



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR -RF 141501

**DISTRIBUSI SEBARAN AKUIFER AIR TANAH
MENGUNAKAN DATA RESISTIVITAS METODE
VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING (VES)
KONFIGURASI *SCHLUMBERGER*
(STUDI KASUS KABUPATEN PALU PROVINSI
SULAWESI TENGAH)**

YUSUF SYIFAURROHMAN
NRP. 3714100023

Dosen Pembimbing :

Dr. Widya Utama, DEA
NIP. 19611024 198803 1 001

Wien Lestari, S.T., M.T.
NIP. 198111002 21212 2 003

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



Tugas Akhir – RF 141501

**DISTRIBUSI SEBARAN AKUIFER AIR TANAH MENGGUNAKAN
DATA RESISTIVITAS METODE *VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING*
(VES) KONFIGURASI *SCHLUMBERGER*
(STUDI KASUS KABUPATEN PALU PROVINSI SULAWESI TENGAH)**

YUSUF SYIFAURROHMAN
NRP. 3714100023

Dosen Pembimbing :

Dr. Widya Utama, DEA
NIP. 19611024 198803 1 001

Wien Lestari, S.T., M.T.
NIP. 198111002 21212 2 003

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan



Thesis – RF 141501

**GROUNDWATER AQUIFER DISTRIBUTION USING RESISTIVITY
METHOD VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING (VES)
SCHLUMBERGER CONFIGURATION
(CASE STUDY OF PALU DISTRICT CENTRAL SULAWESI
PROVINCE)**

YUSUF SYIFAURROHMAN
NRP. 3714100023

Advisor :

Dr. Widya Utama, DEA
NIP. 19611024 198803 1 001

Wien Lestari, S.T., M.T.
NIP. 198111002 21212 2 003

GEOPHYSICS ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty Of Civil, Environmental, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DISTRIBUSI SEBARAN AKUIFER AIR TANAH MENGGUNAKAN
DATA RESISTIVITAS METODE *VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING*
(VES) KONFIGURASI *SCHLUMBERGER*
(STUDI KASUS KABUPATEN PALU PROVINSI SULAWESI TENGAH)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Surabaya, 24 Juli 2018



Menyetujui,

1. Dr. Widya Utama, DEA (Pembimbing I)
NIP. 19611024 198803 1 001
2. Wien Lestari, S.T., M.T. (Pembimbing II)
NIP. 198111002 21212 2 003
3. Anik Hilyah, S.Si., MT (Penguji I)
NIP. 197908132 00812 2 002
4. Juan Pandu GNR, S.Si., MT (Penguji II)
NIP. 19890612 201504 1 003

Mengetahui,

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

Wien Lestari, S.T., M.T.
NIP. 198111002 21212 2003



Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa seluruh isi dari tugas akhir saya dengan judul “Distribusi Sebaran Akuifer Air Tanah Menggunakan Data Resistivitas Metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) Konfigurasi *Schlumberger* (Studi Kasus Kabupaten Palu Provinsi Sulawesi Tengah)” adalah benar-benar hasil dari karya intelektual mandiri dan diselesaikan tidak menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya saya sendiri.

Semua referensi Tugas Akhir yang dikutip dari sumber-sumber terkait telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila pada kemudian hari pernyataan ini tidak benar, maka saya sebagai penulis bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 24 Juli 2018



Yusuf Syifaurohman
NRP. 3714100023

Halaman ini sengaja dikosongkan

Distribusi Sebaran Akuifer Air Tanah Menggunakan Data Resistivitas Metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) Konfigurasi *Schlumberger* (Studi Kasus Kabupaten Palu Provinsi Sulawesi Tengah)

Nama : Yusuf Syifaurohman
NRP : 3714100023
Departemen : Teknik Geofisika
Pembimbing I : Dr. Widya Utama, DEA
Pembimbing II : Wien Lestari, S.T., M.T.

ABSTRAK

Daerah penelitian ini beririsan dengan peta Cekungan Air Tanah (CAT) Palu yang merupakan gabungan beberapa akuifer. Digunakan *Vertical Electrical Sounding* (VES) yang merupakan penggambaran sebaran nilai lapisan resistivitas secara vertikal 1 dimensi. Penelitian ini menggunakan konfigurasi *schlumberger* pada daerah penelitian dengan 12 titik ukur VES (VES1 – VES12) dengan panjang lintasan 200 m (VES3, VES4, VES11), 160 m (VES12), dan 400 m pada 8 titik VES lainnya. Hasil pengolahan VES dimodelkan 3 dimensi, selanjutnya dikorelasikan dengan peta CAT Palu untuk determinasi zona yang berpotensi sebagai akuifer. Geologi daerah penelitian terdiri dari Qap dan QTms yang masing-masing memiliki komponen pasir yang dapat berpotensi sebagai akuifer. Hasil pengukuran VES menunjukkan sebaran nilai resistivitas sebesar 13 s.d. 1202 Ohm.m. Persebaran nilai resistivitas berdasarkan litologi penyusun adalah < 20 Ohm.m merupakan batu lumpur, 20-120 Ohm.m merupakan batu pasir atau endapan pasir, > 120 Ohm.m merupakan batu gamping, dan 0-200 Ohm.m merupakan aluvium. Titik pengukuran yang terkorelasi dengan CAT Palu terdiri dari titik VES3, VES4, VES6, dan VES8 memiliki lapisan yang berpotensi lebih kuat sebagai akuifer dengan rentang kedalaman masing-masing 4,5-58,2 m; 8,7-36,3 m; 3,6-97,5 m; dan 33,2-99,2 m. Penentuan daerah resapan air dilakukan dengan analisis topografi, dihasilkan area tersebut berada pada timur laut daerah penelitian dengan rentang elevasi 1400 s.d. 300 m. Pada daerah penelitian telah ditunjukkan potensi zona akuifer dengan tanda resistivitas yang cenderung lebih rendah dan litologi batu pasir atau endapan pasir yang memungkinkan adanya aliran fluida. Masalah ketersediaan air tanah diduga berkaitan dengan saturasi dan melalui analisis neraca air sederhana potensi akuifer ini juga mengalami defisit 12.129.481 m³/bulan bila dijadikan sumber air tunggal di daerah penelitian. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan sumur pengamatan untuk justifikasi data resistivitas dan mengetahui karakteristik distribusi air tanah pada zona potensi akuifer.

Kata kunci : Akuifer, Air tanah, Kabupaten Palu, Resistivitas

Halaman ini sengaja dikosongkan

**Groundwater Aquifer Distribution Using Resistivity Method Vertical
Electical Sounding (VES) Schlumberger Configuration
(Case Study Of Palu District Central Sulawesi Province)**

Name : Yusuf Syifaurohman
NRP : 3714100023
Department : Teknik Geofisika
Advisor I : Dr. Widya Utama, DEA
Advisor II : Wien Lestari, S.T., M.T.

ABSTRACT

The research area is intercepted with the groundwater basin map of Palu which is a interconnected of several aquifers. Used Vertical Electrical Sounding (VES) which is a depiction of vertical resistivity layer in 1 dimension. This research used schlumberger configuration in the study area with 12 VES measuring points (VES1 - VES12) with a 200 m track length (VES3, VES4, VES11), 160 m (VES12), and 400 m at 8 other VES points. VES processing results are modeled in 3 dimensionally, then correlated with groundwater basin map of Palu for determination of potential zones as aquifers. The geology of the research area consists of Qap and QTms each of which have sandy contents that could potentially be aquifer. The result of VES measurement shows the distribution of resistivity value of 13-1202 Ohm.m. The distribution of resistivity values based on composite lithology is <20 Ohm.m is mudstone, 20-120 Ohm.m is a sandstone or sand deposits, >120 Ohm.m is a limestone, and 0-200 Ohm.m is alluvial. The measurement point correlated with the groundwater basin map of Palu consisting of VES3, VES4, VES6, and VES8 points has a potentially more potent layer as aquifer with a depth range of 4.5-58.2 m; 8,7-36,3 m; 3,6-97,5 m; and 33.2-99.2 m. Determination of the water catchment area was carried out by topographic analysis, resulting in the area located in the northeast of the study area with an elevation range of 1400 s.d. 300 m. In the research area has been shown the potential of the aquifer zone with the sign of a resistivity that tends to be lower and the fitting lithology that allows the flow of fluid. The problem of groundwater resource is allegedly related to saturation and through a simple water balance analysis this aquifer potential also has a deficit of 12,129,481 m³ / month if it is used as a single water source in the research area. Further research is suggested to use observation wells for justification of resistivity data and to know the characteristics of groundwater distribution in the aquifer potentially zone.

Keywords : Aquifer, Groundwater, Palu District, Resistivity

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena dengan rahmat dan ridhoNya laporan tugas akhir dengan judul “Distribusi Sebaran Akuifer Air Tanah Menggunakan Data Resistivitas Metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) Konfigurasi *Schlumberger* (Studi Kasus Kabupaten Palu Provinsi Sulawesi Tengah)” dapat terselesaikan.

Penyelesaian ini tentunya juga melibatkan berbagai pihak selain penulis. Dalam penulisan maupun proses pelaksanaan tidak terlepas dari bimbingan, saran dan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih pada :

1. Orang tua penulis yang senantiasa memberikan dukungan material maupun moril pada pelaksanaan perkuliahan hingga tugas akhir ini
2. Dr. Widya Utama, DEA selaku pembimbing tugas akhir dan kepala Departemen Teknik Geofisika ITS yang senantiasa memberikan bimbingan dan izin melakukan berbagai kegiatan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
3. Wien Lestari, S.Si, M.T., selaku pembimbing tugas akhir dan ketua Laboratorium Petrofisika Teknik Geofisika ITS yang senantiasa memberikan saran dan bimbingan hingga terselesaikannya laporan kerja praktik ini.
4. Triswan Mardani Ade Surya S.T., selaku alumni Teknik Geofisika ITS yang telah memberikan data VES pada data tugas akhir ini.
5. Teman-teman TG03 yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan pada pelaksanaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa pengembangan keilmuan tidak berhenti pada suatu hasil. Kritik, saran maupun diskusi diperlukan agar kebermanfaatan laporan tugas akhir ini semakin dirasakan pembaca maupun pribadi penulis.

Surabaya, 24 Juli 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Studi Literatur	5
2.1.1 Geologi Regional	5
2.1.2 Cekungan Air Tanah (CAT) Palu	6
2.2 Dasar Teori.....	7
2.2.1 Prinsip Resistivitas Batuan Dalam Geolistrik	7
2.2.2 Resistivitas Semu.....	10
2.2.3 Konfigurasi <i>Schlumberger</i>	11
2.2.4 Air tanah	12
2.2.5 <i>Inverse Distance Weighting (IDW)</i>	13
2.2.6 Penelitian Terdahulu	14
BAB III METODOLOGI	17
3.1 Desain Akuisisi Data.....	17

3.2	Data yang Digunakan.....	19
3.3	Diagram Alir	20
3.4	Penjelasan Diagram Alir	21
3.4.1	Perhitungan Resistivitas Semu dari Data Pengukuran.....	21
3.4.2	Inversi Data VES	22
3.4.3	Interpretasi Data VES	25
3.4.4	Pemodelan 3 Dimensi.....	26
3.4.5	Analisis Daerah Resapan Area	28
3.4.6	Analisis Neraca Air	29
3.5	<i>Timeline</i> Tugas Akhir	30
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN		31
4.1	Analisis Data dan Interpretasi	31
4.1.1	Analisis Hasil Pengukuran VES1	37
4.1.2	Analisis Hasil Pengukuran VES2	38
4.1.3	Analisis Hasil Pengukuran VES3	39
4.1.4	Analisis Hasil Pengukuran VES4	40
4.1.5	Analisis Hasil Pengukuran VES5	41
4.1.6	Analisis Hasil Pengukuran VES6.....	42
4.1.7	Analisis Hasil Pengukuran VES7	43
4.1.8	Analisis Hasil Pengukuran VES8	44
4.1.9	Analisis Hasil Pengukuran VES9	45
4.1.10	Analisis Hasil Pengukuran VES10.....	46
4.1.11	Analisis Hasil Pengukuran VES11	47
4.1.12	Analisis Hasil Pengukuran VES12.....	48
4.2	Pembahasan Distribusi Air Tanah	48
4.2.1	Analisis Aliran Air Tanah dan Korelasi dengan Peta CAT Palu	49
4.2.2	Pemodelan 3 Dimensi.....	50
4.2.3	Analisis Daerah Resapan Air Tanah.....	55
4.2.4	Analisis Neraca Air	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		59

5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA		61
LAMPIRAN		65
PROFIL PENULIS		73

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta geologi regional lembar Palu (a) Peta geologi berkaitan daerah pengukuran, (b) Keterangan batuan (Sukamto dkk., 1973)	6
Gambar 2.2 Peta hidrogeologi Palu (PANSIMAS, 2017).....	7
Gambar 2.3 Susunan elektroda arus dan potensial (Telford, 1990)	10
Gambar 2.4 Ekipotensial bumi pada permukaan homogen (Reynold, 1997) ...	10
Gambar 2.5 Penempatan elektroda arus dan beda potensial konfigurasi <i>schlumberger</i> (Bahri, 2005 dalam Wardhana, 2017)	12
Gambar 2.6 Skema pengambilan data VES (Akawwi dkk., 2014)	12
Gambar 2.7 Siklus hidrologi (Evans dan Perlman, 2016).....	13
Gambar 2.8 Contoh korelasi 5 titik penampang resistivitas 1D (Febriana, 2017)	15
Gambar 3.1 <i>Plotting</i> titik pengukuran <i>overlay</i> dengan peta geologi.....	18
Gambar 3.2 <i>Plotting</i> titik pengukuran <i>overlay</i> dengan peta hidrogeologi	19
Gambar 3.3 Diagram alir penelitian.....	20
Gambar 3.4 Graifk <i>QC</i> nilai resistivitas semu terhdap AB/2 VES1	22
Gambar 3.5 Input data inversi VES	23
Gambar 3.6 <i>Smoothing</i> kurva data pengukuran resistivitas semu	23
Gambar 3.7 Proses <i>curve matching inversion</i>	24
Gambar 3.8 Hasil inversi data ves	24
Gambar 3.9 Perataan sebaran nilai resistivitas semu	25
Gambar 3.10 Contoh proses <i>input</i> data pemodelan 3 dimensi (a) hasil interpretasi litologi (b) hasil range interval resistivitas	26
Gambar 3.11 <i>Plot</i> data VES sebagai data sumur	27
Gambar 3.12 <i>Resistivity solid model</i> 3 dimensi	28
Gambar 3.13 <i>Raw data</i> peta SRTM.....	28
Gambar 3.14 Analisis Daerah Resapan Air	29
Gambar 3.15 Grafik realisasi kumulatif.....	30
Gambar 4.1 Tes parameter <i>forward model</i> resistivitas tinggi ke lebih rendah..	33
Gambar 4.2 Tes parameter <i>forward model</i> resistivitas rendah ke lebih tinggi..	33
Gambar 4.3 Contoh hasil <i>curve matching inversion</i> VES1	35
Gambar 4.4 Perataan sebaran nilai resistivitas semu	35
Gambar 4.5 Hasil <i>curve matching inversion</i> VES1	37
Gambar 4.6 Hasil <i>curve matching inversion</i> VES2	38
Gambar 4.7 Hasil <i>curve matching inversion</i> VES3	39
Gambar 4.8 Hasil <i>curve matching inversion</i> VES4	40
Gambar 4.9 Hasil <i>curve matching inversion</i> VES5	41
Gambar 4.10 Hasil <i>curve matching inversion</i> VES6	42
Gambar 4.11 Hasil <i>curve matching inversion</i> VES7	43
Gambar 4.12 Hasil <i>curve matching inversion</i> VES8	44
Gambar 4.13 Hasil <i>curve matching inversion</i> VES9	45
Gambar 4.14 Hasil <i>curve matching inversion</i> VES10	46

Gambar 4.15 Hasil <i>curve matching inversion</i> VES11	47
Gambar 4.16 Hasil <i>curve matching inversion</i> VES12.....	48
Gambar 4.17 <i>Solid model</i> 3 dimensi data VES1-VES12.....	51
Gambar 4.18 <i>Slicing</i> model resistivitas 3 dimensi	52
Gambar 4.19 Model zona berpotensi akuifer hasil korelasi dengan CAT	53
Gambar 4.20 Distribusi air tanah pada zona akuifer berdasarkan elevasi dan ketebalan terendah.....	54
Gambar 4.21 Daerah resapan air tanah berdasarkan topografi	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel nilai resistivitas material (Loke, 2001)	8
Tabel 3.1 Koordinat titik pengukuran dan elevasi	17
Tabel 3.2 Contoh data <i>raw</i> titik ves1 beserta hasil perhitungan resistivitas semu	21
Tabel 3.3 Contoh tabel interpretasi pada titik ukur VES1	25
Tabel 3.4 <i>Timeline</i> pengerjaan dan penyusunan tugas akhir.....	30
Tabel 4.1 Interpretasi litologi batuan dengan nilai <i>range</i> resistivitas	36
Tabel 4.2 Hasil interpretasi geologi VES1	37
Tabel 4.3 Hasil interpretasi geologi VES2	38
Tabel 4.4 Hasil interpretasi geologi VES3	39
Tabel 4.5 Hasil interpretasi geologi VES4	40
Tabel 4.6 Hasil interpretasi geologi VES6	41
Tabel 4.7 Hasil interpretasi geologi VES6	42
Tabel 4.8 Hasil interpretasi geologi VES7	43
Tabel 4.9 Hasil interpretasi geologi VES8	44
Tabel 4.10 Hasil interpretasi geologi VES9.....	45
Tabel 4.11 Hasil interpretasi geologi VES10.....	46
Tabel 4.12 Hasil interpretasi geologi VES11.....	47
Tabel 4.13 Hasil interpretasi geologi VES12.....	48
Tabel 4.14 Potensi zona akuifer hasil korelasi titik ukur VES dengan peta CAT Palu	49
Tabel 4.15 Data-data sekunder yang digunakan dalam analisis neraca air	56

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber Daya Alam (SDA) yang terpenting bagi kehidupan manusia adalah air. Secara jenisnya air tergolong sebagai SDA yang dapat diperbarui. Hal tersebut dijelaskan pada siklus hidrologi. Permasalahan yang timbul pada hal ini adalah terkait ketersediaan air tanah pada suatu wilayah. Jumlah penduduk sebagai faktor utama konsumsi air tanah yang digunakan kebutuhan utama dalam sehari-hari (Febriana, 2017). Sehingga frekuensi pertumbuhan penduduk dan aspek sosial budaya dapat mempengaruhi ketersediaan air tanah (Geologi, 2007). Secara batas geografi dan politis Palu merupakan ibukota provinsi sehingga dapat dikatakan kebutuhan air tanah pada Kabupaten Palu lebih besar daripada kabupaten lainnya yang berbatasan. Faktor eksploitasi air tanah tersebut dapat dibandingkan dengan ketersediaan akuifer yang berada di Kabupaten Palu.

Akuifer berperan sebagai tempat penyimpanan air tanah secara alami terbentuk dari proses geologi. Secara regional Kabupaten Palu terdapat Cekungan Air Tanah (CAT) Palu yang meliputi beberapa kabupaten. Hal ini berkaitan erat dengan struktur geologi Palu yang merupakan Graben. Potensi CAT pada suatu wilayah satuan hidrogeologi berkaitan erat dengan jenis akuifer dan dimensi ruangnya. Sehingga dapat ditentukan potensi air tanah pada suatu wilayah bila mengetahui penggambaran akuifer berdasarkan satuan tersebut (Zefftini, 2013). Pada penelitian ini akan dilakukan pemetaan potensi akuifer pada daerah pengukuran secara spesifik. Pada daerah penelitian terdapat batuan geologi Qap yang merupakan endapan aluvium pantai. Pada sisi lain terdapat QTms yang terdiri dari batuan sedimen seperti konglomerat, batupasir, batulumpur, batu gamping (Sukanto dkk., 1973). Hal terkait adalah permukaan pada daerah penelitian seluruhnya ditutupi oleh tanah jenis aluvium (SIMKOT, 2005). Adanya faktor geologi tersebut dapat menimbulkan potensi jenis akuifer pasir, dimana pasir memiliki porositas dan permeabilitas yang baik terhadap fluida.

Metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) merupakan metode untuk penentuan nilai resistivitas pada bawah permukaan bumi. Hal ini berprinsip pada perhitungan potensial yang didapatkan dari arus yang diberikan. Arus tersebut diukur dengan anggapan sumur (arah vertikal), sehingga metode resistivitas dapat menentukan resistivitas bawah permukaan secara efektif (Telford, 1990). Konfigurasi VES *Schlumberger* dapat menentukan nilai resistivitas dengan resolusi vertikal yang baik. Hal ini juga berkaitan dengan sifat resistivitas air yang lebih rendah dari batuan sehingga dapat didefinisikan perkiraan tebal akuifer pada suatu wilayah pengukuran di Kabupaten Palu. Dari data penampang resistivitas satu dimensi pada satu titik dapat dikorelasi dengan titik VES yang lain. Sehingga bisa didapatkan pemetaan potensi akuifer air tanah

pada lokasi pengukuran. Hingga kini VES terbukti sebagai metode efektif yang digunakan dalam eksplorasi air tanah (Massoud dkk., 2015).

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang di atas maka dapat ditarik rumusan masalah sebagai berikut,

1. Bagaimana karakteristik resistivitas lapisan batuan pada wilayah Kabupaten Palu?
2. Bagaimana menentukan cara yang tepat dalam pemetaan akuifer air tanah dengan metode VES konfigurasi *Schlumberger*?

