

**STUDI RESISTIVITAS DAN GRAVITASI
UNTUK INVESTIGASI AKUIFER AIR BAWAH-TANAH
DI KAMPUS UI DEPOK**

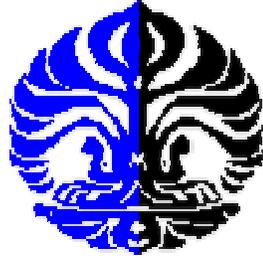
TESIS

*Diajukan sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Magister Sains*

**ZONA MABRURA ISHAQ
630521033X**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM PASCA SARJANA ILMU FISIKA
KEKHUSUSAN GEOFISIKA RESERVOAR
JAKARTA
2008**



**STUDI RESISTIVITAS DAN GRAVITASI
UNTUK INVESTIGASI AKUIFER AIR BAWAH-TANAH
DI KAMPUS UI DEPOK**

TESIS

*Diajukan sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Magister Sains*

**ZONA MABRURA ISHAQ
630521033X**

**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM PASCA SARJANA ILMU FISIKA
KEKHUSUSAN GEOFISIKA RESERVOAR
JAKARTA
2008**

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI GEOELEKTRIK DAN GRAFITI
UNTUK MENGINVESTIGASI AKUIFER AIR BAWAH-TANAH
DI KAMPUS UI DEPOK**

Tesis ini telah diperiksa dan disetujui oleh

Pembimbing:

Dr. Yunus Daud

Ketua Program Magister Fisika
Program Pasca Sarjana FMIPA IU

Dr. Dedi Suryanto

**JUDUL : STUDI RESISTIVITAS DAN GRAVITASI UNTUK
INVESTIGASI AKUIFER AIR BAWAH-TANAH DI
KAMPUS UI DEPOK**

PENULIS : ZONA MABRURA ISHAQ

NPM : 630521033X

Telah disetujui oleh:

Dr. Eng. Yunus Daud, M.Sc

Pembimbing

Prof.Dr.Suprajitno Munadi

Penguji

Dr. Jatmiko P. Atmojo

Penguji

Dr. Supriyanto

Penguji

Kekhususan Geofisika Reservoar
Program Pascasarjana Fisika
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Indonesia

Ketua,

Dr. Dedi Suyanto

NIP.130935271

Tanggal Lulus : 30 Mei 2008

HALAMAN PERSEMBAHAN



*Diatas langit masih ada langit
Aku hanya awan tipis yang melintas sejenak
Waktu demi waktu telah kulalui dengan sabar
Dan penuh perjuangan dengan curahan keringat dan tetesan air mata*

*Ya Allah ... hari ini masih bisa menyebut nama Mu
dalam jalinan warna putih ku untai do'a. Tak ada yang
lebih mengerti selain Engkau. Kepada Mu-lah jiwa ini pasrah
Ya Allah semoga hari esok dan selanjutnya, jiwa ini
masih tetap bisa memuja Mu*

*Sesungguhnya dibalik kesusahan itu ada kemudahan
maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan)
kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lain
hanya kepada Tuhanmu lah hendaknya kamu berharap
(Q.S Al Insyirah : 6 – 8)*

*Ya Allah
tidak aku persekutukan engkau dengan Tuhan yang lain
segala puji dan sembah bagimu ya Allah
yang telah menurunkan aku ke dunia ini sebagai umat Muhammad
hidupkalah aku di bumi ini dengan ajaran Muhammad
kembalikanlah aku ke Akhirat Mu dalam penantian Muhammad
dan masukkanlah aku ke surga Mu bersama Muhammad*

*Ya Allah ... ku berlindung pada Mu dari ilmu yang tiada berguna
dari perasaan yang selalu dengki, dari hati yang tiada khusuk,
dari jiwa yang tiada mengenal puas
dan dari do'a yang tiada mustajab*

*Ucapan terima kasih bagiku adalah
Ungkapan yang tiada batas, hanya kata memang dan hanya berbentuk kalimat,
Namun aku sebagai seorang makhluk tak layak jika tidak mengucapkannya pada mereka
yang telah menciptakan imajinasi dan spirit ketika aku mulai merangkai kata menuai bahasa.
Bagiku mereka adalah orang yang tak mungkin aku lupakan sepanjang aku melangkah
sepanjang itu pula mereka akan selalu ada bagaimanapun juga langkahku yang ada sekarang
ini tak akan pernah ada tanpa kehadiran mereka melalui mereka, penelitian ini bisa selesai
dan melalui mereka pula sejumlah bahasa batin bisa terangkai dalam tulusnya kata.
Bersama usainya sejengkal perjalanan dari perjalanan yang panjang yang masih harus aku
tempuhi, dengan penuh kerendahan hati,, kuucapkan rasa terima kasih ku yang terdalam, pada*

: kedua orang tuaku yang tercinta Ayahanda Ishaq dan Almarhumah Ibunda Yewiwarti Dalim (mami, akhirnya na bisa selesaikan tesis ini, walau mami tidak dapat menyaksikan, mudah-mudahan mami bahagia melihat ini semua) yang telah memberikan cinta dan kasih sayangnya padaku yang selalu mengiringi langkah-langkahku dengan do'a nya yang selalu memberikan senyum penuh harapan saat aku mengeluh dan putus asa dalam kesederhanaan, tanpa kenal lelah dan letih demi cita-cita anakmu tak cukup kata untuk merangkai betapa besar jasmu

Bingkisan mungil ini juga kupersembahkan untuk kakanda tercinta "Uda Oki" dan kakak ipar Nurlaili, teristimewa adik tersayang zia makasih atas kasih sayangnya doa dan dukungannya selama ini.

Seluruh keluarga besar ku Terima kasih atas semua yang telah diberikan kepada ku
Ya Allah aku bersyukur diberikan keluarga yang sangat aku banggakan

Terima kasihku buat Bapak Yunus Daud, Bapak Suprajitno, Bapak Supriyanto dan Bapak Djatmiko yang telah membimbing dan meluangkan waktu & tenaga dalam mengantarkan ku pada kesuksesan ini. Semoga Allah membalas semuanya ini dengan amal kebajikan
Aamiin

Thanks to:

Rekan-rekan Geofisika Reservoir 05, teman-teman yang selama ini juga ikut direpotkan atas semua ini. Kepada orang-orang yang pernah mengiringi langkahku, menemaniku tiap masa yang ku lewati, Terima kasih ku takkan cukup untuk membalas semuanya
Kupersembahkan karya ku ini

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan puji dan syukur kehadirat Allah SWT, yang telah memperikan taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini, yang berjudul **“Studi Resitivitas dan Gravitasi untuk Inverstigasi Akuifer Air Bawah-Tanah di Kampus UI Depok”**.

Dalam penyelesaian skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Yunus Daud selaku Pembimbing yang telah dengan sabar memberikan pengarahan, bimbingan dan petunjuk yang sangat berharga bagi penulis dalam penyelesaian tesis ini.
2. Bapak Prof Dr. Suprajitno Munadi, Bapak Dr. Djatmiko Prio Atmojo, Bapak Dr. Supriyanto, selaku penguji yang telah memberikan masukan-masukan dan kritik yang membangun untuk perbaikan tesis.
3. Bapak Dedi Suyanto selaku Ketua Program Pasca Sarjana Ilmu Fisika
4. Bapak Muhammad Husni BMG atas izin peminjaman alat dan perlengkapan.
5. Mas Teguh, Mas Udin dan Agus, juga Suhariadi, Haryono atas bantuannya dalam akuisisi dan pengambilan data lapangan.

6. Teristimewa kedua orang tua dan seluruh keluarga penulis yang mengiringi langkah penulis dengan do'a serta memberikan dorongan dan semangat dalam penulisan tesis ini.
7. Rekan-rekan angkatan 2005 Program Pasca Sarjana Kekhususan Geofisika Reservoir beserta staff atas dukungan dan semangatnya. Juga untuk Pak Parman dan Pak Samidi yang telah banyak direpotkan.
8. Sahabat-sahabatku Migo, Ainun, dan Nelma untuk dorongan semangat dan doanya.
9. Semua pihak telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga bantuan dan bimbingan yang telah diberikan kepada penulis diterima oleh Allah SWT sebagai amal Kebajikan.

Akhir kata penulis mengharapkan saran dan masukan dari semua pihak guna kesempurnaan tulisan ini. Penulis juga mengharapkan semoga tulisan ini dapat berguna bagi pembaca dan penulis sendiri.

Jakarta, Juni 2008

Penulis

ABSTRAK

Potensi air bawah tanah di wilayah Kampus UI Depok dapat diperkirakan berdasarkan data ketebalan akuifer, luas akuifer dan porositas lapisan akuifer di daerah tersebut. Informasi terkait geometri akuifer tersebut dapat diperoleh dengan melakukan *reprocessing* dan *reinterpretation* data pengukuran Resistivitas Wenner-Schlumberger yang pengukurannya telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Untuk memperjelas model bawah permukaan dari data resistivity dilakukan pengukuran, pemrosesan dan pemodelan data gravitasi. Di samping itu, data gravitasi juga digunakan untuk memodelkan keberadaan batuan basement menggunakan software Grav2D. Model struktur bawah permukaan dari data gravitasi kemudian diintegrasikan dengan data resistivity untuk merekonstruksi model hidrogeologi di wilayah Kampus UI Depok. Model hidrogeologi tersebut memperlihatkan struktur peralihan dari atas ke bawah terdiri dari lapisan alluvium (nilai resistivity 10-100 ohm-meter dan nilai densitas 1,2 gr/cm³), lapisan pasir (nilai resistivitas < 10 ohm-meter dan nilai densitas 1,7 gr/cm³) dan lapisan perselingan batupasir dan batu gamping yang merupakan Formasi Bojongmanik (nilai resistivitas >100 ohm-meter dan nilai densitas 2,0 gr/cm³). Pemodelan data gravitasi memperlihatkan topografi puncak batuan basement berbentuk cekungan yang terisi oleh lapisan berdensitas rendah (1,7 gr/cm³) yang merupakan akuifer. Kedalaman akuifer sendiri diperkirakan antara 20-120 m dengan ketebalan lapisan rata-rata adalah 80 m. Model hidrogeologi 3-dimensi dapat memperlihatkan dengan lebih jelas arah aliran fluida di wilayah Kampus UI Depok. Berdasarkan studi ini, dapat diperkirakan volume akuifer di wilayah kampus UI Depok adalah 109.093.360 m³. Hasil studi ini juga dapat digunakan sebagai salah satu referensi dalam melakukan pengelolaan air bawah tanah di wilayah Kampus UI Depok.

Kata Kunci:

Potensi, akuifer, Resistivitas DC Schlumberger, Pemodelan Gravitasi, hidrogeologi.

ABSTRACT

Groundwater resources of the UI Campus area could be estimated based on aquifer geometry such as its thickness, area, and porosity. Information related to the aquifer could be collected by conducting reprocessing and reinterpretation of the Wenner-Schlumberger geoelectric data that has been carried out by previous researcher. To support subsurface geoelectrical model, it has been carried out the gravity measurement, processing and modelling. Furthermore, the gravity data was also utilised for modelling of basement formation using Grav2D software. The subsurface structure from the gravity modelling was then integrated with the resistivity data for reconstructing the hydrogeological model of the UI Campus area. The hydrogeological model shows stratified layers from up to bottom consist of alluvial layer (resistivity value 10-100 ohm-meter and density value 1,2 gr/cm³), sand layer (resistivity value < 10 ohm-meter and density 1,7 gr/cm³) and inter-change layer between sandstone and limestone known as Bojongmanik Formation (resistivity value >100 ohm-meter and density 2,0 gr/cm³). Modeling of gravity shows the topography of top basement in form of basin. The basin contains of low density layer (1,7 gr/cm³) which is aquifer. The depth of aquifer is estimated between 20-120 m with 80 m layer thickness in average. 3-D hydrogeology modeling can show fluid flow clearly in UI Campus area. According to this study, it can be estimated that the aquifer volume in UI Campus is 109.093.360 m³. The conclusion of this study can be use as a reference in subsurface aquifer management at UI Campus area.

Keyword:

Groundwater resources, aquifer, Resistivity Wanner-Schlumberger, Gravity modeling, hydrogeology.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Metode Penelitian dan Batasan Masalah	3
1.4 Sistematika Penulisan	6
BAB II DASAR TEORI	7
2.1 Dasar Teori Geolistrik	7
2.2.1 Sifat Kelistrikan Batuan	6
2.2.2 Konfigurasi Elektrode DC Schlumberger	12
2.2.3 Konsep Resistivitas Semu	14
2.2.4 Konsep Air Bawah Tanah	15
2.2 Prinsip Dasar Gravitasi	18
2.2.1 Hukum Gravitasi Newton	18
2.2.2 Gambaran Permukaan Bumi	19
2.2.3 Reduksi Gravitasi	21
2.2.4 Densitas Batuan dan Mineral	26
2.3 Pemisahan Anomali Regional dan Residual	28

BAB III	AKUISISI DATA	32
3.1	Persiapan Peralatan dan Perlengkapan Pengukuran	32
3.2	Rancangan Survey Pengukuran	32
3.2.1	Kunjungan Lapangan	32
3.2.2	Metode Wenner_Schlumberger	37
3.2.3	Gravitasi	37
3.3	Kemudahan Proses Akuisisi Data	38
3.4	Hambatan dalam Proses Akuisisi Data	38
BAB IV	PENGOLAHAN DATA DAN INTERPRETASI	
4.1	<i>Reprocessing</i> Data Wenner-Schlumberger	39
4.2	Interpretasi Data Wenner-Schlumberger	
4.2.1	Lintasan 1	41
4.2.2	Lintasan 2	42
4.2.3	Lintasan 3	44
4.3	Pengolahan Data Gravity	48
4.3.1	Pemisahan Anomali Regional dan Residual	49
4.3.2	Pemodelan	51
BAB V	PEMBAHASAN	
5.1	Data Geologi	
5.1.1	Struktur Geologi Kampus UI Depok	55
5.1.2	Data Metode Resistivitas Schlumberger dari Peneliti Sebelumnya	57
5.2	Model Geofisika	59
5.2.1	Model Geofisika Lintasan 1	60
5.2.2	Model Geofisika Lintasan 2	63
5.2.3	Model Geofisika Lintasan 3	66
5.3	Model Hidrogeologi	70

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan	75
6.2 Saran	76

Daftar Pustaka



Daftar Gambar

Gambar 1.1 Diagram alir penelitian	4
Gambar 1.2 Peta Kampus Universitas Indonesia (UI)	5
Gambar 2.1 Ion-ion hasil pelarutan mineral yang ada di dalam pori-pori batuan bersifat menghantarkan arus listrik sehingga batuan menjadi penghantar listrik	8
Gambar 2.2 Konfigurasi Wenner-Schlumberger	13
Gambar 2.3 Model Aliran Air Bawah Tanah	16
Gambar 2.4 Pengukuran nilai konstanta gravitasi dengan Neraca Cavendish	19
Gambar 2.4 Perbandingan sferoid referensi dan geoid. (a) massa lokal. (b) Skala besar	21
Gambar 3.1 Gravity Meter (CG-5 Autograv)	33
Gambar 3.2 Resistivity Meter (Receiver TOA-EPR 100 A) dan Perlengkapan Pengukuran (Fauzi,2005)	33
Gambar 3.3 Desain Lintasan Pengukuran Wenner-Schlumberger	35
Gambar 3.4 Desain Lintasan Pengukuran Gravity	36
Gambar 4.1 Susunan Model <i>Block</i> dari <i>Apparent Resistivity</i>	40
Gambar 4.2 Penampang Nilai Resistivitas Lintasan 1	43
Gambar 4.3 Penampang Nilai Resistivitas Lintasan 2	45
Gambar 4.4 Penampang Nilai Resistivitas Lintasan 3	47
Gambar 4.5 Anomali Bouguer gravitasi daerah Kampus UI Depok	52
Gambar 4.6 Anomali Residual gravitasi daerah Kampus UI Depok	53
Gambar 4.7 Diagram alir pemodelan gravitasi 2-D	54
Gambar 5.1a. Peta Geologi Kota Depok (Assegaf (2006)	56
Gambar 5.1b. Model Hidrogeologi Daerah Kabupaten Tangerang 2003 (Lab. Geofisika UI).	57
Gambar 5.2 Model Hidrogeologi Metode Schlumberger Lintasan 1 (Fauzi, 2005)	58
Gambar 5.3 Model Hidrogeologi Metode Schlumberger Lintasan 2 (Fauzi, 2005)	58

Gambar 5.4 Model Hidrogeologi Metode Schlumberger Lintasan 3 (Fauzi, 2005)	59
Gambar 5.5 Hasil Data Resistivitas lintasan 1	62
Gambar 5.6 Hasil Pemodelan Gravitasi 2.D Lintasan 1	62
Gambar 5.7 Hasil Data Resistivitas lintasan 2	65
Gambar 5.8 Hasil Pemodelan Gravitasi 2.D Lintasan 2	65
Gambar 5.9 Hasil Data Resistivitas lintasan 3	68
Gambar 5.10 Hasil Pemodelan Gravitasi 2.D Lintasan 3	68
Gambar 5.11 Hasil Pemodelan Gravitasi 2.D Lintasan 4	69
Gambar 5.12 Hasil Pemodelan Gravitasi 2.D Lintasan 5	69
Gambar 5.13 Stuktur lapisan berdasarkan Pemodelan Gravitasi 2.D Lintasan 1.	72
Gambar 5.14 Stuktur lapisan berdasarkan Pemodelan Gravitasi 2.D Lintasan 2	73
Gambar 5.15 Stuktur lapisan berdasarkan Pemodelan Gravitasi 2.D Lintasan 3	73
Gambar 5.16 Stuktur lapisan berdasarkan Pemodelan Gravitasi 2.D Lintasan 4	74
Gambar 5.17 Stuktur lapisan berdasarkan Pemodelan Gravitasi 2.D Lintasan 5	74
Gambar 5.18 Tampilan 2 Dimensi dari Hasil Pemodelan Gtavitasi 2D	75
Gambar 5.19 Hasil Pemodelan 3 dimensi Gravitasi 2.D	76

Daftar Table

Tabel 1. Daya hantar listrik dari beberapa jenis batuan	9
Tabel 2.1 Densitas Batuan	27



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air merupakan sumber penghidupan bagi makhluk hidup di bumi ini, tak terkecuali untuk manusia. Tuhan menciptakan air dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya semata-mata untuk dimanfaatkan sebaik-baiknya, bukan untuk dieksploitasi. Oleh karena itu perlu penanganan khusus dalam mengolah air itu sendiri. Belakangan ini krisis air sudah mulai terasa, seperti kurangnya ketersediaan air bersih, komersialisasi air, kemarau berkepanjangan yang menurunkan ketersediaan air bawah tanah dan eksploitasi secara besar-besaran yang mengakibatkan turunnya permukaan tanah dan intrusi air laut. Begitu juga dengan kampus UI Depok yang masih akan terus mengembangkan diri dengan pengembangan masing-masing fakultas. Juga pengembangan sarana dan prasarana seperti pembangunan asrama mahasiswa, penginapan tamu dan juga kemungkinan akan dibangunnya rumah sakit pada kompleks kampus UI. Hal ini tentu memerlukan ketersediaan air yang cukup dengan mencari sumber air tanah yang ada pada kompleks kampus UI.

Terkait dengan itu, maka salah satu bidang yang fokus untuk memberikan solusi permasalahan ini yaitu geofisika. Metode-metode yang digunakan oleh geofisikawan untuk meneliti yaitu metode resistivitas dan *spontaneous potential*. Kedua metode ini mempergunakan sifat kelistrikan dari anomali yang diteliti. Di antara kedua metode di atas, maka metode resistivitas lebih tepat digunakan

dibanding *spontaneous potential*. Metode resistivitas lebih sensitif terhadap anomali kelistrikan termasuk air. Selain itu juga dapat mengetahui jenis dari batuan pada objek penelitian. Ditambah dengan Metode gravitasi diharapkan dapat mengetahui arah aliran, volume dan letak air tanah serta kualitas air yang bisa dimanfaatkan oleh manusia. Namun kendala yang akan dihadapi adalah begitu kompleksnya struktur permukaan bawah tanah yang diteliti dan ini merupakan hal yang menarik dan unik dari setiap objek penelitian air bawah tanah.

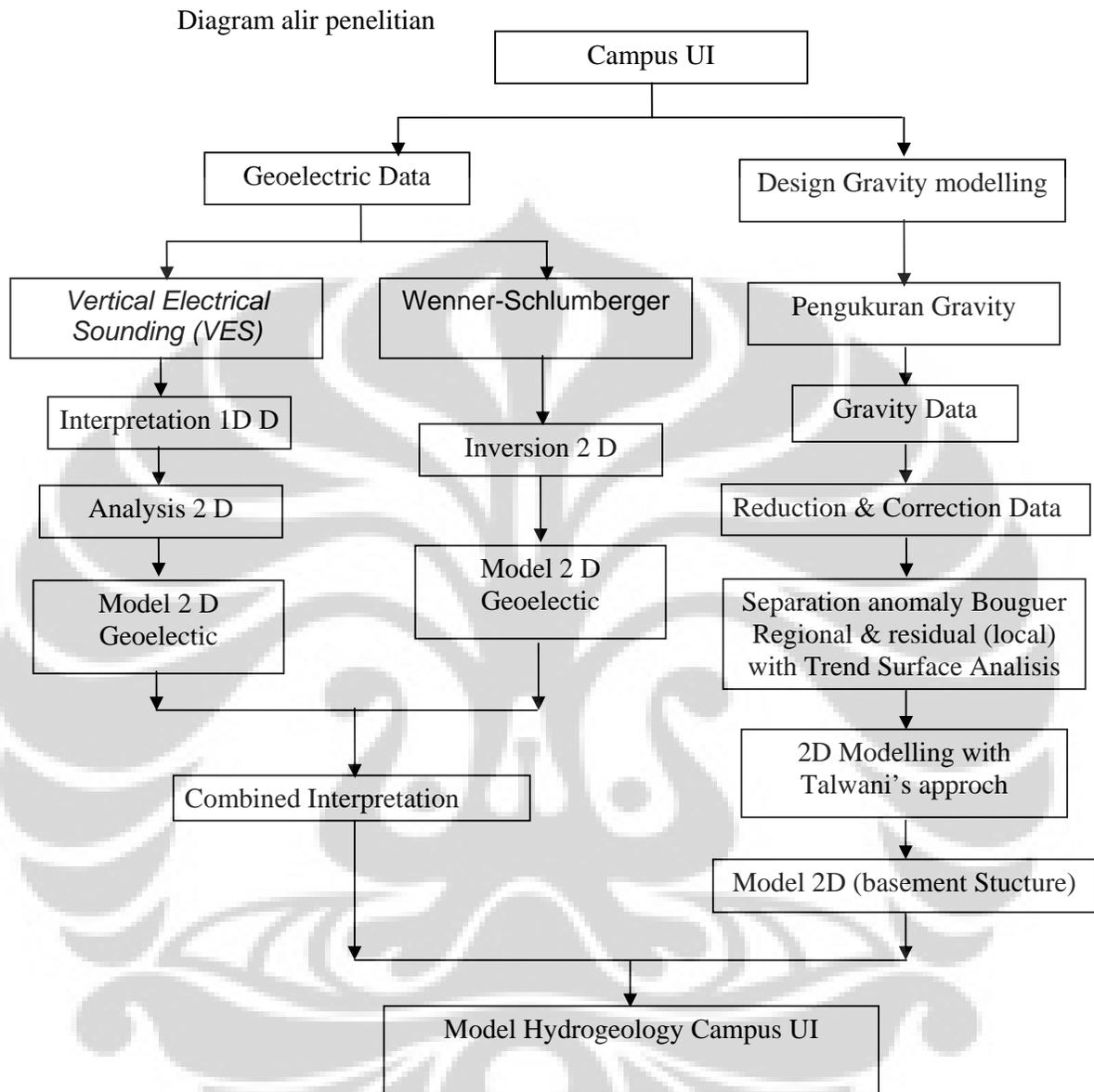
1.2. Tujuan Penelitian

1. Melakukan *Reprocessing* dan *Reinterpretation* data resistivitas yang telah ada.
2. Membuat desain pengukuran, *processing*, interpretasi dan modelling dari data gravitasi sehingga didapat suatu gambaran pemodelan struktur hidrogeologi.
3. Merekonstruksi model hidrogeologi dan geometri untuk mengetahui pola aliran air bawah-tanah dengan data resistivitas schlumberger dan data gravitasi di wilayah Kampus UI Depok.
4. Memperkirakan potensi air tanah di wilayah Kampus UI Depok dengan data resistivitas serta diharapkan dapat mengetahui arah alir dan volume air tanah.
5. Membuat rekomendasi daerah prospek akuifer yang produktif.

