Nilai resistivitas yang didapat tidak sama persis dengan model resistivitas karena proses interpolasi, terutama di daerah batas antara lapisan pertama dengan nilai 10 Ω m dan lapisan kedua dengan nilai resistivitas 5 Ω m. Namun dari hasil inversi tidak didapat nilai resistivitas yang berbeda jauh dari nilai resistivitas pada model awal.

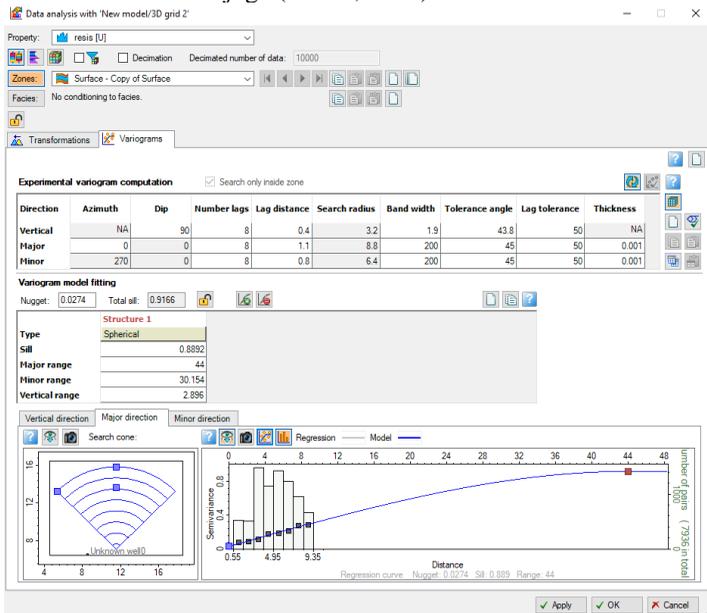
4.2.3 Pemodelan 3D

Pemodelan 3D dalam penelitian ini dilakukan pada data resistivitas 2D dan data resistivitas 3D. Pada data resistivitas 2D, pemodelan 3D dilakukan dengan mengaplikasikan metode geostatistika yaitu *Sequential Gaussian Simulation*. Dalam pemodelan geostatistika perlu dilakukan data analisis yaitu distribusi normal dan pembuatan variogram. Analisis data geostatistika ini harus terpenuhi agar model yang akan dibuat memiliki validasi yang tinggi. Pengolahan dan data analisis geostatistika dilakukan pada software *Petrel 2015*. Gambar 4.10 menunjukkan hasil data analisis distribusi normal sehingga syarat distribusi normal sudah terpenuhi.



Gambar 4. 10 Data analisis distribusi normal

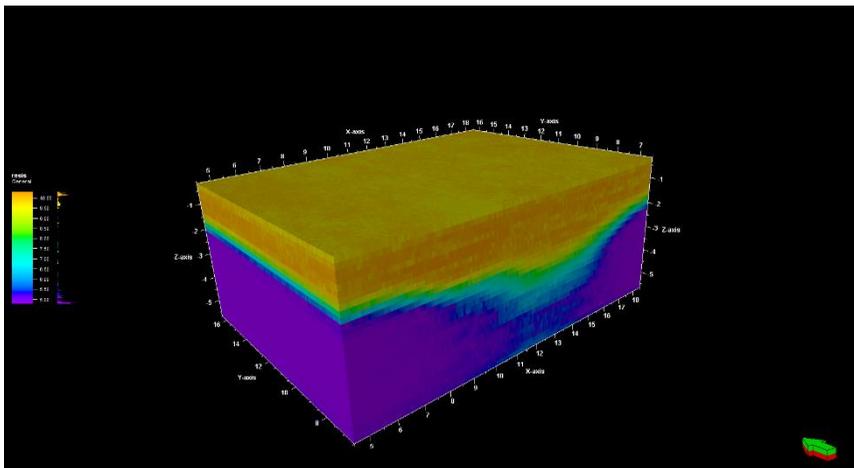
Kemudian dilakukan pembuatan variogram. Variogram mendiskripsikan varian dalam fungsi jarak pisah atau *lag* (Fahrenzy, 2018). Pembuatan variogram sebagai acuan dalam pemodelan 3D dengan metode *Sequential Gaussian Simulation*. Jika variogram mendiskripsikan varian dengan buruk maka hasil estimasi model akan buruk juga (Oliver, 2015).



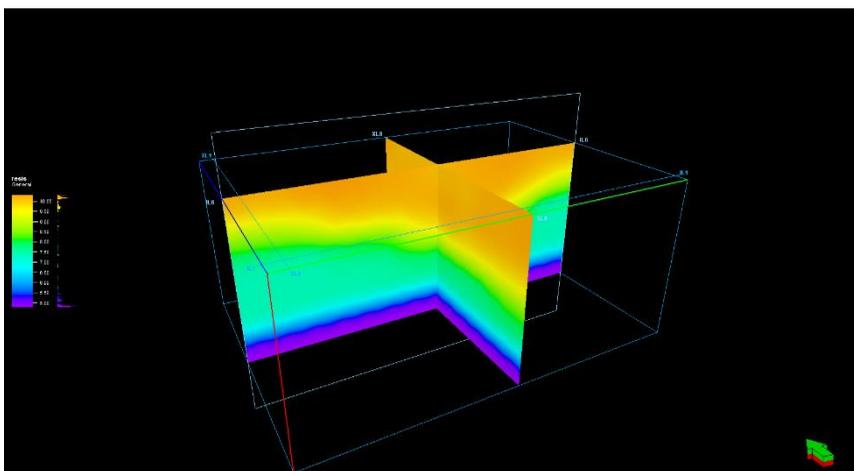
Gambar 4. 11 Hasil data analisis variogram

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa tipe variogram yang digunakan adalah tipe variogram *spherical*. Variogram *spherical* merupakan tipe variogram yang umum digunakan dan mempunyai tingkat *continuity* yang sedang. Dalam pemodelan, metode *Sequential Gaussian Simulation* memerlukan suatu model untuk digunakan sebagai *Trend*. Oleh sebab itu dibuatlah model dengan menggunakan Metode *Kriging* dengan menggunakan variogram yang sama. Hasil pemodelan 3D dengan *Sequential Gaussian Simulation* dapat dilihat pada gambar 4.12 dan 4.13.