1.3 Tujuan

Pada penelitian ini memiliki beberapa tujuan antara lain,

1. Mengetahui sebaran nilai resistivitas lapisan batuan pada daerah pengukuran di Kabupaten Palu.
2. Pemetaan zona potensi akuifer air tanah pada daerah pengukuran wilayah Kabupaten Palu dengan menggunakan metode VES konfigurasi *schlumberger*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan Masalah dari penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Data penelitian berupa data sekunder yang diambil dari wilayah Kabupaten Palu dengan menggunakan metode geolistrik 1 dimensi atau VES konfigurasi *schlumberger*.
2. Penulis mengolah dan menginterpretasi data penampang resistivitas satu dimensi dengan data pendukung elevasi, peta geologi dan peta hidrogeologi, serta mengkorelasikan antar titik VES dengan metode korelasi.

1.5 Manfaat

Manfaat yang ditimbulkan dari penelitian ini adalah:

1. Bagi warga Palu khususnya pada daerah pengukuran dapat mengetahui potensi air tanah serta distribusinya pada daerah pengukuran yang dapat dimanfaatkan sebagai referensi letak pembuatan sumur.
2. Bagi penulis dapat mengetahui sebaran nilai resistivitas sebagai pengembangan dan pengaplikasian ilmu pengetahuan tentang metode geolistrik VES.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan penelitian ini terbagi menjadi beberapa bagian. Bagian pembukaan berisi halaman sampul, halaman judul, pengesahan, abstrak, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar dan daftar tabel. Pada bagian inti terdiri dari lima bab antara lain,

1. BAB I : Pendahuluan

Pada pendahuluan memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat, dan sistematika penulisan

2. BAB II : Dasar Teori
Memuat tentang referensi teori-teori yang digunakan dalam penelitian
3. BAB III : Metodologi Penelitian
Menjelaskan tentang prosedur penelitian dan kondisi lapangan penelitian
4. BAB IV : Analisis Data dan Pembahasan
Berisikan pengolahan data, interpretasi, dan korelasi antar data
5. BAB V : Kesimpulan Berisi kesimpulan dari isi laporan
Bagian terakhir merupakan bagian penutup berisikan antara lain: daftar pustaka dan lampiran-lampiran yang diperlukan.

Halaman ini Sengaja dikosongkan

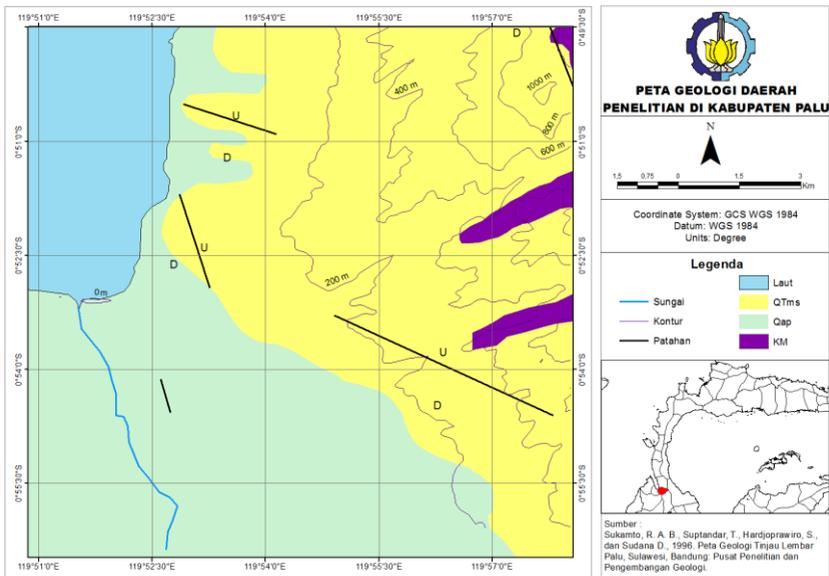
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka meliputi dua hal yakni studi literatur dan dasar teori yang berkaitan dengan penelitian ini. Studi literatur merupakan data yang berkaitan dengan penelitian dan dapat dijadikan referensi dalam interpretasi. Dasar teori lebih menjelaskan teori dari metode yang digunakan dan objek geologi yang dicari.

2.1 Studi Literatur

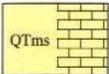
Interpretasi data VES pada penelitian ini membutuhkan referensi data lain. Data pertama merupakan peta geologi lembar Palu yang akan digunakan dalam justifikasi litologi lapisan tanah. Peta CAT Palu digunakan untuk determinasi zona potensi akuifer agar pendugaan zona tersebut dapat lebih akurat.

2.1.1 Geologi Regional



(a)

KETERANGAN / EXPLANATION

	Aluvium dan endapan pantai. Kerikil, pasir, lumpur dan batugamping koral. <i>Alluvium and coastal deposits. gravel, sand, mud and coral limestone.</i>
	Molasa Celebes Sarasin dan Sarasin (1901). Konglomerat, batupasir, batulumpur, batugamping koral dan napal, sebagian mengeras lemah (terutama batugamping). <i>Celebes Molasse of Sarasin and Sarasin (1901). Conglomerate, sandstone, mudstone, coral limestone, and marl, in part weakly consolidated (where dominantly limestone).</i>

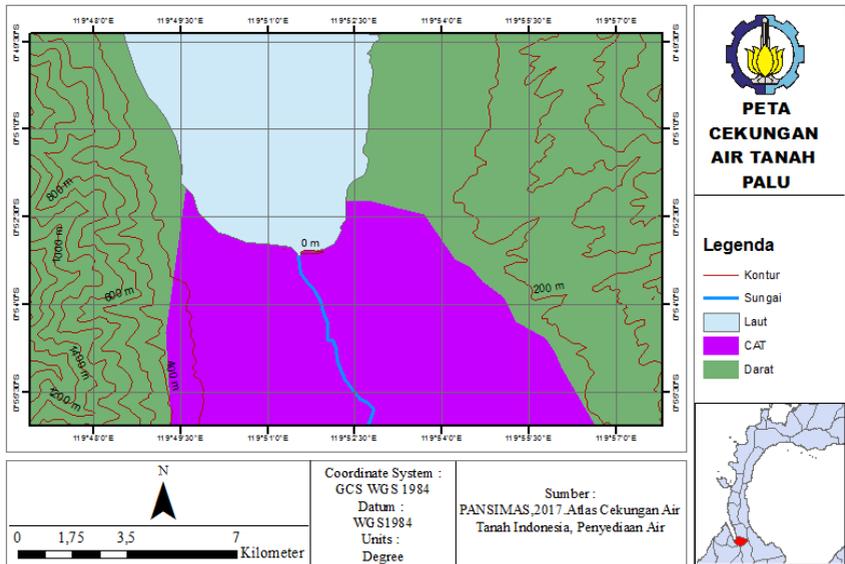
(b)

Gambar 2.1 Peta geologi regional lembar Palu (a) Peta geologi berkaitan daerah pengukuran, (b) Keterangan batuan (Sukamto dkk., 1973)

Palu merupakan kota di Sulawesi Tengah. Geologi regional Palu termasuk dalam Mandala Tengah. Pada kabupaten palu terdapat 5 jenis batuan sesuai gambar 2.1, yakni kompleks batuan metamorfosis, Aluvium, Molasa Celebes Sarasin, Formasi Tinombo, dan Granit Palu. Geologi daerah penelitian meliputi formasi Qap yang merupakan endapan aluvium pantai yang terdiri dari kerikil, pasir, dan batu gamping. Pada sisi lain terdapat QTms yang terdiri dari batuan sedimen seperti konglomerat, batu pasir, batulumpur, batu gamping. Kedua formasi menunjukkan adanya zona pasiran atau batu pasir sehingga pada penelitian nantinya dapat ditentukan dugaan lapisan batu pasir yang dapat berperan sebagai akuifer dengan metode resistivitas (Ayi Syaeful Bahri dkk., 2017; Sukamto dkk., 1973).

2.1.2 Cekungan Air Tanah (CAT) Palu

Cekungan air tanah (CAT) merupakan gabungan dari beberapa bagian akuifer. Hal ini dapat terjadi karena dampak lingkungan. Akuifer saling terkoneksi secara terbuka pada batuan bawah permukaan tanah. Sistem ini dipengaruhi oleh geologi, hidrogeologi, dan gaya tektonik. Akuifer utama CAT Palu merupakan akuifer tidak tertekan. CAT Palu dalam proses pembentukannya berkaitan dengan adanya struktur graben di cekungan Palu. Hal tersebut merupakan fenomena sesar Palu. Sehingga batas dari suatu CAT merupakan faktor hidrolika air tanah yang dipengaruhi geologi (Zefftini, 2011). Faktor pendukung lain bahwa jenis akuifer tidak tertekan adalah akuifer yang berada pada lingkungan aluvium, sehingga hal ini berkorelasi dengan CAT Palu yang sebagian wilayahnya tersusun dari lingkungan aluvium (Gemilang dkk., 2018). Pada kabupaten Palu terdapat CAT yang meliputi beberapa kabupaten. Hal ini mengartikan bahwa CAT tersebut terdistribusi secara regional.



Gambar 2.2 Peta hidrogeologi Palu (PANSIMAS, 2017)

Gambar 2.2 merupakan daerah CAT yang berkorelasi dengan titik ukur VES. Dugaan persebaran akuifer air tanah pada wilayah tersebut dapat dilakukan dengan metode VES berdasarkan nilai resistivitas. Konfigurasi yang dipakai pada umumnya adalah *Schlumberger*. Hasil pemetaan sounding resistivitas yang dihasilkan dapat diinterpretasikan menjadi litologi lapisan tanah, ketebalan lapisan, dan juga kedalaman lapisan. Data yang diperoleh pada tiap titiknya yang telah diinterpretasi kemudian dapat dikorelasikan dengan data yang lain sehingga membentuk suatu kemenerusan. Kemudian dapat hasil interpretasi tersebut dikorelasikan dengan peta CAT Palu untuk determinasi zona yang berpotensi sebagai akuifer.

2.2 Dasar Teori

Penelitian ini utamanya menggunakan metode geofisika dengan interpretasi geologi. Oleh karena hal itu dasar teori yang digunakan meliputi metode geofisika VES dan tentang air tanah sebagai objek geologi yang dieksplorasi. Selain kedua hal tersebut, hasil penelitian karya ilmiah yang berkaitan juga dijadikan referensi pada penelitian ini

2.2.1 Prinsip Resistivitas Batuan Dalam Geolistrik

Bumi merupakan susunan lapisan tanah dan batuan yang tiap bendanya memiliki karakteristik fisis tersendiri. Salah satu karakteristik fisis material adalah sifat tahanan jenis terhadap listrik. Pengukuran untuk mengetahui sifat

fisis tersebut diperlukan suatu medan listrik, arus dan elektromagnetik. Sumber kelistrikan tersebut dapat secara alami dari kejadian alam maupun sumber listrik hasil injeksi yang disengaja. Listrik yang merambat dalam permukaan bumi akan terfokus pada suatu titik potensial yang dianggap sebagai datum pengukuran. Data hasil pengukuran tersebut diolah sebagai respon tahanan jenis (Hendrajaya dan Arif, 1990).

Metode Geolistrik merupakan metode umum yang digunakan dalam lingkup geofisika. Metode ini memanfaatkan resistivitas material yang terukur pada suatu titik. Geolistrik dapat digunakan sebagai pendugaan kondisi bawah permukaan bumi berdasarkan nilai resistivitasnya. Prinsip yang digunakan adalah dengan menginjeksikan arus dengan elektroda yang ditancapkan permukaan bumi, kemudian beda potensial yang muncul pada titik tertentu dianalisa. Pengamatan bedapotensial juga menggunakan elektroda yang ditancapkan pada permukaan bumi. Posisi antara elektroda arus dan beda potensial tidaklah sama (Telford, 1990).

2.1.1.1 Resistivitas Batuan

Data yang didapatkan dari pengukuran geolistrik yakni arus dan beda potensia dapat menghasilkan nilai resistivitas. Nilai resistivitaslah yang digunakan sebagai pendugaan kondisi bawah permukaan bumi. Setiap batuan memiliki karakteristik tersendiri salah satunya adalah resistivitas (ρ) (tahanan jenis) yang menunjukkan kemampuan bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik, begitu pula sebaliknya. Berdasarkan harga resistivitasnya, batuan digolongkan dalam 3 kategori yakni:

1. Konduktor baik : $10^{-6} < \rho < 1 \Omega m$
2. Konduktor sedang : $1 < \rho < 107 \Omega m$
3. Isolator : $\rho > 107 \Omega m$

Jangkauan nilai kelistrikan dari setiap batuan yang ada dan hal ini akan membantu dalam penentuan jenis batuan berdasarkan harga resistivitasnya atau sebaliknya. Tabel 2.1 menunjukkan nilai jangkauan tersebut berdasarkan setiap jenis batuan atau mineral. Sebagai contohnya, untuk clays memiliki nilai 5 – 100 Ωm . Nilai ini tidak hanya bergantung pada jenis batuan saja tetapi bergantung pula pada pori yang ada pada batuan tersebut dan kandungan fluida pada pori tersebut (Schon, 2011).

Tabel 2.1 Tabel nilai resistivitas material (Loke, 2001)

<i>Material</i>	<i>Resistivity (Ωm)</i>
<i>Igneous and Metamorphic Rocks</i>	
<i>Granit</i>	$5 \times 10^3 - 10^6$
<i>Basalt</i>	$10^3 - 10^6$
<i>Slate</i>	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$

<i>Marble</i>	$10^2 - 2,5 \times 10^7$
<i>Quartzite</i>	$10^2 - 2 \times 10^8$
<i>Sedimentary Rocks</i>	
<i>Sandstone</i>	$6 - 4 \times 10^3$
<i>Shale</i>	$20 - 2 \times 10^3$
<i>Limestone</i>	$50 - 4 \times 10^2$
<i>Soils and water</i>	
<i>Clays</i>	1 - 100
<i>Alluvium</i>	10 - 800
<i>Groundwater (fresh)</i>	10 - 100
<i>Sea water</i>	0,2

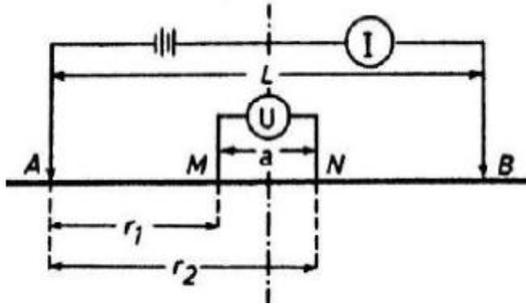
2.1.1.2 Titik Arus Permukaan

Datum yang terukur sifat kelistrikan pada pengukuran geolistrik disebut ekipotensial. Titik arus permukaan terukur disebabkan ada respon beda potensial karena adanya penginjekan arus. Ekipotensial dapat muncul dengan satu atau dua titik arus permukaan. Penggunaan jumlah elektroda ini berdasarkan keperluan pendugaan kondisi bawah permukaan berdasarkan resistivitas.

Teori dasar yang digunakan pada metode resistivitas adalah hukum ohm yang menyatakan, arus yang mengalir (I) pada suatu medium adalah sebanding dengan beda potensial (V) yang terukur dan berbanding terbalik dengan resistansi (R) medium dan dapat dirumuskan:

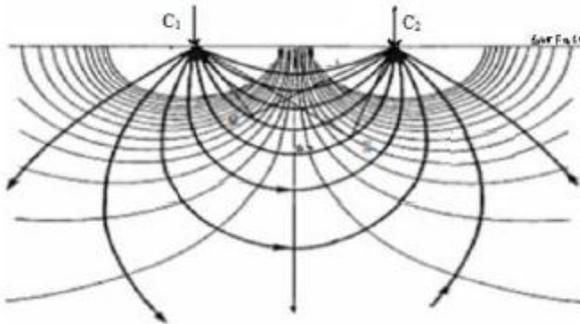
$$V = IR \tag{1}$$

Pengukuran dengan metode ini bekerja dimana alat akan memberikan arus kedalam permukaan melalui dua elektroda. Kemudian dua elektroda lain menangkap respon tersebut dalam bentuk beda potensial perbedaan potensial tiap pengambilan data tersebut merepresntasikan adanya perbedaan material yang pada bawah permukaan bumi (Wardhana, 2017).



Gambar 2.3 Susunan elektroda arus dan potensial (Telford, 1990)

Penggunaan dua elektroda arus menyebabkan dua titik arus permukaan muncul. Elektroda arus yakni C1(A) dan C2(B) berada pada titik terluar saat pengambilan data. Sejumlah dua elektroda potensial P1(M) dan P2(N) terletak ditengah antara elektroda arus. Penempatan posisi keempat elektroda dapat berubah dari segi jarak dan tempatnya bergantung pada metode geolistrik dan konfigurasi yang digunakan (ilustrasi gambar 2.3). Asumsi yang digunakan pada hal ini adalah lapisan bumi yang dilalui arus dianggap homogen dan isotropis. Sehingga didapatkan titik ekipotensial seperti gambar 2.4 (Telford, 1990).



Gambar 2.4 Ekipotensial bumi pada permukaan homogen (Reynold, 1997)

2.2.2 Resistivitas Semu

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

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

$$I = -\frac{A dV}{\rho dr} \quad (2)$$

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

$$I = -\frac{2\pi r dV}{\rho dr} \quad (3)$$

Untuk mendapatkan beda potensial dari P_1 dan P_2 dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut,

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (4)$$

Dengan demikian dapat dihitung resistivitas semu

$$\rho_a = K \frac{\nabla V}{I} \quad (5)$$

Dengan ρ_a adalah resistivitas semu yang bergantung pada spasi elektroda ∇V (beda potensial) dan I (arus). Nilai resistivitas semu tergantung pada geometri dari susunan elektroda yang digunakan, yang didefinisikan dengan faktor geometri (K) (Reynold, 1997; Telford, 1990).

2.2.3 Konfigurasi Schlumberger

Jenis penggunaan metode geolistrik dapat digolongkan dalam beberapa hal yakni *sounding*, *mapping*, dan *imaging*. Masing-masing metode memiliki tujuan yang berbeda dalam pemetaan resistivitas bawah permukaan bumi. Tujuan *sounding* adalah memetakan kondisi bawah permukaan bumi secara vertikal saja. Artinya datum pengukuran bergerak secara vertikal kebawah semakin dalam. Metode *sounding* (1 dimensi) ini disebut *Vertical Electrical Sounding* (VES). Sedangkan pada *mapping* merupakan penggambaran bawah permukaan bumi berdasarkan nilai resistivits yang tersebar secara lateral. Sedangkan pada *imaging* adalah metode pemetaan resistivitas yang tersebar lateral dan vertikal sekaligus (Astawa, 2007; Loke dkk., 2003; Telford, 1990).

Dari persamaan (4) terdapat dua faktor penentuan nilai resistivitas yakni resistansi yang dipengaruhi oleh V dan I serta faktor konfigurasi yang diturunkan dari penyusunan jarak elektroda. Adapun faktor konfigurasi (K) dapat didefinisikan sebagai berikut dalam persamaan (6)

$$K = 2\pi \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}^{-1} \quad (6)$$

Pengukuran yang dilakukan dengan konfigurasi *Schlumberger* memiliki jarak C_1 - P_1 , P_2 - C_2 akan selalu sama. Elektroda P_1 dan P_2 jaraknya tidak mengikuti jarak elektroda C_1 - P_1 , P_2 - C_2 . Elektroda C merupakan arus dan

dijaga karena adanya suatu mekanisme yang berlangsung. Hal inilah yang disebut dengan siklus hidrologi.



Gambar 2.7 Siklus hidrologi (Evans dan Perlman, 2016)

Air akan mengalami serangkaian fenomena fisis sehingga membentuk siklus seperti ilustrasi pada gambar 2.7. Siklus hidrologi terjadi melalui berbagai tahapan antara lain evaporasi (penguapan badan air permukaan seperti danau ataupun laut), transpirasi (penguapan oleh makhluk hidup), sublimasi (perubahan es di kutub menjadi uap air), kondensasi (perubahan uap air menjadi es karena suhu rendah di atmosfer sehingga menjadi awan), presipitasi (proses mencairnya awan Karena suhu udara tinggi sehingga terjadi hujan), *run off* (pergerakan air dari tempat tinggi ke tempat rendah, dan infiltrasi (proses merembesnya air ke pori-pori tanah dan terakumulasi menjadi air tanah (Subramanya, 2008).

Berdasarkan sifat batuan terhadap air tanah, terutama pada sifat fisik tekstur dari batuan, batuan pada daerah penelitian memungkinkan didapati sebagai akuifer. Akuifer merupakan batuan yang mempunyai susunan sedemikian rupa sehingga dapat mengalirkan air yang cukup berarti. Contoh : pasir, kerikil, batu pasir, batu beku yang retak, dan sebagainya (Bisri, 2012).

Berdasarkan litologinya, akuifer yang memungkinkan didapati di daerah pengukuran merupakan akuifer tidak tertekan. Dimana litologi yang bersifat impermeable tidak didapati sebagai penutup akuifer. Akuifer bebas (*unconfined aquifer*) atau akuifer tidak tertekan yaitu suatu akuifer dimana muka air tanah merupakan bidang batas sebelah atas daripada zona jenuh air (Sosrodarsono dan Takeda, 2003).