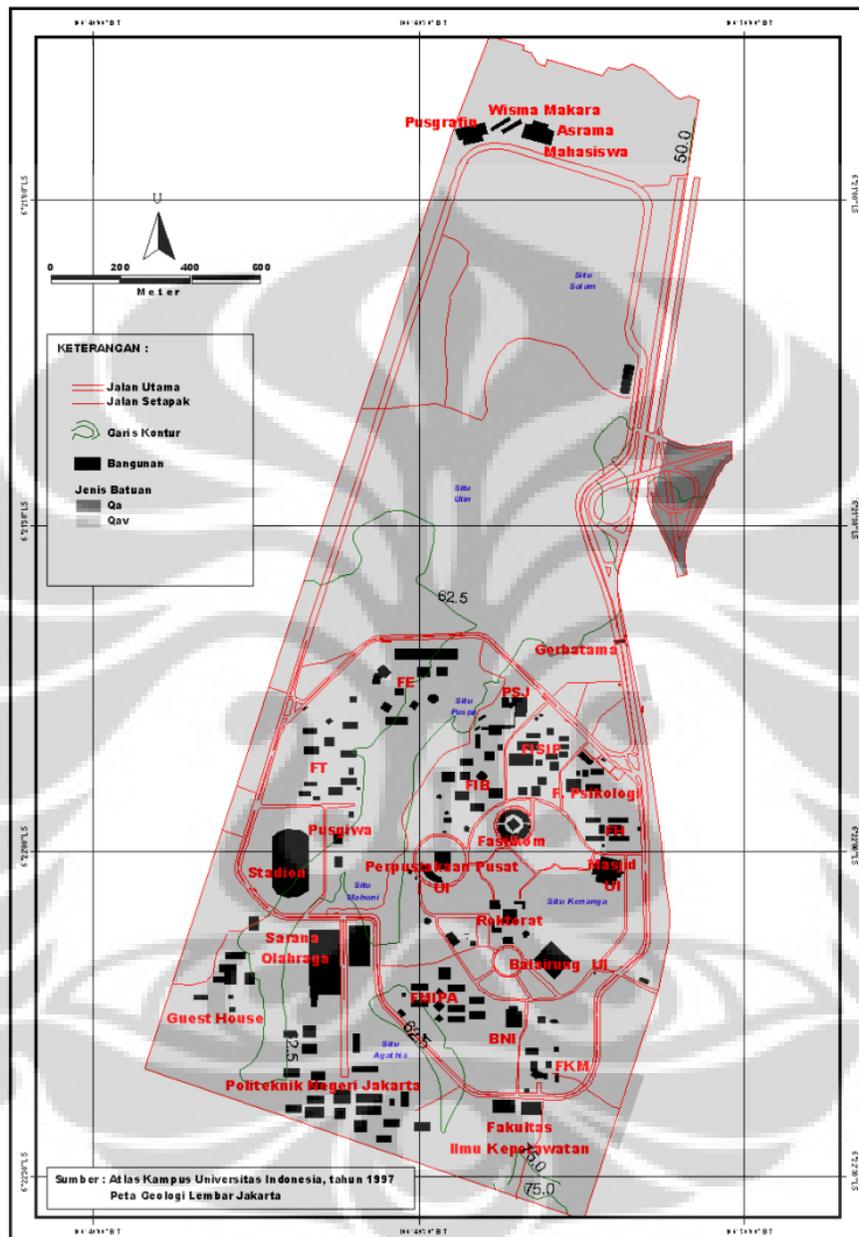
1.3. Metode Penelitian dan Batasan Masalah

Berdasarkan tujuan yang ingin dicapai yaitu melakukan pengukuran resistivitas dan pengukuran gravitasi, meneliti potensi air bawah tanah serta membuat model hidrologi dan geometri aliran bawah tanah, maka dilakukan beberapa langkah penelitian. Di antaranya yaitu pengukuran resistivitas schlumberger pada titik-titik amat di daerah Kampus UI. Data resistivitas diolah secara 1-dimensi. Dengan bantuan data penunjang, dilakukan pemodelan penampang struktur tahanan jenisnya. Selanjutnya, pemodelan penampang 2-dimensi diharapkan dapat memperjelas interpretasi 1-dimensi (Fauzi, 2005). Dalam hal ini hanya akan dilakukan *reprocessing* data resistivitas yang ada. Kemudian dilakukan pengukuran gravitasi untuk dibuat pemodelan yang nantinya akan digabungkan dengan pemodelan yang dari data resistivitas. Kombinasi data penunjang lainnya untuk menghasilkan model aliran air bawah-tanah, sehingga dapat diketahui pula arah aliran air bawah-tanah tersebut dan kemungkinannya untuk tertampung dalam batuan perangkap. Sebagai tambahan, bahwa pemodelan hidrogeologi dan penentuan geometri kedalaman akuifer juga dapat membantu mendeteksi keberadaan air bawah-tanah.

Data geologi yang dipakai adalah data geologi pada wilayah Kampus UI Depok dan menggambarkan metode pengukuran dan pengambilan data Wenner Schlumberger peneliti sebelumnya.



Gambar 1.1 Diagram alir penelitian



Gambar 1.2 Peta kampus UI

1.4. Sistematika Penulisan

Untuk sistematika yang digunakan dalam penyusunan tesis adalah sebagai berikut:

BAB I Berisi hal-hal yang menjelaskan latar belakang ketertarikan penulis dalam melakukan tesis ini, permasalahan, maksud dan tujuan serta metodologi yang dipakai

BAB II, menjelaskan teori singkat yang terkait langsung dengan permasalahan yang dibahas dalam tesis ini.

BAB III membahas tentang metodologi, alat dan data, kondisi lapangan serta alur kerja yang dilakukan.

BAB IV membahas pengolahan data *reprocessing* data resistivitas dan pemodelan gravitasi dua-dimensi.

BAB V membahas analisis dan reinterpretasi data-data penunjang yang akan digunakan dalam pemodelan gravitasi dua-dimensi dan model 3 dimensinya.

BAB VI, dan di akhir bab ditulis mengenai kesimpulan dan saran-saran penulis untuk pengembangan hasil penelitian selanjutnya.

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Teori Dasar Geolistrik

Geolistrik merupakan salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi. Pendeteksian di atas permukaan meliputi pengukuran medan potensial, arus, dan elektromagnetik yang terjadi baik secara alamiah maupun akibat penginjeksian arus ke dalam bumi. Metode geolistrik yang terkenal antara lain: metode potensial diri (*SP*), arus *telluric*, *magnetotelluric*, elektromagnetik, *IP (induced polarization)*, dan resistivitas (tahanan jenis). Dalam penelitian ini, pembahasan dikhususkan pada metode geolistrik tahanan jenis.

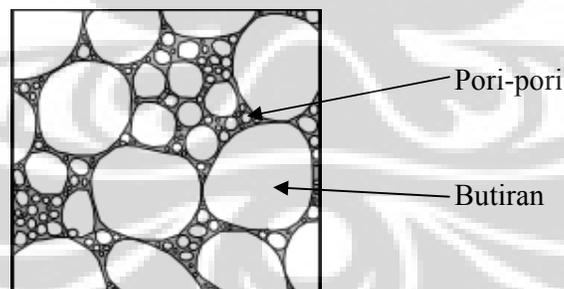
Pada metode geolistrik tahanan jenis, arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua elektroda arus (terletak di luar konfigurasi). Beda potensial yang terjadi diukur melalui dua elektroda potensial yang berada didalam konfigurasi. Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk setiap jarak elektrode tertentu, dapat ditentukan variasi harga hambatan jenis masing-masing lapisan di bawah titik ukur (titik *sounding*).

Umumnya, metode resistivitas ini baik untuk eksplorasi dangkal hingga sedang seperti mencari akuifer air bawah tanah. Jika kedalaman lapisan lebih dalam informasi yang diperoleh kurang akurat, hal ini disebabkan melemahnya arus listrik untuk jarak bentangan yang semakin besar. Karena itu, metode ini jarang digunakan untuk eksplorasi dalam, seperti eksplorasi minyak. Metode

resistivitas ini lebih banyak digunakan dalam bidang engineering geology (seperti penentuan kedalaman batuan dasar), pencarian reservoir air, pendeteksian intrusi air laut dan eksplorasi geothermal.

2.1.1 Sifat Kelistrikan Batuan

Azas kelistrikan berlaku pada lapisan-lapisan batuan bawah permukaan, dalam arti hukum-hukum fisika tentang listrik dapat diterapkan pada aliran listrik di dalam lapisan-lapisan batuan. Hal tersebut dimungkinkan karena pada umumnya lapisan-lapisan batuan bawah permukaan terdiri atas butiran dan pori-pori yang berisi fluida. Butiran-butiran tersebut adalah mineral-mineral yang mempunyai komposisi kimia tertentu. Sementara fluida yang mengisi pori-pori melarutkan sebagian dari mineral-mineral tadi sehingga fluida tersebut bersifat elektrolit atau mampu menjadi penghantar arus listrik (Munadi, 2006) (Gambar 2).



Gambar 2.1 : Ion-ion hasil pelarutan mineral yang ada di dalam pori-pori batuan bersifat menghantarkan arus listrik sehingga batuan menjadi penghantar listrik.

Atas dasar azas kelistrikan tersebut maka setiap jenis batuan mempunyai kemampuan tertentu dalam menghantarkan arus listrik. Tabel 1 berikut memperlihatkan daya hantar listrik dari beberapa jenis batuan.

Tabel 1. Daya hantar listrik dari beberapa jenis batuan

No.	Jenis Batuan	Daya Hantar Jenis (ohm m)
1.	Batu gamping-marmer	$>10^{12}$
2.	Batu garam	$10^6 - 10^7$
3.	Granit	$5000 - 10^6$
4.	Batu gamping	120 - 400
5.	Batu lempung	1 - 120
6.	Garfit	$10^{-3} - 10^1$
7.	Magnetic	$10^{-2} - 10^1$

Metoda resistivitas elektrik adalah salah satu teknik paling bermanfaat dalam explorasi hidrologi air bawah tanah sebab resistivitas dari suatu batuan adalah sangat sensitif terhadap kadar airnya (*water content*). Pada gilirannya, resistivitas dari air adalah sangat sensitif terhadap kandungannya ioniknya. Aliran konduksi arus listrik di dalam batuan/mineral digolongkan atas tiga macam yaitu konduksi dielektrik, konduksi elektrolitik, dan konduksi elektronik. Konduksi dielektrik terjadi jika batuan/mineral bersifat dielektrik terhadap aliran arus listrik (terjadi polarisasi muatan saat bahan dialiri listrik). Konduksi elektrolitik terjadi jika batuan/mineral bersifat porous dan pori-pori tersebut terisi cairan-cairan elektrolitik. Pada kondisi ini arus listrik dibawa oleh ion-ion elektrolit. Konduksi

elektron terjadi jika batuan/mineral mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik dialirkan dalam batuan/mineral oleh elektron bebas. Berdasarkan harga resistivitas listriknya, batuan/mineral digolongkan menjadi tiga yaitu :

- konduktor baik : $10^{-6} < \rho < 1 \Omega.m$

- konduktor buruk : $1 < \rho < 10^7 \Omega.m$

- isolator : $\rho > 10^7 \Omega.m$

Dari hukum Ohm $\Delta V = I R$, dengan ΔV adalah beda potensial yang terjadi. Untuk interpretasi, hanya ρ ini parameter yang digunakan.

Dalam metode geolistrik ini digunakan definisi-definisi :

resistansi : $R = V / I$ ohm,

resistivitas : $\rho = E / J$ $\Omega.m$,

konduktivitas : $\sigma = 1 / \rho$ ($\Omega.m$)⁻¹,

dengan :

V : beda potensial antara dua buah titik (volt)

I : besar arus listrik yang mengalir (ampere)

E : medan listrik (volt/meter)

J : rapat arus listrik (arus listrik persatuan luas)

Tahanan yang muncul dirumuskan dengan

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1)$$

Dari persamaan 1, diperoleh persamaan resistivitas yaitu

$$\rho = R \frac{A}{L} = \frac{V}{I} \frac{A}{L} \quad (2)$$

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai resistivitas (tahanan jenis) dari suatu batuan yaitu:

1. Kandungan air

Semakin besar kandungan air yang terdapat dalam batuan, semakin kecil nilai resistivitas tersebut.

2. Tekstur Batuan

Tekstur batuan terkait dengan ukuran, bentuk, dan susunan batuan (struktur dan pengepakan batuan saat kompaksi). Porositas batuan dipengaruhi oleh tekstur batuan, namun besar kecilnya porositas bukan faktor yang menentukan nilai tahanan-jenis. Faktor yang dapat mempengaruhi perubahan tahanan-jenisnya yaitu fluida yang mengisi pori-pori atau ruang kosong tersebut.

3. Jenis Batuan

Setiap batuan memiliki tingkatan tahanan-jenis yang berbeda, namun beberapa tingkatan suatu jenis batuan ada juga yang masuk ke dalam tingkatan batuan lainnya (overlapping range). Hal ini yang menyebabkan sulit membedakan jenis batuan berdasarkan nilai tahanan jenisnya, kecuali ada suatu data penunjang yang bisa membantu untuk menggambarkan litologi bawah-permukaan seperti data geologi.

4. Porositas dan Permeabilitas

Porositas merupakan persentasi dari volume fluida dalam pori dengan volume total batuan. Sedangkan permeabilitas adalah kemampuan batuan untuk meneruskan fluida dan ion-ion.

5. Mineral Lempung.

Semakin tinggi kandungan lempung mengakibatkan nilai tahanan jenis menjadi rendah. Faktor alamiah sangat mempengaruhi kondisi batuan terutama pada proses pelapukan.

6. Salinitas

Kadar garam yang tinggi dalam suatu fluida menyebabkan nilai tahanan jenis lebih rendah dibandingkan tahanan-jenis pada lempung.

Kita dapat menghubungkan resistivitas batuan dengan Hukum Archi.

$$\rho_r = a\rho_w\phi^{-m} \quad (3)$$

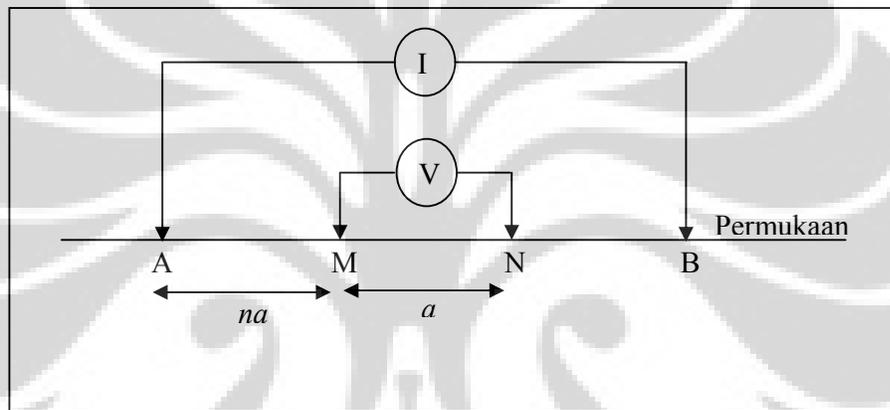
dimana ρ_r adalah resistivitas batuan, ρ_w adalah resistivitas air, a adalah koefisien saturasi, m adalah faktor sementasi, dan ϕ adalah fraksi porositas, sehingga faktor formasi menjadi:

$$F = \frac{\rho_r}{\rho_w} = a\phi^{-m} \approx \phi^{-2} \quad (4)$$

2.1.2 Konfigurasi Elektrode DC Schlumberger

Ada beberapa cara untuk menancapkan elektroda dari resistivity meter dan masing-masing cara mempunyai perumusan khusus dalam menghitung besarnya nilai daya hantar listrik batuan yang dilaluinya. Cara pengukuran ini dinamakan konfigurasi pengukuran. Konfigurasi pengukuran yang cukup tersebut antara lain: konfigurasi Wenner, konfigurasi Schlumberger, konfigurasi dipole-dipole dan konfigurasi pole-dipole (Bernard, 2003).

Dalam penelitian nantinya akan di pakai data resistivity dengan konfigurasi Wenner-Schlumberger. A, B sebagai elektrode arus dan M, N digunakan sebagai elektrode potensial. Arus akan diinjeksikan melalui elektrode A dan B. Dan distribusi potensial yang dihasilkan di dalam tanah akan terukur oleh elektrode M dan N. Kemudian, resistivitas dihitung berdasarkan perbedaan potensial antara M dan N. (Gambar 2.2).



Gambar 2.2. Konfigurasi Wenner-Schlumberger.

$$V_M = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \quad (5)$$

dan
$$V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \quad (6)$$

Dengan demikian,
$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right)$$

$$= \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad (7)$$

Dari persamaan di atas, kedalaman ($AB/2$) yang didapat tergantung pada jarak antara elektrode arus (MN), semakin jauh jarak elektrode arus maka semakin besar penetrasi kedalaman. Pada umumnya di lapangan terjadi permasalahan-permasalahan teknis pengukuran yang harus diperhatikan. Adanya bahan konduktor di dekat daerah pengukuran seperti kabel listrik dan pipa bawah tanah serta permasalahan dalam membentangkan kabel karena melalui sungai atau bangunan menjadi tantangan tersendiri dalam pengukuran ini.

2.1.3 Konsep Resistivitas Semu

Resistivity meter terdiri dari sumber tegangan listrik yang cukup besar yang dapat berupa tegangan DC maupun AC, volt meter dan Ampere meter. Berdasarkan teori, potensial pada permukaan bumi yang diakibatkan oleh sumber arus titik dipermukaan adalah

$$V = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad (8)$$

Dengan menggunakan persamaan ini kita dapat mencari beda potensial yang terukur dipermukaan bumi homogen untuk konfigurasi DC Schlumberger. Selanjutnya dapat dicari nilai ρ dalam ΔV , I dan jarak antar elektroda Bila bumi dianggap tidak homogen maka ρ disebut tahanan jenis semu (ρ_a) atau *apparent resistivity* yang merupakan kombinasi dari resistivitas batuan dan kedalamannya. Dari persamaan (7) didapat,

$$\rho = \frac{\Delta V 2\pi}{I \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)} \quad (9)$$

dimana

$$\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} = K \quad (10)$$

$$\rho_a = \frac{2\pi\Delta V}{I} K \quad (11)$$

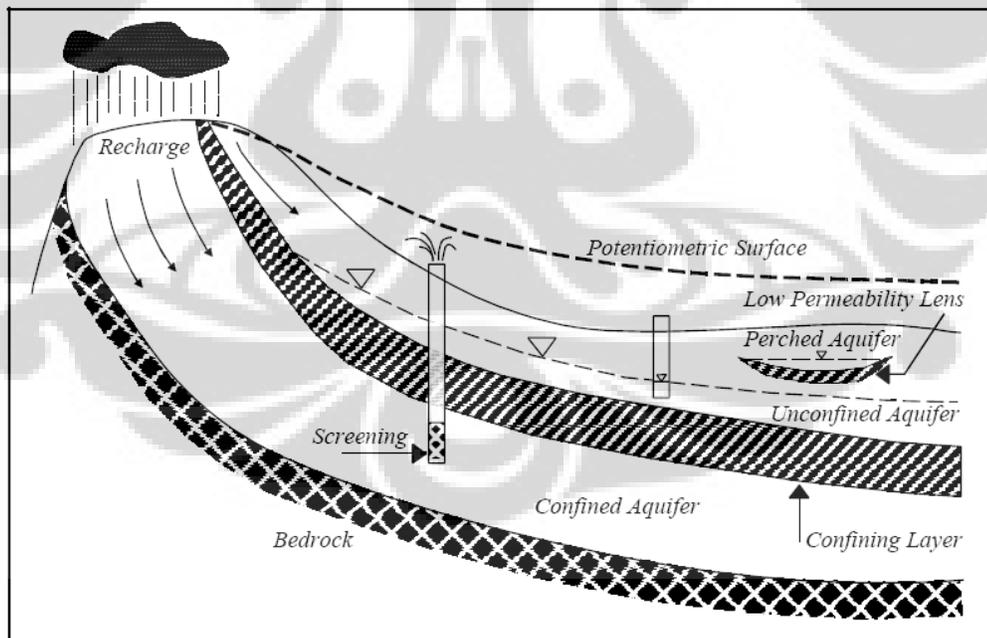
dengan K faktor geometri konfigurasi 4 elektroda.

Pada kenyataannya, bumi merupakan medium berlapis dengan masing-masing lapisan mempunyai harga resistivitas yang berbeda. Resistivitas semu merupakan resistivitas dari suatu medium fiktif homogen yang ekuivalen dengan medium berlapis yang ditinjau.

2.1.4 Konsep Air Bawah Tanah

Terminologi air tanah berasal dari kata "groundwater", yaitu air di bawah permukaan tanah yang termasuk dalam zona jenuh air (*saturated zone*). Sedangkan air bawah tanah secara umum adalah seluruh air yang terdapat di bawah permukaan tanah, termasuk didalamnya adalah air pori yang terdapat pada zona tidak jenuh (*non saturated zone*). Siklus hidrogeologi atau siklus air tanah erat hubungannya dengan siklus air meteorik. Siklus ini dapat berlangsung akibat panas dari radiasi sinar matahari. Air bawah tanah terjadi seperti gambaran sebuah sungai yang mengalir di bawah tanah (Gambar 2.3). Umumnya air bawah tanah terjadi di ruang atau pori yang kecil pada batuan dan aluvial. Akumulasi air bawah tanah ditemukan di atas lapisan batuan yang impermeabel.