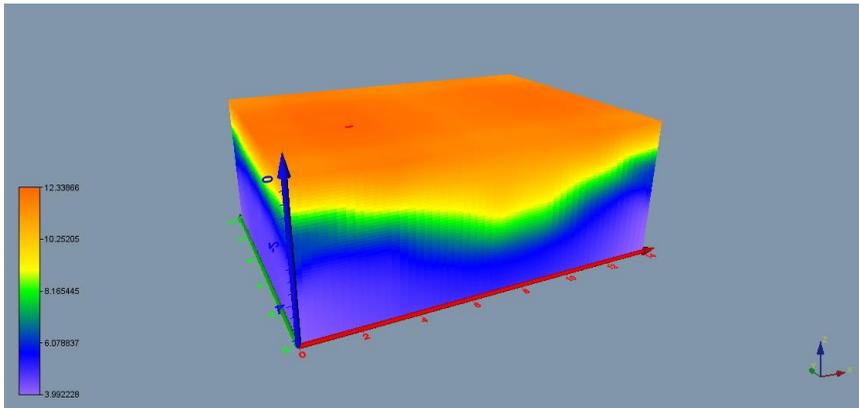
Inversi pada data resistivitas 3D dilakukan dengan menggunakan *software Res3Dinv*. Kemudian langsung dibuat model 3D dari data resistivitas 3D yang sudah dilakukan proses inversi tersebut. Untuk memunculkan model 3D data yang sudah diinversi di *export* ke dalam format XYZ untuk *software Voxler* terlebih dahulu. Kemudian data tersebut dimasukkan ke dalam *Voxler* dan dilakukan *gridding* data. Hasil pemodelan 3D dari resistivitas 3D dapat dilihat pada gambar 4.14 dan gambar 4.15.



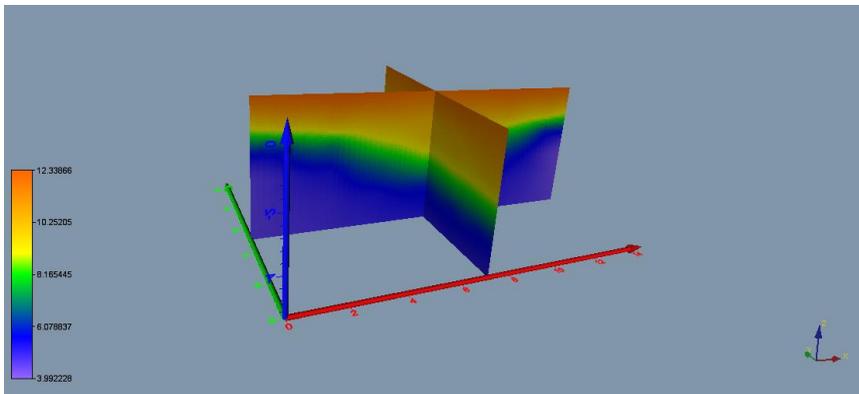
Gambar 4. 12 Model 3D volume resistivitas 2D



Gambar 4. 13 Intersection model 3D resistivitas 2D



Gambar 4. 14 Model 3D volume resistivitas 3D



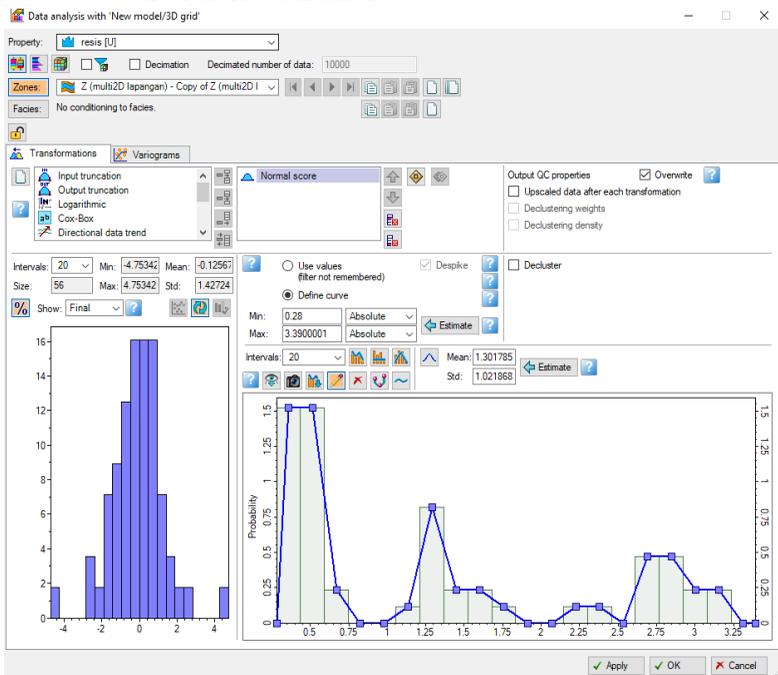
Gambar 4. 15 Intersection model 3D volume resistivitas 3D