2.2.5 Inverse Distance Weighting (IDW)

Secara umum IDW memberikan pembobotan pada interpolasi berdasarkan jarak titik sampel yang ada. Karakteristik pembobotannya adalah semakin dekat

jarak titik yang dicari dengan titik sampel maka pembobotannya semakin akurat dan mendekati nilai sample, begitu pula dengan sebaliknya. Persamaan dari metode statistika spasial ini ditunjukkan sebagai berikut,

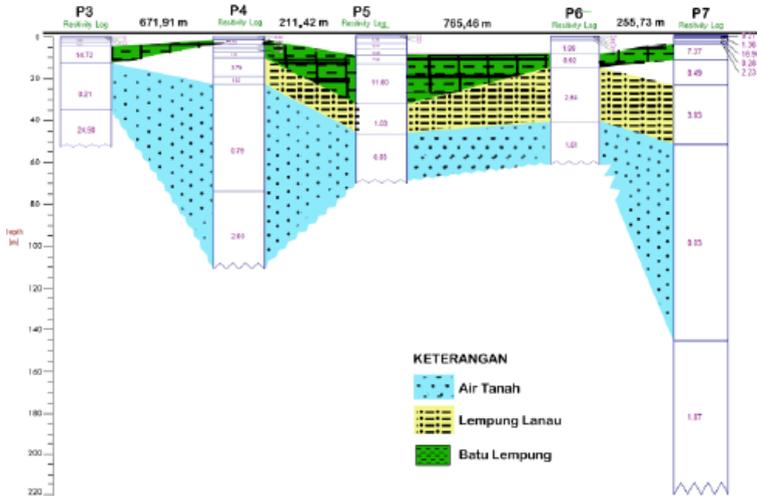
$$Z_p = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{(d_i)^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(d_i)^p}} \quad (8)$$

Z_p merupakan nilai parameter hasil perhitungan IDW, sementara Z_i adalah nilai parameter dari data. Notasi d_i mewakili jarak antara titik data sample dengan titik yang akan dihitung nilai parameternya dengan IDW (Setianto dan Triandini, 2013). Selain hal tersebut terdapat faktor *power* (p) yang merupakan satu-satunya parameter pengontrol selain dari data sample yang diberikan. Hal ini mengakibatkan pemilihan nilai p sangat mempengaruhi hasil interpolasi yang diberikan. Semakin besar nilai p yang dieberikan maka nilai hasil perhitungan akan semakin mendekati nilai data sample dengan jarak terdekat (Pramono, 2008).

2.2.6 Penelitian Terdahulu

Pengukuran dan pemetaan air tanah pernah dilakuakn dengan metode VES pada daerah Cepu, Blora, Jawa Tengah. Pengukuran dilakukan dengan delapan titik pengukuran. Kemudian data yang resistivitas semu didapatkan diinversi menjadi lapisan resistivitas asli. Hasil penampang resistivitas asli delapan lintasan mayoritas didapatkan batu lempung, batu pasir, dan juga batuan akuifer. Penampang setiap titik kemudian dikorelasi untuk diinterpretasikan sebagai kemenerusan seperti gambar 2.8 (Febriana, 2017).

**PENAMPANG KORELASI TAHANAN JENIS
LINTASAN B-C**



Gambar 2.8 Contoh korelasi 5 titik penampang resistivitas 1D (Febriana, 2017)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

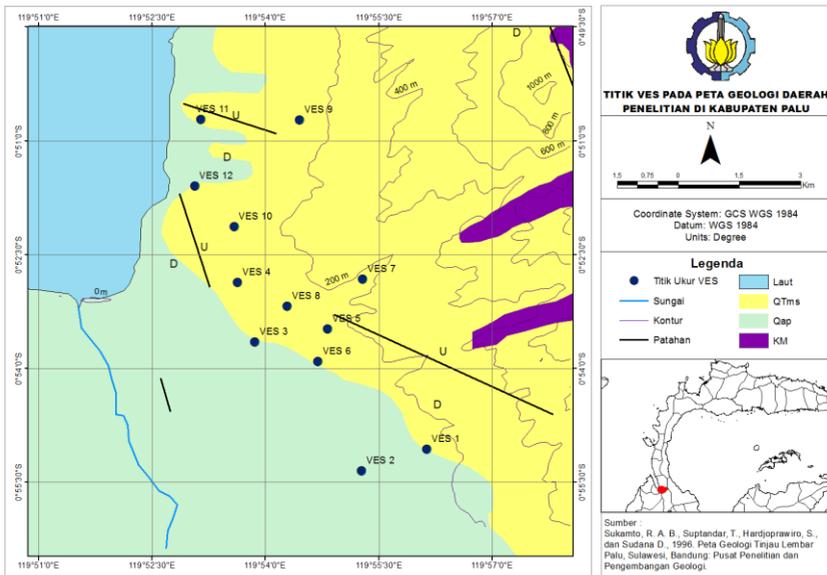
Bab ini berisi mengenai metodologi penelitian. Hal ini berkaitan dengan prosedur berjalannya penelitian. Bab ini meliputi desain akuisisi hingga langkah-langkah yang dilakukan pertahapnya pada penelitian ini.

3.1 Desain Akuisisi Data

Desain akuisisi membentuk lintasan dengan orientasi lintasan mengarah barat-timur. Terdapat 12 titik pengukuran. Morfologi permukaan berdasarkan citra jarak jauh daerah penelitian memiliki gradasi elevasi menurun (timur ke barat). Seiring dengan penurunan tersebut mengarah ke dataran rendah terdapat sungai di barat VES12 kemudian terhubung pada teluk Palu. Titik pengukuran disajikan lengkap melalui tabel 3.1 sebagai berikut,

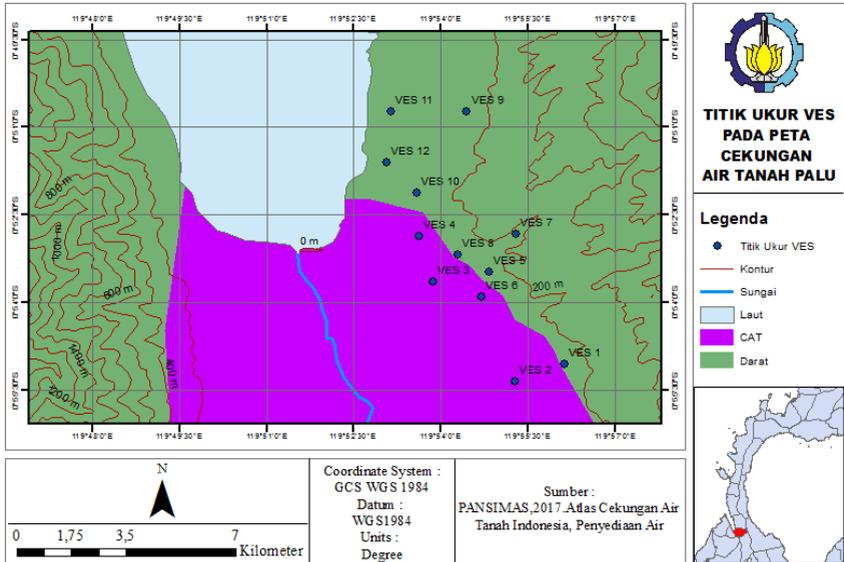
Tabel 3.1 Koordinat titik pengukuran dan elevasi

	X	Y	Z	Panjang Lintasan	jumlah Datum
VES1	119.9356	-0.91781	93.88	400 (m)	23
VES2	119.9212	-0.92253	97.62	400 (m)	23
VES3	119.8977	-0.89419	40.7	200 (m)	18
VES4	119.8938	-0.88111	38.5	200 (m)	18
VES5	119.9138	-0.89139	67.54	400 (m)	23
VES6	119.9116	-0.89847	77.05	400 (m)	23
VES7	119.9215	-0.88042	99.27	400 (m)	23
VES8	119.9048	-0.88639	61.36	400 (m)	23
VES9	119.9075	-0.84544	86.68	400 (m)	23
VES10	119.8931	-0.86881	75.73	400 (m)	23
VES11	119.8858	-0.84531	42.26	200 (m)	18
VES12	119.8845	-0.85992	46.21	160 (m)	17



Gambar 3.1 *Plotting* titik pengukuran *overlay* dengan peta geologi

Gambar 3.1 merupakan peta geologi dan *plotting* titik ukur VES pada daerah penelitian. Daerah penelitian diketahui terdapat batuan geologi Qap yang merupakan endapan aluvium pantai yang terdiri dari kerikil, pasir, dan batu gamping. Pada sisi lain terdapat QTms yang terdiri dari batuan sedimen seperti konglomerat, batupasir, batulumpur, batu gamping.



Gambar 3.2 *Plotting* titik pengukuran *overlay* dengan peta hidrogeologi

Estimasi daerah pengukuran memiliki luasan 21.6 km². Dimana sebagian daerah tersebut berpotongan dengan Cekungan Air Tanah (CAT) yang diilustrasikan gambar 3.2. CAT Palu memiliki estimasi luasan 287 km² yang meliputi dari beberapa kabupaten.

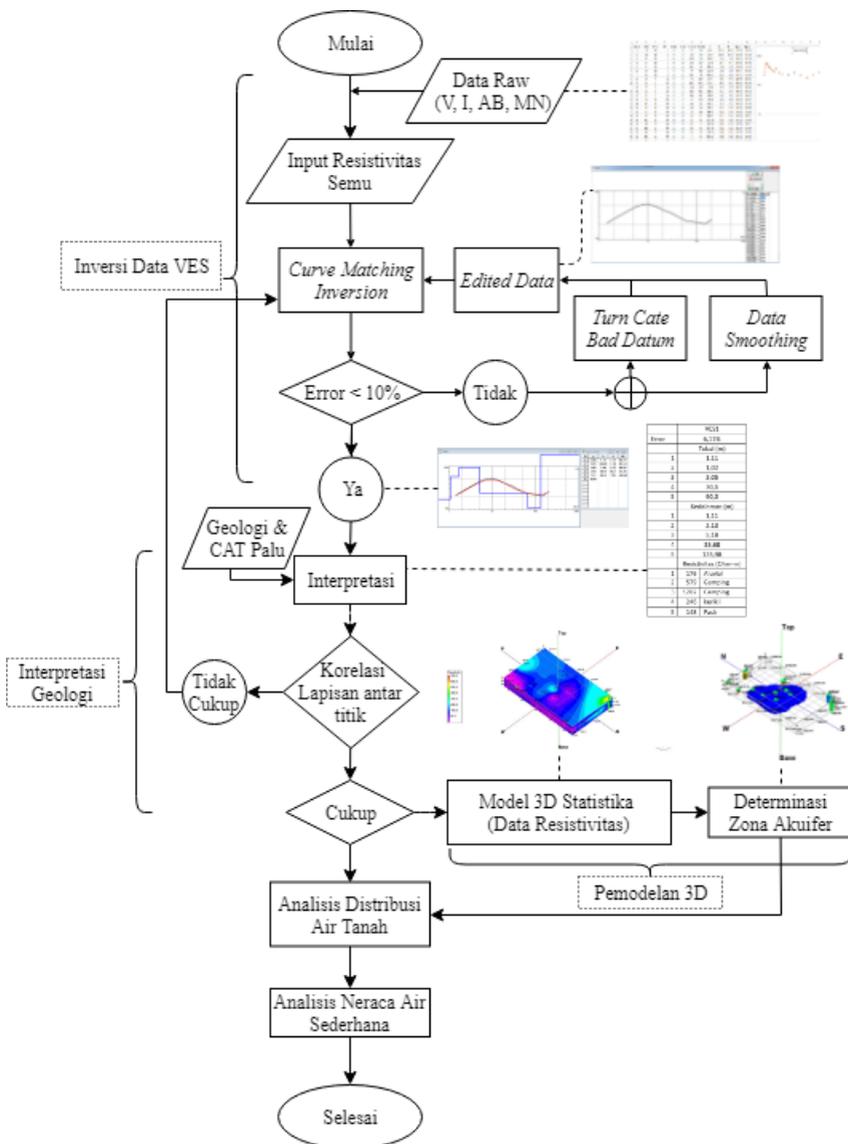
3.2 Data yang Digunakan

Pada penelitian ini menggunakan beberapa jenis data antara lain,

1. 12 titik ukur data VES
2. Peta Geologi
3. Peta Hidrogeologi
4. Peta kontur dan *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM)
5. Data sekunder badan survey nasional : curah hujan, penduduk, luas wilayah, konsumsi air

3.3 Diagram Alir

Berikut merupakan diagram alir penelitian dari pemetaan akuifer air tanah.



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

3.4 Penjelasan Diagram Alir

Secara garis besar diagram alir (gambar 3.3) dibagi menjadi lima bagian. Hal tersebut meliputi perhitungan resistivitas semu dari data *raw*, inversi data VES, interpretasi data VES, korelasi data dengan model 3 dimensi, dan analisa aliran air tanah. Penjelasan proses-proses tersebut meliputi bagian-bagian dibawah ini.

3.4.1 Perhitungan Resistivitas Semu dari Data Pengukuran

Data yang didapatkan berupa posisi elektroda, beda potensial (V), dan arus (I). Dari data tersebut diolah menjadi resistivitas semu. Data *raw* saat akuisisi telah dilakukan pengulangan dua kali setiap datum pengukuran. Berikut merupakan contoh dari data *raw* VES1 yang ditampilkan pada tabel 3.2,

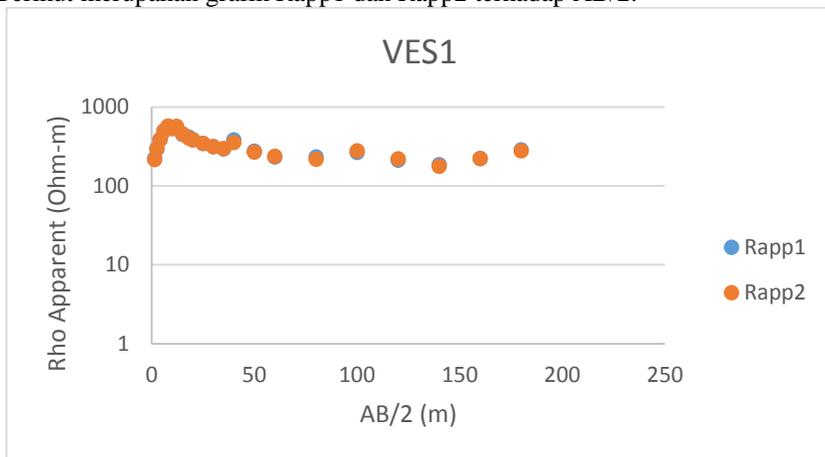
Tabel 3.2 Contoh data *raw* titik ves1 beserta hasil perhitungan resistivitas semu

Dat	AB/ 2	MN/ 2	Iavg (mA)	Vavg (mVolt)	K	Ravg	Rhoavg
1	1,5	0,5	24	842,5	6,28	35,10	220
2	2,5	0,5	39,5	622,5	18,85	15,76	297
3	4	0,5	41	321,05	49,48	7,83	387
4	6	0,5	26	115,25	112,31	4,43	498
5	8	0,5	22	62,75	200,28	2,85	571
6	10	0,5	45	76,7	313,37	1,70	534
7	12	0,5	31	38,85	451,6	1,25	566
8	15	5	34,5	249,15	62,83	7,22	454
9	18	5	36,5	160,7	93,93	4,40	414
10	20	5	40	130,85	117,81	3,27	385
11	25	5	33,5	61,55	188,5	1,84	346
12	30	5	25,5	29,2	274,89	1,15	315
13	35	10	34	57,05	176,71	1,68	297
14	40	10	9	14,1	235,62	1,57	369
15	50	10	20	14,4	376,99	0,72	271
16	60	10	33	14,15	549,78	0,43	236
17	80	10	20	4,55	989,6	0,23	225
18	100	10	34	5,95	1555,1	0,18	272
19	120	20	30	5,9	1099,6	0,20	216
20	140	20	52	6,25	1508	0,12	181

21	160	20	63	7,1	1979,2	0,11	223
22	180	20	35	3,95	2513,3	0,11	284
23	200	20	11	4,45	3110,2	0,40	1258

Keterangan Dat pada tabel merupakan urutan datum, sehingga pada VES1 terdapat 23 variasi pengukuran. Panjang AB/2 dan MN/2 dalam satuan meter menyesuaikan dengan susunan elektroda seperti gambar 2.3, dimana A sebagai C1, B sebagai C2, M sebagai P1, dan N sebagai P2. Perhitungan resistivitas semu memenuhi persamaan (5) dengan K atau faktor konfigurasi dihitung menggunakan persamaan (7). Perhitungan resistivitas semu tiap pengulangan kemudian diratakan, hasilnya pada kolom Rhoavg.

Pada saat Pengambilan data VES konfigurasi *schlumberger* dengan pergantian MN rentan terhadap sensitifitas. Untuk mengurangi hal tersebut maka dibuat grafik antara pengambilan data pertama dengan pengambilan data kedua. Apabila hasil keduanya jauh maka dimungkinkan adanya *noise* atau gangguan. Berikut merupakan grafik Rapp1 dan Rapp2 terhadap AB/2.



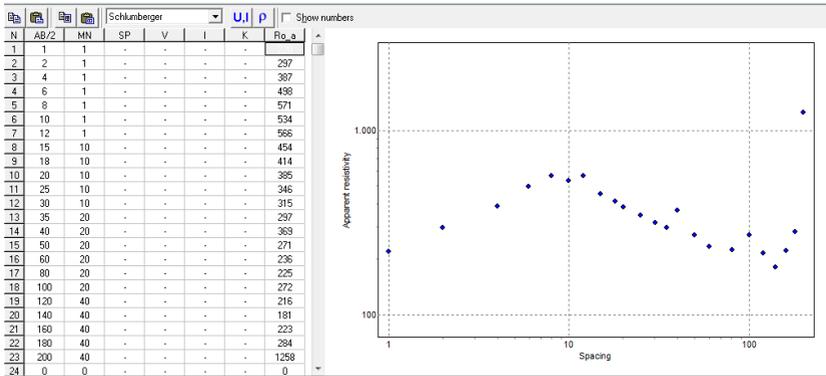
Gambar 3.4 Graifk *QC* nilai resitivitas semu terhdap AB/2 VES1

Dari grafik gambar 3.4 dapat mengindikasikan *noise* bila selisih titik Rapp1 dan Rapp2 besar. Grafik *Quality Control (QC)* ini juga dapat menunjukan indikasi awal jumlah lapisan bedasarkan jumlah tren yang ada. Hal lain adalah mengetahui titik datum mana yang nantinya akan dilakukan proses *smoothing* saat dilakukan proses inversi data.

3.4.2 Inversi Data VES

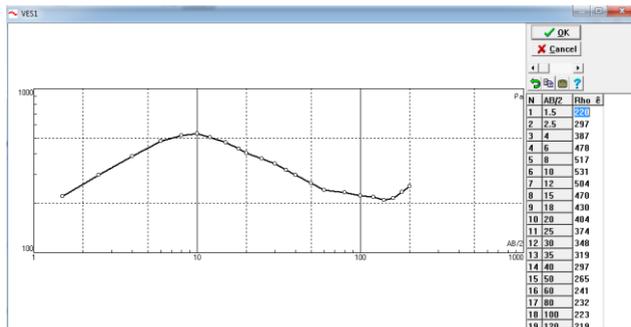
Metode inversi yang digunakan merupakan *curve matching inversion*. Proses ini meliputi input data posisi elektroda dan nilai resistivitas semu. Dari data perhitungan resistivitas semu nantinya akan dicocokkan dengan pola kurva resistivitas semu sesuai nilai referensi (*synthetic curve*). Hasil kurva resistivitas

semu itulah yang nantinya diterjemahkan melalui proses inversi menjadi data nilai resistivitas lapisan tanah dan ketebalannya.



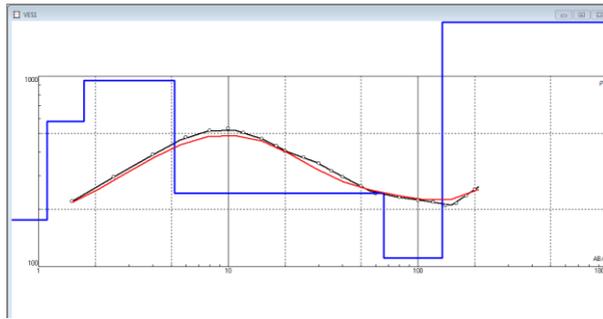
Gambar 3.5 Input data inversi VES

Gambar 3.5 merupakan proses input data VES. Input posisi koordinat menggunakan keterangan panjang AB/2 dan MN dengan kolom Ro_a diisi dari hasil resistivitas semu pada kolom Rhoavg (Tabel 3.2). Dikarenakan nantinya tren kurva resistivitas akan dicocokkan dengan kurva resistivitas referensi yang ideal maka untuk mengurangi nilai eror hasil inversi dilakukan proses *smoothing* data.



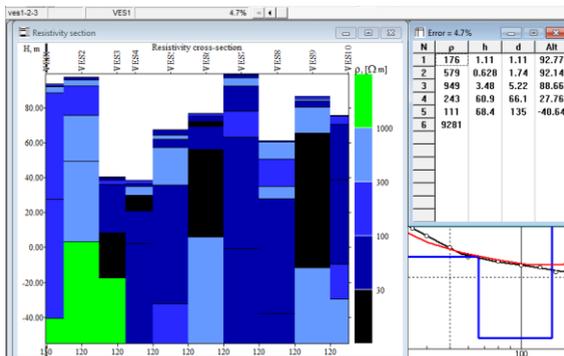
Gambar 3.6 Smoothing kurva data pengukuran resistivitas semu

Tujuan dari proses ini adalah untuk mengedit nilai resistivitas pada suatu datum agar sesuai dengan bentuk tren kurvanya. Sehingga pola kurva data asli harus tetap dipertahankan. Hal ini merupakan *QC* pada proses pengolahan data. Selain itu jika data tersebut meragukan atau dianalisa sebagai *noise* maka data tersebut juga dapat dihapus.



Gambar 3.7 Proses *curve matching inversion*

Pada tahap ini diatur kita mengatur kurva garis biru, dimana satu lapisan terdiri dari satu garis horisontal (tebal lapisan resistivitas) dan vertikal (nilai resistivitas) yang bertemu. Hal tersebut diatur sesuai mungkin agar kurva pengukuran *fit* dengan kurva sintetik dan pada penelitian ini menggunakan standar nilai error dibawah 10%. Namun dalam VES dapat terjadi multi interpretasi, artinya satu pola grafik pengukuran dapat digambarkan dengan beberapa bentukan kurva interpretasi (garis biru). Oleh karena itu pada proses ini juga melibatkan korelasi antar data dengan titik pengukuran VES yang lain. Hasil dari proses ini tertera pada gambar 3.7.