Pemodelan air bawah tanah merupakan hal yang penting dalam eksplorasi. Oleh karena itu harus diketahui letak lapisan akuifer yang diduga merupakan lapisan terakumulasinya fluida. *Unsaturated zone* merupakan daerah *subsurface* dari permukaan tanah hingga *water table*. Sebaliknya, *saturated zone* adalah daerah *subsurface* yang ruang pori tersaturasi (terisi penuh) dengan air. Permukaan yang membatasi antara unsaturated dan saturated zone pada akuifer yang tidak terperangkap (*unconfined aquifer*) disebut *water table*. Sedangkan daerah di atas *water table* yang memiliki gaya kapiler mendorong air ke atas melalui ruang-ruang pori dikenal sebagai *capillary fringe*. *Water table* dapat juga merupakan batas daerah yang memiliki tekanan air yang sama dengan tekanan atmosfer (Fetter, 2001).



Gambar 2.3. Model Aliran Air Bawah Tanah (*Department of The Army U.S. Army Corps of Engineers, 1999*)

Akuifer air bawah tanah ditemukan dalam dua keadaan yaitu *unconfined aquifer* dan *confined aquifer*. *Unconfined aquifer* adalah akuifer yang airnya terakumulasi di atas lapisan impermeabel. *Water table* dapat dengan bebas muncul ke permukaan tanah. Sedangkan *confined aquifer* merupakan akuifer yang ditemukan di antara dua lapisan impermeabel. Air yang mengalir ke dalam akuifer ini berasal dari suatu tempat di permukaan yang tidak ditemui lapisan impermeabel paling atas. Air bawah tanah pada akuifer ini umumnya memiliki tekanan yang besar.

Aliran air bawah tanah tergantung pada topografi dan gravitasi di daerah tersebut. Pada *unsaturated zone* sebagian besar air bergerak ke bawah sesuai dengan gravitasi. Air terserap dari permukaan dan bergerak ke bawah menuju *water table* pada lapisan impermeabel (lapisan lempung) untuk membentuk *perched water table*. Sedangkan pada *saturated zone* air memiliki tingkatan sendiri-sendiri. Air mengalir dari tingkat paling tinggi ke tingkat rendah. Tingkatan air ini dapat diukur menggunakan sumur-sumur yang ada.

Secara umum air permukaan dan air bawah tanah berhubungan dengan aliran masuk dan keluar dari *subsurface*. Daerah di permukaan yang aliran air bergerak dari permukaan menuju air bawah tanah disebut sebagai *recharge areas*. Sedangkan daerah yang airnya mengalir dari air bawah tanah keluar menuju permukaan tanah disebut *discharge areas*.

2.2. Prinsip Dasar Gravitasi

2.2.1 Hukum Gravitasi Newton

Gravitasi merupakan gaya interaksi antara benda-benda yang memiliki massa tertentu. Gaya gravitasi merupakan salah satu dari 4 gaya yang ada di alam semesta (gaya elektromagnetik, gaya kuat dan gaya lemah). Gaya gravitasi ini juga yang mempertahankan interaksi antara benda-benda di bumi dan gerak planet-planet dalam sistem tata surya. Setiap planet ditarik menuju matahari oleh sebuah gaya yang berbanding lurus dengan massa matahari, massa planet dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak terhadap matahari.

Berdasarkan hukum Newton, gaya gravitasi merupakan gaya antara dua benda bermassa m_1 dan m_2 yang berbanding lurus terhadap hasil kali kedua massa dan berbanding terbalik terhadap kuadrat jarak antara dua pusat massa benda

$$\mathbf{F} = \gamma \left(\frac{m_1 m_2}{r^2} \right) \mathbf{r}_1 \quad (12)$$

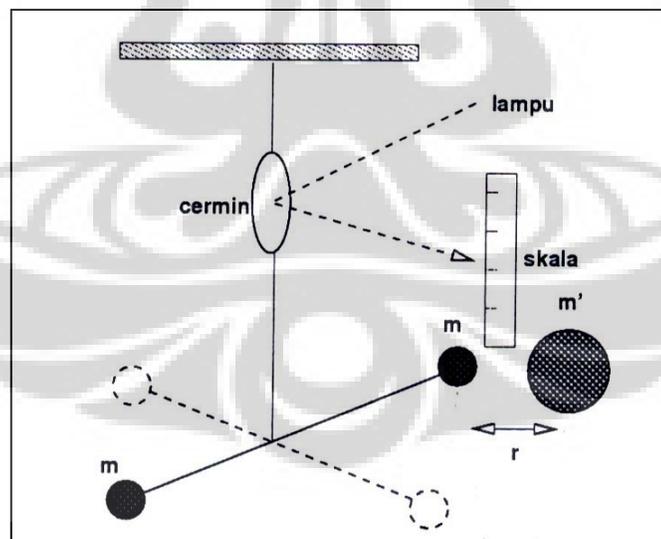
dengan F adalah gaya pada m_2 , \mathbf{r}_1 adalah unit vektor yang berarah dari m_2 menuju m_1 , r adalah jarak antara m_1 dan m_2 , dan γ adalah konstanta gravitasi universal. Nilai γ dalam satuan SI adalah $6.672 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ atau dalam satuan cgs sebesar $6.672 \times 10^{-8} \text{ dyne cm}^2/\text{g}^2$. Percepatan gravitasi dinyatakan dengan:

$$\mathbf{g} = \left(\gamma \frac{M_e}{R_e^2} \right) \mathbf{r}_1 \quad (13).$$

Medan gravitasi bersifat konservatif, artinya kerja yang dilakukan untuk menggerakkan sebuah massa dalam medan gravitasi tidak tergantung terhadap lintasan yang ditempuh atau dengan kata lain bahwa jumlah energi kinetik dan

potensial selalu konstan dalam sebuah sistem tertutup. Gaya gravitasi merupakan sebuah besaran vektor yang arahnya lurus terhadap garis yang menghubungkan dua buah pusat massa.

Pengukuran nilai konstanta gravitasi G pertama kali dilakukan oleh Henry Cavendish dan dijelaskan secara lengkap percobaannya dalam *Philosophical Transactions* (1798). Percobaan ini dilakukan dengan menggunakan neraca torsi yaitu dua bola yang sama (m) dihubungkan oleh batang ringan dan ditengahnya diikat tali penggantung dan dilengkapi oleh cermin. Kemudian massa m didekatkan oleh massa lain m' sehingga terjadi gaya tarik-menarik dan menyebabkan puntiran pada torsi dan mengubah kedudukan cermin. Sudut puntiran pada torsi berhubungan dengan skala gaya tarik-menarik antara massa tsb dan memberikan nilai konstanta gravitasi sebesar



Gambar 2.4 Pengukuran nilai konstanta gravitasi dengan neraca Cavendish

2.2.2 Gambaran Permukaan Bumi

Survey gravitasi didasari dari studi tentang medan gravitasi bumi. Karena Bumi bukan merupakan bola homogen yang sempurna, percepatan gravitasi tidak konstan secara keseluruhan di permukaan Bumi. Besarnya gravitasi dipengaruhi oleh lima faktor: lintang, elevasi, topografi, pasang-surut bumi, dan variasi densitas di bawah-permukaan. Eksplorasi gravitasi memfokuskan pada anomali yang disebabkan oleh faktor yang terakhir, dan anomali ini secara umum lebih kecil dibanding dengan perubahan yang diakibatkan oleh pengaruh lintang dan elevasi, tetapi lebih besar dibanding dengan anomali yang disebabkan oleh efek pasang-surut dan topografi. Perubahan gravitasi dari kawasan ekuator ke kutub sekitar 5 Gal, atau 0,5% dari nilai rata-rata g (980 Gal), dan efek elevasi dapat mencapai 0,1 Gal, atau 0,01% dari nilai g .

(a). Sferoid Referensi

Bentuk permukaan bumi dari hasil pengukuran geodesi dan jejak satelit, hampir mendekati bentuk sferoid, menggebu di ekuator dan hampir datar di kedua kutub. Sferoid referensi adalah suatu ellipsoid yang merupakan perkiraan permukaan muka laut rata-rata (geoid), dengan menghilangkan daratan yang ada di atas geoid. Tahun 1930 *International Union of Geodesy and Geophysics* merumuskan suatu formulasi untuk nilai teoritis gravitasi g_t , namun telah diperbarui menjadi *Geodetic Reference System 1967 (GRS67)*:

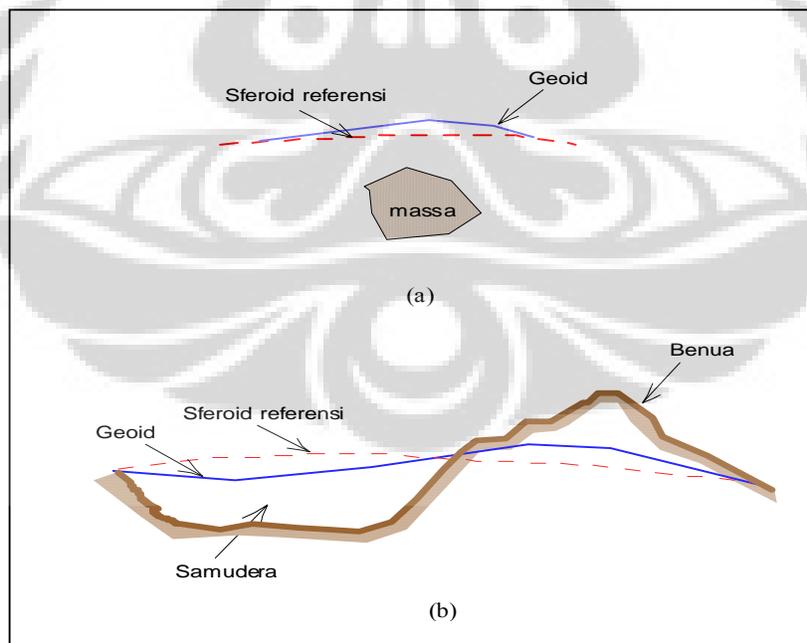
$$g_t = 978.032,846(1 + 0,005.302 \sin^2 \Phi - 0,000.005.846 \sin^4 \Phi) \text{ mGal} \quad (14)$$

dan Φ merupakan lintang tempat.

(b). Geoid

Elevasi rata-rata benua sekitar 500 m, dan elevasi maksimum daratan dan depresi dasar laut memiliki orde 9.000 m terhadap muka laut. Muka laut dipengaruhi oleh variasi elevasi dan perubahan densitas secara lateral. Muka laut rata-rata didefinisikan sebagai geoid.

Perubahan densitas berdasarkan gambaran bentuk bumi menyebabkan terjadinya peningkatan densitas terhadap kedalaman, bukan perubahan densitas secara lateral sebagaimana yang dicari dalam eksplorasi gravitasi. Karena terdapat variasi lateral, geoid dan sferoid referensi tidak sama. Anomali lokal menyebabkan geoid berubah (Gambar 2.4a), pada benua geoid tertarik ke atas karena tarikan material yang ada di atasnya, dan tertarik ke bawah pada basin laut karena densitas air yang kecil (Gambar 2.4b).



Gambar 2.5 Perbandingan sferoid referensi dan geoid. (a) massa lokal. (b) Skala besar

2.2.3 Reduksi Gravitasi

Dalam survey gaya gravitasi pada suatu lokasi (titik), data percepatan gravitasi yang terukur di lapangan secara umum masih dipengaruhi oleh banyak keadaan mulai dari letak titik pengamatan (latitude), pengaruh topografi di sekitarnya, pengaruh kompensasi isostatik, dan keadaan geologi di daerah tersebut (kerapatan batuan).

Reduksi data percepatan gravitasi dilakukan setelah data dikoreksi dari kesalahan yang disebabkan karena kesalahan sistematis dan kesalahan pembacaan. Koreksi pembacaan gravitasi meliputi : koreksi pasang surut/koreksi drift, koreksi letak terhadap lintang bumi, koreksi ketinggian (udara bebas dan Bouguer), dan koreksi topografi (medan) yang dilakukan untuk mengurangi pembacaan gravitasi ke nilai gravitasi permukaan datum ekuipotensial seperti geoid (permukaan bumi dimanapun yang paralel dengan geoid).

(a). Koreksi Lintang (*Latitude Correction*)

Pengaruh rotasi dan pengembangan Bumi di ekuator menghasilkan peningkatan gravitasi terhadap lintang. Percepatan sentrifugal yang disebabkan oleh rotasi Bumi bernilai maksimum di ekuator dan nol di kutub; percepatan sentrifugal berlawanan terhadap percepatan gravitasi, sementara itu pemilihan kutub meningkatkan gravitasi pada kutub karena geoid lebih dekat ke pusat massa Bumi. Koreksi lintang Δg_L ditentukan dengan mendiferensiasikan persamaan (14):

$$\Delta g_L / \Delta s = (1/R_e) \Delta g_v / \Delta \Phi$$

$$= 0,811 \sin 2\Phi \text{ mGal/km}$$

$$= 1,305 \sin 2\Phi \text{ mGal/mil}$$

dengan $\Delta s = N - S$ jarak horisontal $= R_e \Delta \Phi$ dan R_e adalah radius Bumi (6 368 km). Koreksi bernilai maksimum pada lintang 45° yaitu sekitar 0,01 mGal/(13 m) dan bernilai nol pada ekuator dan kedua kutub.

(b) Koreksi Pasang surut (*Tidal Correction*)

Alat gravimeter sangat peka sehingga gaya tarik gravitasional matahari dan bulan sangat berpengaruh pada alat tersebut. Tujuan koreksi pasang-surut bumi adalah untuk menghilangkan pengaruh gaya tarik bulan dan matahari terhadap bumi, yang harganya berubah-ubah terhadap waktu secara periodik tergantung posisi benda-benda langit tersebut. Bulan dan matahari jaraknya relatif dekat dibandingkan benda langit lainnya sehingga efek benda langit lainnya dapat diabaikan sesuai orde ketelitian alat. Perubahan gravitasi akibat pasang-surut ini berkisar antara 0.2 – 0.3 m Gal. Pada bulan penuh/mati perubahan gravitasi 0.05 mGal/jam dan pada bulan seperempat kurang dari 0.005 mGal/hari.

(c) Koreksi *Drift*

Alat gravimeter umumnya dirancang dengan sistem pegas setimbang, dan dilengkapi dengan massa (beban yang tergantung di ujungnya). Hal ini mengakibatkan perubahan penunjukan harga pengukuran gravitasi pada setiap saat di suatu tempat pengukuran yang sama. Koreksi *drift* dapat diartikan sebagai suatu penyimpangan pembacaan nilai gravitasi dari waktu ke waktu yang

disebabkan oleh beberapa faktor misalnya, elastisitas pegas halus pada alat, efek pasang surut, pengaruh suhu, waktu pengukuran. Selain itu *drift* dapat juga disebabkan oleh gangguan alat selama transportasi atau selama pengukuran di lapangan.

Dalam koreksi drift ada dua metode yang sering digunakan dalam penelitian, yaitu metode matematis dan metode grafis. Metode matematis digunakan persamaan dibawah ini guna mendapatkan harga gravitasi yang mendekati harga yang sebenarnya

$$c = \frac{(p - q)}{(r - q)} (x - y) \quad (15)$$

dengan c = koreksi drift untuk stasiun n , p = waktu pembacaan di stasiun n , q = waktu pembacaan di stasiun awal, r = waktu pembacaan di stasiun akhir, x = nilai pembacaan distasiun akhir, y = nilai pembacaan di stasiun awal.

(d). Koreksi Udara-bebas (*Free-air Correction*)

Gravitasi bervariasi terhadap kuadrat jarak, sehingga diperlukan koreksi untuk perubahan elevasi antara stasiun untuk mengurangi pembacaan gravitasi ke permukaan datum. Koreksi udara-bebas ditentukan dengan cara mendifferensiasikan persamaan skalar. Koreksi udara-bebas ditambahkan dalam pembacaan gravitasi untuk stasiun yang berada di atas bidang datum dan dikurangi jika stasiun berada di bawahnya.

(e) Koreksi Bouguer

Koreksi Bouguer memperhitungkan tarikan material yang terdapat diantara stasiun dan bidang datum. Jika stasiun terletak di tengah dataran yang luas dan memiliki ketebalan dan densitas yang uniform, pembacaan gravitasi akan meningkat akibat tarikan material di antara stasiun dan datum. Koreksi Bouguer diberikan oleh persamaan:

$$\begin{aligned}\Delta g_B/\Delta R &= 2\pi\gamma\rho \\ &= 0,04192\rho \text{ mGal/m} \\ &= 0,01278\rho \text{ mGal/ft}\end{aligned}$$

dengan ρ merupakan densitas material dalam satuan gram per sentimeter kubik.

Jika diasumsikan bahwa densitas batuan kerak bumi sebesar $2,67 \text{ g/cm}^3$, nilai numerik koreksi Bouguer adalah:

$$\begin{aligned}\Delta g_B/\Delta R &= 0,112 \text{ mGal/m} \\ &= 0,0341 \text{ mGal/ft}\end{aligned}$$

Koreksi Bouguer dikurangkan jika stasiun berada di atas datum dan ditambahkan jika berada di bawah datum.

(f). Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Koreksi medan dilakukan karena adanya permukaan yang tidak teratur pada stasiun. Bukit yang terletak di atas elevasi stasiun menimbulkan tarikan ke atas pada gravimeter, sedangkan lembah yang terletak di bawah elevasi stasiun menimbulkan tarikan ke bawah. Koreksi *terrain* ditambahkan pada pembacaan gravitasi.

Terdapat beberapa metode untuk menghitung koreksi *terrain*, yang kesemuanya memerlukan informasi relief di sekitar stasiun dan peta topografi yang baik (interval kontur kurang dari 10 m atau 50 ft). Prosedur yang biasa dilakukan umumnya menggunakan Hammer *chart* yaitu dengan membagi area menjadi beberapa kompartemen dan membandingkan elevasi masing-masing kompartemen dengan elevasi stasiun. Hal ini dapat dilakukan dengan menumpangkan kompartemen yang dibuat dengan kertas transparan di atas peta topografi. Diagram biasanya berupa lingkaran konsentrik dan garis radial.

(g). Anomali Bouguer

Saat semua koreksi sudah dilakukan pada pembacaan pengamatan gravitasi, maka dapat ditentukan nilai anomali Bouguer g_B stasiun, yaitu:

$$g_B = g_{obs} - g_t + (\Delta g_L + \Delta g_{FA} - \Delta g_B + \Delta g_T) \tag{16}$$

dengan g_{ob} = pembacaan gravitasi di stasiun

g_t = nilai gravitasi teoritis

Δg_L = koreksi lintang

Δg_{FA} = koreksi udara-bebas,

Δg_B = koreksi Bouguer, dan

Δg_T = koreksi *terrain*.

Persamaan (16) digunakan jika stasiun terletak di atas datum namun jika stasiun terletak di bawah datum tanda plus dan minus pada Δg_{FA} dan Δg_B dibalik. Jika Bumi tidak memiliki variasi densitas secara lateral maka setelah dilakukan

koreksi-koreksi tersebut di atas, pembacaan gravitasi akan memberikan hasil yang sama. Anomali Bouguer dihasilkan dari variasi densitas secara lateral.

2.2.3 Densitas Batuan dan Mineral

Kuantitas yang akan ditentukan pada eksplorasi gravitasi adalah variasi lokal densitas secara lateral. Densitas dapat juga diperkirakan dari kecepatan seismik. Seringkali pengukuran densitas dilakukan di laboratorium dengan menggunakan sampel batuan dari pemboran (*core*). Namun, hasil laboratorium jarang memberikan nilai *true bulk density* karena sampel batuan tersebut kemungkinan mengalami pelapukan, fragmentasi, dehidrasi, atau alterasi dalam proses pengambilannya.

Batuan sedimen biasanya memiliki densitas yang kurang bila dibandingkan dengan batuan beku atau batuan metamorf. Batuan beku memiliki densitas yang lebih besar dibanding dengan batuan sedimen, namun dapat terjadi tumpang tindih misalnya, batuan vulkanik yang memiliki porositas tinggi akan memiliki densitas yang kecil. Secara umum batuan basalt memiliki densitas yang lebih besar dibanding dengan batuan beku asam. Porositas merupakan salah satu faktor dominan yang mempengaruhi densitas pada batuan sedimen dan memiliki pengaruh kecil terhadap batuan beku dan metamorf, kecuali jika batuan tersebut mengalami banyak perekahan. Data densitas batuan diberikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Densitas Batuan

Tipe Batuan	Rentang Densitas (gr/cc)	Densitas rata-rata (gr/cc)
Batuan Sedimen		
Overburden	-	1.92
Soil	1.2 – 2.4	1.92
Clay	1.63 – 2.6	2.21
Gravel	1.7 – 2.4	2.0
Sand	1.7 – 2.3	2.0
Sandstone	1.61 – 2.76	2.35
Shale	1.77 – 3.2	2.40
Limestone	1.93 – 2.90	2.55
Dolomite	2.28 – 2.90	2.70
Batuan Beku		
Rhyolite	2.35 – 2.70	2.52
Andesite	2.40 – 2.80	2.61
Granite	2.50 – 2.81	2.64
Granodiorite	2.67 – 2.79	2.73
Porphyry	2.60 – 2.89	2.74
Quartz diorite	2.62 – 2.96	2.79
Diorite	2.72 – 2.99	2.85
Lavas	2.80 – 3.00	2.90
Diabase	2.50 – 3.20	2.91
Basalt	2.70 – 3.30	2.99
Gabbro	2.70 – 3.50	3.03
Peridotite	2.78 – 3.37	3.15
Acid igneous	2.30 – 3.11	2.61
Basic igneous	2.09 – 3.17	2.79
Batuan Metamorf		
Quartzite	2.50 – 2.70	2.60
Schists	2.39 – 2.90	2.64
Graywacke	2.60 – 2.70	2.65
Marble	2.60 – 2.90	2.75
Serpentine	2.40 – 3.10	2.78
Slate	2.70 – 2.90	2.79
Gneiss	2.59 – 3.00	2.80
Amphibolite	2.90 – 3.04	2.96
Eclogite	3.20 – 3.54	3.37
Metamorphic	2.40 – 3.10	2.74

2.3 Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Anomali Bouguer disebabkan oleh dua bagian, yaitu anomali regional dan anomali residual. Anomali regional bersifat *smooth* dan biasanya disebabkan oleh batuan-batuan yang dalam, sedangkan anomali residual bersifat kasar dan disebabkan oleh batuan-batuan dangkal. Biasanya anomali residual yang dicari. Karena kedua anomali tersebut mempunyai fungsi yang berlainan, maka kedua anomali tersebut harus dipisahkan untuk mendapatkan manfaatnya secara optimum. Cara pemisahan tersebut ada dua, yaitu:

a. Cara grafis : sifatnya subyektif dan praktis

Yang termasuk dalam cara ini antara lain:

- Metode penghalusan (*smoothing*)
- Metode kontur
- Metode Griffin

b. Cara analisis: sifatnya obyektif dan lama

Ada beberapa metode yang termasuk dalam cara ini diantaranya:

1. Metode turunan vertikal kedua

Metode turunan kedua dapat menguatkan efek dekat-permukaan dari pengaruh anomali yang lebih dalam. Turunan kedua adalah sebuah pengukuran kurvatur, dan kurvatur yang luas diasosiasikan dengan anomali dangkal.