Dari pembahasan sebelumnya pada 4.2.2 mengenai inversi data, sudah dikatakan bahwa hasil inversi data resistivitas 2D dan resistivitas 3D sudah menyamai dengan model awal resistivitas. Seharusnya model 3D yang dihasilkan dari kedua data resistivitas tersebut adalah sama baik itu secara kualitatif maupun kuantitatif. Dalam penelitian ini diasumsikan bahwa resistivitas 3D adalah metode yang akurat dalam menggambarkan kondisi bawah permukaan. Gambar 4.12 dan gambar 4.14 menunjukkan tren lapisan yang sama yaitu terdapat dua lapisan. Lapisan pertama pada kedua gambar tersebut mencapai kedalaman yang sama yaitu sekitar 2 m di bawah permukaan pada bagian tepi kanan dan tepi kiri dan kemudian semakin menebal ke bagian tengah model hingga mencapai kedalaman 4 m. Hal ini dapat juga dilihat pada bagian *intersection* pada tiap model seperti pada gambar 4.13 dan gambar 4.15. Nilai resistivitas lapisan pertama pada kedua model menunjukkan nilai yang sama

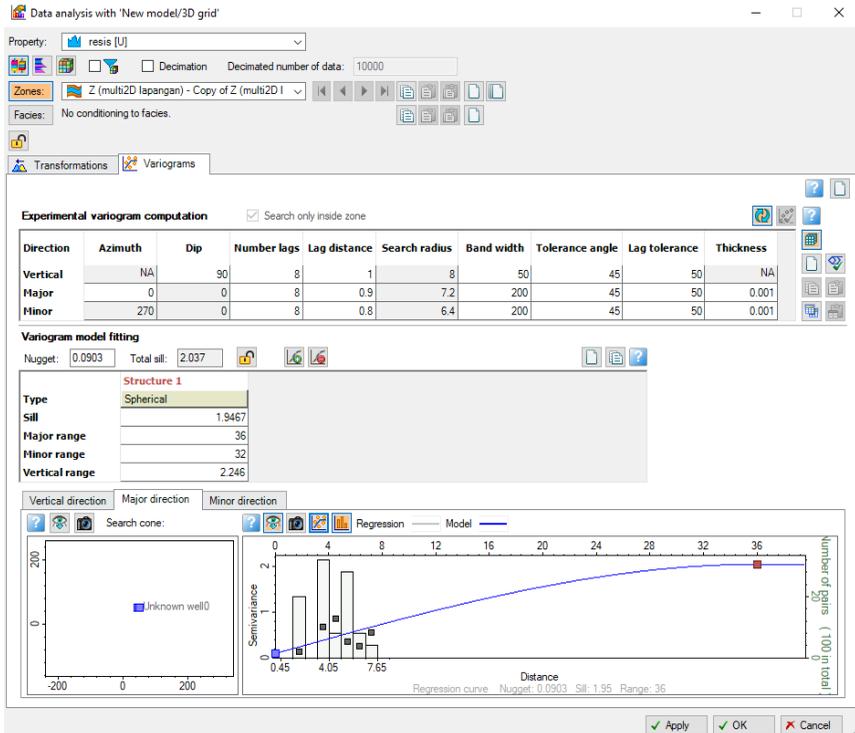
yaitu sekitar 10 Ω m. Lapisan kedua pada kedua model menunjukkan nilai resistivitas yang sama yaitu sekitar 5 Ω m. Terdapat sedikit perbedaan nilai resistivitas pada kedua model untuk lapisan kedua. Hal ini diakibatkan oleh ekstrapolasi data.

Model 3D hasil metode *Sequential Gaussian Simulation* menunjukkan kontras warna pada satu lapisan. Pada model 3D resistivitas 3D, model 3D yang dihasilkan lebih halus. Namun pada model 3D hasil metode *Sequential Gaussian Simulation* dapat dilihat bahwa batas antar lapisan lebih terlihat jelas dari pada model 3D dari metode resistivitas 3D. Untuk keseluruhan, model 3D hasil metode *Sequential Gaussian Simulation* sudah mampu menyamai model 3D dari metode resistivitas 3D sendiri. Hasil analisis ini kemudian diaplikasikan untuk data resistivitas lapangan.

Telah dilakukan akuisisi data metode resistivitas 2D dan 3D pada lapangan MG. Kemudian dilakukan inversi pada kedua data tersebut agar dapat dilakukan pemodelan 3D seperti pada data sintesis resistivitas sebelumnya. Pada data resistivitas 2D, pemodelan 3D dilakukan dengan mengaplikasikan metode geostatistika yaitu *Sequential Gaussian Simulation*. Gambar 4.16 dan gambar 4.17 merupakan hasil data analisis geostatistika dari data resistivitas 2D lapangan. Dapat dilihat pada gambar 4.16 bahwa histogram sudah menunjukkan bahwa data sudah terdistribusi normal.