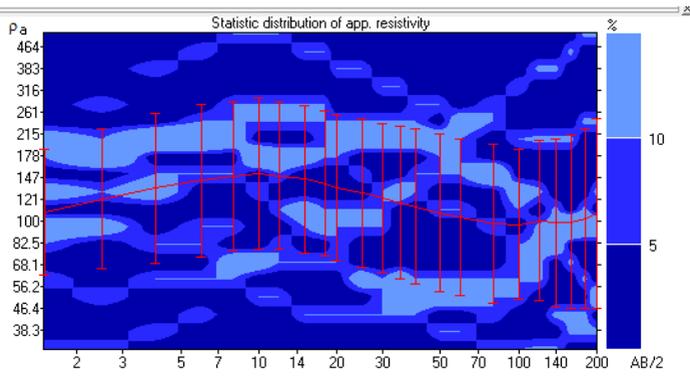


Gambar 3.8 Hasil inversi data ves

Gambar 3.8 merupakan hasil interpretasi dari data VES. Pada gambar bagian kiri merupakan gambaran *cross-section resistivity* (pola tidak berurutan). Pada gambar tersebut digambarkan nilai resistivitas dengan warna dan searah vertikal yang merupakan data kedalaman. Secara numerik hasil tersebut ditampilkan melalui tabel dengan keterangan resistivitas (Ohm-m), ketebalan lapisan (m), kedalaman (m), dan elevasi (m). Tiap titik data VES yang telah diinversi menghasilkan tabel tersebut.

3.4.3 Interpretasi Data VES

Tabel hasil inversi merupakan penggambaran lapisan dengan parameter resistivitas 1 dimensi. Tujuan dari interpretasi ini adalah untuk menggabungkan hasil invesi dengan data geologi untuk mendapatkan perkiraan litologi batuan secara vertikal 1 dimensi.



Gambar 3.9 Perataan sebaran nilai resistivitas semu

Interpretasi awal dapat dilakukan dengan melihat pola distribusi resistivitas (gambar 3.9). Dimana nilai resistivitas tiap titik akan diratakan sesuai dengan jarak elektrodanya. Hal ini dapat dihubungkan dengan sifat fisis batuan.

Tabel 3.3 Contoh tabel interpretasi pada titik ukur VES1

VES1				Eror : 6.11%
No.	Resistivitas (Ωm)	Ketebalan (m)	Kedalaman (m)	Litologi
1	176	1,1	1,1	Aluvium
2	579	1,0	2,1	Batu Gamping
3	1202	3,1	5,2	Batu Gamping
4	246	30,5	35,7	Kerikil (aluvium)
5	148	90,3	126,0	Pasir (aluvium)

Pada penelitian ini digunakan data primer berupa data VES konfigurasi *schlumberger* sehingga metodologi interpretasi berdasarkan range nilai resistivitas. Selain hal itu juga didasari oleh prinsip geologi khususnya sedimentasi dan juga data tutupan tanah kabupaten palu. Peta Cekungan Air Tanah (CAT) digunakan untuk indikasi letak titik yang lebih memungkinkan adanya akuifer dibawahnya. Hasil interpretasi ini tentunya melihat dari korelasi antar titik yang ada. Sehingga pertimbangan tebal lapisan dan nilai resistivitas antar titik juga diperhatikan dan memungkinkan adanya pengulangan proses inversi VES.

3.4.4 Pemodelan 3 Dimensi

Pemodelan ini bertujuan untuk penggambaran lapisan bawah permukaan berdasarkan hasil interpretasi yang telah dilakukan. Hal ini dapat dijadikan sebagai dugaan atau analisa akuifer air tanah. Pada metode ini digunakan korelasi statistik untuk memnuhi gambaran secara 3 dimensi.

Depth to Top	Depth to Base	Keyword	Comment
0,0	11,1	Alluvial	
11,1	21,3	Batu Gamping	
21,3	51,8	Batu Gamping	
51,8	356,8	Alluvial	
356,8	1.259,8	Alluvial	

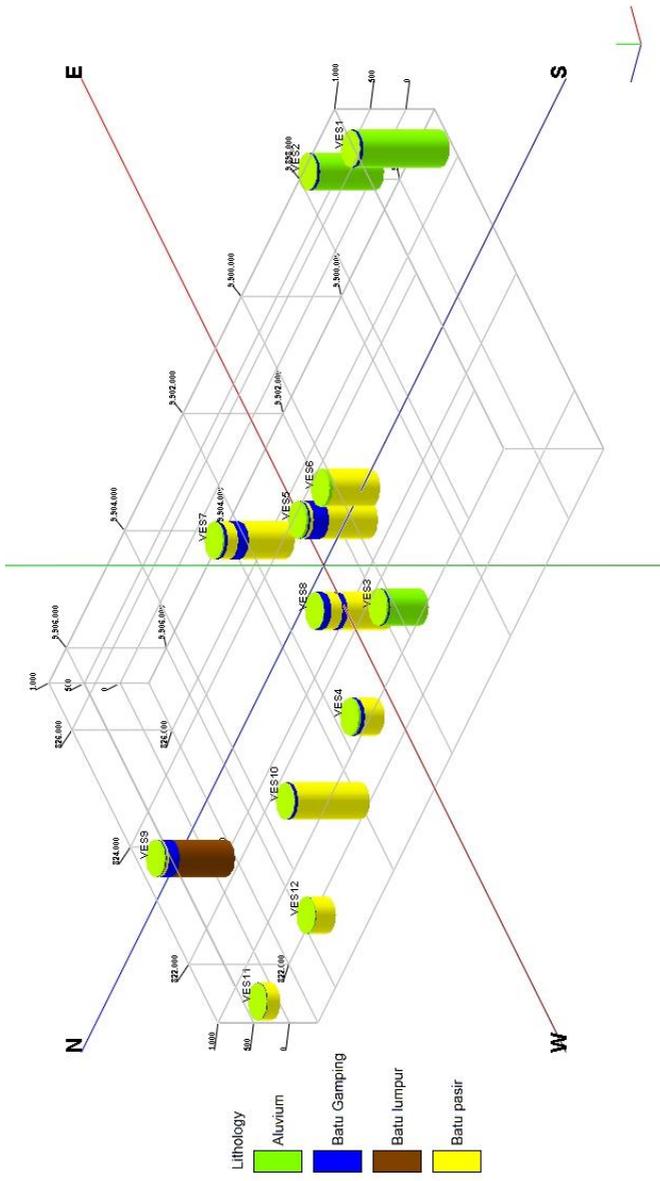
(a)

Depth to Top	Depth to Base	Resistivity
0,0	11,1	176,0
11,1	21,3	579,0
21,3	51,8	1.202,0
51,8	356,8	246,0
356,8	1.259,8	148,0

(b)

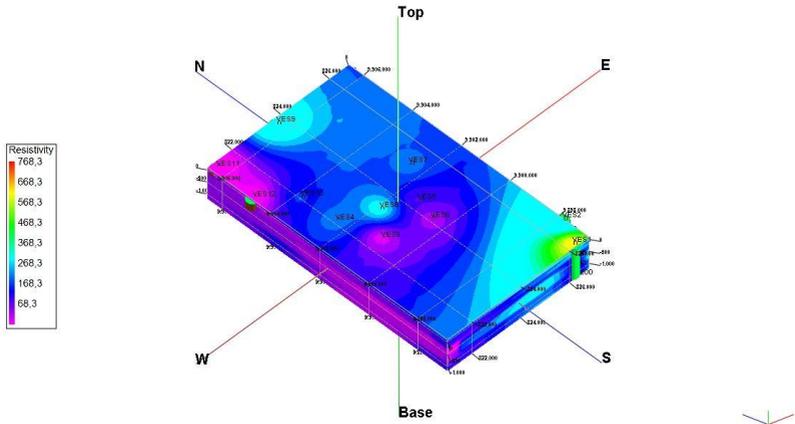
Gambar 3.10 Contoh proses *input* data pemodelan 3 dimensi (a) hasil interpretasi litologi (b) hasil range interval resistivitas

Pada pemodelan ini hasil interpretasi VES dianggap sebagai data sumur. Data yang digunakan merupakan data litologi dan data nilai resistivitas tiap lapisan yang proses inputnya tertera pada gambar 3.10. Selain itu data koordinat tiap titik ukur juga sebagai input yang penting. Maka setelah proses input plot sumur ditinjau kembali apakah sesuai dengan plot desain akuisisi. *Depth to Top* merupakan istilah pada meter seberapa batas atas lapisan. *Depth to Base* merupakan istilah untuk pada meter seberapa batas bawah lapisan. Definisi ukuran kedalaman (dalam meter) model 3 dimensi nantiya menggunakan input yang 10 kali lebih besar (10 meter kedalaman model = 1 meter kedalaman asli).



Gambar 3.11 *Plot* data VES sebagai data sumur

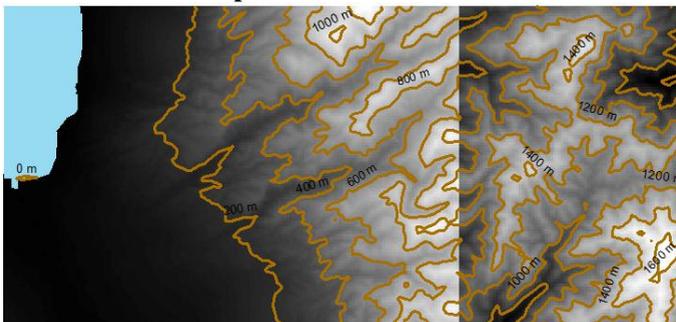
Apabila sebaran data sumur (gambar 3.11) sama dengan sebaran data pada desain akuisisi dan sesuai dengan input litologi hasil interpretasi maka input data telah berhasil. Selanjutnya dilakukan proses pemodelan 3 Dimensi berdasarkan nilai resistivitas. Hal ini dilakukan dengan memberikan parameter pada algoritma yang akan digunakan terlebih dahulu. Kemudian dari perhitungan algoritma tersebut menghasilkan *solid model* 3 dimensi.



Gambar 3.12 Resistivity solid model 3 dimensi

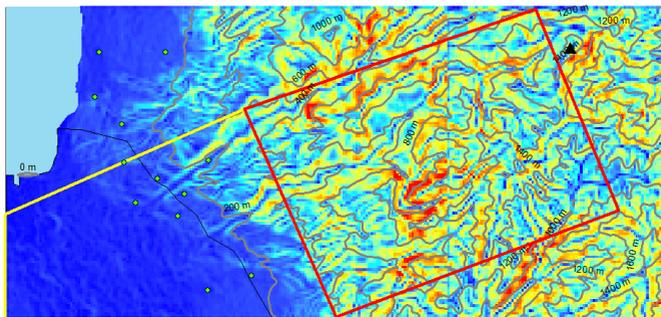
Gambar 3.12 merupakan hasil korelasi 3 dimensi statistika dari semua hasil inversi titik ukur. Selanjutnya pada penelitian ini akan dideterminasi zona yang berpotensi sebagai akuifer yang terkorelasi dengan CAT. Sehingga akan menghasilkan wilayah dugaan terkuat adanya potensi akuifer air tanah pada daerah pengukuran.

3.4.5 Analisis Daerah Resapan Area



Gambar 3.13 Raw data peta SRTM

Data SRTM merupakan data yang merepresentasikan bentuk kemiringan suatu wilayah. Gambar 3.13 merupakan *overlay* peta kontur dan SRTM yang belum dilakukan pengolahan. Kemudian untuk dapat menunjukkan penggambaran kecuraman kemiringan pada area tersebut dilakukan dengan analisis *slope*. Proses ini akan menghasilkan penggambaran kemiringan yang lebih representatif.



Gambar 3.14 Analisis Daerah Resapan Air

Gambar 3.14 merupakan hasil dari pengolahan data peta kontur dan SRTM melalui *slope* analisis. Hasil pengolahan SRTM menghasilkan klasifikasi tingkat kecuraman suatu wilayah yang ditunjukkan dengan perbedaan warna. Secara kuantitatif hal ini diperjelas dengan ditambahkannya data peta kontur pada gambar. Dengan diketahui variasi topografi tersebut dapat dilakukan analisis daerah resapan air tanah.

3.4.6 Analisis Neraca Air

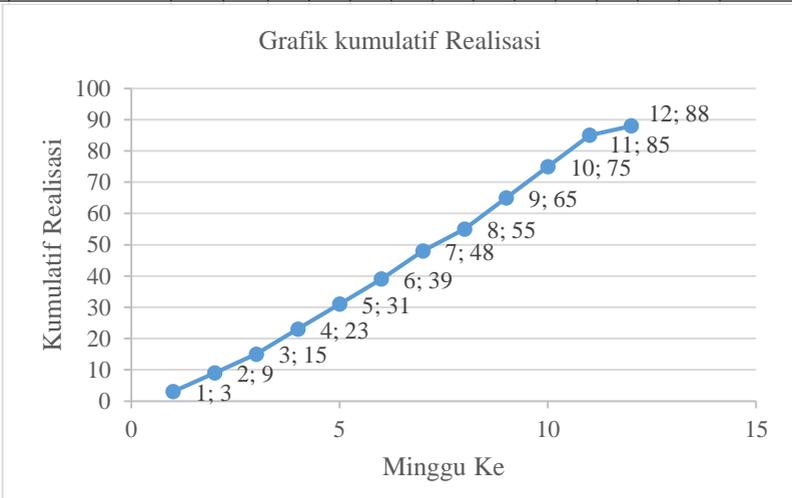
Terdapat dua parameter dalam perhitungan neraca air sederhana pada penelitian ini. Parameter pertama merupakan masukan air dan parameter kedua merupakan keluaran air. Pemasukan air digunakan data curah hujan kabupaten Palu dikali luas akuifer. Dimana daya tampung maksimal akuifer adalah porositas (%) dikali volumenya. Hal ini dilakukan analisa dalam kurun waktu masukan perbulannya. Parameter keluaran menggunakan data jumlah penduduk dikali rata-rata konsumsi air perbulannya. Kedua parameter tersebut didapatkan dari hasil estimasi volume akuifer, data sekunder (jumlah penduduk, curah hujan, dan rata-rata konsumsi air per bulan), dan juga beberapa asumsi. Sehingga dengan mensiliskan kedua parameter tersebut dapat diketahui apakah estimasi penyediaan air mengalami defisit atau surplus.

3.5 Timeline Tugas Akhir

Penyusunan tugas akhir ini memiliki gambaran umum waktu pengerjaan sebagai berikut,

Tabel 3.4 *Timeline* pengerjaan dan penyusunan tugas akhir

No	Kegiatan	Bobot	Minggu												Output	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	Studi Literatur	16	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Landasan teori dan dasar penelitian
2	QC data	10		5	5										Grafik smoothing	
3	Pengolahan 1D	14				7	7								Curve	
4	Interpretasi 1D	16						8	8						Stratigrafi lapisan	
5	Korelasi	14								7	7				Model 3D statistik	
6	Analisis Akhir	14										7	7		Pembahasan distribusi akuifer	
7	Penyusunan Laporan	16									4	4	4	4	Laporan akhir	
	Rencana	100	3	7	7	8	8	9	9	8	12	12	12	5		
	Kumulatif Rencana		3	10	17	25	33	42	51	59	71	83	95	100		
	Realisasi		3	6	6	8	8	8	9	7	10	10	10	3		
	Kumulatif Realisasi		3	9	15	23	31	39	48	55	65	75	85	88		
	Selisih		0	1	2	2	2	3	3	4	6	8	10	12		



Gambar 3.15 Grafik realisasi kumulatif

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pengukuran yang telah dilakukan menghasilkan data seperti yang telah dibahas pada sub-bab 3.4.1. Inti dari pengukuran tersebut adalah mengukur resistivitas semu tiap variasi posisi elektroda. Oleh karena itu analisis data akan meliputi hal tersebut pada tiap titik ukur. Hasil dari perolehan resistivitas semu kemudian diinversi dan diinterpretasi dengan data geologi. Pembahasan pada laporan ini akan membahas mengenai distribusi akuifer air tanah.

4.1 Analisis Data dan Interpretasi

Data *raw* meliputi posisi elektroda, beda potensial (V) dengan satuan mili Volt, dan arus (I) dengan satuan mili Ampere. Kemudian dari posisi elektroda dihitung faktor konfigurasi tiap datum menggunakan persamaan (7). Hal ini digunakan untuk menghitung resistivitas semu nantinya. Perhitungan resistivitas semu ini menggunakan persamaan (5). Berikut merupakan contoh perhitungan resistivitas semu pada VES1 datum kedua.

Diketahui :

$$\frac{AB}{2} = 2,5 \text{ m} \quad V_2 = 619 \text{ mv}$$

$$\frac{MN}{2} = 0,5 \text{ m} \quad I_1 = 40 \text{ mA}$$

$$V_1 = 626 \text{ mv} \quad I_2 = 39 \text{ mA}$$

Penghitungan faktor konfigurasi *schlumberger*, pemosisian elektroda disesuaikan dengan gambar 2.5. Sehingga $AB/2$ dan $MN/2$ diubah menjadi a dan na .

$$a = MN = 1 \text{ m}$$

$$n = \frac{AB - MN}{2a} = \frac{5 - 1}{2a} = 2$$

Dari persamaan (7) didapatkan sebagai berikut,

$$K = \pi n(n + 1)a$$

$$K = 3,14 \cdot 2(2 + 1)1$$

$$K = 6,28(3) = 18,85$$

Selanjutnya menggunakan persamaan (5) untuk menghitung resistivitas semu (ρ_a) dengan satuan Ohm.m. Dikarenakan pada pengukuran terdapat dua kali pengulangan maka nilai resistivitas semu dari keduanya diratakan, berikut merupakan perhitungannya.

$$\rho_a = \frac{\rho_{a1} + \rho_{a2}}{2}$$

$$\rho_a = K \left(\frac{\nabla V_1}{I_1} + \frac{\nabla V_2}{I_2} \right) \frac{1}{2}$$

$$\rho_a = 18,85 \left(\frac{626}{40} + \frac{619}{39} \right) \frac{1}{2}$$

$$\rho_a = 18,85(31,5) \frac{1}{2} = 297 \text{ Ohm.m}$$

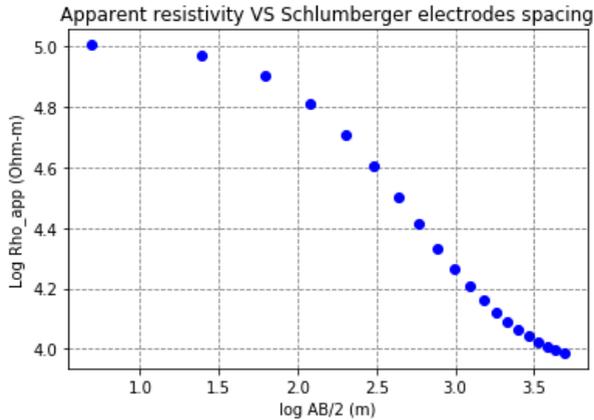
Resistivitas semu hasil perhitungan tersebutlah yang pada kolom data bernama Rhoavg seperti pada tabel 3.2. Nilai ini selanjutnya digunakan sebagai input saat proses inversi. Nilai resistivitas semu dikalkulasi perdatumnya pada setiap titik VES. Hasil lengkap kalkulasi dari proses ini ditabulasikan pada bagian lampiran.

Sesuai prinsip inversi yang akan digunakan *curve matching inversion* yakni dari data resistivitas semu pengukuran lapangan akan dicocokkan dengan data nilai resistivitas semu referensi atau sintetik. Pada kurva sintetik tentunya mendekati bentuk tren kurva resistivitas semu yang ideal. Pada pengukuran lapangan memungkinkan bahwa suatu data memiliki nilai *noise* atau simpangan yang keluar dari trennya. Mengatasi masalah tersebut dapat dilakukan dengan *Quality Control (QC)* saat pengukuran dan dilakukan pengulangan. Selain hal itu juga dilakukan *QC* melalui *smoothing* kurva pada saat proses inversi.

Pada saat pengukuran telah diantisipasi dengan melakukan pengulangan akuisisi dua kali pada tiap datum. Bila hasil keduanya didapati nilai terlalu jauh maka dimungkinkan hal tersebut adalah data *noise* dan memerlukan pengulangan kembali. Sehingga data *raw* didapatkan dengan nilai pengulangan tiap datum dengan selisih nilai yang kecil. Kemudian dilakukan *QC* saat proses inversi yakni dengan *smoothing* kurva dengan memindahkan suatu titik agar bertempat atau memiliki nilai resistivitas semu pada trennya.

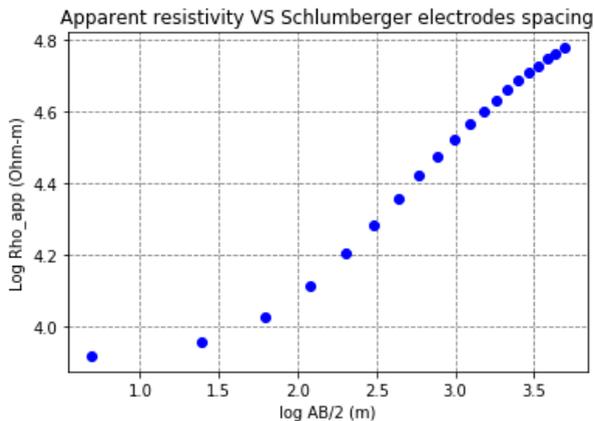
Data hasil *QC* dianggap sebagai data pengukuran lapangan. Adapun prinsip dari *smoothing* ini adalah mengubah nilai resistivitas semu suatu datum namun dengan tetap mempertahankan tren kurva aslinya. Hal ini dikarenakan dalam proses interpretasi nantinya tiap tren pada kurva cenderung diartikan sebagai suatu perlapasan. Hasil dari proses ini ditunjukkan pada gambar 3.5 (sebelum *QC*) dan gambar 3.6 (hasil *QC*). Kurva hasil *smoothing* tiap titik VES ditampilkan pada bagian lampiran.