Turunan kedua dapat ditentukan dari turunan horisontal karena medan gravitasi memenuhi persamaan Laplace

$$\nabla^2 g = \partial^2 g / \partial x^2 + \partial^2 g / \partial y^2 + \partial^2 g / \partial z^2 = 0$$

$$\partial^2 g / \partial z^2 = - (\partial^2 g / \partial x^2 + \partial^2 g / \partial y^2) \quad (17)$$

2. Metode kontinuitas analitik

Kenyataan bahwa medan gravitasi memenuhi persamaan Laplace maka medan pada sebuah permukaan yang sembarang dapat diketahui jika medan tersebut secara lengkap diketahui di sepanjang permukaan yang lain dan tidak ada massa yang terletak diantara dua permukaan tersebut. Proses ini disebut kontinuitas.

3. Metode *Trend Surface Analysis* (TSA)

Metode *Trend Surface Analysis* (TSA) adalah salah satu metode pemisahan anomali gravitasi yang dilakukan dengan cara membuat persamaan anomali regional dalam bentuk polinomial orde- n . Anomali gravitasi residual diperoleh dari selisih anomali Bouguer pengamatan dengan permukaan regional.

Secara matematis dapat dinyatakan:

$$R = BA - Z \quad (18)$$

Dimana R adalah komponen anomali residual, BA adalah anomali Bouguer dan Z adalah permukaan regional yang dinyatakan oleh persamaan polinomial

Adapun pembuatan persamaan polinomial orde ke- n yang dimaksud adalah sebagai berikut (Fitriyadi, 2005):

$$Z(x, y) = \sum_{n=0}^p \sum_{s=0}^n a_{n-s,s} x^{n-s} y^s \quad (19)$$

dimana $a_{n-s,s}$ adalah $\frac{1}{2}(p+1)(p+2)$, koefisien p adalah orde pada persamaan polinomial 2D, x dan y adalah koordinat. Apabila persamaan 19 dijabarkan untuk persamaan orde 3:

$$Z_{(x,y)} = c_1 + c_2x + c_3y + c_4xy + c_5x^2 + c_6y^2 + c_7x^2y + c_8xy^2 + c_9x^3 + c_{10}y^3 \quad (20)$$

Berdasarkan prinsip *least square*, pada semua kasus, kondisi dari solusi *least square* adalah:

$$\sum R^2 = \text{minimum} \quad (21)$$

dengan R adalah komponen residual.

Untuk mendapatkan komponen residual ini digunakan persamaan 19.

$$\sum R^2 = \sum [BA - Z(x, y)]^2 = 0 \quad (22)$$

Agar persamaan 22 minimum, maka turunan pertamanya terhadap c sama dengan nol.

$$\sum R \frac{\partial R}{\partial c} = \sum (n)^2 = 0 \quad (23)$$

$$n = Z - (c_1 + c_2x + c_3y + c_4xy + c_5x^2 + c_6y^2 + c_7x^2y + c_8xy^2 + c_9x^3 + c_{10}y^3),$$

Apabila dianggap persamaan 23 dengan u, dan turunan pertama dari persamaan 23 terhadap tiap nilai c adalah:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial c_1} &= 2 \sum n = 0; & \frac{\partial u}{\partial c_6} &= 2 \sum ny^2 = 0; \\ \frac{\partial u}{\partial c_2} &= 2 \sum nx = 0; & \frac{\partial u}{\partial c_7} &= 2 \sum nx^2y = 0; \\ \frac{\partial u}{\partial c_3} &= 2 \sum ny = 0; & \frac{\partial u}{\partial c_8} &= 2 \sum nxy^2 = 0; \\ \frac{\partial u}{\partial c_4} &= 2 \sum nyx = 0; & \frac{\partial u}{\partial c_9} &= 2 \sum nx^3 = 0; \\ \frac{\partial u}{\partial c_5} &= 2 \sum nx^2 = 0; & \frac{\partial u}{\partial c_{10}} &= 2 \sum ny^3 = 0; \end{aligned} \quad (24)$$

BAB III

AKUISISI DATA

3.1 Persiapan Peralatan dan Perlengkapan Pengukuran

Penelitian diadakan di Kampus UI Depok seperti yang terlihat pada Gambar 1.1. Dalam Penelitian ini untuk pengukuran resistivitas dengan metode Wenner-Schlumberger telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Gambar 3.2). Sedangkan pengukuran gravitasi dilakukan sendiri oleh penulis. Peralatan yang digunakan dalam proses pengukuran ini, yaitu: Gavity meter CG-5 Autograv (Gambar 3.1), Alti meter untuk mengukur ketinggian.

Adapun perlengkapan lain adalah alat-alat yang tidak secara langsung berkaitan dengan pengukuran akan tetapi sangat membantu dalam proses pengukuran. Alat –alat tersebut adalah: GPS, yang berfungsi sebagai penentu koordinat, alat tulis untuk mencatat hasil pengukuran.

3.2 Rancangan Survey Pengukuran

3.2.1 Kunjungan Lapangan

Pengukuran awal yang dilakukan peneliti sebelumnya telah mempunyai desain titik-titik pengukuran yang kemudian dikembangkan untuk survey pengukuran gravitasi berikutnya. Sebelum melakukan pengambilan data, terlebih dahulu perlu dilakukan kunjungan lapangan yang bertujuan untuk mengetahui kondisi geologi dan fisiografis dari daerah yang akan diteliti. Sehingga dalam proses pengukurannya dapat lebih mempermudah mengetahui titik-titik pengukuran yang dilakukan.



Gambar 3.1 Gravity Meter (CG-5 Autograv)

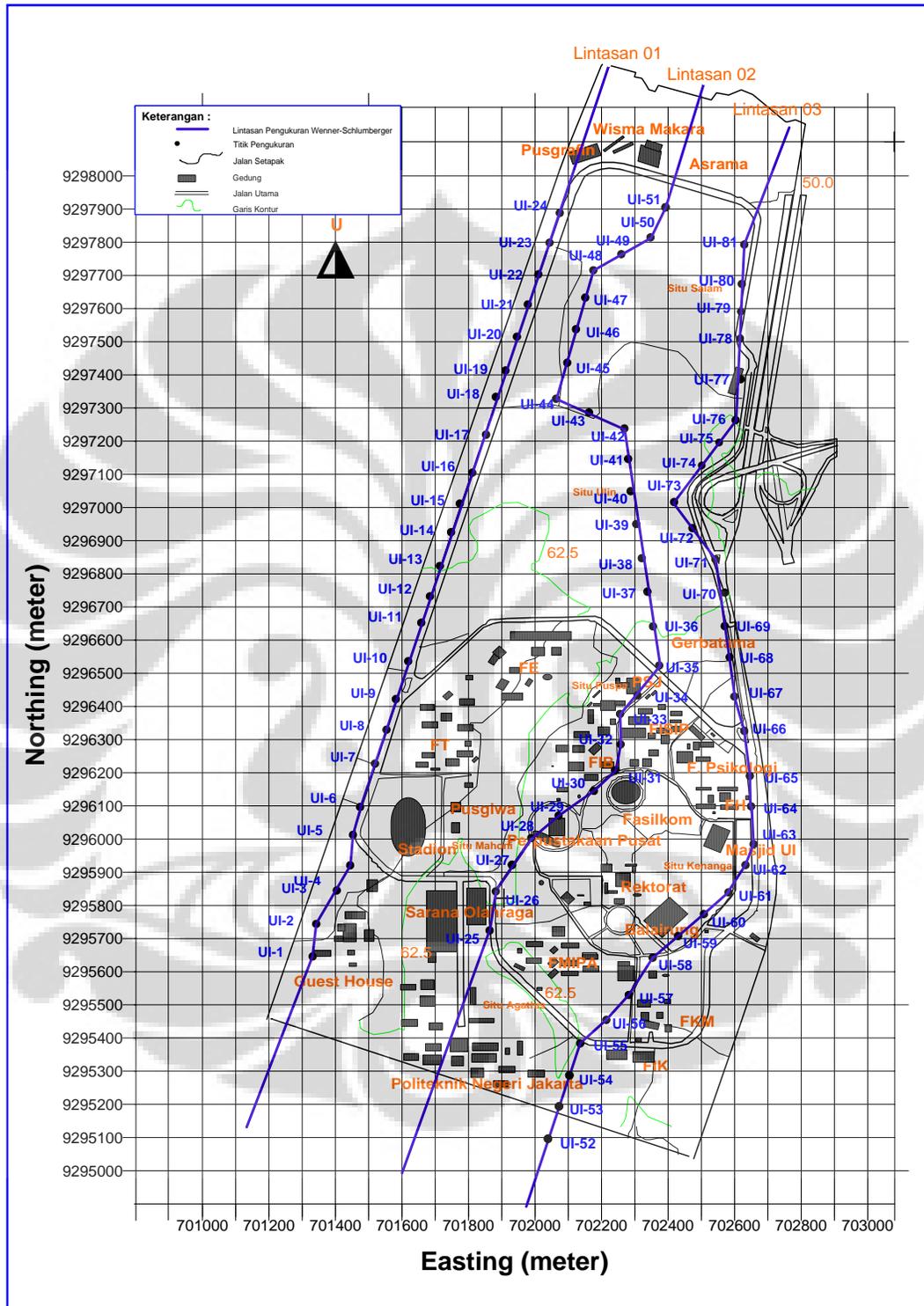


Gambar 3.2 Resistivity Meter (Receiver TOA-EPR 100 A)

dan Perlengkapan Pengukuran (Fauzi,2005)

Lintasan pengukuran berjumlah tiga yang masing-masing saling paralel memanjang Utara-Selatan baik untuk metode Wenner-Schlumberger. Model lintasan seperti ini dipilih karena pemetaan akuifer seharusnya relatif sejajar dengan arah aliran air-bawah tanah sehingga lintasan pengukuran ditempatkan pada arah Utara-Selatan dimana arah Selatan memiliki topografi yang lebih tinggi daripada arah Utara. Karena kondisi topografi yang demikian, diperkirakan *trend* aliran fluida adalah dari Selatan ke Utara (Assegaf, 2006). Lintasan Gravitasi sendiri mengikuti lintasan resistivitas untuk nantinya bisa didapat suatu gabungan pemodelan yang baik. Untuk mendapatkan pola gravitasi yang lebih luas, maka pada pengukuran gravitasi dibuat tambahan lintasan diluar lingkungan kampus UI. Dengan demikian diharapkan akan terbentuk suatu pola gravitasi regional untuk wilayah sekitar kampus UI- Depok

Setelah menentukan lintasan langkah selanjutnya adalah menentukan titik-titik pengukuran. Titik-titik pengukuran ditentukan dengan bantuan GPS sehingga memudahkan dalam menetapkan interval tiap titik yang berjarak 100 m pada pengukuran resistivitas. Pada pengukuran gravitasi sendiri diambil interval jarak kurang lebih 200 m. Dari peneliti sebelumnya, dalam penyusunan lintasan untuk menentukan titik-titik pengukuran ditemukan banyak masalah. Masalahnya terletak pada kondisi lapangan, khususnya pada Lintasan 2, yang terdapat banyak gedung sehingga menyulitkan dalam membuat lintasan selurus mungkin.



Gambar 3.3 Desain Lintasan Pengukuran Wenner-Schlumberger

3.2.2 Metode Wenner-Schlumberger

Lintasan pertama dengan panjang sekitar 2300 m terletak paling barat berjumlah titik pengukuran sebanyak 24 titik. Lintasan kedua dengan panjang sekitar 2600 m bergeser ke arah timur berjumlah titik sebanyak 27 titik. Kemudian lintasan terakhir dengan panjang sekitar 2900 m terletak paling timur berjumlah titik pengukuran sebanyak 30 titik. Sehingga ada 81 titik pengukuran seperti yang terlihat pada Gambar 3.3 (Assegaf, 2006).

3.2.3 Gravitasi

Lintasan pertama dengan panjang sekitar 2600 m terletak paling barat dari kampus UI berjumlah titik pengukuran sebanyak 13 titik. Lintasan kedua dengan panjang sekitar 3000 m bergeser ke arah timur berjumlah titik sebanyak 15 titik. Kemudian lintasan terakhir dengan panjang sekitar 3200 m terletak paling timur berjumlah titik pengukuran sebanyak 16 titik. Sebagai tambahan ke arah selatan pada lintasan kedua ada beberapa titik pengukuran, juga tambahan beberapa titik pengukuran pada daerah antara lintasan kedua dan ketiga bagian selatan. Untuk diluar kampus UI sendiri di bagian Timur dan Barat ditambah masing-masing satu lintasan pengukuran lagi. Sehingga ada sekitar 84 titik pengukuran seperti yang terlihat pada Gambar 3.4.

3.3 Kemudahan yang dialami dalam Proses Akuisisi Data

Walaupun ada banyak kendala yang dialami selama proses pengukuran, namun terdapat beberapa kemudahan yang dialami, diantaranya yaitu:

- ❖ Lokasi pengukuran yang relatif dekat.
- ❖ Untuk jarak yang jauh menggunakan bantuan transportasi kendaraan.

3.4 Hambatan dalam Proses Akuisisi Data

Selama melakukan proses pengukuran, ada beberapa hambatan yang dialami, diantaranya yaitu:

- ❖ Banyaknya kendaraan yang melintas di lokasi yang terkadang mengganggu pembacaan gravitasi meter yang sensitive terhadap pergerakan sekitarnya.
- ❖ Cuaca (hujan) yang membuat kami untuk menunda pengukuran.
- ❖ Banyaknya gedung mejadikannya sulit untuk membuat lintasan selurus mungkin.
- ❖ Pengesuaian koordinat gravitasi dengan koordinat resistivitas yang ternyata dilapangan berbeda sampai kurang lebih 5m.

BAB IV

PENGOLAHAN DATA DAN INTERPRETASI

4.1. *Reprocessing Data Wenner-Schlumberger*

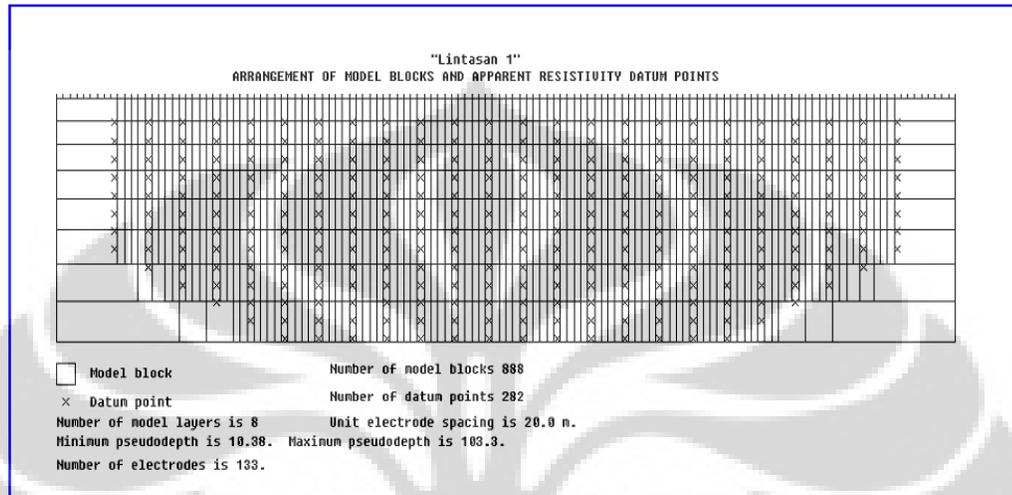
Terdapat tiga lintasan dalam pengukuran dengan metode ini. Pemodelan yang digunakan dalam metode ini adalah pemodelan 2-D (dua dimensi) dengan menggunakan *software* Res2Dinv dan Surfer untuk *editing data*.

Setelah didapatkan parameter V dan I, keduanya harus diolah terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai *apparent resistivity*. Kemudian, nilai-nilai tersebut dari keseluruhan titik pengukuran diplot pada suatu grafik dimana sumbu horizontal menunjukkan lokasi titik-titik pengukuran (titik tengah setiap elektrode) dan sumbu vertikal menunjukkan titik kedalaman efektif. Maka akan didapatkan suatu penampang *apparent resistivity* yang disebut sebagai *pseudosection*.

Nilai *true resistivity* didapatkan dari nilai *apparent resistivity* yang terlebih dahulu harus melalui proses inversi dengan menggunakan *software* Res2Dinv. *Software* tersebut akan mendeterminasi nilai *true resistivity* dari *apparent resistivity* yang diberikan sebagai *input*. Dan menghasilkan *electrical imaging* yang merupakan model inversi penampang dua dimensi. Dari penampang inilah interpretasi lebih lanjut dapat dilakukan.

Dengan menggunakan program ini data *apparent resistivity* bawah-permukaan akan diplot ke dalam kotak persegi sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.1. Susunan kotak-kotak tersebut bergantung pada distribusi titik datum

dalam *pseudosection*. Program ini akan mendeterminasi *true resistivity* dalam setiap kotak yang dihasilkan dari *pseudosection*.



Gambar 4.1 Susunan Model *Block* dari *Apparent Resistivity*

Software Res2Dinv yang menggunakan Metode optimalisasi pada dasarnya mencari estimasi terbaik antara nilai *apparent resistivity* terukur dengan nilai resistivitas hasil perhitungan dengan menyesuaikan dengan model *block*. Pengukuran perbedaan ini menimbulkan *root-mean-square (RMS) error*.

Untuk menghitung nilai *apparent resistivity* digunakan subroutine dari *forward modeling*, sedangkan untuk routine optimasi *least-square non-linier* digunakan dalam routine inversi. Routine inversi digunakan berdasarkan metode *least-square smoothness-constrained*.

Koreksi terhadap efek topografi diperlukan, hal ini dikarenakan topografi sangat berpengaruh dalam menentukan kedalaman efektif dan dalam kenyataannya titik-titik pengukuran di sepanjang lintasan memiliki topografi yang variatif.

Hasil dari perhitungan Res2Dinv menghasilkan tiga penampang. Yang pertama adalah *apparent resistivity*, kedua adalah *calculated apparent resistivity* dan yang ketiga adalah *inverse model resistivity section* (penampang model *true resistivity*) (Assegaf, 2006).

4.2 Interpretasi Data Wenner-Schlumberger

4.2.1 Lintasan 1

Lintasan 1 yang membentang sejauh 2300 m pada arah Utara-Selatan memiliki titik pengukuran sebanyak 24 titik, dengan interval jarak antar titik sekitar 100 m. Jarak antar kedua elektrode tegangan dipisahkan sejauh $a = 20$ m dan jarak pisah antar elektrode tegangan dan elektrode arus dipisahkan sejauh na , dimana n menyatakan bilangan asli (1,2,3...) atau dengan kata lain n menyatakan seberapa banyak pemindahan elektrode harus dilakukan. Dalam penelitian ini, ditentukan $n_{maks}=13$ sehingga ada pemindahan elektrode maksimum sebanyak 13 kali pada setiap lintasan dengan jarak setiap kali pemindahan sejauh 20 m. (Assegaf, 2006).

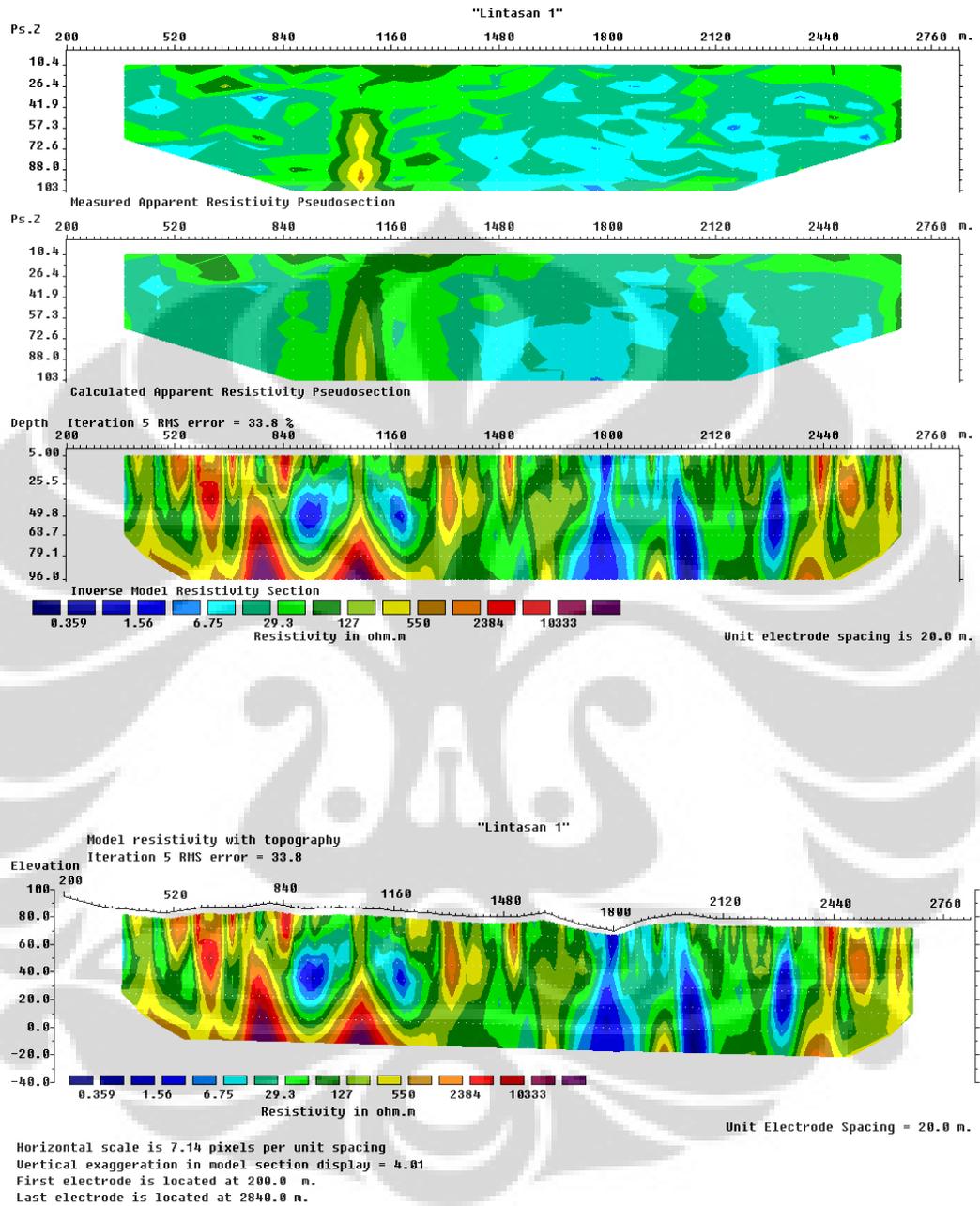
Pada Gambar 4.2, diperkirakan bawah-permukaan daerah penelitian terdiri dari tiga lapisan dari nilai resistivitasnya yang berbeda. Pada lapisan tanah penutup memiliki interval resistivitas berkisar dari 10 s.d 150 Ohm.m, zona konduktif memiliki interval resistivitas kurang dari 100 Ohm.m, sedangkan lapisan resistif memiliki interval resistivitas lebih dari 100 Ohm.m. Pada lapisan dengan nilai resistivitas yang tinggi diperkirakan sebagai basement. Untuk lapisan penutup terlihat interval resistivitasnya cukup panjang dan didominasi oleh

lapisan yang resistif. Hal ini terjadi karena daerah lokasi memang sebagian besar merupakan daerah tanah urukan yang memang akan memperlihatkan anomali resistivitas yang tinggi.