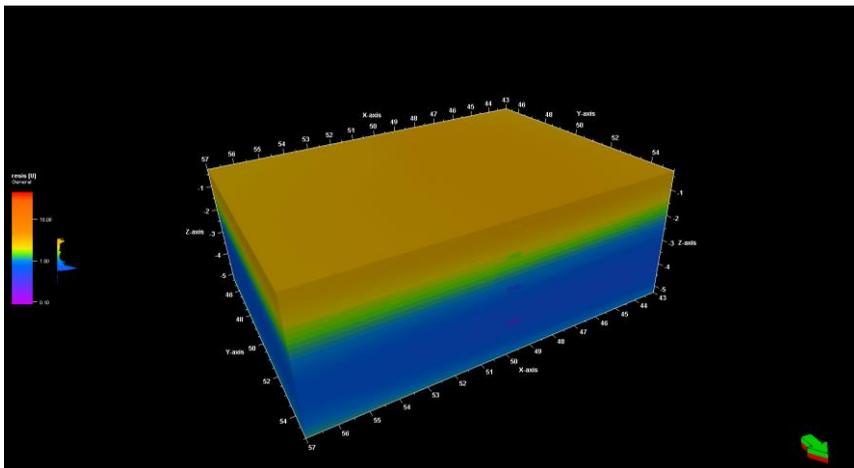


Gambar 4.16 Data analisis distribusi normal resistivitas 2D lapangan

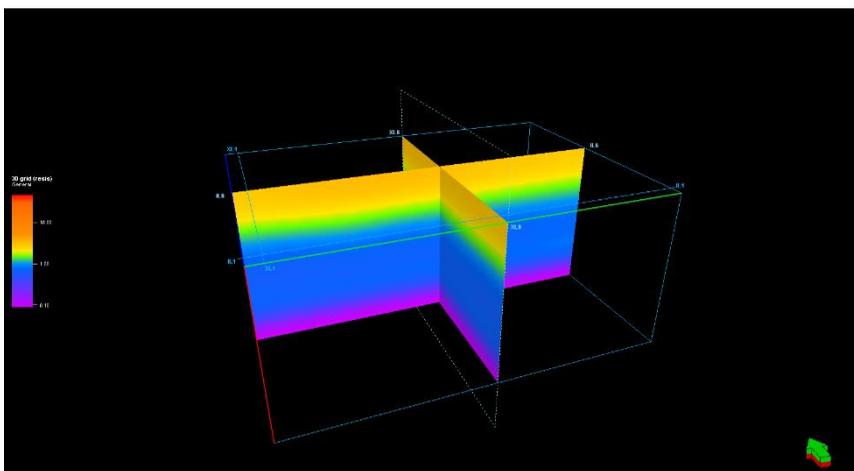


Gambar 4. 17 Data analisis variogram resistivitas 2D lapangan

Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan variogram sebagai acuan dalam pemodelan 3D dengan metode *Sequential Gaussian Simulation*. Jika variogram mendiskripsikan varian dengan buruk maka hasil estimasi model akan buruk juga (Oliver, 2015). Gambar 4.17 menunjukkan bahwa tipe variogram yang digunakan adalah tipe variogram *spherical*. Variogram *spherical* merupakan tipe variogram yang umum digunakan dan mempunyai tingkat *continuity* yang sedang. Dalam pemodelan, metode *Sequential Gaussian Simulation* memerlukan suatu model untuk digunakan sebagai *Trend*. Oleh sebab itu dibuatlah model dengan menggunakan krigging dengan menggunakan variogram yang sama. Hasil pemodelan 3D dengan *Sequential Gaussian Simulation* pada resistivitas 2D lapangan dapat dilihat pada gambar 4.18 dan 4.19.



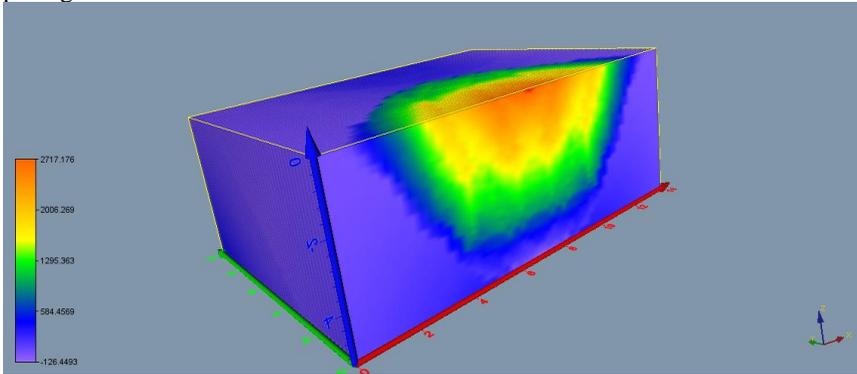
Gambar 4. 18 Model 3D volume resistivitas 2D lapangan



Gambar 4. 19 intersection model 3D resistivitas 2D lapangan

Pada data resistivitas 3D lapangan, inversi dilakukan dengan software *Res3Dinv*. Kemudian langsung dibuat model 3D dari data resistivitas 3D yang sudah dilakukan proses inversi tersebut. Untuk memunculkan model 3D data yang sudah diinversi di *export* ke dalam format XYZ untuk software *Voxler* terlebih dahulu. Kemudian data tersebut dimasukkan ke dalam *Voxler* dan

dilakukan *gridding* data. Hasil pemodelan 3D dari resistivitas 3D dapat dilihat pada gambar 4.20.



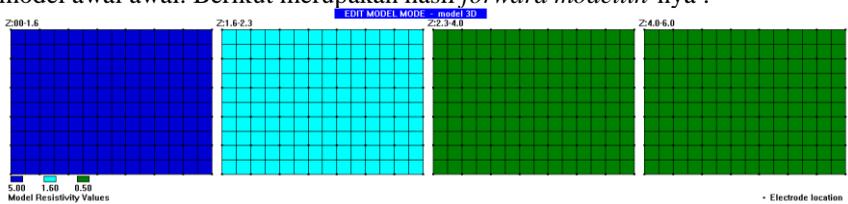
Gambar 4. 20 Model 3D volume resistivitas 3D lapangan

Pengukuran resistivitas 2D dan resistivitas 3D dilakukan di lapangan dan titik yang sama, maka seharusnya model 3D yang dihasilkan dari kedua data resistivitas tersebut adalah sama. Namun terjadi perbedaan yang sangat jauh antara kedua model. Baik dari kondisi bawah permukaan model maupun dari nilai resistivitasnya. Pada gambar 4.18 didapatkan model dengan dua lapisan yaitu lapisan pertama dengan nilai resistivitas sekitar $5 \Omega\text{m}$ mulai dari permukaan hingga kedalaman 1.5 m. Kemudian lapisan dibawahnya didapatkan memiliki nilai resistivitas sekitar $1 \Omega\text{m}$ dari kedalaman 1,5 hingga kedalaman ± 5 m. Dari hal tersebut dapat dilihat bahwa hasil pemodelan 3D resistivitas 2D lapangan dengan metode *Sequential Gaussian Simulation* sesuai dengan kondisi lapangan “MG” yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya.