Perubahan nilai sesuai tren tersebut didasari oleh percobaan parameter tes. Pada percobaan digunakan persamaan *foward model* VES untuk dua lapisan. Pada tes ini menggunakan lapisan resistivitas tinggi sebesar 150 Ohm.m dan lapisan resistivitas rendah 50 Ohm.m. Hal ini dikarenakan pada penelitian ini data resistivitas tinggi memiliki nilai sekitar diatas 100 Ohm.m. Sehingga pada parameter tes dapat dilihat tren kurva resistivitas semu secara ideal.



Gambar 4.1 Tes parameter *forward model* resistivitas tinggi ke lebih rendah (150 ke 50 Ohm.m)

Gambar 4.1 merupakan hasil tes lapisan 150 Ohm.m ke 50 Ohm.m. Pada percobaan digunakan ketebalan lapisan pertama 5 m dengan AB/2 hingga 40 m. Ditunjukkan pada hasil tren kurva resistivitas semu mempunyai nilai gradien yang negatif. Hal ini berarti nilai resistivitas semu semakin terpengaruh oleh lapisan resistivitas kedua yang memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan nilai resistivitas lapisan pertama dengan bertambahnya panjang jarak elektroda AB. Panjang jarak elektroda AB mempengaruhi respon penetrasi listrik. Semakin panjang jarak tersebut maka respon resistivitas semu semakin terpengaruh oleh lapisan yang semakin dalam.



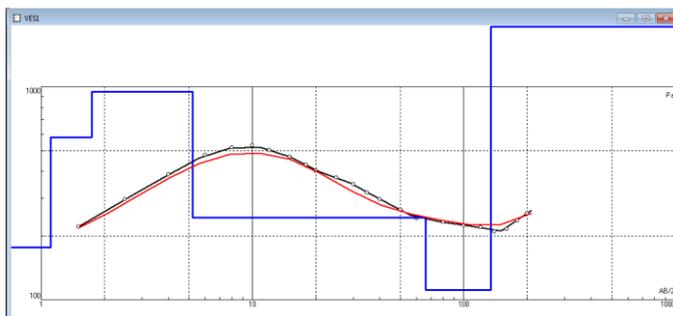
Gambar 4.2 Tes parameter *forward model* resistivitas rendah ke lebih tinggi (50 ke 150 Ohm.m)

Hasil respon resistivitas semu dari parameter tes kedua ditunjukkan pada gambar 4.2. Dimana lapisan pertama merupakan resistivitas rendah 50 Ohm.m sedangkan lapisan kedua memiliki resistivitas lebih tinggi (150 Ohm.m). Parameter tes ini menggunakan parameter ketebalan lapisan dan panjang lintasan yang sama dengan parameter tes pertama. Respon dari nilai resistivitas semu menunjukkan hasil yang umumnya berkebalikan dari parameter tes pertama. Namun pada dasarnya respon ini dikarenakan oleh semakin mempengaruhi lapisan kedua seiring dengan bertambahnya jarak elektroda AB.

Hasil kedua paramater tes menunjukkan hasil tren kurva resistivitas semu secara ideal. Data pengukuran yang didapati *outlier* dapat dilakukan *QC* dengan mengganti nilai datum *outlier* agar sesuai tren kurva yang ideal. Hal ini dilakukan agar saat proses inversi menghasilkan eror yang kecil sehingga parameter resistivitas asli dan ketebalannya lebih tepat.

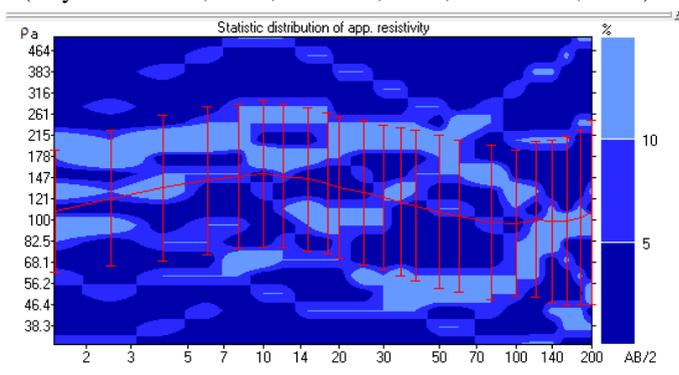
Tujuan dari analisis data pada sub-bab ini akan dilakukan pengolahan data hingga interpretasi geologi. Pertama, kalkulasi hasil resistivitas semu dilakukan proses inversi sehingga didapatkan nilai resistivitas asli dan ketebalan perlapisan. Kemudian dari stratigrafi lapisan resistivitas tersebut dihubungkan dengan data geologi, sehingga hasil interpretasi ini adalah stratigrafi litologi batuan.

Interpretasi data VES berdasarkan nilai resistivitas dari hasil inversinya. Dimana kita mengatur tren kurva sintetik yang *fit* dengan tren kurva resistivitas semu hasil pengukuran. Pada penelitian ini menggunakan standar kualitas data dengan eror maksimal 10% pada proses inversi ini. Inversi VES ini tergolong inversi nonlinear, dimana proses inversi akan menghasilkan perkiraan nilai resistivitas lapisan beserta ketebalannya. Proses inversi juga berkaitan dengan parameter inisial model yang diberikan. Pada penelitian ini menggunakan metode *curve matching inversion*, dimana perkiraan nilai resistivitas dan ketebalan lapisannya diatur dengan kurva resistivitas semu sintetik yang di-*fit*-kan dengan kurva resistivitas semu hasil pengukuran. Pada tahap ini dapat memungkinkan terjadi multi interpretasi, dalam artian resistivitas dan kedalaman hasil inversi dari kurva sintetik dapat memberikan beberapa opsi. Maka untuk mengurangi hal tersebut dalam proses inversinya tiap titik juga harus dikorelasikan dengan data lain.



Gambar 4.3 Contoh hasil *curve matching inversion* VES1

Gambar 4.3 merupakan hasil dari inversi metode *curve matching inversion* titik ukur VES1. Dimana tiap pertemuan garis vertikal dan horisontal (garis biru) merupakan hasil inversi tiap lapisan resistivitas. Garis horisontal merupakan penggambaran dari tebal lapisan. Sedangkan pada garis vertikal merupakan penggambaran dari nilai resistivitas per lapisan. Lapisan resistivitas inilah yang nantinya akan diinterpretasikan dengan data geologi yang ada. Tiap tren pada kurva memiliki kecenderungan sebagai lapisan batuan. Ketika proses inversi berlangsung yakni dengan mengubah garis vertikal dan horisontal akan diikuti perubahan *calculated rho apparent* yang digambarkan tren kurva merah. Tren kurva hitam merupakan *measured rho apparent*. Proses inversi dilakukan dengan pencocokan kedua tren kurva tersebut (antara *calculated* dan *measured*). Proses diagram alir hingga proses inversi ini didukung dan berdasarkan beberapa referensi (Day-Lewis dkk., 2008; Febriana, 2017; Kurniawan, 2009).



Gambar 4.4 Perataan sebaran nilai resistivitas semu

Gambar 4.4 dapat digunakan sebagai pemindaian interpretasi awal. Gambar tersebut merupakan distribusi perataan nilai resistivitas semu terhadap jarak elektoda. Dari hasil tersebut dapat diperkirakan bahwa perlapisan resistivitas memiliki karakteristik resistivitas yang lebih rendah kemudian

meningkat nilainya dengan bertambahnya panjang lintasan dan mengalami penurunan nilai resistivitas di datum akhir.

Keterangan sebelumnya telah menjelaskan bahwa hasil inversi VES berupa perkiraan nilai resistivitas dan ketebalan tiap lapisannya. Sedangkan pada interpretasi nantinya lapisan-lapisan tersebut akan dikorelasikan dengan data geologi. Sehingga hasil dari interpretasi ini adalah menentukan litologi batuan tiap lapisan yang sesuai dengan kondisi geologi daerah pengukuran. Pada daerah pengukuran terdapat dua formasi geologi dengan tutupan tanah berupa aluvium. Pada VES1-VES3 berada pada formasi Qap yang terdiri dari komponen litologi endapan aluvium pantai yang terdiri dari kerikil, pasir, dan batu gamping. Pada daerah pengukuran VES4-VES12 berada pada QTms yang terdiri dari batuan sedimen seperti konglomerat, batupasir, batulumpur, batu gamping.

Dari penjelasan geologi tersebut dapat ditarik beberapa analisis terkait interpretasi. Pada lapisan permukaan tanah pada daerah pengukuran merupakan aluvium. Ruang lingkup litologi batuan terdiri dari batuan penyusun Qap dan QTms. Namun yang perlu diperhatikan adalah tidak semua titik pengukuran VES akan mencakup seluruh litologi yang sesuai dengan formasinya. Hal ini berkaitan dengan prinsip geologi utamanya dalam sedimentasi, jumlah lapisan yang dihasilkan pada hasil inversi, dan juga kedalaman total hasil pengolahan data VES. Hal lain adalah tidak semua titik VES akan menghasilkan interpretasi yang sama dengan tabel 4.1 dikarenakan interpretasi juga mengacu pada analisa geologi yang lebih terkorelasi.

Tabel 4.1 Interpretasi litologi batuan dengan nilai *range* resistivitas

No.	Range Resistivitas (Ohm-m)	Dugaan Litologi
1	< 20	Batu Lumpur
2	20-120	Batu pasir
3	>120	Batu Gamping
4	0-800	Aluvium

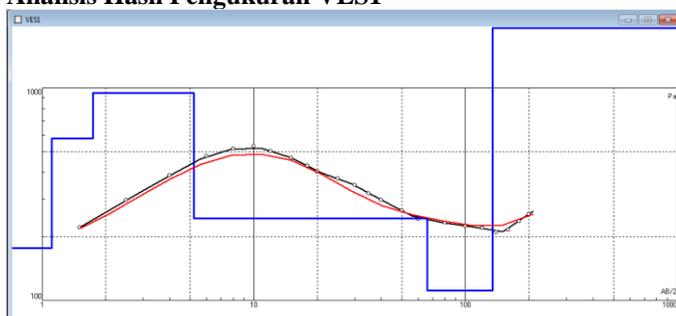
Dalam perspektif nilai resistivitas yang dikaitkan dengan litologi batuan dapat diartikan luas. Artinya adalah sifat resistivitas batuan berbentuk *range* dan memiliki nilai yang tidak spesifik. Hal tersebut dikarenakan pada tiap batuan memiliki sifat fisis yang berbeda akibat proses geologi. Sehingga pendukung data geologi menjadi sangat penting dalam proses interpretasi ini. *Range* resistivitas hasil batu pasir yang menjadi target utama dalam didukung dengan penelitian lain dengan hasil akuifer pada zona pasiran dengan nilai maksimal sekitar 100 s.d. 200 Ohm-m (Gemilang dkk., 2018).

Batu lumpur diinterpretasikan yang memiliki nilai resistivitas terendah. Hal ini dikarenakan pada lumpur memiliki mineral clay yang sifat konduktifitasnya tinggi dan bersifat *impermeable*. Hal lain adalah pada gambar 4.4 menerangkan bahwa pada lapisan terbawah memiliki resistivitas yang rendah

dan pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan mengenai CAT Palu menyatakan bahwa akuifer utama pada Palu merupakan akuifer tidak tertekan, sehingga lapisan *impermeable* terkorelasi diperkirakan berada pada lapisan bagian bawah (Zefftini, 2011). Batu Pasir merupakan zona *interest* dari eksplorasi air tanah. Hal ini dikarenakan batu pasir memiliki kemampuan untuk menyimpan air tanah, karena bersifat berpori dan permeabel untuk air tanah. Batu pasir merupakan batuan yang cenderung bersifat kompak. Oleh karena itu nilai resistivitas batu pasir diinterpretasi dalam range yang lebih besar dari pada range batu lumpur.

Pada formasi Qap dan QTms juga memiliki batuan yang kompak lain yakni batu gamping. Batu gamping pada daerah palu merupakan batu gamping non-klastik atau batu gamping yang terbentuk karena proses biologi. Sehingga batu gamping ini merupakan batu gamping dengan sifat pori yang terbuka. Oleh karena alasan ini batu gamping diinterpretasikan memiliki nilai *range* resistivitas lebih besar daripada batu pasir. Aluvium dapat terdiri dari pasir atau kerikil ataupun campuran keduanya. Sehingga penginterpretasian aluvium lebih condong pada pertimbangan letak titik ukur. Selanjutnya hasil dari analisis diatas (sub-bab 4.1) akan dijelaskan per titik ukurnya. Pada intinya pola interpretasi adalah dari hasil inversi VES dipadukan dengan geologi, kemudian lapisan yang menghasilkan litologi batu pasir yang memiliki nilai resistivitas lebih rendah dijadikan sebagai dugaan akuifer (A. S. Bahri, 2005).

4.1.1 Analisis Hasil Pengukuran VES1



Gambar 4.5 Hasil *curve matching inversion* VES1

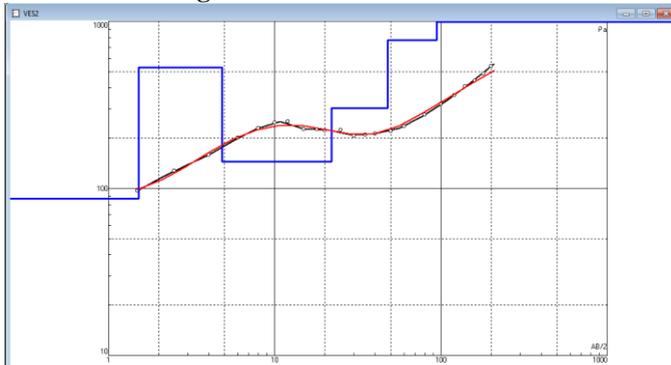
Tabel 4.2 Hasil interpretasi geologi VES1

VES1				Eror : 6,11%
No.	Resistivitas (Ω m)	Ketebalan (m)	Kedalaman (m)	Litologi
1	176	1,1	1,1	Aluvium
2	579	1,0	2,1	Batu Gamping
3	1202	3,1	5,2	Batu Gamping

4	246	30,5	35,7	Kerikil (aluvium)
5	148	90,3	126,0	Pasir (aluvium)

Gambar 4.5 merupakan hasil inversi pada titik VES1. Pada stratigrafi resistivitas proses inversi titik ini menghasilkan 5 lapisan. Berdasarkan hasil inversi kemudian dikorelasikan dengan data geologi sehingga pada titik ini menghasilkan 4 lapisan litologi. *Top soil* yang merupakan aluvium diperkirakan memiliki ketebalan 1,1 m. Kemudian didapati lapisan litologi kedua dengan kontras resistivitas tinggi yakni dengan nilai > 500 Ohm.m, sehingga pada lapisan kedua ini diinterpretasikan sebagai batu gamping. VES1 merupakan titik ukur pada formasi Qap yang merupakan aluvium, oleh karena itu pada lapisan 3 dan 4 diinterpretasi sebagai komponen dari aluvium tersebut. Pemilihan lapisan dominasi kerikil lebih besar nilai resistivitasnya dari pada lapisan dominasi pasir adalah karena pada kerikil lebih berpeluang memiliki pori atau ruang kosong.

4.1.2 Analisis Hasil Pengukuran VES2



Gambar 4.6 Hasil *curve matching inversion* VES2

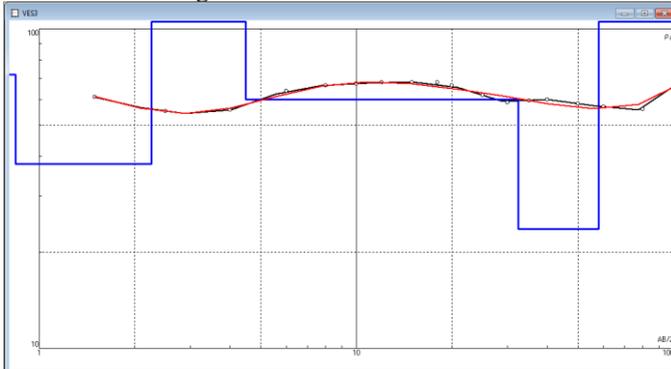
Tabel 4.3 Hasil interpretasi geologi VES2

VES2				Eror : 3,61%
No.	Resistivitas (Ωm)	Ketebalan (m)	Kedalaman (m)	Litologi
1	87	1,5	1,5	Aluvium
2	529	3,3	4,8	Batu Gamping
3	145	17,1	21,9	Endapan Aluvium
4	302	26,0	47,9	Endapan Aluvium
5	771	46,4	94,3	Endapan Aluvium

VES2 merupakan titik ukur yang berasal dari formasi Qap yang merupakan terdiri dari aluvium dan gamping. Pada lapisan tanah penutup permukaan merupakan aluvial pada seluruh titik ukur, pada titik ini lapisan *top*

soil diinterpretasikan memiliki kedalaman 1,5 m. Pada hasil inversi (gambar 4.6) titik ini menunjukkan 5 lapisan resistivitas. Selain pada lapisan *top soil* titik ini memiliki nilai resistivitas yang signifikan > 140 Ohm.m sehingga diinterpretasikan sebagai litologi batuan gamping.

4.1.3 Analisis Hasil Pengukuran VES3



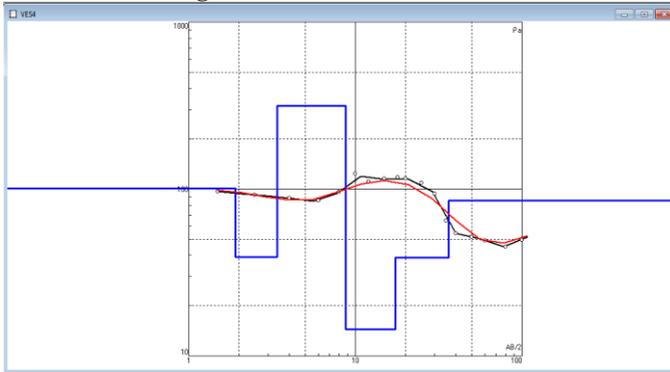
Gambar 4.7 Hasil *curve matching inversion* VES3

Tabel 4.4 Hasil interpretasi geologi VES3

VES3				Eror : 2%
No.	Resistivitas (Ω m)	Ketebalan (m)	Kedalaman (m)	Litologi
1	72	0,8	0,8	Aluvium
2	38	1,4	2,3	Aluvium
3	117	2,2	4,5	Batu Gamping
4	60	27,9	32,4	Pasir (ak)
5	24	25,8	58,2	Pasir (ak)

Hasil inversi pada VES3 ditunjukkan pada gambar 4.7 dengan nilai eror 2%. VES3 memiliki 5 lapisan berdasarkan nilai resistivitasnya. Titik VES3 berada pada formasi Qap yang terdiri dari aluvium dan batu gamping. Hasil interpretasi geologi menunjukkan bahwa terdapat 3 lapisan litologi. Lapisan pertama merupakan lapisan penutup permukaan yakni aluvium. Hal ini dikarenakan korelasikan dengan data lain yang mayoritas menunjukkan batu gamping sebagai lapisan litologi batuan yang kedua dengan nilai kontras resistivitas yang tinggi. Kemudian lapisan ketiga menunjukkan adanya anomali kontras nilai resistivitas yang lebih rendah diinterpretasikan sebagai komponen aluvium mayoritas pasir yang terdapat fluida. Sehingga diberikan keterangan (ak) yang memiliki artian berpotensi sebagai akuifer.

4.1.4 Analisis Hasil Pengukuran VES4



Gambar 4.8 Hasil *curve matching inversion* VES4

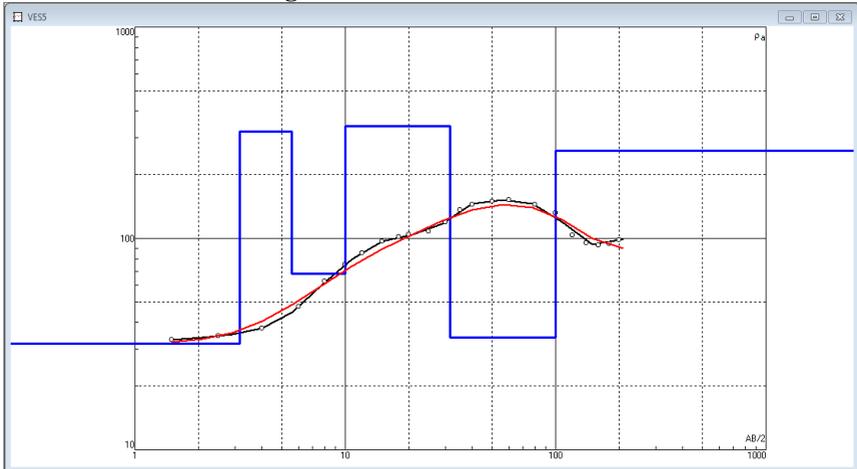
Tabel 4.5 Hasil interpretasi geologi VES4

VES4				Eror : 6,72%
No.	Resistivitas (Ωm)	Ketebalan (m)	Kedalaman (m)	Litologi
1	101	1,9	1,9	Aluvium
2	39	1,5	3,4	Aluvium
3	314	5,3	8,7	Batu Gamping
4	15	8,7	17,4	Batu pasir (ak)
5	39	18,9	36,3	Batu pasir (ak)

Gambar 4.8 merupakan hasil inversi dari titik ukur VES4 yang menghasilkan 5 lapisan resistivitas. Interpretasi mengenai *top soil* yang merupakan aluvium merupakan hal serupa yang ditemui pada VES3 yang lebih mempertimbangkan lapisan litologi kedua merupakan batu gamping bila terdapat kontras resistivitas yang tinggi. Terlihat bahwa pada VES4 terdapat anomali rendah pada pada datum-datum bagian akhir yang berkaitan dengan bertambahnya kedalaman lapisan. Interpretasi geologi menghasilkan tiga lapisan litologi yang terdiri dari aluvium, batu gamping, dan batu pasir. Titik ini terletak pada formasi QTms sehingga memungkinkan terdapat adanya lapisan litologi batu pasir. Anomali rendah pada kedalaman 8,7 m s.d. 36,3 m diinterpretasikan sebagai batu pasir yang diduga berperan sebagai akuifer. Pada lapisan 4 diinterpretasikan sebagai batu pasir meskipun dengan nilai 15 Ohm.m yang lebih rendah dibandingkan dengan jangkauan nilai resistivitas batu pasir rata-rata pada penelitian ini. Hal ini dikarenakan akuifer utama pada palu merupakan akuifer tidak tertekan sehingga meskipun dengan nilai resistivitas batu lumpur (< 20 Ohm.m) lapisan ini tetap diinterpretasikan sebagai batu pasir yang lebih memenuhi korelasi data kondisi geologi. Karena bila hasil interpretasi

menunjukkan adanya lapisan batu lumpur yang memungkinkan adanya kandungan *clay* akan menjadikan akuifer menjadi akuifer tertekan.