Berdasarkan lintasan 1, akuifer diperkirakan berada pada kedalaman dari 5 s.d 96 m karena rentang resistivitasnya yang berada dalam selang resistivitas <100 Ohm.m. Diperkirakan terdapat lapisan terdominasi lempung pada arah Utara lintasan ini.

4.2.2 Lintasan 2

Lintasan 2 yang membentang sejauh 2600 m pada arah Utara-Selatan memiliki titik pengukuran sebanyak 27 titik, dengan interval jarak antar titik sekitar 100 m. Jarak antar kedua elektrode tegangan dipisahkan sejauh $a = 20$ m dan jarak pisah antar elektrode tegangan dan elektrode arus dipisahkan sejauh na , dimana n menyatakan bilangan asli (1,2,3...) atau dengan kata lain n menyatakan seberapa banyak pemindahan elektrode harus dilakukan. Dalam penelitian ini, ditentukan $n_{maks}=13$ sehingga ada pemindahan elektrode maksimum sebanyak 13 kali pada setiap lintasan dengan jarak setiap kali pemindahan sejauh 20 m (Assegaf, 2006)



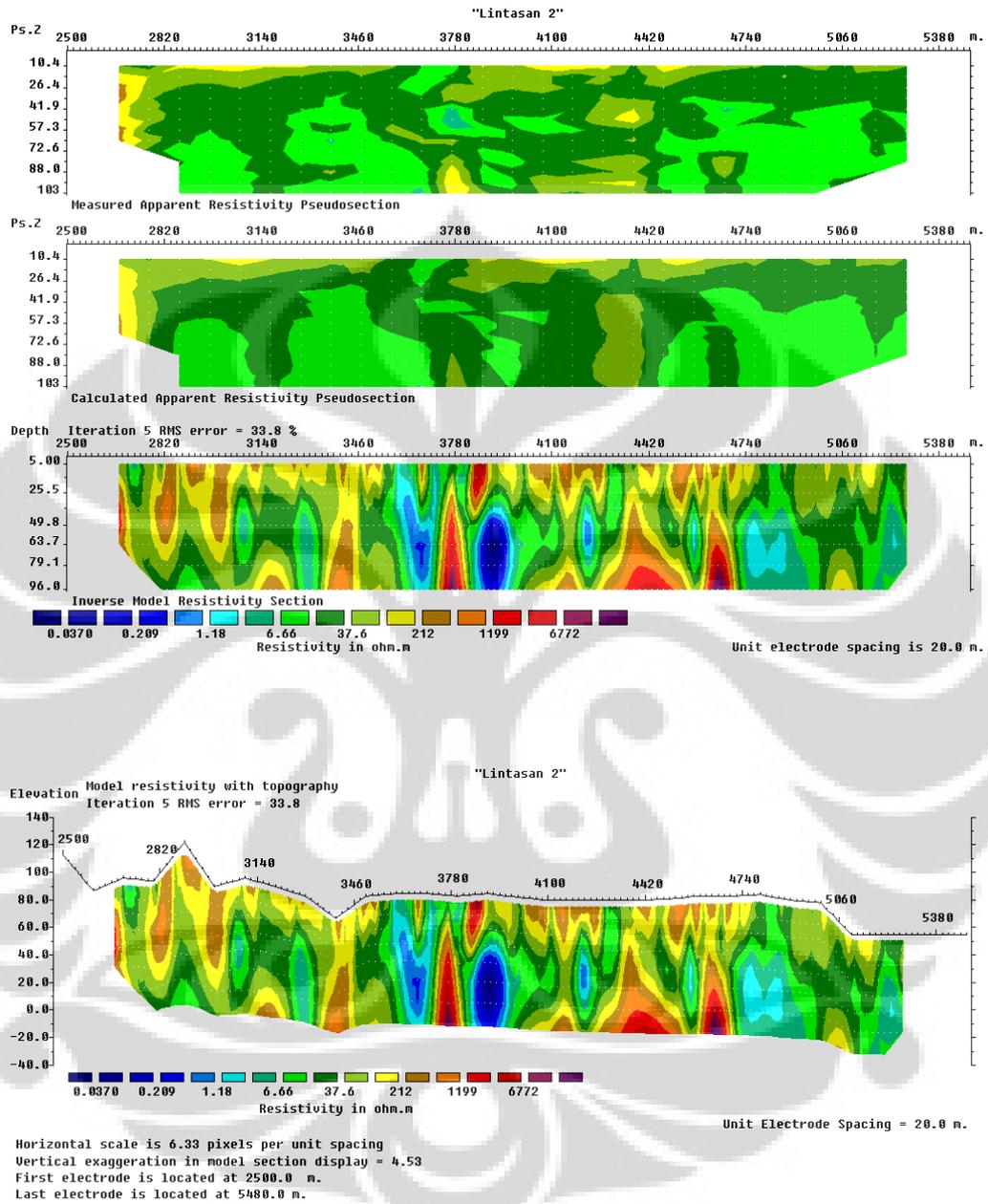
Gambar 4.2 Penampang Nilai Resistivitas Lintasan 1

Pada Gambar 4.3, diperkirakan bawah-permukaan daerah penelitian terdiri dari tiga lapisan dari nilai resistivitasnya yang berbeda. Lapisan tanah penutup memiliki interval resistivitas berkisar dari 10 s.d 150 Ohm.m, zona konduktif memiliki interval resistivitas kurang dari 100 Ohm.m (termasuk didalamnya baik pasir maupun lempung), sedangkan lapisan resistif memiliki interval resistivitas lebih dari 100 Ohm.m yang terletak relatif paling bawah yang di duga sebagai basement. Untuk lapisan penutup terlihat interval resistivitasnya cukup panjang dan didominasi oleh lapisan yang resistif.

Berdasarkan lintasan 2 (terlepas dari data penunjang), akuifer diperkirakan berada pada variasi kedalaman dari 15 s.d 96 m dengan rentang resistivitas berada dalam selang resistivitas <100 Ohm.m. Kedalaman maksimum akuifer tidak merata karena pola perlapisan yang cukup variatif.

4.2.3 Lintasan 3

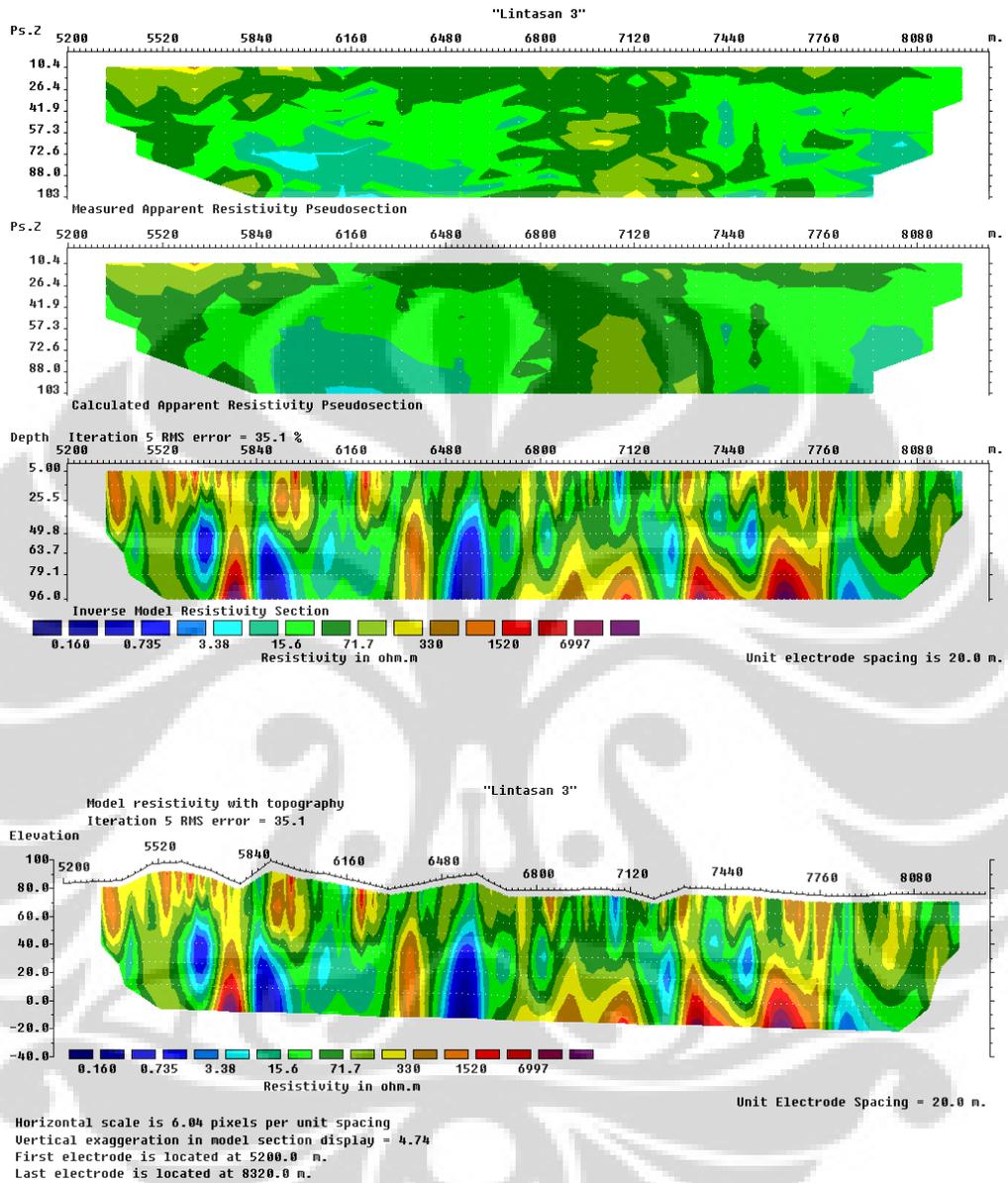
Lintasan 3 yang membentang sejauh 2900 m pada arah Utara-Selatan memiliki titik pengukuran sebanyak 30 titik, dengan interval jarak antar titik sekitar 100 m. Jarak antar kedua elektrode tegangan dipisahkan sejauh $a = 20$ m dan jarak pisah antar elektrode tegangan dan elektrode arus dipisahkan sejauh na , dimana n menyatakan bilangan asli (1,2,3...) atau dengan kata lain n menyatakan seberapa banyak pemindahan elektrode harus dilakukan. Dalam penelitian ini, ditentukan $n_{maks}=13$ sehingga ada pemindahan elektrode maksimum sebanyak 13 kali pada setiap lintasan dengan jarak setiap kali pemindahan sejauh 20 m.



Gambar 4.3 Penampang Nilai Resistivitas Lintasan 2

Pada Gambar 4.4, diperkirakan bawah-permukaan daerah penelitian terdiri dari tiga lapisan dari nilai resistivitasnya yang berbeda. Lapisan tanah penutup memiliki interval resistivitas berkisar dari 10 s.d 150 Ohm.m, zona konduktif memiliki interval resistivitas kurang dari 100 Ohm.m (termasuk didalamnya baik pasir maupun lempung), sedangkan lapisan resistif memiliki interval resistivitas lebih dari 100 Ohm.m yang terletak relatif paling bawah. Untuk lapisan penutup terlihat interval resistivitasnya cukup panjang dan didominasi oleh lapisan yang resistif.

Berdasarkan lintasan 3, akuifer diperkirakan berada pada variasi kedalaman dari 10 s.d 96 m karena rentang resistivitas berada dalam selang resistivitas <100 Ohm.m. Tidak semua bawah-permukaan di lintasan ini memiliki variasi kedalaman seperti ini. Ada beberapa lokasi bawah-permukaan yang memiliki interval kedalaman akuifer yang cukup dangkal. Kedalaman maksimum akuifer tidak merata karena pola perlapisan yang cukup variatif.



Gambar 4.4 Penampang Nilai Resistivitas Lintasan 3

4.3 Pengolahan Data Gravity

Dalam bab II telah dibahas secara sederhana bahwa untuk mendapatkan nilai gravity disuatu tempat, terlebih dahulu dilakukan beberapa koreksi.

a. Koreksi Pasang Surut (Tide Correction)

Tujuannya adalah untuk menghilangkan pengaruh gaya tarik bulan dan matahari.

b. Koreksi *Drift*

Disebabkan oleh faktor kelelahan alat bisa berupa suatu penyimpangan pembacaan nilai gravitasi terhadap waktu

c. Koreksi Udara Bebas

Koreksi untuk variasi elevasi, yang mengabaikan massa diantara permukaan air laut (mean sea level) dengan titik pengamatan. Gradien vertikal gravity (perubahan vertical rata-rata dari gaya gravitasi $0.3086 \text{ mGal}\cdot\text{m}^{-1}$). Koreksi Udara Bebas di daratan dengan asumsi bahwa bumi adalah *oblate spheroid* ditunjukkan oleh persamaan:

d. Koreksi Bouguer

Disini koreksi Bouguer berfungsi untuk menghitung efek tarikan massa yang ada diantara bidang datum dan titik pengamatan. Nilainya yaitu

$$BC = 2\pi \cdot \gamma \cdot \rho \cdot h$$

Untuk perhitungan anomali Bouguer yang lengkap adalah setelah dikoreksi dengan koreksi udara bebas, koreksi Bouguer, yaitu

$$CBA = g_{obs} - g_t + FAC - BC$$

e. Koreksi Terrain

Disini koreksi Terrain tidak dilakukan dengan pertimbangan daerah lingkungan Kampus UI Depok yang cenderung datar, tidak ada kecenderungan elevasi yang terlalu tinggi yang membentuk suatu relief atau yang membentuk suatu lembah. Maka dalam hal ini perhitungan koreksi *terrain* diabaikan.

Proses pemodelan diawali dengan pemisahan anomali regional dan residual dari anomali Bouguer. Setelah itu membahas pemodelan dua-dimensi untuk mendapatkan bentuk struktur batuan bawah-permukaan.

4.3.1 Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Dari data pengukuran gravitasi dilakukan koreksi pasang surut (*tidal*) dan koreksi *drift* untuk menghilangkan pengaruh gaya tarik matahari dan bulan dan *drift* alat sehingga diperoleh harga gravitasi pengamatan.

Untuk mendapatkan harga gravitasi normal di titik pengukuran, terlebih dahulu dihitung harga gravitasi teoritis dengan menggunakan koordinat titik pengamatan yang diperoleh dari data pengukuran topografi. Harga gravitasi teoritis tersebut dihitung berdasarkan *International Gravity Formula* 1930. setelah itu dilakukan koreksi udara bebas, koreksi Bouguer, dan koreksi *terrain*. Harga densitas batuan yang digunakan dalam perhitungan koreksi Bouguer adalah sebesar $2,0 \text{ gr/cm}^3$, $1,2 \text{ gr/cm}^3$ dan $1,7 \text{ gr/cm}^3$. Harga tersebut diperoleh dari perkiraan densitas batuan permukaan dengan menggunakan metode Nettleton. Dan juga dari perkiraan bahwa basement ini sebagai basement dangkal.

Anomali Bouguer yang didapatkan dari koreksi-koreksi data sebelumnya merupakan gabungan antara anomali regional dan residual (Gambar 4.6). Anomali regional disebabkan oleh struktur dalam, misalnya kerak bumi bagian bawah atau mantel bagian atas. Sedangkan anomali residual disebabkan oleh distribusi massa batuan yang terletak beberapa kilometer di atas kerak bumi.

Nilai anomali residual diperoleh dari selisih anomali Bouguer terhadap anomali regional. Untuk mendapatkan anomali residual dilakukan dengan menggunakan program TSA (*Trend Surface Analysis*) yang dibuat dengan MATLAB oleh Efrianto, 2003.

Anomali residual yang didapat dari program TSA ini terdiri dari dua orde polinomial mulai dari orde satu sampai orde dua. Peta anomali Bouguer dan anomali residual masing-masing dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan 4.6.

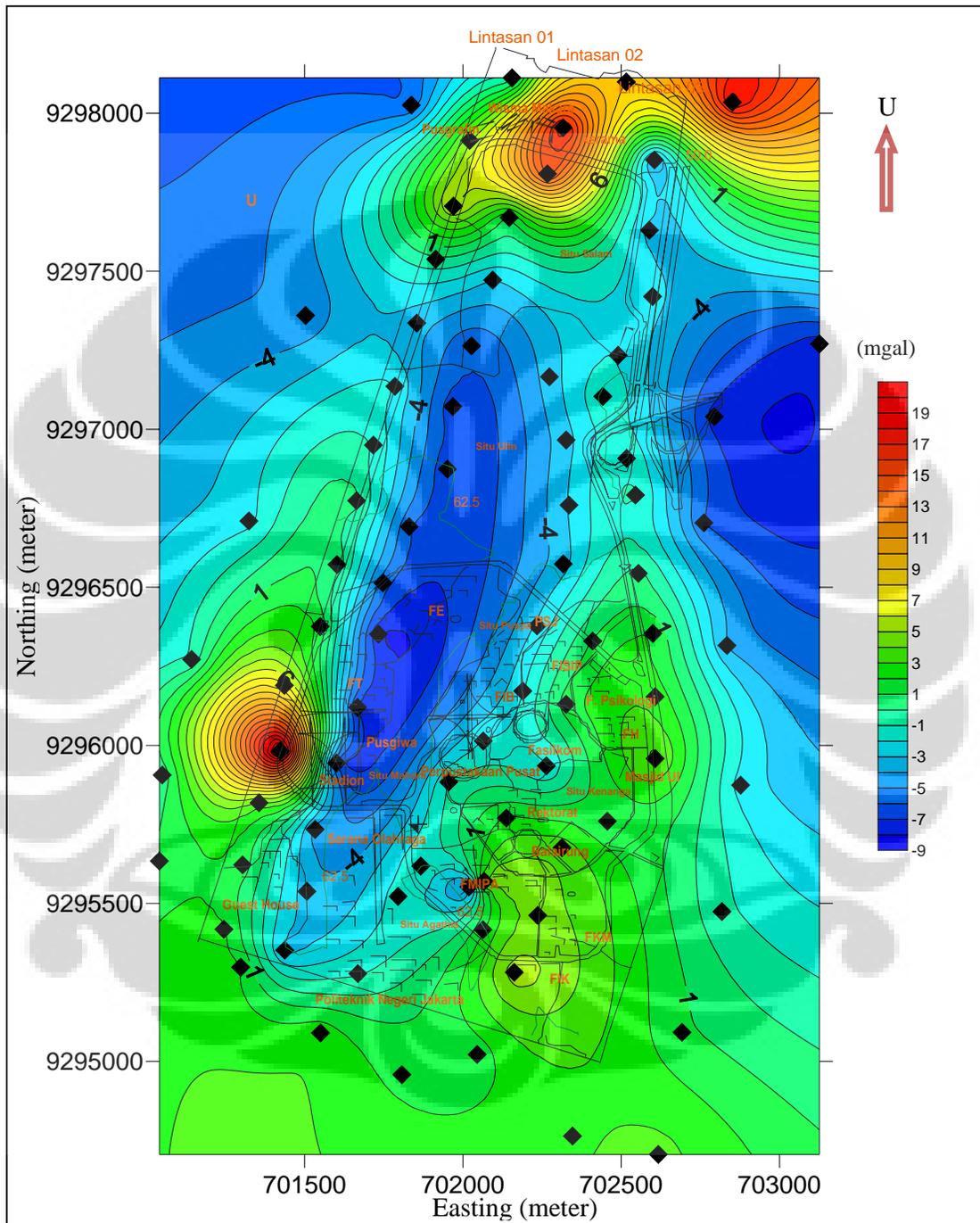
Pada Gambar 4.5 merupakan anomali Bouguer. Rentang nilai anomali Bouguer yang didapat yaitu antara -48 sampai -14 mgal. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa daerah bagian Utara cenderung memiliki nilai anomali Bouguer yang tinggi dibandingkan daerah sekitarnya, yaitu berkisar antara -26 sampai -14 mgal. Begitu juga pada titik pengukuran UI-4 lintasan 1. Pada Gambar 4.6 merupakan anomali residual, yang didapat dari pengurangan anomali Bouguer dan anomali regional. Sama halnya dengan anomali Bouguer, indikasi yang didapat daerah Utara mempunyai kecenderungan nilai anomali residual yang cukup tinggi antara 6 sampai dengan 21 mgal. Sedangkan bagian Selatan cenderung rendah, berkisar antara -9 sampai dengan 5 mgal. Anomali Bouguer dan anomali residual yang tinggi menunjukkan kemungkinan anomali yang terjadi di daerah ini

adanya batuan yang mempunyai nilai densitas yang tinggi yang dekat dengan permukaan. Bisa juga diindikasikan merupakan basement dangkal. Kontur anomali yang jauh lebih kecil dapat diindikasikan bahwa adanya suatu struktur cekungan atau terjadi suatu struktur graben yang kemudian diisi oleh struktur yang lebih muda. Pada struktur ini diperkirakan terdapat akuifer dalam yang ditunjang dari data resistivitas (pembahasan lebih lanjut pada Bab IV).