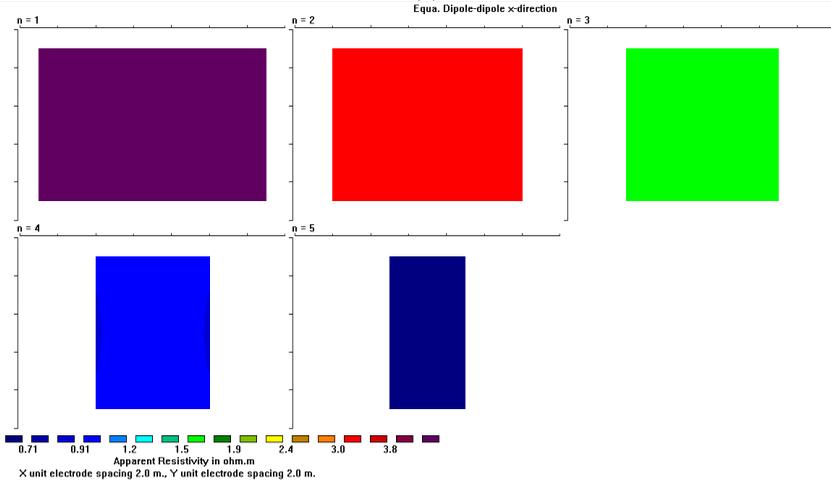
Hasil model 3D dari resistivitas 3D lapangan pada gambar 4.20 menunjukkan adanya bongkahan pada sisi selatan model. Hal ini jelas sangat berbeda dengan hasil yang diperoleh dari pengukuran 2D lapangan. Selain itu *range* nilai resistivitas yang dimiliki keseluruhan model juga berbeda jauh. Pada gambar 4.20 melihat bahwa nilai resistivitas tertinggi yang dimiliki model adalah $2717,176 \Omega\text{m}$ dan terendah yaitu $-126,45 \Omega\text{m}$. Pada kondisi idealnya, nilai resistivitas tidak mungkin negatif. Perbedaan ini kemungkinan dikarenakan oleh perlunya *software* khusus untuk pengolahan yang sesuai dengan alat *resistivitymeter* yang digunakan untuk pengukuran resistivitas 3D. Dalam pelaksanaannya, peneliti sudah mengikuti semua panduan penggunaan alat *resistivitymeter* dengan benar. Seharusnya untuk melakukan pengukuran resistivitas 3D dengan alat *resistivitymeter* tersebut perlu *software* khusus untuk akuisisi 3D. Diduga juga diperlukan *software* tertentu untuk mengolah data resistivitas 3D hasil pengukuran tersebut.

Kemudian untuk mengetahui bagaimana model 3D yang seharusnya didapat dari data lapangan resistivitas 3D, dilakukan *forward modelling* dengan

hasil pemodel 3D dari resistivitas 2D lapangan seperti pada gambar 4.18 sebagai model awal awal. Berikut merupakan hasil *forward modelling*-nya :



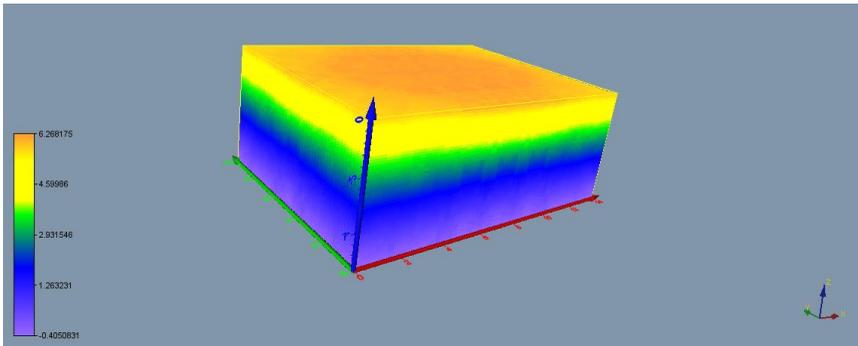
(a)



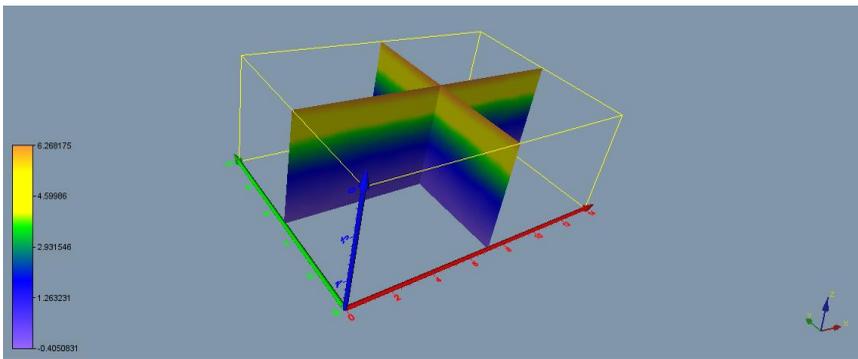
(b)

Gambar 4. 21 Proses *forward modelling* dari model 3D resistivitas 2D lapangan. a) model awal awal, b) hasil *forward modelling*.