4.1.5 Analisis Hasil Pengukuran VES5



Gambar 4.9 Hasil *curve matching inversion* VES5

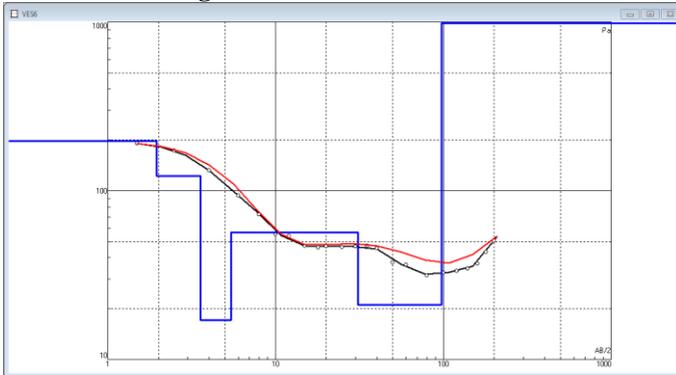
Tabel 4.6 Hasil interpretasi geologi VES6

VES5				Eror : 5,77%
No.	Resistivitas (Ωm)	Ketebalan (m)	Kedalaman (m)	Litologi
1	32	3,2	3,2	Aluvium
2	320	2,4	5,6	Batu Gamping
3	68	4,4	10,0	Selipan Sedimen
4	340	21,6	31,6	Batu Gamping
5	34	68,4	100,0	Batu Pasir (ak)

Hasil inversi pada titik ukur VES5 ditunjukkan pada gambar 4.9 dengan lima lapisan nilai resistivitasnya. Pola dari VES5 yakni mempunyai nilai resistivitas yang naik, namun pada lapisan akhir menunjukkan anomali resistivitas rendah yang nilainya memungkinkan untuk diinterpretasikan dengan batu pasir yang diduga berperan sebagai akuifer dengan nilai resistivitas 34 Ohm.m. VES5 mempunyai fenomena adanya nilai resistivitas rendah diantara nilai kontras resistivitas yang tinggi pada lapisan dua dan empat. Hal ini diinterpretasikan sebagai selipan sedimen yang diduga batu pasir, namun pada lapisan ini tidak diinterpretasikan sebagai lapisan yang berperan sebagai akuifer karena pada bawah lapisan ini merupakan batu gamping yang bersifat pori terbuka. Fenomena tersebut akan mengakibatkan fluida yang tertampung lebih mudah mengalir ke bawah. Oleh karena itu lapisan limalah yang diinterpretasi sebagai batu pasir

yang diduga berperan sebagai akuifer dengan nilai resistivitas 34 Ohm.m pada kedalaman 31,6 m s.d. 100 m.

4.1.6 Analisis Hasil Pengukuran VES6



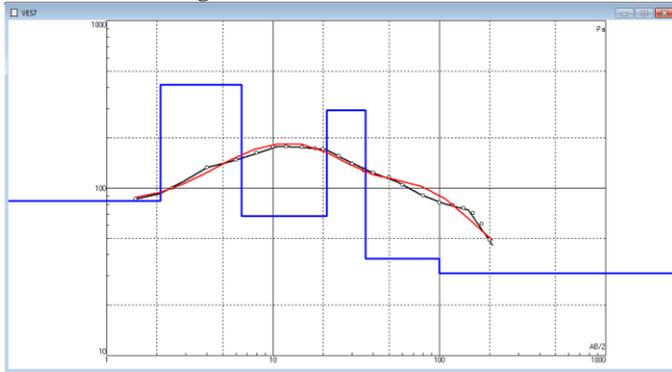
Gambar 4.10 Hasil *curve matching inversion* VES6

Tabel 4.7 Hasil interpretasi geologi VES6

VES6				Eror : 8,83%
No.	Resistivitas (Ω m)	Ketebalan (m)	Kedalaman (m)	Litologi
1	197	1,95	2,0	Aluvium
2	122	1,62	3,6	Batu Gamping
3	17	1,86	5,4	Batu Pasir (ak)
4	57	25,5	30,9	Batu Pasir (ak)
5	21	66,6	97,5	Batu Pasir (ak)

Gambar 4.10 merupakan hasil interpretasi pada titik ukur VES6 yang memiliki lima lapisan berdasarkan nilai resistivitasnya. Pada titik ini menunjukkan bahwa lapisan didominasi memiliki nilai resistivitas yang rendah. Titik ukur VES6 terdapat tiga jenis lapisan berdasarkan interpretasi litologinya (aluvium, batu gamping, dan batu pasir). Pertimbangan interpretasi ini didasari oleh hubungan interpretasi pada titik VES yang lain. Pada titik ini terdapat lapisan batu pasir yang memiliki nilai < 20 Ohm.m. Hal ini dilandasi alasan yang sama dengan pembahasan pada VES 4. Pada titik ini menghasilkan interpretasi data yang menunjukkan adanya lapisan batu pasir yang diduga berperan sebagai akuifer dengan resistivitas rendah (17 Ohm.m, 59 Ohm.m, 21 Ohm.m).

4.1.7 Analisis Hasil Pengukuran VES7



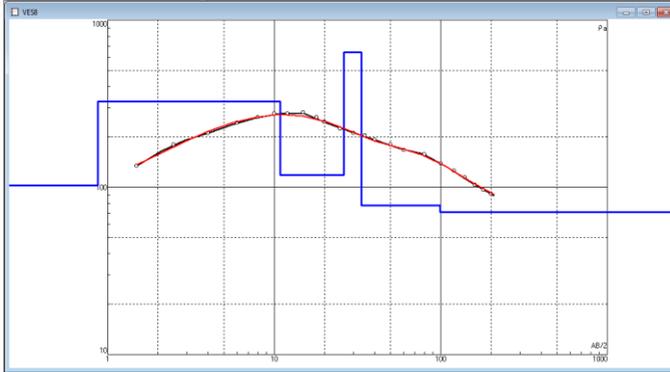
Gambar 4.11 Hasil *curve matching inversion* VES7

Tabel 4.8 Hasil interpretasi geologi VES7

VES7				Eror : 5,77%
No.	Resistivitas (Ω m)	Ketebalan (m)	Kedalaman (m)	Litologi
1	84	2,1	2,1	Aluvium
2	415	4,4	6,5	Batu Gamping
3	68	14,6	21,1	Selipan Sedimen
4	292	14,9	36,0	Batu Gamping
5	38	64,0	100,0	Batu Pasir (ak)

Hasil interpretasi VES7 ditunjukkan pada gambar 4.11 yang memiliki 5 lapisan berdasarkan nilai resistivitasnya. Fenomena selipan sedimen yang juga berorientasi pada batu pasir ditunjukkan muncul diantara batu gamping memiliki nilai resistivitas tinggi. Hal serupa juga ditunjukkan pada hasil interpretasi pada VES5. Anomali nilai resistivitas rendah ditunjukkan pada lapisan terbawah yang diinterpretasikan sebagai batu pasir yang diduga berperan sebagai batu pasir. Lapisan ini didapat pada kedalaman 36 m s.d. 100 m dengan nilai resistivitas 38 Ohm.m.

4.1.8 Analisis Hasil Pengukuran VES8



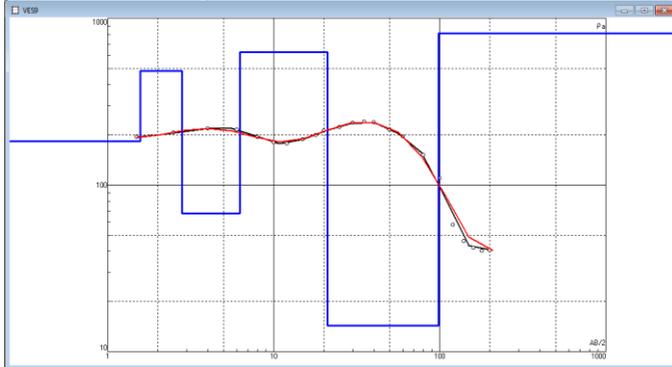
Gambar 4.12 Hasil *curve matching inversion* VES8

Tabel 4.9 Hasil interpretasi geologi VES8

VES8				Eror : 1,87%
No.	Resistivitas (Ωm)	Ketebalan (m)	Kedalaman (m)	Litologi
1	103	0,9	0,9	Aluvium
2	326	10,0	10,8	Batu Gamping
3	118	15,3	26,2	Selipan Sedimen
4	641	7,1	33,3	Batu Gamping
5	78	65,9	99,2	Batu Pasir (ak)

Gambar 4.12 merupakan hasil inversi dari titik ukur VES8 yang menghasilkan 5 lapisan berdasarkan nilai resistivitasnya. Hasil inversi dan interpretasi geologi titik VES8 ini merupakan identik dengan VES7 yang juga memiliki selipan sedimen yang berasosiasi terhadap batu pasir. Pada VES8 didapati hasil interpretasi yang menunjukkan adanya dugaan air tanah pada lapisan ke lima dengan kedalaman 33,3 m s.d. 99,2 m. Lapisan yang diduga sebagai batu pasir yang berperan sebagai akuifer memiliki nilai resistivitas yang paling rendah daripada lapisan-lapisan di atasnya dengan nilai 78 Ohm.m.

4.1.9 Analisis Hasil Pengukuran VES9



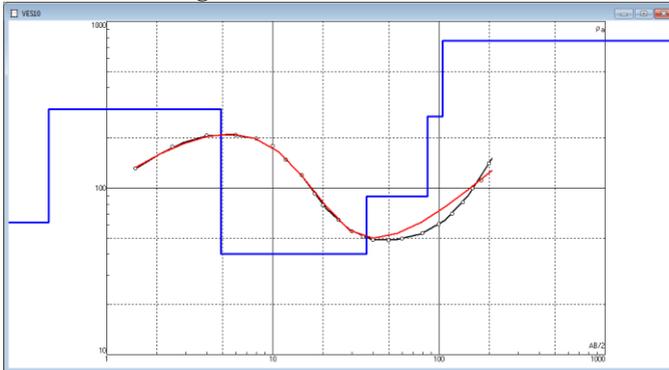
Gambar 4.13 Hasil *curve matching inversion* VES9

Tabel 4.10 Hasil interpretasi geologi VES9

VES9				Eror : 7,91%
No.	Resistivitas (Ωm)	Ketebalan (m)	Kedalaman (m)	Litologi
1	182	1,6	1,6	Aluvium
2	482	1,2	2,8	Batu Gamping
3	68	3,5	6,2	Selipan Sedimen (ak)
4	625	14,8	21,0	Batu Gamping
5	14	77,3	98,3	Batu lumpur

Hasil inversi titik ukur VES9 ditunjukkan dengan gambar 4.13 yang menghasilkan lima lapisan berdasarkan nilai resistivitasnya. Secara litologi VES9 menghasilkan interpretasi geologi dengan empat jenis batuan yakni aluvium sebagai penutup permukaan, batu gamping, selipan sedimen (batu pasir), dan batu lumpur. Pada titik ini terdapat perbedaan dari interpretasi dengan titik lain, yakni dugaan akuifer berada pada batu pasir selipan sedimen. Karakteristik selipan pada penelitian ini diinterpretasikan akan lebih mengalirkan fluida air tanah ke lapisan dibawahnya, namun karena lapisan kelima di bawah batu gamping merupakan batu lumpur yang cenderung *impermeable* sehingga memungkinkan bahwa pada lapisan selipan sedimen tersebut berperan sebagai akuifer. Lapisan tersebut memiliki anomali nilai resistivitas yang rendah yakni sebesar 68 Ohm.m.

4.1.10 Analisis Hasil Pengukuran VES10



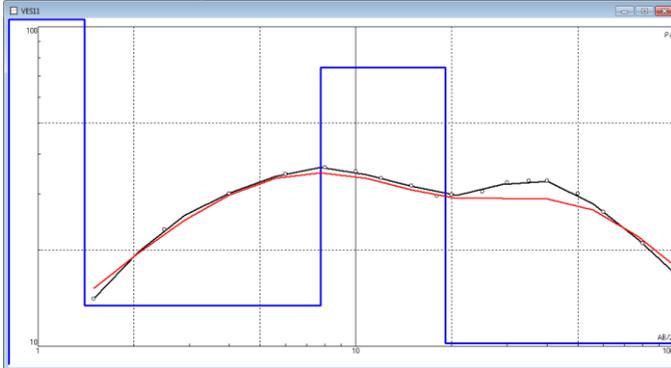
Gambar 4.14 Hasil *curve matching inversion* VES10

Tabel 4.11 Hasil interpretasi geologi VES10

VES10				Eror : 8,16%
No.	Resistivitas (Ω m)	Ketebalan (m)	Kedalaman (m)	Litologi
1	62	0,4	0,4	Aluvium
2	298	4,4	4,9	Batu Gamping
3	40	31,7	36,6	Batu Pasir (ak)
4	89	48,7	85,3	Batu Pasir (ak)
5	269	19,9	105,2	Batu Pasir

Gambar 4.14 merupakan hasil inversi dari VES10 yang memiliki lima lapisan berdasarkan nilai resistivitasnya. Korelasi dengan interpretasi geologi perlapisannya ditunjukkan pada tabel 4.11 yang menghasilkan tiga jenis litologi batuan. Terdapat lapisan dengan anomali nilai resistivitas yang cenderung lebih rendah (nomer 3 dan 4) yang diinterpretasikan sebagai batu pasir yang diduga berperan sebagai akuifer. Lapisan tersebut berada pada kedalaman 4,9 m s.d. 85,3 m dengan nilai resistivitas 40 dan 89 Ohm.m. Interpretasi yang berbeda dari jangkauan resistivitas secara umum pada dibandingkan titik ukur VES lain adalah pada lapisan kelima yang diinterpretasikan dengan batu pasir namun memiliki nilai resistivitas yang tinggi (269 Ohm.m) yang secara umum merupakan nilai resistivitas dari batu gamping. Hal tersebut didasarkan dengan tidak terkorelasinya hasil interpretasi bila lapisan tersebut diinterpretasikan sebagai batu gamping. Batu pasir dengan nilai resistivitas tersebut juga tidak diinterpretasikan sebagai batuan yang berperan sebagai akuifer karena memungkinkan sekali lapisan batuan tersebut lebih kompak sehingga pori yang dimiliki lapisan tersebut tidak sebesar lapisan batu pasir sebelumnya.

4.1.11 Analisis Hasil Pengukuran VES11



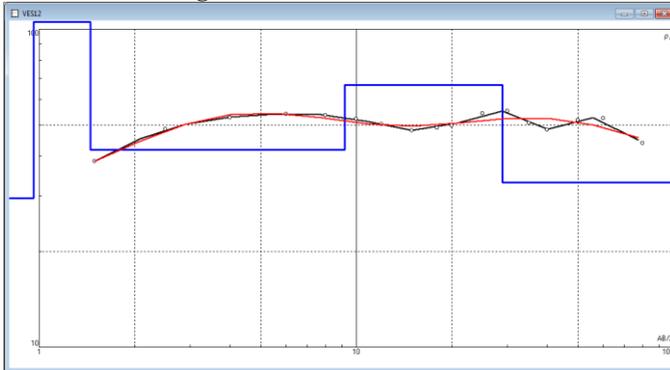
Gambar 4.15 Hasil *curve matching inversion* VES11

Tabel 4.12 Hasil interpretasi geologi VES11

VES11				Eror : 5,46%
No.	Resistivitas (Ωm)	Ketebalan (m)	Kedalaman (m)	Litologi
1	7	0,7	0,7	Aluvium
2	262	0,7	1,4	Batu Gamping
3	13	6,4	7,8	Batu Pasir
4	75	11,4	19,2	Batu Pasir

Hasil inversi titik ukur VES11 ditunjukkan pada gambar 4.15 dengan menghasilkan empat lapisan resistivitas. Pada titik ukur ini memiliki panjang lintasan yang 200 m yang lebih pendek dari mayoritas titik ukur lainnya, sehingga memungkinkan interpretasi memiliki kedalaman yang lebih pendek pula. Pada tabel hasil interpretasi geologi VES11 menunjukkan bahwa terdapat anomali rendah (13 Ohm.m dan 75 Ohm.m) yang berasosiasi dengan batu pasir. Namun pada lapisan tersebut tidak diinterpretasikan sebagai batuan yang berperan sebagai akuifer dikarenakan berdasarkan hasil titik VES lainnya di formasi QTms pada kedalaman hingga sekitar 30 m memungkinkan adanya kemunculan batu gamping sehingga mengakibatkan lapisan tersebut berperan sebagai selipan sedimen. Selain hal tersebut pada lapisan ke tiga tidak diinterpretasikan sebagai batu lumpur karena pada persepsi penelitian ini batu lumpur terletak pada lapisan yang terdalam.

4.1.12 Analisis Hasil Pengukuran VES12



Gambar 4.16 Hasil *curve matching inversion* VES12

Tabel 4.13 Hasil interpretasi geologi VES12

VES12				Eror : 3,46%
No.	Resistivitas (Ωm)	Ketebalan (m)	Kedalaman (m)	Litologi
1	29	1,0	1,0	Aluvium
2	213	0,5	1,5	Batu Gamping
3	42	7,7	9,2	Batu Pasir
4	67	19,7	28,9	Batu Pasir

Gambar 4.16 merupakan hasil inversi pada titik ukur VES12 yang menghasilkan empat lapisan berdasarkan nilai resistivitasnya. VES12 merupakan lintasan dengan panjang lintasan terpendek dibandingkan dengan panjang lintasan titik ukur lain. Pada titik ini memiliki panjang lintasan 160 m. Sehingga hasil interpretasi menunjukkan kemiripan dengan titik ukur VES11, yakni pada lapisan ke tiga dan empat yang memiliki nilai resistivitas 42 Ohm.m dan 67 Ohm.m yang berasosiasi pada batu pasir tidak bisa diinterpretasi sebagai batuan yang berperan sebagai akuifer. Hal ini dikarenakan kemunculan batu gamping masih memungkinkan pada kedalaman sekitar 30 meter yang mengakibatkan lapisan batu pasir tersebut akan menjadi selipan sedimen.

4.2 Pembahasan Distribusi Air Tanah

Pada sub bab 4.1 telah dijelaskan analisis data resistivitas hingga interpretasi geologi. Pada interpretasi tersebut menghasilkan litologi batu pasir yang dapat berperan sebagai akuifer air tanah. Selanjutnya pada sub bab 4.2 akan dibahas mengenai aliran distribusi air tanah yang berkaitan dengan interpretasi pada sub bab 4.1. Sub bab 4.2 juga menyajikan korelasi data hasil interpretasi dengan peta CAT Palu. Kemudian pada sub bab 4.2 ditampilkan hasil pemodelan tiga dimensi hasil analisis data resistivitas daerah pengukuran hingga perhitungan potensi air tanahnya.

4.2.1 Analisis Aliran Air Tanah dan Korelasi dengan Peta CAT Palu

Analisis ini didasari oleh kondisi latar belakang daerah pengukuran yang mengalami kekeringan. Dengan adanya masalah tersebut keberadaan air tanah dianalisa dengan metode VES pada penelitian ini. Air tanah merupakan suatu material yang umumnya lebih konduktif dari pada batuan disekitarnya. Secara geologi, material pasiran yang paling memungkinkan berperan sebagai akuifer air tanah. Penggunaan interpretasi berdasarkan nilai resistivitas selanjutnya dijabarkan menjadi analisa aliran air tanah pada sub bab ini.

Pengukuran VES pada Qap didominasi oleh litologi aluvium. Pengertian aluvium ini merupakan lapisan campuran pasir, kerikil, dan batu gamping. Pada pembahasan sebelumnya telah dijelaskan bahwa lapisan penutup batuan pada permukaan juga merupakan aluvium. Litologi pasir dapat dijadikan dugaan sebagai zona yang dapat berperan sebagai akuifer. Hal ini didasari oleh sifat fisis pasir memiliki porositas dan permeabilitas yang cukup untuk adanya aliran fluida. Permasalahan yang ada adalah dengan posisi batu kompak atau batu gamping. Pendugaan urutan lapisan batu tersebut digunakan korelasi dengan data VES yang lain. Batuan tersebut sering muncul pada lapisan antara ke 3 s.d 5. Maka pada interpretasi zona Qap ini dipisahkan antara endapan aluvium (kerikil dan pasir) dan batu gamping. Hal ini dikarenakan pada batu gamping lebih sulit berperan sebagai akuifer dikarenakan batu gamping ini bersifat pori terbuka sehingga air tidak tertampung (tersaturasi) pada batuan tersebut.