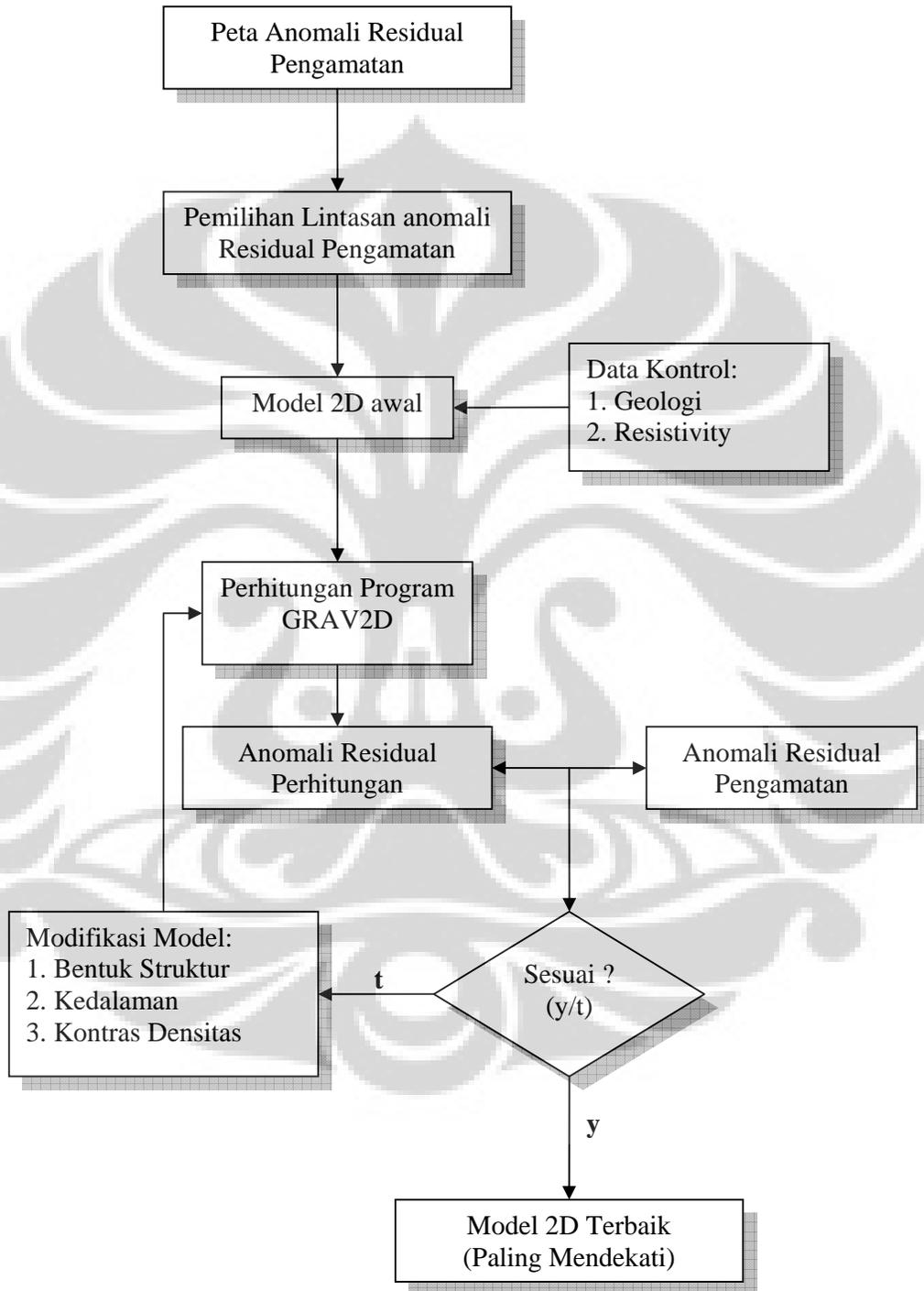
4.3.2 Pemodelan

Untuk penggambaran struktur bawah permukaan kampus UI Depok, maka dilakukan pemodelan dua dimensi dengan menggunakan program Grav2d. Pemodelan ini dibuat berdasarkan harga anomali residual, kontras density, panjang dan kedalaman tiap-tiap bodi.

Metode yang digunakan disini adalah metode *forward modelling*, yaitu pemodelan yang dikukan dengan menentukan terlebih dahulu kontras densitasnya dan kemudian dihitung langsung oleh program Grav2d. Hasil perhitungan diplot dalam bentuk kurva anomali residual hasil perhitungan dan dibandingkan dengan kurva anomali residual hasil pengamatan. Bila kurva anomali residual hasil perhitungan belum sesuai dengan kurva anomali residual hasil pengamatan maka dilakukan modifikasi model yang telah dibuat dengan cara mengubah-ubah bentuk, kedalaman, dan densitas batumannya agar diperoleh nilai hasil perhitungan dan pengamatan mendekati kesamaan sehingga diperoleh model dua-dimensi terbaik.



Gambar 4.6 Anomali Residual gravitasi daerah Kampus UI Depok



Gambar 4.7 Diagram alir pemodelan gravitasi 2-D

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Data Geologi

5.1.1 Struktur Geologi Kampus UI Depok

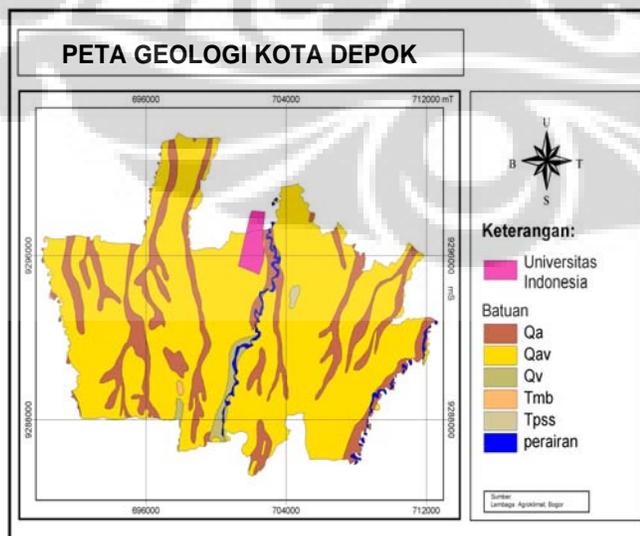
Berdasarkan peta geologi regional oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung tahun 1992, stratigrafi wilayah Depok sekitarnya dari tua ke muda disusun oleh batuan perselingan, pasir dan batu lempung (Turkandi, 1992) sebagai berikut:

- Formasi Bojongmanik (Tmb): perselingan batupasir, pasir dan batu lempung dengan sisipan batu gamping
- Formasi Serpong (Tpss): Perselingan konglomerat, pasir, batulanau, batulempung dengan sisa tanaman, konglomerat batuapung dan tuf batuapung
- Satuan Batuan Kipas Alluvium (Qav): tuf halus berlapis, tuf konglomeratan berselingan dengan tuf pasir dan tuf batuapung
- Satuan Endapan Alluvial (Qa) : endapan lempung, pasir, kerikil, kerakal

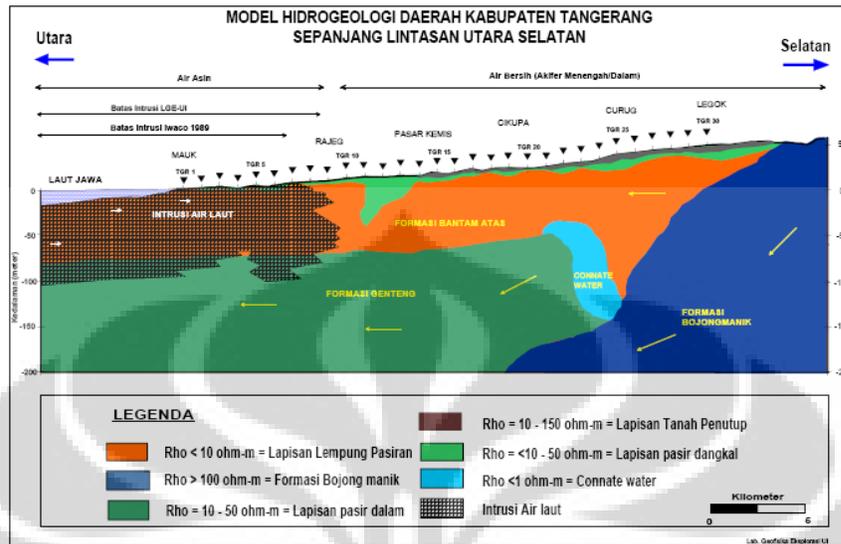
Endapan Kipas Aluvial umumnya terbentuk dari hasil vulkanik terdiri dari lempung, pasir campur kerikil, daya dukung tinggi, nilai keterusan terhadap air kecil sampai sedang. Pasir Tufaan dan Konglomerat (Qav), terdiri atas konglomerat, batupasir konglomeratan, batupasir tufaan dan tuf. Konglomerat, berwarna abu-abu kekuningan, lepas, perlapisan kurang jelas, banyak dijumpai

lapisan kurang jelas, banyak dijumpai lapisan silang-siur, komponen sebagian besar bergaris tengah 5 cm, terdiri dari andesit dan batuapung makin ke selatan komponen semakin besar dan menyudut; Batupasir dan tuf umumnya berwarna kemerahan, pemilahan jelek, merupakan sisipan dalam konglomerat, komponen batupasir terdiri dari pecahan batuan beku andesit, batuapung dan kuarsa, di beberapa tempat terdapat struktur sedimen silang-siur.

Struktur geologi di daerah ini merupakan lapisan horizontal atau sayap lipatan dengan kemiringan lapisan yang hampir datar, serta sesar mendatar yang diperkirakan berarah utara-selatan. Menurut Laporan Penelitian Sumberdaya Air Permukaan di Kota Depok kondisi geologi Kota Depok termasuk dalam sistem geologi cekungan Botabek yang dibentuk oleh endapan kuartar yang berupa rombakan gunung api muda dan endapan sungai. Singkapan batuan tersier yang membatasi cekungan Bogor–Tangerang–Bekasi terdapat pada bagian barat–barat daya dimana di jumpai pada Formasi Serpong, Genteng dan Bojongmanik. (Gambar 5.1a dan 5.1b).



Gambar 5.1a. Peta Geologi Kota Depok (Assegaf, 2006)



Gambar 5.1b. Model Hidrogeologi Daerah Kabupaten Tangerang 2003 (Lab. Geofisika UI).

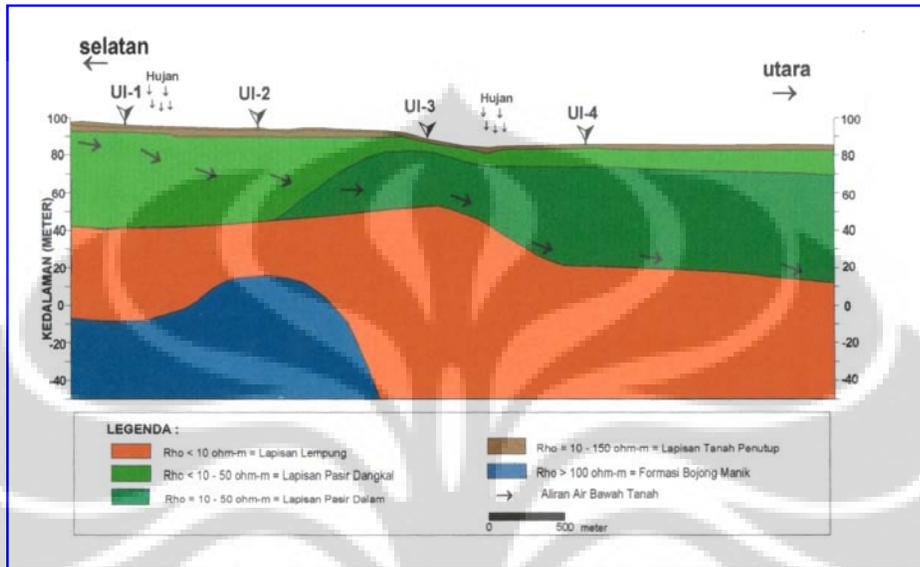
Berdasarkan atas elevasi atau ketinggian garis kontur, maka bentang alam daerah Depok dari selatan ke utara merupakan daerah dataran rendah – perbukitan bergelombang lemah, dengan elevasi antara 50-140 meter di atas permukaan laut.

5.1.2 Data Metode Resistivitas Schlumberger dari Peneliti Sebelumnya

Berdasarkan data dari Metode Resistivitas Schlumberger peneliti sebelumnya diperoleh informasi sebagai berikut:

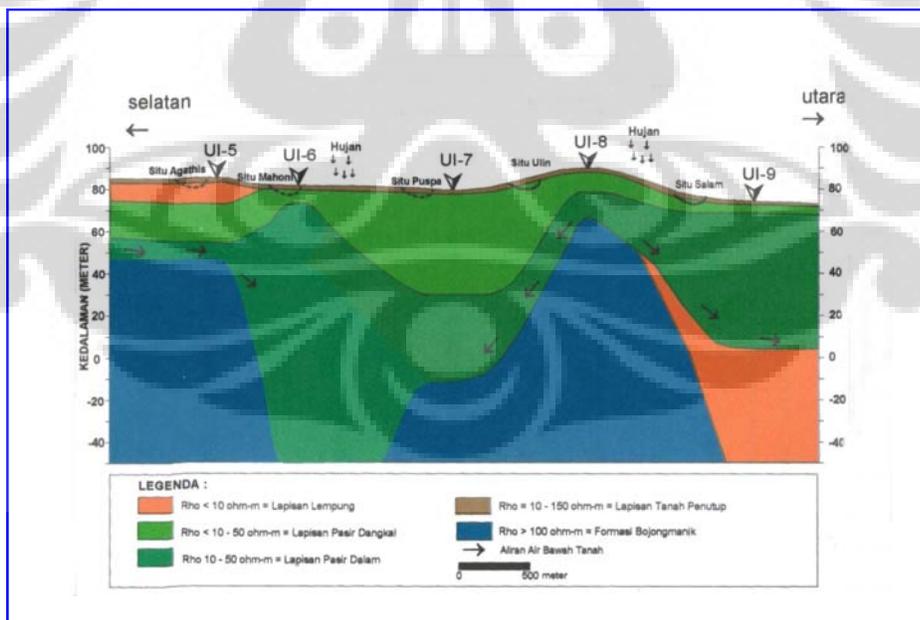
- Nilai resistivitas lapisan lempung berkisar <10 Ohm.m, $10 - 50$ Ohm.m untuk lapisan pasir, $10 - 150$ Ohm.m untuk lapisan tanah penutup dan > 100 Ohm.m untuk lapisan Formasi Bojongmanik.
- Letak akuifer diperkirakan berada pada kedalaman antara $5 - 10$ Ohm.m dan ketebalan rata-rata 55 m.

Gambar 5.2, 5.3, dan 5.4 berturut-turut menunjukkan penampang lintang Lintasan 1, Lintasan 2, dan Lintasan 3 berdasarkan Metode Schlumberger.



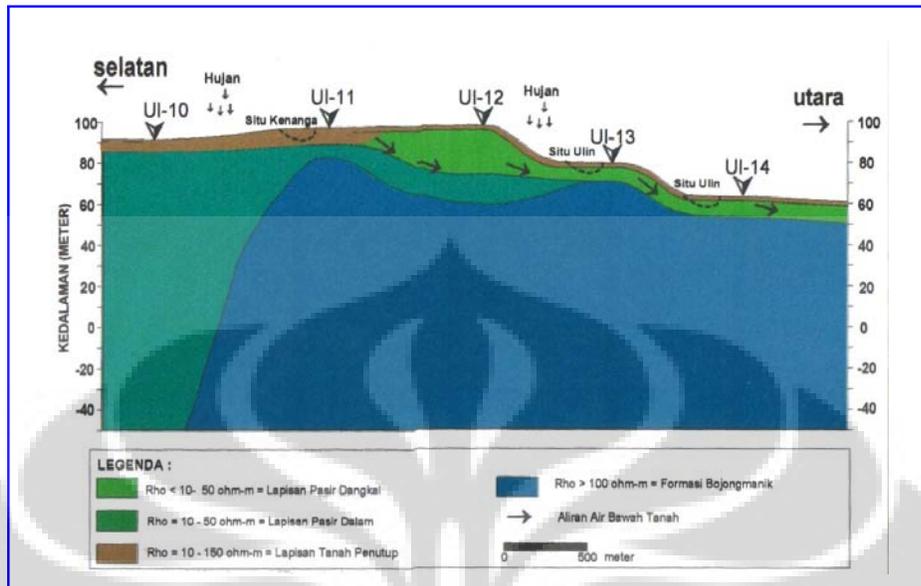
Gambar 5.2 Model Hidrogeologi Metode Schlumberger Lintasan 1

(Fauzi, 2005)



Gambar 5.3 Model Hidrogeologi Metode Schlumberger Lintasan 2

(Fauzi, 2005)



Gambar 5.4 Model Hidrogeologi Metode Schlumberger Lintasan 3

(Fauzi, 2005)

5.2 Model Geofisika

Dari hasil pengolahan data dan interpretasi yang dilakukan, maka dapat dibuat suatu Model Geofisika Lintasan 1,2 dan 3 daerah Kampus UI Depok dengan menggunakan suatu sistem pemodelan 2-D yang dipadukan dengan data resistivity dari peneliti sebelumnya dan data pendukung berupa data geologi daerah Jakarta, Bogor dan sekitarnya. Hasil yang didapat berupa suatu pemodelan pelapisan dibagi berdasarkan perbedaan rentang nilai resistivitas juga kontras densitas.

5.2.1 Model Geofisika Lintasan 1

Dari hasil pengolahan data resistivity diperkirakan Model geofisika Lintasan 1 terdiri atas empat perlapisan utama yang secara berturut-turut dari atas ke bawah adalah, lapisan alluvium, lapisan pasir (akuifer dalam) dan lapisan terbawah berupa basement seperti yang terlihat pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6.

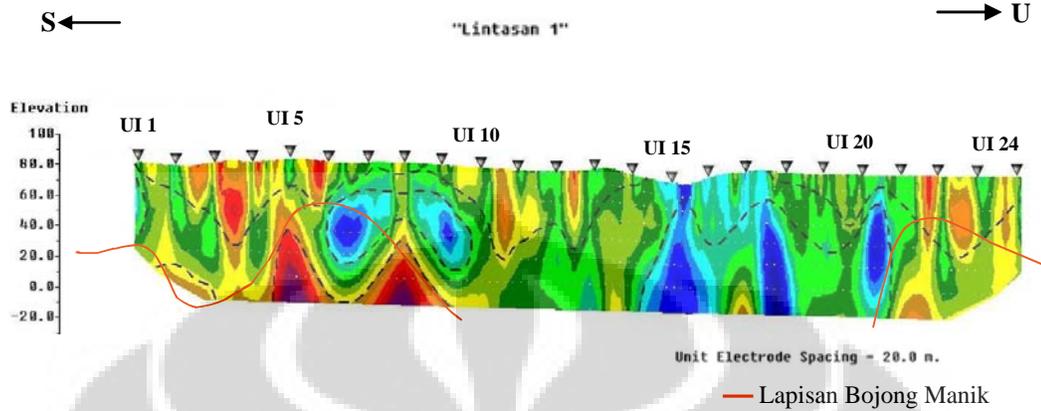
Seperti disinggung pada Bab II, lapisan tanah atas dengan interval resistivitas dari 10 – 100 Ohm.m. Sedangkan untuk nilai densitas dari lapisan ini diperkirakan adalah 1,2 gr/cm³. Sebagian lapisan ini bisa dianggap sebagai daerah *unsaturated zone* yang merupakan daerah subsurface dari permukaan tanah yang adalah daerah berongga yang terisi air. Lapisan ini merupakan lapisan alluvium percampuran dari tuf halus berlapis perselingan batuan pasir, batu apung dan campuran tanah urukan yang bersifat gembur sehingga hal ini memungkinkan fluida (dalam hal ini berasal dari air hujan) untuk dapat meresap hingga menuju ke akuifer.

Lapisan kedua adalah lapisan yang berada pada rentang resistivitas rendah yaitu <10 Ohm.m yang diperkirakan merupakan lapisan clay. Pada gambar tersebut terlihat bahwa lapisan ini cenderung menipis ke arah Selatan sedangkan ke arah Utara cenderung menebal. Lapisan ini terputus dari lokasi UI-1 sampai UI-6 dan UI-21 sampai UI-24. Dan pada lapisan ini bagian yang terputus diperkirakan terkikis karena erosi dan ditindih oleh lapisan di atasnya. Lapisan berikutnya, yaitu lapisan ketiga berada pada rentang resistivitas antara 10 – 90 Ohm.m

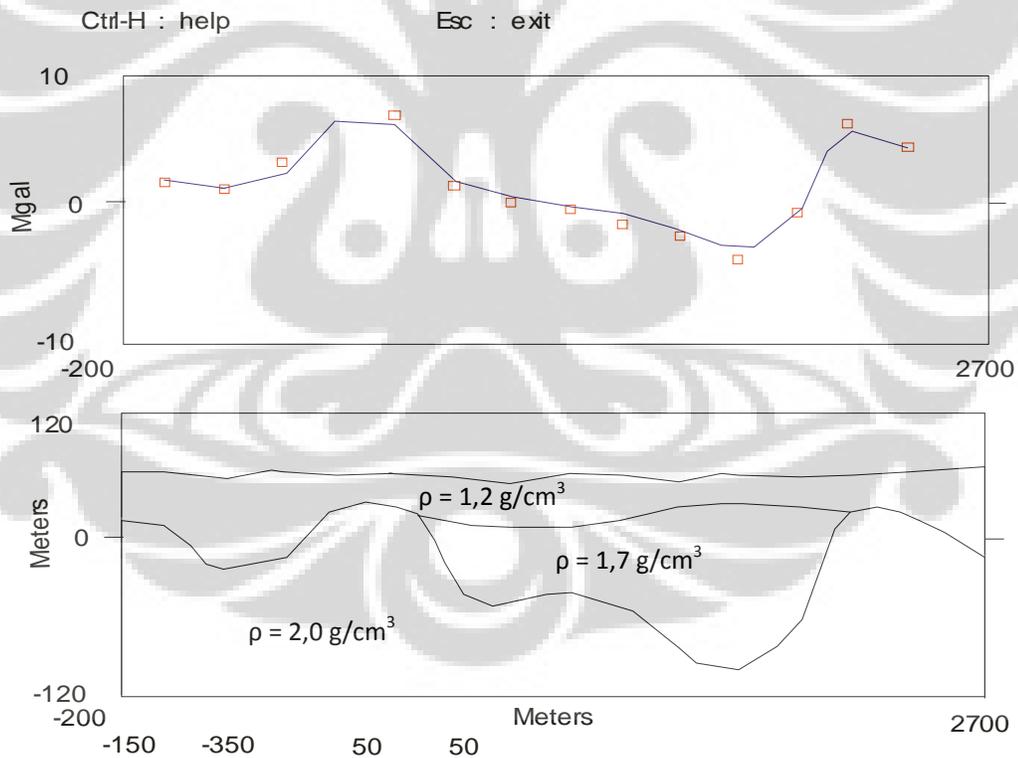
diperkirakan adalah lapisan pasir dan didominasi oleh kandungan fluida. Tampak juga bahwa daerah Selatan akuifer terlihat relatif lebih tebal dari pada di bagian Utara. Untuk interpretasi gravitasi, lapisan ini dianggap satu bodi dengan percampuran antara pasir dan clay yang nilai densitasnya diperkirakan adalah $1,7 \text{ gr/cm}^3$. Hal ini sesuai dengan data resistivitas Metode Wanner-Schlumberger seperti terlihat pada Gambar 5.5.

Lapisan yang terakhir adalah lapisan basement dengan rentang nilai resistivitas $>100 \text{ Ohm.m}$ yang diduga merupakan lapisan Formasi Bojongmanik. Formasi Bojongmanik yang adalah lapisan yang berumur Miosen Tengah. Nilai densitas untuk formasi ini diperkirakan sekitar 2 gr/cm^3 dan dianggap basement dangkal. Kedalaman lapisan ini berkisar antara $50 - 130 \text{ m}$. Seperti disebutkan sebelumnya, lapisan ini terdiri dari perselingan konglomerat, pasir, batulanau, batu lempung dan lapisan ini diduga sebagai dasar dari sistem air bawah-tanah. Dari Gambar dapat juga dilihat bahwa lapisan ini menebal pada daerah Selatan pada titik pengukuran UI 5 sampai dengan UI 10, dan menipis, cenderung tidak terlihat pada daerah Utara. Dari Gambar 5.6 dapat dilihat adanya anomaly nilai gravitasi yang tinggi. Hal ini hampir sama dengan hasil yang di dapat pada pengolahan data resistivity yang menunjukkan nilai resistivitas yang tinggi.