Setelah itu dilakukan proses inversi dan pemodelan 3D dengan menggunakan *software Res3Dinv* dan *Voxler*. Gambar 4.22 dan gambar 4.23 menunjukkan hasil dari pemodelan 3D-nya.



Gambar 4. 22 Model 3D volume hasil *forward modelling* data resistivitas 2D.



Gambar 4. 23 Intersection model 3D volume hasil *forward modelling* data resistivitas 2D.

Model pada gambar 4.22 dan gambar 4.23 merupakan model yang harusnya dihasilkan dari pengolahan resistivitas 3D lapangan. karena model tersebut sesuai dengan kondisi lapangan “MG” dan sama dengan hasil pemodelan menggunakan metode *Sequential Gaussian Simulation* pada data resistivitas 2D lapangan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Pemodelan 3D data resistivitas 2D dengan metode *sequential gaussian simulation* perlu memperhatikan data analisis geostatistika. Data harus memenuhi syarat distribusi normal, selain itu harus dibuat variogram yang sesuai dengan persebaran data sebagai acuan estimasi model 3D. Selain itu dibutuhkan model estimasi awal yang berfungsi sebagai *Trend*.
2. Pemodelan 3D data resistivitas 3D dapat dilakukan dengan melakukan inversi data. Kemudian dilakukan *gridding* agar daerah yang berada diluar data dapat dilakukan ekstrapolasi.
3. Pemodelan 3D pada data resistivitas 2D menggunakan metode *Sequential gaussian Simulation* dapat menyamai hasil dari model 3D dari resistivitas 3D itu sendiri. Didapati nilai resistivitas yang tidak jauh berbeda dari kedua model yaitu untuk lapisan 1 nilai resistivitas sekitar 10 Ω m dan untuk lapisan kedua yaitu sekitar 5 Ω m. Selain itu model dapat menunjukkan kondisi bawah permukaan dengan baik.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, penulis menyarankan beberapa hal untuk penelitian selanjutnya :

1. Menggunakan tipe variogram yang berbeda pada metode yang sama agar dapat dibandingkan pengaruh tipe variogram terhadap hasil estimasi.
2. Menggunakan model awal yang lebih kompleks.
3. Mengaplikasikan metode geostatistika *Sequential Gaussian Simulation* pada metode resistivitas 1D.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Aisha, F.Y., Warnana, D.D. dan Ariyanti, N. (2018), "Pemodelan Geostatistik 3D Pada Sebaran Batuan Karbonat Menggunakan Metode Kriging Berdasarkan Data Resistivitas 2D Dan N-SPT", *Jurnal Geosaintek*, Vol.4, No.3, hal. 95-102–102.
<http://doi.org/10.12962/j25023659.v4i3.4522>.
- Bohling, G. (2007), *INTRODUCTION TO GEOSTATISTICS*, Boise State University, Idaho.
- Hohn, M.E. (1999), *Geostatistics and petroleum geology*, Second Edition., SPRINGER SCIENCE+BUSINESS MEDIA, B.V., West Virginia.
- Journel, A.G. dan Huijbregts, Ch.J. (1978), *Mining Geostatistics*, Academic Press, Great Britanian.
- Li, L., Srinivasan, S., Zhou, H. dan Jaime Gomez-Hernandez, J. (2015), "Two-point or multiple-point statistics? A comparison between the ensemble Kalman filtering and the ensemble pattern matching inverse methods", *Advances in Water Resources*, Vol.86, hal. 297–310.
<http://doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.05.014>.
- Loke, M. (1999), *Elektrical Imaging Surveys For Environment and Engineering Studies a Practical Guide 2-D and 3-D Surveys*, Penang.

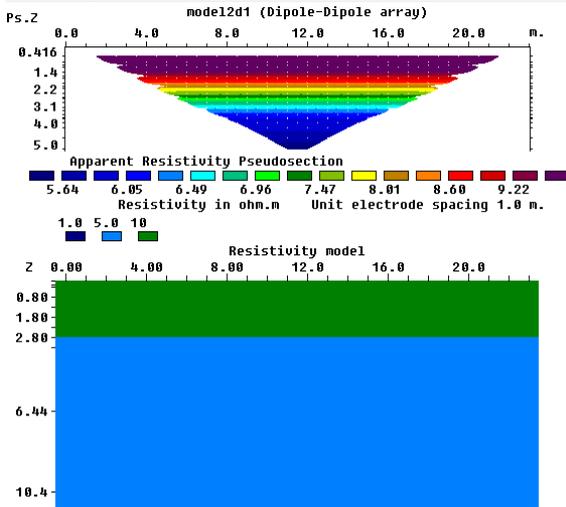
- Negreiros, J., Painho, M., Aguilar, F. dan Aguilar, M. (2010), "Geographical Information Systems principles of Ordinary Kriging Interpolator", *Journal of Applied Science*,.
- Nuarisanti, I.G.A.T., Utama, W. dan Syaifuddin, F. (2018), *APLIKASI PSEUDO SEISMIK UNTUK INTERPRETASI SEISMIK 3D DARI DATA SEISMIK 2D*,.
- Oliver, M.A. dan Webster, R. (2015), *Basic Steps in Geostatistics: The Variogram and Kriging* / Margaret A. Oliver / Springer. Diambil 30 Januari 2019, dari <https://www.springer.com/gb/book/9783319158648>.
- Reynold, J. (2011), *An introduction to applied and environment geophysics*, John Willey & Son.
- Susan L. King (2000), "Sequential Gaussian simulation vs. simulated annealing for locating pockets of high-value commercial trees in Pennsylvania", *Annals of Operations Research*, hal. 177–203.
- Telford, W., Geldart, L. dan Sheriff, R. (1990), *Applied Geophysics (2nd ed)*, Cambridge University Press, New York.
- Wang, J. dan Zuo, R. (2018), "Identification of Geochemical anomalies through combined sequential Gaussian Simulation and grid-based local singularity analysis", *Elsevier*, hal. 52–64.