Zona pengukuran berikutnya berada pada formasi QTms yang meliputi batu gamping, batu konglomerat, batu pasir, dan batu lumpur. Pada formasi ini didapati batu pasir yang dapat berperan sebagai akuifer. Batu pasir memiliki karakteristik fisis berpori dan memiliki permeabilitas yang cukup sebagai akuifer. Pada data yang menunjukkan hasil inversi dengan anomali rendah rata-rata bertempat pada lapisan ke 3 hingga 5 setelah melalui lapisan yang berpotensi lebih kompak dan berpori (batu gamping). Fenomena ini memungkinkan akan membawa air tanah mengalir lebih mudah ke bawah. Sehingga zona-zona resistivitas rendah yang berpotensi sebagai akuifer mayoritas berada pada lapisan bagian bawah.

Tabel 4.14 Potensi zona akuifer hasil korelasi titik ukur VES dengan peta CAT Palu

	VES3	VES4	VES6	VES8
Elevasi Permukaan (m)	40,7	38,5	77,05	61,36
Kedalaman Potensi Akuifer (m)	4,5 - 58,2	8,7 - 36,3	3,6 - 97,5	33,2 - 99,2

Hasil interpretasi yang ada kemudian dikorelasikan dengan peta CAT Palu (gambar 3.2). Hal ini dilakukan untuk memperkuat interpretasi VES. Korelasi ini akan mendeterminasi titik ukur yang berpotensi sebagai zona akuifer berdasarkan lokasi yang berada diatas CAT. Sehingga hasil interpretasi dipersempit dengan tujuan hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi titik

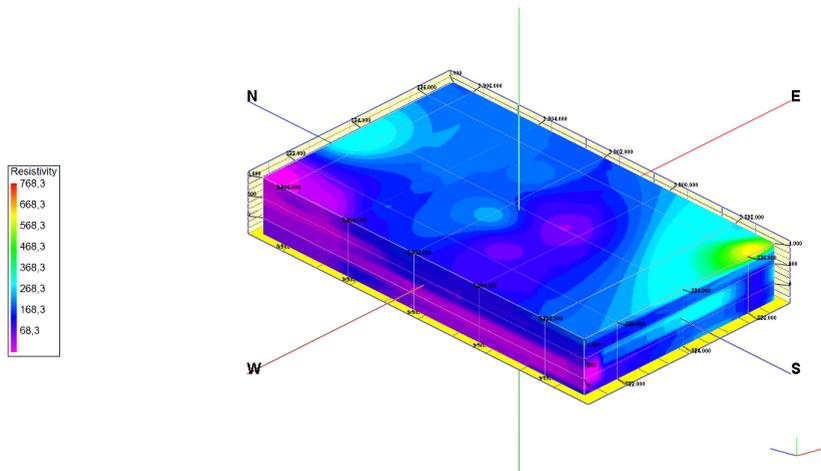
sumur air tanah yang lebih mudah. Tabel 4.14 menampilkan lokasi titik ukur VES yang berada di atas zona CAT Palu dan memiliki nilai resistivitas yang berpotensi sebagai zona akuifer.

Bedasarkan penjelasan pada pembahasan analisis aliran tanah dapat dikatakan bahwa penyebab dari daerah pengukuran mengalami kekeringan adalah lapisan tanah tidak memiliki saturasi terhadap air yang cukup untuk menyimpan air tanah. Selain hal itu zona yang berpotensi sebagai akuifer tidak setiap waktu terdapat air didalamnya. Hal ini berkaitan dengan faktor siklus hidrologi dan karakteristik tanah dalam mengalirkan fluida, dimana pada daerah pengukuran memiliki karakteristik mudah mengalirkan fluida ke lapisan tanah bagian bawah. Sehingga bila pasokan air pada daerah peresapan kurang maka sumur konvensional (± 10 m) sangat rentan mengalami kekeringan.

4.2.2 Pemodelan 3 Dimensi

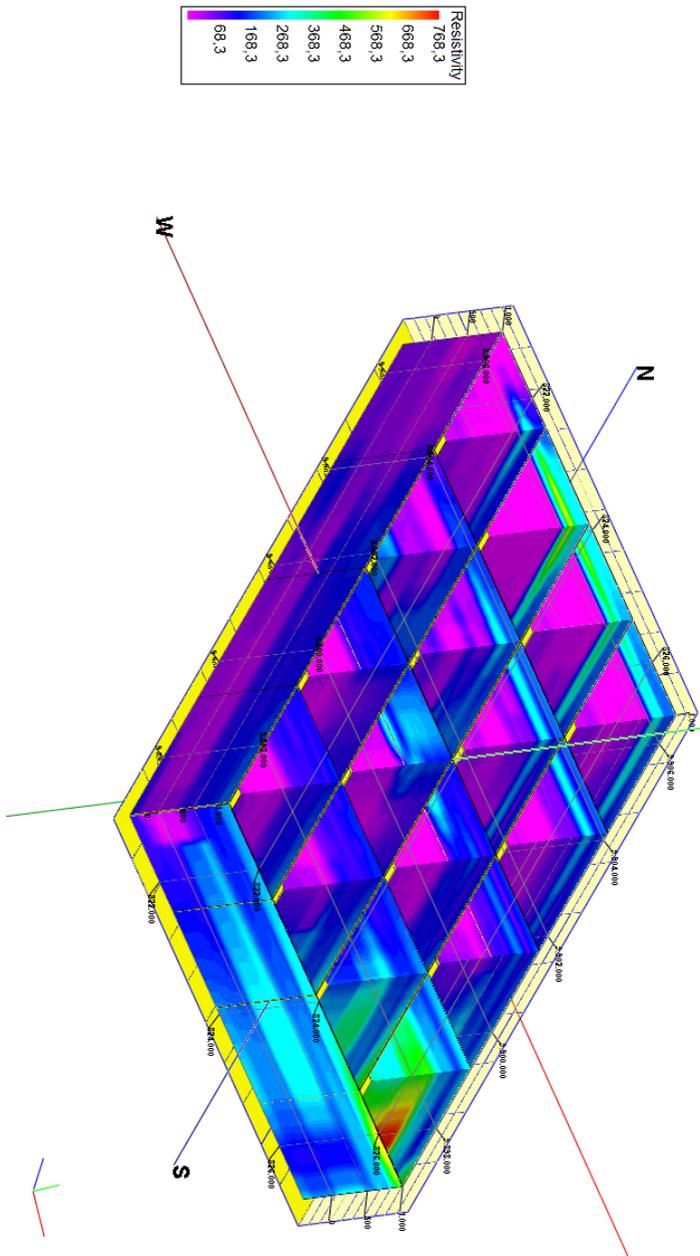
Hasil pengolahan data VES merupakan interval nilai resistivitas tiap lapisan per titik ukurnya. Ditinjau dari dimensi pengukuran memiliki komponen 3 dimensi. Sehingga perlu adanya penggambaran model 3 dimensi berdasarkan data resistivitas. Hal ini dapat dilakukan dengan interpolasi data antar titik ukur VES sehingga ruang yang memiliki kekosongan data dalam dimensi pengukuran dapat dipenuhi (prinsip statistika spasial).

Penggambaran zona yang berpotensi sebagai akuifer berdasarkan data VES menggunakan metode geostatistika *inverse distance weighting* (IDW). Pemodelan IDW ini dilakukan dengan parameter *power* sebesar 2 pada arah lateral dan vertikal. Dalam mempermudah pengamatan, rasio vertikal pada model diperbesar 10 kali. Pemilihan parameter dalam IDW ini didasari oleh (Pramono, 2008).



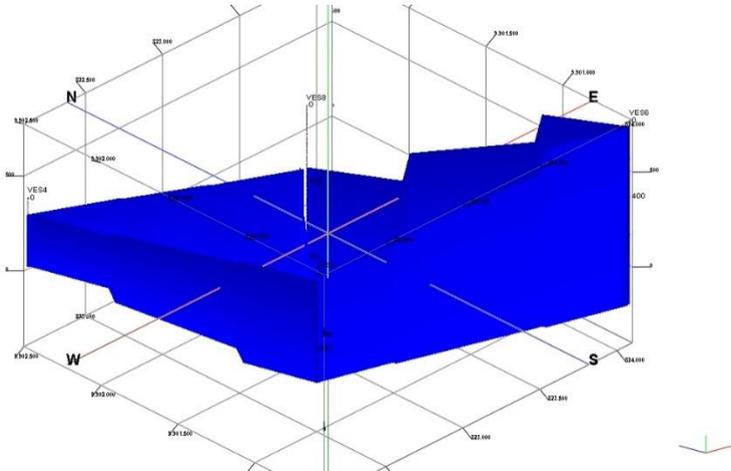
Gambar 4.17 *Solid model* 3 dimensi data VES1-VES12

Gambar 4.17 merupakan hasil model 3 dimensi berdasarkan nilai resistivitas tiap lapisan pada proses inversi. Hasil model menunjukkan bahwa daerah pengukuran didominasi lapisan tanah dengan rentang nilai dibawah 168 Ohm.m. Kontras resistivitas pada daerah antara timur dan selatan dikarenakan titik ukur daerah tersebut memiliki formasi yang berbeda.



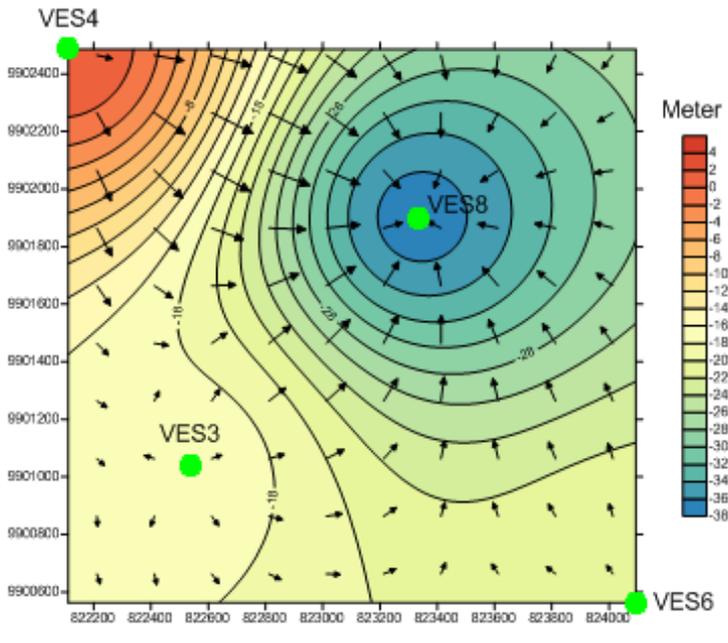
Gambar 4.18 *Slicing* model resistivitas 3 dimensi

Slicing (gambar 4.18) dilakukan agar nilai resistivitas dalam model dapat terlihat. Sesuai dengan target yang dicari yakni zona akuifer berdasarkan hasil interpretasi tabel 4.14. Hasil interpretasi menunjukkan bahwa rentang nilai resistivitas zona akuifer berkisar antara 20 – 120 Ohm.m pada interval kedalaman tertentu. Model kemudian di khususkan pada determinasi zona yang berpotensi akuifer saja dikarenakan rentang nilai resistivitas sulit dibedakan dan akuifer berada pada kedalaman tertentu.



Gambar 4.19 Model zona berpotensi akuifer hasil korelasi dengan CAT

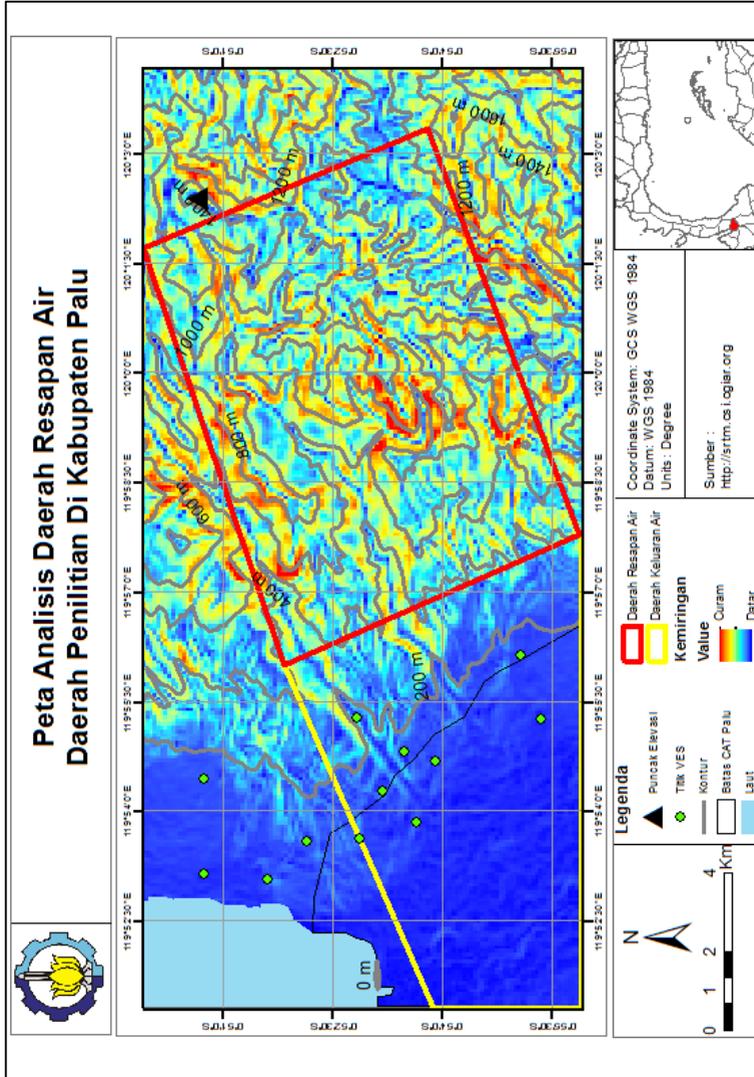
Gambar 4.19 merupakan model hasil pengolahan resistivitas dengan rentang 20 – 120 Ohm.m pada zona khusus yang berpotensi sebagai akuifer. Determinasi kedalaman disesuaikan berdasarkan tabel 4.14. Sehingga model ini merupakan model resistivitas yang telah dikorelasi dengan peta CAT. Ditinjau dari estimasi dimensi model akuifer tersebut memiliki volume bidang sebesar 134.772.008 m³ dan luas bidang akuifer 2.235.025 m². Daerah pengukuran yang meliputi CAT dan terdapat zona akuifer berdasarkan nilai resistivitas merupakan VES3, VES4, VES6, dan VES8. Dilihat dari elevasi model VES8 memiliki zona akuifer dengan capaian elevasi paling rendah. Distribusi air tanah akan mengarah ke area dengan elevasi yang lebih rendah sehingga VES8 diduga sebagai titik akumulasi distribusi air tanah.



Gambar 4.20 Distribusi air tanah pada zona akuifer berdasarkan elevasi dan ketebalan terendah

Gambar 4.19 yang merupakan potensi zona akuifer dengan posisi model yang telah dikorelasi antara ketebalan lapisan zona akuifer dengan elevasinya. Pada model tersebut menghasilkan capaian elevasi terendah berturut dari yang terendah yakni VES8 (-37 m), VES6 (-20 m), VES3 (-17 m), dan VES4 (2 m). Memperjelas distribusi air tanah berdasarkan elevasi, gambar 4.20 menyajikan peta kontur dengan arah distribusi air tanah. Pada gambar ini diambil elevasi terendah lapisan akuifer tiap titik untuk dipetakan.

4.2.3 Analisis Daerah Resapan Air Tanah



Gambar 4.21 Daerah resapan air tanah berdasarkan topografi

Metode yang digunakan untuk analisis daerah resapan air tanah pada penelitian ini menggunakan data variasi topografi. Penggambaran topografi pada dasarnya disajikan dengan peta kontur, namun pada penelitian ini juga digunakan peta SRTM untuk mendapatkan visualisasi kecuraman kemiringannya. Hasil dari analisis pada tahap ini ditunjukkan dengan gambar 4.21. Analisis ini dilakukan karena daerah resapan air tanah merupakan bagian dari siklus hidrologi yang berfungsi sebagai jalannya air tanah menuju daerah keluaran air yang juga merupakan bagian dari daerah penelitian. Jalannya air tersebut dipengaruhi oleh variasi topografi dari elevasi tinggi pada daerah tersebut ditunjukkan dengan elevasi 1400 m ke elevasi rendah hingga 0 m.

Determinasi wilayah daerah resapan air pada penelitian ini ditandai dengan kecuraman permukaan. Dimana pada topografi yang curam dideterminasi sebagai daerah resapan air. Sedangkan pada daerah yang datar dideterminasi sebagai daerah keluaran air atau akumulasi air. Sehingga bila pada daerah yang curam memiliki kemampuan resapan air yang baik maka pada daerah datar akan lebih berpeluang memiliki pasokan air tanah yang lebih banyak pula. Transisi antara daerah resapan dan keluaran ditandai dengan kontras kerapatan kontur dari yang rapat ke jarak interval kontur yang renggang. Secara kuantitatif pada penelitian ini daerah resapan air memiliki rentang ketinggian elevasi sekitar 1400 m s.d. 300 m. Daerah keluaran air didapati memiliki rentang elevasi sekitar 300 s.d. 0 m. Analisis pembahasan ini didasari oleh (Murtianto, 2014).

4.2.4 Analisis Neraca Air

Neraca air merupakan selisih pemasukan air dan pengeluaran air pada suatu wilayah. Analisis neraca air pada pembahasan penelitian ini dibuat model dengan parameter yang sederhana. Pemasukan air merupakan data curah hujan dan pengeluaran air merupakan rata-rata penggunaan air. Berikut data-data yang digunakan,

Tabel 4.15 Data-data sekunder yang digunakan dalam analisis neraca air

No.	Jenis Data	Nilai	Satuan	Sumber
1	Curah hujan Kabupaten Palu rerata/bulan	0,0548	m ³	(S. M. M. Palu, 2016)
2	Jumlah penduduk kecamatan Mantikolure	61826	Jiwa	(P. P. K. Palu, 2015)
3	Konsumsi air perbulan/jiwa	0,15	m ³	(SNI, 2002)
4	Asumsi porositas akuifer	9	%	(Rahmat, 2018)

Tabel 4.15 merupakan data-data sekunder penunjang dalam melakukan analisis neraca air. Data curah hujan 2016 yang digunakan merupakan data terbaru yang dipublikasikan oleh badan pemerintah yang berwenang. Kecamatan mantikolure dipilih karena sebagian besar daerah pengukuran berada pada kecamatan tersebut. Data sekunder selanjutnya yang digunakan merupakan rata-

rata konsumsi air per orang dalam sebulan. Kemudian pemilihan parameter porositas 9 % didasari karena pada sumber data penelitian memiliki litologi yang sama yakni batu pasir dan berada pada Sulawesi Tenggara. Sehingga kapasitas maksimal akuifer dalam menampung air adalah sebesar 12.129.481 m³.

Analisis lebih lanjut pada sub bab ini digunakan beberapa asumsi yang digunakan.

1. Air terserap sepenuhnya dalam akuifer (sesuai kapasitas akuifer).
2. Parameter masukan air hanya berasal dari zona akuifer yang teridentifikasi sesuai tabel 4.14.
3. Curah hujan pada wilayah akuifer sama dengan data yang ditunjukkan tabel 4.15 nomer 1.
4. Keluaran air hanya berdasarkan konsumsi rata-rata penduduk.

Asumsi-asumsi diperlukan karena digunakan pada penentuan parameter neraca air.