Pada lokasi UI-1 sampai UI-6 dan UI-21 sampai UI-24, nilai anomaly positif membentuk tinggian dan diantaranya terdapat semacam cekungan yang diperkirakan sebagai horst-graben akibat sesar normal.



Gambar 5.5 Hasil Data Resistivitas lintasan 1



Gambar 5.6 Hasil Pemodelan Gravitasi 2.D Lintasan 1

5.2.2 Model Geofisika Lintasan 2

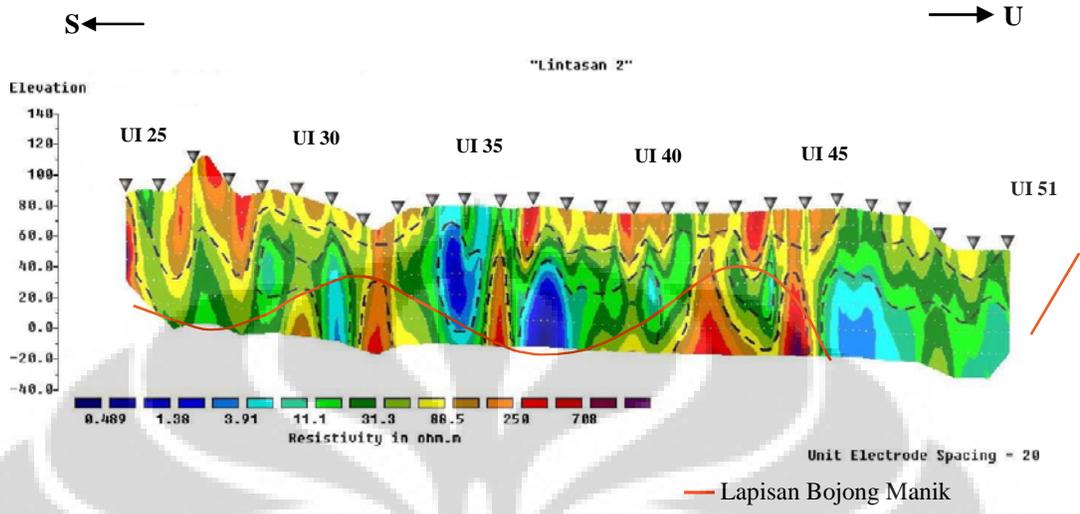
Seperti halnya dengan model geofisika lintasan 1, dari hasil pengolahan data resistivity diperkirakan Model geofisika Lintasan 2 juga terdiri atas empat perlapisan utama yang secara berturut-turut dari atas ke bawah adalah, lapisan alluvium, lapisan pasir dan lapisan terbawah yang diperkirakan merupakan basement (dalam hal ini diperkirakan merupakan Formasi Bojongmanik) dari lintasan ini seperti yang terlihat pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8.

Daerah *unsaturated zone* adalah daerah subsurface dari permukaan tanah. Sebagian lapisan ini diasumsikan sebagai lapisan tanah atas dengan interval resistivitas dari 10 – 100 Ohm.m. Sedangkan untuk nilai densitas dari lapisan ini diperkirakan adalah 1,2 gr/cm³. Sama halnya dengan lintasan 1, Lapisan ini merupakan lapisan alluvium dengan percampuran dari batuanpasir, batu apung yang bersifat gembur sehingga sehingga hal ini memungkinkan fluida untuk dapat meresap hingga menuju ke akuifer. Pada data gravitasi lapisan ini menebal sedikit pada bagian Utara lintasan dan ketebalan yang relative hampir sama ke bagian Selatan.

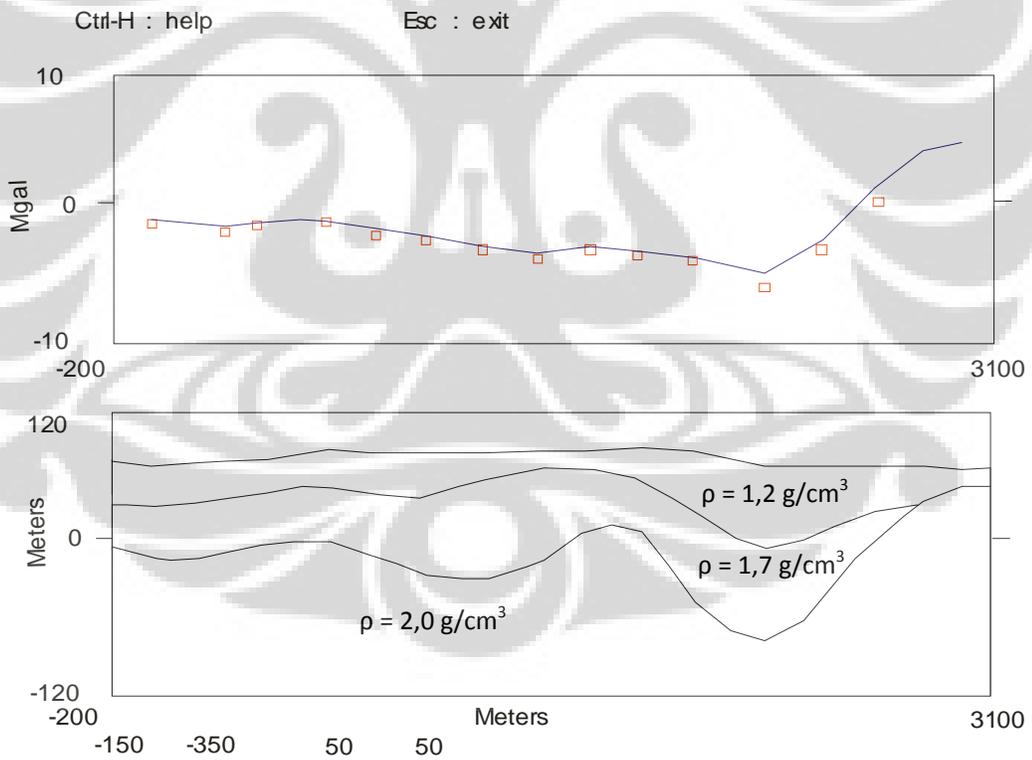
Lapisan kedua adalah lapisan yang berada pada rentang resistivitas yang rendah yaitu <10 Ohm.m yang diperkirakan merupakan lapisan clay. Pada gambar tersebut terlihat bahwa lapisan ini menebal ke arah Utara sekitar titik pengukuran antara UI-46 sampai dengan UI-49 pada pengukuran resistivitas. Lapisan berikutnya, yaitu lapisan ketiga berada pada rentang resistivitas antara 10 – 90 Ohm.m diperkirakan adalah lapisan pasir dan didominasi oleh kandungan fluida.

Lapisan ini dapat dilihat pada titik pengukuran UI-34 sampai UI-38, juga pada titik pengukuran UI-46 sampai UI-51 yang relatif lebih tebal dan dalam seperti terlihat pada gambar 5.8. Disini diperkirakan sebagai jebakan akuifer dalam. Untuk pembahasan tentang gravitasi, lapisan ini dianggap sebagai satu kesatuan bodi yang mempunyai nilai densitasnya sekitar $1,7 \text{ gr/cm}^3$.

Lapisan yang terakhir adalah lapisan dengan rentang nilai resistivitas $>100 \text{ Ohm.m}$ yang diduga merupakan lapisan basement Formasi Bojongmanik. Nilai densitynya diperkirakan adalah 2 gr/cm^3 , karena formasi ini kebanyakan merupakan perselingan konglomerat, batu pasir tuf dan batulanau. Lapisan ini terlihat pada titik pengukuran UI 25 dan muncul lagi pada titik pengukuran UI 42 sampai dengan UI 45. Lapisan ini diperkirakan sebagai *layer* bawah yang bersifat menahan fluida, sehingga membentuk semacam perangkap untuk akuifer di atasnya. Kedalaman lapisan ini berkisar antara 45 – 130 m. Dari Gambar 5.8 dapat dilihat adanya anomaly nilai gravitasi yang tinggi. Hal ini hampir sama dengan hasil yang di dapat pada pengolahan data resistivity yang menunjukkan nilai resistivitas yang tinggi.



Gambar 5.7 Hasil Data Resistivitas lintasan 2



Gambar 5.8 Hasil Pemodelan Gravitasi 2.D Lintasan 2

5.2.3 Model Geofisika Lintasan 3

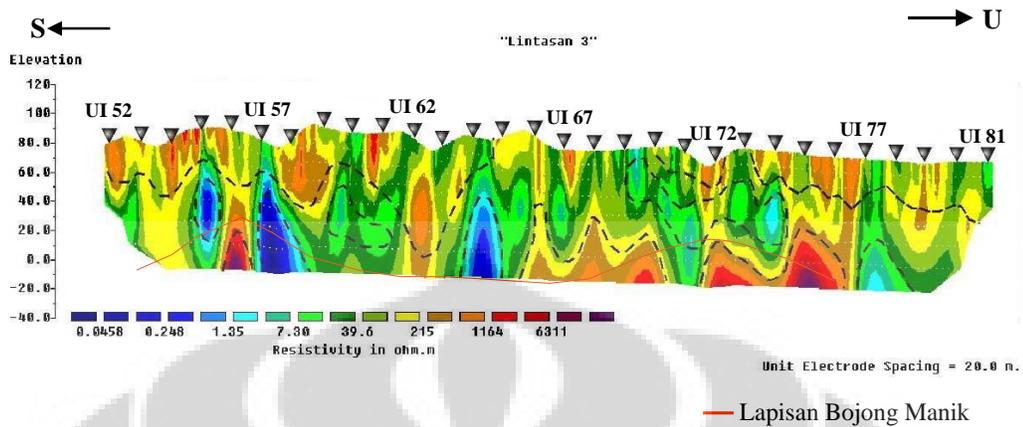
Untuk Lintasan 3 seperti Lintasan 1 dan 2, dari hasil pengolahan data resistivity diperkirakan Model geofisika Lintasan 2 juga terdiri atas empat perlapisan utama yang secara berturut-turut dari atas ke bawah adalah, lapisan tanah penutup, lapisan lempung, lapisan pasir dan lapisan terbawah yang dianggap basement seperti yang terlihat pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10.

Lapisan pertama disebut di atas sebagai lapisan tanah atas yang berfungsi sebagai lapisan yang menyerap fluida hingga menuju ke akuifer. Interval resistivitas untuk lapisan ini yaitu dari 10 – 100 Ohm.m. Untuk nilai densitas dari lapisan ini diperkirakan adalah 1,2 gr/cm³. Daerah ini sebagian dianggap sebagai daerah *unsaturated zone* yaitu daerah subsurface dari permukaan tanah secara umum diasumsikan mengalirkan air mengarah ke bawah sebagai respon dari gaya berat atau gravitasi. Lapisan ini diasumsikan sebagai lapisan alluvium dengan satuan pasir, dan batu apung. Lapisan ini menebal pada bagian Selatan lintasan.

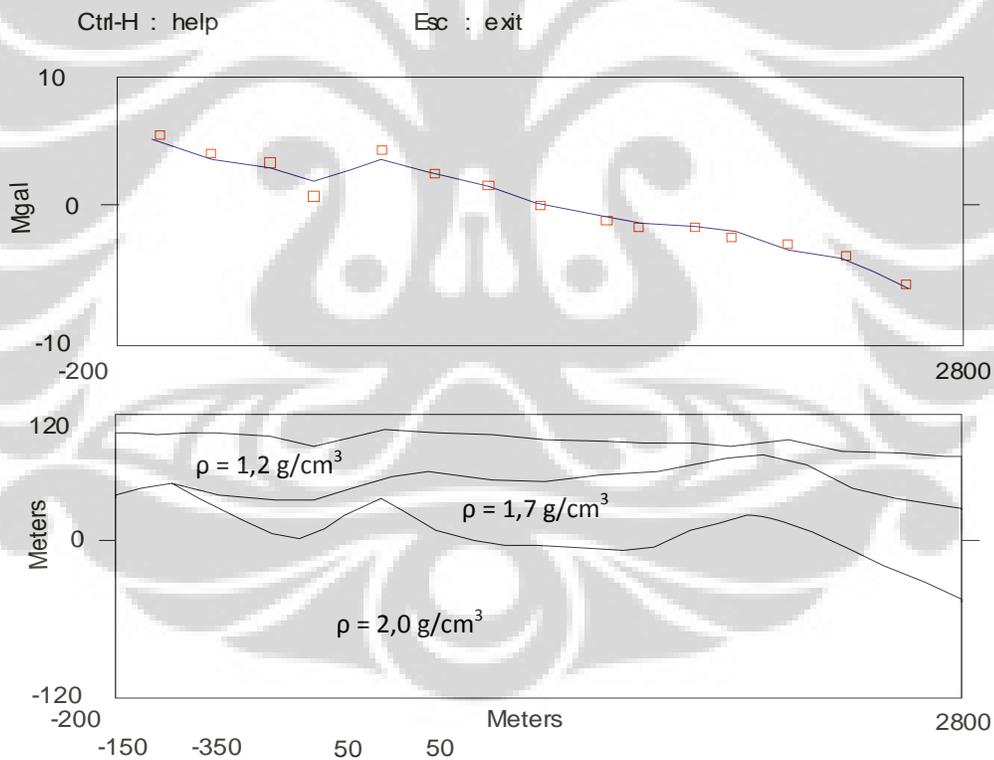
Lapisan yang kedua, diduga sebagai lapisan yang banyak kandungan airnya karena kontras resistivitas-rendahnya yang begitu tajam relatif terhadap sekelilingnya. Interval resistivitas untuk lapisan ini ditentukan < 10 Ohm.m. Dengan rentang nilai resistivitas yang rendah tersebut lapisan ini diperkirakan sebagai lapisan clay. Kedalamannya diketahui dari model antara 40-130 m yang tidak merata disemua titik pengukuran pada lintasan ini. Lapisan ketiga ditentukan sebagai lapisan pasir. Interval resistivitas untuk lapisan ini berkisar 10 – 90 Ohm.m. Di lapisan inilah diduga adanya keberadaan fluida. Seperti yang terlihat

bagian Selatan pada titik pengukuran UI-58 sampai UI-64 ada kecenderungan lapisan ini menebal juga bagian Utara pada UI-78 sampai UI-81. Dengan interpretasi dari gravitasi lapisan ini digabung jadi satu dalam satu bodi dengan nilai densitasnya sekitar $1,7 \text{ gr/cm}^3$.

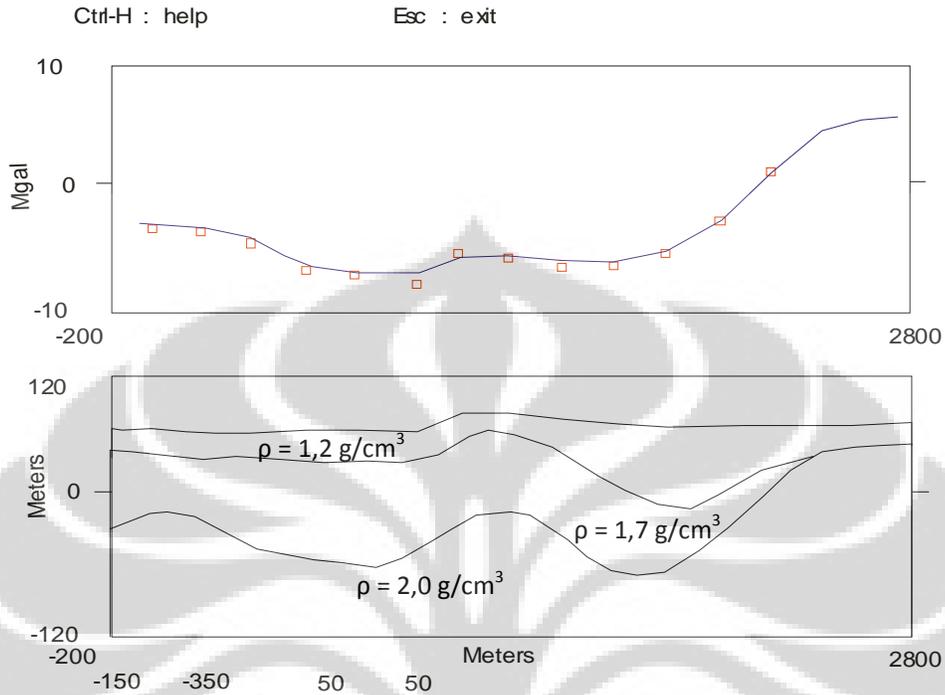
Lapisan yang terakhir adalah lapisan basement Formasi Bojongmanik dengan rentang nilai resistivitas $>100 \text{ Ohm.m}$. Nilai densitynya diperkirakan adalah 2 gr/cm^3 , karena formasi ini kebanyakan merupakan perselingan konglomerat, batu pasir tuf dan batulanau dan digolongkan dalam basement dangkal. Lapisan ini relatif lebih dominan atau cenderung menebal pada daerah bagian Utara dan sedikit terlihat di bagian Selatan. Lapisan ini muncul pada titik pengukuran UI 57, UI 66 sampai UI 70 serta UI 72 sampai dengan UI 77. Kedalaman lapisan ini berkisar antara 55 – 130 m. Hal ini hampir sama dengan hasil yang di dapat pada pengolahan data gravitasi yang menunjukkan bahwa pada daerah sekitar titik pengukuran tersebut kemungkinan ada basement yang naik, mendekati permukaan, sehingga nilai anomali residual di daerah bagian utara ini juga tinggi.



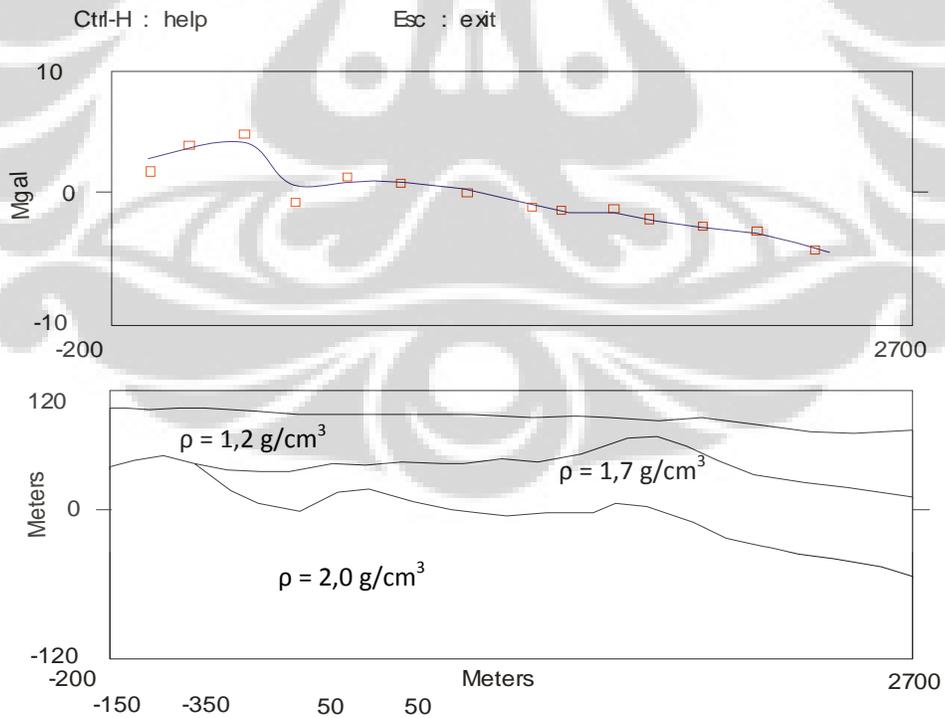
Gambar 5.9 Hasil Data Resistivitas lintasan 3



Gambar 5.10 Hasil Pemodelan Gravitasi 2.D Lintasan 3



Gambar 5.11 Hasil Pemodelan Gravitasi 2.D Lintasan 4



Gambar 5.12 Hasil Pemodelan Gravitasi 2.D Lintasan 5

5.3 Pemodelan 3D

Dengan data lapisan yang diuraikan di atas, pemodelan dua-dimensi telah dihasilkan untuk menjelaskan variasi pengamatan gaya berat disepanjang kampus UI. Dalam software pemodelan, Grav2D, pemakai menggambarkan poligon yang mewakili batuan atau unit sedimen dan kemudian menampilkan nilai density mewakili jenis batuan.