Wibowo, H. (2009), "MODEL BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN
DATA GEOLISTRIK DAN BOR ; STUDI KASUS PENELITIAN
untuk, Lapangan P1tu, Pembangunan Paiton, D I", *itb*.,

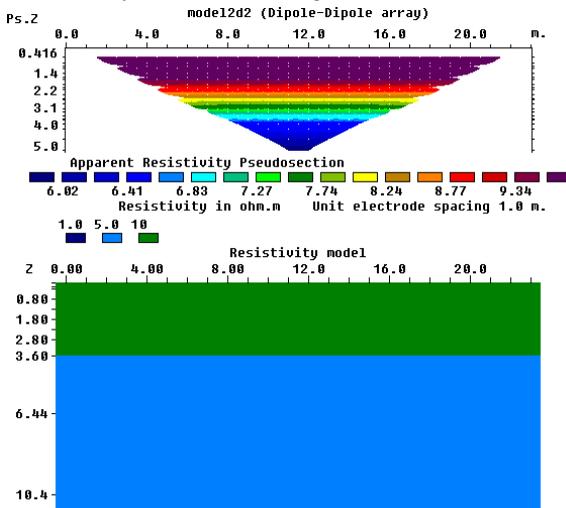
Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

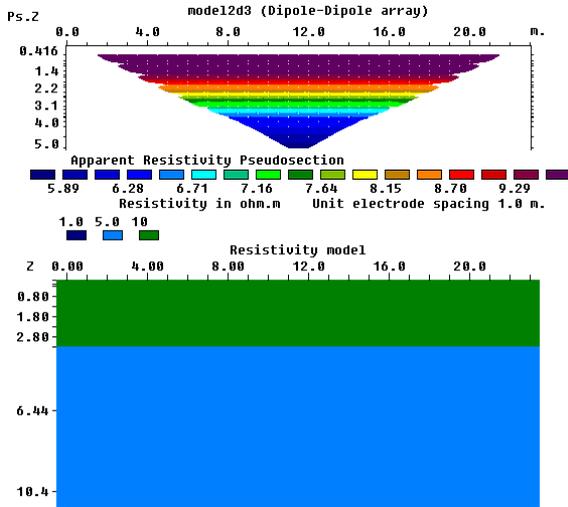
1. Hasil *forward modelling* resistivitas 2D Lintasan 1



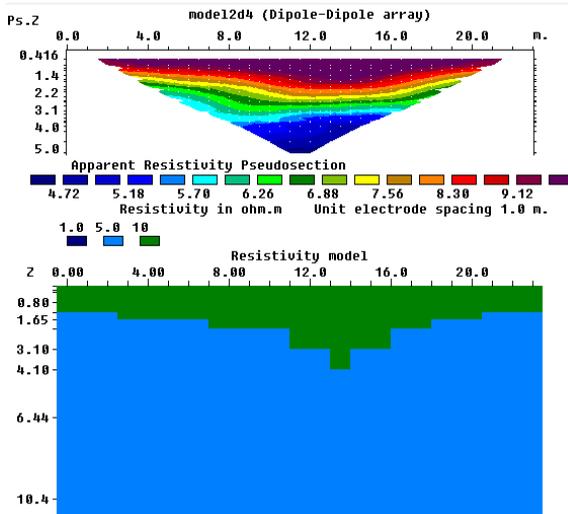
2. Hasil *forward modelling* resistivitas 2D Lintasan 2



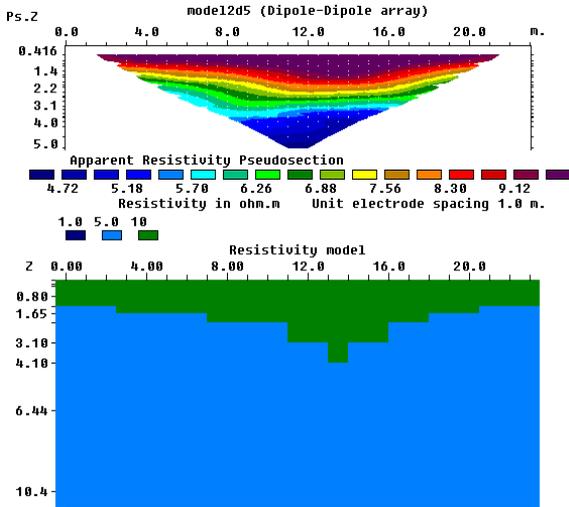
3. Hasil *forward modelling* resistivitas 2D Lintasan 3



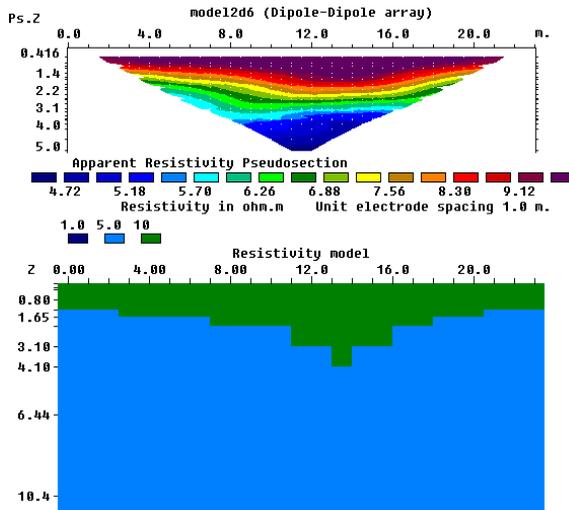
4. Hasil *forward modelling* resistivitas 2D Lintasan 4



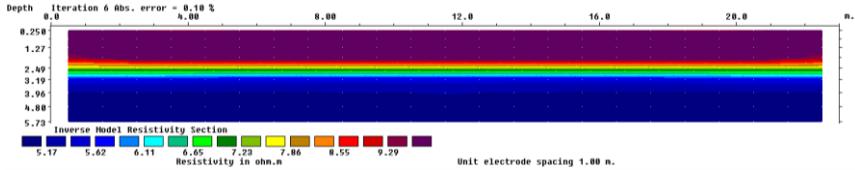
5. Hasil *forward modelling* resistivitas 2D Lintasan 5



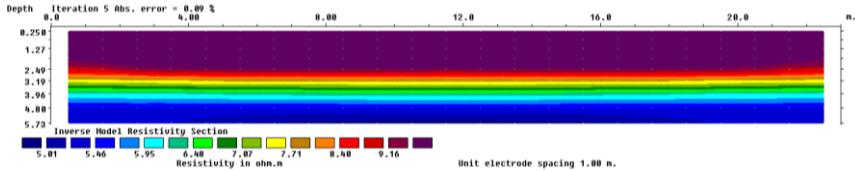
6. Hasil *forward modelling* resistivitas 2D Lintasan 6



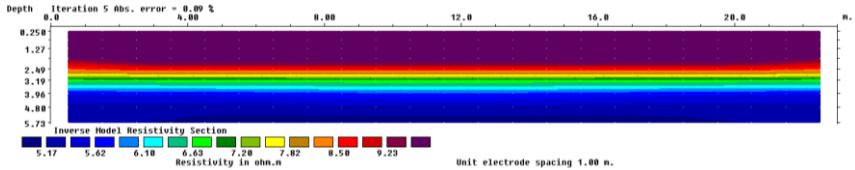
7. Hasil inversi resistivitas 2D Lintasan 1



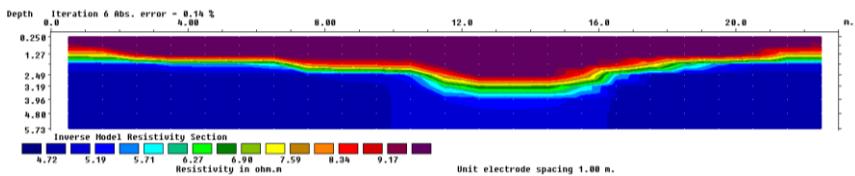
8. Hasil inversi resistivitas 2D Lintasan 2



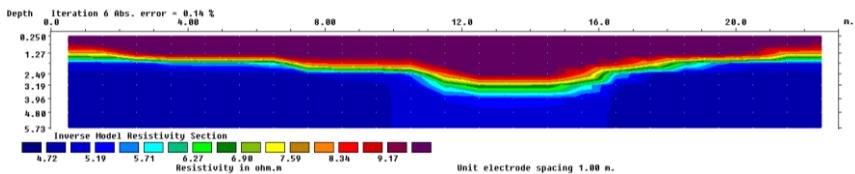
9. Hasil inversi resistivitas 2D Lintasan 3



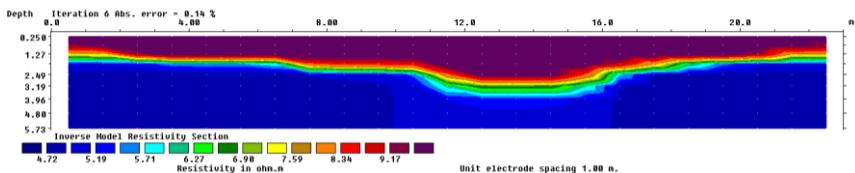
10. Hasil inversi resistivitas 2D Lintasan 4



11. Hasil inversi resistivitas 2D Lintasan 5



12. Hasil inversi resistivitas 2D Lintasan 6



BIODATA



Faiz Muhammad Eka Putra, nama yang belum pernah berubah sejak diberikan oleh orang tua penulis hingga sekarang. Lahir di Lumajang, 8 Januari 1998. Selama menjalani masa Pendidikan, penulis memiliki beberapa hobi yang telah ditekuni dari Pendidikan dasar hingga sekarang yaitu Catur. Dari hobi yang telah ditekuninya, penulis memiliki beberapa prestasi. Selain itu, menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS banyak pengalaman baru yang telah penulis dapatkan, baik secara softskill ataupun hardskill. Dan beberapa diantaranya yaitu menjadi Staf Departemen Dalam Negeri (DAGRI) untuk Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HMTG) ITS periode 2016/2017, Kepala Departemen Dalam Negeri (DAGRI)

HMTG ITS periode 2017/2018. Selain aktif dalam kegiatan organisasi, penulis mendapatkan beberapa program beasiswa diantaranya yaitu awardee beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (PPA) pada tahun periode 2017/2018 dan awardee beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (PPA) pada tahun periode 2018/2019. Beberapa pelatihan yang pernah diikuti penulis yaitu program pelatihan karya tulis ilmiah HMTG ITS, Leadership Organization of Training (LOT), dan Basic Media Schooling HMTG ITS. Adapun jika pembaca ingin berdiskusi mengenai materi yang penulis sampaikan bisa hubungi penulis melalui email faizmekaputra@gmail.com atau melalui nomor telepon 085655855118.