Menggunakan hasil perhitungan volume pada sub bab 4.2.2, data curah hujan, dan asumsi yang digunakan didapati bahwa estimasi volume air yang berada di akuifer sebanyak 122.572 m³/bulan. Hasil estimasi volume per bulan tersebut merupakan parameter masukan air. Data jumlah penduduk digunakan untuk mengetahui jumlah air yang dibutuhkan perbulannya dengan mengkorelasikannya dengan data konsumsi rata-rata per bulan, sehingga didapati hasil parameter keluaran air sebesar 278.217 m³/bulan. Dengan demikian pada daerah penelitian didapati defisit air sebesar 155.645 m³/bulan. Hal ini dikarenakan beberapa hal utama yakni data sekunder yang digunakan asumsi yang digunakan, dan determinasi zona akuifer yang terkorelasi dengan CAT saja. Bila nilai resistivitas yang terkorelasi dengan CAT benar menunjukkan kemungkinan zona akuifer (dilakukan dengan pembuktian bor), maka daerah pengukuran yang tidak berada pada zona CAT dapat dijustifikasi sebagai zona akuifer juga.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil analisa penelitian yang telah dilakukan memiliki beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Sebaran nilai resistivitas lapisan batuan pada daerah pengukuran di Kabupaten Palu memiliki rentang dari 13–1202 Ohm.m. Berdasarkan hasil interpretasi litologi yang terdapat pada daerah pengukuran ini adalah aluvium, batu gamping, batu pasir, dan batu lumpur.
2. Zona yang berpotensi sebagai akuifer berdasarkan nilai resistivitas (20–120 Ohm.m) dan korelasi dengan peta Cekungan Air Tanah (CAT) terdapat pada antara titik VES3, VES4, VES6, dan VES8. Akuifer air tanah merupakan akuifer pasiran dengan kemampuan saturasi rendah sehingga air tanah dengan mudah mengalir ke zona akuifer yang lebih rendah. Potensi zona akuifer juga mengalami defisit air 12.129.481 m³/bulan bila menjadi sumber tunggal masukan air pada daerah penelitian.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis data penulis menyarankan pada penelitian selanjutnya menggunakan sumur pengamatan pada daerah yang berpotensi sebagai akuifer. Hal ini bertujuan untuk justifikasi data resistivitas dan mengetahui tingkat kesediaan air tanah berdasarkan beberapa parameter air pada zona akuifer. Adapun parameteranya anatara lain adalah musim dan curah hujan. Dengan demikian dapat diketahui karakteristik distribusi air tanah.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Akawwi, E., Al-Zoubi, A., Abu-Alades, A. dan Al-Ruzouq, R. (2014), "Using Vertical Electrical Sounding for Locating Static Water Level and Geological Features in Aqaba Area, Jordan", *Research Journal of Environmental Sciences*, Vol.8, hal. 39–48.
- Astawa, I.N. (2007), *Indikasi Keberadaan Gas Biogenik, Berdasarkan Hasil Pendugaan Geolistrik Di Delta Cimanuk Indramayu, Jawa Barat*.
- Bahri, A.S. (2005), *Hand Out Mata Kuliah Geofisika Lingkungan dengan Topik Metode Geolistrik Resistivitas*, FMIPA ITS, Surabaya.
- Bahri, A.S., Widodo, A., Utama, W., Warnana, D.D., Aripin, P.R., Banuboro, A. dan Abdillah, R.A. (2017), "3D Resistivity Data Modelling to Identify Aqcuifer Geometry - Field Study PDAM Groundwater Conservation Pandaan", *Regional Conference in Civil Engineering (RCCE)*..
- Bisri, M. (2012), *Air Tanah; Studi Tentang Pendugaan Air Tanah, Sumur Air Tanah dan Upaya Dalam Konsevasi Air Tanah*, Universitas Brawijaya Press, Malang.
- Day-Lewis, F.D., Johnson, C.D., Singha, K. dan Lane, J.W.J. (2008), *Best practices in electrical resistivity imaging: Data collection and processing, and application to data from Corinna, Maine, USA*.
- Evans, J.M. dan Perlman, H. (2016), *Water Cycle*. Diambil 10 Desember 2017, dari <http://water.usgs.gov/edu/watercyclebahasahi.html>.
- Febriana, R.K.N. (2017), *Identifikasi Sebaran Aliran Air Bawah Tanah (Groundwater) Dengan Metode Vertical Electrical Sounding (VES) Konfigurasi Schlumberger Di Wilayah Cepu, Blora, Jawa Tengah*, FMIPA ITS.
- Gemilang, W.A., Kusumah, G. dan Rahmawan, G.A. (2018), "Potensi Air Tanah Di Bagian Beach Ridge Daerah Labuhan Bajau Dan Sekitarnya", *Geosaintek*, Vol.4, No.1, hal. 7–14.
- Geologi, P.L. (2007), *Kumpulan panduan teknis pengelolaan air tanah.*, Dept. Energi dan Sumber Daya Mineral, Badan Geologi, Pusat Lingkungan Geologi, Bandung.
- Hendrajaya, L. dan Arif, I. (1990), "Geolistrik Tahanan Jenis", *Bandung: Laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika FMIPA ITB.*,
- Kurniawan, A. (2009), *Basic IP2Win Tutorial*, Yogyakarta.
- Loke, M.H. (2001), *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies*.
- Loke, M.H., Acworth, I. dan Dahlin, T. (2003), "A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys", *Exploration*

Geophysics, Vol.34, No.3, hal. 182–187.

- Massoud, U., Soliman, M., Taha, A., Khozaym, A. dan Salah, H. (2015), "1D and 3D inversion of VES data to outline a fresh water zone floating over saline water body at the northwestern coast of Egypt", *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, Vol.4, No.2, hal. 283–292.
- Murtianto, H. (2014), *Analisis dampak perubahan landuse pada recharge area lereng Gunung Merapi bagian selatan terhadap ketersediaan air tanah di dataran Yogyakarta*, UPI.
- Palu, P.P.K. (2015), *Jumlah Penduduk, Kelurahan, Rumah Tangga serta Rata-rata Penduduk per Kelurahan dan per Rumah Tangga, 2015* Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Tengah, Palu Diambil dari <https://palukota.bps.go.id/statictable/2016/09/28/235/jumlah-penduduk-kelurahan-rumah-tangga-serta-rata-rata-penduduk-per-kelurahan-dan-per-rumah-tangga-2015.html>.
- Palu, S.M.M. (2016), *Jumlah Curah Hujan dan Jumlah Hari Hujan menurut Bulan di Stasiun Meteorologi Mutiara Palu, 2016* Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Tengah, Palu Diambil dari <https://sulteng.bps.go.id/statictable/2017/12/21/692/jumlah-curah-hujan-dan-jumlah-hari-hujan-menurut-bulan-di-stasiun-meteorologi-mutiara-palu-2016-.html>.
- PANSIMAS (2017), *Atlas Cekungan Air Tanah Indonesia : Sulawesi Tengah Penyediaan Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat*,
- Pramono, G.H. (2008), "Akurasi Metode IDW dan Kriging untuk Interpolasi Sebaran Sedimen Tersuspensi di Maros, Sulawesi Selatan", *Forum Geografi*, Vol.22, No.1, hal. 145–158.
- Rahmat, L.A. (2018), *STUDI ANALISIS KUALITAS BATUPASIR FORMASI MELUHU DAERAH TANJUNG TORONIPA SULAWESI TENGGARA*, Halu Oleo.
- Reynold, J. (1997), *Introduction to Applied and Eviromental Geophysics*, John Willey and Soon Ltd.
- Schon, J. (2011), *Physical Properties of Rock*, 8 Ed., Cubitt, J. ed., Elsevier, Amsterdam.
- Setianto, A. dan Triandini, T. (2013), "Comparison of Kriging and Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation methods in lineament extraction and analysis", *Journal of Southeast Asian Applied Geology*, Vol.5, No.1, hal. 21–29.
- SIMKOT (2005), *Peta Tanah Kota Palu Sistem Informasi Manajemen Perkotaan Kota Palu*, Palu.
- SNI (2002), *Penyusunan neraca sumber daya – Bagian 1: Sumber daya air*

spasial, Jakarta. Diambil dari
http://www.bakosurtanal.go.id/assets/download/sni/SNI/SNI_19-6728.1-2002.pdf.

- Sosrodarsono, S. dan Takeda, K. (2003), *Hidrologi Untuk Perairan*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Subramanya, K. (2008), *Engineering Hydrology*, McGraw-Hill, New Delhi.
- Sukamto, R., Sumadirdja, H., Suptandar, T., Hardjoprawiro, S. dan Sudana, D. (1973), *Peta Geologi Tinjau Lembar Palu* Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Telford, W. (1990), *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, New York.
- Wardhana, R.R. (2017), *Identifikasi Intrusi Air Laut Pada Air Tanah Menggunakan Metode Resistivitas 2D di Daerah Surabaya Timur*, ITS.
- Zefftini (2013), "Potensi Airtanah Di Cekungan Air tanah (CAT) Palu Berdasarkan Satuan Hidromorfologi dan Hidrogeologi", *Jurnal Geografi*, Vol.11, No.22, hal. 97–106.
- Zefftini (2011), "Identifikasi batas lateral cekungan airtanah (cat) palu", *SMARTek*, Vol.9, No.4, hal. 337–349.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

A. Data resistivitas semu titik ukur VES1-VES12

Dat	AB/2	MN/2	VES1	VES2	VES3	VES4
			Rhoavg	Rhoavg	Rhoavg	Rhoavg
1	1,5	0,5	220	96	61	96
2	2,5	0,5	297	124	55	92
3	4	0,5	387	148	56	88
4	6	0,5	498	199	64	42
5	8	0,5	571	211	67	56
6	10	0,5	534	246	67	138
7	12	0,5	566	287	67	72
8	15	5	454	221	64	115
9	18	5	414	261	65	117
10	20	5	385	221	66	120
11	25	5	346	223	62	113
12	30	5	315	249	56	108
13	35	10	297	209	60	7
14	40	10	369	212	60	7
15	50	10	271	226	54	54
16	60	10	236	232	48	39
17	80	10	225	458	105	50
18	100	10	272	375		
19	120	20	216	733		
20	140	20	181	254		
21	160	20	223	961		
22	180	20	284	229		
23	200	20	1258	1120		
Dat	AB/2	MN/2	VES5	VES6	VES7	VES8
			Rhoavg	Rhoavg	Rhoavg	Rhoavg
1	1,5	0,5	33	190	86	134
2	2,5	0,5	37	173	100	180

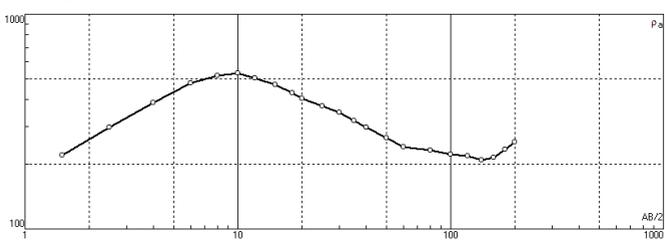
3	4	0,5	29	132	133	22
4	6	0,5	46	93	147	243
5	8	0,5	62	72	162	262
6	10	0,5	80	55	177	275
7	12	0,5	865	54	177	275
8	15	5	89	47	175	278
9	18	5	111	46	172	231
10	20	5	89	47	171	228
11	25	5	78	46	156	207
12	30	5		47	140	192
13	35	10	136	47	128	203
14	40	10	145	45	123	192
15	50	10	150	38	116	180
16	60	10	152	36	48	166
17	80	10	159	32	90	157
18	100	10	134	38	159	139
19	120	20	103	28	82	125
20	140	20	95	79	67	114
21	160	20	91	33	75	103
22	180	20	89	66	61	97
23	200	20	118	57	27	91

Dat	AB/2	MN/2	VES9	VES10	VES11	VES12
			Rhoavg	Rhoavg	Rhoavg	Rhoavg
1	1,5	0,5	182	131	3	38
2	2,5	0,5	205	176	35	53
3	4	0,5	217	206	34	53
4	6	0,5	215	208	36	50
5	8	0,5	194	197	39	52
6	10	0,5	161	178	37	49
7	12	0,5	162	147	35	50

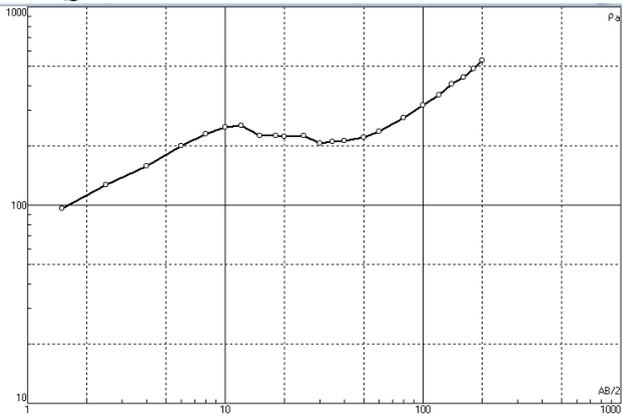
8	15	5	214	119	35	44
9	18	5	211	92	31	47
10	20	5	210	79	32	48
11	25	5	221	64	32	52
12	30	5	213	55	36	60
13	35	10	221	53	34	51
14	40	10	237	51	35	48
15	50	10	215	40	26	51
16	60	10	185	50	26	63
17	80	10	124	47	17	36
18	100	10	137	60	19	
19	120	20	38	21		
20	140	20	16	72		
21	160	20	52	44		
22	180	20	19	152		
23	200	20	116	731		

B. Gambar hasil QC data pengukuran

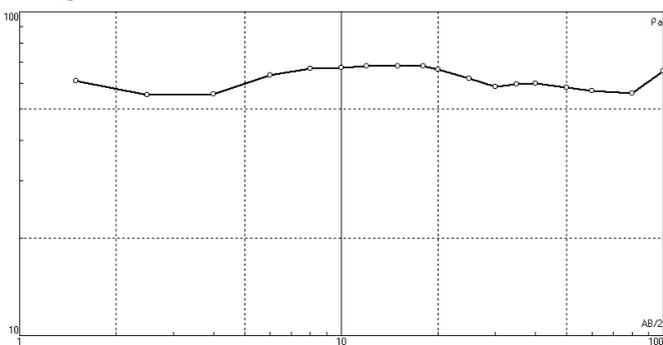
1. Hasil QC titik ukur VES1



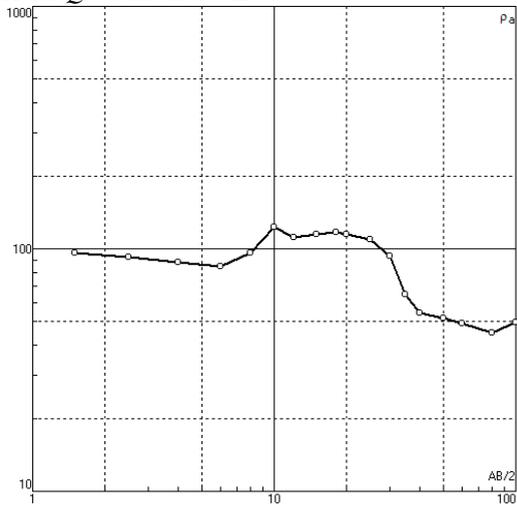
2. Hasil QC titik ukur VES2



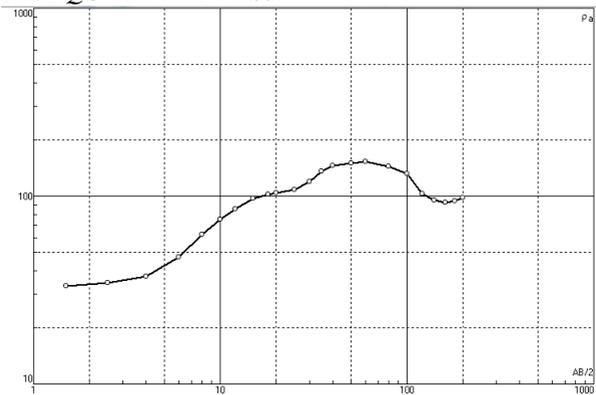
3. Hasil QC titik ukur VES3



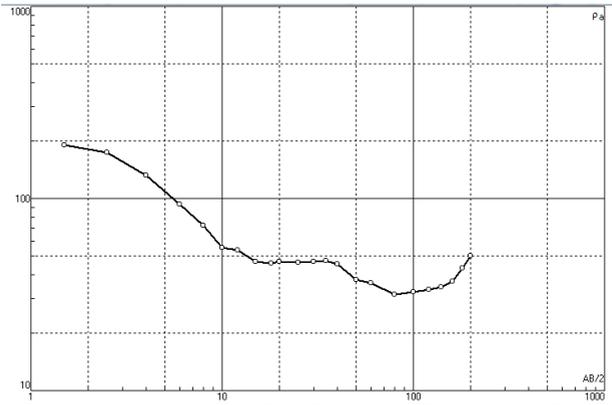
4. Hasil *QC* titik ukur VES4



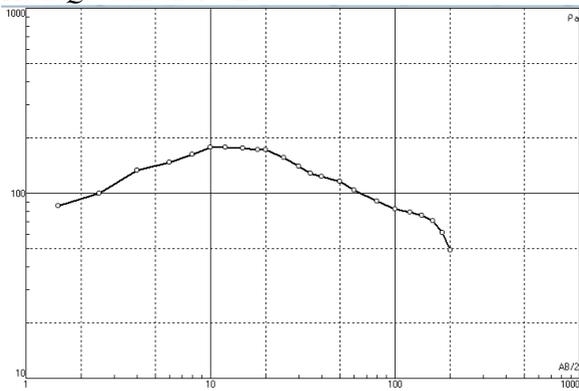
5. Hasil *QC* titik ukur VES5



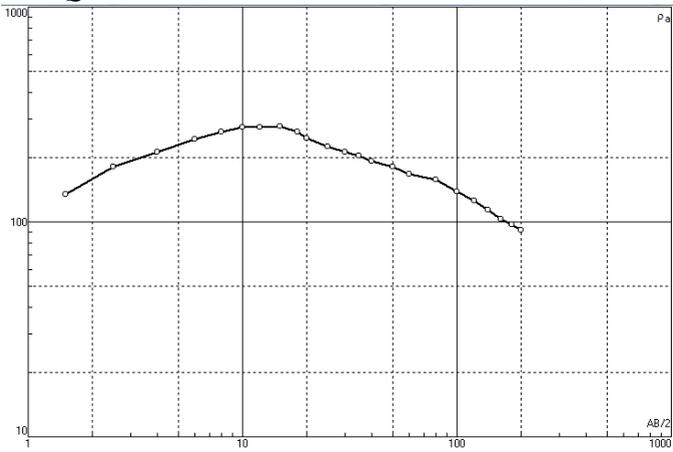
6. Hasil *QC* titik ukur VES6



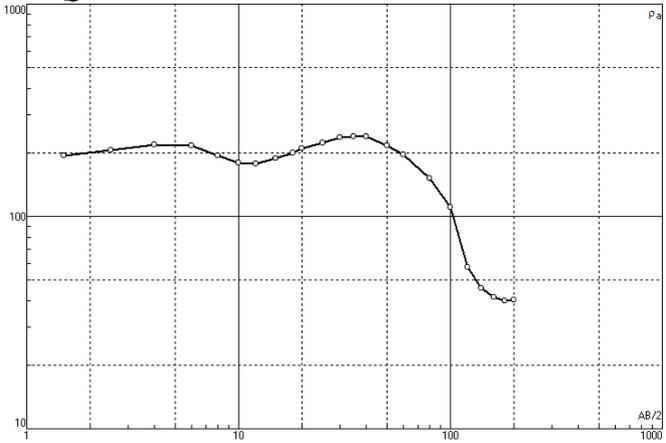
7. Hasil QC titik ukur VES7



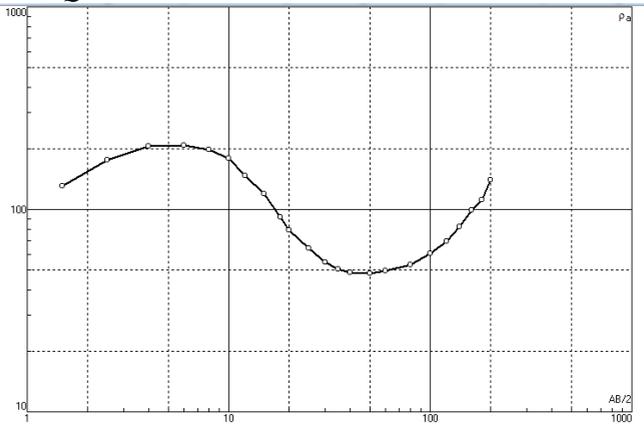
8. Hasil QC titik ukur VES8



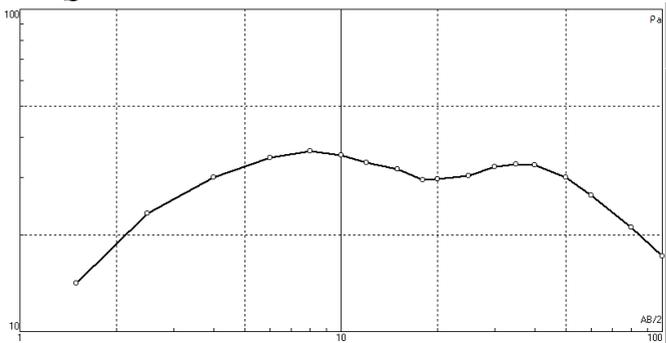
9. Hasil *QC* titik ukur VES9



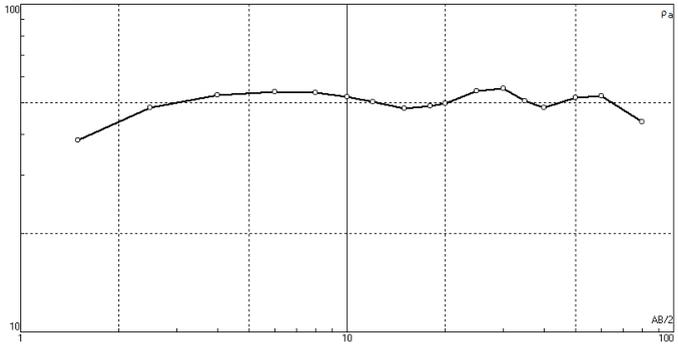
10. Hasil *QC* titik ukur VES10



11. Hasil *QC* titik ukur VES11



12. Hasil QC titik ukur VES12



PROFIL PENULIS



Yusuf Syifaurohman lahir di Surakarta pada 29 September 1995. Anak ke 5 dari 6 bersaudara dari pasangan Bambang Setiaji dan Menuk Hardiningsih. Riwayat pendidikan formal dimulai dari TK Al-Islam 5 Surakarta, SD Al-Islam 2 Surakarta, SMP Al-Islam 1 Surakarta, SMAN 3 Surakarta, dan Memasuki perguruan tinggi Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur SNMPTN. Selama diperiode pendidikan tinggi di ITS penulis memiliki berbagai kegiatan disamping menjalani kegiatan kelas perkuliahan. Dimulai dari kegiatan karawitan melalui Unit Kegiatan Tari dan Karawitan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (UKTK ITS), penulis menyalurkan minat dengan menjadi pengiring karawitan acara wisuda ITS dan sebagai ketua acara Apresiasi Seni 2016. Organisasi lain yang juga diikuti penulis adalah Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS (HMTG ITS), pada periode 2015/2016 sebagai staff departemen riset dan teknologi, kemudian pada periode 2016/2017 sebagai ketua umum HMTG ITS. Selain menjadi fungsionaris organisasi penulis juga berkesempatan menjadi panitia dari berbagai kegiatan kemahasiswaan di ITS, mayoritas kegiatan tersebut dalam lingkup keprofesian seperti kuliah tamu, bincang karir, ataupun pelatihan. Penulis juga aktif dalam mengikuti berbagai kegiatan acara sebagai peserta, beberapa diantaranya adalah sebagai peserta Musyawarah Nasional Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia 2017 di Kalimantan Timur, Kerja Praktik di Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi (PSDMBP) Bandung tahun 2018 dengan tema pengolahan data Magnetotellurik, dan dalam tingkat internasional sebagai perwakilan pertukaran pelajar mahasiswa ITS dengan *National Central University* (NCU) Taiwan pada tahun 2018. Penulis sangat berkenan dalam mendapatkan saran, kritik, maupun ajakan diskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini dan pembaca dapat berkomunikasi melalui email : yusufsyifa95@gmail.com.