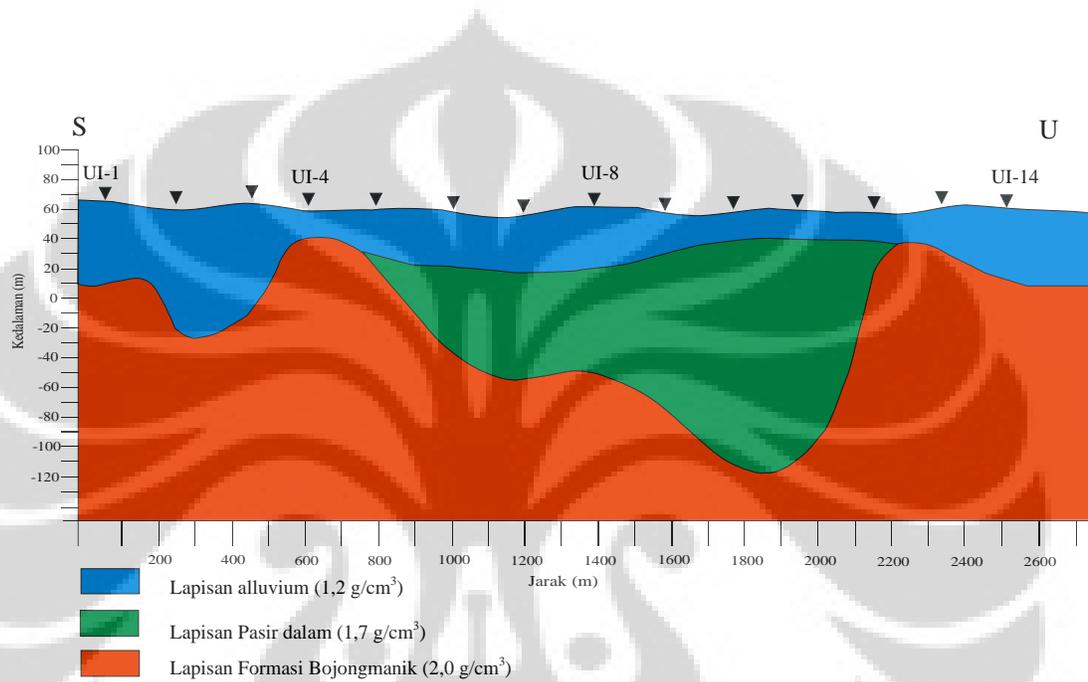
Penampang struktur batuan bawah-permukaan Kampus UI Depok yang didapatkan dari hasil pemodelan 2-D dan interpretasi diatas terdiri dari tiga bodi untuk lintasan 1 sampai dengan 4 yang didapat dari pemodelan inversi 2.5-D seperti yang digambarkan diatas. Untuk gambaran penampang berarah selatan – utara diinterpretasikan sebagai berikut:

- Bodi I merupakan batuan *basement* dangkal yang memiliki densitas rata-rata sebesar $2,0 \text{ gr/cm}^3$. Batuan ini diperkirakan merupakan Formasi Bojongmanik. Dari Gambar 4.6 dapat dilihat adanya anomaly nilai gravitasi yang tinggi. Hal ini hampir sama dengan hasil yang di dapat pada pengolahan data resistivity yang menunjukkan nilai resistivitas yang tinggi. Pola penyebaran anomaly Bouguer secara umum relatif sama dengan anomaly residual (Gambar 4.6). Nilai anomaly Bouguer semakin besar ke arah utara daerah penelitian yang disebabkan oleh batuan *basement* yang semakin dekat kepermukaan. Kontur anomaly negatif mengindikasikan terdapatnya kemungkinan struktur graben. Dan diisi oleh struktur yang lebih muda. Anomaly negatif ini kemungkinan disebabkan oleh kontras densitas

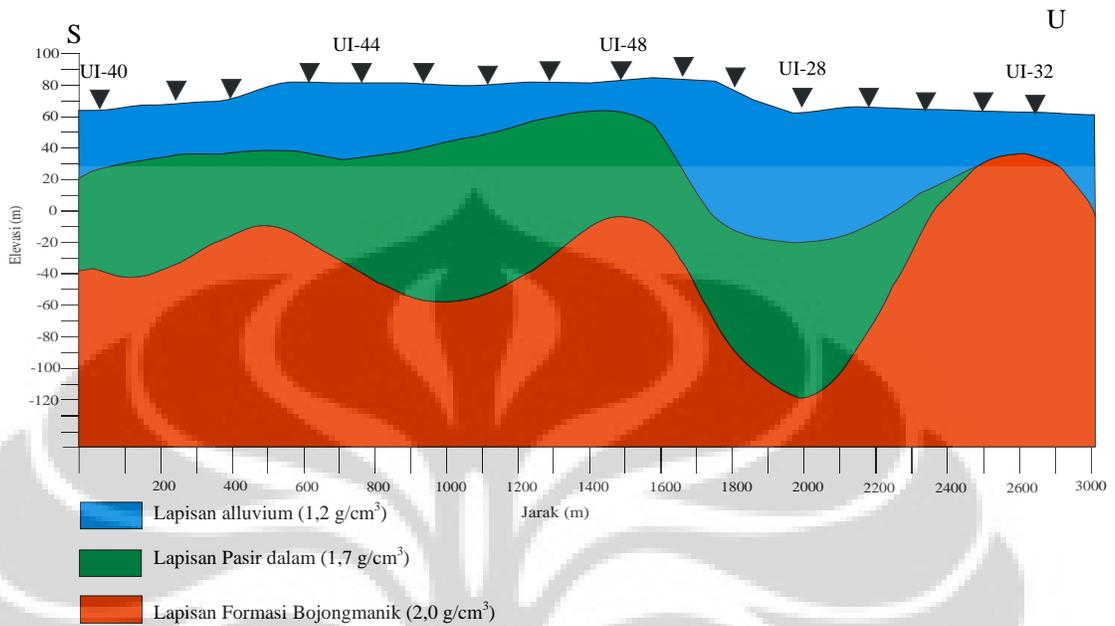
antara batuan pengisi graben memiliki nilai density yang jauh lebih kecil dari basement itu sendiri.

- Bodi II merupakan batuan yang memiliki densitas rata-rata sebesar 1,2 gr/cm³. Batuan ini merupakan batuan penukaan yang kemungkinan adalah perselingan tuf halus berlapis dengan satuan pasir, konglomerat dan batu apung. Lapisan ini dianggap merupakan *unsaturated zone* yang memungkinkan air untuk terserap ke *subsurface* sampai ke *water table*. Sebagian daerah ini dianggap juga sebagai akuifer dangkal. Dari data Geologi Lembar Jakarta, daerah ini merupakan daerah endapan alluvium. Pada Gambar 5.11 dan 5.12, merupakan lintasan pengukuran gravitasi dimana lintasan 4 dari data anomali residual menunjukkan nilai yang rendah yang mengindikasikan akuifer yang lebih dalam.
- Bodi III merupakan batuan yang memiliki densitas rata-rata sebesar 1,7 gr/cc. Batuan ini merupakan batuan pasir perselingan dengan tuf konglomerat. Daerah ini bertindak sebagai medium untuk mengalirkan air tanah dan sebagai reservoir untuk penyimpanan air. Air meresap pada daerah ini dari permukaan dan dialirkan secara perlahan ketempat yang jauh sampai kembali kepermukaan oleh aliran alami. Untuk daerah UI sendiri, dari interpretasi kedalaman lapisan ini diperkirakan antara 20-120 meter dengan ketebalan rata-rata sekitar 80 m dan luas Kampus UI adalah $A = 3.610.000 \text{ m}^2$. Volume akuifer yang didapat dari pengukuran volume upper Formasi Bojongmanik dengan program sufer diperkirakan $109.093.360 \text{ m}^3$.

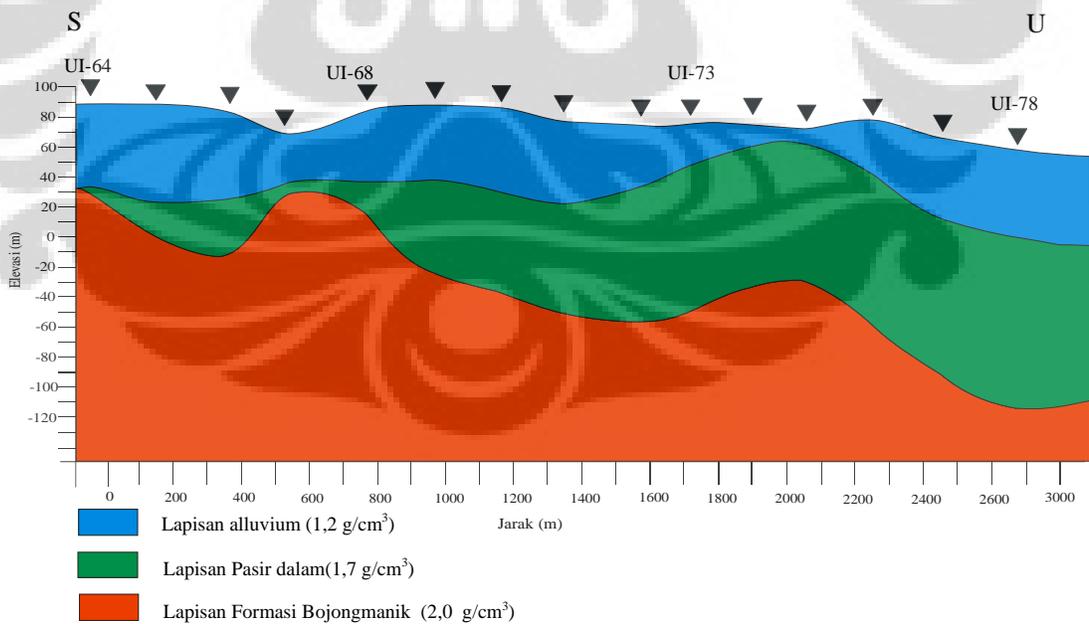
Dari hasil interpretasi lintasan 1, 2 dan 3, juga lintasan gravitasi tambahan didapat suatu pola pelapisan stuktur yang secara 3D dapat dilihat pada Gambar 5.18 dan 5.19.



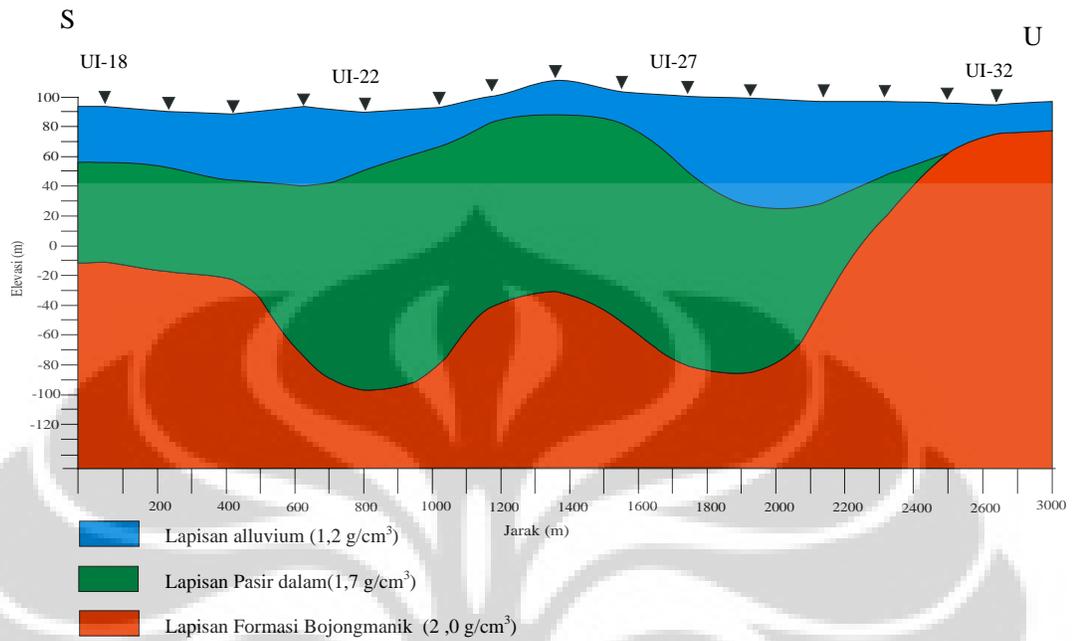
Gambar 5.13 Struktur lapisan berdasarkan Pemodelan Gravitasi 2.D Lintasan 1



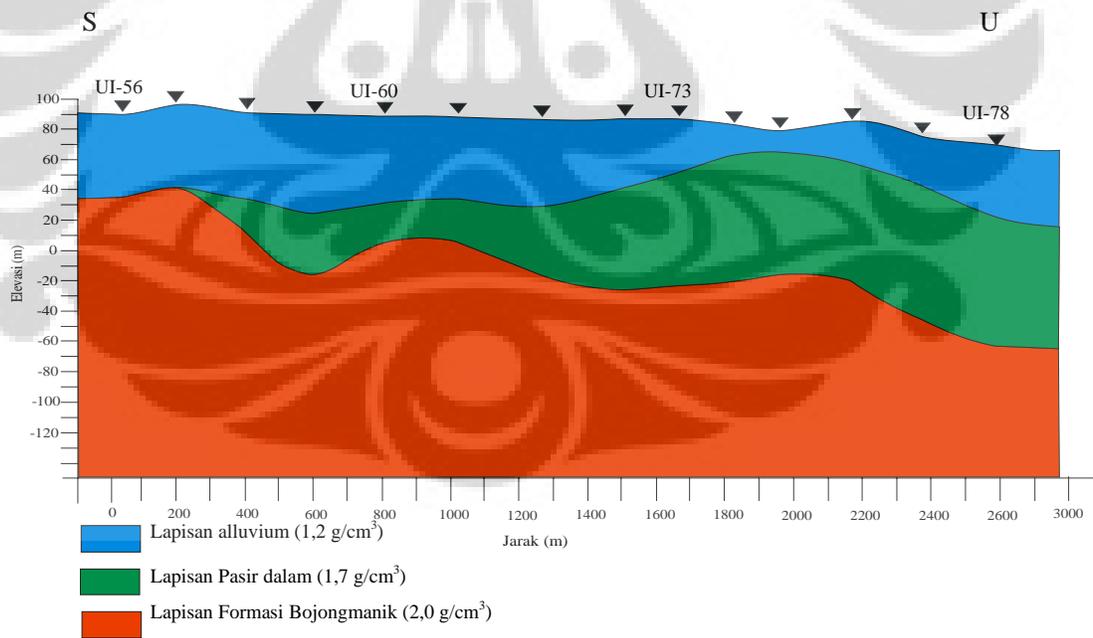
Gambar 5.14 Struktur lapisan berdasarkan Pemodelan Gravitasi 2.D Lintasan 2



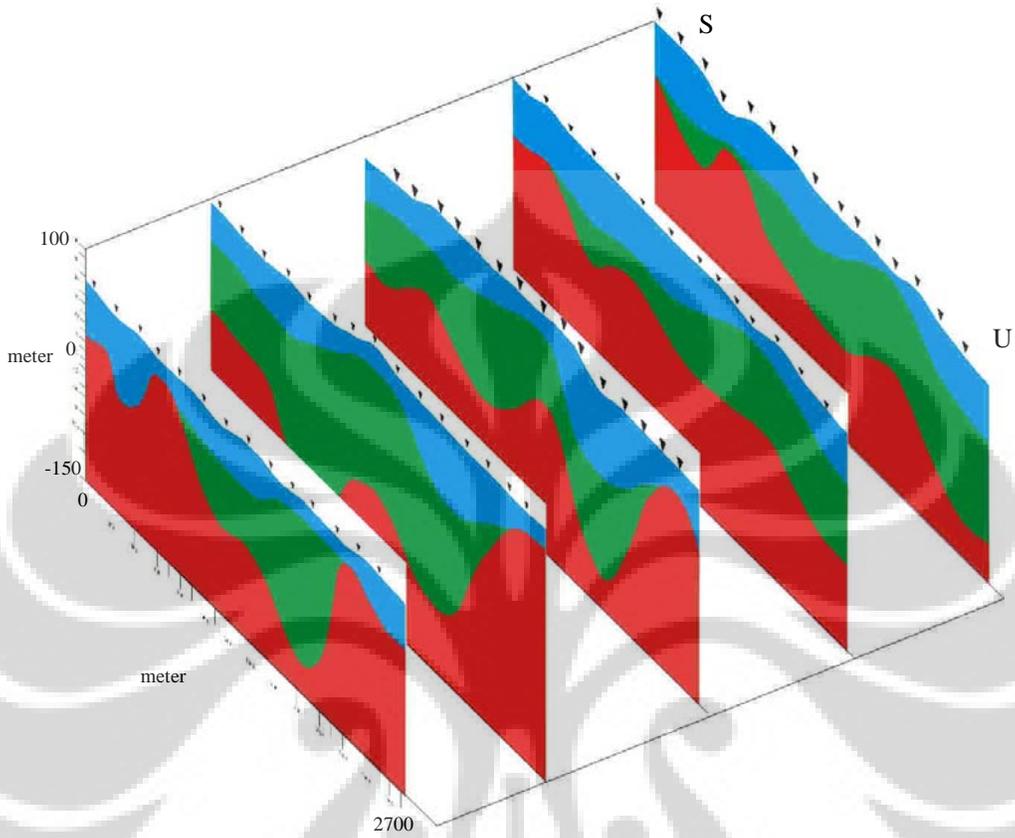
Gambar 5.15 Struktur lapisan berdasarkan Pemodelan Gravitasi 2.D Lintasan 3



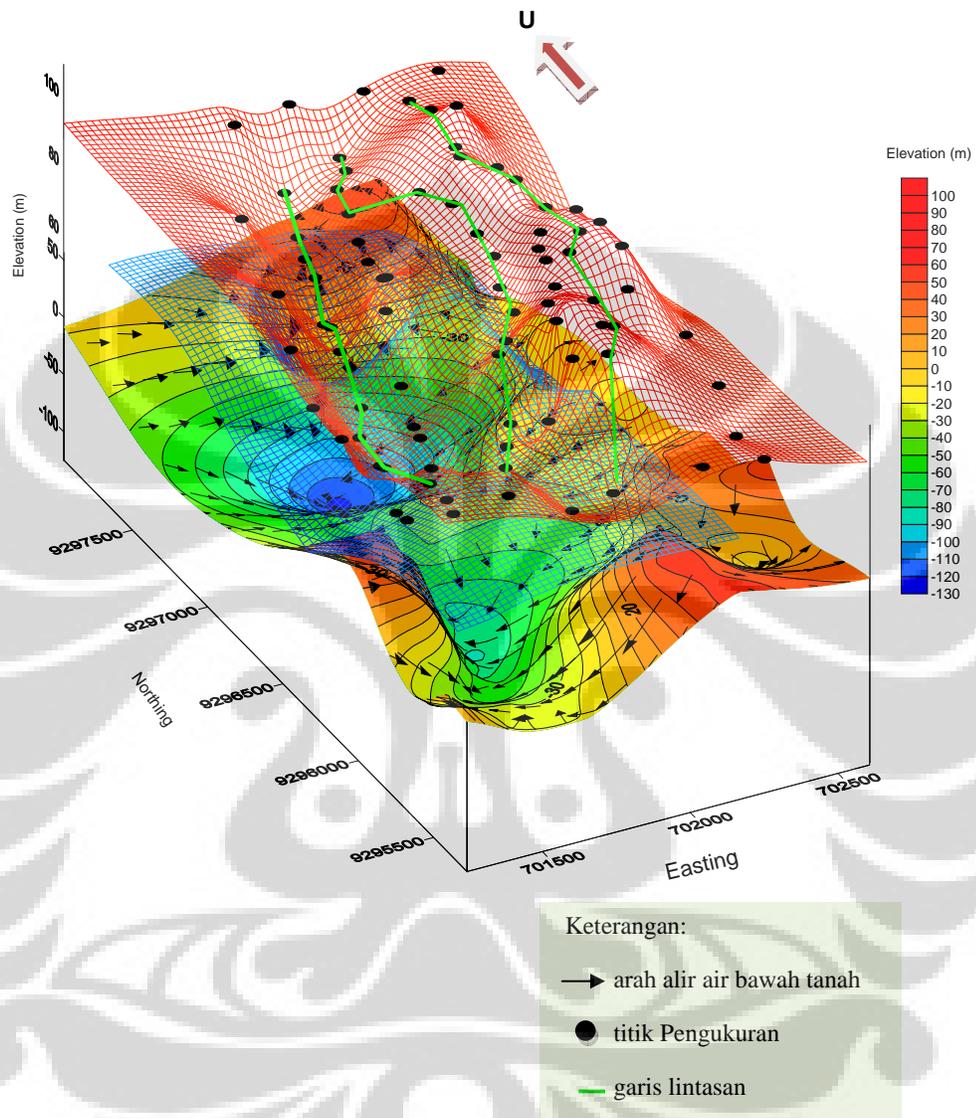
Gambar 5.16 Struktur lapisan berdasarkan Pemodelan Gravitasi 2.D Lintasan 4



Gambar 5.17 Struktur lapisan berdasarkan Pemodelan Gravitasi 2.D Lintasan 5



Gambar 5.18 Tampilan 2 dimensi dari Hasil Pemodelan Gravitasi 2.D



Gambar 5.19 Hasil Pemodelan 3 dimensi Gravitasi 2.D

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai anomali residual untuk daerah bagian Utara cenderung tinggi yang mengindikasikan bahwa pada daerah tersebut basement yang dalam hal ini adalah Formasi Bojong Manik mendekati ke permukaan. Ke arah Selatan untuk lintasan 2 cenderung rendah yang mengindikasikan adanya lapisan dengan nilai densitas yang rendah dan diduga sebagai akuifer dalam
2. Berdasarkan dari data Wenner-Schlumberger diperkirakan kedalaman basement, dan hasil yang didapatkan dari pemodelan gravitasi dengan menggunakan Grav2d mirip dengan pola yang didapat dari data Wenner-Schlumberger yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya.
3. Dari data resistivitas dan data gravitasi memperlihatkan kedalaman rata-rata basement adalah 30-150 m dengan densitas $2,0 \text{ gr/cm}^3$ yang didominasi oleh tuf batu gamping dan batuan lempung, dan terdapat juga batuan pasir dengan densitas $1,2 \text{ gr/cm}^3$. Basement disini merupakan Formasi Bojongmanik sebagai basement dangkal. Sedangkan untuk ketebalan akuifer sendiri adalah sekitar 80 m, dan kedalaman rata-rata akuifer diperkirakan antara 20-120 m. Volume akuifer di wilayah kampus UI Depok diperkirakan sekitar $109.093.360 \text{ m}^3$.

4. Berdasarkan pemodelan yang telah dilakukan dapat dilihat pada beberapa lokasi pengukuran di Lintasan 1, terpetakan akuifer yang berada di atas Formasi Bojongmanik dan rekomendasi daerah prospek untuk penggalan sumur adalah di sekitar Titik Pengukuran UI-8 sampai dengan UI-11. Dan pada Lintasan 2 di sekitar titik UI-25 sampai UI-27.

6.2 Saran

1. Supaya didapatkan hasil interpretasi geologi yang lebih baik, sebaiknya menggunakan data tambahan seperti data sumur sebagai acuan untuk penentuan kedalaman dan ketebalan lapisan.
2. Disarankan dalam pengukuran dilapangan stasiun pengukuran dan interval antar stasiun yang terdistribusi secara baik dan jarak pengukuran juga diperhatikan sehingga data anomali gravitasi atau gayaberat yang diperoleh lebih akurat dan memudahkan proses pembuatan model dan diperoleh hasil interpretasi geologi melalui pemodelan yang cukup representatif.
3. Dalam pengukuran juga harus diperhatikan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi pembacaan *gravitometer*.

REFERENSI

- Alan E. M., Aftab Khan, *Looking Into The Earth*, Cambridge University Press
- Albert J. Genetti, Jr. 1999, *Engineering and Design Groundwater Hydrology*, Department Of The Army U.S. Army Corps Of Engineers.
- Assegaf T, 2006, *Pemodelan Hidrogeologi Sistem Air Bawah-Tanah Di Wilayah Kampus UI Depok Dengan Menggunakan Metode Resistivitas Wenner-Schlumberger Dan Self-Potential*, Universitas Indonesia.
- Bernard J., 2003, Short Note On The Depth Of Investigation of Electrical Methods, www.heritagegeophysics.com.
- Fauzi D. A., 2005, *Eksplorasi Air Bawah Tanah Di Wilayah Kampus Ui Depok Dengan Metode Resistivitas Schlumberger*, Universitas Indonesia.
- Fitriyadi A., *Pemodelan dua Dimensi Batuan Dasar (Basement) di Daerah Pembuang (Kalimantan Tengah) dengan Menggunakan Metode Gravitasi*, Skripsi, Universitas Indonesia.
- Fetter, C. W. 2001, *Applied Hydrogeology*, Prentice Hall Inc, New Jersey.
- Gerhard S., 2004, *Groundwater Modelling in the Greater Jakarta Area, Indonesia*, Proceedings 41th Coordinating Committee For Geoscience Programmes In East And Southeast Asia (CCOP), Japan.
- Harsanti D., 2004, *Pemodelan Forward 2-D Dan Inversi 2.5-D Data Gravitasi Untuk Menentukan Struktur Bawah-Permukaan Dan Model Hidrogeologi Pada Daerah Prospek Geotermal Ulubelu, Lampung*, Universitas Indonesia.
- Munadi S., 2006, *Instrumentasi Geofisika*, Program Studi Geofisika Universitas Indonesia.
- Jared D dan Jeffrey E., 2004, *Direct Current Resistivity Profiling to Study Distribution of Water in the Unsaturated Zone near the Amargosa Desert Research Site, Nevada*, Geological Survey, Reston, Virginia.
- Takirman, 2007, *Pemodelan Anomali Gaya Berat Untuk Analisa Struktur*, Institut Teknologi Bandung.
- T.Turkandi, Sidarto, 1992, *Geologi Lembar Jakarta dan Kepulauan Seribu*, Jawa, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi