



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENCITRAAN 3-DIMENSI STRUKTUR RESISTIVITAS  
BAWAH PERMUKAAN DENGAN MENGGUNAKAN RESISTIVITY  
METER MULTICHANNEL**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana**

**MUHAMMAD HAEKAL HABIBIE  
0606039921**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
DEPARTEMEN FISIKA  
GEOFISIKA  
DEPOK  
JUNI 2009**

Universitas Indonesia

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Muhammad Haekal Habibie**

**NPM : 0606039921**

**Tanggal : 12 Juni 2009**

**Tanda Tangan :**

Universitas Indonesia

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Muhammad Haekal Habibie  
NPM : 0606039921  
Peminatan : Geofisika  
Judul Skripsi : Pencitraan 3-Dimensi Struktur Resistivitas Bawah Permukaan Dengan Menggunakan Resistivitymeter Multichannel

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan dewan penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.Eng.Yunus Daud,.MSc ( )

Penguji I : Dr. Syamsu Rosidi ( )

Penguji II : Ir. Ronal Afan,.M.Sc ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 12 Juni 2009

Universitas Indonesia

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya haturkan ke hadirat Allah SWT, karena berkat rahmatNya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini bertujuan guna mendapatkan gelar sarjana sains di bidang Fisika peminatan Geofisika Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan kegiatan perkuliahan dan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Dr.Eng Yunus Daud, MSc yang telah bersedia memberikan banyak waktu luang serta mencurahkan pikiran untuk membimbing saya dalam skripsi ini.
- 2) Teman-teman ekstensi Fisika peminatan Geofisika Angkatan 2006 yang telah bersama-sama melalui kegiatan perkuliahan selama 3 tahun. Kebersamaan kalian tidak akan terlupakan
- 3) Arif Budi Mulyawan dan Bang Razak yang telah banyak memberi saran dari segi teknis.
- 4) Warga Kampung Gedong Kemiri Depok yang sebagian tanahnya dibuat penelitian dalam skripsi ini oleh penulis.
- 5) Keluarga besar di Tangerang (Papa, Mama, Riri, Dini, Mutia, Radit, Emak).
- 6) Istriku tercinta Dewi Retnoningsih yang telah setia menemani penulis baik suka maupun duka.

Akhir kata semoga Allah SWT melimpahkan rahmatNya kepada mereka. Amin

Depok, Juni 2009

Penulis

Universitas Indonesia

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Haekal Habibie  
NPM : 0606039921  
Peminatan : Geofisika  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis Karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non exclusive Royalti Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pencitraan 3-Dimensi Struktur Resistivitas Bawah Permukaan Dengan  
Menggunakan Resistivitymeter Multichannel

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 12 Juni 2009

Yang Menyatakan

Muhammad Haekal Habibie

Universitas Indonesia

## ABSTRAK

Nama : Muhammad Haekal Habibie  
Peminatan : Geofisika  
Judul : Pencitraan 3-Dimensi Struktur Resistivitas Bawah Permukaan Dengan Menggunakan Resistivitymeter Multichannel

Metode Resistivity 3-D digunakan untuk mencitrakan adanya keberadaan rongga bawah tanah di daerah Kemiri Muka Depok. Dengan adanya pencitraan resistivity secara 3-D diharapkan rongga bawah tanah tersebut dapat termodelkan dengan jelas. Hal ini berhubungan dengan keselamatan jiwa penduduk daerah sekitar rongga bawah tanah. Akuisisi data dilakukan dengan memakai alat DC Resistivity multichannel elektroda dengan konfigurasi Dipole-dipole. Daerah pengukuran berukuran 25,6 m x 20,8 m di atas daerah yang di duga terdapat rongga bawah tanah. Hasilnya diketahui bahwa pada daerah tersebut terdapat rongga bawah tanah di sebelah utara dan selatan daerah penelitian.

Kata Kunci:  
Metode DC Resistivity, Konfigurasi Dipole-dipole, Pencitraan 3-D, Multichannel elektroda

## ABSTRACT

Name : Muhammad Haekal Habibie  
Study Program : Geophysics  
Title : Three-Dimensional Imaging of Subsurface Resistivity Structure Using Multichannel Resistivitymeter

A method of 3-D Resistivity is used for imaging a cavity in Kemiri Muka, Depok. Hopefully with 3-D imaging resistivity, the cavity could be modeled clearly. It is depend on human safety that lived around the cavity. Data acquisition have been done with use multichannel electrode DC Resistivity by Dipole-dipole configuration. A measuring area is 25,6 m x 20,8 m above the area is estimated has the cavity. As a result, the area is known has a cavity in north and south region of research.

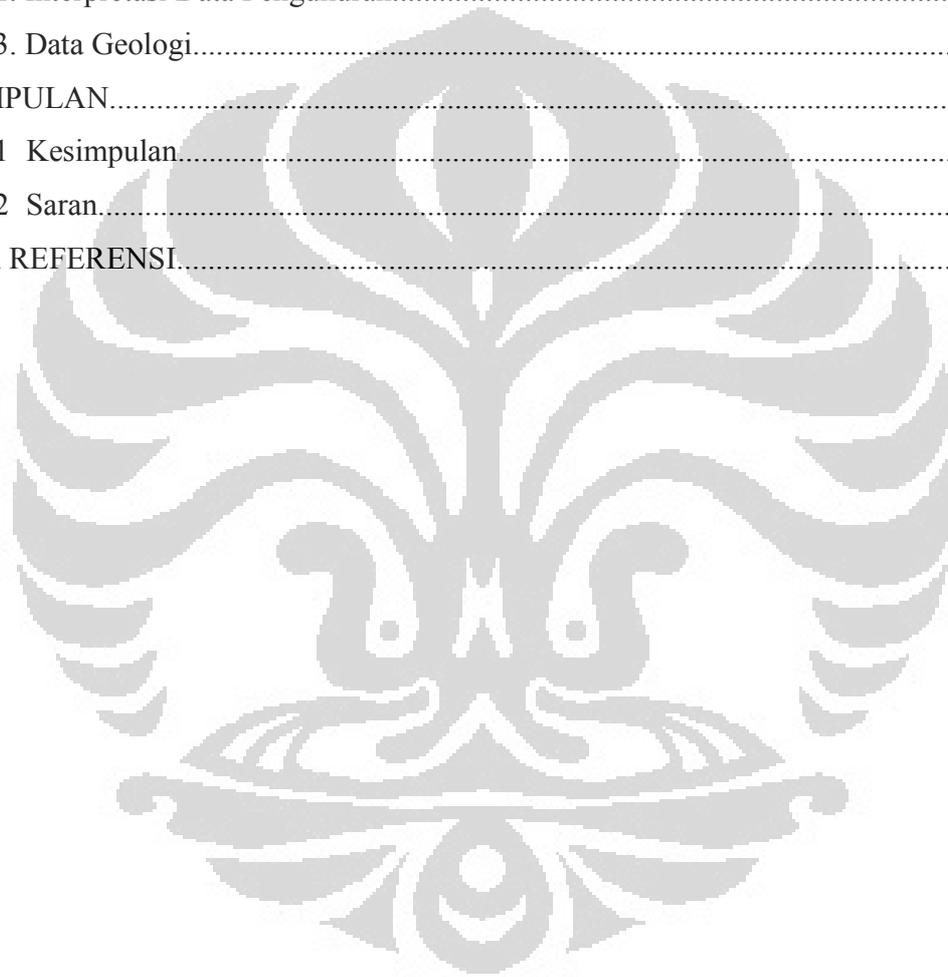
*Keywords:*  
*DC Resistivity Method, Dipole-dipole Configuration, 3-D Imaging Multichannel electrode*

Universitas Indonesia

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR.....	
KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Tujuan Penulisan.....	1
1.3. Pembatasan Masalah.....	2
1.4. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	2
1.5. Metodologi Penelitian.....	3
2. TEORI DASAR.....	4
2.1. Prinsip Dasar Metode DC Resistivity.....	4
2.2. Konfigurasi Elektrode Dipole-dipole.....	9
2.3. Pemodelan 3-D Resistivity.....	12
2.4. Teori Dasar Inversi Geofisika.....	13
3. PEMODELAN.....	18
3.1. Pemodelan Awal.....	18
3.2. Design Pengukuran Pemodelan Awal.....	20
3.2.1. Grid 13x10 (a=19 meter dan n=10.5).....	20
3.2.2. Grid 14x11 (a=1.8 meter dan n=11).....	23
3.2.3. Grid 15x12 (a=1.7 meter dan n=12).....	25
3.2.4. Grid 16x13 (a=1.6 meter dan n=13).....	28
4. AKUSISI DATA.....	32

4.1. Daerah Penelitian.....	32
4.2. Kunjungan Lapangan.....	33
4.3. Peralatan Pengukuran.....	36
4.4. Akuisisi Data.....	38
5. PENGOLAHAN DAN INTERPRETASI DATA.....	40
5.1. Pengolahan Data Pengukuran.....	40
5.2. Interpretasi Data Pengukuran.....	43
5.3. Data Geologi.....	53
6. KESIMPULAN.....	54
6.1 Kesimpulan.....	54
6.2 Saran.....	55
DAFTAR REFERENSI.....	56



## DAFTAR GAMBAR

1.1 Lokasi Penelitian.....	2
1.2 Diagram Alir Penelitian.....	3
2.1 Aliran Arus yang Menimbulkan Distribusi Potensial.....	8
2.2 Metode Resistivity Konfigurasi Elektrode Dipole-dipole.....	9
2.3 Sensitivitas Konfigurasi Elektrode Dipole-dipole Secara Vertikal dan Horizontal.....	11
2.4 Susunan Elektrode Pengukuran DC Resistivity 3-D <i>Multi-Channel</i> Grid 4x4.....	13
3.1 Pemodelan Maju.....	18
3.2 Pemodelan Mundur.....	19
3.3 Model Blok Grid 13x10 dengan $a=1.9$ meter dan $n=10.5$ .....	21
3.4 (a). Model Hasil Inversi Secara Vertikal Terhadap Arah XZ.....	22
(b). Model Hasil Inversi Secara Vertikal Terhadap Arah YZ.....	22
(c). Model Hasil Inversi Secara Horizontal.....	22
3.5 Model Blok Grid 14x11 dengan $a=1.8$ meter dan $n=11$ .....	23
3.6 (a). Model Hasil Inversi Secara Vertikal Terhadap Arah XZ.....	24
(b). Model Hasil Inversi Secara Vertikal Terhadap Arah YZ.....	24
(c). Model Hasil Inversi Secara Horizontal.....	24
3.7 Model Blok Grid 15x12 dengan $a=1.7$ meter dan $n=12$ .....	25
3.8 (a). Model Hasil Inversi Secara Vertikal Terhadap Arah XZ.....	27
(b). Model Hasil Inversi Secara Vertikal Terhadap Arah YZ.....	27
(c). Model Hasil Inversi Secara Horizontal.....	27
3.9 Model Blok Grid 16x13 dengan $a=1.6$ meter dan $n=12.5$ .....	28
3.10 (a). Model Hasil Inversi Secara Vertikal Terhadap Arah XZ.....	29
(b). Model Hasil Inversi Secara Vertikal Terhadap Arah YZ.....	29
(c). Model Hasil Inversi Secara Horizontal.....	29
3.11 Model 3-D Hasil Inversi Grid 16x13 ( $a=1.6$ meter dan $n=12.5$ ).....	31
4.1 Peta Daerah Penelitian.....	32
4.2 Perbandingan Luas Daerah Pengukuran Resistivity Sebelumnya.....	
Dengan Luas Daerah Pengukuran Penelitian.....	34

4.3. Grid Lintasan Pengukuran.....	35
4.4. Resistivity Meter ARES.....	36
4.5. Kabel Konektor Resistivity Meter ARES.....	37
4.6. File Ekstension dat (.dat) yang Memuat Data Pengukuran.....	38
5.1. Script Proses Colate Beberapa Data 2D Secara Paralel Menjadi Data 3D.....	41
5.2. Report Hasil Proses Inversi Pada Software RES3DINV.....	42
5.3. Model Hasil Inversi Data Pengukuran SecaraHorizontal Arah XZ.....	44
5.4. Model Hasil Inversi Data Pengukuran SecaraHorizontal Arah YZ.....	45
5.5. Model Hasil Inversi Data Pengukuran Secara Vertikal Arah XZ.....	47
5.6. Model Hasil Inversi Data Pengukuran Secara Vertikal Arah YZ.....	49
5.7. Hasil Inversi Daerah Pengukuran Secara 3-D.....	50
5.8. Dua Rongga Utama yang Terpisah di Utara dan Selatan Daerah Pengukuran.....	51
5.9. Model Hasil Inversi Penelitian Sebelumnya.....	52



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Survei geofisika menggunakan metode Resistivity digunakan untuk meneliti atau mengetahui jenis suatu batuan berdasarkan sifat kelistrikan batuan. Karena masing-masing batuan dibawah permukaan bumi ini mempunyai ciri khas dari sifat kelistrikannya. Hal ini dipengaruhi oleh porositas batuan, jenis material pembentuk batuan, derajat saturasi air, kandungan lempung dan permeabilitas batuan. Sifat listrik batuan ini merupakan karakteristik batuan jika terdapat arus listrik yang dialirkan didalamnya. Sebagian besar batuan bukan merupakan konduktor yang baik, artinya arus listrik yang terdistribusi dalam bentuk elektron bebas akan terikat kuat oleh atomnya masing-masing. Selain itu survei resistivity ini efektif untuk target eksplorasi yang dangkal dikarenakan memiliki sensitivitas tinggi pada daerah dekat permukaan baik secara lateral maupun secara vertikal. Permasalahan lingkungan juga dapat diselesaikan menggunakan suatu survei resistivity karena memiliki konsep dasar perbedaan nilai kelistrikan batuan yaitu nilai resistivitas batuan.

Maka dari itu penulis melakukan penelitian dengan judul pencitraan 3-D struktur resistivitas bawah permukaan dengan menggunakan resistivity meter multichannel. Pada kegiatan penelitian ini, metode geofisika yang digunakan adalah metode Resistivity konfigurasi Dipole-dipole dengan pencitraan 3-D. Objek penelitian yang akan diobservasi pada penelitian ini berupa rongga bawah tanah (*cavity*).

### 1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan dari tugas akhir ini adalah:

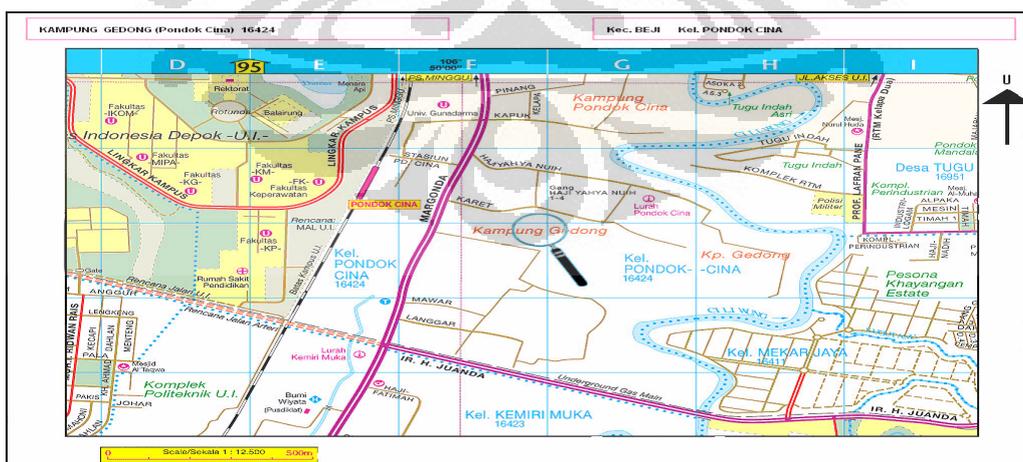
1. Mampu mempelajari dan memahami proses akuisisi data dari pengukuran dengan menggunakan metode Resistivity
2. Mampu menentukan nilai resistivitas bawah permukaan pada daerah penelitian
3. Mampu mengolah data dari hasil akuisisi serta membuat pemodelannya secara 3-D

### 1.3 Pembatasan Masalah

Metode Resistivity merupakan metode yang banyak digunakan untuk mencitrakan heterogenitas struktur dan objek di bawah permukaan bumi. Parameter yang digunakan pada metode ini adalah adanya keragaman nilai kelistrikan khususnya nilai resistivitas di bawah permukaan bumi. Sebagai contoh batu lempung yang termasuk jenis batuan sedimen memiliki nilai resistivitas sebesar 1-120  $\Omega\text{m}$  sedangkan batu granit yang termasuk jenis batuan beku memiliki nilai resistivitas sebesar 5000-10<sup>6</sup>  $\Omega\text{m}$ . Maka dari itu dengan adanya keberagaman nilai resistivitas tersebut maka kita dapat mencitrakan struktur dan objek bawah permukaan bumi. Pada penelitian ini penulis melakukan pengukuran dengan metode Resistivity konfigurasi Dipole-dipole *multi-channel electrode* di daerah sekitar UI bersama team Geofisika Eksplorasi F-MIPA UI. Pengukuran tersebut bertujuan guna mendapatkan pola sebaran nilai resistivitas dari daerah pengukuran. Untuk selanjutnya data pengukuran resistivity tersebut diproses dan diinterpretasikan dalam bentuk pemodelan secara 3-D.

### 1.4. Waktu dan Lokasi Penelitian

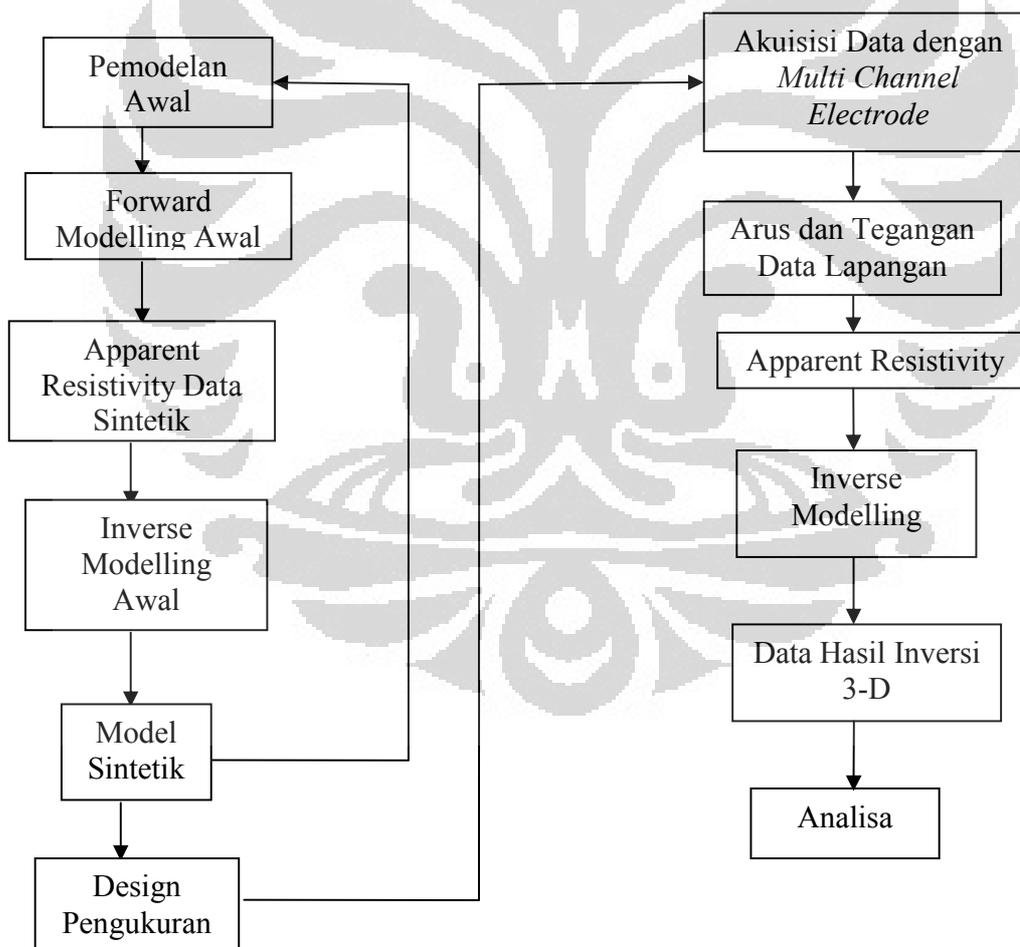
Kegiatan penelitian yang dilakukan oleh penulis dilaksanakan dari bulan Februari sampai bulan Mei 2009. Di bawah arahan Dr.Eng.Yunus Daud.,M.Sc sebagai pembimbingnya. Kegiatan penelitian ini dilaksanakan dengan cara melakukan pengukuran Resistivity konfigurasi Dipole-dipole *multi-channel electrode* di daerah Kampung Gedong, Kemiri Muka, Depok dengan dibantu oleh tim dari Geofisika Eksplorasi Departemen Fisika UI.



Gambar 1.1 Lokasi Penelitian

## 1.5 Metodologi Penelitian

Penelitian dengan menggunakan metode Resistivity ini dilakukan dalam beberapa tahapan hingga mencapai hasil berupa pencitraan objek penelitian secara 3-D. Tahapan yang dilalui dimulai dari membuat model awal yang menggambarkan objek sesungguhnya lalu diproses secara *Forward Modelling* hingga diperoleh nilai apparent resistivity data sintetik. Setelah itu nilai apparent resistivity tersebut diproses secara inversi hingga mendapatkan model sintetik hasil inversi. Model sintetik ini lalu dikomparasi dengan model awal. Hal ini berguna untuk proses design pengukuran akuisisi data. Pada proses akuisisi data digunakan Resistivity meter *multi channel electrode* hingga didapatkan nilai apparent resistivity dan diolah secara inversi hingga mendapatkan pencitraan secara 3-D objek penelitian ini.



Gambar 1.2 Diagram Alir Penelitian

## BAB 2

### TEORI DASAR

#### 2.1 Prinsip Dasar Metode Resistivity

Aliran arus listrik mengalir ke dalam material bumi pada kedalaman yang relative dangkal memiliki 2 macam cara yaitu dengan cara *electronic conduction* dan *electrolytic conduction* (Daud, 2008). Pada *electronic conduction*, aliran arus akan melewati elektron bebas seperti logam. Pada *electrolytic conduction*, aliran arus akan melewati pergerakan ion-ion yang terjadi di dalam air bawah permukaan. Pada survey Resistivity mengenai lingkungan dan teknik, aliran arus secara *electrolytic conduction* mungkin merupakan pendekatan yang umum digunakan. *Electronic conduction* biasanya terjadi jika terdapat keberadaan mineral yang bersifat konduktif. Hubungan antara resistivity dengan porositas dan nilai saturasi dari suatu batuan diberikan oleh persamaan berikut:

$$\rho = a\rho_w\phi^{-m} \quad (2.1)$$

Persamaan (2.1) diatas dinamakan dengan hukum Archie yang dapat diaplikasikan pada beberapa tipe batuan yang memiliki volume pori yang besar serta kandungan lempung yang sedikit. Dimana  $\rho$  merupakan nilai resistivitas batuan,  $\rho_w$  adalah nilai resistivitas air,  $a$  adalah koefisien saturasi,  $m$  adalah faktor sementasi dan  $\phi$  adalah fraksional porositas. Aliran arus secara *electrical conduction* dapat diasumsikan dengan cara arus listrik melewati fluida yang terkandung di dalam pori-pori batuan (Loke, 2004).

Tujuan diadakannya pengukuran menggunakan metode Resistivity ini adalah untuk menentukan distribusi nilai resistivitas bawah permukaan dengan cara melakukan pengukuran di permukaan tanah. Dari pengukuran tersebut nilai resistivity sebenarnya (*True Resistivity*) dapat diperkirakan. Nilai resistivitas bawah permukaan akan berhubungan erat dengan parameter geologi daerah tersebut seperti besar porositas batuan, kandungan mineral pembentuk batuan, kandungan fluida pada batuan, nilai saturasi air batuan, dan kandungan lempung yang berbeda pada setiap batuan. Metode Resistivity ini merupakan metode yang sering digunakan dalam memecahkan berbagai permasalahan dalam berbagai bidang seperti masalah lingkungan,

penentuan basement, mencari air bawah tanah, pertambangan, dan investigasi adanya rongga bawah tanah (*artificial cavity*) seperti yang akan dilakukan oleh penulis dalam penelitian ini.

Pada penelitian ini pengukuran Resistivity dilakukan dengan cara menginjeksikan arus listrik (I) melalui elektroda kedalam tanah lalu mengukur beda potensial ( $\Delta V$ ) pada elektroda lain di sekitar daerah pengukuran tersebut. Dari beda potensial ( $\Delta V$ ) yang didapatkan, kita dapat menentukan nilai resistivitas semu daerah pengukuran dengan menggunakan persamaan:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.2)$$

dimana,  $\rho_a$  = Nilai resistivitas semu

K = Konstanta Geometri

$\Delta V$  = Potensial yang terukur pada daerah pengukuran

I = Arus yang diinjeksikan ketika pengukuran

Prinsip dasar yang digunakan dalam metode Resistivity ini adalah berdasarkan hukum Ohm yang memanfaatkan adanya aliran arus listrik (I) yang mengalir di bawah permukaan tanah. Persamaan tersebut dijabarkan dalam bentuk vektor dari aliran arus yang mengalir di dalam suatu medium yang *continuos* (Loke, 2004) dengan persamaan.

$$J = \sigma E \quad (2.3)$$

dimana  $\sigma$  merupakan konduktivitas dari medium, J merupakan rapat arus listrik dan E adalah medan listrik. Pada pengukuran Resistivity, resistivitas medium didapatkan berdasarkan dari nilai konduktivitas medium tersebut dimana  $\rho = \frac{1}{\sigma}$ . Hubungan antara potensial listrik dan medan listrik dijabarkan dalam persamaan berikut :

$$E = - \nabla V \quad (2.4)$$

Persamaan (2.4) menggambarkan bahwa medan listrik (E) merupakan gradien dari potensial listrik(V). Apabila Persamaan (2.3) dan (2.4) digabungkan maka akan didapatkan persamaan baru yaitu :

$$J = - \sigma \nabla V \quad (2.5)$$

Anggap arus (I) mengalir pada medium yang homogen dan isotropik, maka :

$$\nabla \cdot J = 0 \quad (2.6)$$

Universitas Indonesia

Artinya perubahan rapat arus pada suatu medium tidak dipengaruhi oleh parameter apapun. Rapat arus tersebut bersifat isotropik artinya bernilai sama ke segala arah. Apabila persamaan (2.5) dan (2.6) digabung maka akan didapatkan:

$$\nabla \cdot (\sigma \nabla V) = 0 \quad (2.7)$$

Bila persamaan (2.7) diproses maka akan mendapatkan hasil:

$$\nabla \sigma \cdot \nabla V + \sigma \nabla^2 V = 0 \quad (2.8)$$

Karena tidak ada variasi konduktivitas maka  $\sigma$  pada persamaan (2.8) merupakan suatu konstanta, sehingga  $\nabla \sigma \cdot \nabla V$  akan bernilai nol sehingga akan menghasilkan suatu persamaan baru yaitu:

$$\nabla^2 V = 0 \quad (2.9)$$

Persamaan (2.9) ini merupakan persamaan Laplace dimana potensial merupakan fungsi harmonik (Mulyawan, 2007).

Potensial (V) akibat adanya arus (I) yang mengalir pada medium yang homogen dan isotropik menyebabkan nilai resistivity ( $\rho$ ) konstan. Karena sifat simetri dari sistem yang ditinjau maka potensial merupakan fungsi dari jarak r atau V (r) sehingga persamaan (2.9) menjadi

$$\nabla^2 V = \frac{d}{dr} \left( r^2 \frac{dV}{dr} \right) = \frac{d^2 V}{dr^2} + \frac{2dV}{r dr} = 0 \quad (2.10)$$

Apabila persamaan (2.10) diintegrasikan sebanyak dua kali maka akan menghasilkan sebuah persamaan baru yaitu:

$$V = -\frac{a}{r} + b \quad (2.11)$$

dimana a dan b merupakan konstanta. Arus akan mengalir secara meradial dan membentuk setengah lingkaran (Mulyawan, 2007). Hubungan antara arus (I), luas (A) dan rapat arus (J) akan didapatkan dengan persamaan:

$$I = A J \quad (2.12)$$

Maka, besar arus (I) yang mengalir pada sebuah medium yang homogen adalah:

$$I = \frac{-2\pi a}{\rho} \quad (2.13)$$

Ini merupakan persamaan dasar dimana distribusi potensial tersebar pada bawah permukaan ketika sumber arus (I) diberikan. Teknik pengembangan numerik disusun guna mengatasi segala permasalahan yang terjadi pada permasalahan ini. Pemodelan menggunakan *Forward Modelling*

digunakan untuk menentukan nilai potensial yang terukur dengan memberikan pemodelan struktur bawah permukaan.

Pada beberapa kasus aliran arus secara radial mengalir dari sumber arus dan variasi potensial akan berinversi terhadap jarak. Ekuipotensial yang terbentuk pada permukaan akan mempunyai bentuk secara hemisphere dan aliran arus akan mengalir secara vertikal tegak lurus terhadap permukaan dari bidang ekuipotensial. Potensial yang terjadi diberikan pada persamaan berikut ini:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (2.14)$$

Dimana  $r$  adalah jarak antar titik pada medium dengan elektroda,  $\rho$  adalah nilai resistivity medium,  $I$  adalah arus yang mengalir pada suatu medium hingga menghasilkan potensial (V) pada medium tersebut. Pengukuran Resistivity ini sedikitnya menggunakan 2 elektroda arus, elektroda positive (+) dan elektroda negative (-). Gambar 2.1 menunjukkan distribusi potensial yang ditimbulkan oleh pasangan elektroda .

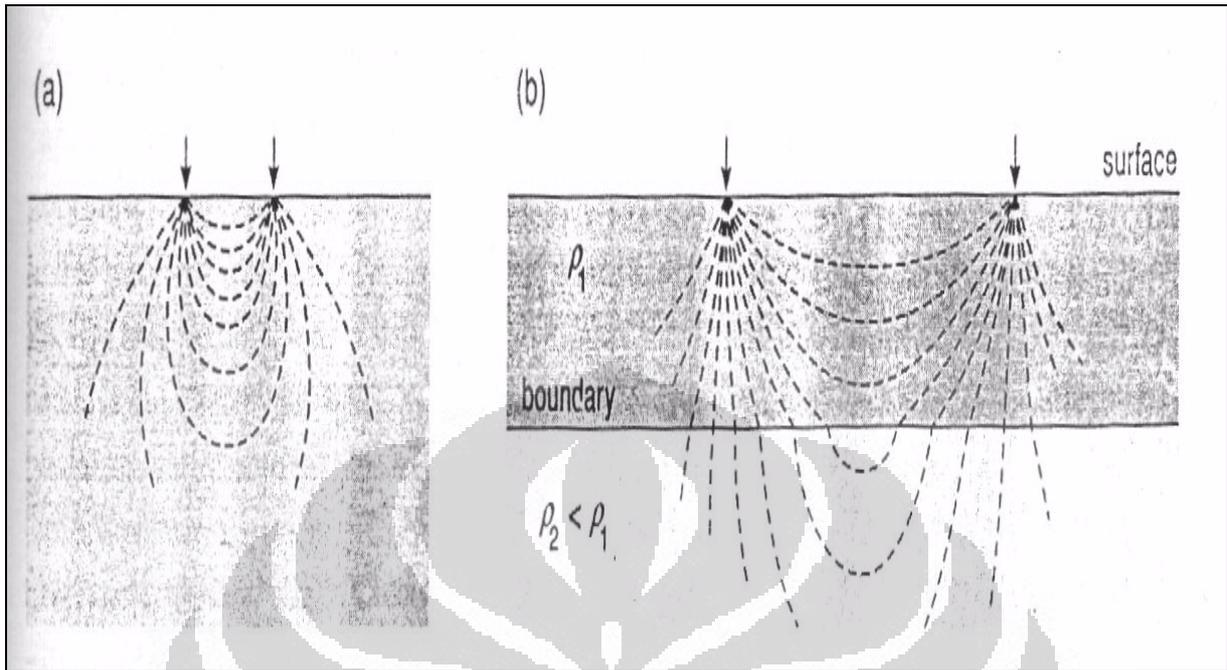
Nilai potensial yang terukur simetris terhadap titik tengah diantara kedua elektroda. Nilai potensial medium yang terukur diberikan pada persamaan berikut:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r_{c1}} - \frac{1}{r_{c2}} \right) \quad (2.15)$$

dimana  $r_{c1}$  dan  $r_{c2}$  adalah jarak antara titik pertama dan titik kedua pada kedua elektroda arus. Pada prinsipnya beda potensial antara kedua titik ukur akan terukur diberikan dalam persamaan:

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r_{c1p1}} - \frac{1}{r_{c2p1}} - \frac{1}{r_{c1p2}} + \frac{1}{r_{c2p2}} \right) \quad (2.16)$$

Persamaan di atas merupakan persamaan dari potensial yang terukur pada medium yang homogen dengan susunan 4 elektroda. Pengukuran Resistivity dilakukan dengan cara menginjeksikan arus kedalam permukaan tanah dan mengukur beda potensial diantara elektroda.



Gambar 2.1 Aliran Arus yang Menimbulkan Distribusi Potensial (Daud, 2008)

Dari nilai arus ( $I$ ) dan nilai potensial ( $\Delta V$ ) yang didapatkan, maka nilai apparent resistivity ( $\rho_a$ ) dapat dicari dengan persamaan:

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \quad (2.17)$$

Dimana,  $k = \frac{2\pi}{\left( \frac{1}{r_{c1p1}} + \frac{1}{r_{c2p1}} + \frac{1}{r_{c1p2}} + \frac{1}{r_{c2p2}} \right)}$

$k$  adalah faktor geometri yang berhubungan dengan susunan dari elektroda yang digunakan.

Pengukuran Resistivity ini akan memberikan suatu nilai resistansi  $R = \left( \frac{\Delta V}{I} \right)$  dan nilai dari

apparent resistivity ( $\rho_a$ ) dapat dicari dengan menggunakan persamaan

$$\rho_a = k R \quad (2.18)$$

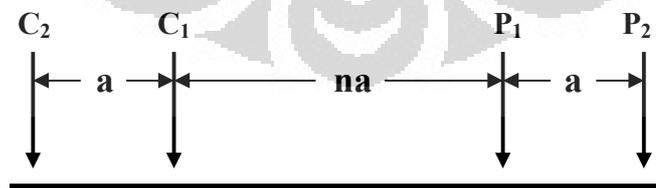
Nilai resistivity yang didapatkan bukanlah nilai resistivity sebenarnya pada bawah permukaan daerah yang diobservasi, tetapi merupakan nilai resistivity semu yang didapatkan pada daerah homogen yang memiliki nilai resistivity yang sama pada suatu rangkaian elektroda tertentu. Hubungan antara resistivitas semu dan resistivitas sebenarnya memiliki korelasi yang sangat

kompleks. Untuk menentukan suatu nilai resistivitas sebenarnya dari nilai resistivitas semu dapat diselesaikan menggunakan pendekatan secara inversi.

Berdasarkan nilai resistivitas semu yang didapatkan tersebut, kita dapat membuat pemodelannya. Pemodelan resistivity struktur dan objek bawah permukaan pada daerah pengukuran yang akan penulis buat pada penelitian ini adalah secara 3-D. Berarti pada pemodelannya terdiri dari tiga komponen yaitu x,y,z. Komponen x merupakan panjang lintasan pengukuran, komponen y merupakan lebar lintasan pengukuran dan komponen z merupakan kedalaman penetrasi respon kelistrikan. Pemodelan secara 3-D ini adalah perkembangan dari pemodelan resistivity konvensional secara 1-D dan 2-D yang telah ada sebelumnya. Kelebihan dari pemodelan 3-D ini dibandingkan dengan pemodelan secara 1-D maupun 2-D salah satunya adalah meningkatkan resolusi dari objek yang akan dicari. Dengan pemodelan resistivity secara 3-D maka objek yang akan di cari akan tercitra lebih jelas wujudnya. Akan tetapi disamping terdapat kelebihan terdapat kelemahan dari pemodelan secara 3-D ini yaitu biaya yang lebih mahal, akuisisi data yang cukup lama, serta diperlukan proses pengolahan data dengan komputer yang handal.

## 2.2 Konfigurasi Elektrode Dipole-dipole

Pada pengukuran metode Resistivity ini konfigurasi penyusunan elektrodanya adalah dengan menggunakan konfigurasi Dipole-dipole *multi-channel electrode*, dimana cara kerja dari konfigurasi tersebut adalah dengan cara memasang beberapa elektroda sekaligus pada beberapa titik ukur, dimana daerah pengukuran biasanya berbentuk persegi. Proses perekaman potensial (V) yang diukur dilakukan secara serentak pada beberapa titik ukur sekaligus. Hal ini akan bermanfaat guna efisiensi waktu pengukuran.



Gambar 2.2 Metode Resistivity Konfigurasi Elektrode Dipole-dipole

Konfigurasi Dipole-dipole ini memiliki EM coupling yang rendah antara circuit arus dan potensialnya (Loke, 2004). Konfigurasi elektrode Dipole-dipole ditunjukkan pada Gambar 2.2.

Dimana  $a$  merupakan jarak antara pasangan elektroda arus C1-C2 dan juga jarak antara pasangan elektroda potensial P1-P2. Faktor  $n$  adalah faktor rasio yang merupakan perbandingan antara jarak elektroda arus-potensial terdalam (C1-P1) terhadap jarak antara kedua pasang elektroda arus (C1-C2) atau potensial (P1-P2). Besarnya “ $a$ ” dibuat tetap serta faktor “ $n$ ” meningkat mulai dari 1 ke 2 ke 3 sampai sekitar 6 untuk meningkatkan *depth of investigation*.

Nilai apparent resistivity ( $\rho_{app}$ ) daerah pengukuran dengan menggunakan konfigurasi Dipole-dipole ini diperoleh seperti pada persamaan (2.2), dimana nilai konstanta geometri ( $k$ ) akan diberikan dalam persamaan:

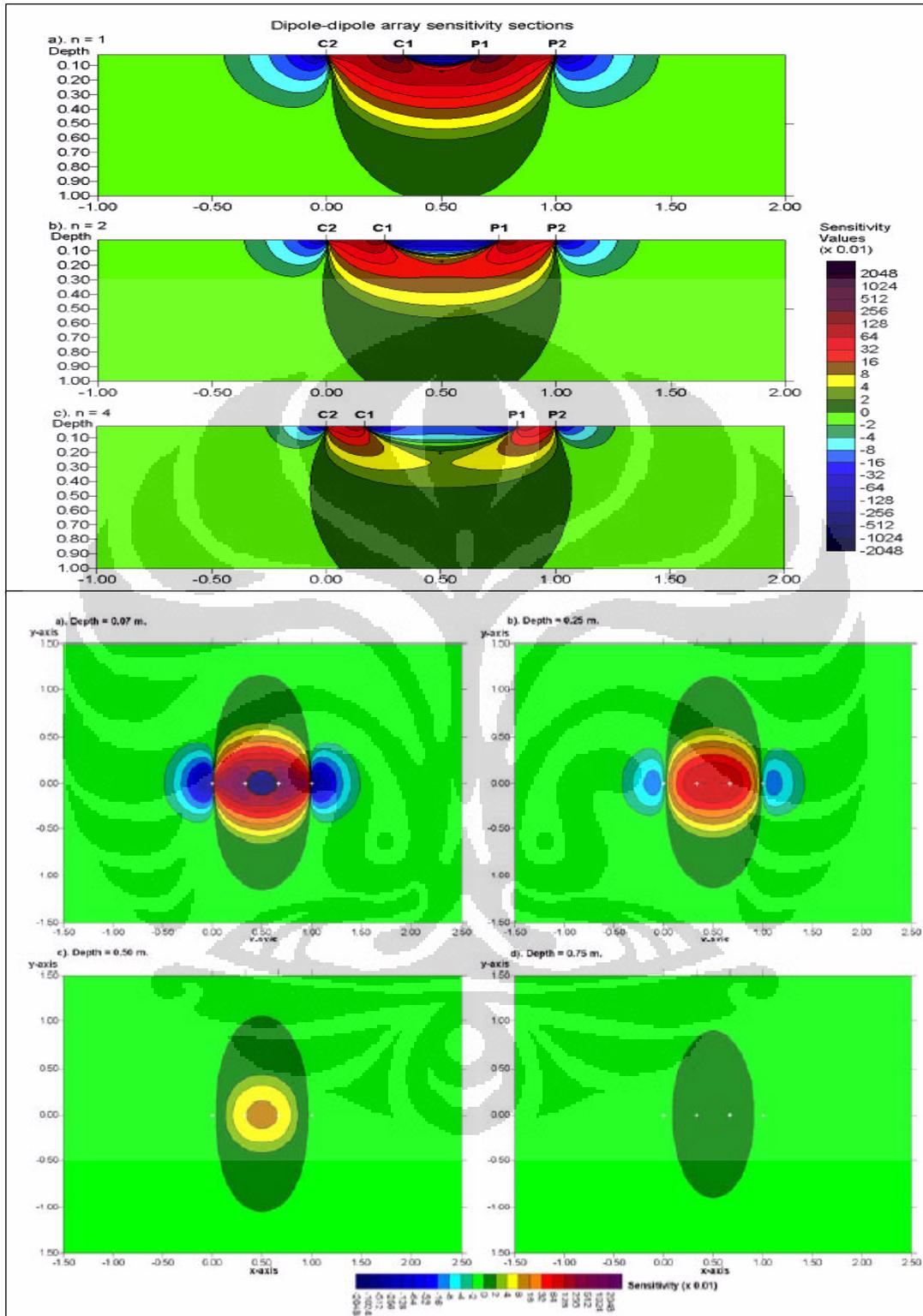
$$K = \pi n (n+1) + (n+2) a \quad (2.19)$$

Sehingga persamaan (2.2) dapat dimodifikasi menjadi:

$$\rho_a = \pi a \frac{V}{I} n(n+1) + (n+2) \quad (2.20)$$

Gambar 2.3 menunjukkan sensitivitas dari konfigurasi elektroda Dipole-dipole untuk nilai faktor  $n$  (kedalaman) dari 1 sampai 4. Nilai sensitivitas terbesar umumnya terletak diantara pasangan elektroda arus C1-C2 dan pasangan elektroda potensial P1-P2. Hal ini berarti bahwa konfigurasi ini sensitif terhadap perubahan nilai resistivity pada tiap-tiap pasangan elektrodanya. Ketika faktor  $n$  bertambah besar maka nilai sensitivitas terbesar akan terkonsentrasi di bawah pasangan elektroda C1-C2 dan P1-P2.

Konfigurasi Dipole-dipole sangat sensitif terhadap perubahan nilai resistivity secara horizontal (profiling). Akan tetapi tidak terlalu sensitif terhadap perubahan nilai resistivity secara vertikal. Maka dari itu pada skripsi ini digunakan konfigurasi secara Dipole-dipole dikarenakan objek berupa gorong-gorong bawah tanah tidak terlalu dalam dan pendekatan objek yang akan diobservasi secara horizontal. Kedalaman penetrasi dari konfigurasi Dipole-dipole ini tergantung dari jarak elektroda ( $a$ ) dan faktor rasio ( $n$ ) serta besar grid yang digunakan.



Gambar 2.3 Sensitivitas Konfigurasi Elektroda Dipole-dipole Secara Vertikal dan Horizontal (Loke, 2004)

Dimana terdapat hubungan antara jarak elektroda ( $a$ ), faktor rasio ( $n$ ) dan kedalaman penetrasi ( $z$ ) dari persamaan berikut (Razak, 2007):

$$z = \frac{a \times n}{4} \quad (2.21)$$

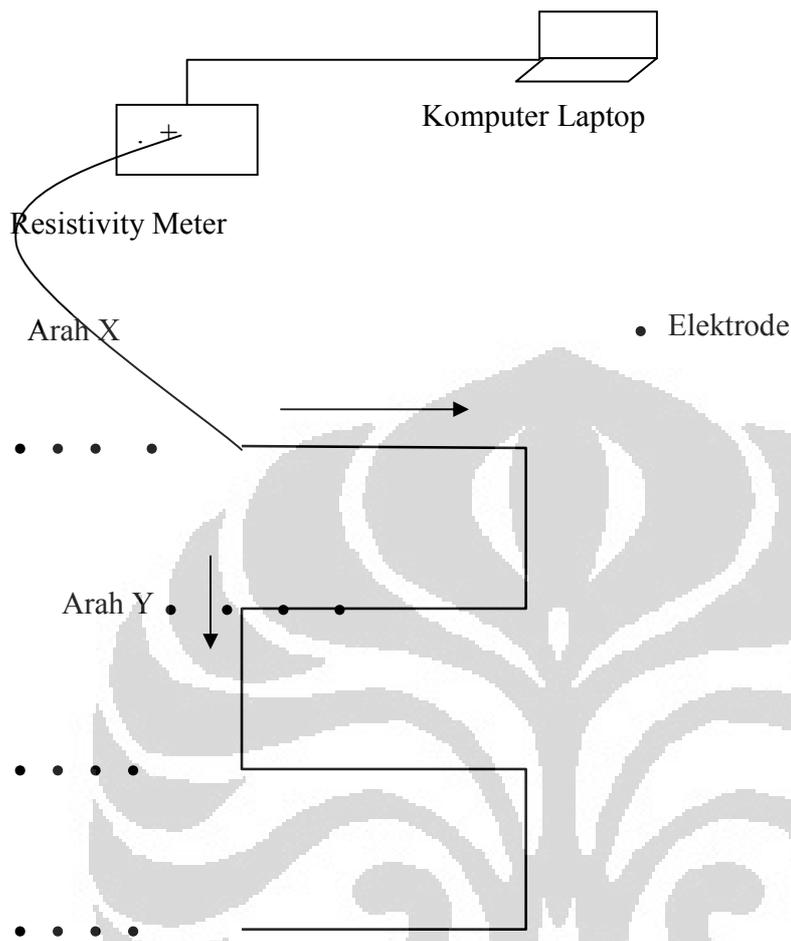
Kelemahan dari konfigurasi Dipole-dipole ini adalah ketika faktor rasio ( $n$ ) diberi nilai yang besar maka kekuatan sinyal penetrasi akan mengecil dikarenakan potensial yang menurun. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan meningkatkan jarak elektroda ( $a$ ).

### 2.3 Pemodelan 3-D Resistivity

Metode Resistivity merupakan salah satu metode yang banyak digunakan untuk suatu investigasi geofisika dikarenakan memiliki akurasi yang tinggi serta menampilkan resolusi model dari objek yang dihasilkan secara baik. Selain itu biaya yang diperlukan dalam suatu investigasi relatif lebih murah dibandingkan investigasi geofisika menggunakan metode yang lain.

Dalam metode Resistivity terdapat pemodelan secara 1-D, 2-D dan 3-D. Umumnya pada saat sekarang ini, pemodelan secara 1-D dan 2-D lebih banyak digunakan kebanyakan orang. Hal itu dikarenakan pada pemodelan resistivity secara 3-D diperlukan biaya yang lebih besar, waktu akuisisi yang lebih lama dan diperlukan komputer yang handal untuk memproses data yang banyak dibandingkan dengan pemodelan resistivity secara 2-D maupun 1-D. Akan tetapi pada pemodelan resistivity secara 3-D didapatkan data yang lebih nyata dan jelas dibandingkan dengan pemodelan resistivity yang lain. Selain itu hasil pemodelan secara 3-D akan lebih dapat dipahami sekalipun oleh orang yang awam sekalipun.

Pada penelitian ini penulis akan melakukan pengukuran dengan menggunakan metode Resistivity menggunakan *multi-channel electrode*. Penyusunan elektroda secara *multi-channel electrode* ini seperti tampak pada Gambar 2.4. Pada pengukuran menggunakan *multi-channel electrode*, beda potensial yang terukur pada saat pengukuran berlangsung akan terekam di setiap elektroda yang terpasang pada waktu yang bersamaan. Hal ini merupakan salah satu kelebihan dari *multi-channel electrode* dibandingkan dengan *single-channel electrode*. Lamanya proses akuisisi data pada saat pengukuran akan lebih singkat dengan jumlah elektroda yang sama menggunakan *multi-channel electrode* dibandingkan menggunakan *single-channel electrode*.



Gambar 2.4 Susunan Elektroda Pengukuran Resistivity 3-D *Multi-Channel* Grid 4x4

## 2.4 Teori Dasar Inversi Geofisika

Pada proses inversi geofisika, kita memberikan sebuah model awal yang memberikan respon yang sama terhadap nilai pengukuran sebenarnya. Model yang diberikan idealnya terdiri dari representasi logika matematika dan fisika untuk menggambarkan bagian bawah permukaan bumi. Model tersebut terdiri dari sekumpulan parameter model yang merupakan nilai fisik dimana kita dapat memperkirakannya dari data pengukuran. Model respon adalah data sintetik yang dapat dihitung dari hubungan matematika yang mendefinisikan sebuah model untuk memberikan sekumpulan parameter model. Semua metode inversi digunakan untuk menentukan sebuah model dari bawah permukaan dimana respon model tersebut sama dengan data yang terukur di lapangan. Penyelesaian hubungan matematika antara model parameter dan respon

model untuk pemodelan resistivity secara 3-D diperoleh dari metode *Finite-Difference* dan metode *Finite-Element* (Loke, 2001).

Pada semua metode optimisasi, sebuah model awal dimodifikasi dengan metode iterasi hingga beda antara respon model dan hasil pengukuran dapat direduksi. Data yang terukur dapat ditulis sebagai vektor kolom berikut ini:

$$y = (y_1, y_2, \dots, Y_m)^t \quad (2.22)$$

dimana m adalah banyaknya pengukuran. Respon model f dapat ditulis pada vektor yang sama yaitu:

$$f = (f_1, f_2, \dots, f_m)^t \quad (2.23)$$

Untuk menyelesaikan permasalahan pada metode Resistivity, umumnya menggunakan logaritma dari nilai apparent resistivity untuk data terukur dan model respon. Maka logaritma dari nilai model itu dijadikan sebagai parameter model. Parameter model dapat di tulis oleh vektor berikut:

$$q = (q_1, q_2, \dots, q_m)^t \quad (2.24)$$

Dimana n adalah jumlah dari model parameter. Perbedaan antara data terukur dengan respon model dapat didefenisikan oleh vektor g berikut:

$$g = y - f \quad (2.25)$$

Pada proses optimisasi kuadrat terkecil, model awal dimodifikasi sehingga jumlah kesalahan (E) dari perbedaan antara respon model dan data terukur dapat diperkecil.

$$E = g^T g = \sum_{i=1}^n g_i^2 \quad (2.26)$$

Untuk mengurangi nilai kesalahan, persamaan *Gauss-Newton* dapat digunakan untuk menentukan perubahan dari model parameter yang dapat mengurangi jumlah kuadrat kesalahan (Loke, 2004).

$$J^T J \Delta q_i = J^T g \quad (2.27)$$

dimana  $\Delta q$  adalah vektor perubahan parameter model dan J adalah *matrik Jacobian* dengan ukuran m x n dari turunan parsial. Elemen-elemen dari *matrik Jacobian* dapat diberikan sebagai berikut:

$$J_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial q_j} \quad (2.28)$$

Perubahan dari model respon  $i$  diakibatkan oleh perubahan model parameter  $j$ . Setelah proses penghitungan vektor perubahan parameter selesai, sebuah model baru didapatkan dengan cara:

$$q_{k+1} = q_k + \Delta q_k \quad (2.29)$$

Pada kenyataannya, persamaan kuadrat terkecil (2.27) jarang digunakan pada proses inversi geofisika. Pada beberapa situasi, perkalian matrik  $J^T J$  akan singular. Maka persamaan kuadrat terkecil bukanlah solusi dari  $\Delta q$ . Permasalahan umum lain bahwa perkalian matrik  $J^T J$  akan mendekati singular. Hal ini dapat terjadi bila model awal yang diberikan sangat berbeda dengan model optimum yang digunakan. Vektor perubahan parameter yang dihitung menggunakan persamaan (2.27) dapat mempunyai komponen-komponen yang terlalu besar sedangkan model baru dapat dihitung menggunakan persamaan (2.29) yang mungkin mempunyai nilai yang tidak realistis. Salah satu metode yang umum digunakan guna mencegah masalah tersebut adalah dengan cara menggunakan solusi modifikasi *Marquardt-Levenberg* pada persamaan *Gauss-Newton* (Loke, 2004) sehingga menjadi persamaan berikut ini:

$$(J^T J + \lambda I) \Delta q_k = J^T g \quad (2.30)$$

Dimana  $I$  adalah matrik identitas. Faktor  $\lambda$  diketahui sebagai faktor *Marquardt* atau faktor damping dan metodenya dikenal sebagai metode *Ridge Regression*. Faktor damping sangat efektif untuk membuat jangkauan nilai yang dapat diberikan pada vektor perubahan parameter. Ketika metode *Gauss-Newton* berusaha untuk mengurangi jumlah dari kuadrat penyimpangan vektor, maka metode *Marquardt-Levenberg* merubah dan juga mengurangi kombinasi dari besarnya penyimpangan vektor dan perubahan model parameter (Loke, 2004). Metode ini telah berhasil digunakan di dalam proses inversi pada data sounding resistivity dimana model terdiri dari beberapa lapisan. Sebagai contoh, hal tersebut digunakan dalam proses inversi data sounding resistivity dengan tiga lapisan. Namun ketika angka dari parameter bertambah, seperti pada pemodelan resistivity secara 2-D dan 3-D maka model hasil inversi akan memiliki distribusi resistivitas yang sangat rapat antara daerah dengan nilai resistivitas tinggi-rendah. Untuk mengatasi permasalahan ini, persamaan *Gauss-Newton* kuadrat terkecil dimodifikasi sehingga

distribusi resistivitas model tidak terlalu rapat. Hasilnya disebut dengan metode *Smoothness-Constrained* kuadrat terkecil yang memiliki bentuk persamaan matematika sebagai berikut:

$$(J^T J + \lambda F) \Delta q_k = J^T g - \lambda F q_k \quad (2.31)$$

dimana  $F = \alpha_x C_x^T C_x + \alpha_y C_y^T C_y + \alpha_z C_z^T C_z$  dan  $C_x$ ,  $C_y$  dan  $C_z$  adalah *smoothing matriks* pada arah x-,y dan z-.  $\alpha_x$ ,  $\alpha_y$ ,  $\alpha_z$  adalah konstanta pembanding yang diberikan untuk menyeleksi *smoothing matriks* pada arah x-,y dan z-. Salah satu bentuk umum dari *smoothing matriks* adalah orde pertama dari matrik differensial yang diberikan pada matrik C berikut ini:

$$C = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \dots & & & & & & & \\ \dots & & & & & & & \\ \dots & & & & & & & \\ & & & & & & & 0 \end{pmatrix} \quad (2.32)$$

Persamaan 2.31 digunakan untuk mengurangi kuadrat dari perubahan gradasional dari nilai pemodelan resistivity. Kecenderungan ini untuk menghasilkan sebuah model dengan variasi *smooth* dari nilai resistivity yang didapat. Pendekatan ini dapat diterima jika variasi nilai resistivitas bawah permukaan yang sebenarnya berada pada batasan-batasan perubahan resistivitas secara gradasional. Pada beberapa kasus lain, struktur geologi bawah permukaan terdiri dari beberapa daerah yang hampir homogen akan tetapi memiliki batasan-batasan yang tajam diantara daerah dengan struktur geologi yang berbeda. Untuk kasus ini, formulasi inversi pada persamaan 2.31 dapat dimodifikasi sehingga dapat mengurangi perubahan absolut pada model resistivity dan dapat memberikan hasil yang lebih baik. Formulasi tersebut dinamakan metode inversi kotak (*Blocky Inversion*). Beberapa teknik dapat digunakan untuk dimodifikasi. Persamaan dari inversi kotak (*Blocky Inversion*) adalah sebagai berikut (Loke, 2004):

$$\left( J^T J + \lambda F_R \right) \Delta q_k = J^T R_d G - \lambda F_R q_k \quad (2.33)$$

dengan  $F_R = \alpha_x C_x^T R_m C_x + \alpha_y C_y^T R_m C_y + \alpha_z C_z^T R_m C_z$ , dimana  $R_d$  dan  $R_m$  adalah sebagai matrik pemberat yang diberikan sehingga perbedaan elemen-elemen pada data yang tidak sesuai dan vektor model yang diberikan sebanding dengan perbandingan matrik tersebut ketika proses inversi dilakukan.

Persamaan (2.33) merupakan metode umum yang dapat dimodifikasi lebih lanjut jika dibutuhkan termasuk informasi-informasi yang dapat diketahui tentang geologi bawah permukaan. Sebagai contoh, jika diketahui variasi resistivity bawah permukaan terbatas pada suatu daerah, maka nilai faktor damping  $\lambda$  dapat dimodifikasi sampai batasan yang diberlakukan pada daerah tersebut.

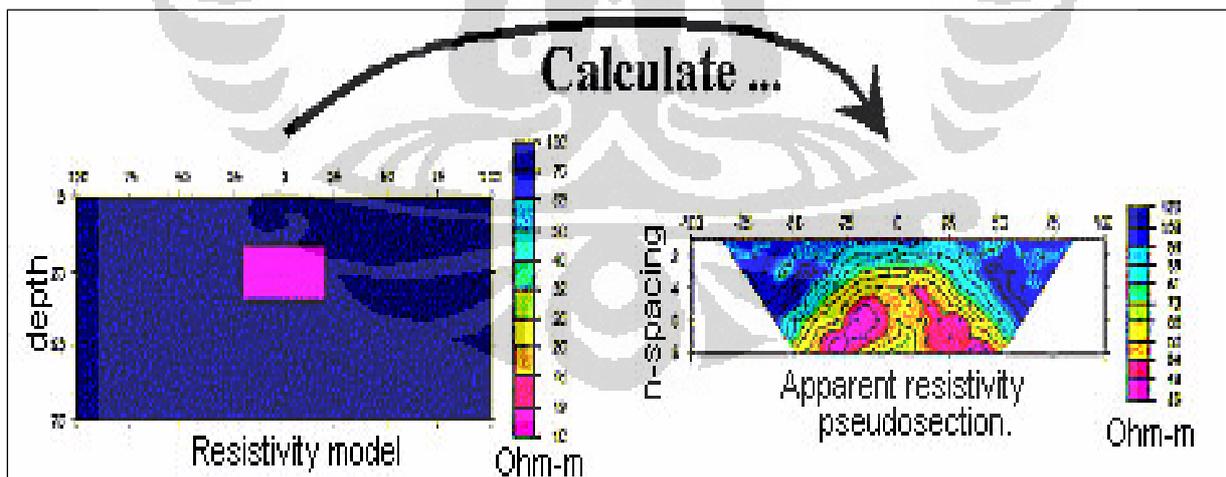


## BAB 3

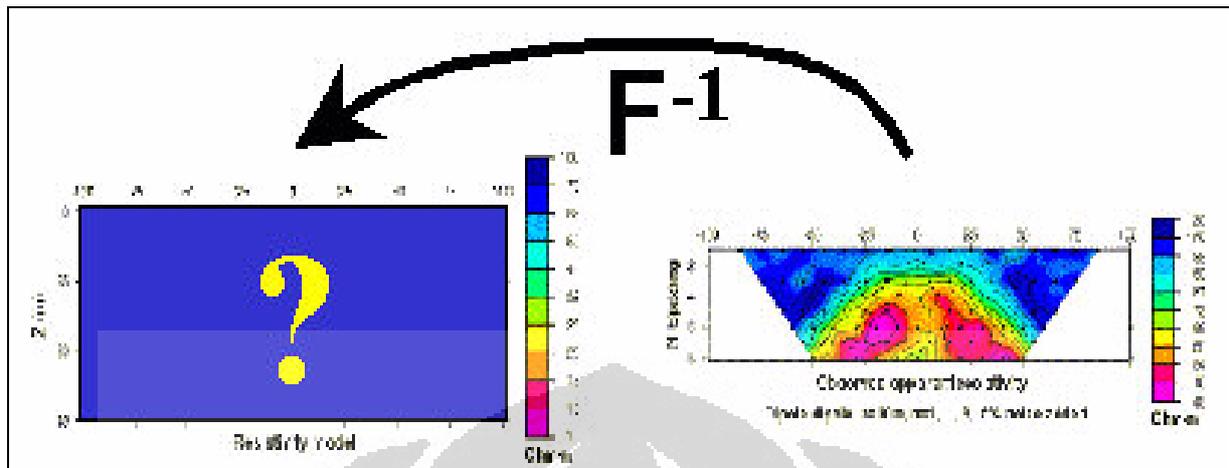
### PEMODELAN

#### 3.1 Pemodelan Awal

Pada pemodelan geofisika terdapat 2 jenis pemodelan. Yaitu pemodelan maju (*Forward Modelling*) dan pemodelan mundur (*Inverse Modelling*). Pemodelan maju (*Forward Modelling*) adalah pemodelan geofisika dengan menggunakan logika matematika dan fisika guna menggambarkan apa yang akan terukur (Teoritical Data). Sedangkan pemodelan mundur (*Inverse Modelling*) adalah pemodelan geofisika dengan memperkirakan model bawah permukaan yang belum diketahui dari data terukur yang merupakan respon model bawah permukaan bumi (Razak, 2007). Kedua pemodelan tersebut bisa dihasilkan secara sendiri-sendiri, artinya tiap-tiap pemodelan baik *Forward* maupun *Inverse Modelling* tidak terkait satu sama lain. Atau antara *Forward Modelling* dan *Inverse Modelling* terkait satu sama lain. Pada penelitian tentang keberadaan *cavity* atau rongga bawah tanah ini penulis membuat dua buah pemodelan tersebut. Baik secara *Forward Modelling* maupun secara *Inverse Modelling*. Baik saling terkait satu sama lain maupun sendiri-sendiri.



Gambar 3.1 Pemodelan Maju (Razak, 2007)



Gambar 3.2 Pemodelan Mundur (Razak, 2007)

Pada penelitian ini penulis membuat pemodelan awal berupa pemodelan *Forward Modelling* dan pemodelan *Inverse Modelling*. Tujuan dilakukannya pemodelan awal ini adalah guna mengestimasi teoritikal data dengan menggunakan logika matematika dan fisika sebagai input dengan proses *Forward Modelling*. Teoritikal data yang akan didapatkan dengan adanya pemodelan awal resistivity ini adalah berupa nilai apparent resistivity ( $\rho_{\text{semu}}$ ). Kemudian teoritikal data yang didapatkan tersebut akan diproses dengan cara *Inverse Modelling* hingga didapatkan model pencitraan resistivitas daerah tersebut.

Pada pemodelan awal ini penulis menggunakan jenis pemodelan secara *Forward Modelling* dengan menggunakan software RES3DMOD. Mekanisme kerja dari software RES3DMOD ini adalah dengan membuat model blok yang merupakan representasi bawah permukaan yang mula-mula kita duga sebagai input dan mendapatkan hasil berupa model resistivity daerah tersebut yang merupakan sekumpulan dari nilai apparent resistivity sebagai output. Data yang dihasilkan dari model sintetik tersebut berupa data nilai apparent resistivity (teoritikal data). Untuk selanjutnya nilai apparent resistivity tersebut akan digunakan sebagai input dari proses *Inverse Modelling* menggunakan software RES3DINV.

Mekanisme kerja dari software RES3DINV ini adalah dengan memasukkan nilai apparent resistivity hasil proses *Forward Modelling* menggunakan RES3DMOD, dan mendapatkan model pencitraan resistivitas sebagai output. Lalu model pencitraan resistivitas data sintetik tersebut dibandingkan dengan model blok yang telah dibuat pada proses awal dari *Forward Modelling* yang merupakan representasi bawah permukaan dugaan awal. Hasil dari

perbandingan tersebut akan dibuat sebagai acuan untuk proses design pengukuran sebelum akuisisi data dimulai.

### 3.2 Design Pengukuran Pemodelan Awal

Seperti yang telah dibahas sebelumnya, pemodelan awal ini bertujuan sebagai acuan untuk proses design pengukuran sebelum akuisisi data dimulai. Pada proses design pengukuran pemodelan awal ini penulis akan melakukan variasi grid, variasi jarak elektroda ( $a$ ) dan variasi faktor rasio ( $n$ ). Hal ini bertujuan guna mendapatkan model hasil inversi yang terbaik dari variasi yang telah di tentukan tersebut. Variasi-variasi yang dilakukan tersebut merupakan bagian dari proses design pengukuran sebelum proses akuisisi data sesungguhnya dimulai. Besar grid, jarak elektroda ( $a$ ) dan faktor rasio ( $n$ ) tersebut akan digunakan dalam proses akuisisi data sesungguhnya. Hal ini akan menjadi penting dikarenakan guna efisiensi waktu pengukuran dan objek penelitian ini berupa rongga bawah tanah pada daerah pengukuran tercitrakan dengan jelas. Design pengukuran yang dibuat pada pemodelan awal ini memiliki dimensi yang disesuaikan dengan daerah penelitian sebenarnya. Daerah penelitian ini memiliki luas 25,6 m x 20,8 m, dimana panjang lintasan pengukuran (arah x) adalah 25,6 meter dan lebar lintasan pengukuran (arah y) adalah 20.8 meter.

#### 3.2.1 Grid 13x10 ( $a=1.9$ meter dan $n=10.5$ )

Mula-mula penulis membuat model blok berupa garis berukuran 15.2mx9.5mx3.5m dengan kedalaman 1.5 meter pada software RES3DMOD. Model ini sesuai dengan objek pada penelitian berupa rongga bawah tanah yang menurut penelitian sebelumnya objek tersebut berada pada kedalaman 2 meter dengan ketebalan objek yang belum diketahui dengan pasti. Oleh karena itu penulis membuat model blok sedemikian mirip dengan objek asli. Pada pemodelan ini grid yang digunakan adalah ukuran 13x10, artinya 13 buah elektroda arah x dan 10 buah elektroda arah y. Jadi jumlah total keseluruhan adalah sebanyak 130 buah elektroda. Jarak antar elektroda ( $a$ ) yang digunakan adalah sebesar 1.9 meter. Sedangkan faktor rasio ( $n$ ) yang digunakan adalah sebesar 10.5, hal ini berpengaruh terhadap kedalaman investigasi objek. Dapat dirumuskan hubungan

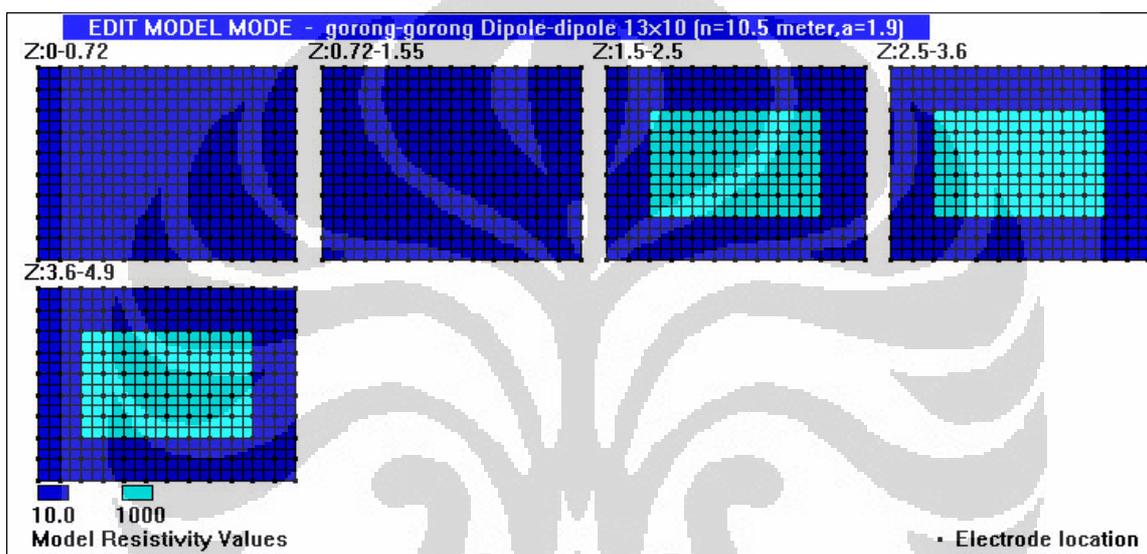
antara jarak elektroda ( $a$ ), faktor rasio ( $n$ ) dengan kedalaman ( $h$ ) adalah:

$$h = \frac{nxa}{4}$$

(3.1)

Universitas Indonesia

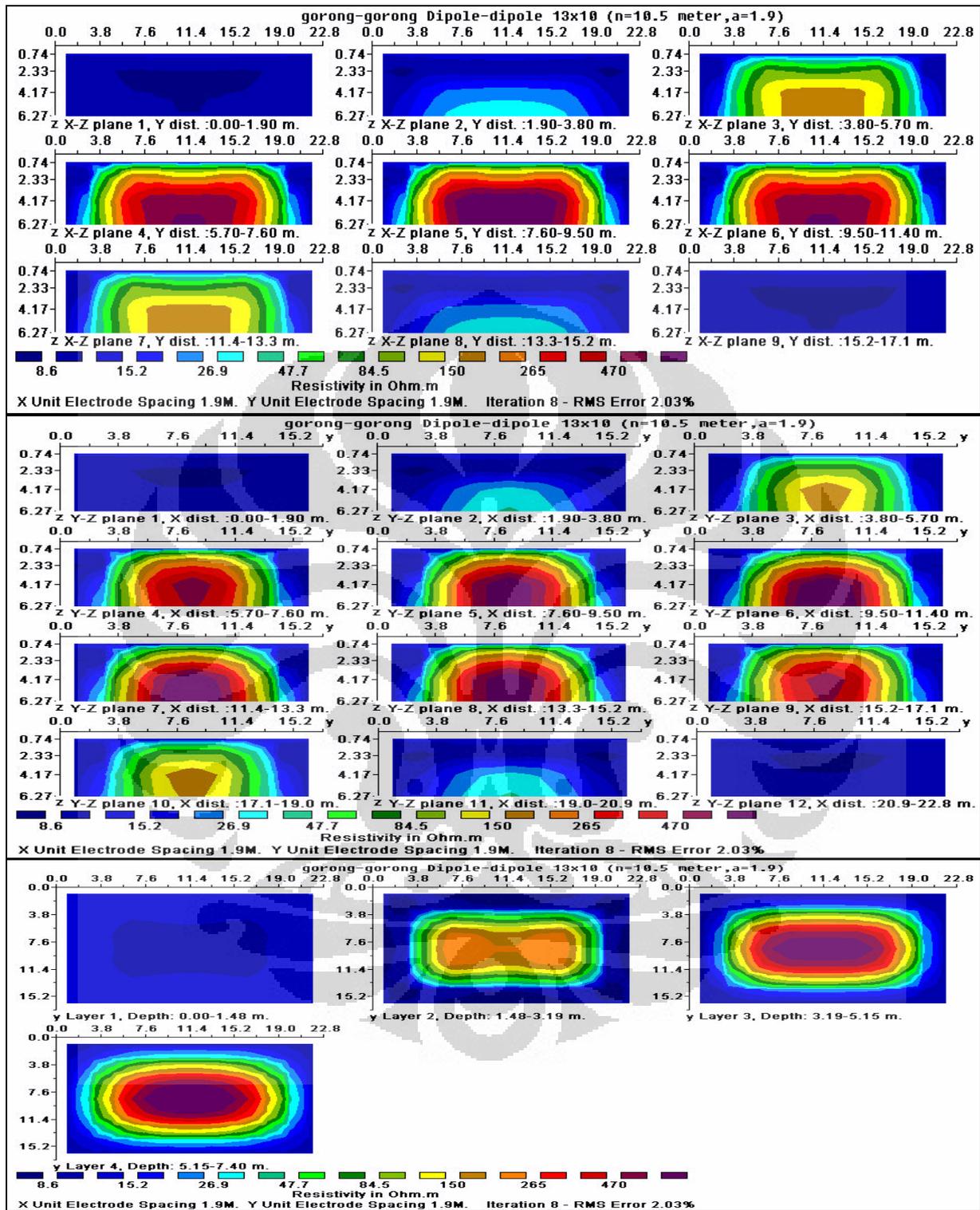
Dari persamaan (3.1) dapat ditentukan kedalaman yang ingin dicapai pada penelitian ini dengan jarak elektroda ( $a$ ) sebesar 1.9 meter dan faktor rasio ( $n$ ) sebesar 10.5 maka didapatkan kedalaman ( $h$ ) sebesar 5 meter. Oleh karena itu pada model blok yang penulis buat, kedalaman maksimal model garis berukuran  $15.2\text{m} \times 9.5\text{m} \times 3.5\text{m}$  adalah sebesar 5 meter. Pada model garis tersebut penulis memberikan nilai apparent resistivity sebesar  $1000 \Omega\text{m}$  dengan nilai apparent resistivity lingkungan sekitar model sebesar  $10 \Omega\text{m}$ . Hal ini dikarenakan pada kenyataannya nilai resistivitas rongga bawah tanah yang berisi udara lebih tinggi dibandingkan dengan nilai resistivitas daerah sekitar yang berupa tanah alluvial.



Gambar 3.3 Model Blok Grid  $13 \times 10$  dengan  $a=1.9$  meter dan  $n=10.5$

Pada proses *Forward Modelling* ini konfigurasi elektrode yang digunakan adalah Dipole-dipole sesuai dengan akusisi data yang sebenarnya. Proses *Forward Modelling* ini akan menghasilkan nilai apparent resistivity model. Dari nilai apparent resistivity yang didapat akan dimasukkan kedalam proses *Inverse Modelling* sebagai input.

Pada proses *Inverse Modelling* ini data apparent resistivity yang didapatkan dari proses *Forward Modelling* akan disimpan dalam file ekstension dat (.dat). Sehingga hanya file yang menggunakan ekstension tersebut yang akan diproses secara *Inverse Modelling* dengan software RES3DINV. Pada proses inversi ini terdapat parameter pada software RES3DINV yang dapat diubah sesuai dengan kebutuhan guna mendapatkan model hasil inversi yang lebih baik. Selama proses inversi berjalan terdapat proses yang dinamakan iterasi.



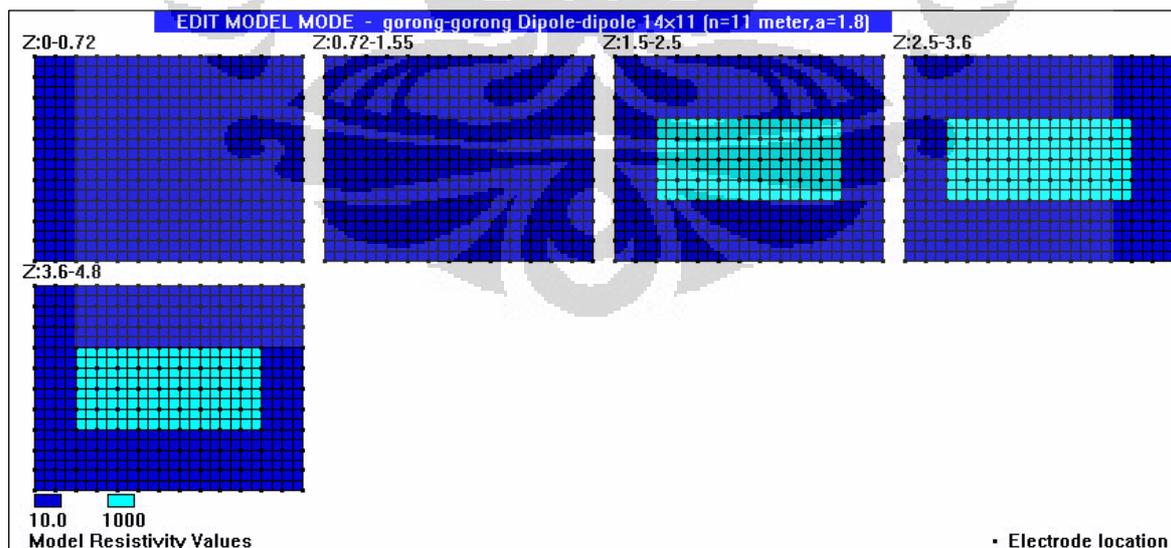
Gambar 3.4 (a). Model Hasil Inversi Secara Vertikal Terhadap Arah XZ, (b). Model Hasil Inversi Secara Vertikal Terhadap Arah YZ, (c). Model Hasil Inversi Secara Horizontal

Proses iterasi adalah proses penghitungan suatu nilai awal secara berulang hingga mendapatkan nilai yang mendekati solusi. Dimana solusi tersebut pada kasus pemodelan ini adalah representasi nilai resistivitas dari model blok yang dibuat pada proses *Forward Modelling*. Dari proses iterasi tersebut akan didapatkan nilai % *Root mean square* (RMS) error yang menggambarkan besar kesalahan hasil inversi dengan solusinya. Semakin kecil nilai % RMS error yang didapatkan, maka model hasil inversi semakin mendekati solusi dan sebaliknya semakin besar nilai % RMS error yang didapatkan maka model hasil inversi semakin tidak merepresentasikan nilai resistivitas dari model blok pada proses *Forward Modelling* tersebut. Setelah proses inversi selesai, maka akan didapatkan model pencitraan nilai apparent resistivity hasil proses *Forward Modelling*.

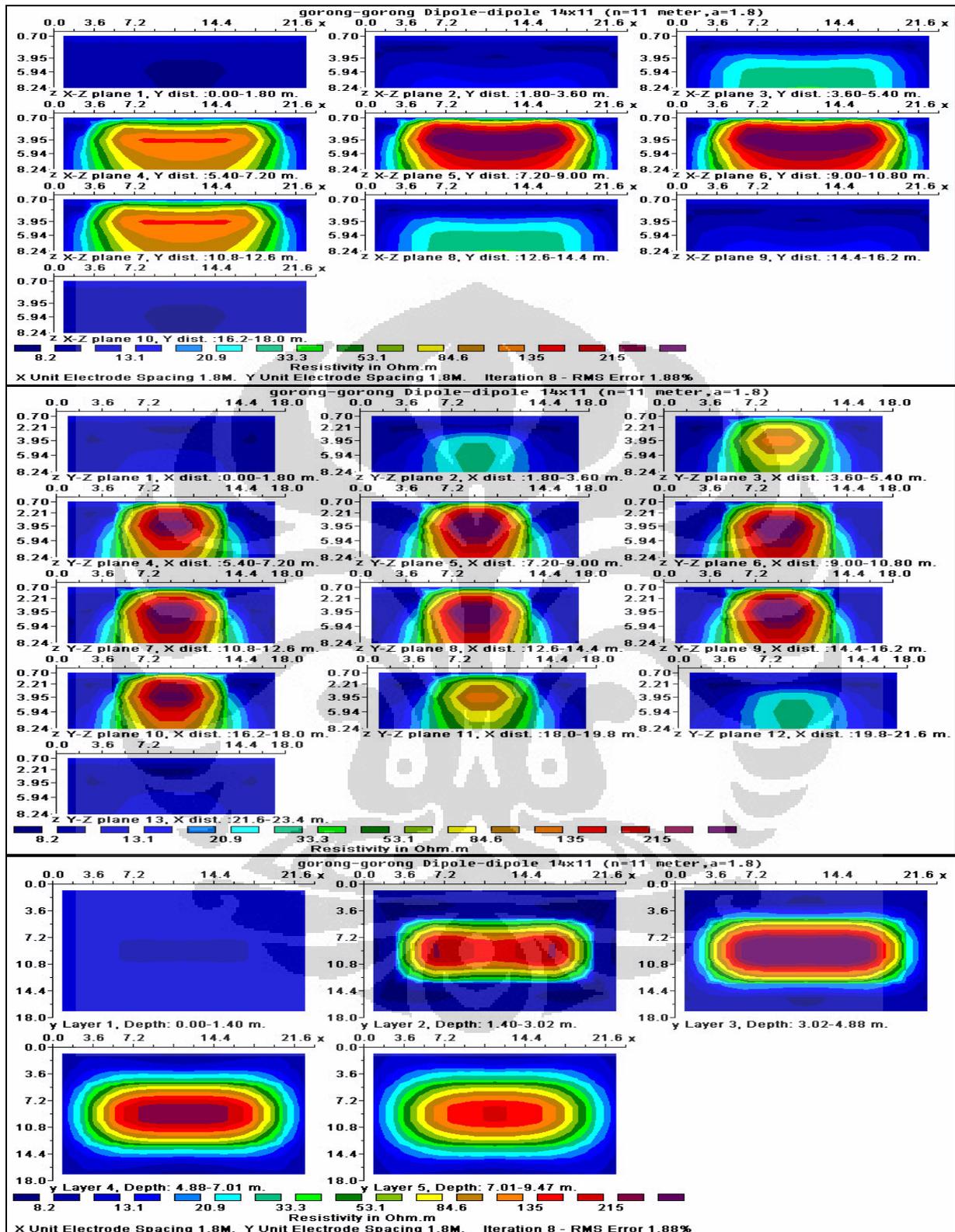
Dari hasil inversi tersebut didapatkan model yang tidak berbeda jauh dengan model blok yang telah dibuat. Objek berada pada kedalaman 2 meter dengan ketebalan sekitar 5 meter. Nilai % RMS error yang didapatkan sekitar 2.03 %.

### 3.2.2 Grid 14x11 (a=1.8 meter dan n=11)

Lalu setelah itu penulis melakukan proses pemodelan awal pada software RES3DMOD menggunakan grid 14x11 dengan faktor rasio (n) =11, akan tetapi jarak elektroda (a) diperkecil menjadi 1.8 meter. Digunakan grid yang lebih besar agar resolusi model hasil inversi terhadap model pada pemodelan secara *forward* menjadi besar.



Gambar 3.5 Model Blok Grid 14x11 dengan a = 1.8 meter dan n = 11

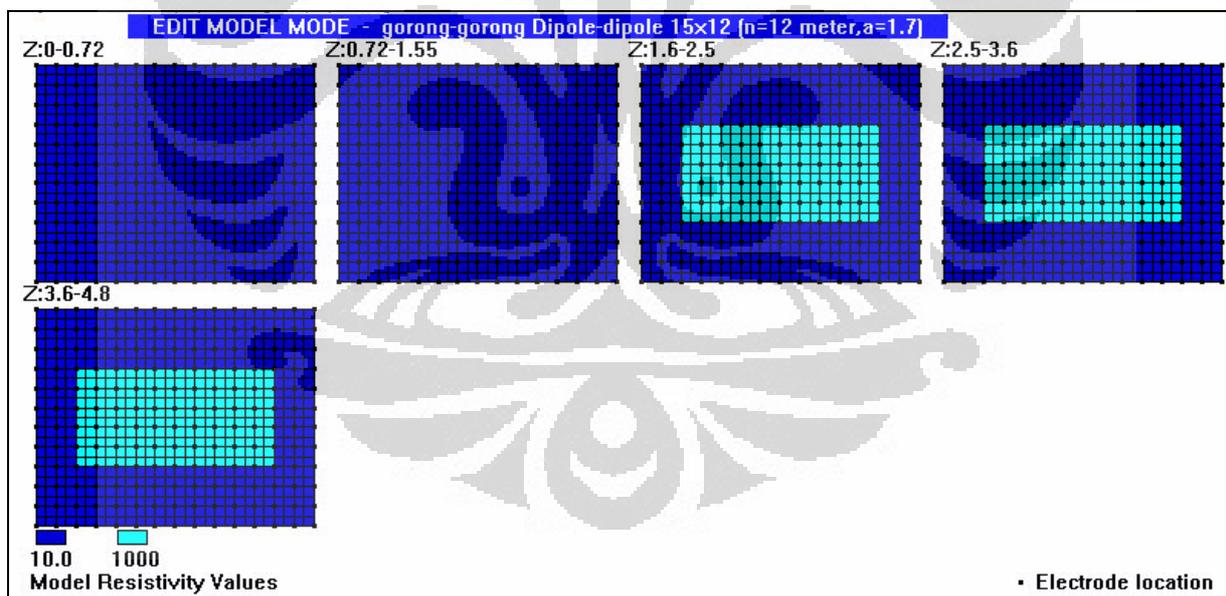


Gambar 3.6 (a). Model Hasil Inversi Secara Vertikal Terhadap Arah XZ. (b). Model Hasil Inversi Secara Vertikal Terhadap Arah YZ. (c). Model Hasil Inversi Secara Horizontal

Dimensi dari model garis tersebut adalah  $16.2\text{m} \times 7.7\text{m} \times 3.5\text{m}$  dengan kedalaman sekitar 1.5 meter. Pada pemodelan ini dapat dilihat bahwa faktor rasio ( $n$ ) bertambah dari pemodelan sebelumnya menjadi 11. Hal ini bertujuan untuk menambah resolusi dari model hasil inversi. Setelah itu didapatkan nilai apparent resistivity model blok dan hasilnya disimpan dalam file berekstension dat (.dat). Setelah itu proses inversi menggunakan software RES3DINV dimulai dengan cara mengeksekusi file berekstension dat (.dat) hasil dari *Forward Modelling* model blok.

Dari hasil inversi tersebut didapatkan model yang tidak berbeda jauh dengan model blok yang telah dibuat. Objek berada pada kedalaman 2 meter dengan ketebalan sekitar 7 meter. Nilai % RMS error yang didapatkan sekitar 1.88%. Pada pemodelan menggunakan grid  $14 \times 11$ ,  $a=1.8$  meter dan  $n=11$  ini, nilai % RMS error yang didapatkan lebih kecil dari pemodelan sebelumnya (grid  $16 \times 13$ ,  $a=6$  meter dan  $n=15.3$ ).

### III.2.3 Grid $15 \times 12$ ( $a=1.7$ meter dan $n=12$ )



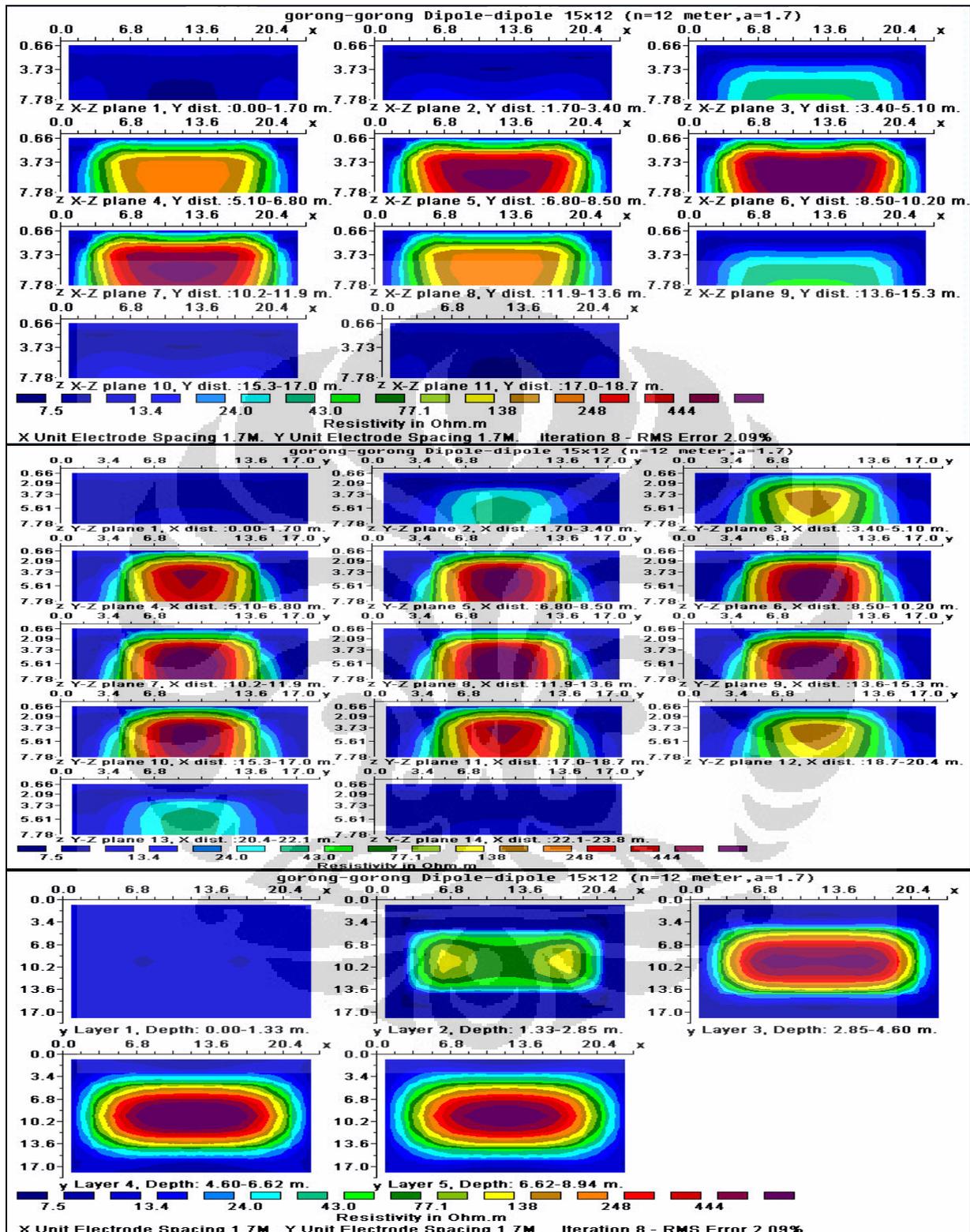
Gambar 3.7 Model Blok Grid  $15 \times 12$  dengan  $a=1.7$  meter dan  $n=12$

Pada pemodelan awal selanjutnya penulis menggunakan jarak elektroda ( $a$ ) yang lebih kecil dari 2 buah pemodelan sebelumnya pada proses *Forward Modelling* dengan software RES3DMOD. Jarak elektroda yang digunakan sebesar 1.7 meter dengan faktor rasio ( $n$ ) sebesar

12 serta menggunakan jumlah grid yang berbeda dengan 2 buah pemodelan sebelumnya yaitu 15x12. Jumlah grid yang diperbesar ini bertujuan untuk menambah kedalaman penetrasi yang lebih dalam. Jarak elektroda (a) yang diperkecil berguna untuk menambah resolusi dari model hasil inversi. Dikarenakan semakin kecil jarak elektroda (a) yang digunakan pada proses akuisisi data maka resolusi dari model yang dihasilkan akan meningkat, dikarenakan bidang ekuipotensial yang terbentuk akan memiliki garis yang semakin rapat. Dari persamaan (3.1) didapatkan kedalaman (h) sebesar 5 meter sama seperti pemodelan awal pertama dan kedua. Dimensi dari model garis tersebut adalah 17mx8.5mx3.5m dengan kedalaman sekitar 1.5 meter. Model blok yang dihasilkan dengan menggunakan software RES3DMOD seperti terlihat pada Gambar 3.7. Lalu hasil dari proses *Forward Modelling* tersebut disimpan dalam bentuk file berekstension dat (.dat) agar bisa diekspor dengan software RES3DINV.

Setelah itu dilakukan proses inversi menggunakan software RES3DINV dengan cara mengekspor file berekstension dat (.dat) hasil dari proses *Forward Modelling* dan mengeksekusinya. Banyaknya iterasi yang digunakan adalah sebanyak 8 kali. Proses iterasi ini ditunjukkan untuk memberikan model hasil inversi dengan software RES3DINV semakin mendekati solusi. Apabila model hasil inversi semakin mendekati solusi maka nilai % RMS error akan semakin kecil. Akan tetapi proses penambahan jumlah iterasi dapat dibatasi apabila hasil inversi memberikan nilai % RMS error yang kembali membesar atau divergen. Jadi banyaknya iterasi yang diberikan hanya sampai nilai % RMS error yang dihasilkan oleh model hasil inversi secara konvergen.

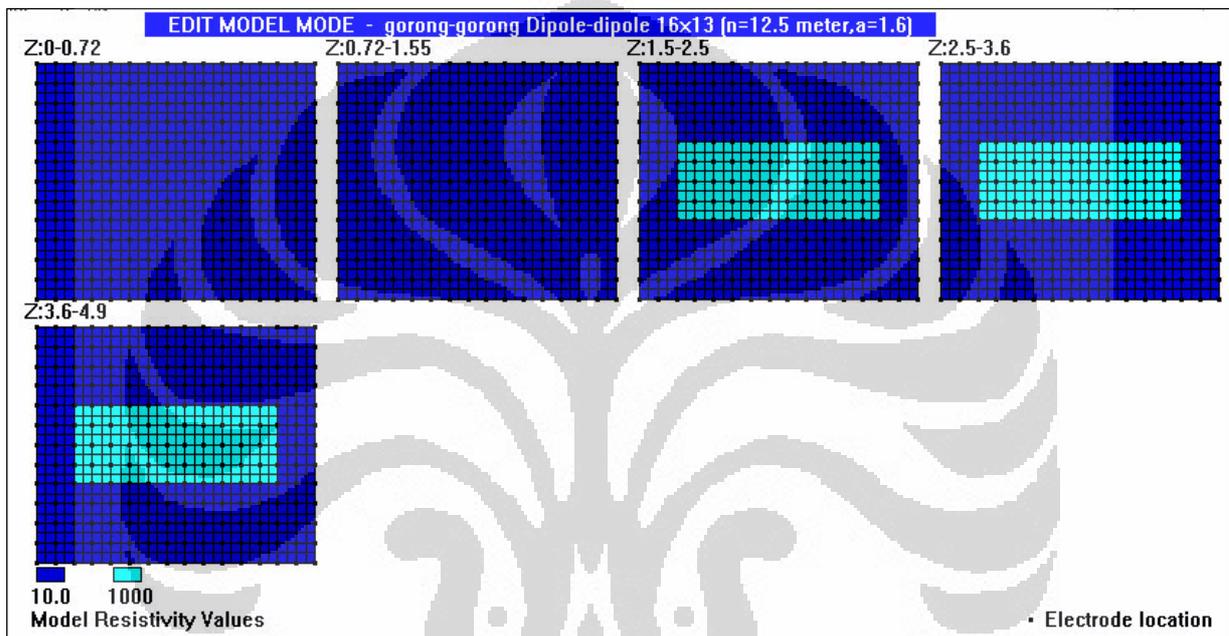
Hasilnya berupa file berekstension inv (.inv) yang menunjukkan file tersebut merupakan hasil akhir dari sebuah proses inversi. Model hasil inversi seperti yang terlihat pada Gambar 3.8. Hasil dari inversi pemodelan awal ketiga ini tidak terlalu berbeda dengan bentuk model blok yang diberikan pada proses *Forward modelling*. Nilai % RMS error yang didapat adalah sebesar 2.09 %, lebih buruk dari nilai % RMS error pemodelan awal pertama dan pemodelan awal kedua.



Gambar 3.8 (a). Model Hasil Inversi Secara Vertikal Terhadap Arah XZ. (b). Model Hasil Inversi Secara Vertikal Terhadap Arah YZ. (c). Model Hasil Inversi Secara Horizontal

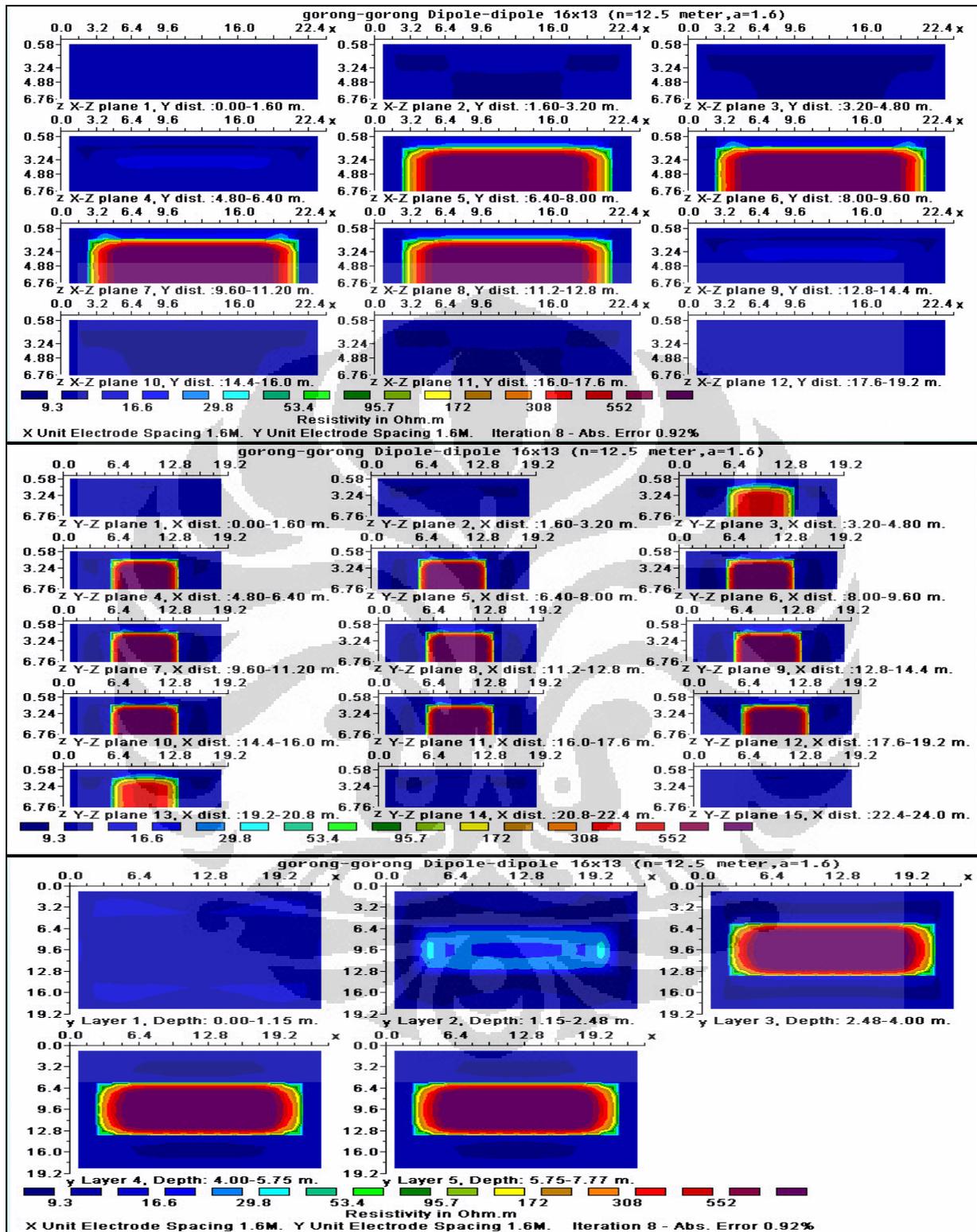
### 3.2.4 Grid 16x13 (a=1.6 meter dan n=12.5)

Pemodelan awal terakhir yang penulis buat adalah menggunakan grid berukuran 16x13 dengan faktor rasio (n) sebesar 12.5 dan jarak elektroda (a) sebesar 1.6 meter pada software RES3DMOD secara *Forward Modelling*. Pemodelan ini merupakan perkembangan dari pemodelan ketiga dimana grid pengukuran bertambah besar dengan jarak elektroda (a) diperkecil. Hal ini bertujuan untuk menambah resolusi dari model hasil inversi.



Gambar 3.9 Model Blok Grid 16x13 dengan a=1.6 meter dan n=12.5

Lalu setelah itu dilakukan proses *Inverse Modelling* dengan menggunakan software RES3DINV. Hasil inversi tersebut selanjutnya dibandingkan dengan model blok pada proses *Forward Modelling*. Dari model hasil inversi tersebut didapatkan model yang tidak terlalu jauh dengan model blok pada proses *Forward modelling*. Nilai % RMS error yang didapatkan adalah sebesar 0.72 %. Nilai % RMS error yang didapatkan pada pemodelan keempat ini merupakan yang paling kecil di antara pemodelan awal yang lain. Model hasil inversi pada pemodelan awal dengan menggunakan software RES3DINV ini memberikan tampilan yang paling sesuai dengan model garis yang dibuat pada proses *Forward Modelling* dimana model garis yang merepresentasikan rongga bawah tanah tergambar dengan jelas.



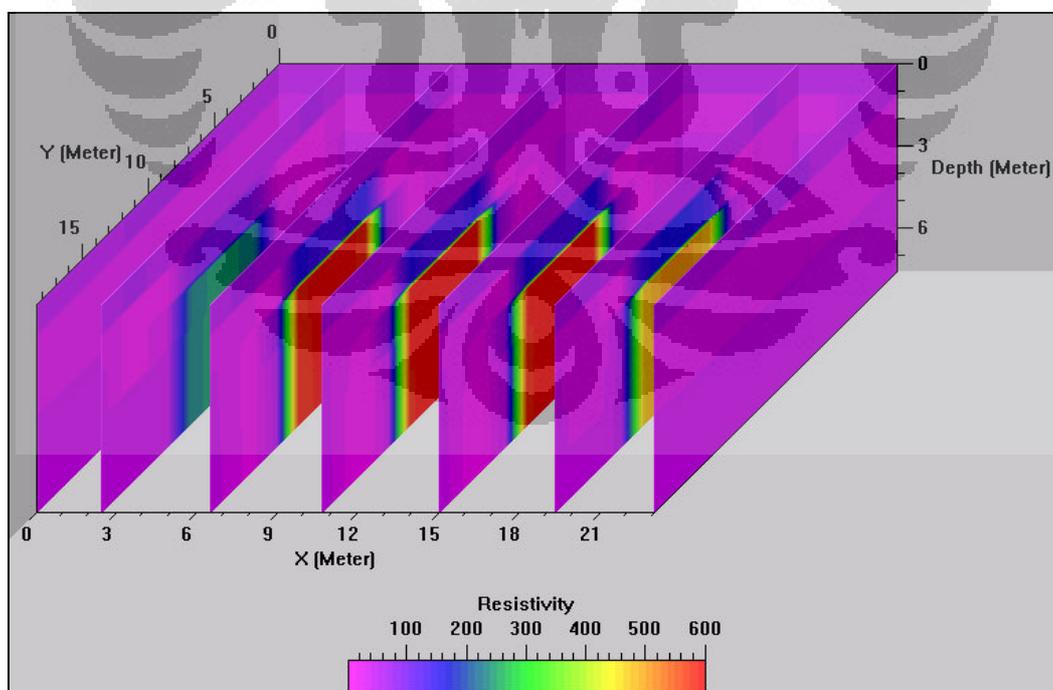
Gambar 3.10 (a). Model Hasil Inversi Secara Vertikal Terhadap Arah XZ. (b). Model Hasil Inversi Secara Vertikal Terhadap Arah YZ. (c). Model Hasil Inversi Secara Horizontal

Dari variasi terhadap besar grid, jarak elektroda ( $a$ ) dan faktor rasio ( $n$ ) pada pemodelan awal yang dibuat, maka didapatkan model hasil inversi sebagai berikut:

1. Grid 13x10 ( $a=1.9$  meter dan  $n=10.5$ ) memiliki model hasil inversi yang tidak berbeda jauh dengan model blok yang telah dibuat dengan nilai % RMS error yang didapatkan sekitar 2.03%.
2. Grid 14x11 ( $a=1.8$  meter dan  $n=11$ ) memiliki model hasil inversi yang tidak berbeda jauh dengan model blok yang telah dibuat dengan nilai % RMS error yang didapatkan sekitar 1.88%.
3. Grid 15x12 ( $a=1.7$  meter dan  $n=12$ ) memiliki model hasil inversi yang tidak berbeda jauh dengan model blok yang telah dibuat dengan nilai % RMS error yang didapatkan sekitar 2.09%,
4. Grid 16x13 ( $a=1.6$  meter dan  $n=12.5$ ) memiliki model hasil inversi yang tidak berbeda jauh dengan model blok yang telah dibuat dengan nilai % RMS error yang didapatkan sekitar 0.92 %.

Model hasil inversi yang didapatkan pada pemodelan awal pertama dimana pada iterasi kedelapan nilai % RMS error yang dihasilkan sebesar 2.03 %. Pemodelan pertama ini menghasilkan bentuk model hasil inversi yang sesuai dengan model garis yang dibuat pada proses *Forward Modelling*. Akan tetapi resolusi yang dihasilkan pada model hasil inversi tidak terlalu bagus, dimana bentuk dari model garis yang diumpamakan sebagai rongga bawah tanah dan memiliki nilai resistivity yang lebih tinggi dari nilai resistivity lingkungan sekitar berbentuk oval. Hal ini berbeda dengan model garis yang dibuat pada proses *Forward Modelling* dimana model garis tersebut berbentuk persegi. Model garis tersebut berada pada kedalaman 2 m – 7.40 m. Model hasil inversi pada pemodelan awal kedua menghasilkan nilai % RMS error sebesar 1.88 % pada iterasi kedelapan. Lebih baik dari model hasil inversi pemodelan awal yang pertama. Model inversi pada pemodelan kedua ini juga memiliki resolusi yang tidak terlalu bagus dimana model garis yang dihasilkan berbentuk oval. Model garis yang memiliki nilai resistivity tinggi dan diumpamakan sebagai rongga bawah tanah berada pada kedalaman 2 meter dengan ketebalan 7 meter. Ketebalan model hasil inversi ini sangat berbeda jauh dengan ketebalan model pada pemodelan awal secara *forward* dimana ketebalan dari model garis sebesar 3.5 meter. Pada pemodelan awal ketiga nilai % RMS error yang dihasilkan dari pemodelan secara inversi setelah iterasi kedelapan adalah 2.09 %, paling buruk dari kedua pemodelan sebelumnya. Model garis

hasil inversi tersebut berada pada kedalaman 2 m – 9 m. Hal tersebut berbeda dengan kedalaman model garis yang dibuat pada proses *Forward Modelling* sebelumnya dimana model garis yang merupakan representasi dari rongga bawah tanah berada pada kedalaman 1.5 m – 5 m. Pada pemodelan awal keempat, nilai % RMS error setelah iterasi kedelapan adalah 0.92 %. Nilai % RMS error yang dihasilkan dari model hasil inversi ini merupakan yang terbaik dari pemodelan sebelumnya. Model hasil inversi yang dihasilkan juga memiliki resolusi yang bagus, karena model garis yang memiliki nilai resistivity tinggi dari daerah sekitarnya berbentuk persegi. Hal ini sesuai dengan model garis yang dibuat pada pemodelan awal secara *Forward Modelling*. Model garis tersebut berada pada kedalaman 2.5 meter dengan ketebalan 5 meter dan memiliki nilai resistivity mencapai 600  $\Omega\text{m}$ . Maka dari itu pada proses pemodelan awal ini, model yang terbaik didapatkan dari pemodelan awal keempat. Dimana model hasil inversi yang dihasilkan memiliki nilai % RMS error terkecil, resolusi yang bagus dan bentuk model yang sesuai dengan model yang dibuat secara *forward*. Maka dari itu proses akuisisi data pada penelitian ini memiliki besar grid, jarak elektroda (a), dan faktor rasio (n) yang sesuai dengan pemodelan awal keempat ini. Dimana besar grid yang digunakan adalah 16x13, jarak elektroda (a) adalah 1,6 meter dengan faktor rasio (n) sebesar 12.5. Model hasil inversi 3-D data sintetik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11.



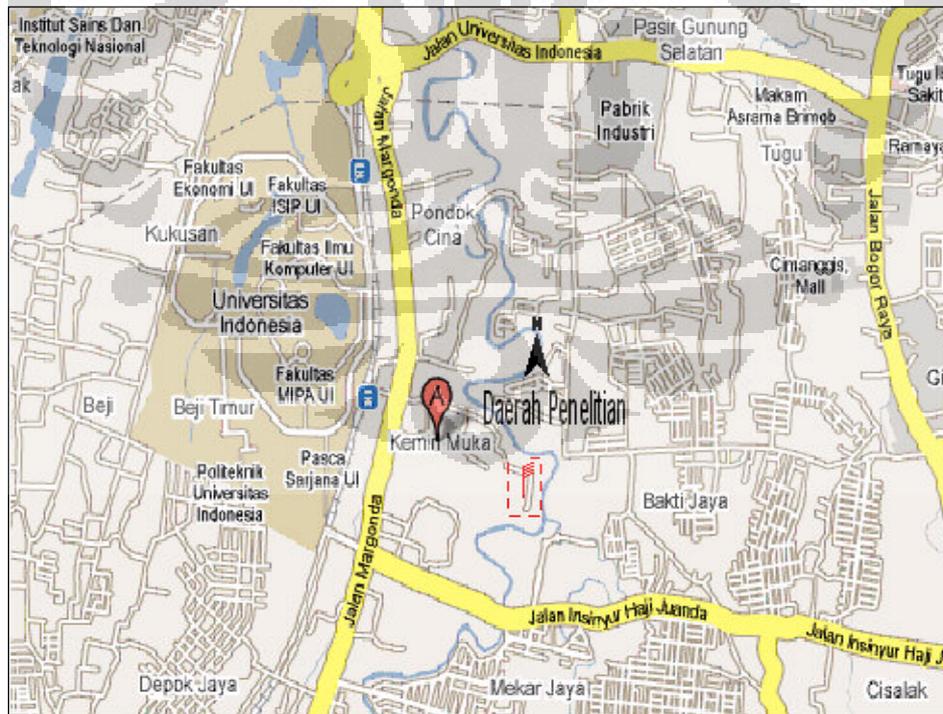
Gambar 3.11 Model 3-D Hasil Inversi Grid 16x13 (a=1.6 meter dan n=12.5)

## BAB 4

### AKUISISI DATA

#### 4.1 Daerah Penelitian

Pada penelitian ini penulis melakukan pengukuran dengan menggunakan metode Resistivity konfigurasi Dipole-dipole *multi-channel electrode*. Daerah penelitian tersebut bertempat di daerah Kampung Gedong, Kemiri Muka, Depok. Pada daerah tersebut terdapat aliran sungai Ciliwung dari arah utara menuju selatan. Daerah penelitian ini terletak di bantaran sungai Ciliwung yang menurut penuturan warga setempat dahulunya pada daerah itu pernah diadakan eksploitasi penambangan pasir secara besar-besaran. Penambangan pasir dilakukan dengan cara membuat sumur dari permukaan menuju bawah permukaan. Sumur tersebut merupakan pintu masuk daerah penambangan pasir yang berada pada kedalaman 10 – 20 meter di bawah permukaan tanah. Permasalahannya daerah di atas bekas penambangan pasir tersebut terdapat pemukiman warga .



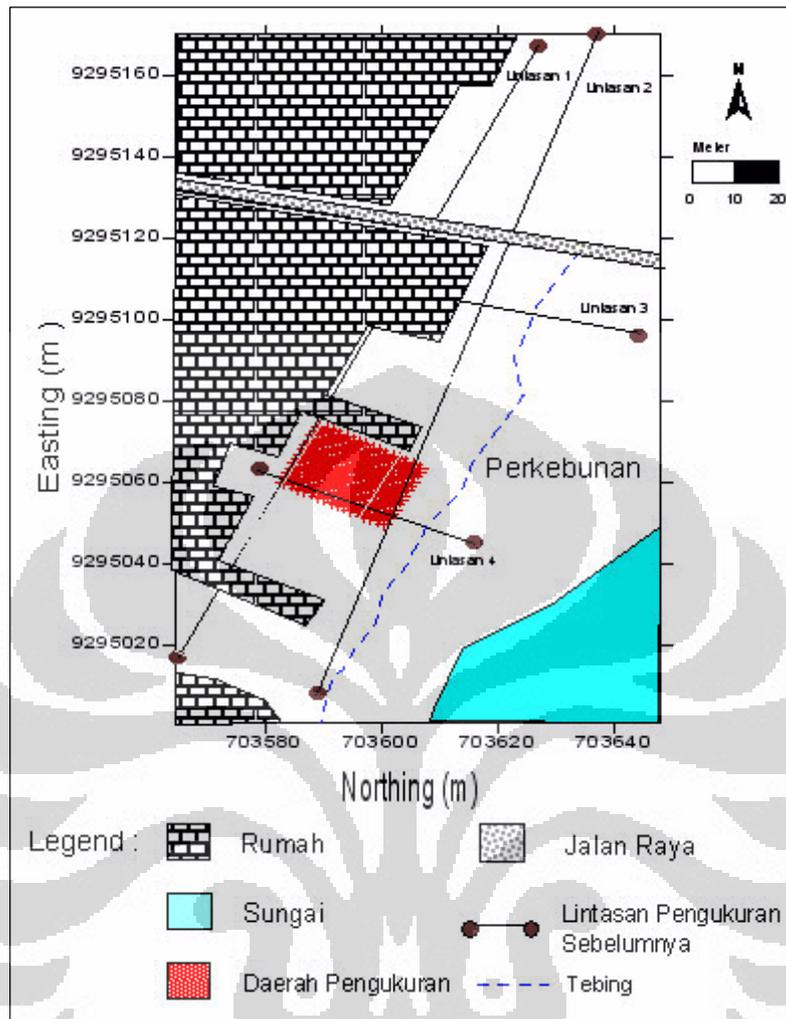
Gambar 4.1 Peta Daerah Penelitian (Google Maps)

Universitas Indonesia

Tentu saja hal ini membuat keselamatan jiwa warga setempat terancam, karena sewaktu-waktu bisa saja terjadi bencana longsor akibat terdapat rongga bawah tanah yang cukup besar karena adanya aktivitas penambangan pasir di waktu lampau. Oleh karena itu penulis akan melakukan penelitian dengan menggunakan metode Resistivity konfigurasi Dipole-dipole pada daerah yang diduga terdapat rongga bawah tanah didalamnya. Hal ini bertujuan agar hasil pemodelan Resistivity secara 3-D nanti dibuat sebagai bukti otentik bahwa pada daerah tersebut terdapat rongga bawah tanah yang cukup besar sehingga mengganggu keselamatan jiwa warga setempat.

## **4.2 Kunjungan Lapangan**

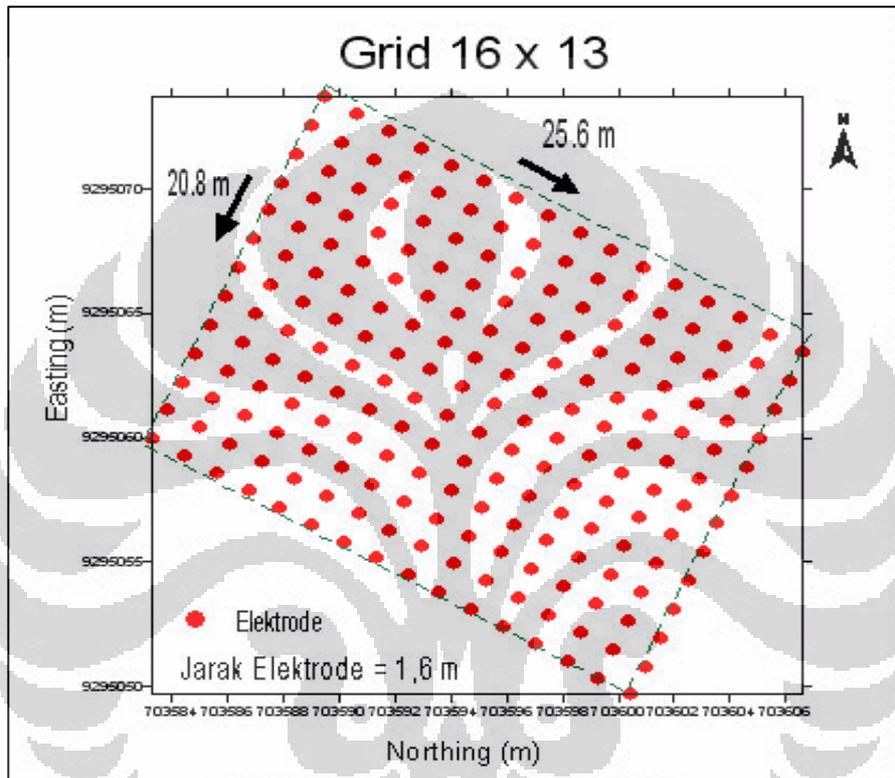
Telah diketahui bahwa pada daerah yang akan dijadikan sebagai tempat penelitian ini terdapat rongga bawah tanah yang cukup besar dan pada daerah tersebut dijadikan pemukiman penduduk. Design pengukuran yang akan dibuat dalam penelitian ini akan mengacu pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya di daerah tersebut pada tahun 2007 (Razak, 2007) serta mengacu dari hasil proses pemodelan awal yang sudah dibuat sebelum akuisisi data dimulai. Hasil dari pengukuran yang pernah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan metode yang sama yaitu metode Resistivity tersebut menunjukkan pada daerah penelitian ini terdapat rongga bawah tanah yang cukup besar pada kedalaman yang dangkal. Perbedaannya dengan penelitian yang akan dilakukan oleh penulis kali ini adalah penulis akan membuat pemodelan dengan pendekatan secara 3-D sedangkan pada penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya melakukan pemodelan dengan pendekatan secara 2-D. Perbedaan lainnya adalah daerah penelitian ini hanya mengambil beberapa m<sup>2</sup> saja dari penelitian sebelumnya. Hal ini dikarenakan luasnya daerah pengukuran sebelumnya serta terdapat rumah penduduk yang sedang atau sudah dibangun di atas daerah penelitian sebelumnya. Adapun perbandingan antara lintasan pengukuran pada penelitian menggunakan metode Resistivity yang sudah pernah dilakukan sebelumnya dengan lintasan pengukuran pada penelitian yang dilakukan oleh penulis tertera pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Perbandingan Luas Daerah Pengukuran Resistivity Sebelumnya Dengan Luas Daerah Pengukuran Penelitian

Luas daerah pengukuran yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebesar 25.6 m x 20.8 m. Sebelah utara dan barat dari daerah penelitian terdapat rumah penduduk, sebelah timur terdapat tebing yang menuju sungai Ciliwung dan sebelah selatan merupakan tanah kosong yang sedang dibuat bangunan. Sehingga daerah pengukuran pada penelitian ini menjadi terisolasi dan terbatas. Design elektroda berbentuk grid dengan besar grid arah x (barat-timur) sebanyak 16 grid dan besar grid arah y (utara-selatan) sebanyak 13 grid. Jarak antar elektroda (a) yang digunakan adalah 1.6 meter dan nilai n (faktor rasio) yang digunakan berbeda-beda, bergantung pada letak elektroda. Untuk pasangan elektroda potensial terdekat dari pasangan elektroda arus maka faktor rasio (n) yang diberikan adalah 1. Hal ini dikarenakan jarak antara

pasangan elektroda arus dengan elektroda potensial sama dengan jarak antar elektroda (a) yaitu 1,6 meter. Nilai faktor rasio (n) akan semakin membesar ke arah kanan lintasan yang berbentuk grid. Faktor rasio (n) terbesar yang digunakan adalah 13. Hal ini sesuai dengan variasi yang digunakan pada proses design pengukuran yang sudah dibahas pada BAB 3.

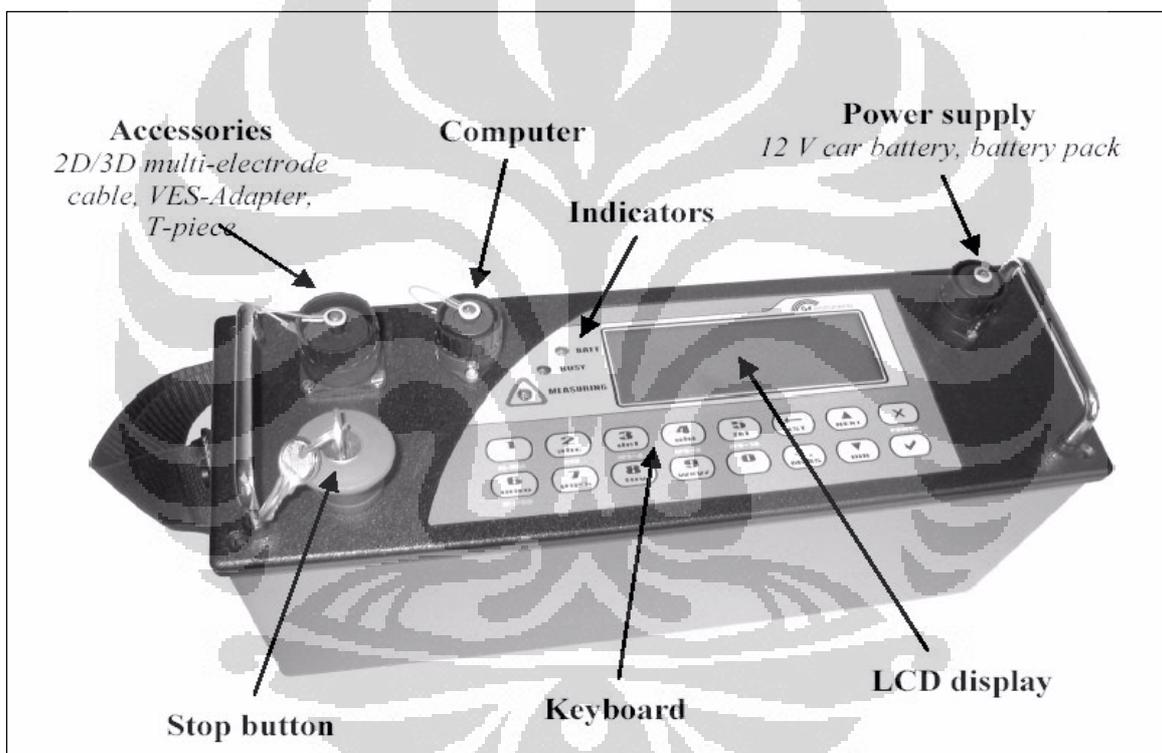


Gambar 4.3 Grid Lintasan Pengukuran

Jumlah total elektroda yang digunakan dalam pengukuran ini adalah sebanyak 208 buah elektroda tersebar pada seluruh daerah pengukuran yang berbentuk persegi. Pengukuran metode Resistivity ini menggunakan *multi-channel electrode* dengan banyaknya elektroda yang terpasang secara *multi-channel electrode* adalah sebanyak 16 buah pada sekali pengambilan data pengukuran. Terdapat 13 buah lintasan pengukuran, dimana lintasan pertama terletak pada utara daerah pengukuran sedangkan lintasan terakhir terletak pada selatan daerah pengukuran. Maka dari itu dilakukan sebanyak 13 kali perpindahan elektroda hingga pengukuran selesai dilakukan dari utara menuju selatan daerah pengukuran. Design pengukuran ditunjukkan pada Gambar 4.3

### 4.3 Peralatan Pengukuran

Pada penelitian kali ini penulis dibantu oleh team dari Lab Geoeksplorasi (LGE) UI. Peralatan yang digunakan juga berasal dari LGE UI yaitu berupa Resistivity Meter merk ARES Resistivity meter ARES ini berfungsi sebagai *transmitter* (pemberi sinyal arus) dan sebagai *receiver* (penerima sinyal tegangan) serta memberikan informasi tentang arus (I) yang diberikan, beda potensial ( $\Delta V$ ) yang terukur hingga nilai apparent resistivity ( $\rho_{app}$ ) hasil pengukuran. Pada proses akuisisi data menggunakan resistivity meter ARES ini, nilai faktor rasio (n) otomatis di tentukan oleh alat sesuai design pengukuran yang dibuat



Gambar 4.4 Resistivity Meter ARES (Ares User Manual version 5.0)

Adapun spesifikasi dari resistivity meter merk ARES ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Transmitter

Power up to 300 W (ARES-G4), up to 200 W (ARES-G-3)

Current up to 2.0 A (ARES-G4), up to 1.25 A (ARES-G3)

Voltage 10 – 550 V (1100 Vp-p)

Precision 0.1%

Universitas Indonesia

## 2. Receiver

Input impedance 20 M $\Omega$

Input voltage range  $\pm 5V$

Mains frequency filtering 50 or 60 Hz

Precision 0.1%

3. **Memory** 16Mbit, up to 100 files, 70000 readings

4. **Interface** RS232 or USB

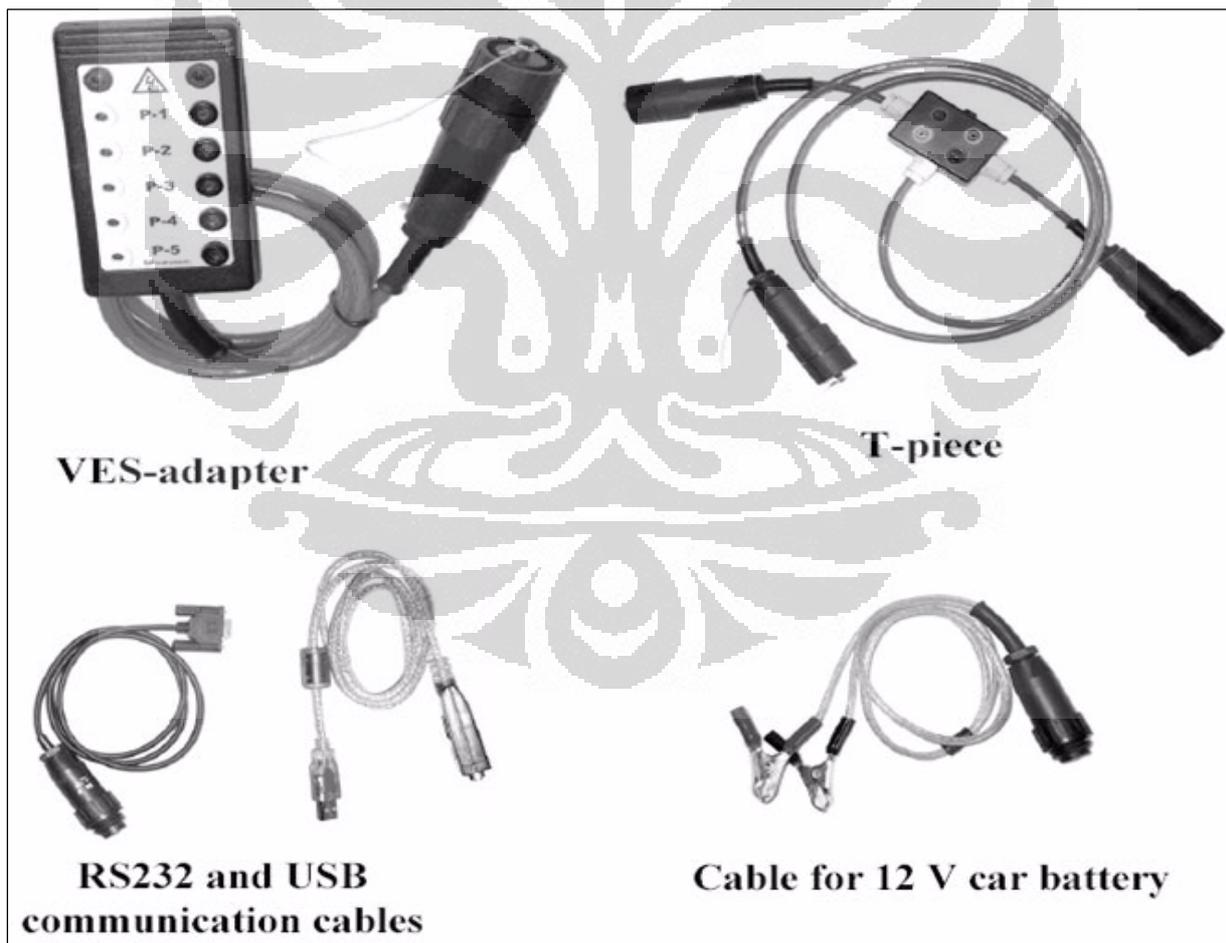
5. **Power Supply** 12 V car battery or attachable battery pack

6. **Connector** for PC, battery and universal one for all measuring

Accessories

7. **Dimensions** 13x17x39 cm

8. **Weight** 3.5 Kg



Gambar 4.5 Kabel Konektor Resistivity Meter ARES (Ares User Manual version 5.0)

Selain resistivity meter ARES tersebut terdapat beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini. Peralatan tersebut adalah:

1. Elektroda *stainless steel* yang terhubung kabel konektor dengan resistivity meter ARES
2. Kabel yang berfungsi untuk menghubungkan resistivity meter ARES dengan elektroda maupun menghubungkan antar elektroda
3. GPS merk Garmin untuk menentukan lokasi berdasarkan UTM (Easting dan Northing) serta untuk menentukan arah dan topografi
4. Meteran untuk mengukur jarak antar elektroda dan jarak lintasan
5. Palu yang digunakan untuk membenamkan elektroda kedalam tanah

#### 4.4 Akuisisi Data

Proses akuisisi data dilakukan dengan cara memasang elektroda secara profiling dengan lintasan searah dengan arah x (barat-timur) sebanyak 16 buah elektroda. Jumlah ini sama dengan banyaknya elektroda maksimum yang digunakan pada saat pengukuran berlangsung dan juga sesuai dengan banyaknya grid pada arah x. Sehingga terjadi perpindahan elektroda sebanyak 13 kali dari arah utara menuju selatan daerah pengukuran sesuai dengan banyaknya grid pada arah y. Luas total daerah pengukuran adalah sebesar 25.6 m x 20.8 m. Proses akuisisi data secara profiling ini merupakan cara pengambilan data secara 2D. Akan tetapi pada proses pengolahan data dan interpretasinya dilakukan secara 3-D. Mengapa bisa demikian, dijelaskan lebih lanjut pada BAB 5.

```

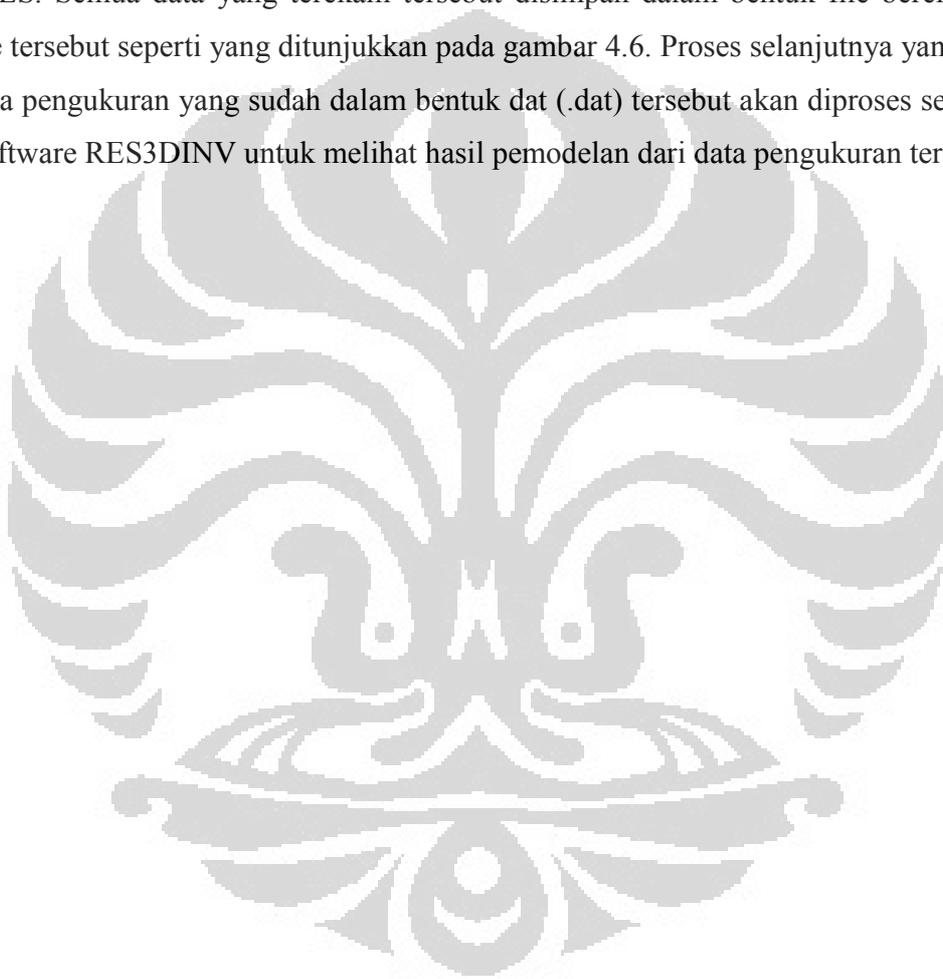
Device: ARES-G4 v4.7, SN: 0807185
Locality: Kp Gedong
Operator: ojk
Date: 5/25/2009
Note:
Profile: 1
X-loc: 0m
Y-loc: 0m
Direction: 0 (X)
Length: 20m
Distance: 1.6m
MC-set: Dipole-Dipole N4
S-min: 0m
S-max: 20m
Pulse: .5s
IP-windows:

```

C1 [el]	C2 [el]	P1 [el]	P2 [el]	Aray	I [mA]	V [mV]	EP [mV]	AppRes [Ohmm]	st-dev [%]
1	0	2	3	DD	133.23	66.37	43.85	15.02	0
2	1	3	4	DD	133.68	92.83	-67.85	20.94	.1
3	2	4	5	DD	128.73	60.59	17.19	14.19	.1
4	3	5	6	DD	89.85	58.93	-8.61	19.78	.2
5	4	6	7	DD	80.41	72.7	-65.87	27.26	.2

Gambar 4.6 File Ekstension dat (.dat) yang Memuat Data Pengukuran

Pada setiap line nya arus ( $I$ ) yang diinjeksikan dan beda potensial ( $\Delta V$ ) yang terukur direkam dengan jarak antar elektroda ( $a$ ) yang digunakan adalah 1,6 meter. Design Pengukuran pada saat akuisisi data seperti yang ditampilkan pada gambar 4.3. Sehingga didapatkan nilai resistivitas semu ( $\rho_{App}$ ) yang dihitung menggunakan persamaan (2.2). Proses penentuan nilai arus ( $I$ ) yang diinjeksikan, beda potensial ( $\Delta V$ ) yang terukur, jarak antar elektroda ( $a$ ), faktor rasio ( $n$ ), standar deviasi dan nilai resistivitas semu ( $\rho_{App}$ ) yang terkalkulasi terekam didalam resistivity meter ARES. Semua data yang terekam tersebut disimpan dalam bentuk file berektension dat (.dat). File tersebut seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6. Proses selanjutnya yang dilakukan adalah data pengukuran yang sudah dalam bentuk dat (.dat) tersebut akan diproses secara inversi dengan software RES3DINV untuk melihat hasil pemodelan dari data pengukuran tersebut.



## BAB 5

### PENGOLAHAN DAN INTERPRETASI DATA

#### 5.1 Pengolahan Data Pengukuran

Setelah proses akuisisi data selesai dilakukan, data yang didapatkan dari pengukuran menggunakan resistivity meter ARES lalu diekspor ke dalam komputer menggunakan kabel data. Data pengukuran yang telah diekspor tersebut berekstensi `.dat`. Data tersebut merupakan hasil pengukuran resistivity konfigurasi Dipole-dipole secara profiling yang merupakan cara pengambilan data resistivity 2-D. Padahal pada penelitian ini pemodelan yang digunakan adalah secara 3-D. Pada prinsipnya pengolahan data secara 3-D dapat dilakukan dengan cara menggabungkan data hasil pengukuran beberapa lintasan 2-D secara paralel (Mulyawan, 2007). Untuk mengatasi permasalahan tersebut pada pengolahan data hasil pengukuran, sebelum diproses secara inversi di software RES3DINV, data pengukuran harus diproses secara *collate* terlebih dahulu. Proses *collate data* adalah proses pengolahan data pra-inversi yang berfungsi untuk mengkonversi data hasil pengukuran secara 2-D dari beberapa lintasan yang paralel menjadi sebuah data 3-D yang dapat diproses secara inversi di software RES3DINV. Proses ini membutuhkan *script* tambahan yang ditulis pada notepad untuk melakukan proses konversi tersebut. *Script* proses *collate data* tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.1

Proses *collate* (penggabungan) data ini dilakukan pada software RES2DINV. Pada proses *collate data* ini parameter-parameter yang ada yang ditulis pada *script* dan disesuaikan dengan data pengukuran yang ada. Parameter tersebut akan berpengaruh terhadap hasil dari proses ini. Parameter tersebut antara lain:

1. Jumlah data pengukuran
2. Nama data serta tempat penyimpanan data pada hardisk computer
3. Letak elektroda (x dan y) pada lintasan
4. Kecenderungan arah pengukuran terhadap lintasan ( $x=0$ ,  $y=1$ )
5. Kecenderungan perubahan tanda dari nominal jarak lintasan (positive = 0, negative = 1)

Setelah proses *collate data* selesai dilakukan pada software RES2DINV maka dihasilkan sebuah data berektension dat (.dat). Data hasil proses *collate* ini kemudian diproses secara inversi pada software RES3DINV.

```

COLLATE_2D_TO_3D_26_02_2009_HKL1.TXT - Notepad
File Edit Format View Help
Conversion of several data files in RES2DINV format to one file in RES3DINV format
Number of files to collate
13
File 1 parameters
Name of data file in RES2DINV format
I:\25052009\Data Pengukuran haekal tahap 2\hk1-1.dat
X and Y location of first electrode along this line
0.0,0.0
Line direction (0=X,1=Y)
0
Line sign (0=positive,1=negative)
0
File 2 parameters
Name of data file in RES2DINV format
I:\25052009\Data Pengukuran haekal tahap 2\hk1-2.dat
X and Y location of first electrode along this line
0.0,1.6
Line direction (0=X,1=Y)
0
Line sign (0=positive,1=negative)
0
  
```

Gambar 5.1 Script Proses Collate Beberapa Data 2-D Secara Paralel Menjadi Data 3-D

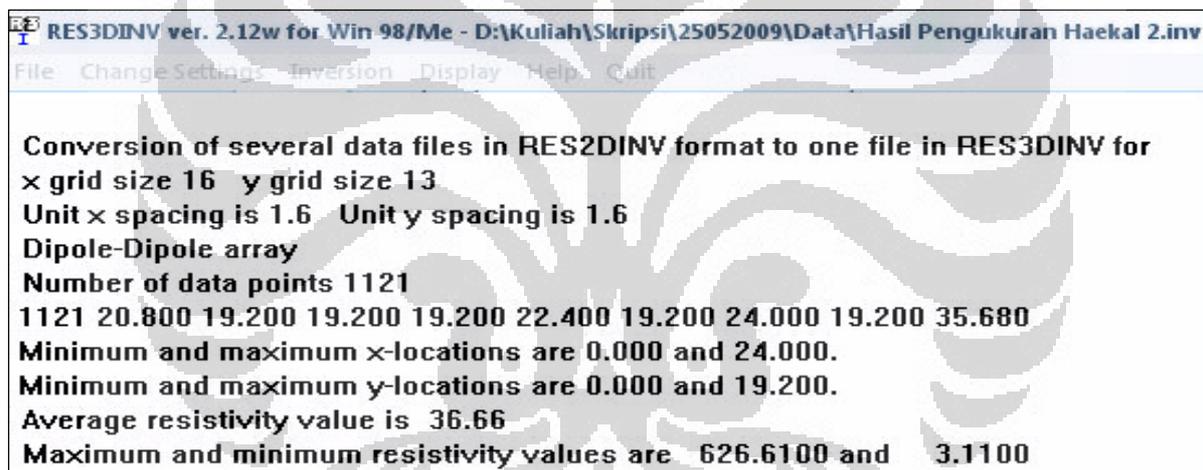
Pada software RES3DINV sebelum proses inversi dimulai, terdapat perubahan pengaturan parameter yang terjadi agar hasil inversi menjadi lebih baik. Adapun perubahan parameter yang dilakukan oleh penulis adalah:

1. *Initial Damping factor* = 0.15
2. *Minimum damping Factor* = 0.01
3. *Directly smooth model resistivity* = Tidak
4. *Line search on every iteration* = Ya
5. *Minimum % RMS change for line search* = 0.20
6. *Thickness of first layer* = 0.72
7. *Factor of first layer* = 1.15
8. *Divide half size layer vertically* = tidak
9. *Number of iterations* = 10
10. *No of iter to recalculate Jacobian* = 10
11. *Convergence limit (in percent)* = 5

## 12. Use finite-element methods = Finite-element method

Setelah proses perubahan parameter selesai dilakukan maka dilakukan proses inversi pada software RES3DINV. Proses inversi ini dilakukan pada sebuah komputer dengan spesifikasi *processor* Intel Dual-Core 2.2GHZ, RAM 1 GB dan VGA GeForce 512 MB membutuhkan waktu sekitar 10 menit dalam melakukan sekali proses inversi. Hasil dari proses inversi tersebut akan disimpan dengan nama file yang sama dengan nama data, akan tetapi berbeda ekstension (.inv).

Model hasil inversi pada penelitian ini menghasilkan jumlah data sebanyak 1121 buah data dengan nilai resistivity minimal yang terkalkulasi adalah sebesar 3,1  $\Omega\text{m}$  dan nilai resistivity maximal yang terkalkulasi adalah sebesar 626,61  $\Omega\text{m}$  serta nilai rata-rata resistivity yang terkalkulasi adalah sebesar 36,6  $\Omega\text{m}$  seperti yang tertera pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Report Hasil Proses Inversi Pada Software RES3DINV

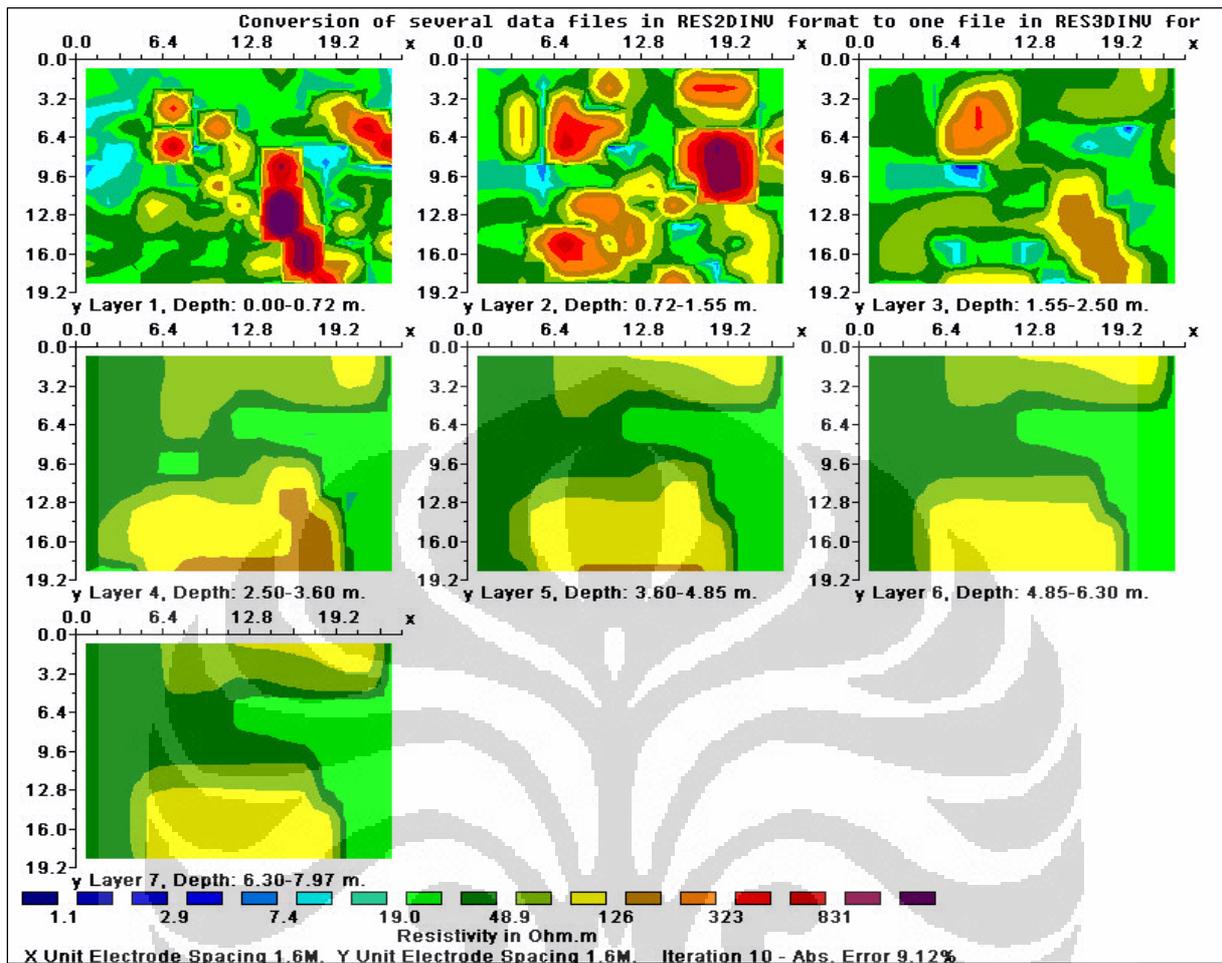
Pada penelitian ini banyaknya iterasi yang digunakan pada proses inversi adalah sebanyak 10 kali iterasi. Hal tersebut dikarenakan nilai % RMS error dari iterasi ke 1 sampai iterasi ke 10 cenderung konvergen. Artinya semakin besar jumlah iterasi yang digunakan maka nilai % RMS error yang didapat dari setiap iterasi menjadi semakin kecil. Hal ini menunjukkan hasil inversi semakin mendekati solusi. Sedangkan dari iterasi 10 keatas, nilai % RMS error cenderung tetap sehingga perubahan secara konvergen akan menjadi sangat kecil sehingga proses iterasi cukup sampai iterasi ke 10 saja. Pada penelitian ini nilai % RMS error yang didapatkan sampai iterasi ke 10 adalah sebesar 9.12 % . Dari proses inversi tersebut kita dapat

melihat hasil inversi baik secara horizontal maupun secara vertikal. Selain itu kita dapat menampilkan hasil inversi pada setiap iterasi dan menampilkan hasil inversi setiap bagian dari beberapa bagian yang ada.

## 5.2. Interpretasi Data Pengukuran

Setelah proses pengolahan data secara inversi selesai dilakukan pada software RES3DINV maka kita dapat melihat model hasil inversi di software RES3DINV. Penetrasi kedalaman maksimal model hasil inversi ini adalah 7.97 meter. Terdiri dari 7 layer yang terbagi menjadi beberapa kedalaman yaitu: Layer 1 (0.00 m – 0.72 m), layer 2 (0.72 m – 1.55 m), layer 3 (1.55 m – 2.50 m), layer 4 (2.50 m – 3.60 m), layer 5 (3.60 m – 4.85 m), layer 6 (4.85 m – 6.30 m) dan layer 7 (6.30 m -7.97 m).

Pada model hasil inversi secara horizontal arah XZ seperti yang tampak pada Gambar 53, pada layer pertama (0.00 m – 0.72 m) terdapat nilai resistivity yang begitu tinggi sekitar 500  $\Omega$ m yang terletak pada beberapa bagian. Padahal pada proses akuisisi data tidak menunjukkan adanya rongga yang menerus ke permukaan seperti yang tampak pada model hasil inversi secara horizontal. Nilai resistivity yang tinggi ini diakibatkan karena adanya gundukan sampah yang terdapat di beberapa tempat akuisisi data sehingga menyebabkan pada daerah yang terdapat gundukan sampah tersebut memiliki kadar persentasi udara yang besar dan membuat nilai resistivity yang tinggi. Akan tetapi bisa saja nilai resistivity tinggi tersebut merupakan rongga pada permukaan yang terhubung dengan rongga utama dibawahnya. Hal ini tergantung model hasil inversi yang lain. Sama seperti layer pertama dimana terdapat nilai resistivity yang tinggi pada permukaan, pada layer kedua (0.72 m – 1.55 m) juga didapatkan nilai resistivity yang tinggi pada beberapa bagian. Hal ini terjadi dikarenakan adanya gundukan sampah yang banyak berisi udara sehingga nilai resistivitas pada daerah ini menjadi besar. Pada layer ketiga (1.55 m - 2.50m) terdapat nilai resistivity tinggi pada selatan daerah pengukuran. Nilai resistivity yang berkisar antara 126  $\Omega$ m tersebut di duga adalah bagian dari rongga bawah tanah yang merupakan objek penelitian ini. Pada layer keempat (2.50 m – 3.60 m) juga terdapat nilai resistivitas tinggi pada selatan daerah pengukuran, bahkan terdapat pola yang terbentuk terhadap arah y dari 12.8 meter– 19.2 meter.

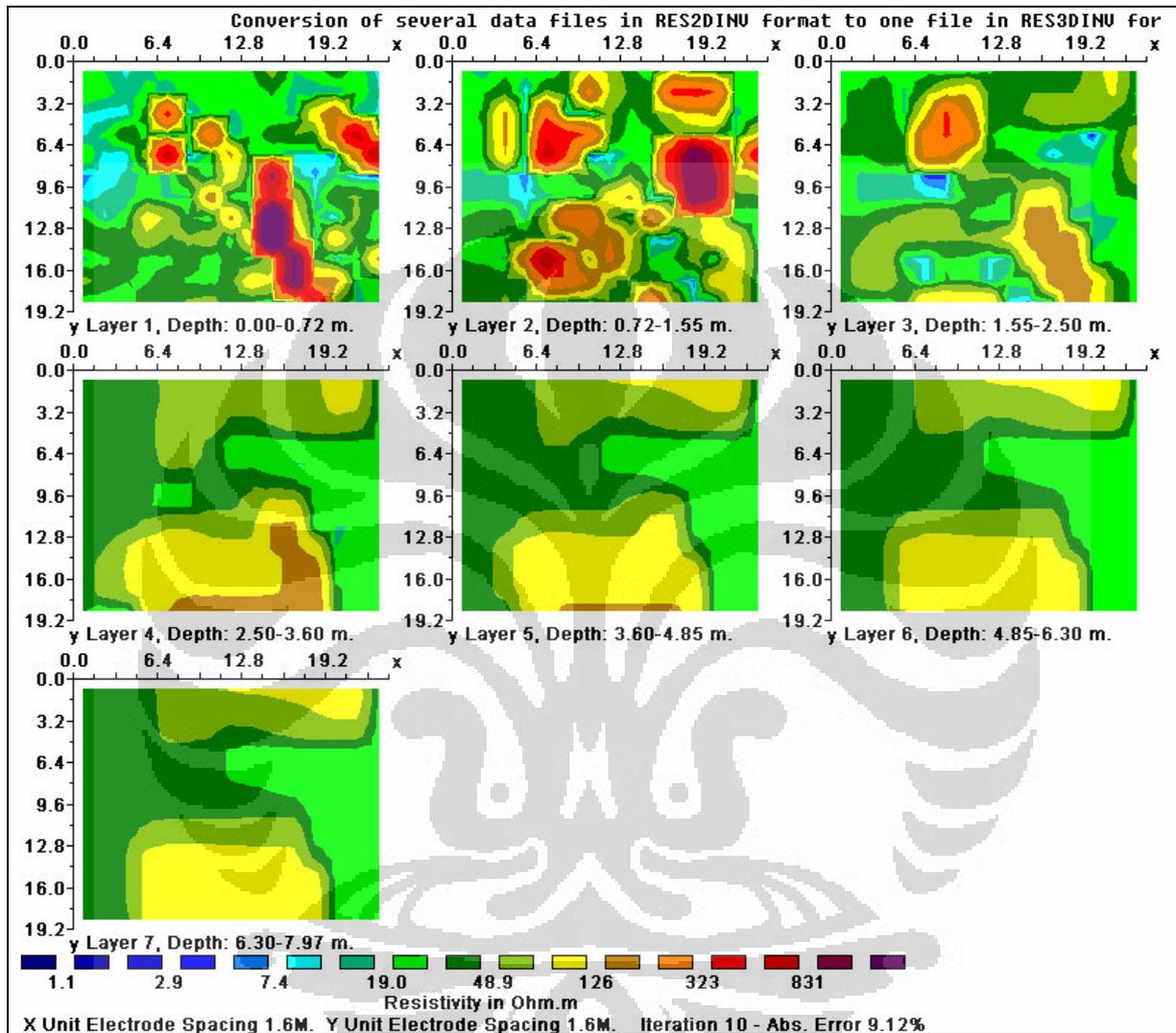


Gambar 5.3 Model Hasil Inversi Data Pengukuran Secara Horizontal Arah XZ

Nilai resistivitas tinggi juga terdapat pada utara daerah pengukuran. Adanya anomali resistivitas ini diduga sebagai rongga bawah tanah. Pada layer kelima (3.60 m - 4.85m) juga terdapat nilai resistivitas tinggi pada selatan dan ujung utara daerah pengukuran. Begitu juga pada layer keenam (4.85 m – 6.30 m) terdapat nilai resistivitas yang tinggi dan terdapat pola resistivitas yang terbentuk dikarenakan adanya rongga bawah tanah. Pada layer ketujuh (6.30 m - 7.97 m) terdapat nilai resistivitas tinggi pada selatan dan utara daerah pengukuran. Hal ini semakin menegaskan bahwa utara dan selatan daerah penelitian terdapat 2 rongga bawah tanah yang terpisah.

Pada Gambar 5.4 yaitu model inversi data pengukuran secara horizontal arah YZ tampak sama seperti pada Gambar 5.3. Pada layer pertama (0.00 m – 0.72 m) dan layer kedua (0.72 m –

1.55 m) terdapat nilai resistivitas yang tinggi yang diakibatkan karena adanya gundukan sampah yang terisi udara.



Gambar 5.4 Model Hasil Inversi Data Pengukuran Secara Horizontal Arah YZ

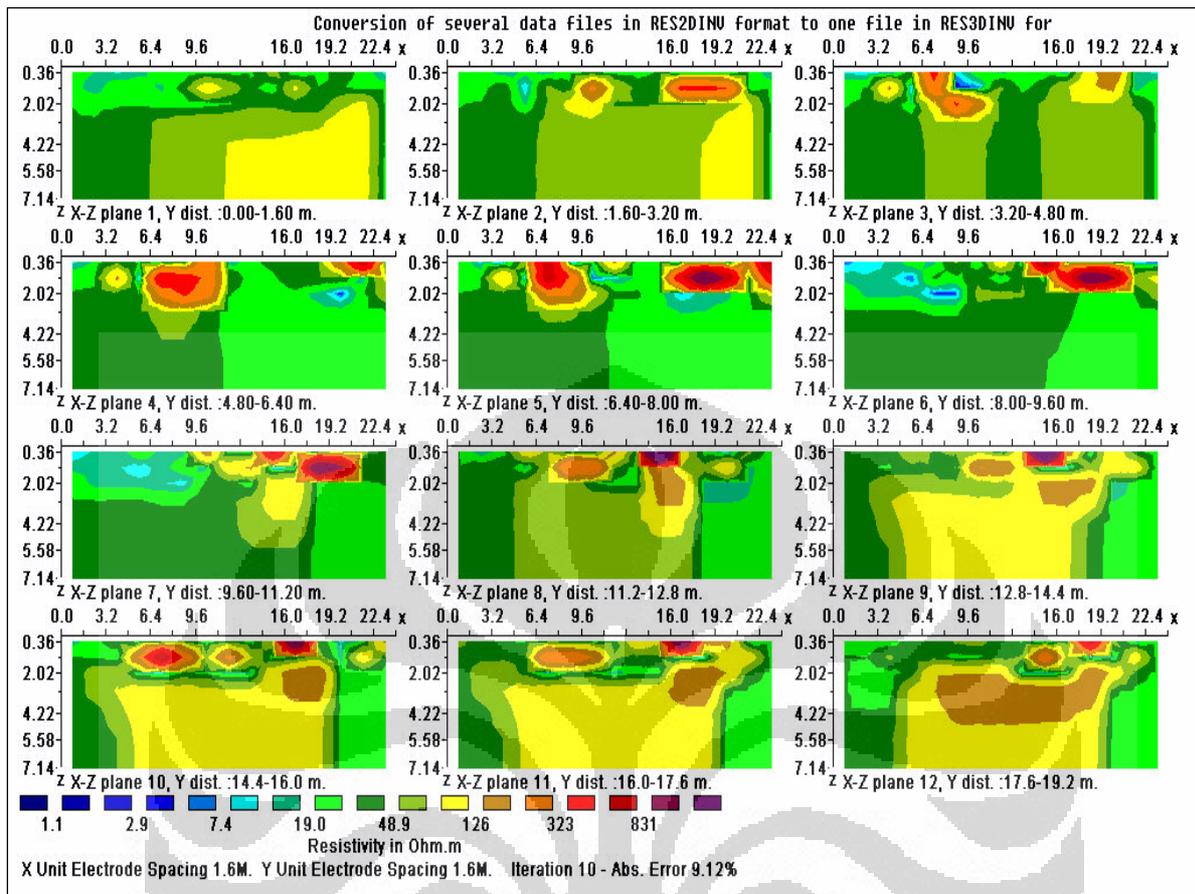
Akan tetapi bisa saja nilai resistivity tersebut merupakan rongga pada permukaan yang menghubungkannya dengan rongga utama. Untuk memastikan apakah nilai resistivitas tinggi tersebut merupakan gundukan sampah atau rongga pada permukaan dapat diketahui dengan cara mengkomparasi dengan model hasil inversi. Pada layer ketiga (1.55 m – 2.50 m) mulai terlihat adanya rongga bawah tanah pada bagian selatan daerah pengukuran yang ditunjukkan dengan adanya anomali nilai resistivitas antara batuan daerah sekitar dengan rongga bawah tanah.

Universitas Indonesia

Pemodelan hasil inversi pada layer keempat (2.50 m – 3.60 m) sampai layer ketujuh (6.30 m - 7.97 m) menunjukkan adanya rongga bawah tanah pada bagian utara dan selatan daerah pengukuran, yang membuktikan bahwa terdapat 2 rongga bawah tanah yang terpisah satu sama lain pada daerah pengukuran. Nilai resistivitas rongga tersebut berkisar antara 126  $\Omega$ m – 323  $\Omega$ m dengan pola nilai resistivitas rongga menerus kearah utara dan menerus kearah selatan serta menerus kebawah permukaan.

Pada Gambar 5.5 model hasil inversi data pengukuran secara vertikal arah XZ lintasan berarah dari barat ke timur dan model hasil inversi dimulai dari lintasan paling utara menuju lintasan paling selatan. Terlihat bahwa pada jarak  $Y = 0.00 \text{ m} - 1.60 \text{ m}$  terdapat anomali resistivitas tinggi pada kedalaman sekitar 2.00 m – 7.14 m. Hal ini diduga sebagai rongga bawah tanah yang terbentuk di utara daerah pengukuran. Pada jarak  $Y = 1.60 \text{ m} - 3.20 \text{ m}$  terdapat anomali resistivity tinggi pada kedalaman 2.00 m – 7.14 m, akan tetapi bentuk model hasil dari inversi pada section ini tidak terlalu memperlihatkan pola rongga bawah tanah seperti pada jarak  $Y = 0.00 \text{ m} - 1.60 \text{ m}$ . Hal ini diduga bahwa batas dari keberadaan rongga bawah tanah sebelah utara daerah pengukuran berakhir pada section ini. Pada jarak  $Y = 3.20 \text{ m} - 4.80 \text{ m}$  terdapat nilai resistivitas tinggi dipermukaan yang merupakan gundukan sampah yang terisi udara.

Begitu juga pada jarak  $Y = 4.80 \text{ m} - 6.40 \text{ m}$ ,  $Y = 6.40 \text{ m} - 8.00 \text{ m}$ ,  $Y = 8.00 \text{ m} - 9.60 \text{ m}$ ,  $Y = 9.60 \text{ m} - 11.20 \text{ m}$  dan  $Y = 11.2 \text{ m} - 12.8 \text{ m}$  tidak terlihat adanya anomali resistivity yang membentuk pola resistivitas rongga bawah tanah yang merupakan objek pada penelitian ini. Pada jarak  $Y = 12.8 \text{ m} - 14.4 \text{ m}$  terdapat anomali resistivity tinggi pada model hasil inversi. Hal ini diduga sebagai rongga bawah tanah yang menerus ke bawah permukaan. Bila kita perhatikan model inversi section ini pada permukaan daerah pengukuran memiliki nilai resistivitas yang sama dengan nilai resistivitas rongga bawah tanah serta memiliki pola resistivitas yang sama terhadap perubahan jarak  $Y$  kearah selatan. Seperti yang telah di bahas pada model hasil inversi secara horizontal bahwa bagian selatan daerah pengukuran di duga terdapat rongga bawah tanah yang menerus kearah selatan. Hal ini menunjukkan bahwa pada permukaan terdapat rongga yang menghubungkan antara rongga pada permukaan dengan rongga utama. Pada jarak  $Y = 14.4 \text{ m} - 16.0 \text{ m}$  terdapat anomali resistivity tinggi pada kedalaman 2.00 m – 7.14 m. Diduga anomali resistivity tinggi ini adalah rongga bawah tanah. Pada jarak  $Y = 16.0 \text{ m} - 17.6 \text{ m}$  terdapat anomali resistivity tinggi dengan pola resistivitas yang sama dengan section sebelumnya.

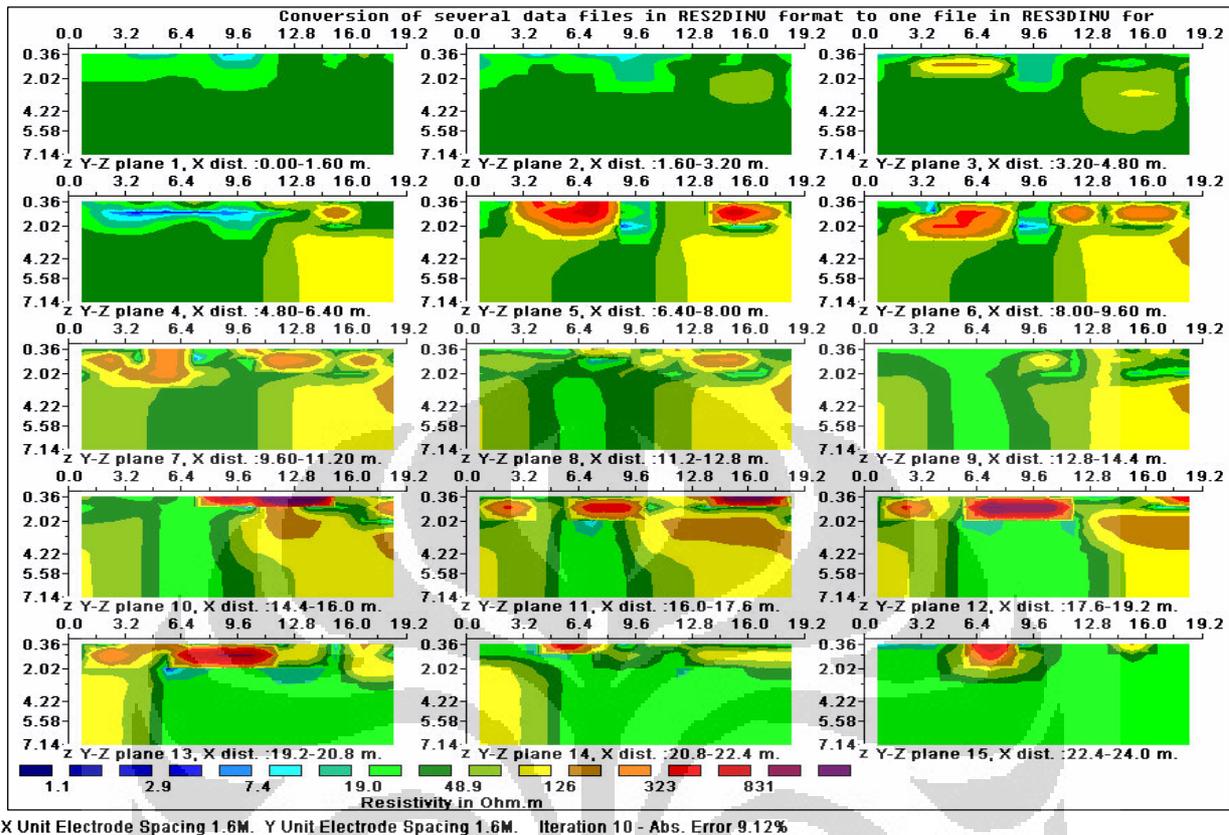


Gambar 5.5 Model Hasil Inversi Data Pengukuran Secara Vertikal Arah XZ

Hal ini menunjukkan rongga bawah tanah tersebut menerus ke arah selatan daerah pengukuran. Pada section ini juga terdapat rongga pada permukaan yang menghubungkan antara permukaan dengan rongga bawah tanah utama. Pada jarak  $Y = 17.6 \text{ m} - 19.2 \text{ m}$  terdapat anomali resistivity tinggi yang diduga sebagai rongga bawah tanah.

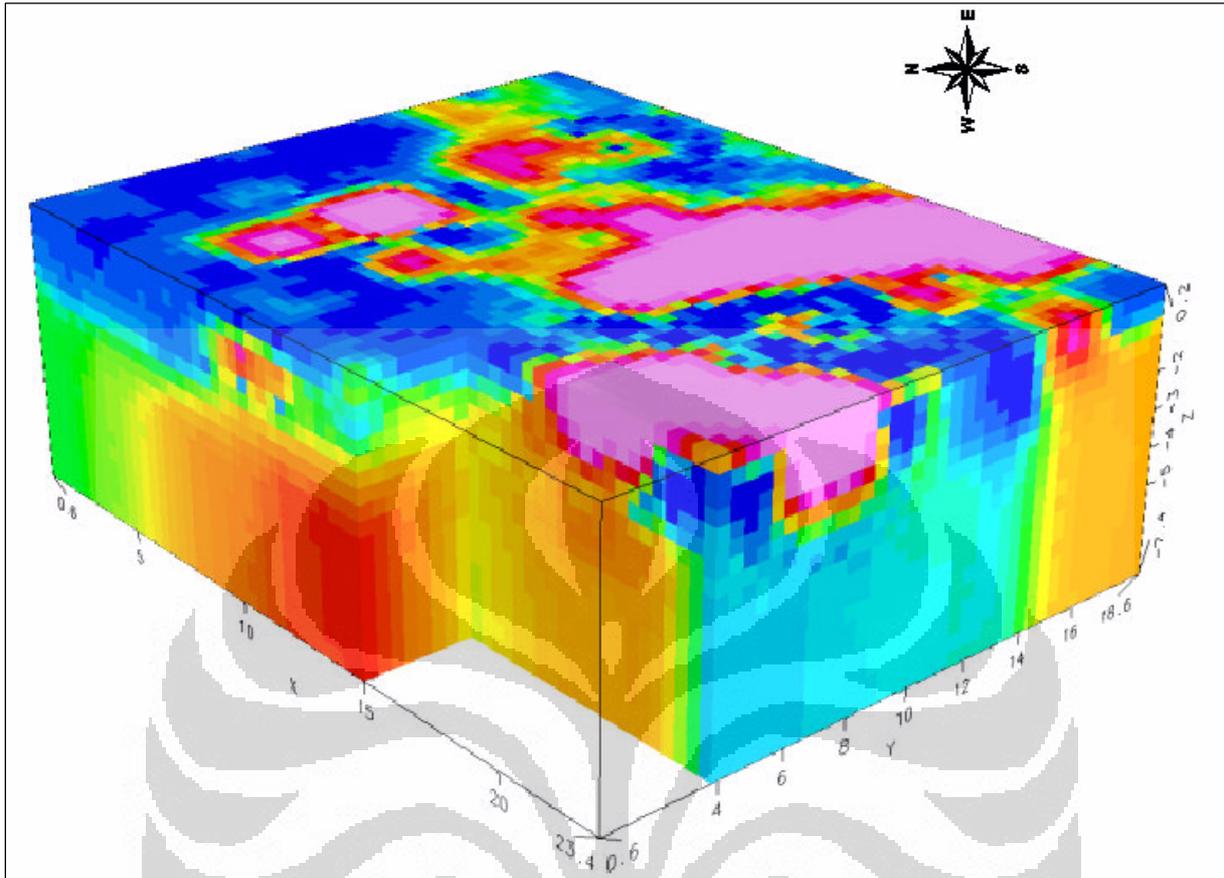
Pada model hasil inversi secara vertikal terhadap arah XZ ini rongga bawah tanah terbagi menjadi 2 bagian. Bagian yang pertama terletak pada jarak  $Y = 0.00 \text{ m} - 3.20 \text{ m}$  yang terletak di bagian utara daerah pengukuran dan bagian kedua terletak pada jarak  $Y = 12.8 \text{ m} - 19.2 \text{ m}$  yang terletak di bagian selatan daerah pengukuran. Hal ini menunjukkan adanya 2 rongga utama pada daerah pengukuran yang terpisah satu sama lain. Hal ini sama dengan model hasil inversi secara horizontal yang menunjukkan bahwa adanya rongga bawah tanah pada bagian utara dan selatan daerah pengukuran.

Pada Gambar 5.6 model hasil inversi data pengukuran secara vertikal arah YZ lintasan berarah dari utara ke selatan dan model hasil inversi dimulai dari lintasan paling barat menuju lintasan paling timur. Ketika jarak  $X = 0.00 \text{ m} - 1.60 \text{ m}$  tidak terdapat anomali resistivity pada section tersebut. Begitupun pada jarak  $X = 1.60 \text{ m} - 3.20 \text{ m}$  dan  $X = 3.20 \text{ m} - 4.80 \text{ m}$  tidak terdapat anomali resistivity yang menunjukkan keberadaan rongga bawah tanah yang merupakan objek penelitian penulis. Pada jarak  $X = 4.80 \text{ m} - 6.40 \text{ m}$  terdapat anomali resistivity pada bagian selatan daerah pengukuran. Terdapat pola resistivitas yang memiliki persamaan dengan pola resistivitas yang sama dengan pemodelan sebelumnya yang menunjukkan adanya rongga bawah tanah. Pada section ini terdapat rongga pada permukaan yang menghubungkan dengan rongga utama dibawahnya. Pada jarak  $X = 6.40 \text{ m} - 8.00 \text{ m}$  terdapat anomali resistivity pada bagian utara dan selatan daerah pengukuran, akan tetapi bentuk dari pola resistivitas yang di bentuk lebih jelas menggambarkan adanya rongga pada selatan daerah pengukuran. Pada jarak  $X = 8.00 \text{ m} - 9.60 \text{ m}$  terdapat anomali resistivity pada bagian utara dan selatan daerah pengukuran sama seperti section sebelumnya. Begitu juga pada jarak  $X = 9.60 \text{ m} - 11.20 \text{ m}$  dan  $X = 11.2 \text{ m} - 12.8 \text{ m}$  terdapat anomali di sebelah utara dan selatan daerah pengukuran yang menunjukkan pada daerah selatan dan utara daerah pengukuran terdapat rongga bawah tanah yang cukup besar yang terpisah satu sama lain. Ketika jarak  $X = 12.8 \text{ m} - 14.4 \text{ m}$  terdapat rongga pada permukaan yang menghubungkannya dengan rongga utama di bawahnya. Pada section ini masih terdapat anomali resistivity tinggi pada bagian utara dan selatan daerah pengukuran. Begitu pula pada jarak  $X = 14.4 \text{ m} - 16.0 \text{ m}$  dan  $X = 16.0 \text{ m} - 17.6 \text{ m}$  terdapat rongga pada permukaan yang menghubungkannya dengan rongga utama dibawahnya. Selanjutnya pada jarak  $X = 17.6 \text{ m} - 19.2 \text{ m}$  terdapat anomali resistivity di bagian utara dan selatan daerah pengukuran ditandai dengan besarnya nilai resistivity di kedua bagian tersebut. Diduga pada section ini masih terdapat rongga bawah tanah pada utara dan selatan daerah pengukuran. Pada jarak  $X = 19.2 \text{ m} - 20.8 \text{ m}$  terdapat anomali resistivity pada bagian utara daerah pengukuran. Sedangkan pada bagian selatan daerah pengukuran tidak terdapat pola resistivity yang menyerupai pola resistivitas rongga bawah permukaan seperti section sebelumnya. Hal ini berarti pada section ini di utara daerah pengukuran masih terdapat adanya rongga bawah permukaan, sedangkan pada daerah selatan daerah pengukuran sudah tidak terdapat rongga bawah tanah lagi.



Gambar 5.6 Model Hasil Inversi Data Pengukuran Secara Vertikal Arah YZ

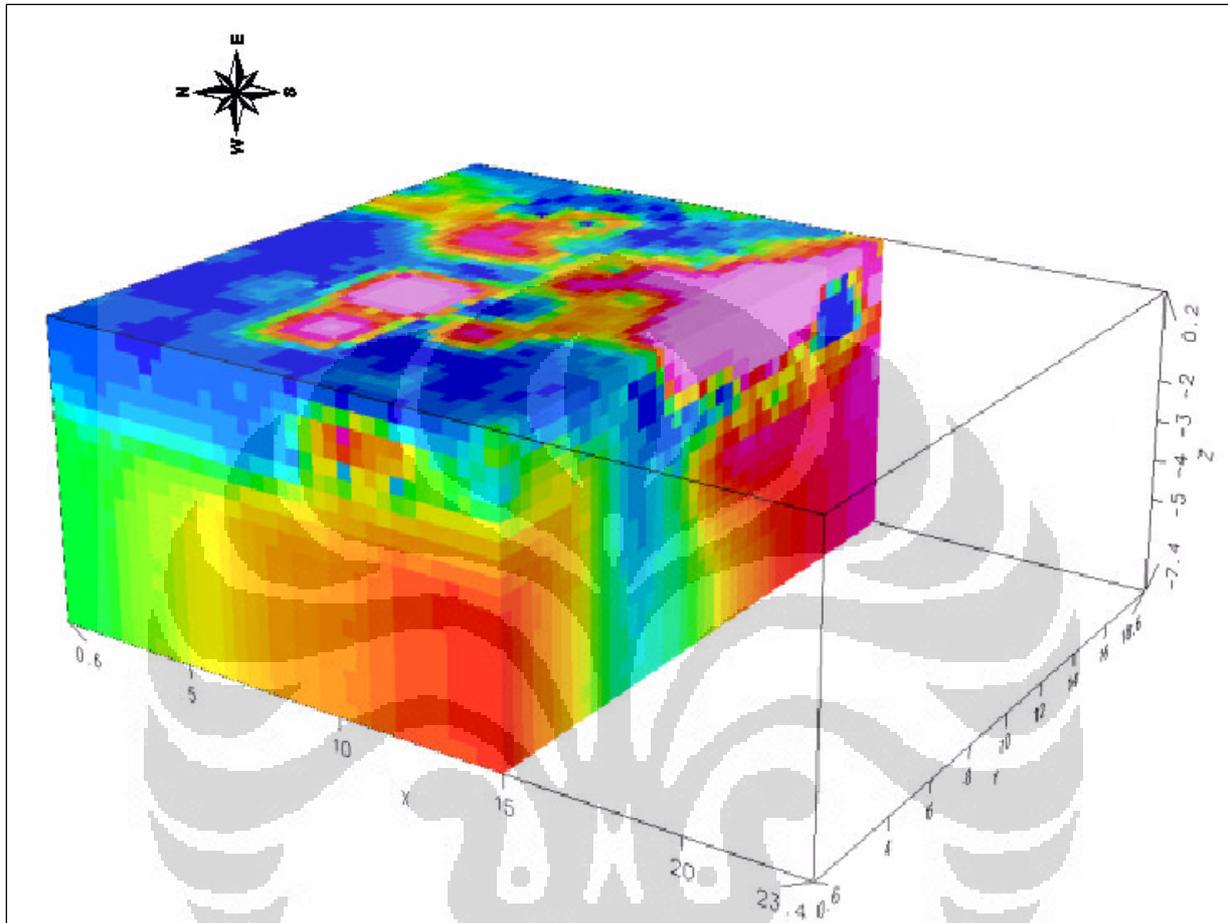
Pada jarak  $X = 20.8 \text{ m} - 22.4 \text{ m}$  terdapat anomali resistivity di utara daerah pengukuran, diduga masih terdapat rongga bawah tanah di utara daerah pengukuran. Pada section terakhir yaitu pada jarak  $X = 22.4 \text{ m} - 24.0 \text{ m}$  tidak terdapat anomali resistivity yang mengikuti pola resistivitas rongga bawah tanah. Akan tetapi terdapat nilai resistivity yang tinggi pada permukaan daerah pengukuran. Diduga daerah tersebut merupakan gundukan sampah yang terisi udara sehingga menyebabkan nilai resistivity menjadi tinggi. Gambar 5.7 merupakan model hasil inversi secara 3-D dimana terlihat pada bagian utara dan selatan dari daerah pengukuran memiliki anomali resistivity. Hal tersebut dikarenakan karena adanya rongga bawah tanah seperti interpretasi model hasil inversi dalam penelitian ini yang telah dibahas sebelumnya. Rongga bawah tanah yang terciptakan pada penelitian ini memiliki jangkauan nilai resistivity antara  $126 \Omega\text{m}$  sampai  $323 \Omega\text{m}$ . Rongga bawah tanah yang berisi udara dengan jangkauan nilai resistivitas tersebut diduga masih merupakan puncak teratas dari rongga bawah tanah utamanya yang memiliki nilai resistivity orde ribuan  $\Omega\text{m}$ .



Gambar 5.7 Hasil Inversi Daerah Pengukuran Secara 3-D

Tidak terdeteksinya rongga bawah tanah utama dikarenakan luas daerah penelitian yang sempit dan terbatas, sehingga membuat jarak antar elektroda ( $a$ ) dan faktor rasio ( $n$ ) menjadi kecil sehingga kedalaman penetrasi ( $h$ ) menjadi dangkal sesuai dengan persamaan (3.1). Gambar 5.8 dan Gambar 5.9 merupakan model 3-D hasil inversi yang membuktikan bahwa pada daerah penelitian terdapat rongga bawah tanah pada kedalaman yang dangkal. Rongga bawah tanah tersebut terdiri dari 2 bagian, yaitu di sebelah utara daerah pengukuran dan sebelah selatan daerah pengukuran. Kedua buah rongga bawah tanah tersebut terpisah satu sama lain. Rongga bawah tanah pada utara daerah penelitian memiliki kecenderungan menerus ke arah utara dan rongga bawah tanah pada selatan daerah pengukuran memiliki kecenderungan menerus ke arah selatan daerah pengukuran. Rongga bawah tanah yang terciptakan pada penelitian ini merupakan rongga bawah tanah *semi-massive*, dimana rongga bawah tanah tersebut terbentuk oleh lapisan di

bawahnya yang memiliki kepadatan volume batuan dengan persentasi yang lebih kecil. Hal ini membuat



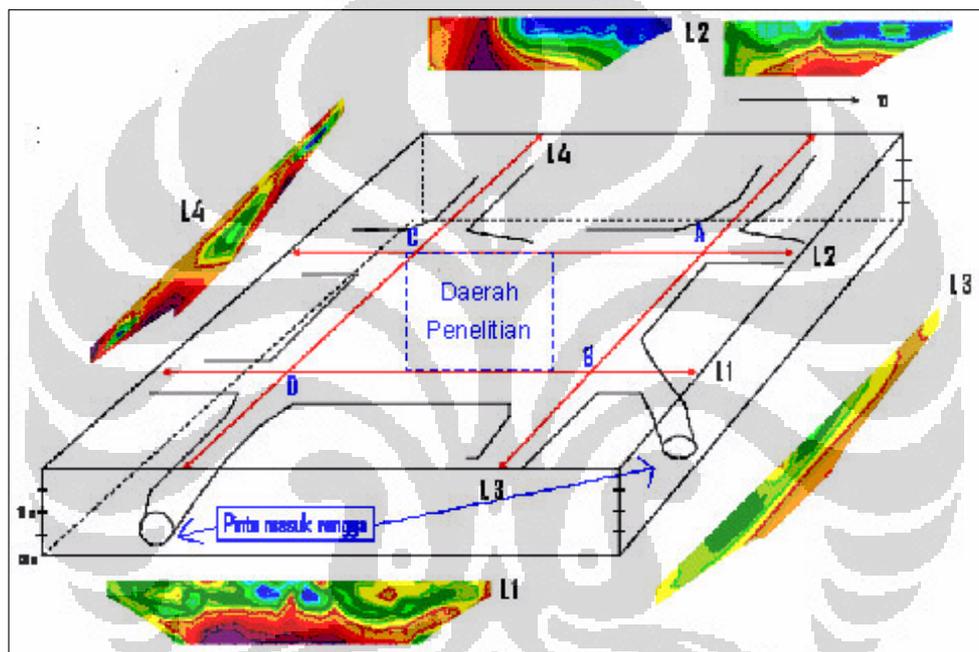
Gambar 5.8 Dua Rongga Bawah tanah yang Terpisah di Utara dan Selatan Daerah Pengukuran

rongga bawah tanah yang tercitrakan pada penelitian ini merupakan batuan yang tidak terkompaksi dengan baik akibat lapisan dibawahnya merupakan rongga bawah tanah yang berisi udara.

Hasil pencitraan 3-D metode Resistivity yang dihasilkan pada penelitian ini sama dengan hasil pencitraan 2-D metode Resistivity pada pemodelan sebelumnya (Razak, 2007). Pada penelitian sebelumnya data pengukuran diambil dari 4 lintasan yang berbeda yaitu lintasan 1, lintasan 2, lintasan 3 dan lintasan 4 seperti yang terlihat pada Gambar 4.2. Pada Gambar 4.2 daerah penelitian yang dilakukan oleh penulis berada pada daerah penelitian sebelumnya. Batas sebelah kiri daerah pengukuran searah dan berimpit dengan lintasan 2 pada penelitian

Universitas Indonesia

sebelumnya dari utara ke selatan. Batas sebelah kanan daerah pengukuran searah dan berimpit dengan lintasan 1 pada penelitian sebelumnya. Batas utara daerah penelitian searah dengan lintasan 2 pada penelitian sebelumnya dan batas selatan daerah pengukuran searah dan berimpit dengan lintasan 4 penelitian sebelumnya. Oleh karena itu hasil penelitian ini dapat dikomparasi dengan hasil penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya. Hasil dari penelitian sebelumnya adalah terdapat rongga bawah tanah pada daerah penelitian seperti yang terlihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Model Hasil Inversi Penelitian Sebelumnya (Razak, 2007)

Dari penelitian sebelumnya rongga bawah permukaan berada pada sepanjang lintasan yang terdiri dari 2 rongga utama di utara (lintasan 3) dan selatan (lintasan 4) daerah pengukuran penelitian ini, serta terdapat manifestasi berupa rongga pada permukaan yang menghubungkan antara rongga tersebut dengan rongga utama dibawahnya. Bila dikomparasi dengan hasil dari pengukuran pada penelitian sebelumnya, maka hasil dari penelitian ini sama dengan hasil dari penelitian sebelumnya dimana dari interpretasi model hasil inversi sama-sama menunjukkan bahwa keberadaan rongga bawah permukaan terdapat pada utara (lintasan 3) dan selatan

(lintasan 4) daerah pengukuran penelitian ini, serta terdapat rongga pada permukaan yang menghubungkan antara rongga tersebut dengan rongga utama di bawahnya.

### 5.3 Data Geologi

Berdasarkan data dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung tahun 1992, stratigrafi wilayah Depok dan sekitarnya disusun oleh beberapa formasi batuan sebagai berikut (Razak, 2007):

- Formasi Bojongmanik: perselingan Konglomerat, Batu Pasir, Batu Lanau, Batu Lempung
- Formasi Serpong: Breksi, Lahar, Tuf Breksi, Tuf Batu Apung
- Satuan Batuan Gunung Api Muda: Tuf Halus Berlapis, Tuf Pasiran berselingan dengan Konglomerat
- Satuan Batuan Kipas Alluvium: endapan Lempung, Pasir, Kerikil, Kerakal

Reservoir air tanah terdapat pada batuan tersier dan kuartar. Endapan kuartar dan endapan tersier vulkanik menjari/bersilang jari dengan endapan kuartar sungai. Zona Akuifer air tanah dangkal terdapat pada kedalaman 20 meter. Reservoir air tanah ini bersifat preatik dan merupakan air tanah tak tertekan sampai tertekan. Air tanah artesis berada pada daerah pantai dan bagian tengah menuju timur kota Depok. Kedalaman zona mata air artesis tersebut diperkirakan berada pada kedalaman 270 Meter (Razak, 2007).

## BAB 6

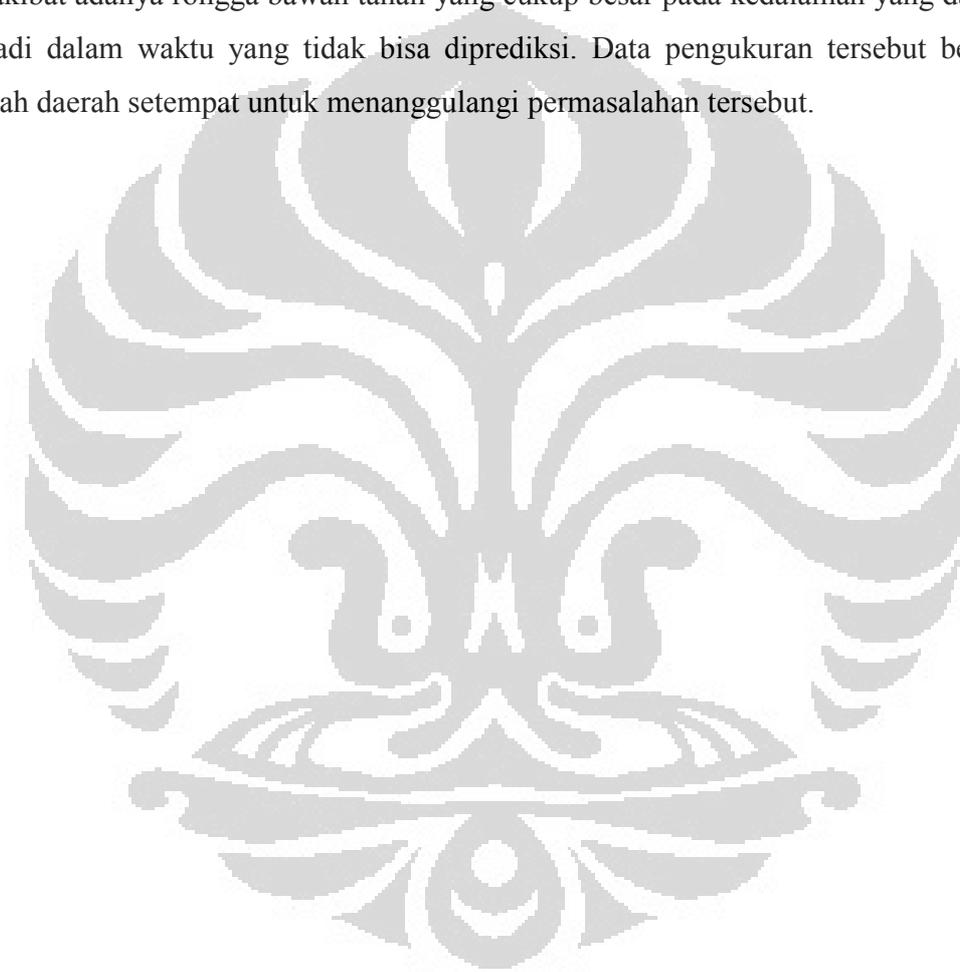
### KESIMPULAN

#### 6.1 Kesimpulan

1. Metode Resistivity sangat baik dalam mencitrakan objek berupa rongga bawah tanah dikarenakan terdapat kontras (anomali) resistivity antara objek dengan batuan sekitar sehingga model hasil inversi yang didapatkan menggambarkan keberadaan objek dengan jelas.
2. Objek penelitian berupa rongga bawah tanah berada pada utara dan selatan daerah pengukuran dengan nilai resistivitas rongga berkisar antara  $126 \Omega\text{m}$  –  $323 \Omega\text{m}$ . Hal ini sama dengan hasil penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya (Razak, 2007) dimana keberadaan rongga utama berada pada utara (lintasan 3) dan selatan (lintasan 4) daerah pengukuran. Objek penelitian yang tercitrakan ini merupakan lapisan batuan yang tidak terkompaksi dengan baik akibat adanya rongga bawah tanah di bawah lapisan batuan tersebut pada jarak yang tidak terlalu jauh.
3. Pencitraan metode Resistivity secara 3-D memberikan hasil pemodelan yang lebih jelas dan lengkap sehingga objek penelitian dapat tergambarkan dengan sempurna.
4. Pemodelan awal secara *Forward Modelling* dan *Inverse Modelling* membantu dalam proses design pengukuran sebelum akuisisi data dimulai.
5. Pengukuran metode Resistivity dengan menggunakan *multi-channel electrode* membuat waktu pengukuran menjadi lebih singkat dan proses pengolahan data menjadi cepat dibandingkan dengan menggunakan *single-channel electrode*.
6. Penelitian ini membuktikan bahwa pada daerah penelitian terdapat rongga bawah tanah yang membahayakan keselamatan penduduk daerah sekitar. Data tentang keberadaan rongga bawah permukaan ini ditunjang dengan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya dengan kedalaman penetrasi yang lebih dalam bahwa terdapat rongga yang cukup besar pada kedalaman yang dangkal.

## 6.2 Saran

Sangat disarankan pada daerah penelitian ini agar tidak didirikan bangunan tempat tinggal maupun fasilitas umum. Selain itu perlu diadakan survey tambahan menggunakan metode geofisika yang lain seperti gravity dan magnetik pada daerah penelitian agar data pengukuran yang dihasilkan pada penelitian ini dapat dikomparasi dengan data pengukuran metode yang lain untuk memberikan hasil secara komprehensif. Penelitian ini juga berguna untuk mitigasi bencana longsor akibat adanya rongga bawah tanah yang cukup besar pada kedalaman yang dangkal serta bisa terjadi dalam waktu yang tidak bisa diprediksi. Data pengukuran tersebut berguna bagi pemerintah daerah setempat untuk menanggulangi permasalahan tersebut.



## DAFTAR REFERENSI

Daud, Y. (2006). *Introduction to Geophysics*. Physics Departemen: Universitas Indonesia.

GF Instruments. (2007). *Ares User Manual version 5.0*

Google Maps. (2009). *Kemiri Muka Depok Indonesia*. Europa Technologies Tele Atlas.

<http://www.maps.google.com>

Loke, M.H. (2001). *RES3DMOD ver. 2.1 for Windows 95/98/Me/2000/NT : 3-D resistivity & IP forward modelling using the finite-difference and finite-elements method*. Penang: Geotomo Software.

Loke, M.H. (2004). *Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Survey*. Penang: Geotomo Software.

Mulyawan, A.B. (2007). *Pemetaan Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Resistivity Tiga Dimensi Dengan Konfigurasi Pole-pole*. Depok: Universitas Indonesia.

Razak, A. (2007). *Rekonstruksi Rongga Buatan Bawah Permukaan Dengan Metode Geoelektrik 2D*. Depok: Universitas Indonesia.