

# SKRIPSI

**ANALISIS KUALITAS AIR TANAH DENGAN KAJIAN  
HIDROGEOLOGI MENGGUNAKAN METODE GRAVITASI  
DAN GEOLISTRIK KONFIGURASI *SCHLUMBERGER* DI  
DAERAH GILANGHARJO, BANTUL**

***ANALYSIS OF GROUNDWATER QUALITY  
BY GEOHYDROLOGICAL STUDIES USING GRAVITY AND  
SCHLUMBERGER CONFIGURATION GEOELECTRIC  
METHOD IN GILANGHARJO, BANTUL***



Oleh :

**LISNA TRI UTAMI**

**NIM 115.160.042**

**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"  
YOGYAKARTA  
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

ANALISIS KUALITAS AIR TANAH DENGAN KAJIAN  
HIDROGEOLOGI MENGGUNAKAN METODE GRAVITASI  
DAN GEOLISTRIK KONFIGURASI *SCHLUMBERGER* DI  
DAERAH GILANGHARJO, BANTUL

Telah dipersiapkan dan disusun oleh:

LISNA TRI UTAMI  
115.160.042

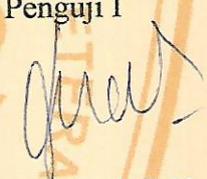
Telah dipertahankan di depan Tim Penguji  
pada tanggal 7 Januari 2021

Susunan Tim Penguji

Pembimbing I

Penguji I

  
Wrego Seno Giamboro, S.T., M.Sc  
NIP. 19861213 201903 1 011

  
Indriati Retno Palupi, S.Si., M.Si  
NIP. 19861013 201903 2 010

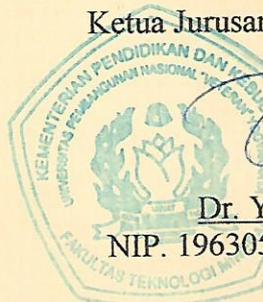
Pembimbing II

Penguji II

  
Ardian Novianto, S.T., M.T.  
NIP. 2 7810 07 0241 1

  
Wiji Raharjo, S.Si., M.Sc  
NIP. 19870206 201903 1 012

Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Geofisika



  
Dr. Yatini M.Si  
NIP. 19630522 199003 2 001

## **PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH**

Saya menyatakan bahwa judul dan keseluruhan isi dari skripsi adalah asli karya ilmiah saya, dengan ini saya menyatakan bahwa dalam rangka menyusun, berkonsultasi dengan dosen pembimbing hingga menyelesaikan skripsi ini, tidak melakukan penjiplakan (plagiasi) terhadap karya orang atau pihak lain baik karya lisan maupun tulisan, baik secara sengaja maupun tidak sengaja.

Saya menyatakan bahwa apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini mengandung unsur penjiplakan (plagiasi) dari karya orang atau pihak lain, maka sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, diluar tanggung jawab Dosen Pembimbing. Oleh karena itu saya sanggup bertanggungjawab secara hukum dan bersedia dibatalkan / dicabut gelar kesarjanaan saya oleh Otoritas/ Rektor Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta dan diumumkan kepada khalayak ramai.

Yogyakarta,

Yang menyatakan, 7 Januari 2021



Lisna Tri Utami

Nomor HP/ Telepon : 085725755402

Alamat Email : [lisnatriutami9@gmail.com](mailto:lisnatriutami9@gmail.com)

Nama dan Alamat Orang Tua : Wagiman

Dero Pucanganom, RT 05 RW 27, Wedomartani,  
Ngemplak, Sleman, Yogyakarta.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dapat selesai dikarenakan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orangtua penulis yang tidak pernah lelah memberikan doa dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Wrego Seno Giaboro, S.T., M.Sc. selaku pembimbing I dan Bapak Ardian Novianto, S.T., M.T. selaku pembimbing II yang telah memberikan waktu, tenaga dan pikirannya untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini dengan lancar.
3. Seluruh Dosen dan Staff Jurusan Teknik Geofisika yang telah memberikan ilmu dan membantu dalam berbagai hal selama penulis menimba ilmu di UPN “Veteran” Yogyakarta.
4. Seluruh teman-teman mahasiswa Teknik Geofisika, terkhusus angkatan 2016 “NANOTESLA” yang telah banyak membantu, memberikan semangat dan motivasi baik selama perkuliahan hingga selesainya skripsi ini.
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih telah membantu penulis dalam penulisan skripsi ini.

Penulis sadar bahwa dalam pembuatan skripsi ini masih banyak kekurangan, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca maupun dapat dijadikan referensi terkait dengan penelitian yang telah dilakukan penulis dalam penelitian ini.

Yogyakarta, 7 Januari 2021



Lisna Tri Utami

## ABSTRAK

### ANALISIS KUALITAS AIR TANAH DENGAN KAJIAN HIDROGEOLOGI MENGUNAKAN METODE GRAVITASI DAN GEOLISTRIK KONFIGURASI SCHLUMBERGER DI DAERAH GILANGHARJO, BANTUL

Oleh:

Lisna Tri Utami

115160042

Penelitian dilakukan pada daerah Gilangharjo, Bantul dikarenakan wilayah Gilangharjo terdapat perbedaan warna dan rasa air tanah yang diduga karena terdapat perbedaan kualitas. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa metode, yaitu metode gravitasi, metode geolistrik serta data kualitas air. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran mengenai cekungan air tanah serta untuk mengetahui kualitas air tanah.

Metode *gravity* digunakan untuk menggambarkan perbedaan densitas batuan secara lateral yang berada di bawah permukaan bumi. Metode geolistrik digunakan untuk menentukan distribusi resistivitas batuan bawah permukaan. Pada penelitian ini, data gravitasi berupa data ABL diolah untuk mendapatkan nilai anomali lokal serta gambaran struktur bawah permukaan. Data geolistrik dari data lapangan dilakukan inversi 1D untuk mendapatkan nilai resistivitas batuan daerah penelitian. Data kualitas air berupa data DHL, TDS dan  $Cl^-$ , data tersebut kemudian dibuat peta persebarannya untuk dianalisa.

Hasil dari penelitian yaitu daerah penelitian terdapat cekungan air tanah dengan anomali gravitasi rendah yaitu -6,5 hingga -3,8 mGal yang diinterpretasikan sebagai Endapan Merapi Muda dan dibatasi oleh Formasi Sentolo di sebelah Barat dan Formasi Nglanggeran di sisi Tenggara. Dari analisa hasil geolistrik, akuifer daerah Koripan memiliki nilai resistivitas  $3\Omega m$  yang diidentifikasi sebagai air payau. Hal tersebut diperkuat dengan data kualitas air, bahwa di daerah Koripan memiliki nilai DHL dan TDS lebih dari 1000 serta nilai  $Cl^-$  lebih dari 200mg/L yang tergolong jenis air payau. Wilayah Gilangharjo terbagi menjadi 3 zonasi kualitas air, yaitu air bersih, air bersih-payau dan air payau.

**Kata Kunci:** Air Tanah, Cekungan, Geolistrik, Gravitasi, Kualitas Air.

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF GROUNDWATER QUALITY BY GEOHYDROLOGICAL STUDIES USING GRAVITY AND SCHLUMBERGER CONFIGURATION GEOELECTRIC METHOD IN GILANGHARJO, BANTUL**

By:  
Lisna Tri Utami  
115160042

*The research was conducted in the Gilangharjo area, Bantul there were differences in color and flavor groundwater allegedly because there are differences in quality. This research using several methods, they are gravity, geoelectric and water quality data. This research was conducted to get an overview of groundwater basins and to determine the quality of groundwater.*

*In this research, gravity data is processed to obtain local anomalies and subsurface structures. Geoelectric method used to determine the resistivity distribution of subsurface rocks. The geoelectric data is processed by 1D inversion to obtain the rock resistivity of the study area. Water quality data consists of data electrical conductivity (DHL), total dissolve solids (TDS), and chloride content (Cl<sup>-</sup>), then create a distribution map for analysis.*

*The result of this research, indicate that the research area has a groundwater basin with a low gravity anomaly value from -6.5 to -3.8 mGal. The basin is composed of Young Volcanic Deposits of Merapi Vulkano and is bounded by the Sentolo Formation on the West and the Nglanggeran Formation on the Southeast. From the geoelectric analysis, the Koripan aquifer has a resistivity value of 3Ωm which is identified as brackish water. It is strengthened with water quality data, that the Koripan area has value of DHL and TDS more than 1000 and Cl<sup>-</sup> values more than 200 were classified as brackish water. The Gilangharjo area is divided into 3 water quality zoning, namely clean water, clean-brackish water and brackish water.*

**Keyword:** Groundwater, Basin, Geoelectric, Gravity, Water Quality.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>

### **BAB I PENDAHULUAN**

1. 1. Latar Belakang .....	1
1. 2. Perumusan Masalah .....	2
1. 3. Maksud dan Tujuan.....	2
1. 4. Batasan Masalah .....	3
1. 5. Lokasi Penelitian.....	3

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1. Geologi Regional .....	5
2.1.1. Fisiografi .....	5
2.1.2. Stratigrafi.....	6
2.1.3. Geomorfologi .....	10
2.2. Geologi Lokal Daerah Penelitian .....	14
2.3. Hidrogeologi .....	16
2.4. Hidrogeologi Daerah Penelitian.....	20
2.5. Kualitas Air .....	23
2.6. Penelitian Terdahulu .....	29
2.6.1. Anomali Gaya Berat, Kegempaan serta Kelurusan Struktur Geologi Daerah Jogjakarta dan Sekitarnya. (Bambang S.Widijono & Budi Setyanta. 2007).....	29

2.6.2. Cadangan Air Tanah Berdasarkan Geometri dan Konfigurasi Sistem Akuifer Cekungan Air Tanah Yogyakarta-Sleman. (Heru Hendrayana, Victor A. de Sousa Vicente. 2013) .....	30
2.6.3. Karakteristik Akuifer dan Potensi Airtanah Graben Bantul. (Langgeng Wahyu Santosa dan Tjahyo Nugroho Adji. 2014).....	31
2.6.4. Ringkasan Penelitian Terdahulu.....	33

### **BAB III DASAR TEORI**

3.1 Metode Gravitasi.....	34
3.1.1. Hukum Dasar Metode Gravitasi .....	35
3.1.2. Anomali Bouguer.....	37
3.1.3. Densitas Batuan .....	37
3.1.4. Pemisah Anomali Regional-Residual .....	38
3.1.5. <i>Butterworth Filter</i> .....	39
3.1.6. <i>Tilt Derivative</i> .....	40
3.1.7. <i>Total Horizontal Derivative</i> .....	41
3.1.8. <i>Second Vertical Derivative</i> .....	42
3.2 Metode Geolistrik .....	43
3.2.1. Metode Resistivitas.....	44
3.2.2. Resistivitas Semu .....	45
3.2.3. Elektroda Arus .....	46
3.2.4. Konfigurasi <i>Schlumberger</i> .....	48
3.2.5. Resistivitas Batuan.....	49

### **BAB IV METODE PENELITIAN**

4.1. Sistematika Penelitian .....	52
4.2. Akuisisi Data.....	54
4.2.1 Desain Survei Akuisisi Data Geolistrik .....	54
4.2.2 Peralatan dan Perlengkapan Akuisisi Data Geolistrik .....	55
4.2.3 Akuisisi Data Geolistrik.....	57
4.2.4 Data Penelitian .....	59
4.3. Pengolahan Data .....	60

4.3.1	Pengolahan Data Gravitasi.....	60
4.3.2	Pengolahan Data Geolistrik .....	62
4.3.3	Pengolahan Data Air Tanah .....	66
4.4.	Interpretasi dan Analisis .....	67
4.4.1.	Interpetasi Gravitasi .....	67
4.4.2.	Interpretasi Geolistrik .....	68
4.4.3.	Analisis Kualitas Air Tanah.....	68
4.4.4.	Pembuatan Peta Sebaran Air Tanah.....	69

## **BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN**

5.1	Analisis Cekungan Air Tanah .....	71
5.1.1	Peta Anomali <i>Bouguer</i> Lengkap.....	71
5.1.2	Peta Anomali Lokal .....	73
5.1.3	Peta <i>Tilt Derivative</i> .....	77
5.2	Analisis Akuifer .....	79
5.2.1	Analisis Grafik dan Profil 1D Geolistrik .....	79
5.2.2	Analisis Kedalaman dan Ketebalan Akuifer.....	91
5.2.3	Analisis Resistivitas Akuifer.....	98
5.3	Kualitas Air Tanah.....	101
5.3.1	Analisis Daya Hantar Listrik (DHL).....	101
5.3.2	Analisis <i>Total Dissolve Solid</i> (TDS).....	103
5.3.3	Analisis Sebaran Klorida .....	105
5.3.4	Zonasi Persebaran Kualitas Air Tanah .....	107

## **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

6.1	Kesimpulan .....	111
6.2	Saran .....	112

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Peta Lokasi Penelitian. (Dimodifikasi dari <i>Google Earth</i> pada 1 Agustus 2020).....	4
<b>Gambar 2.1</b> .Peta Fisiografi Yogyakarta (Bemmelen, 1949) .....	6
<b>Gambar 2.2</b> Peta geomorfologi Yogyakarta (Husein dkk, 2010) .....	10
<b>Gambar 2.3</b> Peta Geologi Daerah Gilangharjo (Pratiknyo, 2019).....	15
<b>Gambar 2.4</b> Siklus Hidrologi (USGS).....	17
<b>Gambar 2.5</b> Konseptual Model Sistem Hidrogeologi Lereng Selatan Merapi (Kusumayudha, 2008) .....	21
<b>Gambar 3.1</b> Grafik <i>Butterworth Filter</i> Terhadap Nilai K (Whitehead, 2007)	40
<b>Gambar 3.2</b> THD dan TDR pada bidang 3D menurut (Arisoy, 2013) .....	41
<b>Gambar 3.3</b> Nilai gradien horizontal pada model tabular (Blakely, 1996) ....	42
<b>Gambar 3.4</b> Susunan Konfigurasi Eletroda (Loke,2004) .....	45
<b>Gambar 3.5</b> Elektroda Arus Tunggal pada Permukaan Medium Homogen (Telford et al, 1990) .....	47
<b>Gambar 3.6</b> Dua Elektroda Arus pada Permukaan Medium Homogen (Telford et al, 1990) .....	47
<b>Gambar 3.7</b> Penjalaran Arus dari Dua Elektroda pada Permukaan Medium Homogen (Telford et al, 1990).....	48
<b>Gambar 3.8</b> Konfigurasi <i>Schlumberger</i> (Telford et al,1990) .....	49
<b>Gambar 4.1</b> Tahapan Penelitian.....	52
<b>Gambar 4.2</b> Desain Survei Akuisisi Data Geolistrik (dimodifikasi dari <i>Google Earth</i> pada 1 Agustus 2020).....	55
<b>Gambar 4.3</b> Peralatan Dan Perlengkapan Akusisi Data Geolistrik .....	56
<b>Gambar 4.4</b> Diagram Alir Akuisisi Data Geolistrik .....	57
<b>Gambar 4.5</b> Diagram Alir Pengolahan Data Gravitasi .....	60
<b>Gambar 4.6</b> Diagram Alir Pengolahan Data Geolistrik.....	62
<b>Gambar 4.7</b> Contoh pencocokan curva pada software IPI2WIN .....	64
<b>Gambar 4.8</b> Contoh model resistivitas 1D (Grandis, 2009) .....	65
<b>Gambar 4.9</b> Diagram Alir Pengolahan Data Air Tanah .....	66
<b>Gambar 5.1</b> Peta Anomali <i>Bouguer</i> Lengkap.....	72

<b>Gambar 5.2</b> Peta Anomali Lokal .....	74
<b>Gambar 5.3</b> Peta anomali lokal overlay dengan peta geologi .....	76
<b>Gambar 5.4</b> Peta <i>Tilt Derivative</i> .....	78
<b>Gambar 5.5</b> Hasil pencocokan kurva titik VES 1 .....	80
<b>Gambar 5.6</b> Profil 1D titik VES 1 .....	81
<b>Gambar 5.7</b> Hasil pencocokan kurva titik VES 2.....	82
<b>Gambar 5.8</b> Profil 1D titik VES 2 .....	83
<b>Gambar 5.9</b> Hasil pencocokan kurva titik VES 3.....	84
<b>Gambar 5.10</b> Profil 1D titik VES 3 .....	85
<b>Gambar 5.11</b> Hasil pencocokan kurva titik VES 4.....	86
<b>Gambar 5.12</b> Profil 1D titik VES 4 .....	87
<b>Gambar 5.13</b> Hasil pencocokan kurva titik VES 5.....	88
<b>Gambar 5.14</b> Profil 1D titik VES 5 .....	89
<b>Gambar 5.15</b> Hasil pencocokan kurva titik VES 6.....	90
<b>Gambar 5.16</b> Profil 1D titik VES 6 .....	91
<b>Gambar 5.17</b> Peta kedalaman muka air dangkal .....	93
<b>Gambar 5.18</b> Peta ketebalan akuifer dangkal .....	94
<b>Gambar 5.19</b> Peta kedalaman muka air dalam .....	95
<b>Gambar 5.20</b> Peta ketebalan akuifer dalam .....	97
<b>Gambar 5.21</b> Peta resistivitas akuifer dangkal .....	99
<b>Gambar 5.22</b> Peta resistivitas akuifer dalam .....	100
<b>Gambar 5.23</b> Peta sebaran nilai daya hantar listrik (DHL) .....	102
<b>Gambar 5.24</b> Peta sebaran nilai <i>total dissolved solid</i> (TDS).....	104
<b>Gambar 5.25</b> Peta sebaran kandungan klorida (Cl).....	106
<b>Gambar 5.26</b> Peta zonasi kualitas air.....	109
<b>Gambar 5.27</b> Overlay Peta TDR dan Peta zonasi kualitas air .....	110

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Tatanan Stratigrafi daerah Yogyakarta menurut Wartono Rahardjo, dkk (1977).....	6
<b>Tabel 2.2</b> Parameter Fisik dalam Standar Baku Kesehatan Lingkungan.....	24
<b>Tabel 2.3</b> Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan.....	28
<b>Tabel 2.4</b> Parameter Biologi dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan.....	28
<b>Tabel 2.5</b> Ringkasan Penelitian Terdahulu.....	33
<b>Tabel 3.1</b> Nilai Densitas Batuan (Telford et al, 1990) .....	38
<b>Tabel 3.2</b> Tabel Nilai Resistivitas Batuan (Santoso, 2017).....	51
<b>Tabel 4.1</b> Tabel nilai resistivitas batuan (Santoso, 2017).....	68
<b>Tabel 4.2</b> Klasifikasi air tanah berdasarkan DHL (Kodoatie,2005).....	69
<b>Tabel 4.3</b> Klasifikasi air tanah berdasarkan TDS (Todd,1980).....	69
<b>Tabel 4.4</b> Kualitas air tanah berdasarkan Konsentrasi Cl- (Kodoatie,1996)...	69
<b>Tabel 5.1</b> Interpretasi titik VES 1 .....	80
<b>Tabel 5.2</b> Interpretasi titik VES 2.....	82
<b>Tabel 5.3</b> Interpretasi titik VES 3.....	84
<b>Tabel 5.4</b> Interpretasi titik VES 4.....	86
<b>Tabel 5.5</b> Interpretasi titik VES 5.....	88
<b>Tabel 5.5</b> Interpretasi titik VES 6.....	90

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan sebuah cekungan air tanah. Cekungan air tanah ini berada disebelah Selatan Gunung Merapi dan dibatasi oleh dua sungai, yaitu sungai Opak di bagian Timur dan Sungai Progo dibagian Barat. Cekungan ini merupakan dataran yang menjadi tempat terakumulasinya air dari tinggian di sekelilingnya. Air tanah yang berada dalam cekungan baik yang didekat permukaan maupun yang dalam, dimanfaatkan penduduk untuk memenuhi kebutuhan hidup. Sebelum dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan penduduk, alangkah baiknya jika dilakukan kajian mengenai kualitas air. Kajian kualitas air dapat dilakukan dengan kajian hidrogeologi. Kajian hidrogeologi salah satunya dapat dilakukan dengan memanfaatkan metode geofisika.

Metode geofisika digunakan untuk mengetahui kondisi geologi bawah permukaan. Dalam geofisika, terdapat beberapa metode antara lain metode *gravity*, metode geolistrik, metode seismik, metode magnetik. Metode *gravity* atau gaya berat digunakan untuk menggambarkan perbedaan densitas batuan secara lateral yang berada di bawah permukaan bumi. Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui keberadaan air tanah yaitu metode geolistrik. Geolistrik adalah salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dan cara mendeteksinya di permukaan bumi. Pendeteksian ini meliputi pengukuran beda potensial dan arus yang terjadi secara alamiah maupun akibat penginjeksian arus ke dalam bumi.

Pada penelitian ini, akan difokuskan pada kajian hidrogeologi menggunakan metode gravitasi dan geolistrik untuk mengetahui kualitas air tanah. Metode gravitasi digunakan untuk mengetahui keberadaan cekungan air tanah daerah penelitian. Metode geolistrik digunakan untuk mengetahui nilai resistivitas bawah permukaan serta mengetahui keberadaan air tanah. Setelah diketahui cekungan dan air tanah daerah penelitian kemudian dilakukan analisa kualitas air tanah berdasarkan data geolistrik serta data uji sampel air. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan kualitas air tanah di daerah penelitian.

Penelitian ini dilakukan dikarenakan didaerah penelitian ditemukan adanya perbedaan warna dan rasa air tanah, perbedaan tersebut diduga dikarenakan adanya perbedaan kualitas air tanah. Manfaat dari dilakukannya penelitian ini yaitu mampu memberikan gambaran mengenai informasi baik itu keadaan geologi serta kualitas akuifer dari daerah penelitian sehingga diharapkan mampu memberikan gambaran awal untuk pengelolaan daerah penelitian. Selain itu, penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya. Harapan hasil dari penelitian ini berupa zonasi kualitas air tanah, sehingga didapatkan daerah yang memiliki air kualitas yang sesuai standar kelayakan.

## **1. 2. Perumusan Masalah**

Hendrayana (2013) telah melakukan penelitian mengenai cekungan air tanah yang berada di Yogyakarta, dan daerah Bantul masuk kedalam cekungan tersebut. Pada penelitian tersebut, Hendrayana meneliti keberadaan cekungan secara luas, namun belum ada penelitian detail mengenai cekungan dan akuifer daerah Bantul. Perlunya penelitian mengenai cekungan daerah Bantul dikarenakan terdapat permasalahan yaitu belum diketahuinya keberadaan cekungan air tanah, dan kondisi akuifer. Selain itu, di daerah penelitian terdapat perbedaan warna dan rasa air tanah yang diduga karena terdapat perbedaan kualitas air tanah. Oleh karena itu, dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengetahui kualitas air tanah di daerah penelitian. Pemasalahan pada penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana keberadaan cekungan air tanah pada daerah penelitian?
2. Bagaimana keberadaan akuifer pada daerah penelitian?
3. Bagaimana kualitas air tanah didaerah penelitian?

## **1. 3. Maksud dan Tujuan**

Maksud dari dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengidentifikasi cekungan air tanah di Kabupaten Bantul serta untuk mengetahui keberadaan akuifer dan kualitas air tanah.

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini yaitu:

1. Melakukan analisis anomali gravitasi untuk mendapatkan gambaran

- keberadaan cekungan air tanah serta kondisi geologi bawah permukaan.
2. Melakukan analisis nilai resistivitas untuk mendapatkan gambaran keberadaan, kedalaman serta ketebalan air tanah.
  3. Melakukan analisis dari data sampel air untuk mendapatkan kualitas air tanah.
  4. Melakukan analisis mengenai zonasi kualitas air daerah Gilangharjo.

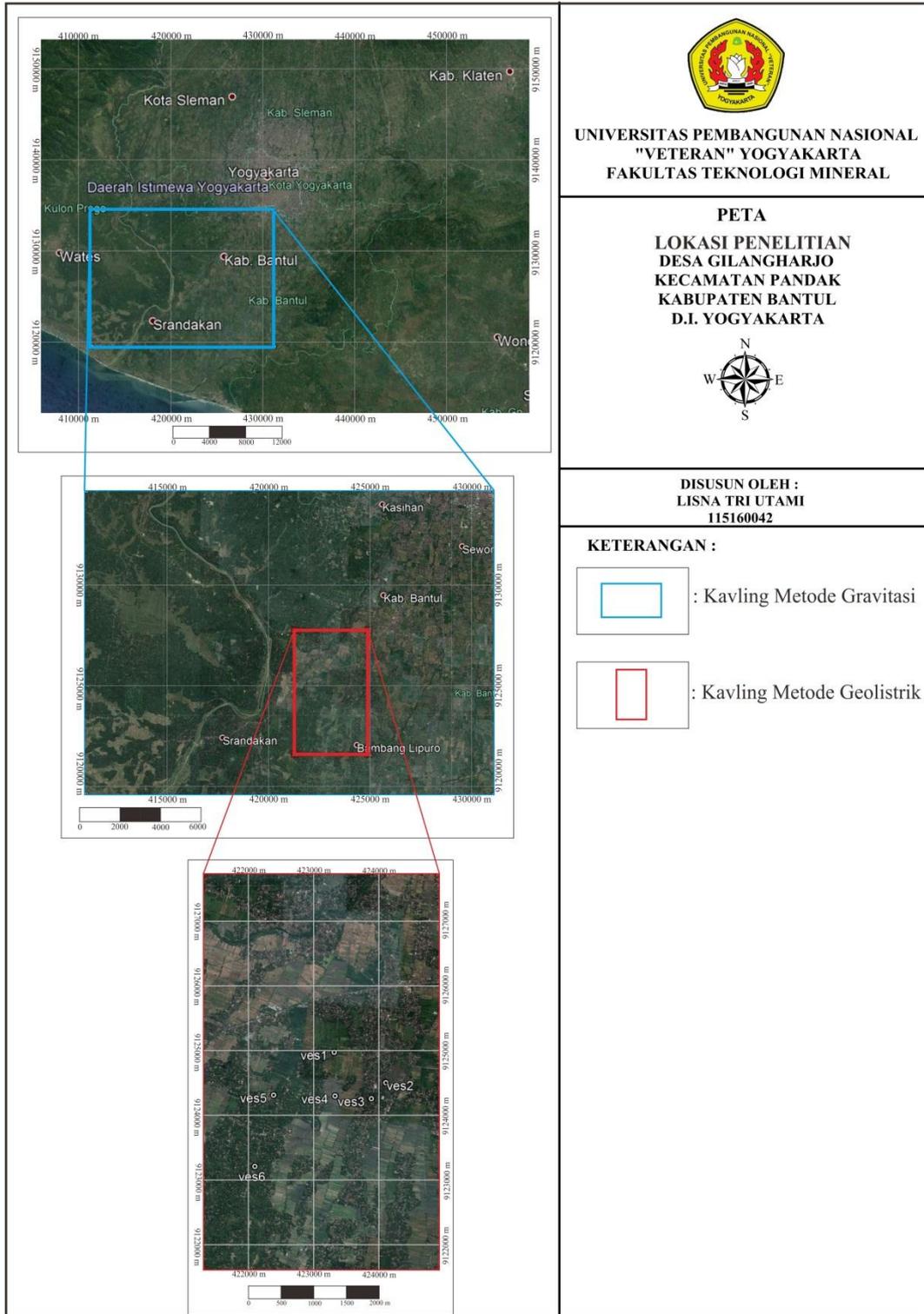
#### **1. 4. Batasan Masalah**

Ada beberapa batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian ini dibatasi pada analisa kualitas air tanah dengan kajian hidrogeologi menggunakan metode geolistrik dan metode gravitasi di daerah Gilangharjo, Bantul.
2. Data gravitasi didapatkan dari data sekunder yang telah diolah menjadi data anomali *bouguer* lengkap. Pengolahan dan pemodelan data gravitasi berupa anomali *bouguer* lengkap, dan *butterworth filtering* untuk memisahkan anomali lokal dan regional.
3. Data geolistrik didapatkan dari akuisisi data dengan total 6 titik geolistrik dengan konfigurasi *Schlumberger*. Pengolahan data geolistrik yang dilakukan berupa inversi 1D. Hasil pengolahan data geolistrik berupa profil 1D, peta kedalaman akuifer, peta ketebalan akuifer dan peta resistivitas akuifer.
4. Kualitas air didapatkan dari uji sampel air tanah di sumur di daerah penelitian. Data yang dibahas mengenai kualitas air yaitu sifat fisik berupa data TDS dan DHL, dan data kimia berupa data kandungan Klorida (Cl).

#### **1. 5. Lokasi Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Gilangharjo, Pandak, Bantul, Yogyakarta dengan luasan kavling daerah penelitian metode gravitasi yaitu 18x14km<sup>2</sup>. Sedangkan penelitian metode geolistrik memiliki jumlah titik pengukuran 6 titik dengan metode resistivitas konfigurasi *schlumberger*. Lokasi penelitian ditunjukkan pada **Gambar 1.1**.



**Gambar 1.1** Peta Lokasi Penelitian. (dimodifikasi dari *Google Earth* pada 1 Agustus 2020)

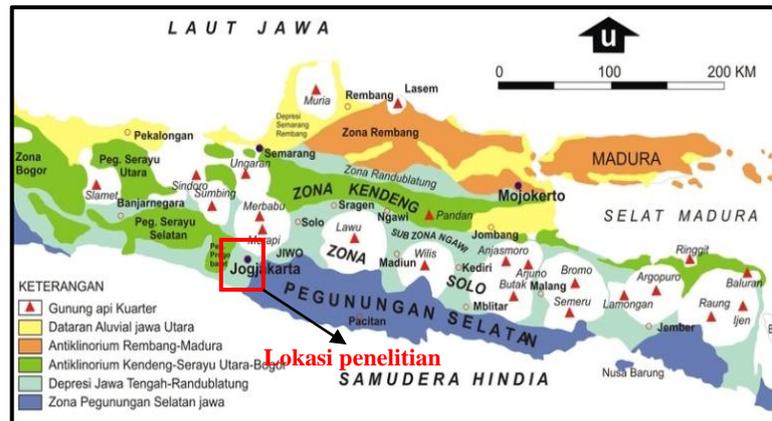
## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Geologi Regional**

Yogyakarta merupakan suatu depresi atau cekungan yang bagian Utara dibatasi oleh Gunung Merapi yang berumur Kuartar, bagian Timur dibatasi oleh Pegunungan Selatan dan bagian Barat dibatasi oleh Pegunungan Kulon Progo, dimana keduanya disusun oleh batuan berumur Tersier, serta bagian Selatan dibatasi oleh Samudera Hindia. (Husein dkk, 2010)

#### **2.1.1. Fisiografi**

Yogyakarta terbentuk karena pengangkatan Pegunungan Selatan dan Pegunungan Kulon Progo pada kala Plistosen Awal (Husein dkk, 2010). Proses pengangkatan tersebut kemudian membentuk cekungan Yogyakarta (**Gambar 2.1**). Dalam cekungan tersebut kemudian berkembang aktivitas Gunungapi Merapi. Secara fisiografis, daerah Yogyakarta terbagi menjadi 4 satuan fisiografi, yaitu: satuan fisiografi Gunungapi Merapi, satuan fisiografi Pegunungan Selatan, satuan fisiografi Pegunungan Kulon Progo dan satuan fisiografi Dataran Rendah. Satuan fisiografi Gunungapi Merapi membentang dari mulai kerucut gunung api hingga dataran fluvial termasuk juga bentang lahan vulkanik yang meliputi daerah Sleman, Kota Yogyakarta dan sebagian Bantul. Satuan fisiografi Pegunungan Selatan terletak di wilayah Gunungkidul, yang merupakan kawasan perbukitan karst. Satuan fisiografi Pegunungan Kulon Progo terletak di Kulon Progo bagian Utara, yang merupakan bentang lahan struktural. Satuan fisiografi Dataran Rendah merupakan bentang lahan fluvial yang didominasi oleh dataran aluvial, yang membentang dibagian Selatan Yogyakarta, mulai dari Kulon Progo hingga Bantul yang berbatasan dengan Pegunungan Selatan.



Gambar 2.1 Peta Fisiografi Yogyakarta (Bemmelen, 1949)

### 2.1.2. Stratigrafi

Stratigrafi dalam arti luas adalah ilmu yang membahas aturan, hubungan dan kejadian (genesa) macam-macam batuan di alam dalam ruang dan waktu sedangkan dalam arti sempit ialah ilmu pemerian lapisan-lapisan batuan. Stratigrafi regional daerah Yogyakarta menurut Rahardjo,dkk (1995) tersusun oleh formasi-formasi batuan, yaitu sebagai berikut :

Tabel 2.1. Tatanan Stratigrafi daerah Yogyakarta menurut Rahardjo,dkk (1995)

MASA ERA	ZAMAN PERIOD	KALA EPOCH	ENDAPAN PERMUKAAN SURFICIAL DEPOSITS	BATUAN GUNUNGAPEI VOLCANIC ROCKS	BATUAN TEROBOSAN INTRUSIVE ROCKS
KENOZOIKUM CENOZOIC	KUARTER QUATERNARY		Qs, Qc	Qcc, Qdf, Qsm, Qme, Qmo, Qrao	da, d, Qmi
			Qb		
	TERSIER TERTIARY	PLIOSEN PLIOCENE	Tmps, Tmpk		
		MIOSEN MIOCENE	Tmj, Tmwi, Tms, Tma, Tmse		da, a, dr
OLIGOSEN OLILOCENE		Tco			

Keterangan:  
 :Formasi daerah penelitian

### 1. Formasi Nanggulan (Teon)

Formasi Nanggulan memiliki ketebalan kurang lebih 300 meter dan berumur Eosen tengah sampai Oligosen akhir. Formasi ini tersebar pada Kecamatan Nanggulan yang memiliki morfologi berupa perbukitan bergelombang rendah hingga menengah. Formasi ini tersusun oleh batupasir yang bersisipan lignit, napal pasiran, batu lempung, sisipan napal dan batugamping, batupasir dan tuff. Bagian bawah formasi ini tersusun oleh endapan laut dangkal berupa batupasir, serpih, dan lignit pada perselingannya. Sedangkan bagian atas dari formasi ini tersusun atas batuan napal, batupasir gampingan, dan tuff yang menunjukkan wilayah endapan laut neritik.

### 2. Formasi Kebo Butak (Tmok)

Formasi ini secara umum terdiri dari konglomerat, batupasir, dan batulempung yang menunjukkan kenampakan pengendapan arus turbid maupun pengendapan gaya berat yang lain. Di bagian bawah oleh Bothe (disebut sebagai anggota Kebo (*Kebo beds*) yang tersusun antara batupasir, batulanau, dan batulempung yang khas menunjukkan struktur turbidit dengan perselingan batupasir konglomeratan yang mengandung klastika lempung. Bagian bawah anggota ini diterobos oleh *sill* batuan beku. Bagian atas dari formasi ini termasuk anggota Butak yang tersusun oleh perulangan batupasir konglomeratan yang bergradasi menjadi lempung atau lanau. Ketebalan rata-rata formasi ini kurang lebih 800 meter. Urutan yang membentuk Formasi Kebo – Butak ini ditafsirkan terbentuk pada lingkungan *lower submarine fan* dengan beberapa intrusi pengendapan tipe *mid fan* yang terbentuk pada Oligosen Akhir.

### 3. Formasi Jonggrangan (Tmj)

Litologi dari Formasi Jonggrangan ini tersingkap baik di sekitar desa Jonggrangan, suatu desa yang ketinggiannya di atas 700 meter dari muka air laut dan disebut sebagai Plato Jonggrangan. Formasi ini berumur Miosen awal hingga Miosen tengah dengan ketebalan 250 meter dan diendapkan pada laut dangkal. Bagian bawah dari formasi ini terdiri dari konglomerat yang ditumpangi oleh batunapal tufan dan batupasir gampingan dengan sisipan lignit. Batuan ini semakin ke atas berubah menjadi batugamping koral (Rahardjo, dkk, 1995). Formasi Jonggrangan ini terletak secara tidak selaras di atas Formasi Andesit Tua.

Ketebalan dari Formasi Jonggrangan ini mencapai sekitar 250 meter (Van Bemmelen, 1949), menyebutkan bahwa Formasi Jonggrangan dan Formasi Sentolo keduanya merupakan Formasi Kulon Progo (“Westopo Beds”).

#### 4. Formasi Sentolo (Tmps)

Formasi ini terletak di bagian Tenggara pegunungan Kulon Progo dengan morfologi perbukitan bergelombang rendah hingga tinggi. Bagian bawah formasi ini tersusun atas konglomerat yang ditumpangi batupasir gampingan, napal tufan dan sisipan tuf kaca. Semakin ke atas berubah menjadi batugamping berlapis dengan fasies Neritik. Batugamping koral dijumpai secara lokal, menunjukkan umur yang sama dengan Formasi Jonggrangan, tetapi di beberapa tempat umur Formasi Sentolo adalah lebih muda.

Berdasarkan penelitian fosil Foraminifera yang dilakukan Darwin Kadar (1975) dijumpai beberapa spesies yang khas, seperti: *Globigerina Insueta Cushman & Stainforth*, dijumpai pada bagian bawah dari Formasi Sentolo. Fosil-fosil tersebut menurut Darwin Kadar (1975, vide Wartono Rahardjo, dkk, 1995) mewakili zona N8 (Blow, 1969) atau berumur Miosen bawah. Umur Formasi Sentolo ini berdasarkan penelitian terhadap fosil Foraminifera Plantonik, adalah berkisar antara Miosen Awal sampai Pliosen (zona N7 hingga N21). Formasi Sentolo ini mempunyai ketebalan sekitar 950 meter (Rahardjo, dkk, 1995).

#### 5. Formasi Semilir (Tmse)

Formasi ini berlokasi di Gunung Semilir, sebelah Selatan Klaten. Litologi penyusunnya terdiri dari tuf, tuf lapili, lapili batuapung, breksi batuapung dan serpih serta terdapat andesit basal sebagai aliran lava bantal. Penyebaran lateral Formasi Semilir ini memanjang dari ujung Barat Pegunungan Selatan. Ketebalan formasi ini diperkirakan lebih dari 460 meter. Formasi Semilir ini menindih secara selaras Formasi Kebo-Butak, namun secara setempat tidak selaras (van Bemmelen, 1949). Formasi ini menjemari dengan Formasi Nglanggran dan Formasi Sambipitu, namun tertindih secara tidak selaras oleh Formasi Oyo.

#### 6. Formasi Nglanggran (Tmn)

Lokasi formasi ini adalah di Desa Nglanggran di sebelah Selatan Desa Semilir. Batuan penyusunnya terdiri dari breksi gunungapi, aglomerat, tuf dan aliran lava andesit-basal dan lava andesit serta kepingannya terdiri dari andesit

dan sedikit basal, berukuran 2 – 50 cm. Di bagian tengah formasi ini, yaitu pada breksi gunungapi, ditemukan batugamping terumbu yang membentuk lensa atau berupa kepingan. Formasi ini juga tersebar luas dan memanjang dari Parangtritis di sebelah Barat hingga tinggian Gunung Panggung di sebelah Timur. Ketebalan formasi ini di dekat Nglipar sekitar 530 meter. Formasi ini menjemari dengan Formasi Semilir dan Formasi Sambipitu dan secara tidak selaras ditindih oleh Formasi Oyo dan Formasi Wonosari. Sementara itu, dengan ditemukannya fragmen batugamping terumbu, maka lingkungan pengendapan Formasi Nglanggran ini diperkirakan di dalam laut.

#### 7. Formasi Sambipitu (Tms)

Lokasi formasi ini terletak di Desa Sambipitu. Secara lateral, penyebaran formasi ini sejajar di sebelah Selatan Formasi Nglanggran, di kaki Selatan Subzona Baturagung, namun menyempit dan kemudian menghilang di sebelah Timur. Ketebalan Formasi Sambipitu ini mencapai 230 meter. Batuan penyusun formasi ini di bagian bawah terdiri dari batupasir kasar, kemudian ke atas berangsur menjadi batupasir halus yang berselang-seling dengan serpih, batulanau dan batulempung. Kandungan fosil bentoniknya menunjukkan adanya percampuran antara endapan lingkungan laut dangkal dan laut dalam. Dengan hanya tersusun oleh batupasir tuf serta meningkatnya kandungan karbonat di dalam Formasi Sambipitu ini diperkirakan sebagai fase penurunan dari kegiatan gunungapi di Pegunungan Selatan pada waktu itu.

#### 8. Formasi Wonosari (Tmwl)

Ketebalan formasi ini diduga lebih dari 800 meter. Kedudukan stratigrafinya di bagian bawah menjemari dengan Formasi Oyo, sedangkan di bagian atas menjemari dengan Formasi Kepek. Formasi ini didominasi oleh batuan karbonat yang terdiri dari batugamping berlapis dan batugamping terumbu. Lingkungan pengendapannya adalah laut dangkal (zona neritik) yang mendangkal ke arah Selatan (Surono dkk, 1992).

#### 9. Formasi Kepek (Tmpk)

Lokasi tipe dari formasi ini terletak di Desa Kepek. Batuan penyusunnya adalah napal dan batugamping berlapis. Tebal satuan ini lebih kurang 200 meter. Formasi Kepek umumnya berlapis baik dengan kemiringan kurang dari 10° dan

kaya akan fosil foraminifera kecil. Lingkungan pengendapannya adalah laut dangkal (zona neritik).

#### 10. Endapan Permukaan (Qc dan Qa)

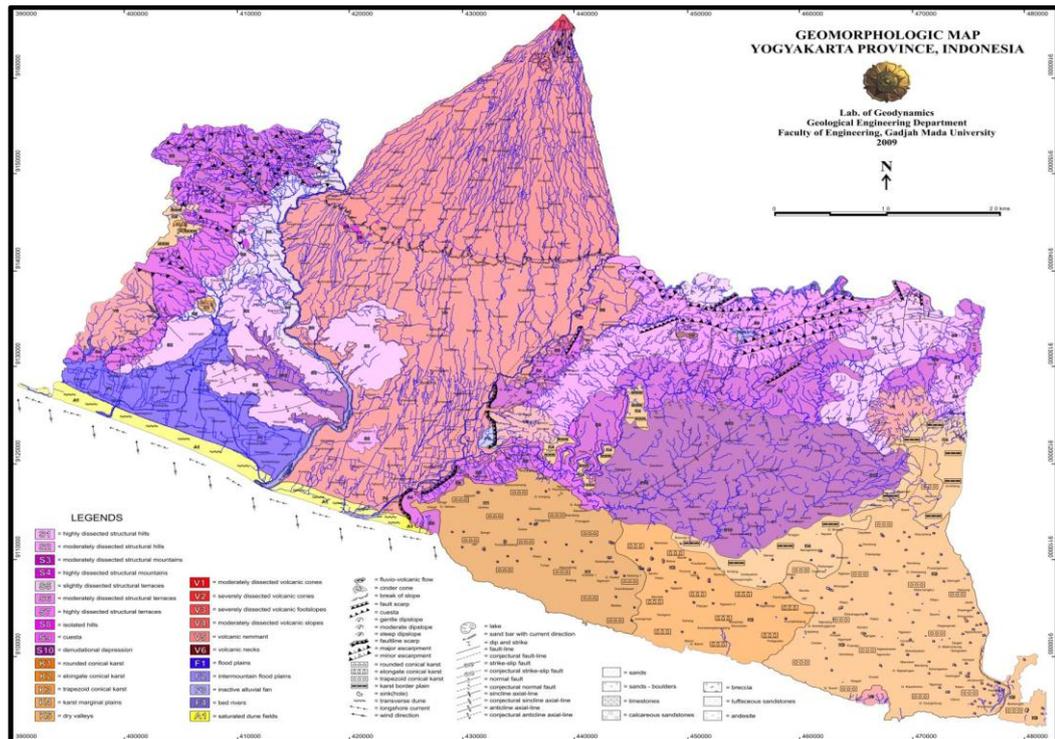
Endapan permukaan ini sebagai hasil dari rombakan batuan yang lebih tua yang terbentuk pada Kala Plistosen hingga masa kini. Terdiri dari bahan lepas sampai padu lemah, berbutir lempung hingga kerakal. (Wartono Rahardjo, dkk, 1977) membagi endapan ini menjadi Koluvium (Qc) dan Aluvium (Qa).

#### 11. Endapan Merapi

Menurut Kusumayudha (2009) Endapan Merapi dapat dibagi menjadi Proto Merapi, berupa lava basal, Merapi Tua, berupa lava basal olivin, Merapi Dewasa, terdiri dari lava andesitik, piroklastika, dan lahar, Merapi Muda, terdiri dari endapan lava andesitik, piroklastika, dan epiklastika, serta endapan aluvial. Produk Proto Merapi tersingkap di Gunung Bibi, lereng timur – timurlaut, dan produk Merapi Tua dijumpai di Turgo - Plawangan, Kaliurang, Selorejo, Grobogan, serta Wringin. Endapan Merapi Muda tersebar secara luas, menempati 60% – 70% dari luas permukaan tubuh Merapi, di lereng Barat (Kabupaten Magelang), Baratdaya dan Selatan (Kabupaten Sleman). Ketebalan endapan berdasarkan data bor mencapai 50 meter.

### **2.1.3. Geomorfologi**

Hasil pemetaan pada skala 1:50.000 (**Gambar 2.2**) dan mengacu pada aspek morfogenesis, yang telah dilakukan Husein, dkk (2010), dijumpai lima bentangalam genetik utama yang berkembang di Provinsi D.I. Yogyakarta, yaitu bentukan asal vulkanik, struktural, karst, fluvial, dan eolian.



**Gambar 2.2.** Peta geomorfologi Yogyakarta (Husein dkk, 2010)

### 1. Bentangalam vulkanik

Bentangalam vulkanik hadir cukup dominan di Provinsi D.I. Yogyakarta. Hal tersebut dapat dipahami karena aktivitas vulkanisme telah bekerja semenjak Tersier hingga saat ini. Pada akhir Paleogen, vulkanisme telah menghasilkan andesit tua Formasi Bemmelen di Pegunungan Kulon Progo dan Formasi Kebobotak di Pegunungan Selatan. Pada Zaman Kwartar, vulkanisme modern hadir di sebelah Utara melalui aktivitas G. Merapi. Dengan demikian, bentukan morfologi vulkanik muncul dari bentuknya yang masih aktif hingga bentukan sisa pada bekas-bekas vulkanisme Tersier. Secara umum, pelamparan unit-unitnya berubah secara teratur dari yang terbesar dimiliki oleh tubuh vulkanik aktif hingga yang terkecil dimiliki oleh leher vulkanik sisa dari vulkanisme Tersier. Bentangalam vulkanik terdiri dari 6 unit morfologi, yaitu morfologi kerucut gunungapi terbiku sedang, kerucut gunungapi terbiku kuat, lereng gunungapi terbiku sedang, kaki gunungapi terbiku sedang, sisa gunungapi, dan leher gunungapi.

### 2. Bentangalam struktural

Bentangalam struktural dapat dikenali dalam 10 unit berbeda, mendominasi bagian Utara Pegunungan Selatan, bagian Barat Pegunungan Kulon Progo, serta

Perbukitan Sentolo. Pelamparan yang luas dan kompleksitas bentukan mengindikasikan pengaruh tektonik yang dominan terhadap Provinsi D.I. Yogyakarta. Hal tersebut dapat dipahami bahwa letak Provinsi D.I. Yogyakarta yang berada di depan busur vulkanik (*fore-arc*) pada saat ini dan senantiasa berhadapan dengan jalur penunjaman Lempeng Samudera Hindia dengan Lempeng Benua Eurasia semenjak terbentuknya cekungan pengendapan, membuat daerah ini mengalami sejarah tektonik yang berulang (*multi -fase*) dan kompleks.

Sebagian bentangalam struktural tersusun oleh litologi batuan gunungapi piroklastik dan epiklastik yang tersesarkan secara kuat, kedua hal inilah yang membedakannya dengan bentangalam vulkanik. Di Pegunungan Selatan, bentangalam struktural hadir secara khas di bagian Utara, dimana lajur-lajur sesar yang bersifat memanjang dan dikontrol oleh kehadiran tubuh vulkanik modern menghasilkan rangkaian pegunungan Kambengan, Plopoh dan Baturagung, yang bersifat memanjang relatif berarah Timur-Barat. Pola serupa juga dapat diamati di bagian Barat pada Lajur Baturagung yang dikontrol oleh kehadiran sistem Sesar Opak yang berarah relatif Timurlaut-Baratdaya dan membatasinya dengan Dataran Rendah Yogyakarta. Di Pegunungan Kulon Progo, bentangalam struktural hadir di bagian tepi (*peripheral*) dengan pola sesar yang cenderung bersifat radial. Batas Utara Pegunungan Kulon Progo merupakan suatu sesar melengkung (*arcuate*) berarah relatif Timur-Tenggara-Barat-Baratlaut, menyerupai sesar-sesar batas Utara Pegunungan Selatan.

Sebagian bentangalam struktural tersusun pula oleh litologi batugamping yang tersesarkan dan terlipatkan secara lemah, tersebar di Perbukitan Sentolo dan bagian tengah Pegunungan Selatan. Perbedaan derajat deformasi antara batuan produk vulkanik Tersier Awal dan batugamping Tersier Akhir lebih disebabkan pada umur, dimana batuan vulkanik mengalami lebih banyak sejarah tektonik dibandingkan dengan batugamping. Bentangalam struktural terdiri dari 10 unit morfologi, yaitu morfologi perbukitan struktural terbiku kuat, perbukitan struktural terbiku sedang, pegunungan struktural terbiku sedang, pegunungan struktural terbiku kuat, teras struktural terbiku lemah, teras sturuktural terbiku

sedang, teras struktural terbiku kuat, perbukitan terisolasi, kuesta, dan cekungan denudasional.

### 3. Bentangalam karst

Bentangalam karst berkembang secara eksklusif di bagian Selatan Pegunungan Selatan, menempati kawasan yang dikenal sebagai Gunung Sewu. Dibatasi di bagian Barat oleh bentangalam struktural yang memisahkannya dengan dataran rendah Yogyakarta, dan bagian Utara oleh Depresi Wonosari serta Pegunungan Panggung. Kehadiran bentangalam ini yang mensyaratkan adanya endapan batugamping yang cukup tebal menandakan sejarah genang laut daerah tersebut pada Tersier Akhir yang lebih lama dibandingkan bagian Utara, serta adanya periode pengangkatan yang episodik yang memberikan kesempatan tahapan-tahapan karstifikasi untuk bekerja dengan baik. Secara stratigrafis, bentangalam karst Gunung Sewu tersusun oleh batugamping terumbu, batugamping berlapis bersifat tufan dan napalan, yang dikelompokkan kedalam formasi Wonosari (Suroso dkk., 1992; Rahardjo dkk., 1995).

Selain di Pegunungan Selatan, bentangalam karst juga berkembang, meski tidak dominan, pada Pegunungan Kulon Progo. Di daerah Jonggrangan, bentangalam ini dibangun oleh batugamping terumbu dan batugamping napalan dari Formasi Jonggrangan (Rahardjo dkk., 1995), hadir sebagai kerucut karst membulat yang dikelilingi oleh dataran tepi karst. Sedangkan di daerah Paingan, kerucut karst membulat hadir pada daerah yang sempit dan tersusun oleh kalkarenit Formasi Sentolo (Rahardjo dkk., 1995). Bentangalam karst dikelompokkan menjadi dari 5 unit morfologi, yaitu karst konikal membulat, karst konikal memanjang, karst konikal trapesoid, dataran tepi karst dan lembah kering karst.

### 4. Bentangalam fluvial

Bentangalam fluvial berkembang secara terpisah diantara bentangalam lainnya, sehingga secara umum dapat dikatakan sebagai suatu cekungan antar pegunungan struktural yang aktif saat ini sebagai tempat deposisi sedimen yang berasal dari tinggian di sekitarnya. Penyusun utama bentangalam ini adalah pasir lempungan dan pasir kerikilan, di beberapa tempat dijumpai sebagai endapan rawa. Hal tersebut mengindikasikan adanya perubahan fasies yang cepat dari

fluvial menjadi lakustrin akibat adanya pengaruh tektonik yang mengontrol perkembangan geomorfologi.

Di Pegunungan Selatan, bentangalam ini diidentifikasi pada dua lokasi, yaitu di sepanjang kaki Utara gawir Lajur Baturagung, serta di daerah Imogiri pada kaki Barat gawir Lajur Baturagung. Di Pegunungan Kulon Progo, bentangalam fluvial hadir secara luas pada kaki Selatan perbukitan Sentolo, dimana batas Selatannya disusun oleh bentangalam eolian yang membentuk pesisir Selatan Yogyakarta. Pada batas kedua pegunungan tersebut, yaitu Pegunungan Selatan dan Pegunungan Kulon Progo, terhadap dataran rendah Yogyakarta, berkembang dua sungai besar, yaitu Sungai Opak dan Sungai Progo. Ada empat unit morfologi bentangalam fluvial yang dapat dikenali, yaitu morfologi dataran banjir, dataran banjir antar pegunungan, kipas aluvial non aktif, dan tubuh sungai.

#### 5. Bentangalam eolian

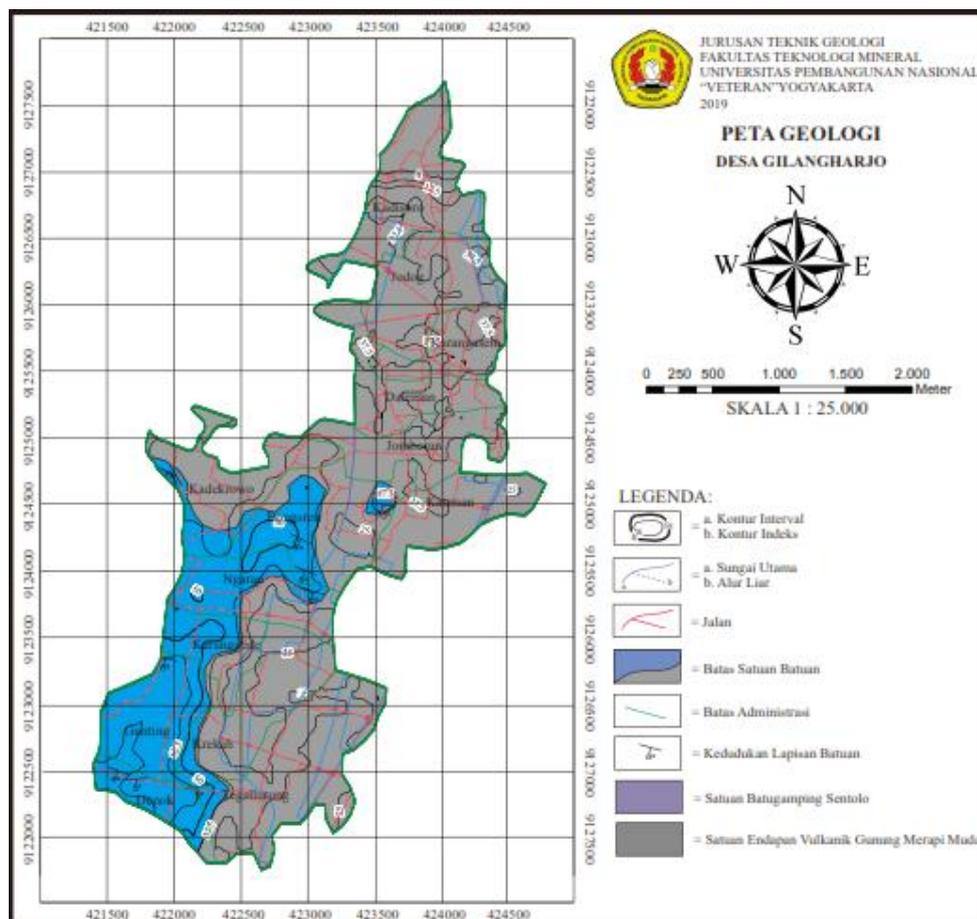
Bentangalam eolian hanya berkembang di bagian Baratdaya daerah kajian sebagai unit gumuk pasir, menempati sepanjang pesisir Selatan Dataran Rendah Yogyakarta hingga ke arah Barat menerus mencapai perbatasan provinsi. Tersusun oleh sedimen pasir yang dibawa oleh aliran tiga sungai utama yang mengalir ke Samudera Hindia, yaitu sungai Opak, Progo, dan Serang, serta diendapkan kembali oleh proses gelombang serta dibentuk oleh proses angin membentuk morfologi gumuk-gumuk pasir. Jenis gumuk pasir yang dijumpai bervariasi, dari tipe transversal di tepi pantai di atas morfologi berm, kemudian berkembang menjadi tipe parabola ke arah darat dan selanjutnya menjadi tipe longitudinal.

## 2.2. Geologi Lokal Daerah Penelitian

Daerah Bantul masuk kedalam cekungan air tanah Sleman merupakan daerah fluviofulkan Gunung Merapi Muda, yang secara morfostruktur merupakan sebuah graben (Santosa, 2018). Graben tersebut dibagian atas merupakan deposisi bahan aluvium pengendapan material piroklastik hasil erupsi gunungapi, merupakan suatu medium untuk berkumpulnya air tanah. Daerah Bantul merupakan cekungan yang disebelah Barat terdapat dinding patahan perbukitan Menoreh dan dibagian Timur terdapat dinding patahan Baturagung. Kondisi geomorfologi tersebut

mengakibatkan Kabupaten Bantul merupakan sebuah cekungan air tanah regional, yaitu sistem akuifer merapi hingga sistem akuifer kepepesisiran.

Stratigrafi daerah Bantul menurut Wartono,dkk (1995) tersusun oleh beberapa formasi batuan, yaitu Formasi Semilir, Formasi Sentolo, Endapan Gunungapi Merapi Muda dan Endapan Alluvium. Formasi Semilir tersusun oleh perselingan antara breksi-tuf, breksi batupung, tuf dasit dan tuf andesit serta batulempung tufan. Formasi ini berumur Oligosen hingga Miosen. Formasi Sentolo tersusun oleh batugamping dan batupasir napalan yang memiliki umur Miosen hingga Plistosen. Endapan Gunungapi Merapi Muda tersusun oleh tuf, abu, breksi, aglomerat dan leleran lava tak terpisahkan. Endapan ini berumur Kuartar. Endapan Alluvium tersusun oleh batuan yang berumur Kuartar yaitu krakal, pasir, lanau dan lempung yang berada di sepanjang sungai yang besar dan dataran pantai. Penelitian ini dilakukan pada daerah Gilangharjo, Bantul. Wilayah Gilangharjo tersusun oleh dua formasi batuan yaitu Formasi Sentolo da Endapan Gunung Merapi Muda (**Gambar 2.3**)



**Gambar 2.3** Peta Geologi Daerah Gilangharjo (Pratiknyo, 2019)

### 2.3. Hidrogeologi

Hidrogeologi adalah bagian dari hidrologi (*sub-surface hydrology*) yang mempelajari distribusi dan gerakan aliran air di dalam tanah/batuan pada bagian kerak bumi dan umumnya pada akuifer (lapisan pembawa air). Air merupakan salah satu kebutuhan utama manusia, sehingga ada ilmu pengetahuan khusus yang membahas tentang air yaitu hidrologi. Hidrologi adalah ilmu tentang air baik di atmosfer, di permukaan bumi, dan di dalam bumi, tentang terjadinya, perputarannya, serta pengaruhnya terhadap kehidupan yang ada di alam ini (Shiddiqy, 2014).

Menurut Kodoatie (2012) siklus hidrologi menjelaskan mengenai perjalanan air secara terus menerus, kotiyu, seimbang di darat baik diatas muka tanah dan di dalam tanah, di laut dan di udara. Siklus hidrologi merupakan proses pergerakan air dari bumi ke atmosfer dan kembali lagi ke bumi yang berlangsung secara kontiyu (**Gambar 2.4**). Siklus ini dimulai dari terjadinya penguapan air ke udara. Hasil penguapan membentuk gumpalan yang disebut awan. Awan yang terbentuk kemudian jatuh kembali ke bumi dalam bentuk hujan atau salju yang disebabkan oleh adanya perubahan iklim dan cuaca. Butiran - butiran air tersebut sebagian ada yang langsung masuk ke permukaan tanah (infiltrasi), dan sebagian mengalir sebagai aliran permukaan. Aliran permukaan yang mengalir kemudian masuk ke dalam tampungan - tarpungan seperti danau, waduk, dan cekungan tanah lain dan selanjutnya terulang kembali rangkaian siklus hidrologi. Beberapa proses dalam siklus hidrologi yaitu:

- Presipitasi

Presipitasi merupakan sebuah proses turunnya air dari atmosfer ke permukaan bumi. Jumlah presipitasi yang turun ke bumi tidak tetap bentuk dan jumlahnya. Bentuk preseiptasi yang jatuh ke bumi dapat berupa hujan (air), salju, kabut, embun, dan hujan es.

- Infiltrasi

Infiltrasi adalah proses masuknya air ke dalam tanah melalui permukaan tanah. Proses infiltrasi dapat berlangsung secara vertikal dan horisontal. Proses infiltrasi secara vertikal disebabkan oleh adanya gaya gravitasi dan dikenal dengan sebutan perkolasi. Proses infiltrasi yang terjadi secara

horizontal disebabkan oleh adanya gaya kapiler yang dikenal sebagai aliran antara (interflow).

- Evaporasi

Dalam hidrologi penguapan dibedakan menjadi evaporasi dan transpirasi. Evaporasi adalah penguapan yang terjadi pada permukaan air, sedangkan transpirasi adalah penguapan yang terjadi melalui peranan tanaman. Transpirasi dapat terjadi mengingat jumlah air hujan yang turun tidak sepenuhnya dapat mengalir, melainkan ada beberapa jumlah air hujan yang tertahan pada tanaman. Proses evaporasi sendiri terbagi atas dua kejadian yang berkesinambungan yaitu, *interface evaporation* adalah transformasi air menjadi uap air di permukaan, sedangkan *vertical vapor transfer* adalah proses pemindahan lapisan udara yang kenyang uap air dari proses *interface evaporation*.

- Evapotranspirasi

Secara sederhana evapotranspirasi adalah proses evaporasi dan transpirasi yang terjadi secara bersamaan. Evapotranspirasi menjadi unsur yang sangat penting dalam sebuah siklus hidrologi, karena evapotranspirasi bernilai sama dengan kebutuhan air konsumtif yang didefinisikan sebagai penguapan total dari lahan dan air yang diperlukan tanaman.



Gambar 2.4 Siklus Hidrologi (USGS)

Air tanah didefinisikan sebagai air yang terdapat di bawah permukaan bumi. Salah satu sumber utamanya adalah air hujan yang meresap ke bawah lewat lubang pori di antara butiran tanah. Air yang berkumpul di bawah permukaan bumi ini disebut akuifer. Ada beberapa pengertian akuifer berdasarkan pendapat para ahli, Todd (1955) menyatakan bahwa akuifer berasal dari bahasa latin yaitu *aqui* dari kata *aqua* yang berarti air dan kata *ferre* yang berarti membawa, jadi akuifer adalah lapisan pembawa air. Herlambang (1996) menyatakan bahwa akuifer adalah lapisan tanah yang mengandung air, di mana air ini bergerak di dalam tanah karena adanya ruang antar butir-butir tanah. Berdasarkan kedua pendapat, dapat disimpulkan bahwa akuifer adalah lapisan bawah tanah yang mengandung air dan mampu mengalirkan air. Hal ini disebabkan karena lapisan tersebut bersifat permeable yang mampu mengalirkan air baik karena adanya pori-pori pada lapisan tersebut ataupun memang sifat dari lapisan batuan tertentu.

Terdapat tiga parameter penting yang menentukan karakteristik akuifer yaitu tebal akuifer, koefisien lolos atau permeabilitas, dan hasil jenis. Tebal akuifer diukur mulai dari permukaan air tanah (*water table*) sampai pada suatu lapisan yang bersifat semi kedap air (*impermeable*) termasuk *aquiclude* dan *aquifuge*. Permeabilitas merupakan kemampuan suatu akuifer untuk meloloskan sejumlah air tanah melalui penampang  $1 \text{ m}^2$ . Nilai permeabilitas akuifer sangat ditentukan oleh tekstur dan struktur mineral atau partikel-partikel atau butir-butir penyusun batuan. Semakin kasar tekstur dengan struktur lepas, maka semakin tinggi batuan meloloskan sejumlah air tanah. Sebaliknya, semakin halus tekstur dengan struktur semakin tidak teratur atau semakin mampat, maka semakin rendah kemampuan batuan untuk meloloskan sejumlah air tanah. Dengan demikian, setiap jenis batuan akan mempunyai nilai permeabilitas yang berbeda dengan jenis batuan yang lainnya.

Tipe akuifer digolongkan menjadi tiga (Kodoatie, 1996) yaitu:

1. Akuifer tertekan (*confined aquifer*)

Merupakan lapisan rembesan air yang mengandung kandungan air tanah yang bertekanan lebih besar dari tekanan udara bebas/ tekanan atmosfer, karena bagian bawah dan atas dari akuifer ini tersusun dari lapisan kedap air (biasanya tanah liat). Muka air tanah dalam kedudukan ini disebut pisometri,

yang dapat berada diatas maupun dibawah muka tanah. Apabila tinggi pisometri ini berada diatas muka tanah, maka air sumur yang menyadap akuifer jenis ini akan mengalir secara bebas. Air tanah dalam kondisi demikian disebut artosis atau artesis. Dilihat dari kelulusan lapisan pengurungnya akuifer tertekan dapat dibedakan menjadi akuifer setengah tertekan (*semi-confined aquifer*) atau tertekan penuh (*confined aquifer*) dan dapat disebut pula dengan akuifer dalam.

2. Akuifer bebas/tidak tertekan (*unconfined aquifer*)

Merupakan lapisan rembesan air yang mempunyai lapisan dasar kedap air, tetapi bagian atas muka air tanah lapisan ini tidak kedap air, sehingga kandungan air tanah yang bertekanan sama dengan tekanan udara bebas/tekanan atmosfer. Ciri khusus dari akuifer bebas ini adalah muka air tanah yang sekaligus juga merupakan batas atas dari zona jenuh akuifer tersebut, sering disebut pula dengan akuifer dangkal. Beberapa macam Unconfined Aquifer (Kodoatie, 1996):

a. Akuifer Terangkat (*Perched Aquifer*)

Merupakan kondisi dimana air tanah pada akuifer ini terpisah dari air tanah utama oleh lapisan yang relatif kedap air dengan penyebaran terbatas, dan terletak diatas muka air tanah utama

b. Akuifer Lembah (*Valley Aquifer*)

Merupakan akuifer yang berada pada suatu lembah dengan sungai sebagai batas (*inlet* atau *outlet*). Dapat dibedakan berdasarkan lokasinya yaitu di daerah yang banyak curah hujannya (*humid zone*), dimana pengisian air sungai yang ada di akuifer ini diisi melalui infiltrasi dari daerah-daerah yang sama tingginya dengan ketinggian sungai. Dan juga di daerah gersang (*arid zone*), dimana pengisian (infiltrasi) ke akuifer tidak ada akibat dari curah hujan. Pengisian air berasal dari sungai ke akuifer dengan aliran pada akuifer searah aliran sungai.

c. Alluvial Aquifer

Merupakan akuifer yang terjadi akibat proses fisik baik pergeseran sungai maupun perubahan kecepatan penyimpanan yang beragam dan heterogen disepanjang daerah aliran sungai atau daerah genangan (*flood plains*).

Akibatnya kapasitas air di akuifer ini menjadi besar dan umurnya air tanahnya seimbang (*equilibrium*) dengan air yang ada disungai. Di daerah hulu DAS umumnya air sungai meresap ke tanah (infiltrasi) dan mengisi akuifer ini. Sedangkan di hilir muka air tanah di akuifer lebih tinggi dari dasar sungai, dan akuifer mengisi sungai terutama pada musim kemarau.

### 3. Akuifer semi tertekan (*leaky aquifer*)

Merupakan akuifer jenuh air yang dibatasi oleh lapisan atas berupa akuitard dan lapisan bawahnya merupakan akuiklud. Akuifer semi-tertekan atau akuifer bocor adalah akuifer jenuh yang sempurna, pada bagian atas dibatasi oleh lapisan semi-lulus air dan bagian bawah merupakan lapisan lulus air ataupun semi-lulus air.

## 2.4. Hidrogeologi Daerah Penelitian

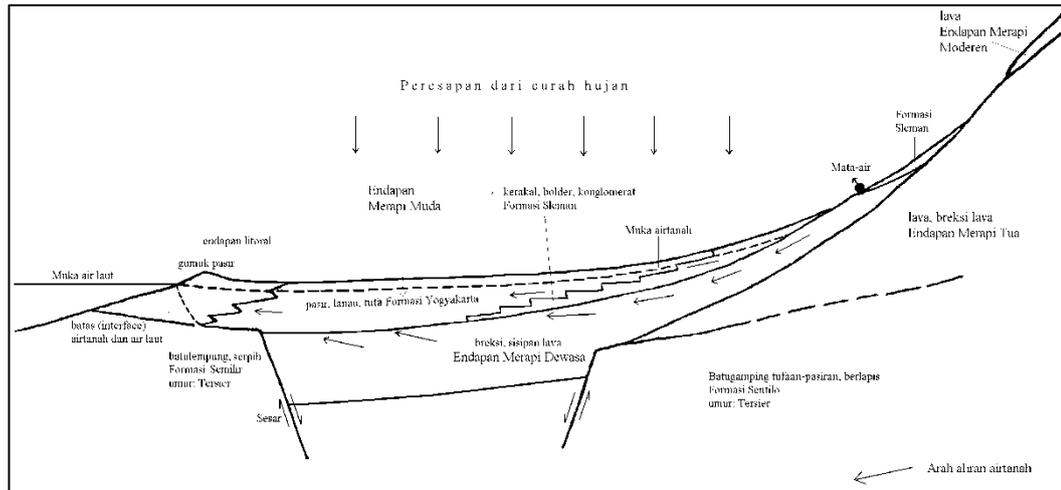
Cekungan Air Tanah Yogyakarta-Sleman (**Gambar 2.5**) berada di bagian Selatan lereng Gunungapi Merapi yang dibatasi oleh dua sungai utama, yaitu Sungai Opak di bagian Timur dan Sungai Progo di bagian Barat. Di bagian Selatan Cekungan Air Tanah ini dibatasi oleh Samudera Hindia. Kabupaten Bantul merupakan wilayah di Cekungan Airtanah Yogyakarta-Sleman yang memiliki ketebalan akuifer paling tipis. Ketebalan maksimal terletak di Kecamatan Bantul dengan ketebalan mencapai 30 meter. Sedangkan ketebalan akuifer paling minimum berkisar antara 5-20 m. terletak di Kecamatan Srandakan, Imogiri, Jetis, Pleret, Pandak, Sanden, Kretek, Sedayu dan Kecamatan Pundong. (Hendrayana, 2013)

Menurut Santoso dan Adji (2014) sistem akuifer pada cekungan Air Tanah Yogyakarta-Sleman terbentuk oleh Endapan Formasi Yogyakarta dan Sleman. Sistem akuifer di cekungan air tanah Yogyakarta disebut sebagai SAM (Sistem Akuifer Merapi). Sistem Akuifer Merapi secara hidrogeologis membentuk suatu akuifer, terdiri atas akuifer berlapis banyak yang mempunyai sifat-sifat hidrolika relatif sama dan saling berhubungan satu sama lainnya.

Secara vertikal SAM terbagi menjadi 2 akuifer utama, yaitu akuifer bagian atas dan akuifer bagian bawah. Pembagian akuifer ini berdasarkan pengukuran sumur eksplorasi, sumur produksi dan sumur pengamatan, evaluasi log bor, hasil

analisa data geofisika, data pemompaan uji analisa butir (*cutting*) pemboran, serta evaluasi peta geologi dan hidrogeologi. Akuifer bagian atas dibentuk oleh formasi Yogyakarta. Pada daerah Bantul, litologi ini disusun oleh material volkanoklastik yang relatif berukuran lebih halus daripada material yang berada di Sleman. Material volkanoklastik tersebut merupakan pasir sedang sampai pasir halus, lanau pasiran, lempung, lanau dan krikil halus yang dijumpai secara lokal di beberapa tempat. Akuifer bagian bawah material penyusunnya didominasi oleh material formasi Sleman. Formasi Sleman secara stratigrafis terletak di bagian bawah formasi Yogyakarta. Pada daerah Bantul litologi pada formasi ini disusun oleh pasir halus sampai pasir sedang, krikil halus pasir lempungan dan lempung pasiran. Dasar akuifer dari SAM di wilayah Graben Bantul dibentuk oleh batuan tersier dari Formasi Sentolo yaitu batugamping, napal dan lapisan tuff di bagian Barat. Sedangkan di bagian Timur, dasar dari akuifer dibentuk oleh formasi Semilir dan Nglanggeran.

Berdasarkan kondisi geohidrologinya, kabupaten Bantul merupakan bagian dari Cekungan airtanah Yogyakarta yang mempunyai sebaran potensi air tanah yang bervariasi. Berdasarkan geomorfologinya daerah Bantul hampir secara keseluruhan merupakan dataran fluviovulkan Gunungapi Merapi Muda, yang secara morfostruktur merupakan sebuah graben. Bagian atas dari graben ini merupakan deposisi bahan-bahan aluvium hasil dari perombakan material piroklasik hasil erupsi gunungapi. Bagian kanan dan kiri dari graben ini dibatasi oleh sebuah dinding patahan sebagai tembok penahan aliran air tanah, dinding patahan Perbukitan Baturagung di sebelah Timur dan dinding patahan Perbukitan Menoreh di sebelah Barat. Hal tersebut menjadikan graben Bantul sebagai wadah atau medium yang potensial untuk berkumpulnya air tanah.



**Gambar 2.5** Konseptual model sistem hidrogeologi lereng Selatan merapi (Kusumayudha, 2008)

Berdasarkan penelitian Heru dkk (2013) yang telah melakukan perhitungan pemanfaatan air tanah rumah tangga maupun non rumah tangga dan perhitungan cadangan dinamis air tanah Kabupaten Bantul maka diketahui bahwa Kecamatan Sewon, Banguntapan, Bantul dan Kecamatan Bambanglipuro memiliki total cadangan air tanah dinamis yang berkisar antara 234.354.553.189 liter/tahun - 298.775.317.277 liter/tahun. Total pemanfaatan air tanah berkisar antara 45.645.934.048 liter/tahun - 57.090.015.061 liter/tahun. Dari data tersebut diketahui bahwa rasio pemanfaatan dan cadangan air tanah berkisar antara 19,11% - 19,85% , dengan persentase tersebut maka Kecamatan Banguntapan, Bantul dan Bambanglipuro termasuk dalam daerah dengan tingkat pemanfaatan air tanah sedang, artinya kondisi air tanah pada daerah ini termasuk dalam kategori rawan. Kecamatan Kasihan memiliki total cadangan air tanah dinamis yang lebih kecil apabila dibandingkan Kecamatan Sewon, yaitu hanya mencapai 94.280.234.661 liter/tahun. Kecamatan Kasihan memiliki total pemanfaatan air tanah sebesar 24.674.586.037 liter/tahun. Dari data tersebut diketahui bahwa rasio pemanfaatan dan cadangan air tanah sebesar 26,17%, dengan persentase tersebut maka Kecamatan Kasihan termasuk dalam daerah dengan tingkat pemanfaatan air tanah tinggi, artinya kondisi air tanah pada daerah ini termasuk dalam kategori kritis. Kecamatan Imogiri, Piyungan, Jetis, Pandak, Pundong, Srandakan, Pajangan, Sedayu, Kretek, Sanden dan Kecamatan Pleret memiliki cadangan air tanah dinamis yang berkisar antara 9.282.180.096 liter/tahun - 111.585.549.031

liter/tahun. Total pemanfaatan air tanah berkisar antara 3.601.009.325 liter/tahun - 45.633.023.881 liter/tahun. Dari data tersebut diketahui bahwa rasio pemanfaatan dan cadangan air tanah berkisar antara 38,79% - 126,43%, sehingga kecamatan-kecamatan di atas termasuk dalam tingkat pemanfaatan air tanah sangat tinggi.

## **2.5. Kualitas Air**

Standar kualitas air adalah karakteristik mutu yang dibutuhkan untuk pemanfaatan tertentu dari sumber – sumber air. Dengan adanya standar kualitas air, orang dapat mengukur kualitas dari berbagai macam air. Setiap jenis air dapat diukur konsentrasi kandungan unsur yang tercantum didalam standar kualitas, dengan demikian dapat diketahui syarat kualitasnya, dengan kata lain standar kualitas dapat digunakan sebagai tolak ukur. Standar kualitas air bersih dapat diartikan sebagai ketentuan-ketentuan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan standar kualitas air minum No.492/MENKES/PER/1V/2010 yang biasanya dituangkan dalam bentuk pernyataan atau angka yang menunjukkan persyaratan–persyaratan yang harus dipenuhi agar air tersebut tidak menimbulkan gangguan kesehatan, penyakit, gangguan teknis, serta gangguan dalam segi estetika. Peraturan ini dibuat dengan maksud bahwa air minum yang memenuhi syarat kesehatan mempunyai peranan penting dalam rangka pemeliharaan, perlindungan serta mempertinggi derajat kesehatan masyarakat. Dengan peraturan ini telah diperoleh landasan hukum dan landasan teknis dalam hal pengawasan kualitas air bersih. Demikian pula halnya dengan air yang digunakan sebagai kebutuhan air bersih sehari-hari, sebaiknya air tersebut tidak berwarna, tidak berasa, tidak berbau, jernih, dan mempunyai suhu yang sesuai dengan standar yang ditetapkan sehingga menimbulkan rasa nyaman. Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas air dibagi menjadi 3 yaitu antara lain faktor fisik, faktor kimia, dan faktor biologi. Dibawah ini akan di jelaskan faktor-faktornya yaitu :

### **a. Faktor Fisik**

Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 tahun 2010 tentang persyaratan kualitas air minum menyatakan bahwa air yang layak dikonsumsi dan digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah air yang mempunyai kualitas yang baik sebagai sumber air minum maupun air baku (air bersih), antara lain

harus memenuhi persyaratan secara fisik, tidak berbau, tidak berasa, tidak keruh, serta tidak berwarna. Adapun sifat-sifat air secara fisik dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya sebagai berikut:

1) Suhu

Temperatur air akan mempengaruhi penerimaan masyarakat akan air tersebut dan dapat pula mempengaruhi reaksi kimia dalam pengolahannya terutama apabila temperatur sangat tinggi. Temperatur yang diinginkan adalah  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  suhu udara disekitarnya yang dapat memberikan rasa segar, tetapi iklim setempat atau jenis dari sumber-sumber air akan mempengaruhi temperatur air. Disamping itu, temperatur pada air mempengaruhi secara langsung toksisitas.

2) Bau dan Rasa

Bau dan rasa biasanya terjadi secara bersamaan dan biasanya disebabkan oleh adanya bahan-bahan organik yang membusuk, tipe tipe tertentu organisme mikroskopik, serta persenyawaan-persenyawaan kimia seperti phenol. Bahan-bahan yang menyebabkan bau dan rasa ini berasal dari berbagai sumber. Intensitas bau dan rasa dapat meningkat bila terdapat klorinasi. Karena pengukuran bau dan rasa ini tergantung pada reaksi individu maka hasil yang dilaporkan tidak mutlak. Untuk standard air minum dan air bersih diharapkan air tidak berbau dan tidak berasa.

3) Kekeruhan

Air dikatakan keruh apabila air tersebut mengandung begitu banyak partikel bahan yang tersuspensi sehingga memberikan warna/rupa yang berlumpur dan kotor. Bahan-bahan yang menyebabkan kekeruhan ini meliputi tanah liat, lumpur, bahan-bahan organik yang tersebar dari partikel-partikel kecil yang tersuspensi. Kekeruhan pada air merupakan satu hal yang harus dipertimbangkan dalam penyediaan air bagi umum, mengingat bahwa kekeruhan tersebut akan mengurangi segi estetika, menyulitkan dalam usaha penyaringan, dan akan mengurangi efektivitas usaha desinfeksi.

4) Warna

Warna di dalam air terbagi dua, yakni warna semu (apparent color) adalah warna yang disebabkan oleh partikel-partikel penyebab kekeruhan (tanah,

pasir, dll), partikel halus besi, mangan, partikel-partikel mikroorganisme, warna industri, dan lain-lain. Yang kedua adalah warna sejati (true color) adalah warna yang berasal dari penguraian zat organik alami, yakni humus, lignin, tanin dan asam organik lainnya. Penghilangan warna secara teknik dapat dilakukan dengan berbagai cara. Diantaranya: koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, oksidasi, reduksi, bioremoval, terapan elektro, dsb. Tingkat zat warna air dapat diketahui melalui pemeriksaan laboratorium dengan metode fotometrik.

5) Zat Padat Terlarut (TDS) dan Residu Tersuspensi (TSS)

Muatan padatan terlarut adalah seluruh kandungan partikel baik berupa bahan organik maupun anorganik yang terlarut dalam air. Bahan-bahan tersuspensi dan terlarut pada perairan alami tidak bersifat toksik, akan tetapi jika berlebihan dapat meningkatkan kekeruhan selanjutnya akan menghambat penetrasi cahaya matahari ke kolom air dan akhirnya akan berpengaruh terhadap proses fotosintesis di perairan. Perbedaan pokok antara kedua kelompok zat ini ditentukan melalui ukuran/diameter partikel-partikelnya.

**Tabel 2.2** Parameter Fisik dalam Standar Baku Kesehatan Lingkungan

No	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
1	Kekeruhan	NTU	25
2	Warna	TCU	50
3	Zat padat terlarut ( <i>Total Dissolved Solid</i> )	mg/l	1000
4	Suhu	°C	suhu udara $\pm 3$
5	Rasa		tidak berasa
6	Bau		tidak berbau

b. Faktor Kimia

Air bersih yang baik adalah air yang tidak tercemar secara berlebihan oleh zat-zat kimia yang berbahaya bagi kesehatan antara lain Besi (Fe), Flourida (F), Mangan (Mn), Derajat keasaman (pH), Nitrit (NO<sub>2</sub>), Nitrat (NO<sub>3</sub>) dan zat-zat kimia lainnya. Kandungan zat kimia dalam air bersih yang digunakan sehari-hari hendaknya tidak melebihi kadar maksimum yang diperbolehkan untuk standar baku mutu air minum dan air bersih.

1) Besi (Fe) dan Mangan (Mn)

Air sungai pada umumnya mengandung besi (*iron*, Fe) dan mangan (Mn). Kandungan besi dan mangan dalam air berasal dari tanah yang memang mengandung banyak kandungan mineral dan logam yang larut dalam air tanah. Besi larut dalam air dalam bentuk fero-oksida. Kedua jenis logam ini, pada konsentrasi tinggi menyebabkan bercak noda kuning kecoklatan untuk besi atau kehitaman untuk mangan, yang mengganggu secara estetika. Kandungan kedua logam ini meninggalkan endapan coklat dan hitam pada bak mandi, atau alat-alat rumah tangga.

2) Klorida (Cl)

Kadar klorida umumnya meningkat seiring dengan meningkatnya kadar mineral. Kadar klorida yang tinggi, yang diikuti oleh kadar kalsium dan magnesium yang juga tinggi, dapat meningkatkan sifat korosivitas air. Hal ini mengakibatkan terjadinya perkaratan peralatan logam. Kadar klorida > 250 mg/l dapat memberikan rasa asin pada air karena nilai tersebut merupakan batas klorida untuk suplai air, yaitu sebesar 250 mg/l.

3) Kesadahan (CaCO<sub>3</sub>)

Kandungan ion Mg dan Ca dalam air akan menyebabkan air bersifat sadah. Kesadahan air yang tinggi dapat merugikan karena dapat merusak peralatan yang terbuat dari besi melalui proses pengkaratan (korosi), juga dapat menimbulkan endapan atau kerak pada peralatan. Kesadahan yang tinggi disebabkan sebagian besar oleh Calcium, Magnesium, Strontium, dan Ferrum. Masalah yang timbul adalah sulitnya sabun membusa, sehingga masyarakat tidak suka memanfaatkan penyediaan air bersih tersebut.

4) Nitrat (NO<sub>3</sub>N) dan Nitrit (NO<sub>2</sub>N)

Nitrit merupakan turunan dari amonia. Dari amonia ini, oleh bantuan bakteri *Nitrosomonas* sp, diubah menjadi nitrit. Nitrit biasanya tidak bertahan lama dan biasanya merupakan keadaan sementara proses oksidasi antara amonia dan nitrat. Keadaan nitrit menggambarkan berlangsungnya proses biologis perombakan bahan organik dengan kadar oksigen terlarut sangat rendah. Kadar nitrit pada perairan relatif kecil karena segera

dioksidasi menjadi nitrat

5) Derajat Keasaman (pH)

pH menyatakan intensitas keasaman atau alkalinitas dari suatu cairan encer, dan mewakili konsentrasi hidrogen ionnya. Air minum sebaiknya netral, tidak asam/basa, untuk mencegah terjadinya pelarutan logam berat dan korosi jaringan distribusi air minum. pH standar untuk air bersih sebesar 6,5 – 8,5. Air adalah bahan pelarut yang baik sekali, jika dibantu dengan pH yang tidak netral, dapat melarutkan berbagai elemen kimia yang dilaluinya.

6) Kebutuhan Oksigen Biokimia (BOD)

Pengukuran BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan penduduk atau Rata-rata industri, dan untuk mendesain sistem-sistem pengolahan biologis bagi air yang tercemar tersebut. Semakin banyak Kandungan BOD maka, jumlah bakteri semakin besar. Tingginya kadar BOD dalam air menunjukkan kandungan zat lain juga kadarnya besar secara otomatis air tersebut di kategorikan tercemar.

7) Kebutuhan Oksigen Kimia (COD) COD merupakan jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada didalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimiawi.

8) Oksigen Terlarut (DO)

DO (*Dissolved oxygen*) adalah kadar oksigen terlarut dalam air. Penurunan DO dapat diakibatkan oleh pencemaran air yang mengandung bahan organik sehingga menyebabkan organisme air terganggu. Semakin kecil nilai DO dalam air, tingkat pencemarannya semakin tinggi.

9) Fluorida (F)

Sumber fluorida di alam adalah fluorspar ( $\text{CaF}_2$ ), cryolite ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ), dan fluorapatite. Keberadaan fluorida juga dapat berasal dari pembakaran batu bara. Fluorida banyak digunakan dalam industri besi baja, gelas, pelapisan logam, II-22 aluminium, dan pestisida. Sejumlah kecil fluorida menguntungkan bagi pencegahan kerusakan gigi, akan tetapi konsentrasi yang melebihi kisaran 1,5 mg/liter dapat mengakibatkan pewarnaan pada enamel gigi, yang dikenal dengan istilah *mottling*. Kadar yang berlebihan

juga dapat berimplikasi terhadap kerusakan pada tulang.

10) Seng (Zn)

Kelebihan seng ( Zn ) hingga dua sampai tiga kali AKG menurunkan absorbs tembaga. Kelebihan sampai sepuluh kali AKG mempengaruhi metabolisme kolesterol, mengubah nilai lipoprotein, dan tampaknya dapat mempercepat timbulnya aterosklerosis. Dosis konsumsi seng ( Zn ) sebanyak 2 gram atau lebih dapat menyebabkan muntah, diare, demam, kelelahan yang sangat, anemia, dan gangguan reproduksi. Suplemen seng ( Zn ) bisa menyebabkan keracunan, begitupun makanan yang asam dan disimpan dalam kaleng yang dilapisi seng (Zn).

11) Sulfat (SO<sub>4</sub>)

Sulfat merupakan senyawa yang stabil secara kimia karena merupakan bentuk oksida paling tinggi dari unsur belerang. Sulfat dapat dihasilkan dari oksidasi senyawa sulfida oleh bakteri. Sulfida tersebut adalah antara lain sulfida metalik dan senyawa organosulfur. Sebaliknya oleh bakteri golongan heterotrofik anaerob, sulfat dapat direduksi menjadi asam sulfida. Secara kimia sulfat merupakan bentuk anorganik daripada sulfida didalam lingkungan aerob. Sulfat didalam lingkungan (air) dapat berada secara ilmiah dan atau dari aktivitas manusia, misalnya dari limbah industri dan limbah laboratorium. Selain itu dapat juga berasal dari oksidasi senyawa organik yang mengandung sulfat adalah antara lain industri kertas, tekstil dan industri logam.

12) Zat Organik (KMnO<sub>4</sub>) Kandungan bahan organik dalam air secara berlebihan dapat terurai menjadi zat-zat yang berbahaya bagi kesehatan.

**Tabel 2.3** Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan

No	Parameter	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
Wajib			
1	pH	mg/l	6,5 - 8,5
2	Besi	mg/l	1
3	Fluorida	mg/l	1,5
4	Kesadahan (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	500
5	Mangan	mg/l	0,5
6	Nitrat, sebagai N	mg/l	10
7	Nitrit, sebagai N	mg/l	1

8	Sianida	mg/l	0,1
9	Deterjen	mg/l	0,05
10.	Pestisida total	mg/l	0,1
Tambahan			
1	Air raksa	mg/l	0,001
2	Arsen	mg/l	0,05
3	Kadmium	mg/l	0,005
4	Kromium (valensi 6)	mg/l	0,05
5	Selenium	mg/l	0,01
6	Seng	mg/l	15
7	Sulfat	mg/l	400
8	Timbal	mg/l	0,05
9	Benzene	mg/l	0,01
10.	Zat organik (KMNO <sub>4</sub> )	mg/l	10

c. Faktor Bakteriologis

Dalam parameter bakteriologi digunakan bakteri indikator polusi atau bakteri indikator sanitasi. Bakteri indikator sanitasi adalah bakteri yang dapat digunakan sebagai petunjuk adanya polusi feses dari manusia maupun dari hewan, karena organisme tersebut merupakan organisme yang terdapat di dalam saluran pencernaan manusia maupun hewan. Air yang tercemar oleh kotoran manusia maupun hewan tidak dapat digunakan untuk keperluan minum, mencuci makanan atau memasak karena dianggap mengandung mikroorganisme patogen yang berbahaya bagi kesehatan, terutama patogen penyebab infeksi saluran pencernaan.

**Tabel 2.4** Parameter Biologi dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan

No.	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
1.	Total coliform	CFU/100ml	50
2.	E. coli	CFU/100ml	0

## 2.6. Penelitian Terdahulu

### 2.6.1. Anomali Gaya Berat, Kegempaan serta Kelurusan Struktur Geologi Daerah Jogjakarta dan Sekitarnya. (Bambang S.Widijono & Budi Setyanta. 2007)

Penelitian didasari oleh terjadinya gempa pada 27 Mei 2006 yang dipicu oleh reaktivasi sesar Opak. Gempa tersebut menimbulkan kerugian besar dikarenakan terjadi pada sesar yang tertutup endapan Kuarter. Agar hal tersebut

tidak terjadi lagi, maka dilakukanlah penelitian ini untuk mengkaji kemungkinan adanya sesar yang tidak tersingkap dan terkubur oleh endapan muda. Sehingga dapat dilakukan perencanaan pengembangan wilayah dan mempertimbangkan resiko bencana.

Penelitian dilakukan di wilayah Yogyakarta yaitu Bantul, Kulonprogo, Sleman serta wilayah sekitar yaitu Purworejo, Magelang, Boyolali, Sukoharjo dan Semarang. Penelitian dilakukan dengan mengkaji peta anomali gaya berat yang kemudian diproses hingga diperoleh peta anomali regional dan peta anomali sisa. Beberapa hasil penelitian ini yaitu:

- Anomali Bouguer daerah penelitian berkisar -55 hingga 145 mgal. Kelompok anomali tinggi bernilai 50 hingga 145 mgal. Kelompok anomali sedang bernilai 0 hingga 50 mgal. Kelompok anomali rendah bernilai 0 hingga -55 mgal.
- Zona Pegunungan Selatan memiliki kisaran anomali antara 50 hingga 145mgal, zona gunung api Kuarter memiliki nilai anomali 0 hingga 50 mgal, dan zona Kendeng memiliki nilai anomali -30 hingga 0mgal. Batas antara ketiga zona tersebut diduga merupakan batas sesar.
- Diperoleh gambaran bahwa sesar geser, sesar naik maupun sesar turun menyesarkan batuan alas hingga batuan Tersier. Beberapa sesar tersebut telah mengalami reaktivitas sehingga menyesarkan batuan Kuarter.

#### **2.6.2. Cadangan Air Tanah Berdasarkan Geometri dan Konfigurasi Sistem Akuifer Cekungan Air Tanah Yogyakarta-Sleman. (Heru Hendrayana, Victor A. de Sousa Vicente. 2013)**

Penelitian ini berada di wilayah lereng Selatan Gunung Merapi yang mencakup daerah Kabupaten Sleman, Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan cadangan air tanah berdasarkan geometri dan konfigurasi sistem akuifer Cekungan Air Tanah Yogyakarta-Sleman. Perhitungan cadangan air tanah digunakan untuk menghitung tingkat pemanfaatan air tanah dan neraca pemanfaatan air tanah. Hasil dari penelitian ini antara lain yaitu:

- Cekungan Air Tanah Yogyakarta-Sleman merupakan cekungan air tanah lintas kabupaten yang memiliki luas wilayah 911,20 km<sup>2</sup>. Identifikasi cekungan air tanah dilakukan dengan menentukan batas horisontal dan vertikal cekungan air tanah. Pada cekungan juga dilakukan penentuan batas daerah imbuhan, transisi dan daerah lepasan air tanah. Daerah imbuhan terletak pada elevasi 700 hingga 2968 mdpl, daerah transisi antara elevasi 200 hingga 700 mdpl dan daerah lepasan antara elevasi 0 hingga 200 mdpl.
- Akuifer di dalam Cekungan Air Tanah Yogyakarta-Sleman dikelompokkan menjadi beberapa satuan hidrostratigrafi yaitu akuifer bagian atas (akuifer bebas), akuifer bagian bawah (akuifer semi bebas) dan dasar akuifer (kelompok non akuifer).
- Litologi utama penyusun cekungan yaitu Formasi Yogyakarta dibagian atas dan Formasi Sleman dibagian bawah. Formasi tersebut merupakan endapan volkaniklastik Gunung Merapi yang semakin ke arah Selatan material penyusun batuan di dalam cekungan semakin halus. Formasi Yogyakarta dan Formasi Sleman berfungsi sebagai pembawa air utama yang sangat potensial di dalam cekungan dan bersifat *multilayer*.

### **2.6.3. Karakteristik Akuifer dan Potensi Airtanah Graben Bantul. (Langgeng Wahyu Santosa dan Tjahyo Nugroho Adji. 2014)**

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan geometri akuifer dan potensi air tanah yang berada di Graben Bantul. Wilayah Graben Bantul berdasarkan konsepsi hidrogeologi termasuk kedalam Cekungan Air Tanah Sleman, Yogyakarta. Penentuan geometri cekungan dan konfigurasi akuifer dilakukan dengan pendugaan geolistrik yang kemudian dikorelasikan dengan data bor wilayah setempat. Sedangkan, penentuan karakteristik akuifer ditinjau dari pengukuran sumur penduduk yang dilakukan pada musim kemarau Juli 2006. Hasil dari penelitian ini antara lain:

- Dari pengukuran geolistrik, nilai resistivitas 1- 10  $\Omega$  diinterpretasikan sebagai lempung berpasir halus pada permukaan; batugamping dan batupasir napalan formasi Sentolo; Batuan breksi tufaan formasi Semilir

dan breksi volkanik tua formasi Nglanggeran. Nilai resistivitas 10-100 $\Omega$  diinterpretasikan sebagai bahan-bahan alluvium formasi Sleman dan Yogyakarta; material pasir marin pada satuan gumuk pasir dan benting gisik pantai; material koluvium hasil rombakan lereng pada lembah-lembah antarperbukitan. Nilai resistivitas air tanah tawar yaitu 30-100 $\Omega$ .

- Kabupaten Bantul didominasi oleh tipe akuifer bebas. Akuifer bersifat homogen yang disusun oleh material aluvium formasi Yogyakarta dan Sleman. Akuifer yang cukup tebal dengan potensi air tanah yang besar berada di bagian tengah Graben.
- Wilayah kajian terbagi menjadi 3 subsistem akuifer yaitu subsistem akuifer fluviovulkan, subsistem akuifer kompleks benting gisik dan gumuk pasir dan subsistem akuifer lembah antarperbukitan.
- Ditinjau dari sifat fisik air tanah, daerah penelitian terbagi menjadi 2 kelompok nilai DHL ( Daya Hantar Listrik ). Nilai DHL 750 mmhos/cm yang merupakan air tanah kualitas baik dan tidak berasa serta nilai DHL 750-2500 m mhos/cm yang merupakan air tanah kualitas sedang, berasa kurang enak dan agak payau.
- Beberapa sampel air di wilayah kajian sudah tercemar bakteri E Coli yang kandungannya diatas baku mutu air kriteria kelas I sebesar 1000MPN/100ml, namun masih dibawah kriteria kelas II (5000 MPN/100Mml).
- Kualitas air tanah daerah penelitian secara fisik dan kimia tidak terdapat unsur yang melebihi baku mutu air kelas 1 untuk air minum. Namun secara biologis dan pencemar nitrat pada beberapa sampel air terdapat sampel yang melebihi baku mutu air kelas 1, bahkan melebihi kelas 2.
- Wilayah kajian berdasarkan ketersediaan air dan kualitas air tanah dikelompokkan menjadi 4 satuan potensi air tanah. 4 satuan potensi air tanah tersebut yaitu potensi air tanah tinggi, potensi air tanah sedang, potensi air tanah rendah dan potensi air tanah sangat rendah.

#### 2.4.4 Ringkasan Penelitian Terdahulu

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, dapat disimpulkan mengenai beberapa hal yang terkait dengan penelitian ini. Hal-hal yang terkait dengan penelitian ini diringkas dari penelitian terdahulu dan tertera pada **Tabel 2.5**. Dari penelitian terdahulu dapat disimpulkan bahwa wilayah penelitian merupakan sebuah cekungan. Cekungan tersebut terbentuk akibat adanya sesar Sentolo di sebelah Barat dan sesar Opak disebelah Timur. Karena di sisi kanan dan kiri dibatasi oleh dinding patahan, maka air tanah terkonsentrasi secara kontinu di cekungan ini. Cekungan ini disebut juga cekungan air tanah Yogyakarta-Sleman.

Dalam suatu cekungan air tanah, agar air dapat dimanfaatkan dengan baik, perlu diketahui mengenai kualitas air tanah. Kualitas air tanah diidentifikasi berdasarkan sifat fisik, kimia dan biologi air tanah. Salah satu sifat biologi air yang digunakan sebagai parameter kualitas air tanah yaitu keterdapatannya bakteri E coli. Parameter kualitas air berdasarkan sifat fisik salahsatunya yaitu nilai daya hantar listri (DHL). Nilai DHL salahsatunya dipengaruhi oleh keterdapatannya jumlah garam dalam air.

**Tabel 2.5** Ringkasan Penelitian Terdahulu

Penulis	Tahun	Judul	Geologi		Cekungan Air Tanah	Geofisika		Kualitas Air	
			Regional	Lokal		Gravitasi	Geolistrik	Parameter Fisika	Parameter Kimia
Widjiono, dkk	2007	Anomali Gaya Berat, Kegempaan serta Kelurusan Struktur Geologi Daerah Jogjakarta dan Sekitarnya	√			√			
Hendrayana, dkk	2013	Cadangan Air Tanah Berdasarkan Geometri dan Konfigurasi Sistem Akuifer Cekungan Air Tanah Yogyakarta-Sleman		√	√				
Santosa, dkk	2014	Karakteristik Akuifer dan Potensi Airtanah Graben Bantul		√	√		√	√	√
Lisna Tri Utami	2020	Analisa Kualitas Air Tanah dengan Kajian Hidrogeologi Menggunakan Metode Gravitasi dan Geolistrik Konfigurasi Schlumberger di Daerah Gilangharjo, Bantul	√	√	√	√	√	√	√

## **BAB III**

### **DASAR TEORI**

#### **3.1 Metode Gravitasi**

Prinsip dasar metode *gravity* adalah mengukur variasi medan gravitasi yang ditimbulkan oleh adanya perbedaan rapat masa batuan yang berada dibawah permukaan (Telford, 1990). Percepatan gravitasi bervariasi dari tempat ke tempat karena bumi mempunyai bentuk mendekati bentuk *spheroid*, *relief* permukaannya tidak rata, berrotasi, berevolusi dalam sistem matahari serta tidak homogen, sehingga variasi gravitasi disetiap titik dipermukaan bumi dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti lintang, ketinggian, topografi, pasang surut dan variasi rapat massa bawah permukaan (Telford, 1990). Sulistijo (2002) menyatakan bahwa metode gravitasi ini digunakan karena kemampuannya membedakan densitas dari suatu sumber anomali terhadap densitas lingkungan sekitarnya. Dengan demikian dari variasi densitas dapat diketahui bentuk struktur bawah permukaan suatu daerah. Hal ini sering diperlukan dalam tahap eksplorasi selanjutnya, sehingga metode gravitasi banyak digunakan pada tahap penelitian pendahuluan dalam suatu eksplorasi, baik dalam mencari minyak bumi maupun mineral.

Pada kenyataannya bumi tidak bulat sempurna, tetapi berbentuk elipsoid dan berotasi dengan kecepatan sudut tetap terhadap sumbu tetap. Karena bentuk dan rotasi bumi tersebut maka percepatan gaya berat di kutub lebih besar daripada percepatan di khatulistiwa.

Karena bentuk bumi bukan merupakan bola pejal yang sempurna, dengan relief yang tidak rata, berotasi serta berevolusi dalam sistem matahari, tidak homogen. Dengan demikian variasi gayaberat di setiap titik permukaan bumi akan dipengaruhi oleh 5 faktor, yaitu :

1. Posisi garis lintang

Bentuk bumi tidaklah bulat sempurna, tetapi lebih mendekati bentuk *spheroid* bumi, agak pepat dikutubnya. Akibatnya terdapat variasi radius bumi selain itu, perbedaan percepatan sentrifugal di kutub dan di equator. Percepatan

sentrifugal maksimum di equator dan nol di kutub. Sehingga nilai  $g$  di kutub lebih besar dibandingkan dengan  $g$  di equator.

2. Kedudukan matahari dan bulan terhadap bumi

Harganya berubah setiap waktu secara priodik tergantung dari kedudukan benda-benda langit tersebut. Besarnya  $\pm 0.3$  mgal dengan priode  $\pm 12$  jam. Bumi mengalami tarikan maupun dorongan dari posisi normalnya.

3. Elevasi

Perbedaan ketinggian menyebabkann perbedaan nilai gravitasi. Permukaan bumi yang lebih tinggi (pegunungan/perbukitan) memiliki nilai gravitasi yang lebih rendah dibandingkan permukaan bumi yang lebih rendah (lembah).

4. Keadaan topografi di sekitar titik pengukuran

Adanya efek massa di sekitar titik observasi mempengaruhi nilai gravitasi pada titik pengamatan. Adanya bukit dan lembah di sekitar titik amat akan mengurangi besarnya gaya berat yang sebenarnya.

5. Variasi rapat massa batuan di bawah permukaan (anomali/target)

Dengan adanya suatu massa yang berbeda densitas dibawah permukaan bumi menyebabkan terjadi perbedaan nilai gravitasi pada permukaan. Nilainya bergantung gaya tarik antar massa yang menandakan perubahan nilai gravitasi.

### 3.1.1. Hukum Dasar Metode Gravitasi

Teori yang mendasari metode gravitasi adalah hukum gravitasi yang dikemukakan oleh Newton (1642-1727), menyatakan bahwa gaya tarik-menarik antara dua buah partikel sebanding dengan perkalian kedua massanya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara pusat keduanya, jadi semakin jauh jarak kedua benda tersebut maka gaya gravitasi semakin kecil dan apabila jarak kedua benda semakin kecil maka gaya gravitasi juga akan menjadi besar. Hukum gravitasi Newton menyatakan bahwa gaya antara dua buah partikel bermassa  $m_1$  dan  $m_2$  berbanding langsung dengan hasil kali kedua massa tersebut dibagi dengan kuadrat jaraknya, seperti pada persamaan berikut:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2} \quad (3.1)$$

Dengan:  $F$  = Gaya interaksi antara dua massa (N)

$r$  = Jarak antara  $m_1$  dan  $m_2$  (m)

$m_1$  = Massa 1 dan Massa 2 (Kg)

$G$  = Konstanta gravitasi umum ( $6,6732 \times 10^{-11} \text{N}(\frac{\text{m}}{\text{kg}})^2$ )

Newton juga mengartikan hubungan antara gaya dan percepatan. Hukum II Newton menyatakan gaya sebanding dengan perkalian massa benda dengan percepatan yang dialami benda tersebut.

$$F = m \cdot g \quad (3.2)$$

Percepatan sebuah benda bermassa  $m_2$  yang disebabkan oleh tarikan benda bermassa  $m_1$  pada jarak  $r$  secara sederhana dinyatakan dengan:

$$g = \frac{F}{m} \quad (3.3)$$

bila ditetapkan pada percepatan gaya tarik bumi, persamaan diatas menjadi:

$$g = \frac{F}{m} = G \frac{M m}{m r^2} = G \frac{M}{r^2} \quad (3.4)$$

Teori divergensi Gauss menyatakan bahwa bentuk integral dari divergensi medan gravitasi pada suatu daerah dalam volume bernilai sama dengan integral komponen yang keluar menembus bidang medan gravitasi pada permukaan

$$\int_v \nabla \cdot g \, dv = \int_s g \, ds \quad (3.5)$$

Jika ada partikel massa pada pusat bola dengan jari-jari sebesar  $r$  maka dapat ditulis:

$$\int_s g \, ds = - \left( G \frac{M}{r^2} \right) (4\pi r^2) = - 4\pi G m \quad (3.6)$$

Tanda minus berarti gaya gravitasi  $g$  berbanding terbalik dengan arah gaya normal. Jika permukaan membungkus beberapa massa dari total massa  $m$ , maka dapat ditulis:

$$\int_v \nabla \cdot g \, dv = \int_s g \, ds = - 4\pi G m \quad (3.7)$$

Jika volume  $V$  sangat kecil, membungkus hanya satu titik, bentuk integral dari persamaan tersebut dapat dihilangkan sehingga:

$$\int_v \nabla \cdot g \, dv = \int_s g \, ds \quad (3.8)$$

$$\int_v \nabla \cdot g \, dv = - 4\pi G m \quad (3.9)$$

$$\nabla \cdot g \int_v dv = - 4\pi G \rho \int_v dv \quad (3.10)$$

$$\nabla \cdot g = - 4\pi G \rho \quad (3.11)$$

$\rho$  merupakan densitas pada suatu titik. Kemudian dari persamaan 3.11 dapat ditulis:

$$\nabla \cdot g = -4\pi G\rho \quad (3.12)$$

$$\nabla \cdot (-\nabla U) = -4\pi G\rho \quad (3.13)$$

$$-\nabla^2 \cdot U = -4\pi G\rho \quad (3.14)$$

$$\nabla^2 \cdot U = 4\pi G\rho \quad (3.15)$$

Potensial gravitasi ebanding dengan rapat massa  $\rho$  dan  $4\pi G$  yang merupakan konstanta kesebandingan  $\nabla^2$  yaitu operator *Laplace*.

### 3.1.2. Anomali Bouguer

Anomali Bouguer pada suatu titik amat dapat didefinisikan sebagai selisih dari nilai gaya berat pengamatan ( $g_{obs}$ ) terhadap gaya berat normal teoritis. Besarnya harga gaya berat pada titik tersebut diperkirakan dari gaya berat normal dengan memasukkan nilai koreksi udara bebas, ketinggian dan koreksi medan, yang dapat dirumuskan menjadi:

$$\Delta g = g_{obs} - (g_n - FAC + BC - TC) \quad (3.16)$$

Dengan :  $\Delta g$  = Anomali Bouguer

$g_{obs}$  = Percepatan gaya berat teramati

$g_n$  = Percepatan gaya berat setelah dikoreksi lintang

$FAC$  = Koreksi udara bebas

$BC$  = Koreksi Bouguer

$TC$  = Koreksi medan

### 3.1.3. Densitas Batuan

Parameter penting dalam eksplorasi metode gravitasi yaitu densitas batuan ( $\rho$ ). Cara menentukan densitas batuan dapat ditentukan melalui data bor, gelombang seismok dan analisa laboratorium (Telford et al, 1990). Cara yang paling umum digunakan yaitu analisa laboratorium. Namun, sampel yang diperlukan untuk analisa laboratorium harus benar-benar baik agar berkorelasi dengan keadaan lapangan. Nilai densitas dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain massa butir pembentuk batuan, porositas, kandungan fluida dan proses

kompaksi akibat tekanan. Berikut merupakan nilai densitas batuan menurut Telford et al (1990):

**Tabel 3.1.** Nilai densitas batuan (Telford et al, 1990)

Jenis batuan	Rentang densitas (Mg/m <sup>3</sup> )	Rata-rata (Mg/m <sup>3</sup> )
<b>Sedimentary rocks</b>		
<i>Alluvium</i>	1.96 – 2.00	1.98
<i>Clay</i>	1.63 – 2.60	2.21
<i>Gravel</i>	1.70 – 2.40	2.00
<i>Loess</i>	1.40 – 1.93	1.64
<i>Silt</i>	1.80 – 2.20	1.93
<i>Soil</i>	1.20 – 2.40	1.92
<i>Sand</i>	1.70 – 2.30	2.00
<i>Sandstone</i>	1.61 – 2.76	2.35
<i>Shale</i>	1.77 – 3.20	2.40
<i>Limestone</i>	1.93 – 2.90	2.55
<i>Dolomite</i>	2.28 – 2.90	2.70
<i>Chalk</i>	1.53 – 2.60	2.01
<i>Halite</i>	2.10 – 2.60	2.22
<i>Glacier ice</i>	0.88 – 0.92	0.90
<b>Igneous rocks</b>		
<i>Rhyolite</i>	2.35 – 2.70	2.52
<i>Granite</i>	2.50 – 2.81	2.64
<i>Andesite</i>	2.40 – 2.80	2.61
<i>Syenite</i>	2.60 – 2.95	2.77
<i>Basalt</i>	2.70 – 3.30	2.99
<i>Gabbro</i>	2.70 – 3.50	3.03
<b>Metamorphic rocks</b>		
<i>Schist</i>	2.39 – 2.90	2.64
<i>Gneiss</i>	2.59 – 3.00	2.80
<i>Phyllite</i>	2.68 – 2.80	2.74
<i>Slate</i>	2.70 – 2.90	2.79
<i>Granulite</i>	2.52 – 2.73	2.65
<i>Amphibolite</i>	2.90 – 3.04	2.96
<i>Eclogite</i>	3.20 – 3.54	3.37

### 3.1.4. Pemisah Anomali Regional-Residual

Data yang diperoleh setelah melakukan beberapa koreksi yaitu data anomali Bouguer. Nilai anomali Bouguer merupakan total dari nilai anomali residual dan anomali regional, yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$g_{Bouguer} = g_{reg} + g_{res} \quad (3.17)$$

Sehingga untuk memperoleh nilai anomali residual yang menggambarkan anomali pada kedalaman dangkal, diperlukan pemisahan antara anomali regional dan residualnya, yaitu dengan cara mengurangi anomali Bouguer dengan anomali regionalnya.

$$g_{res} = g_{Bouguer} - g_{reg} \quad (3.18)$$

Tujuan dilakukannya proses pemisahan anomali residual dan regional ini yaitu untuk mendapatkan nilai anomali residual dan regional yang mewakili kondisi bawah permukaan yang sebenarnya.

### 3.1.5. Butterworth Filter

*Butterworth filter* merupakan filter untuk memisahkan antara anomali regional dan residual dengan menggunakan domain panjang gelombang. *Butterworth filter* umumnya digunakan untuk memisahkan antara sinyal utama dan sinyal *noise* yang secara teoritis memiliki bilangan gelombang yang berbeda. *Butterworth filter* memberikan nilai respon yang sedatar mungkin pada frekuensi yang dilewatkan (*passband*) dan nilai 0 pada frekuensi yang ditapis (*stopband*). Pada filter ini dapat dilakukan secara *highpass filter* maupun *lowpass filter* (Whitehead, 2007). Persamaan untuk *highpass filter* pada *butterworth filter* yaitu:

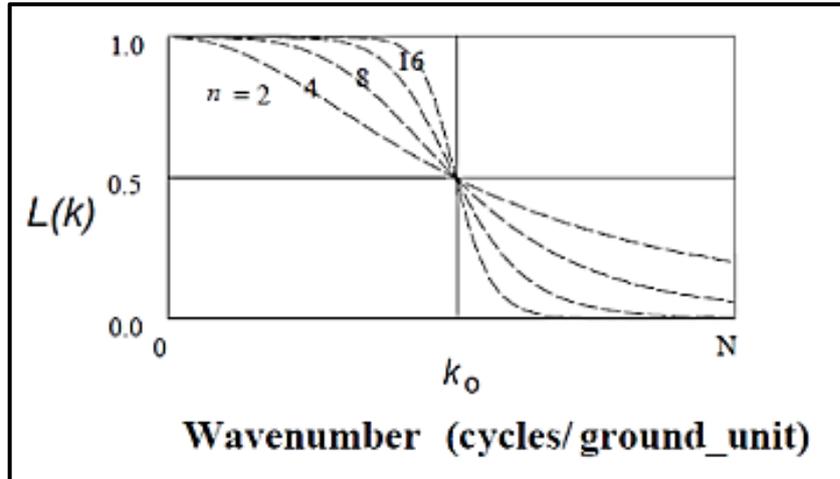
$$H(k_x, k_y) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{\lambda(k_x, k_y)}{\lambda_0} \right]^{2n}} \quad (3.19)$$

Sedangkan persamaan untuk *lowpass filter* pada *butterworth filter* yaitu:

$$H(k_x, k_y) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{\lambda_0}{\lambda(k_x, k_y)} \right]^{2n}} \quad (3.20)$$

Dengan: H = fungsi filter  
 $\lambda$  = panjang gelombang  
 $\lambda_0$  = panjang gelombang batas  
 $k$  = bilangan gelombang  
 $n$  = derajat dari fungsi *butterworth filter*

*Highpass filter* merupakan filter yang meloloskan sinyal dengan frekuensi yang lebih tinggi daripada frekuensi yang telah ditentukan (*cutoff*) dan meredam sinyal yang frekuensinya lebih rendah daripada frekuensi *cutoff*. *Lowpass filter* adalah filter yang meloloskan sinyal dengan frekuensi yang lebih rendah daripada frekuensi *cutoff* dan meredam sinyal yang memiliki frekuensi lebih tinggi daripada frekuensi *cutoff*.



Gambar 3.1 Grafik *Butterworth Filter* terhadap nilai k (Whitehead, 2007)

### 3.1.6. *Tilt Derivative (TDR)*

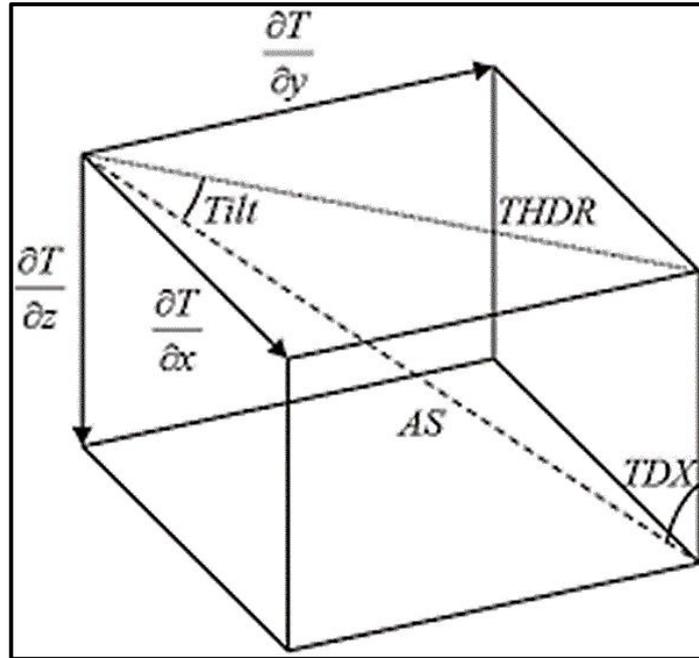
Filter *Tilt Derivative* adalah salah satu analisa *derivative* dalam pengolahan pada metode gravitasi maupun magnetik. Filter ini biasanya digunakan untuk memperjelas batas anomali maupun mendeteksi batas-batas kondisi geologi. Filter ini dikembangkan oleh Miller dan Singh (1994) dengan cara membagi komponen *Vertical Derivative* (VDR) dengan *Total Horizontal Derivative* (THD).

$$TDR = \tan^{-1} \frac{\frac{\partial g}{\partial z}}{THD} \quad (3.21)$$

Dengan  $\frac{\partial g}{\partial z}$  merupakan turunan dari sumbu z dari medan g. THD merupakan turunan horizontal dari medan g yang dirumuskan :

$$THD = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (3.22)$$

Miller dan Singh (1994) menjelaskan bahwa filter TDR memotong nilai nol pada batas sisi anomali serta mencapai nilai negatif apabila berada di luar anomali. Oleh karena itu, TDR efektif untuk mengidentifikasi kelurusan serta kemenerusan suatu anomali. Fungsi filter TDR ini juga seperti *automatic gain control* (AGC) karena tidak hanya memperjelas batas anomali namun juga memperjelas badan atau tubuh anomali tersebut. Nilai TDR dibatasi mulai dari  $-\frac{\pi}{2}$  hingga  $\frac{\pi}{2}$ . Penggunaan nilai  $\pi$  yang dimaksud yaitu besar fase pada anomali hasil *filtering*. Untuk memudahkan gambaran dari filter TDR ini, **Gambar 3.2** merupakan ilustrasi THD dan TDR pada bidang 3D menurut (Arisoy, 2013).



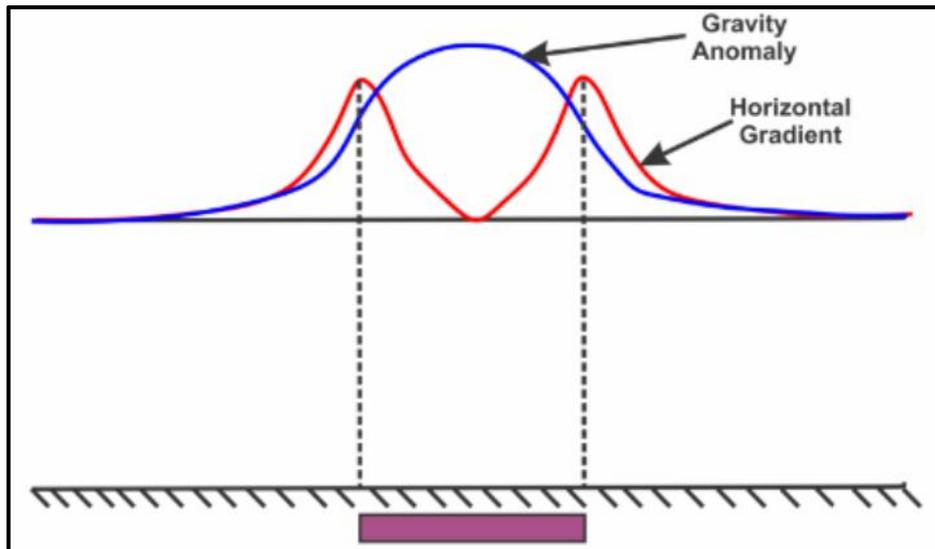
Gambar 3.2 THD dan TDR pada bidang 3D menurut (Arisoy, 2013)

### 3.1.7. Total Horizontal Derivative (THD)

Menurut Cordel (1985) Total Horizontal Derivative merupakan salah satu filter yang digunakan untuk mendeteksi tepian dari suatu anomali. Persamaan THD ini dirumuskan sebagai berikut (Cordel, 1985):

$$THD = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (3.23)$$

Dari persamaan (3.39)  $\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)$  dan  $\left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)$  merupakan gradien horizontal pada arah x dan y secara berurutan. Gradien horizontal anomali gaya berat dapat diartikan sebagai perubahan nilai anomali gaya berat dari satu titik ke titik lainnya secara horizontal dengan jarak tertentu. Dapat disimpulkan, THD menggunakan total dari gradien horizontal gravitasi untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai anomali pada suatu batas anomali yang ditinjau secara horizontal.



**Gambar 3.3** Nilai gradien horizontal pada model tabular (Blakely, 1996)

Metode THD ini memiliki fungsi untuk memperjelas pembacaan anomali pada batas tepian dari anomali bawah permukaan, salahsatunya yaitu patahan. Namun, metode ini hanya dapat mempertimbangkan letak anomali secara horizontal, untuk pembacaan anomali yang terletak secara vertikal yang berada pada posisi yang lebih dalam akan sulit dibaca pada metode THD ini.

### 3.1.8. *Second Vertical Derivative (SVD)*

*Second Vertical Derivative* merupakan salahsatu metode yang digunakan untuk memunculkan efek dangkal dari pengaruh regional dan untuk menentukan batas struktur-struktur bawah permukaan. SVD ini memiliki sifat *highpass filter* yaitu menghilangkan frekuensi gelombang yang rendah dan meloloskan frekuensi gelombang yang tinggi. Oleh karena itu, SVD dapat menggambarkan anomali residual yang berasosiasi dengan struktur dangkal serta dapat mengidentifikasi patahan akibat adanya perbedaan nilai yang tinggi dari tubuh anomali dengan daerah sekitarnya.

Pada perhitungan SVD , digunakan turunan kedua dari komponen vertikal dari data gravitasi dengan menggunakan persamaan Laplace, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\nabla^2 U = 0 \quad (3.24)$$

pada metode gravitasi persamaan Laplace (3.40) berubah menjadi:

$$\nabla \cdot \nabla g = 0 \quad (3.25)$$

$$\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = 0 \quad (3.26)$$

untuk filter SVD persamaan (3.42) berubah menjadi:

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = -\left(\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2}\right) \quad (3.27)$$

Dengan:  $\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}$  = turunan kedua secara vertikal (sumbu z) medan gravitasi

$\frac{\partial^2 g}{\partial x^2}$  = turunan kedua secara horizontal sumbu x.

$\frac{\partial^2 g}{\partial y^2}$  = turunan kedua secara horizontal sumbu y.

### 3.2 Metode Geolistrik

Geolistrik adalah salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dan cara mendeteksinya di permukaan bumi. Pendeteksian ini meliputi pengukuran beda potensial dan arus yang terjadi secara alamiah maupun akibat penginjeksian arus ke dalam bumi.

Tujuan dari survei geolistrik adalah untuk menentukan distribusi resistivitas bawah permukaan dengan melakukan pengukuran di permukaan tanah. Dari pengukuran tersebut, resistivitas sebenarnya di bawah permukaan bumi dapat diperkirakan. Resistivitas tanah berkaitan dengan berbagai parameter geologi seperti mineral dan konten fluida, porositas dan derajat kejenuhan air di batuan. Survei resistivitas listrik telah digunakan selama beberapa dekade di *hydrogeological*, pertambangan dan investigasi *geothechnical*. Baru-baru ini telah digunakan untuk survei lingkungan (Loke, 1996).

Secara umum Metode Geolistrik dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

#### a. Geolistrik Pasif

Dalam geolistrik pasif ini, energi yang dibutuhkan telah ada terlebih dahulu secara alamiah sehingga tidak diperlukan adanya injeksi/pemasukan arus terlebih dahulu. Contoh dari geolistrik pasif ini merupakan *Self Potential* (SP).

#### b. Geolistrik Aktif

Dalam geolistrik aktif ini, energi yang dibutuhkan ada akibat penginjeksian arus ke dalam bumi terlebih dahulu oleh elektroda arus. Geolistrik aktif ini dibagi menjadi dua jenis, yaitu Metode Resistivitas (*Resistivity*) dan Polarisasi Terimbas (*Induce Polarization*).

Sifat kelistrikan batuan adalah karakteristik dari batuan dalam menghantarkan arus listrik. Batuan dapat dianggap sebagai medium listrik seperti pada kawat penghantar listrik, sehingga mempunyai tahanan jenis (resistivitas). Resistivitas batuan adalah hambatan dari batuan terhadap aliran listrik. Resistivitas batuan dipengaruhi oleh porositas, kadar air, dan mineral. Menurut Telford et al, (1982) aliran arus listrik di dalam batuan dan mineral dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolitik, dan konduksi secara dielektrik.

Prinsip dasar metode geolistrik tahanan jenis adalah Hukum *Ohm*. Dimana hambatan diperoleh dengan mengukur beda potensial dan arus yang di lewatkan dalam suatu penghantar.

$$R = \frac{V}{I} \quad (3.28)$$

Dengan:  $R$  = hambatan (ohm).

$V$  = beda potensial.

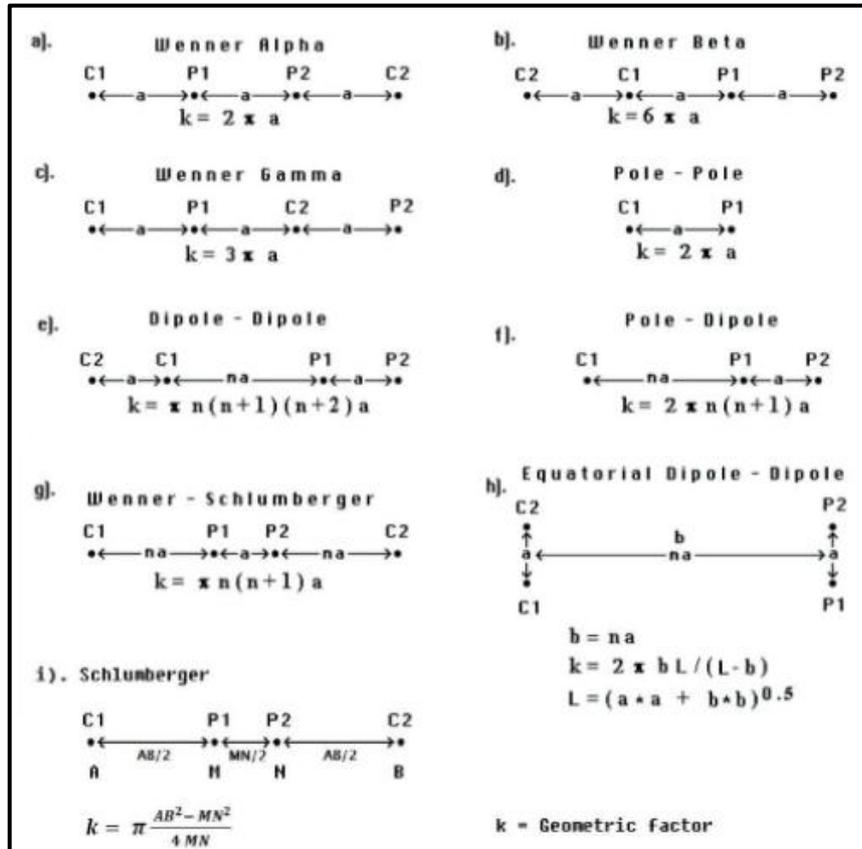
$I$  = arus yang dilewatkan.

### 3.2.1. Metode Resistivitas

Metode resistivitas merupakan salah satu metode geofisika yang dapat memberikan gambaran tentang susunan litologi atau struktur bawah permukaan suatu daerah serta kedalaman lapisan batuan berdasarkan sifat kelistrikan batuan. Dasar dari metode resistivitas adalah hukum ohm yaitu dengan cara mengalirkan arus kedalam bumi melalui elektroda arus dan mengukur potensialnya di permukaan bumi dengan menggunakan elektroda potensial (Telford et al, 1976).

Metode resistivitas digolongkan ke dalam metode aktif karena dalam metode ini dilakukan pengaliran arus ke dalam bumi atau dengan kata lain sumbernya dibangkitkan dengan sengaja. Elektron yang menjalar di dalam tanah mengalami hambatan yang dideskripsikan sebagai tahanan jenis (resistivitas) dengan satuan *ohm.m*. Besaran tahanan jenis ini merupakan besaran yang menjadi target utama dalam pengukuran geolistrik. Pada metode resistivitas dikenal beberapa konfigurasi elektroda yang sering digunakan (**Gambar 3.4**), diantaranya yaitu: konfigurasi *Wenner*, konfigurasi *Schlumberger*, konfigurasi *Wenner-Schlumberger*, konfigurasi *Dipole-dipole*, konfigurasi *Pole-pole*.

Pelaksanaan pengukuran dengan metode resistivitas adalah dengan mengirimkan arus dan mengukur beda potensial, dengan jarak elektrode arus dan potensial yang divariasikan, Dengan demikian diperoleh nilai resistivitas atau tahanan jenis untuk setiap jarak elektrode arus dan potensial.



Gambar 3.4. Susunan konfigurasi elektrode (Loke, 2004)

### 3.2.2. Resistivitas Semu

Resistivitas semu merupakan nilai tahanan yang diperoleh dari pengukuran beda potensial disekitar tempat arus diinjeksikan. Pada metode resistivitas bumi diasumsikan sebagai bola padat yang memiliki sifat homogen isotropis. Dengan asumsi ini, maka seharusnya resistivitas yang terukur merupakan resistivitas sebenarnya dan tidak bergantung dari spasi elektrode. Namun, dalam kondisi sesungguhnya, tanah tidak bersifat homogen sehingga nilai yang diperoleh merupakan nilai resistivitas yang mewakili nilai resistivitas seluruh lapisan yang teralui garis ekipotensial listrik. Dimana, garis ekipotensial sangat dipengaruhi oleh jenis batuan yang menyusunnya. Maka harga resistivitas yang terukur bukan merupakan harga resistivitas untuk satu lapisan saja, tetapi beberapa lapisan. Hal

ini terutama untuk spasi elektroda yang lebar.

$$\rho_{\alpha} = K \frac{\Delta V}{I} \quad (3.29)$$

Dengan:

$\rho_{\alpha}$  = resistivitas semu (Ohm.m)

K = faktor geometri

$\Delta V$  = beda potensial (V)

I = kuat arus (A)

Pada kenyataannya, bumi merupakan medium berlapis dengan masing-masing lapisan mempunyai harga resistivitas yang berbeda. Resistivitas semu merupakan resistivitas dari suatu medium fiktif homogen yang ekuivalen dengan medium berlapis yang ditinjau. Medium berlapis yang ditinjau terdiri dari dua lapisan dengan resistivitas berbeda ( $\rho_1$  dan  $\rho_2$ ) dianggap medium satu lapis homogen yang mempunyai satu harga resistivitas, yaitu resistivitas semu  $\rho_{\alpha}$  dengan konduktansi masing-masing lapisan  $\sigma_{\alpha} = \sigma_1 + \sigma_2$ .

### 3.2.3. Elektroda Arus

#### 3.2.3.1. Elektroda Arus Tunggal

Apabila arus mengalir dari sebuah elektroda yang terletak pada permukaan medium homogen isotropis, maka arus tersebut akan tersebar ke segala arah dengan sama besar. Arus yang mengalir tersebut akan menimbulkan medan equipotensial. Dikarenakan harga konduktivitas udara adalah nol, maka ketika arus mengalir dibawah permukaan maka akan menimbulkan medan equipotensial yang berupa luas keliling setengah bola. Maka arus tunggal tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$I = 2\pi r^2 J = -2\pi r^2 \sigma \frac{dV}{dr} = 2\pi \sigma A \quad (3.30)$$

$$A = \frac{I}{2\pi \sigma} = \frac{I \rho}{2\pi} \quad (3.31)$$

Maka potensial elektroda pada permukaan medium homogen yaitu:

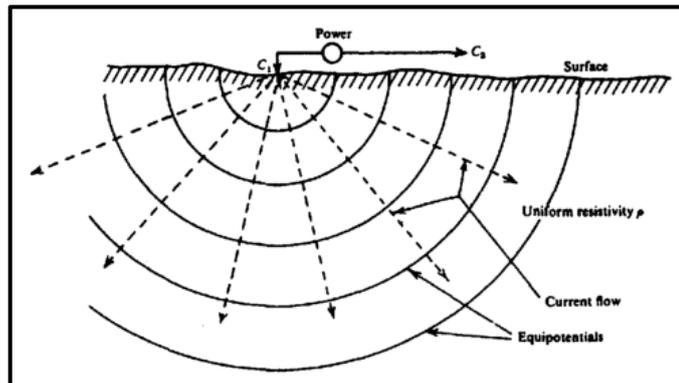
$$V = \left(\frac{I \rho}{2\pi}\right) \left(\frac{1}{r}\right) \quad (3.32)$$

Nilai resistivitasnya yaitu:

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (3.33)$$

Dengan: I = Arus listrik (A)

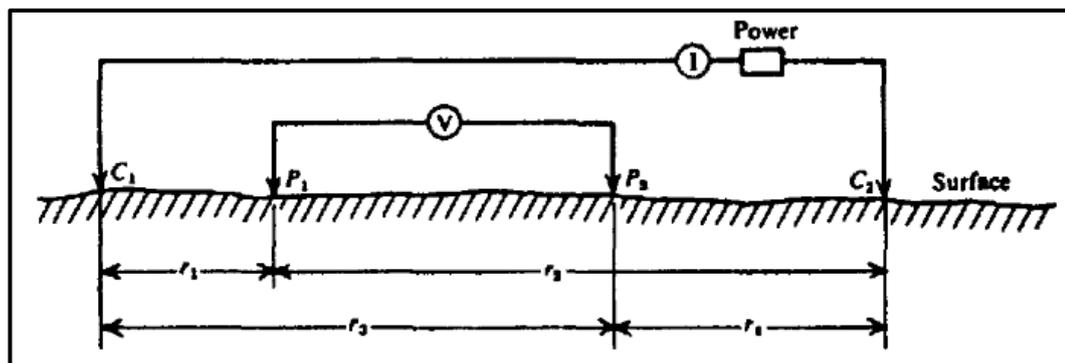
- J = densitas arus ( $A/m^2$ )
- r = jari-jari bola (m)
- $\sigma$  = konduktivitas medium (Siemens/m)
- V = volume ( $m^3$ )
- A = luasan volume tertutup ( $m^2$ )



**Gambar 3.5.** Elektroda Arus Tunggal pada Permukaan Medium Homogen (Telford et al, 1990)

### 3.2.3.2. Elektroda Arus Ganda

Apabila arus diinjeksikan melalui dua elektroda arus dengan jarak tertentu dan dilakukan pengukuran diatas permukaan tanah, maka potensial yang terukur merupakan jumlah dari potensial yang dipengaruhi oleh kedua arus yang terdapat pada elektroda tersebut.



**Gambar 3.6.** Dua Elektroda Arus pada Permukaan Medium Homogen (Telford et al, 1990)

Dari gambar diatas, potensial yang terjadi pada  $P_1$  akibat dari  $C_1$  yaitu:

$$V_1 = -\frac{A_1}{r_1}; \text{ dengan } A_1 = -\frac{I\rho}{2\pi} \tag{3.34}$$

dan potensial yang terjadi pada  $P_1$  akibat dari  $C_2$  yaitu:

$$V_2 = -\frac{A_2}{r_2}; \text{ dengan } A_2 = \frac{I\rho}{2\pi} = -A_1 \tag{3.35}$$

Apabila arus pada kedua elektroda tersebut besarnya sama namun berlawanan arah, maka potensial pada titik P<sub>1</sub> adalah:

$$V_{P1} = V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (3.36)$$

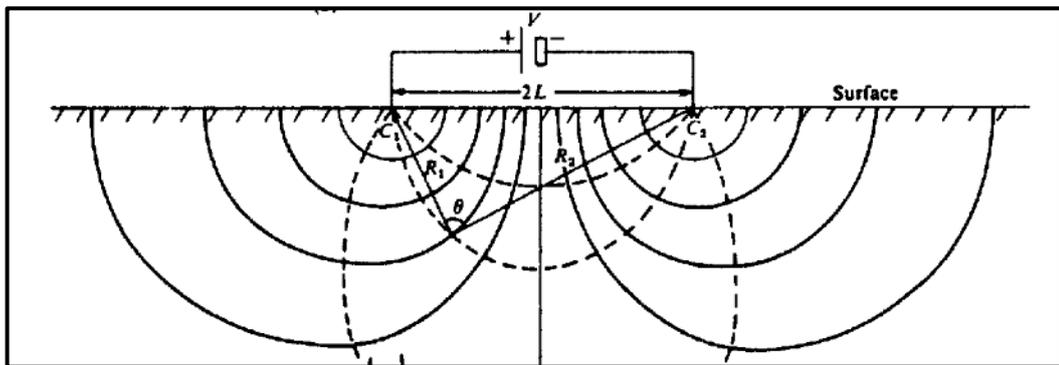
Potensial pada titik P<sub>2</sub> adalah:

$$V_{P2} = V_3 + V_4 = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (3.37)$$

Sehingga beda potensial yang terukur pada potensial P<sub>1</sub> dan P<sub>2</sub> adalah:

$$\Delta V = V_{P1} - V_{P2} = (V_1 + V_2) - (V_3 + V_4)$$

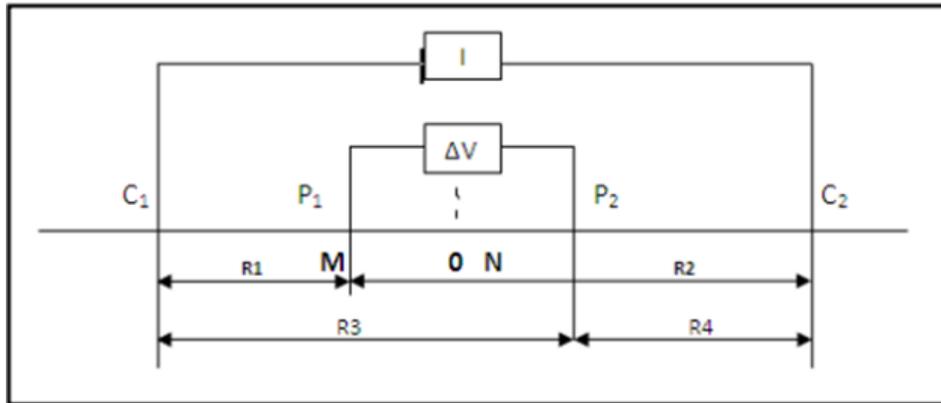
$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (3.38)$$



**Gambar 3.7.** Penjalaran Arus dari dua elektroda pada Permukaan Medium Homogen (Telford et al, 1990)

### 3.2.4. Konfigurasi Schlumberger

Konfigurasi *Schlumberger* menggunakan empat buah elektroda, yaitu dua buah elektroda arus (C<sub>1</sub> dan C<sub>2</sub>) dan dua buah elektroda potensial (P<sub>1</sub> dan P<sub>2</sub>). Pada konfigurasi ini, idealnya jarak antar elektroda potensial dibuat sekecil-kecilnya. Namun karena keterbatasan kepekaan alat, maka ketika jarak C<sub>1</sub> dan C<sub>2</sub> sudah relatif besar maka jarak P<sub>1</sub> dan P<sub>2</sub> juga dirubah. Perubahan jarak P<sub>1</sub> dan P<sub>2</sub> tidak lebih besar dari 1/5 dari jarak C<sub>1</sub> dan C<sub>2</sub>.



**Gambar 3.8.** Konfigurasi *Schlumberger* (Telford et al,1990)

Konfigurasi *schlumberger* lebih banyak digunakan dalam eksplorasi air tanah, bahan galian, geothermal, minyak dan gas bumi yang kedalamannya targetnya cukup besar. Hasil akhir *schlumberger* berupa garis *curva matching* secara vertikal.

Berdasarkan persamaan umum faktor geometri dan susunan konfigurasi *Schlumberger*, maka didapatkan persamaan :

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{C_1P_1} - \frac{1}{C_2P_1} - \frac{1}{C_1P_2} + \frac{1}{C_2P_2}} \quad (3.39)$$

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{b-a/2} - \frac{1}{b+a/2} - \frac{1}{b+a/2} + \frac{1}{b-a/2}} \quad (3.40)$$

$$K = \pi \left[ \frac{b^2}{a} - \frac{a}{4} \right] \quad (3.41)$$

$$\rho_a = K \cdot R \quad (3.42)$$

Sehingga dapat diketahui rumus faktor geometri konfigurasi schlumberger adalah

$$K = \pi \frac{AB^2 - MN^2}{4MN} \quad (3.43)$$

Dengan : I = arus listrik (mA)

ΔV = beda potensial (mV)

ρ<sub>a</sub> = resistivitas semu

K = faktor geometri

AB = jarak spasi elektroda arus (m)

MN = jarak spasi elektroda potensial (m)

### 3.2.5. Resistivitas Batuan

Salah satu sifat fisik batuan dan mineral yaitu resistivitas batuan. Batuan dianggap sebuah medium listrik seperti pada kawat penghantar listrik, sehingga

memiliki nilai tahanan jenis. Nilai tahanan jenis (resistivitas) batuan besarnya memiliki rentang nilai yang berbeda-beda dikarenakan bervariasi pula material penyusun batuan. Aliran listrik dalam batuan atau mineral secara garis besar dapat digolongkan menjadi tiga bagian :

- Konduksi secara elektronik

Jika batuan atau mineral mempunyai banyak elektron bebas, sebagai arus listrik dialirkan pada batuan atau mineral tersebut oleh elektron-elektron bebas.

- Konduksi secara elektrolitik

Terjadi jika batuan atau mineral bersifat porous dan pori-pori tersebut terisi oleh larutan atau cairan elektrolit (penghantar) misalnya air. Arus listrik yang mengalir dalam batuan dibawa oleh ion-ion elektrolit.

- Konduksi secara dielektrik

Jika batuan atau mineral bersifat dielektrik terhadap aliran listrik, yaitu terjadi polarisasi saat dialiri arus listrik.

Sifat kelistrikan batuan dapat dipengaruhi beberapa faktor, antara lain adalah :

- Kandungan mineral logam

Jika batuan memiliki kandungan mineral logam yang besar, maka akan menghantarkan arus listrik dengan baik dan memiliki nilai resistivitas yang kecil.

- Kandungan mineral non-logam

Jika batuan memiliki kandungan non-logam yang makin besar maka akan kurang baik untuk menghantarkan arus listrik dan memiliki nilai resistivitas yang besar.

- Kandungan air garam

Jika batuan memiliki kandungan air garam semakin besar, maka akan memiliki nilai resistivitas yang kecil.

- Kandungan elektrolit padat

Jika batuan memiliki kandungan elektrolit padat yang semakin banyak, maka akan baik untuk menghantarkan arus listrik dan tentunya akan memiliki nilai resistivitas yang kecil.

- Tekstur batuan

Jika batuan memiliki tekstur yang semakin kompak maka akan kurang baik

dalam menghantarkan listrik dan tentunya akan memiliki nilai resistivitas yang besar.

- Porositas batuan

Jika batuan memiliki porositas yang besar dan terisi oleh fluida, maka akan memiliki nilai resistivitas yang semakin kecil.

- Permeabilitas batuan

Jika batuan memiliki permeabilitas yang besar maka akan memiliki nilai resistivitas yang kecil.

- Temperatur

Jika batuan dalam temperatur yang semakin tinggi akan memiliki nilai resistivitas yang akan kecil.

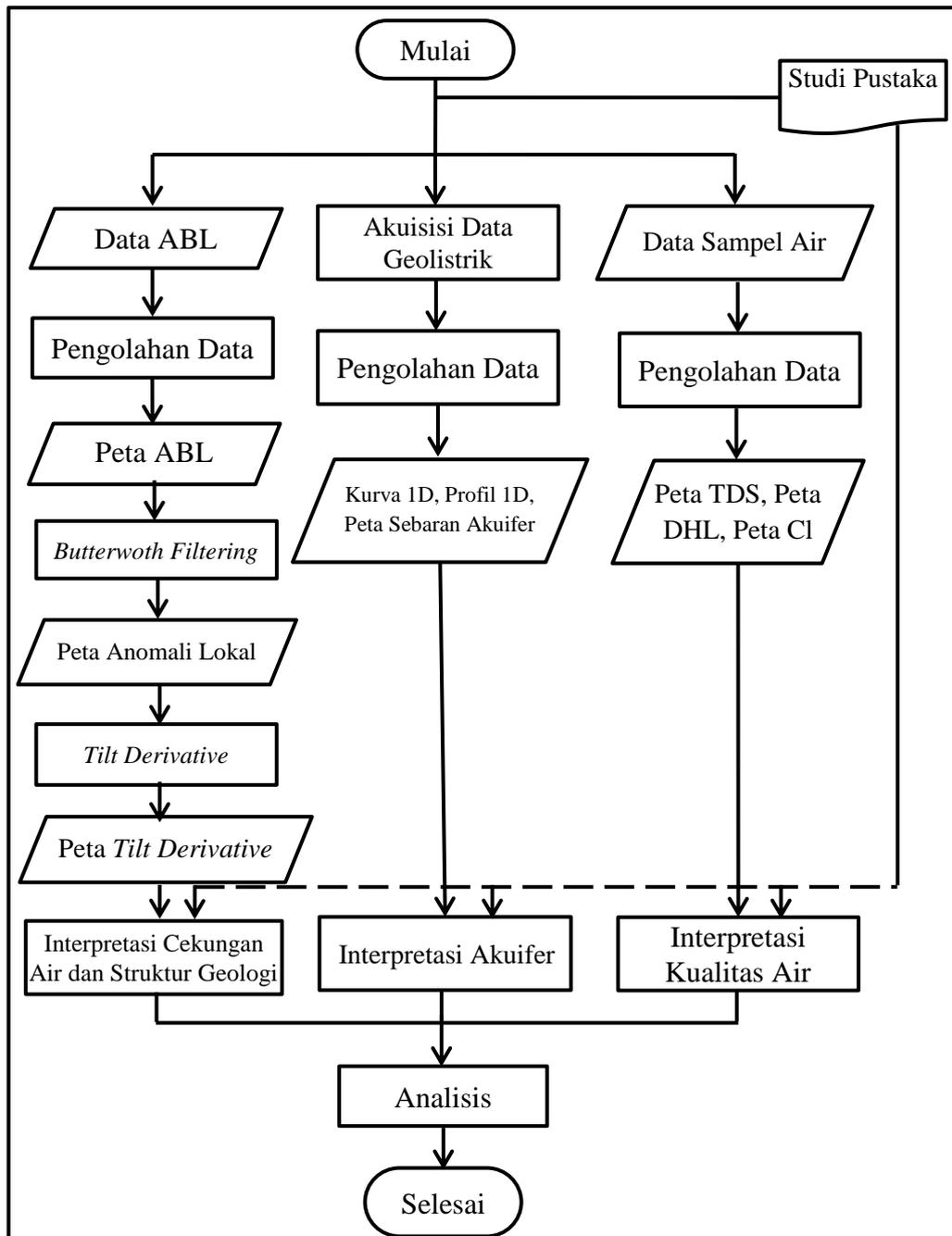
**Tabel 3.2.** Tabel nilai resistivitas batuan (Santoso, 2017)

Nama batuan	Nilai Resistivitas ( $\Omega m$ )
Batulempung	<10
Lempung pasiran	10-15
Pasir lempungan	15-20
Batupasir pembawa air	20-50
Gamping pasiran	50-100
Batugamping	100-500
Batugamping kompak	500-1000
Breksi gunung api	1000-2000
Andesit	>2000

## BAB IV METODE PENELITIAN

### 4.1. Sistematika Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan tahap-tahapan yang menjelaskan mengenai kegiatan yang dilakukan. Secara umum metode penelitian tersebut dijelaskan dalam diagram alir yang tergambar dibawah ini (**Gambar 4.1**).



**Gambar 4.1.** Tahapan penelitian

Dari **Gambar 4.1**, maka tahapan penelitian yang akan dilakukan dapat dijelaskan secara garis besar sebagai berikut:

1. Studi Pustaka

Pada tahap ini dilakukan studi pustaka dari berbagai literatur seperti buku, makalah, laporan ataupun tulisan hasil dari penelitian terdahulu. Tahapan ini dilaksanakan agar dalam melakukan penelitian sudah ada gambaran mengenai apa yang akan dilakukan, dan mempermudah dalam melakukan penelitian.

2. Akuisisi Data Geolistrik

Pada penelitian ini, dilakukan pengambilan data geolistrik. Pengambilan data geolistrik berupa pengambilan 6 titik data *sounding*. Pengambilan data ini dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas dengan konfigurasi *schumberger*.

3. Pengumpulan Data

Tahapan ini merupakan tahap mengumpulkan data yang diperlukan untuk penelitian. Data penelitian ini berupa data yang diperoleh dari tahapan akuisisi di lapangan, maupun data sekunder. Data dari akuisisi di lapangan berupa data geolistrik. Data sekunder yaitu data gravitasi dari peta Anomali Bouguer Lengkap Yogyakarta serta data sampel air daerah penelitian. Data tersebut kemudian dilakukan pengumpulan untuk selanjutnya diolah.

4. Pengolahan Data

Pada tahapan ini dilakukan pengolahan data terhadap data yang telah dikumpulkan. Terdapat tiga data dan setiap data memiliki pengolahan dan analisa masing-masing. Pertama yaitu data geolistrik, tahap pertama pengolahannya pencocokan kurva 1D. Dari tahapan pencocokan kurva, didapatkan data resistivitas, kedalaman serta ketebalan. Dari data tersebut kemudian diolah untuk menjadi profil bawah permukaan, peta ketebalan akuifer, peta kedalaman muka akuifer serta peta resistivitas akuifer. Kemudian terdapat data gravitasi yang berupa peta anomali bouguer lengkap (ABL). Dari peta anomali bouguer lengkap (ABL) kemudian dilakukan pemisahan anomali regional dan residual dengan filter *butterworth*. Dari proses *filtering* peta ABL didapatkan peta anomali lokal dan regional. Pada penelitian ini peta yang digunakan untuk analisis adalah peta anomali lokal, karena tujuan dari penelitian ini untuk anomali yang bersifat

dangkal dan tergambar pada anomali lokal. Selain dilakukan *filtering* untuk mendapatkan anomali lokal, pada data gravitasi juga dilakukan pengolahan *Tilt Derivative filter*, filter ini digunakan untuk mengetahui batas anomali, serta untuk mengetahui keberadaan struktur didaerah penelitian. Kemudian terdapat data sampel air, data sampel air berupa data fisik dan data kimia air. Dari data fisik air diambil parameter berupa nilai daya hantar listrik (DHL) dan *total dissolve solution* (TDS). Dari data kimia air, diambil parameter kandungan Cl<sup>-</sup>. Dari parameter-parameter tersebut dibuat peta persebarannya dan ditentukan kualitas airnya.

#### 5. Interpretasi

Pada tahapan interpretasi ini akan didapatkan hasil yang menjawab masalah dalam penelitian ini yaitu gambaran cekungan air tanah, keadaan akuifer serta kualitas air tanah yang ditentukan berdasarkan beberapa parameter sifat fisik dan kimia air tanah.

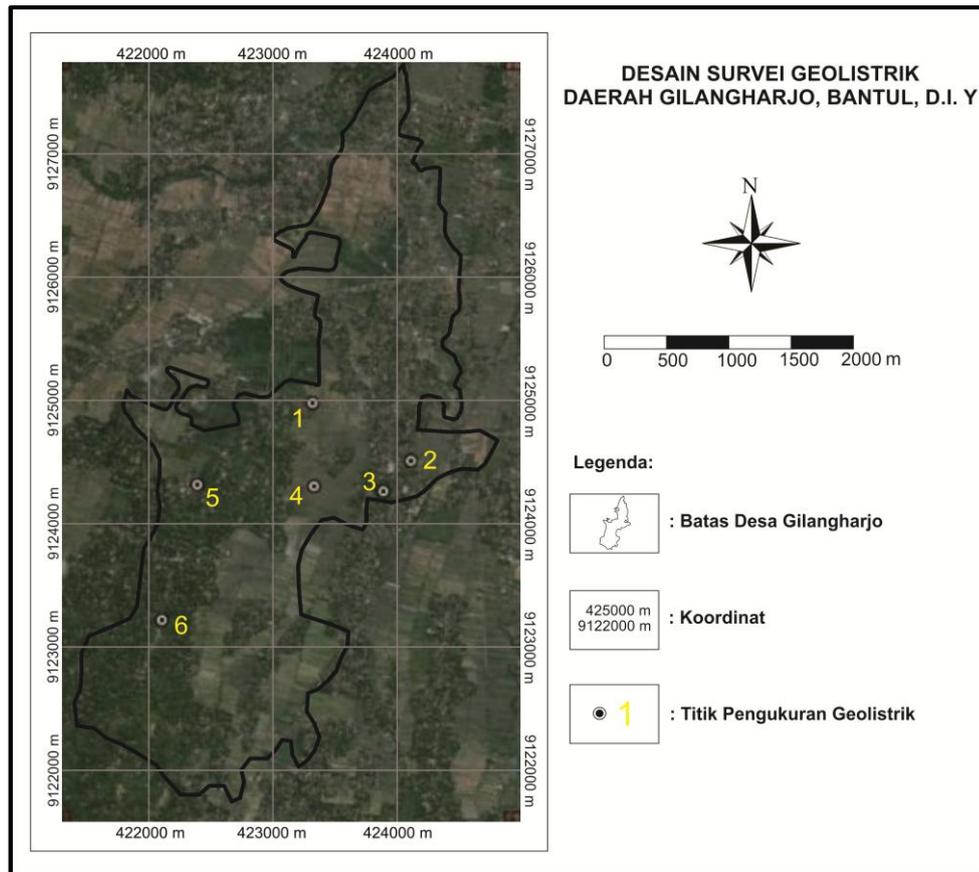
#### 6. Analisis

Tahapan akhir dari penelitian ini yaitu analisis. Analisis yang dimaksudkan yaitu proses menganalisa dari hasil interpretasi data. Analisis yang dilakukan yaitu analisa cekungan menggunakan peta anomali lokal. Setelah dilakukan analisis mengenai cekungan, kemudian dilakukan analisa mengenai kondisi akuifer dengan menggunakan hasil interpretasi dari metode geolistrik, dan kemudian dilakukan analisis mengenai kualitas air.

### **4.2. Akuisisi Data**

#### **4.2.1 Desain Survei Akuisisi Data Geolistrik**

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data geolistrik. Data geolistrik berupa 6 titik *sounding*. Pengukuran geolistrik menggunakan metode resistivitas konfigurasi *schlumberger* dengan panjang bentangan 250m. Pengukuran dilakukan di Desa Gilangharjo, Pandak, Bantul, Yogyakarta.



**Gambar 4.2** Desain survei akuisisi data geolistrik (dimodifikasi dari *Google Earth* pada 1 Agustus 2020)

#### 4.2.2 Peralatan dan Perlengkapan Akuisisi Data Geolistrik

Dalam akuisisi data diperlukan alat maupun perlengkapan yang bertujuan agar penelitian dapat berjalan dengan baik. Berikut merupakan beberapa peralatan dan perlengkapan yang harus ada dalam kegiatan akuisisi data pada penelitian kali ini:

1. *Oyo McOhm*: Pada akuisisi data geolistrik, alat ini merupakan alat yang digunakan untuk merekam data dan menampilkan nilai data  $V$ ,  $I$ , dan  $R$ .
2. Kabel penghubung elektroda arus dan potensial: Alat ini digunakan untuk menangkap potensial yang menjalar dibawah permukaan (tanah), yang dipancarkan oleh sumber (*Accu*).
3. *Accu*: Alat ini digunakan sebagai sumber arus.
4. Meteran: Meteran ini digunakan untuk menentukan dan mengukur panjang lintasan dan jarak spasi antar elektroda.
5. Palu: Alat ini digunakan untuk membantu menancapkan elektroda potensial maupun elektroda arus kedalam permukaan tanah.

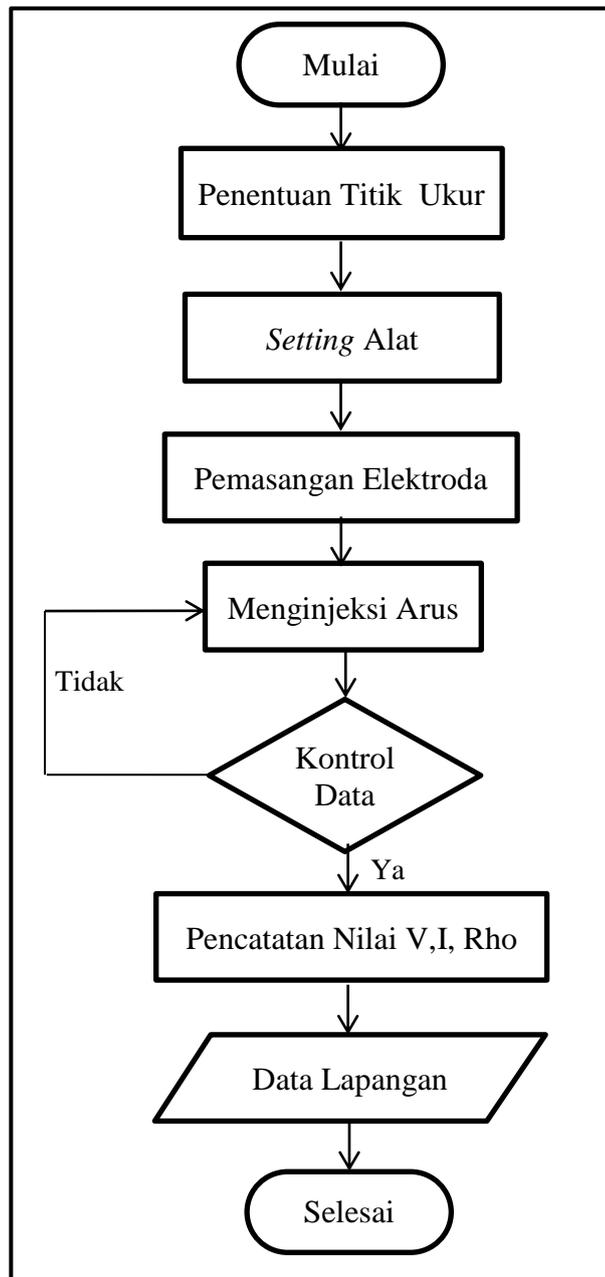
6. Elektroda: Alat ini digunakan untuk menghubungkan antara elektroda arus, potensial *Accu*, pada alat pengukuran.
7. Payung/Jas Hujan: Payung digunakan untuk melindungi *OYO* dari adanya gangguan disekitar daerah penelitian, misalnya saja untuk melindungi alat dari pancaran sinar matahari, hujan, serta benda-benda lainnya.
8. Papan jalan, alat tulis, dan tabulasi data: Alat tulis dan tabulasi data digunakan untuk mencatat nilai hasil pengukuran. Tabel tabulasi berisikan nilai C1, P1, C2, P2, V, I, R, K dan Rho.



**Gambar 4.3** Peralatan dan perlengkapan akusisi data geolistrik

### 4.2.3 Akuisisi Data Geolistrik

Pada penelitian ini dilakukan akuisisi metode geolistrik. Metode geolistrik yang digunakan yaitu metode resistivitas dengan konfigurasi *schlumberger*. Akuisisi dilakukan pada 6 titik pengukuran dengan panjang bentangan 250m. Tahapan untuk akuisisi data geolistrik digambarkan pada **Gambar 4.4** berikut ini.



**Gambar 4.4** Diagram alir akuisisi data geolistrik

Dalam akuisisi data geolistrik, ada beberapa tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan data yang baik dan merepresentasikan bawah permukaan daerah

penelitian. Berikut merupakan tahapan yang dilakukan dalam akuisisi data geolistrik:

1. Akuisisi data geolistrik dimulai dengan menentukan titik pengukuran. Penentuan titik ukur sebelumnya telah direncanakan pada desain survei kemudian dicari letak titik ukur tersebut dengan menggunakan GPS.
2. Setelah titik ukur ditentukan, kemudian alat dipersiapkan. Persiapan alat mencakup pembentangan lintasan pengukuran dan *setting* alat *OYO*. *Setting* alat yaitu mengatur besaran arus yang akan diinjeksikan dan metode pengukuran yang akan dilakukan.
3. Kemudian setelah alat selesai di atur dan kabel telah dibentangkan, dilakukan pemasangan elektroda arus dan elektroda potensial. Pemasangan elektroda disesuaikan dengan spasi yang telah ditentukan. Pemasangan elektroda haruslah pada tanah atau batuan, bukan pada aspal ataupun beton, agar data yang dihasilkan dapat merepresentasikan bawah permukaan.
4. Selanjutnya, setelah elektroda terpasang, dilakukan menginjeksikan arus. Besarnya arus yang akan diinjeksikan dapat diatur pada alat dan disesuaikan dengan keadaan lapangan.
5. Setelah arus diinjeksikan, alat akan memunculkan nilai beda potensial (V), arus (I) dan hambatan (R). Apabila terdapat eror dalam pengukuran dan salah satu nilai tidak terbaca, maka dilakukan penginjeksian arus ulang. Kontrol data ini dilakukan agar apabila terdapat data yang kurang baik dapat langsung dilakukan pengulangan pengukuran.
6. Kemudian dilakukan pencatatan nilai beda potensial (V), arus (I) dan hambatan (R). Data tersebutlah yang menjadi data lapangan, dilengkapi dengan data koordinat titik pengukuran. Setelah selesai dicatat, kemudian dilakukan pemindahan elektroda dan dilakukan pengukuran hingga sampai selesai bentangan dalam satu titik pengukuran.

#### **4.2.4 Data Penelitian**

Pada penelitian ini, tahapan awal yang dilakukan yaitu melakukan pengumpulan data. Penelitian ini menggunakan 3 jenis data, yaitu data gravitasi, data geolistrik dan data kualitas air. Selain itu juga terdapat data penunjang yang berupa data geologi daerah penelitian yang dikaji dari Peta Geologi Lembar Yogyakarta (Raharjo dkk, 1995).

##### **a. Data Gravitasi**

Pada penelitian ini, data gravitasi merupakan data sekunder. Data gravitasi didapatkan dari Peta Anomali Bouguer Jawa, Lembar Yogyakarta (BAKOSURTANAL 1975). Peta tersebut berupa gambaran sebaran nilai ABL di wilayah Yogyakarta. Dari peta tersebut kemudian diambil data daerah Kabupaten Bantul untuk digunakan pada penelitian ini. Penelitian ini menggunakan data gravitasi dengan luasan daerah penelitian 18x14 km dengan data yang berupa data koordinat X, Y dan nilai ABL.

##### **b. Data Geolistrik**

Pada penelitian ini, data geolistrik didapatkan dari hasil akuisisi lapangan. Data geolistrik berupa 6 titik *sounding*. Metode geolistrik yang digunakan yaitu metode resistivitas dengan konfigurasi *schlumberger*. Panjang bentangan sejauh 250m. Data hasil akuisisi berupa nilai arus (I), tegangan (V), dan resistivitas ( $\rho$ ) serta data koordinat titik pengukuran.

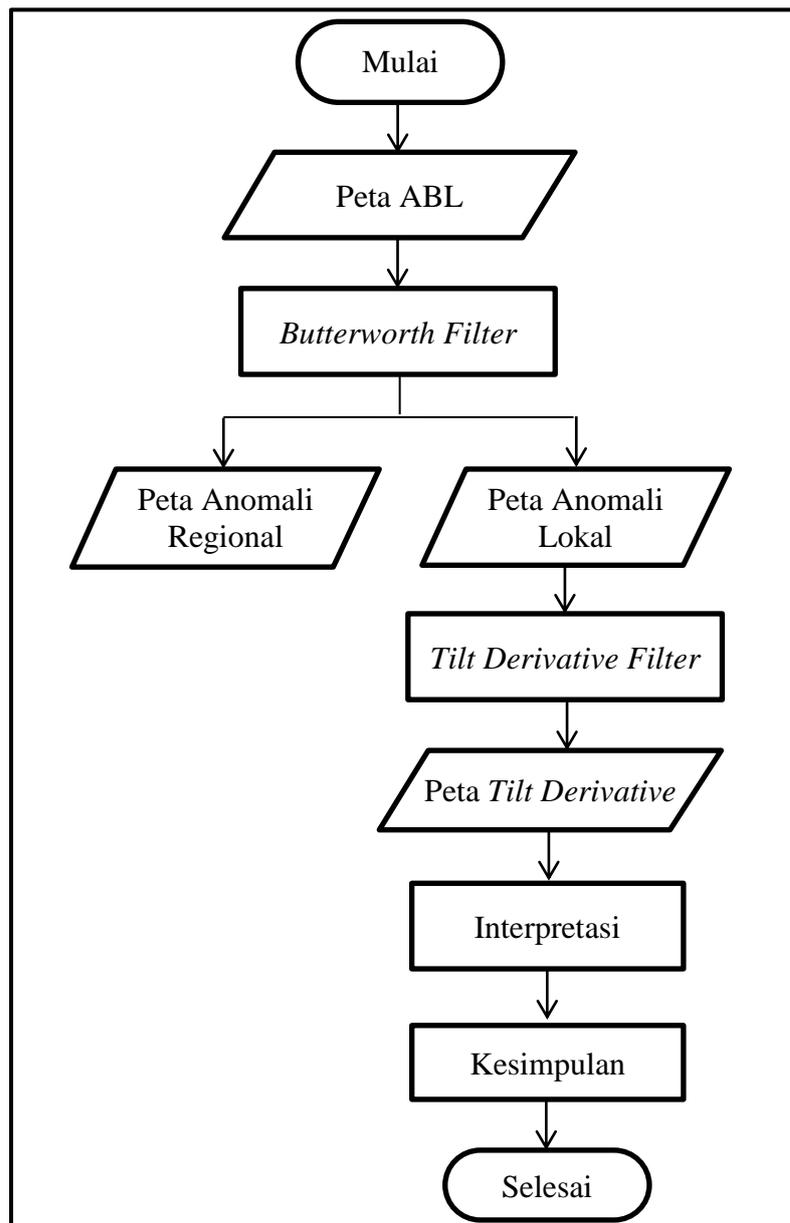
##### **c. Data Kualitas Air**

Pada penelitian ini, data kualitas air didapatkan dari pengambilan sampel air dari lapangan. Data kualitas air pada penelitian ini berupa data daya hantar listrik (DHL), data *total dissolved solid* (TDS) dan data kandungan klorida ( $Cl^-$ ). Data DHL dan TDS terdiri dari data 75 titik sampel air dan data  $Cl^-$  terdiri dari 13 titik sampel air.

### 4.3. Pengolahan Data

#### 4.3.1 Pengolahan Data Gravitasi

Pengolahan data gravitasi pada penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran anomali yang nantinya dapat dianalisis. Data gravitasi berupa data anomali *bouguer* lengkap yang kemudian dibuat menjadi peta dan selanjutnya dilakukan filtering data. **Gambar 4.5** menjelaskan mengenai tahapan pengolahan data pada metode gravitasi.



**Gambar 4.5** Diagram alir pengolahan data gravitasi

Pengolahan data gravitasi yang dilakukan dalam penelitian ini memiliki tujuan untuk mendapatkan gambaran cekungan air tanah daerah penelitian. Data

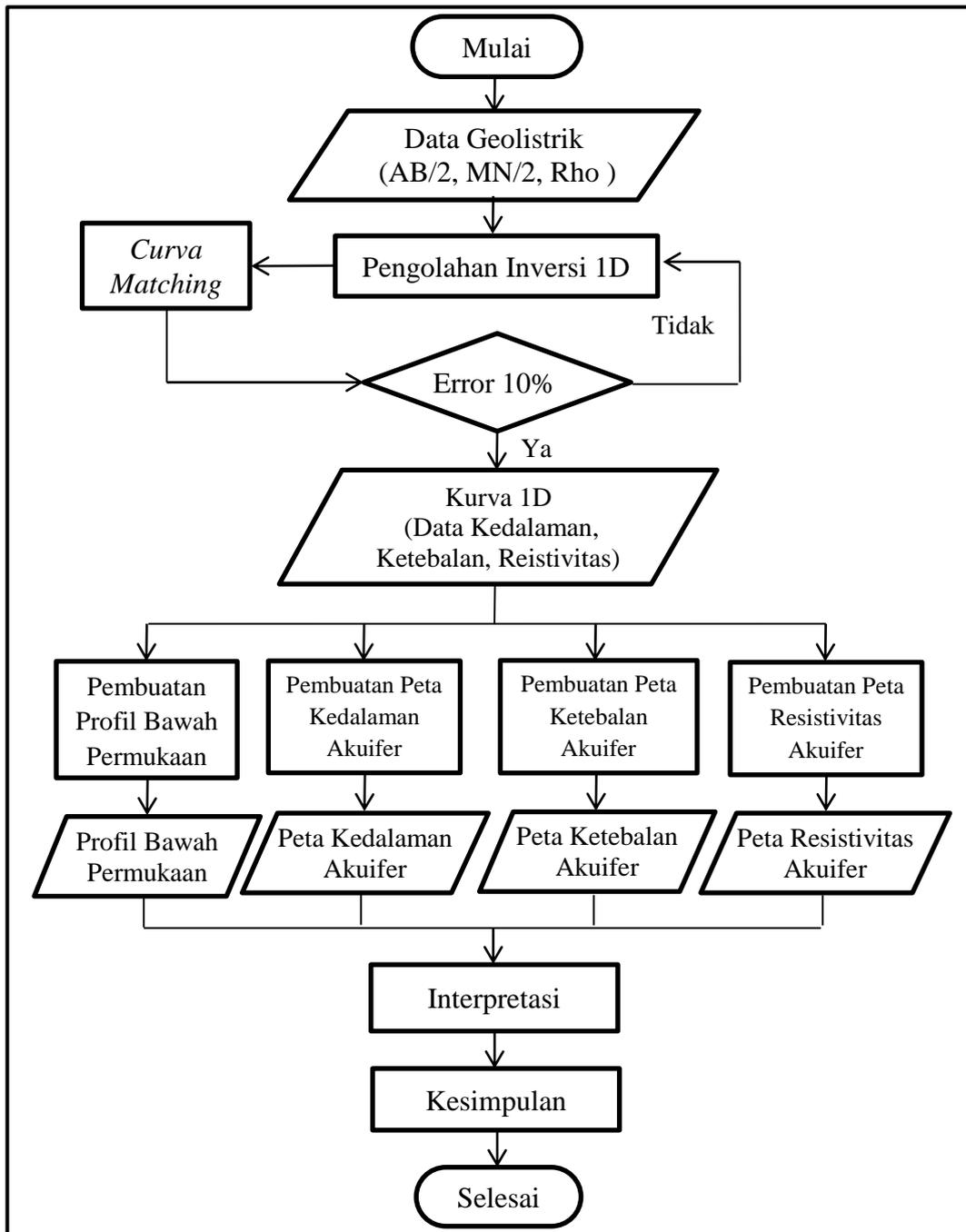
gravitasi pada penelitian ini merupakan data sekunder yang didapatkan dari data Anomali Bouguer Yogyakarta. Tahapan dalam pengolahan gravitasi yaitu sebagai berikut:

1. Pengolahan data dimulai dari menginputkan nilai koordinat dan data ABL pada *software Oasis Montaj*. Setelah diinputkan kemudian dilakukan pemodelan 2D sehingga didapatkan peta ABL.
2. Nilai dalam peta ABL merupakan total dari anomali regional dan anomali residual. Untuk memisahkan anomali regional dan anomali residual, dilakukan *filtering*. Pada penelitian ini filter yang digunakan yaitu *Butterworth filter*. Filter *Butterworth* ini memisahkan nilai anomali dan nilai *noise* dengan menggunakan nilai panjang gelombang.
3. Setelah dilakukan *filtering* kemudian didapatkan Peta Anomali Regional dan Peta Anomali Lokal. Peta Anomali Regional menggambarkan benda anomali pada kedalaman dalam, sedangkan Peta Anomali Lokal menunjukkan benda anomali pada kedalaman dangkal.
4. Dari peta Anomali lokal diidentifikasi mengenai target dari penelitian yaitu cekungan air tanah. Untuk memperjelas mengenai anomali target maka kemudian dilakukan *filtering* yang berupa *Tilt Derivative Filter*. *Tilt Derivative Filter* ini digunakan untuk memperjelas anomali target serta untuk mengetahui mengenai keberadaan struktur pengontrol daerah penelitian.
5. Setelah *Tilt Derivative Filter* selesai dilakukan kemudian dianalisis mengenai peta yang telah dibuat. Interpretasi mencakup interpretasi untuk mengetahui keberadaan cekungan air serta struktur geologi yang berada di daerah penelitian. Setelah selesai dilakukan interpretasi kemudian dilakukan penarikan kesimpulan.

### 4.3.2 Pengolahan Data Geolistrik

#### a. Alur Pengolahan Data Geolistrik

Pada penelitian ini dilakukan untuk mengolah data lapangan menjadi model bawah permukaan yang dapat diinterpretasi dan dianalisis. Pengolahan data geolistrik dilakukan menggunakan *software IPI2Win* untuk inversi 1D, *software Strater* untuk pemodelan profil 1D, dan *software Surfer* untuk penggambaran peta. Pada **Gambar 4.6** menjelaskan tahapan pengolahan data geolistrik.



**Gambar 4.6** Diagram alir pengolahan data geolistrik

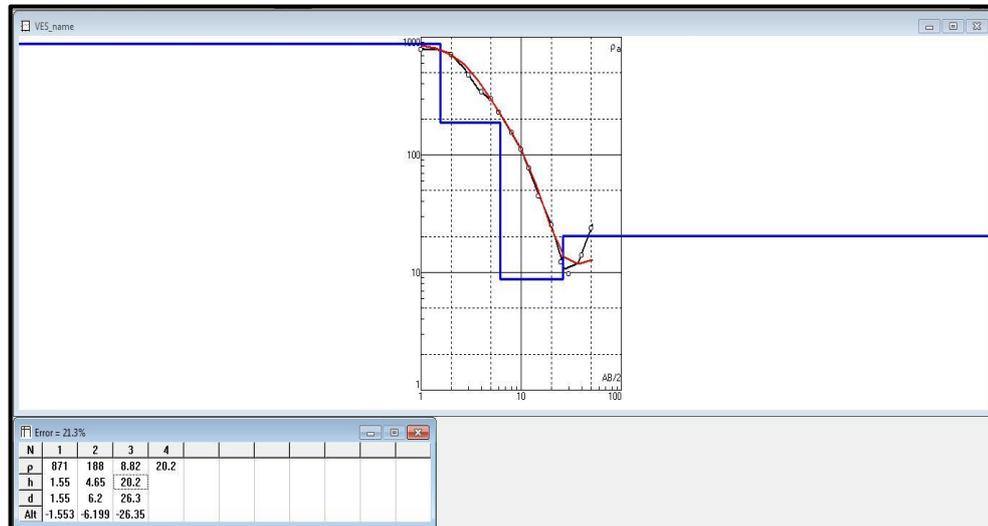
Pada penelitian ini data geolistrik memiliki tujuan untuk menggambarkan kondisi akuifer pada daerah penelitian. Tahapan dalam pengolahan data geolistrik yaitu :

1. Data awal yang akan diolah yaitu berupa data lapangan antara lain merupakan data nilai  $AB/2$ ,  $MN/2$  dan nilai  $\rho$ . Data tersebut kemudian dilakukan pengolahan inversi 1D.
2. Pada penelitian ini, metode inversi 1 D yang digunakan yaitu metode *curva matching*. Setelah dilakukan *curva matching* apabila eror yang didapatkan kurang lebih atau sama dengan 10% maka pengolahan dapat berlanjut, namun apabila eror lebih besar dari 10% maka dilakukan ulang proses *curva matching*.
3. Setelah dilakukan inversi 1D, maka akan diperoleh data berupa nilai kedalaman, ketebalan serta nilai resistivitas. Data tersebut kemudian dimodelkan menjadi profil bawah permukaan, peta kedalaman muka akuifer, peta ketebalan akuifer serta peta resistivitas akuifer.
4. Kemudian dilakukan interpretasi dari profil bawah permukaan, peta kedalaman muka akuifer, peta ketebalan akuifer serta peta resistivitas akuifer. Interpretasi yang dilakukan memiliki tujuan untuk mendapatkan gambaran akuifer serta kualitas air yang ditinjau dari nilai resistivitas. Selanjutnya dilakukan penarikan kesimpulan mengenai hasil interpretasi.

#### **b. Inversi 1D**

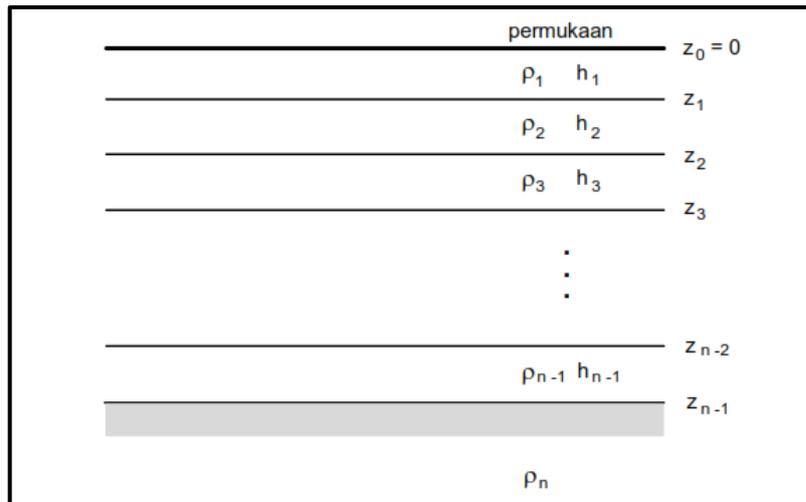
Dalam geofisika, model dan parameter model digunakan untuk mengkarakterisasi suatu kondisi geologi bawah permukaan berdasarkan besaran fisis. Pemodelan merupakan proses estimasi model dan parameter model berdasarkan data yang diamati di permukaan bumi. Terdapat dua jenis pemodelan yaitu pemodelan kedepan (*forward modelling*) dan pemodelan inversi (*inverse modelling*). Pemodelan kedepan menyatakan proses perhitungan “data” yang secara teoritis teramati di permukaan bumi jika diketahui nilai parameter model bawah permukaan tertentu. Pemodelan inversi sering dikatakan “kebalikan” dari pemodelan ke depan karena pemodelan inversi parameter model diperoleh langsung dari data. Pemodelan inversi sering pula disebut sebagai *data fitting*.

Karena dalam prosesnya dicari parameter model yang menghasilkan respon yang *fit* dengan data pengamatan.



**Gambar 4.7.** Contoh pencocokan kurva pada software IPI2WIN

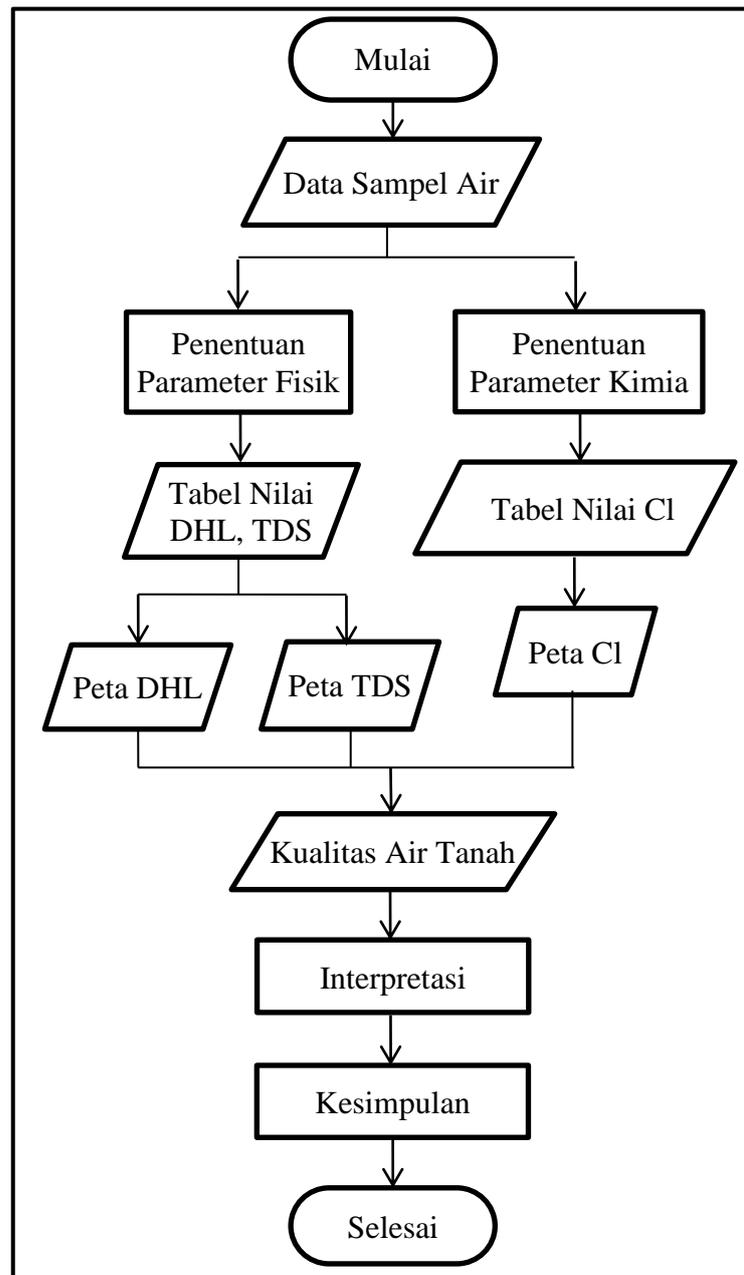
Pemodelan inversi merupakan fokus kebanyakan atau hampir semua bidang geofisika. Terdapat beberapa pemodelan terhadap data geolistrik, salah satunya yaitu pemodelan geolistrik 1D. Pada pemodelan geolistrik 1D model bumi dianggap berlapis horisontal sehingga nilai resistivitas hanya bervariasi terhadap nilai kedalaman. Pendekatan ini dianggap cukup memadai untuk kondisi geologi tertentu yaitu dilingkungan sedimen sampai kedalaman yang tidak terlalu besar. Salah satu metode yang digunakan dalam inversi 1D yaitu metode pencocokan kurva. Metode pencocokan kurva merupakan suatu metode pendekatan dalam interpretasi geolistrik. Prinsip dari metode ini adalah mencocokkan bagian-bagian dari kurva tahanan jenis semu hasil pengukuran lapangan dengan kurva tahanan jenis semu yang dihitung secara teoritis (**Gambar 4.7**). Tipe kurva lapangan yang diperoleh sangat bergantung pada susunan peralihan batuan bawah permukaan. Dari pencocokan kurva tersebut maka dapat diperkirakan nilai tahanan jenis dan ketebalan lapisannya (**Gambar 4.8**).



**Gambar 4.8.** Contoh model resistivitas 1D (Grandis, 2009)

### 5.3.3. Pengolahan Data Kualitas Air Tanah

Pada penelitian ini selain dilakukan pengolahan data gravitasi dan geolistrik juga dilakukan pengolahan data sampel air untuk mengetahui kualitas air tanah di daerah penelitian. Untuk menentukan kualitas air terdapat tiga parameter yaitu parameter fisik, kimia dan biologi. Pada penelitian ini, parameter yang digunakan yaitu parameter kimia dan fisik yang berupa data DHL, TDS dan kandungan Cl<sup>-</sup>. Pada **Gambar 4.9** berikut ini merupakan tahapan pengolahan data sampel air tanah.



**Gambar 4.9** Diagram alir pengolahan data air tanah

Pada penelitian ini, dilakukan uji sampel air untuk menentukan kualitas air tanah yang berada didaerah penelitian. Tahapan pengolahan data sampel air yaitu:

1. Data sampel air dipilah berdasarkan parameter sifat fisika, kimia dan biologi air tanah.
2. Kemudian dari data tersebut diambil beberapa parameter yang dapat digunakan sebagai parameter penentuan kualitas air tanah. Pada penelitian ini parameter yang digunakan yaitu nilai daya hantar listrik (DHL), nilai *total dissolve solute* (TDS) dan nilai kandungan Klorida (Cl<sup>-</sup>)
3. Kemudian dari data DHL, TDS dan Cl<sup>-</sup> dilakukan pemodelan 2D, untuk didapatkan peta persebaran nilai DHL, TDS serta kandungan Cl<sup>-</sup>. Dari peta tersebut kemudian dilakukan interpretasi kualitas air tanah daerah penelitian. Setelah dilakukan interpretasi kemudian ditarik kesimpulan mengenai kualitas air tanah.

#### **4.4. Interpretasi dan Analisis**

##### **4.4.1. Interpretasi Gravitasi**

Interpretasi gravitasi dilakukan dengan tujuan untuk mencari cekungan pada daerah penelitian. Interpretasi data gravitasi dilakukan setelah proses pembuatan peta ABL dan *filtering* selesai dilakukan. Interpretasi data gravitasi ini dilakukan dengan melihat nilai anomali gaya berat dari daerah penelitian. Setiap batuan memiliki nilai anomali gaya berat yang berbeda-beda, pada umumnya batuan yang kompak memiliki nilai anomali yang besar. Tujuan dari data gravitasi pada penelitian ini yaitu untuk mendapatkan gambaran cekungan dari anomali gaya berat. Menurut Widjiono (2007) anomali rendah yang melingkar mencerminkan adanya cekungan sedimen di daerah tersebut. Sehingga pada penelitian ini yang akan dicari yaitu adanya anomali rendah yang diduga merupakan cekungan. Selain menggunakan data gravitasi, identifikasi cekungan juga ditinjau dengan data penunjang yang berupa peta geologi dan peta topografi. Oleh karena itu, hasil interpretasi data gravitasi selain dari anomali berat juga ditinjau dari formasi batuan daerah penelitian. Untuk memperjelas batas-batas anomali serta untuk mengetahui keberadaan struktur pengontrol daerah penelitian, dilakukan dengan menggunakan analisa dari peta *Tilt Derivative*. Pada peta *Tilt*

*Derivative* struktur geologi akan memiliki fase nol. Sehingga daerah dengan fase nol tersebut diinterpretasikan sebagai daerah terdapatnya struktur geologi daerah penelitian.

#### 4.4.2. Interpretasi Geolistrik

Interpretasi geolistrik dilakukan setelah selesai proses inversi 1D. Tahapan awal dari interpretasi geolistrik yaitu melakukan interpretasi dari hasil *curve matching*. Interpretasi kurva mengacu pada tabel nilai resistivitas yang telah dibuat oleh Santosa (2017). Pada **Tabel 4.1** berisi mengenai nilai resistivitas batuan di daerah Yogyakarta. Pada tabel tersebut tertulis bahwa setiap batuan memiliki rentang nilai resistivitas masing-masing. Setelah dilakukan interpretasi nilai resistivitas kemudian digambarkan menjadi profil bawah permukaan.

**Tabel 4.1.** Tabel nilai resistivitas batuan (Santoso, 2017)

Nama batuan	Nilai Resistivitas ( $\Omega m$ )
Batulempung	<10
Lempung pasiran	10-15
Pasir lempungan	15-20
Batupasir pembawa air	20-50
Gamping pasiran	50-100
Batugamping	100-500
Batugamping kompak	500-1000
Breksi gunung api	1000-2000
Andesit	>2000

#### 4.4.3. Analisis Kualitas Air Tanah

Analisis kualitas air tanah pada penelitian ini mencakup analisis nilai daya hantar listrik (DHL), *total dissolved solid* (TDS) dan kandungan klorida (Cl<sup>-</sup>). Dari data parameter kualitas air tersebut dilakukan pengelompokan jenis air tanahnya. Pada penelitian ini analisis nilai DHL mengacu pada tabel klasifikasi air tanah yang dibuat oleh Kodoatie (2005) pada **Tabel 4.2**. Analisis nilai TDS mengacu pada tabel klasifikasi air tanah menurut Todd (1980) pada **Tabel 4.3** dan analisis Cl<sup>-</sup> mengacu pada tabel Kodoatie (1996) pada **Tabel 4.4**. Nilai DHL, TDS dan Cl<sup>-</sup> berbanding lurus dengan semakin buruknya kualitas air. Semakin tinggi nilai DHL maka akan semakin buruk (asin) air tersebut, dikarenakan semakin banyak kandungan garam dalam air maka akan semakin mudah air menghantarkan arus listrik. Begitu pula dengan nilai TDS, semakin besar nilai

TDS maka akan semakin asin air tersebut, dikarenakan semakin banyak zat padat terlarut misalnya garam mineral dan juga klorida yang terlarut dalam air.

**Tabel 4.2.** Klasifikasi air tanah berdasarkan DHL (Kodoatie,2005)

No	DHL (mikro Mhos/cm)	Jenis Air
1	0-1000	Air tawar
2	1000-2000	Air payau
3	2000-10.000	Air asin
4	>10.000	Sangat asin

**Tabel 4.3.** Klasifikasi air tanah berdasarkan TDS (Todd,1980)

No	TDS (mg/l)	Jenis Air
1	<1000	Air tawar
2	1000-10.000	Air payau
3	>10.000-35.000	Air asin
4	>35.000	<i>Brine</i>

**Tabel 4.4.** Kualitas air tanah berdasarkan Konsentrasi Cl<sup>-</sup> (Kodoatie,1996)

No	Cl <sup>-</sup> (mikro Mhos/cm)	Jenis Air
1	≤ 200	Air bersih-minum ( <i>fresh</i> )
2	200-500	Air bersih-payau ( <i>fresh-brackish</i> )
3	500-1000	Air payau ( <i>brackish</i> )
4	1000-10.000	Air payau-garam ( <i>brackish-salt</i> )
5	10.000-2 x 10 <sup>4</sup>	Air garam ( <i>salt</i> )
6	≥ 2 x 10 <sup>4</sup>	Air kadar garam tinggi ( <i>hypersaline</i> )

#### 4.4.4. Pembuatan Peta Sebaran Air Tanah

Pada penelitian setelah diketahui keberadaan akuifer kemudian dibuat peta sebaran akuifer tersebut. Peta sebaran akuifer berupa peta sebaran kedalaman dan ketebalan, peta resistivitas dan peta kualitas air tanah. Berikut merupakan penjelasan dari masing-masing peta:

##### a. Peta Sebaran Kedalaman dan Ketebalan

Peta sebaran kedalaman dan ketebalan akuifer daerah penelitian dibuat berdasarkan hasil interpretasi 6 titik geolistrik. Pada interpretasi geolistrik didapatkan profil bawah permukaan yang mencakup data kedalaman serta ketebalan akuifer. Dari data kedalaman dan ketebalan akuifer, kemudian dibuat peta sebarannya dengan menggunakan *software Surfer11*.

##### b. Peta Resistivitas

Peta resistivitas merupakan peta yang menggambarkan nilai resistivitas akuifer daerah penelitian. Peta ini dibuat berdasarkan data nilai resistivitas hasil dari interpretasi geolistrik. Dari nilai resistivitas akuifer, kemudian dibuat peta

persebarannya menggunakan *software Surfer11*. Peta resistivitas akuifer ini dibuat untuk mengetahui gambaran sebaran nilai resistivitas dari akuifer di daerah penelitian. Dari besar kecilnya nilai resistivitas akuifer dapat diketahui jenis air yang berada dalam suatu akuifer. Semakin kecil nilai resistivitas, jenis air akan berubah menjadi asin. Menurut Telford et al (1990), semakin banyak batuan mengandung air garam, maka nilai resistivitas batuan tersebut akan semakin kecil.

#### **c. Peta Kualitas Air Tanah**

Peta kualitas air tanah merupakan gambaran kualitas air tanah daerah penelitian. Pada penelitian ini parameter kualitas yang digunakan yaitu nilai DHL, TDS dan Klorida. Masing-masing nilai tersebut kemudian digambarkan pada peta. Pembuatan peta kualitas air ini menggunakan data koordinat titik pengambilan sampel air (X, Y) dan data nilai parameter kualitas air. Pembuatan peta dilakukan menggunakan *software Surfer11*. Dari nilai DHL, TDS dan Klorida dapat diketahui jenis air yang terdapat pada akuifer.

#### **d. Peta Zonasi Kualitas Air Tanah**

Peta zonasi kualitas air tanah merupakan pembagian wilayah di daerah penelitian. Peta zonasi ini membagi wilayah Gilangharjo menjadi beberapa zona berdasarkan kualitasnya. Kualitas air yang digunakan yaitu dengan parameter nilai DHL, TDS, kandungan Klorida serta nilai resistivitas air. Dari nilai-nilai tersebut dioverlay satu dengan lainnya untuk didapatkan zona dengan kualitas yang berbeda-beda.

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

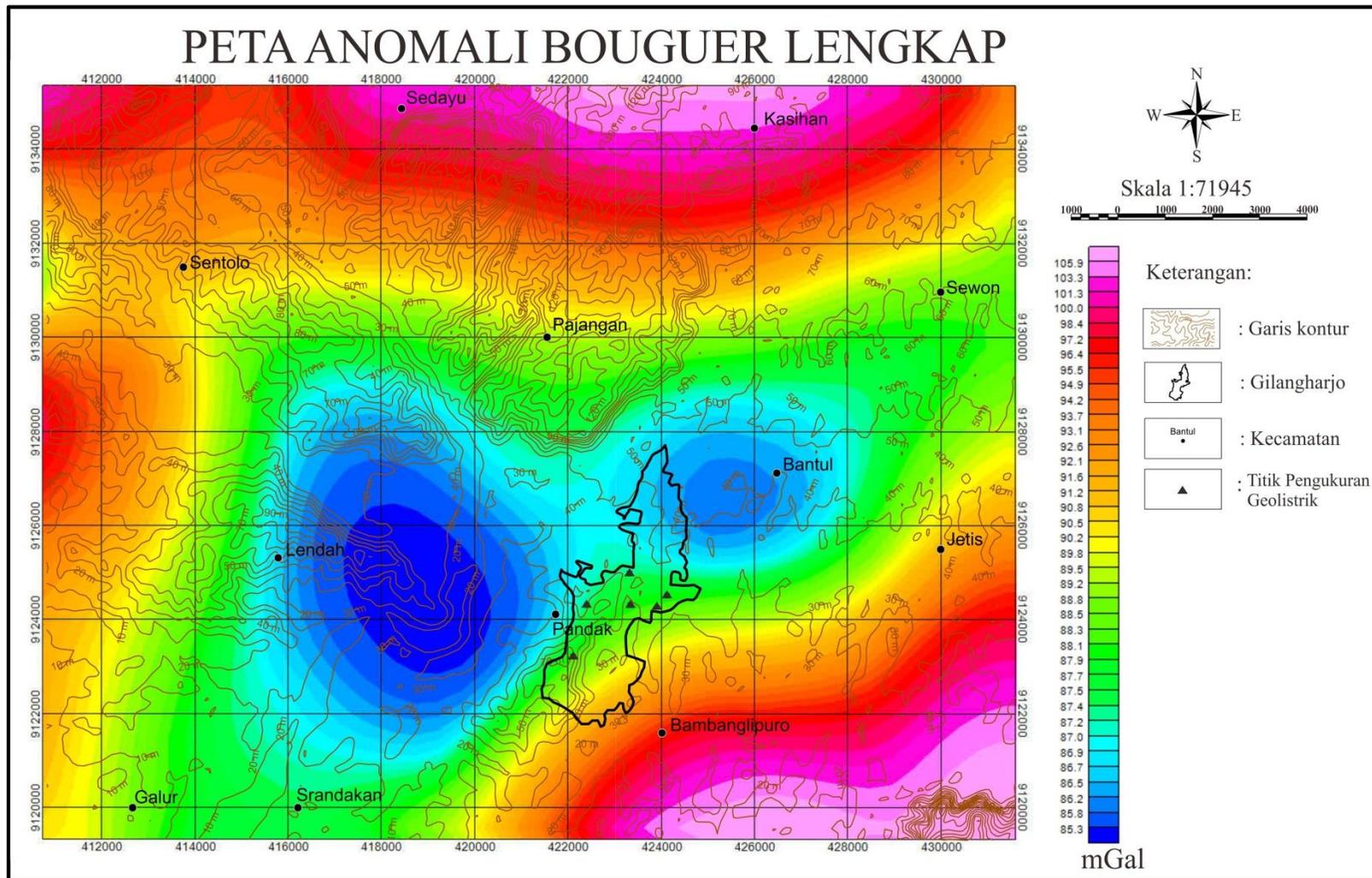
#### 5.1. Analisis Cekungan Air Tanah

##### 5.1.1 Peta Anomali *Bouguer* Lengkap

Analisa mengenai keberadaan cekungan air tanah di daerah penelitian dilakukan dengan menganalisa data gravitasi. Hasil awal dari pengolahan gravitasi yaitu peta anomali *bouguer*. Peta anomali *bouguer* merupakan cerminan dari refleksi anomali lokal dan regional. Selain menunjukkan nilai anomali *bouguer* pada peta anomali *bouguer* lengkap juga menunjukkan gambaran topografi sebagai penunjang dalam interpretasi.

**Gambar 5.1** menunjukkan persebaran nilai anomali *bouguer* daerah penelitian. Nilai anomali *bouguer* daerah penelitian memiliki rentang 85,3-105,9 mGal. Nilai tersebut dikelompokkan menjadi 3 yaitu nilai rendah, nilai sedang dan nilai tinggi. Nilai anomali rendah berkisar antara 85,6 hingga 87,5 mGal yang berada pada bagian tengah daerah penelitian yang relatif berarah Timurlaut-Baratdaya. Nilai anomali sedang berkisar antara 87,5 hingga 94,2 mGal yang berada disekitar anomali rendah, berarah Timurlaut-Baratdaya. Anomali tinggi berkisar antara 94,2 hingga 105,9 mGal, yang terletak ditepian daerah penelitian.

Dari peta ABL pada **Gambar 5.1** interpretasi awal yang tergambar yaitu cekungan air tanah berada pada bagian tengah dari daerah penelitian yang ditandai dengan nilai anomali rendah. Selain itu, anomali rendah juga diduga merupakan endapan permukaan batuan sedimen Kuartar. Nilai anomali sedang diduga merupakan wilayah transisi antara cekungan dan tinggian. Nilai anomali tinggi diduga merupakan batuan dasar yang telah mengalami pengangkatan. Nilai anomali tinggi yang berada dibagian Utara daerah penelitian juga memiliki nilai topografi yang tinggi yang menunjukkan bahwa tinggian topografi tersebut diakibatkan oleh adanya pengangkatan batuan dasar.

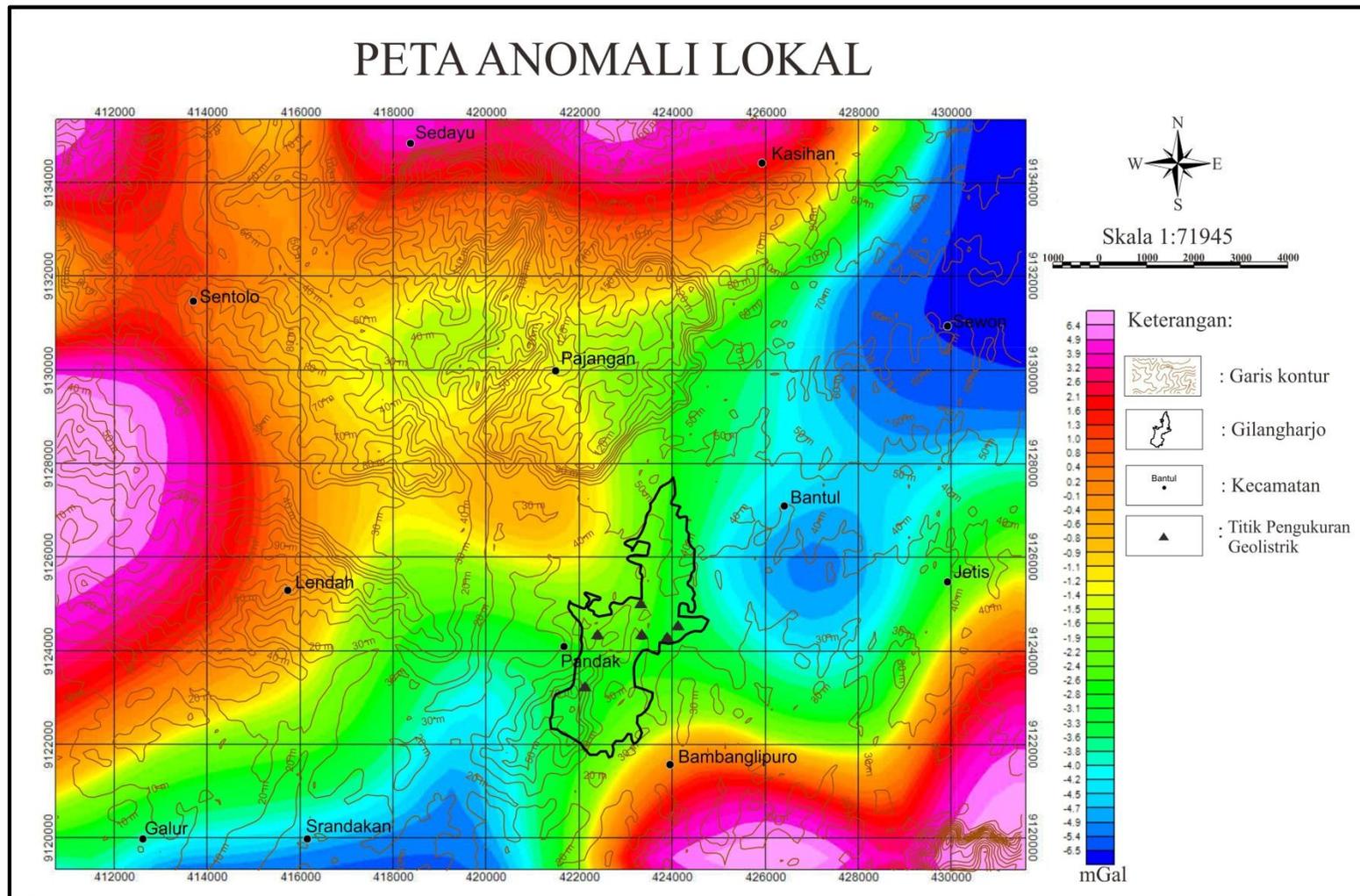


**Gambar 5.1** Peta Anomali *Bouguer* Lengkap

### 5.1.2 Peta Anomali Lokal

Hasil dari peta anomali *bouguer* lengkap merupakan interpretasi awal yang masih berupa interpretasi secara umum. Oleh karena itu, untuk didapatkan anomai secara lokal dan sesuai dengan target penelitian maka dilakukan pengolahan lebih lanjut. Pengolahan untuk mendapatkan nilai anomali lokal yaitu *filtering*, pada penelitian ini *filter* yang digunakan yaitu *butterworth filter*. Dari hasil proses *filtering* tersebut didapatkan peta anomali regional dan lokal. Peta anomali lokal menggambarkan keberadaan anomali yang lebih dangkal. Pada penelitian ini digunakan peta anomali lokal karena pada penelitian ini, fokus dari metode gravitasi yaitu cekungan air tanah.

Pada **Gambar 5.2** menunjukkan peta anomali lokal yang dioverlay dengan data topografi. Peta anomali lokal memiliki kisaran nilai -6,5 hingga 6,4 mGal. Nilai anomali tersebut dikelompokkan menjadi tiga kelompok anomali. Kelompok anomali rendah ditunjukkan dengan warna biru tua hingga biru muda yang bernilai -6,5 hingga -3,8 mGal. Nilai anomali rendah tergambar relatif berarah Timurlaut-Baratdaya yang berada di sebelah Utara dan Selatan dari daerah penelitian. Anomali rendah ini merupakan batuan dengan kontras rapat massa yang rendah, yang diduga merupakan cekungan yang berada pada Cekungan Air Tanah Yogyakarta. Anomali sedang ditunjukkan dengan warna hijau yang bernilai -3,8 hingga -1,4 mGal. Kelompok anomali tinggi ditunjukkan dengan warna kuning, merah dan merah muda yang bernilai -1,4 hingga 6,4 mGal. Nilai anomali tinggi berada di sebelah Tenggara dan Baratlaut dari daerah penelitian. Nilai anomali tinggi ini menunjukkan adanya batuan dengan kontras rapat massa yang tinggi. Nilai anomali tinggi ini diinterpretasikan sebagai tinggian yang membatasi cekungan yang terlihat pula pada topografi, pada anomali tinggi berada pada topografi yang rapat.

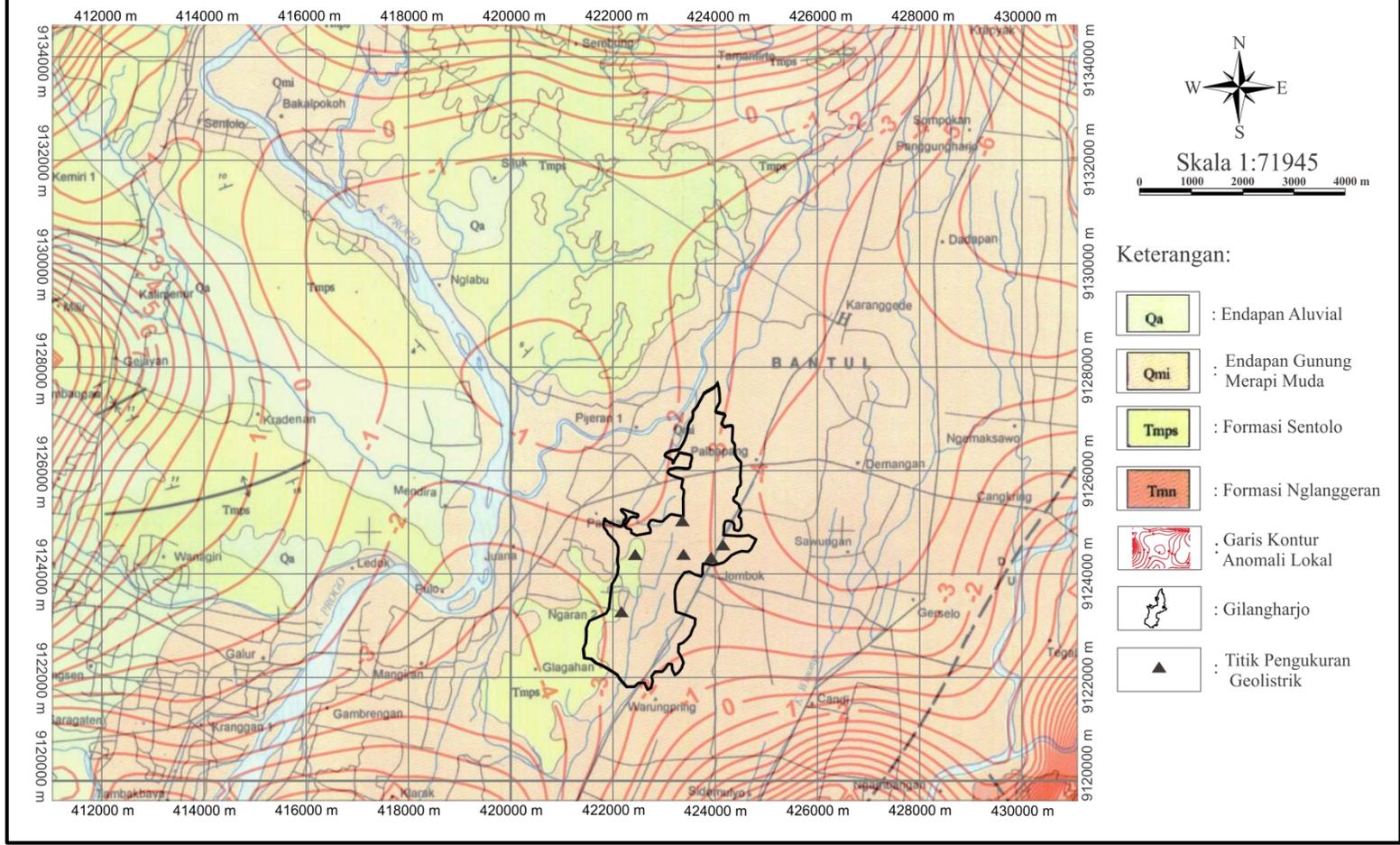


**Gambar 5.2** Peta Anomali Lokal

**Gambar 5.3** merupakan gambar dari peta geologi yang dioverlay dengan nilai anomali lokal daerah penelitian. Nilai anomali lokal digambarkan dengan garis kontur anomali. Peta geologi digunakan untuk mempermudah interpretasi dari anomali gaya berat yang tergambar pada anomali lokal. Daerah penelitian dari peta geologi nampak formasi batuan daerah penelitian yang nampak dipermukaan yaitu Endapan Merapi Muda, Endapan Alluvial, Formasi Sentolo dan Formasi Nglanggran.

Kelompok anomali rendah yang tergambar dengan kontur anomali dengan nilai -3 hingga -6 pada daerah penelitian diinterpretasikan sebagai cekungan. Cekungan tersebut terisi oleh batuan sedimen permukaan yang termasuk kedalam Endapan Merapi Muda dan Endapan Alluvial. Batuan sedimen permukaan tersebut memiliki nilai porositas dan permeabilitas yang besar sehingga menjadi tempat terakumulainya air. Nilai anomali sedang tergambar garis kontur bernilai -2 hingga 1 diinterpretasikan merupakan batuan sedimen yang diduga merupakan batugamping. Batugamping tersebut merupakan batuan yang mendasari Cekungan Air Tanah Yogyakarta. Pada daerah Pandak, terdapat nilai anomali sedang yang memisahkan nilai anomali rendah, interpretasi awal menduga bahwa daerah Pandak dulunya merupakan sebuah tinggian yang membatasi dua cekungan. Sedangkan kelompok anomali tinggi yang tergambar dengan kontur bernilai 2 hingga 6 merupakan batuan yang telah mengalami pengangkatan. Anomali yang berada di bagian Tenggara daerah penelitian diinterpretasikan sebagai batuan dari Formasi Nglanggeran. Sedangkan nilai anomali tinggi yang berada pada Baratdaya daerah penelitian di duga merupakan batuan dari Formasi Sentolo. Nilai anomali tinggi dari daerah penelitian yang berada disebelah Timur tersebut merupakan tinggian Pengunungan Selatan dan yang disebelah Barat merupakan tinggian Kulonprogo. Kedua tinggian tersebut dulunya merupakan lingkungan *marine* yang telah mengalami pendangkalan dan pengangkatan.

# OVERLAY PETA GEOLOGI DAN ANOMALI LOKAL



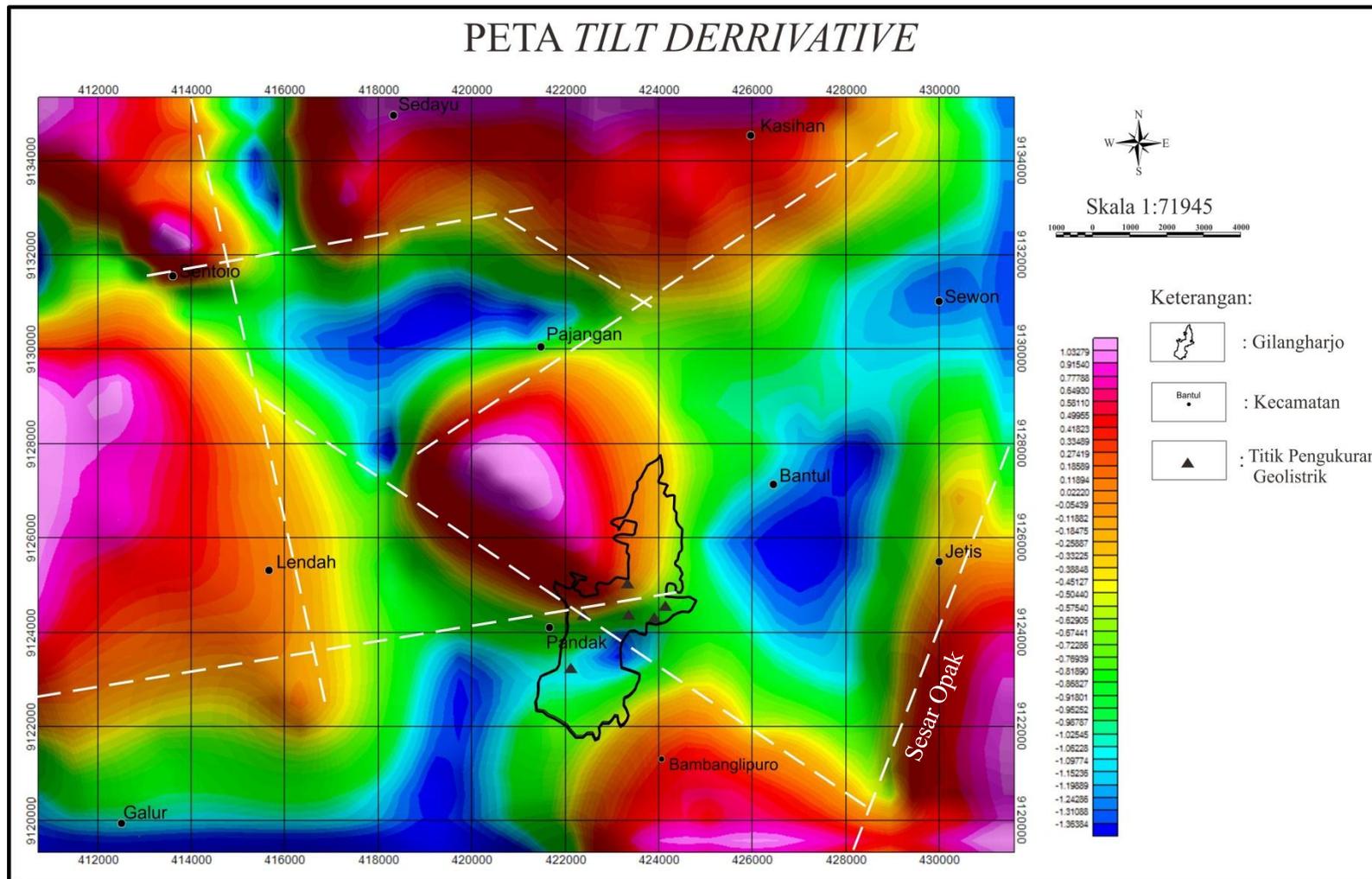
**Gambar 5.3** Peta anomali lokal *overlay* dengan peta geologi

### 5.1.3. Peta *Tilt Derivative*

Hasil dari peta anomali lokal telah mengidentifikasi mengenai gambaran cekungan air tanah. Namun untuk mengetahui mengenai anomali yang terdapat di daerah penelitian, maka dilakukan pengolahan lain yaitu *filter Tilt Derivative*. Filter ini berfungsi untuk memperjelas batas-batas anomali yang berada di daerah penelitian. Hasil dari pengolahan ini yaitu mendapatkan nilai fase dimana batas-batas anomali salahsatunya berupa struktur, berada pada fase nol.

Pada **Gambar 5.4** menunjukkan peta *Tilt Derivative*. Peta *Tilt Derivative* memiliki kisaran nilai anomali -1,386384 hingga 1,03279. Fase positif tergambarkan dengan warna jingga hingga merah muda. Sedangkan fase negatif tergambarkan dengan warna kuning hingga biru tua. Pada peta *Tilt Derivative* ini adanya struktur diidentifikasi tergambarkan dengan fase nol. Dari **Gambar 5.4** fase nol ditunjukkan dengan warna jingga. Garis putus-putus berwarna putih pada **Gambar 5.4** diduga sebagai struktur pada daerah penelitian. Struktur yang diidentifikasi secara umum berarah Barat daya – Timur laut dan Barat laut – Tenggara. Berdasarkan peta geologi menurut Rahadrjo dkk (1995) salah satu sesar yang diinterpretasikan dari hasil *tilt derivative* pada daerah penelitian merupakan Sesar Opak. Menurut Prasetyadi dkk (2011) sesar ini merupakan Sesar Opak-Kretek yang berarah Timur laut – Barat daya. Sesar ini mengikuti kelurusan Sungai Opak hingga ke Samudra Hindia. Sesar Opak-Kretek ini memotong satuan batuan Formasi Semilir dan Formasi Nglangeran. Sesar ini merupakan sesar mendatar yang telah mengalami perkembangan dan berubah menjadi sesar turun. Selain Sesar Opak, sesar lain yang teridentifikasi dari *tilt derivative* ini diduga merupakan sesar-sesar yang berkembang karena aktivitas tektonik yang terjadi.

Terlihat pada **Gambar 5.4** bahwa daerah Gilangharjo, terdapat titik pengukuran Geolistrik yang berada diantara perpotongan 2 sesar. Hal ini diindikasikan bahwa terdapat keterkaitan antara struktur sesar tersebut terhadap akuifer yang berada di daerah Gilangharjo. Adanya struktur yang berada disekitar titik geolistrik tersebut akan dianalisa lebih lanjut dengan melihat hasil dari data geolistrik serta kualitas air tanah.



**Gambar 5.4** *Peta Tilt Derivative*

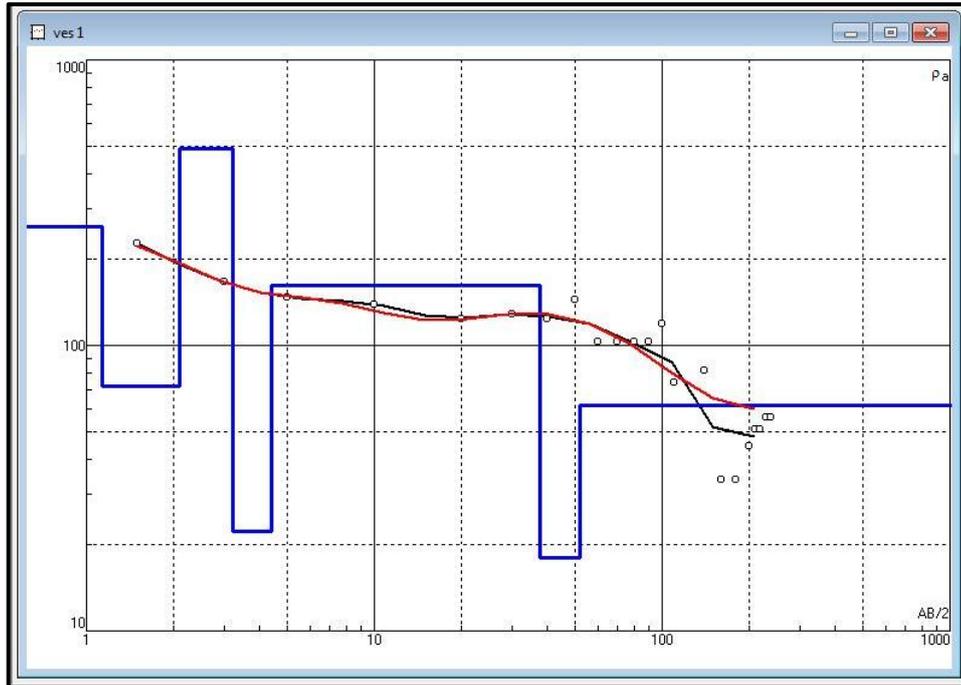
## 5.2. Analisis Akuifer

### 5.2.1 Analisis Grafik dan Profil 1D Geolistrik

Analisis grafik dan profil 1D dari data geolistrik dilakukan untuk menganalisa keberadaan akuifer di daerah penelitian. Grafik didapatkan dari hasil pengolahan data lapangan, yang telah diolah dengan mencocokkan kurva (*curve matching*). Dari pencocokan kurva didapatkan nilai resistivitas, kedalaman dan ketebalan. Data tersebut kemudian diinterpretasikan untuk mendapatkan litologi penyusun daerah penelitian serta keberadaan akuifer. Pada penelitian ini interpretasi nilai resistivitas menjadi litologi batuan berdasarkan tabel resistivitas menurut Santosa (2017).

#### 5.2.1.1 Titik VES 1

Hasil pencocokan kurva dari data lapangan pada titik 1 (**Gambar 5.5**) ini didapatkan batuan yang berada di daerah penelitian memiliki rentang nilai resistivitas 8 hingga 489  $\Omega\text{m}$ . Nilai resistivitas tersebut diinterpretasikan menjadi 6 lapisan batuan dengan kedalaman hingga 51.8m dari permukaan ditunjukkan pada **Tabel 5.1**. Lapisan pertama yaitu batugamping yang memiliki nilai resistivitas 261  $\Omega\text{m}$  dan ketebalan 1,13m. Lapisan kedua yaitu batugamping pasir dengan nilai resistivitas 72  $\Omega\text{m}$  dan memiliki ketebalan 0,972m. Lapisan ketiga yaitu lapisan batugamping dengan resistivitas 489 $\Omega\text{m}$  dengan ketebalan 1,12m. Lapisan keempat diinterpretasikan sebagai akuifer yang memiliki nilai resistivitas 22.3  $\Omega\text{m}$  dan ketebalan 1,17m. Lapisan kelima diinterpretasikan sebagai lapisan batugamping dengan nilai resistivitas 162  $\Omega\text{m}$  dan memiliki ketebalan 33.2m. Lapisan keenam diinterpretasikan sebagai akuifer dengan nilai resistivitas 18  $\Omega\text{m}$  dan ketebalan 14,2m.

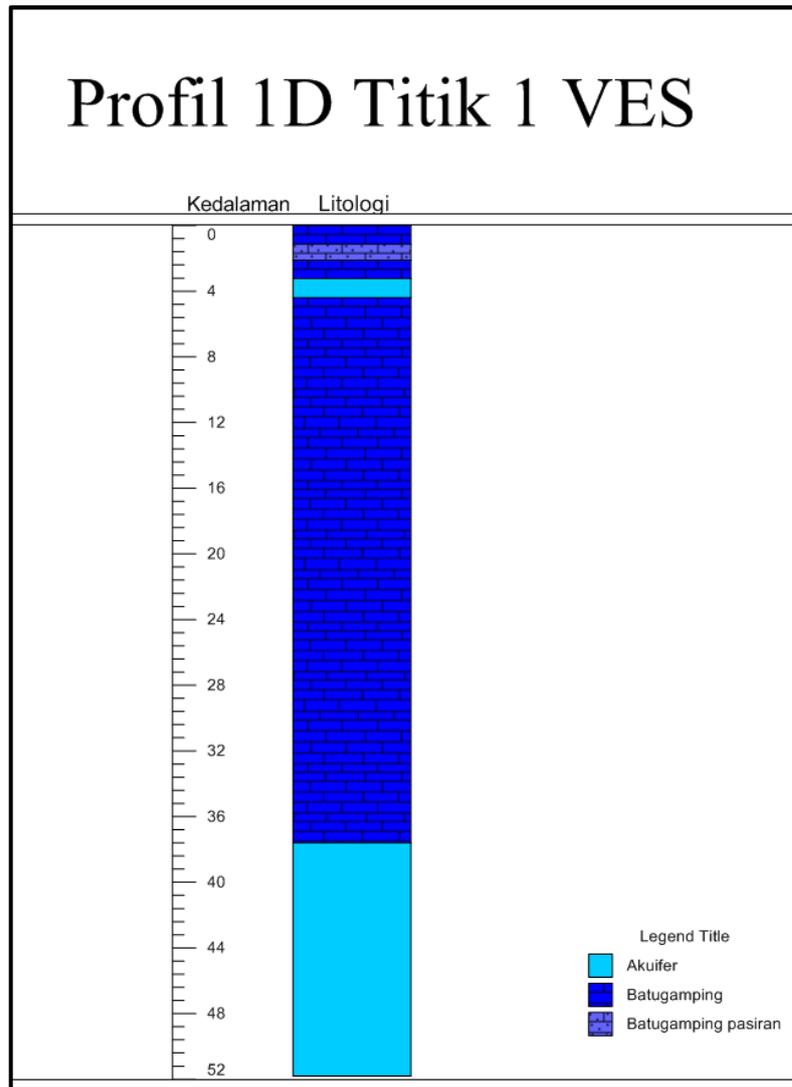


**Gambar 5.5** Hasil pencocokan kurva titik VES 1

**Tabel 5.1** Interpretasi titik VES 1

Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Interpretasi litologi
0-1.13	1.130	261	Batugamping
1.13-2.11	0.972	72	Batugamping pasiran
2.11-3.22	1.12	489	Batugamping
3.22-4.39	1.17	22.3	Akuifer
4.39-37.6	33.2	162	Batugamping
37.6-51.8	14.2	18	Akuifer

Dari hasil pencocokan kurva tersebut kemudian dimodelkan menjadi profil 1D yang tergambar pada **Gambar 5.6**. Pada titik VES1 ini diidentifikasi terdapat 2 akuifer, akuifer dangkal dengan kedalaman 3,22 hingga 4,39m dan akuifer dalam dengan kedalaman 37,6 hingga 51,8m. Akuifer dangkal dan dalam pada titik ini berada di antara lapisan batugamping. Batugamping pada titik ini berdasarkan peta geologi lokal merupakan bagian dari Formasi Sentolo.

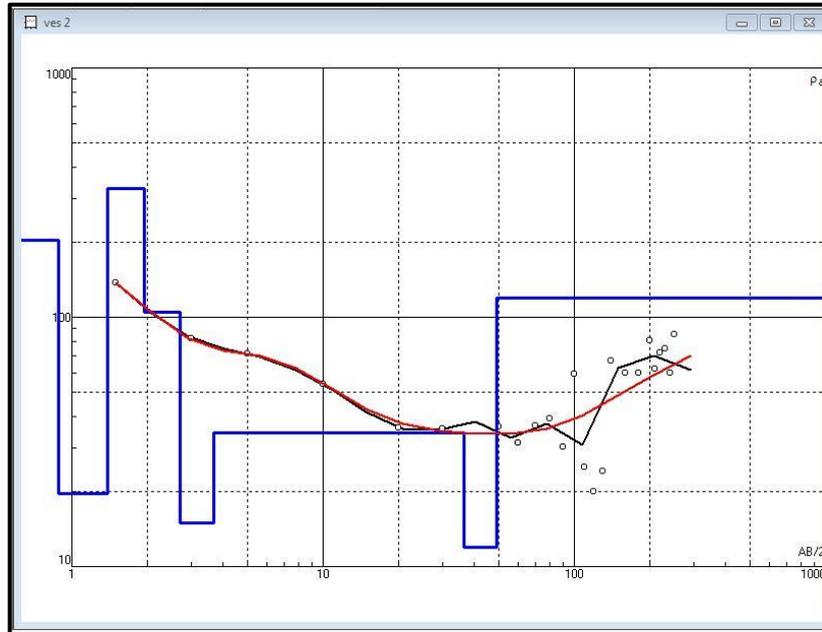


**Gambar 5.6** Profil 1D titik VES 1

### 5.2.1.2 Titik VES 2

Hasil pencocokan kurva dari data lapangan pada titik 2 (**Gambar 5.7**) ini didapatkan batuan yang berada didaerah penelitian memiliki rentang nilai resistivitas 11,9 hingga 328  $\Omega$ m. Nilai resistivitas tersebut diinterpretasikan menjadi 6 lapisan batuan dengan kedalaman hingga 49,1m dari permukaan ditunjukkan pada **Tabel 5.2**. Lapisan pertama yaitu batugamping yang memiliki nilai resistivitas 204  $\Omega$ m dan ketebalan 0,885m. Lapisan kedua yaitu akuifer dengan nilai resistivitas 19,6  $\Omega$ m dan memiliki ketebalan 0,502m. Lapisan ketiga yaitu lapisan batugamping dengan dua nilai resistivitas yaitu 328 $\Omega$ m dengan ketebalan 0,556m dan nilai resistivitas 105  $\Omega$ m dengan ketebalan 0,753m. Lapisan

keempat diinterpretasikan sebagai batupasir lempungan yang memiliki nilai resistivitas 15  $\Omega\text{m}$  dan ketebalan 1,17m. Lapisan kelima diinterpretasikan sebagai lapisan batugamping pasiran dengan nilai resistivitas 34,4  $\Omega\text{m}$  dan memiliki ketebalan 32,7m. Lapisan keenam diinterpretasikan sebagai akuifer dengan nilai resistivitas 11,9  $\Omega\text{m}$  dan ketebalan 12,7m.

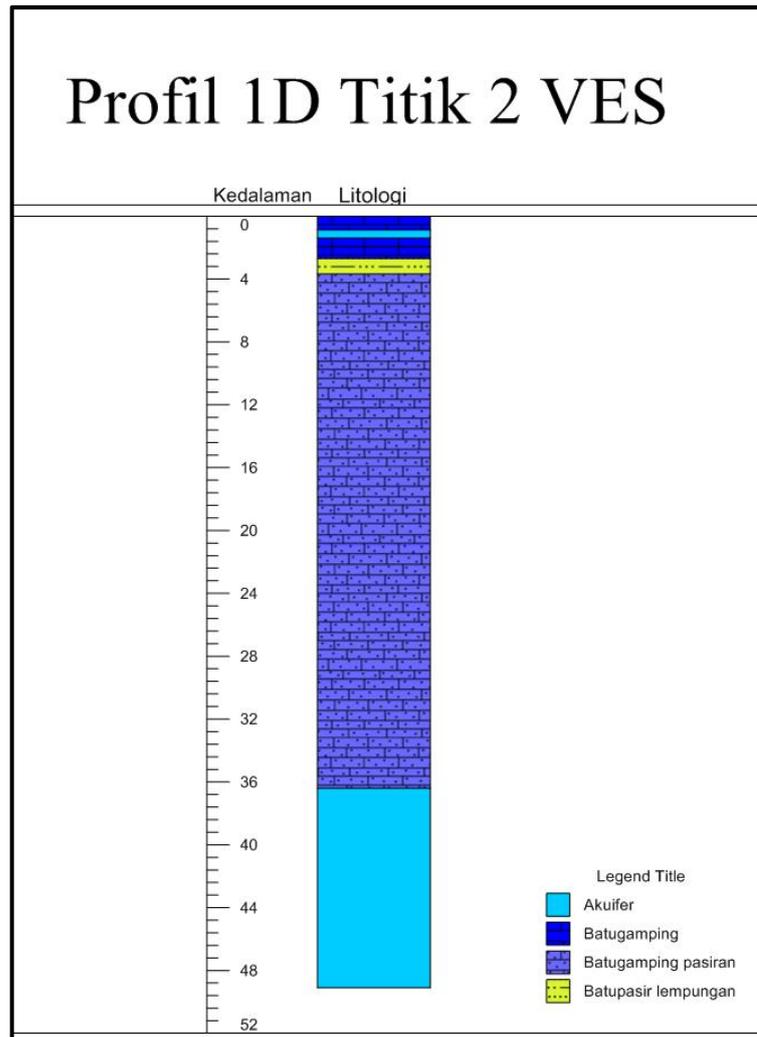


**Gambar 5.7** Hasil pencocokan kurva titik VES 2

**Tabel 5.2** Interpretasi titik VES 2

Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Interpretasi litologi
0-0.885	0.885	204	Batugamping
0.885-1.39	0.502	19.6	Akuifer
1.39-1.94	0.556	328	Batugamping
1.94-2.7	0.753	105	Batugamping
2.7-3.67	0.976	15	Batupasir lempungan
3.67-36.4	32.7	34.4	Batugamping pasiran
36.4-49.1	12.7	11.9	Akuifer

Dari hasil pencocokan kurva tersebut kemudian dimodelkan menjadi profil 1D yang tergambar pada **gambar 5.8**. Pada titik VES 2 ini diidentifikasi terdapat 2 akuifer, akuifer dangkal dengan kedalaman 0,885 hingga 1,39 m dan akuifer dalam dengan kedalaman 36,4 hingga 49,1 m. Akuifer dangkal pada titik ini berada di antara lapisan batugamping. Batugamping pada titik ini berdasarkan peta geologi lokal merupakan bagian dari Formasi Sentolo. Sedangkan akuifer dalam, berada dibawah batugamping pasiran. Pada titik ini, ditemukan sisipan batupasir lempungan yang tidak ditemukan pada titik VES 1.

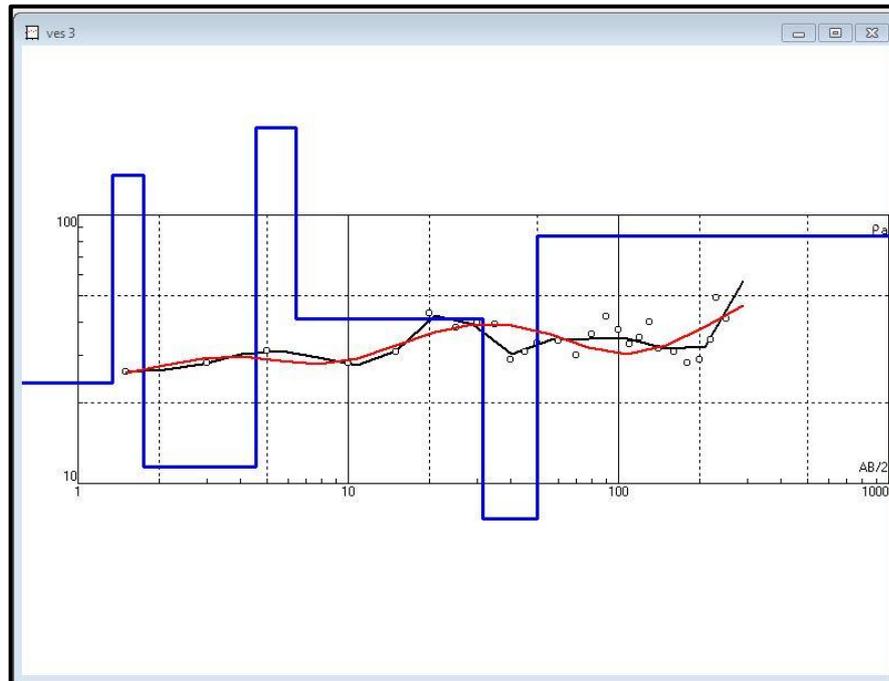


**Gambar 5.8** Profil 1D titik VES 2

### 5.2.1.3 Titik VES 3

Hasil pencocokan kurva dari data lapangan pada titik 3 (**Gambar 5.9**) ini didapatkan batuan yang berada didaerah penelitian memiliki rentang nilai resistivitas 7,38 hingga 211  $\Omega\text{m}$ . Nilai resistivitas tersebut diinterpretasikan menjadi 6 lapisan batuan dengan kedalaman hingga 50,1m dari permukaan ditunjukkan pada **Tabel 5.3**. Lapisan pertama yaitu batupasir lempungan yang memiliki nilai resistivitas 23,7  $\Omega\text{m}$  dan ketebalan 1,34 m. Lapisan kedua yaitu batugamping dengan nilai resistivitas 141  $\Omega\text{m}$  dan memiliki ketebalan 0,408m. Lapisan ketiga yaitu lapisan akuifer dengan nilai resistivitas yaitu 11,5  $\Omega\text{m}$  dengan ketebalan 2,81 m. Lapisan keempat diinterpretasikan sebagai batugamping yang memiliki nilai resistivitas 211  $\Omega\text{m}$  dan ketebalan 1,85m. Lapisan kelima

diinterpretasikan sebagai lapisan batugamping pasiran dengan nilai resistivitas 41  $\Omega\text{m}$  dan memiliki ketebalan 25,1 m. Lapisan keenam diinterpretasikan sebagai akuifer dengan nilai resistivitas 7,38  $\Omega\text{m}$  dan ketebalan 18,6m.

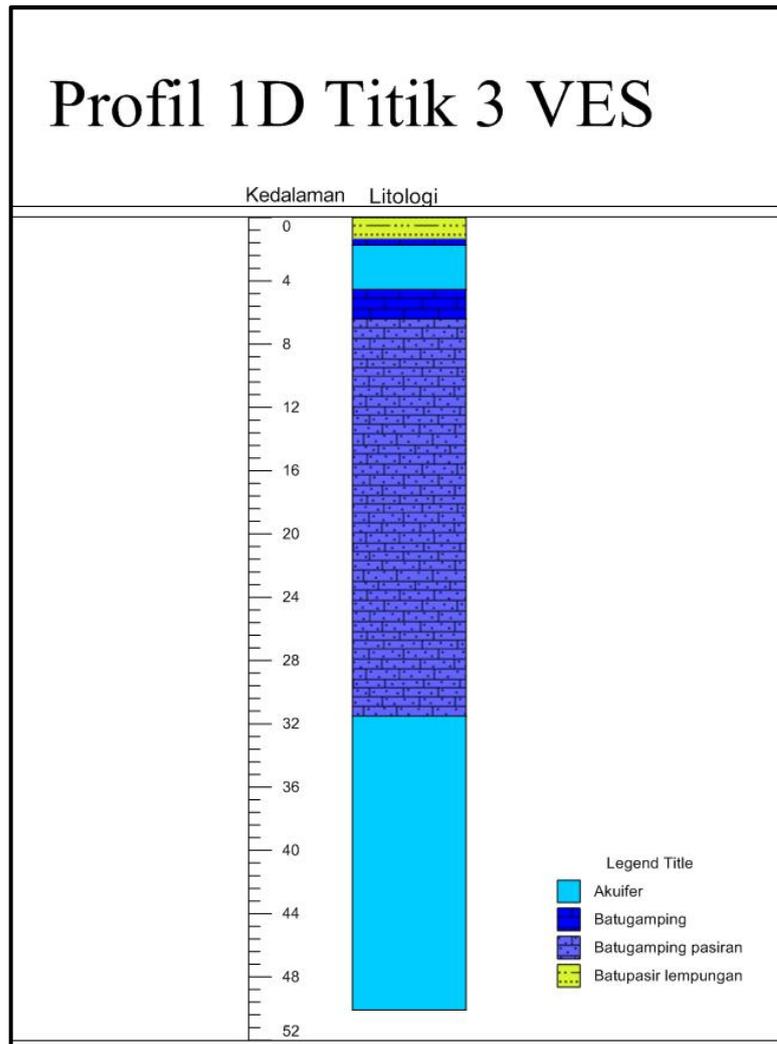


**Gambar 5.9** Hasil pencocokan kurva titik VES 3

**Tabel 5.3** Interpretasi titik VES 3

Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Interpretasi litologi
0-1.34	1.340	23.7	Batupasir lempungan
1.34-1.75	0.408	141	Batugamping
1.75-4.55	2.81	11.5	Akuifer
4.55-6.41	1.85	211	Batugamping
6.41-31.5	25.1	41	Batugamping pasiran
31.5-50.1	18.6	7.38	Akuifer

Dari hasil pencocokan kurva tersebut kemudian dimodelkan menjadi profil 1D yang tergambar pada **Gambar 5.10**. Pada titik VES 3 ini diidentifikasi terdapat 2 akuifer, akuifer dangkal dengan kedalaman 1,75 hingga 4,55 m dan akuifer dalam dengan kedalaman 31,5 hingga 50,1 m. Akuifer dangkal pada titik ini berada di antara lapisan batugamping. Batugamping pada titik ini berdasarkan peta geologi lokal merupakan bagian dari Formasi Sentolo. Sedangkan akuifer dalam, berada dibawah batugamping pasiran. Pada titik ini, ditemukan sisipan batupasir lempungan yang tidak ditemukan pada titik VES 1 namun ditemukan pada titik VES 2, diduga batupasir lempungan ini terendapkan secara melensa.

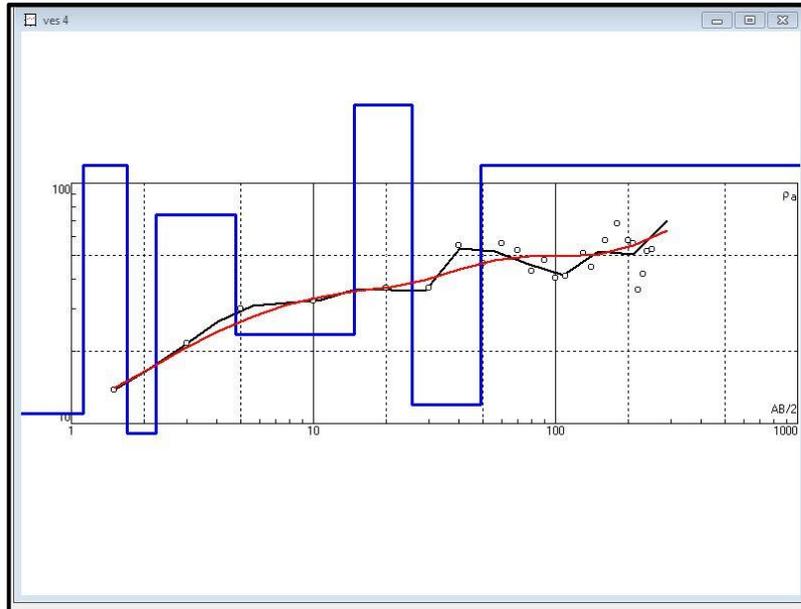


**Gambar 5.10** Profil 1D titik VES 3

#### 5.2.1.4 Titik VES 4

Hasil pencocokan kurva dari data lapangan pada titik 4 (**Gambar 5.11**) ini didapatkan batuan yang berada didaerah penelitian memiliki rentang nilai resistivitas 9,1 hingga 211  $\Omega$ m. Nilai resistivitas tersebut diinterpretasikan menjadi 7 lapisan batuan dengan kedalaman hingga 49,1m dari permukaan ditunjukkan pada **Tabel 5.4**. Lapisan pertama yaitu batulempung pasiran yang memiliki nilai resistivitas 11  $\Omega$ m dan ketebalan 1,12 m. Lapisan kedua yaitu batugamping dengan nilai resistivitas 119  $\Omega$ m dan memiliki ketebalan 0,578m. Lapisan ketiga yaitu lapisan akuifer dengan nilai resistivitas yaitu 9,1  $\Omega$ m dengan ketebalan 0,533 m. Lapisan keempat diinterpretasikan sebagai batugamping pasiran yang memiliki nilai resistivitas 73,8 $\Omega$ m dan ketebalan 2,53m. Lapisan

kelima diinterpretasikan sebagai lapisan batupasir lempungan dengan nilai resistivitas 23,5  $\Omega\text{m}$  dan memiliki ketebalan 9,98 m. Lapisan keenam diinterpretasikan sebagai batugamping dengan nilai resistivitas 211  $\Omega\text{m}$  dan ketebalan 10,8m. Lapisan ketujuh diinterpretasikan sebagai akuifer dengan nilai resistivitas 12  $\Omega\text{m}$  dan ketebalan 23,6m.



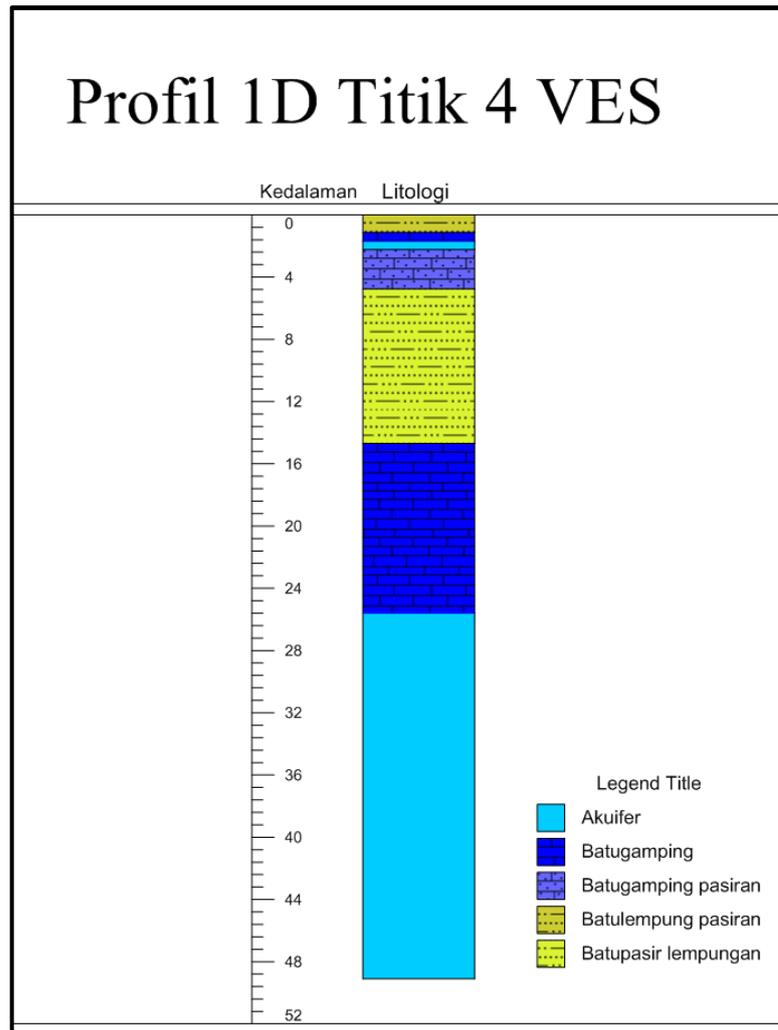
**Gambar 5.11** Hasil pencocokan kurva titik VES 4

**Tabel 5.4** Interpretasi titik VES 4

Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Interpretasi litologi
0-1.12	1.120	11	Batulempung pasiran
1.12-1.7	0.578	119	Batugamping
1.7-2.23	0.533	9.1	Akuifer
2.23-4.76	2.53	73.8	Batugamping pasiran
4.76-14.7	9.98	23.5	Batupasir lempungan
14.7-25.6	10.8	211	Batugamping
25.6-49.1	23.6	12	Akuifer

Dari hasil pencocokan kurva tersebut kemudian dimodelkan menjadi profil 1D yang tergambar pada **Gambar 5.12**. Pada titik VES 4 ini diidentifikasi terdapat 2 akuifer, akuifer dangkal dengan kedalaman 1,7 hingga 2,23 m dan akuifer dalam dengan kedalaman 25,6 hingga 49,1 m. Akuifer dangkal pada titik ini berada di antara lapisan batugamping dan batugamping pasiran. Batugamping pada titik ini berdasarkan peta geologi lokal merupakan bagian dari Formasi Sentolo. Sedangkan akuifer dalam, berada dibawah batugamping. Pada titik ini, ditemukan sisipan batupasir lempungan yang tidak ditemukan pada titik VES 1

namun ditemukan pada titik VES 2 dan VES 3 diduga batupasir lempungan ini terendapkan secara melensa.

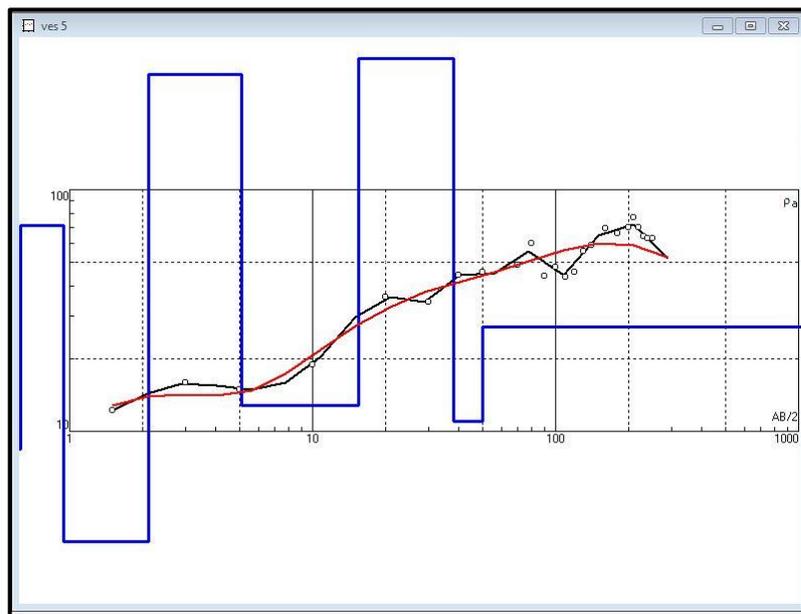


**Gambar 5.12** Profil 1D titik VES 4

### 5.2.1.5 Titik VES 5

Hasil pencocokan kurva dari data lapangan pada titik 5 (**Gambar 5.13**) ini didapatkan batuan yang berada didaerah penelitian memiliki rentang nilai resistivitas 3,49 hingga 349  $\Omega$ m. Nilai resistivitas tersebut diinterpretasikan menjadi 7 lapisan batuan dengan kedalaman hingga 50,1m dari permukaan ditunjukkan pada **Tabel 5.5**. Lapisan pertama yaitu batulempung yang memiliki nilai resistivitas 8,43  $\Omega$ m dan ketebalan 0,629 m. Lapisan kedua yaitu batugamping pasiran dengan nilai resistivitas 71,1  $\Omega$ m dan memiliki ketebalan 0,316m. Lapisan ketiga yaitu lapisan akuifer dengan nilai resistivitas yaitu 3,49

$\Omega\text{m}$  dengan ketebalan 1,17 m. Lapisan keempat diinterpretasikan sebagai batugamping yang memiliki nilai resistivitas 300  $\Omega\text{m}$  dan ketebalan 2,99 m. Lapisan kelima diinterpretasikan sebagai lapisan batupasir lempungan dengan nilai resistivitas 12,8  $\Omega\text{m}$  dan memiliki ketebalan 10,4 m. Lapisan keenam diinterpretasikan sebagai batugamping dengan nilai resistivitas 349  $\Omega\text{m}$  dan ketebalan 22,6m. Lapisan ketujuh diinterpretasikan sebagai akuifer dengan nilai resistivitas 11  $\Omega\text{m}$  dan ketebalan 12m.



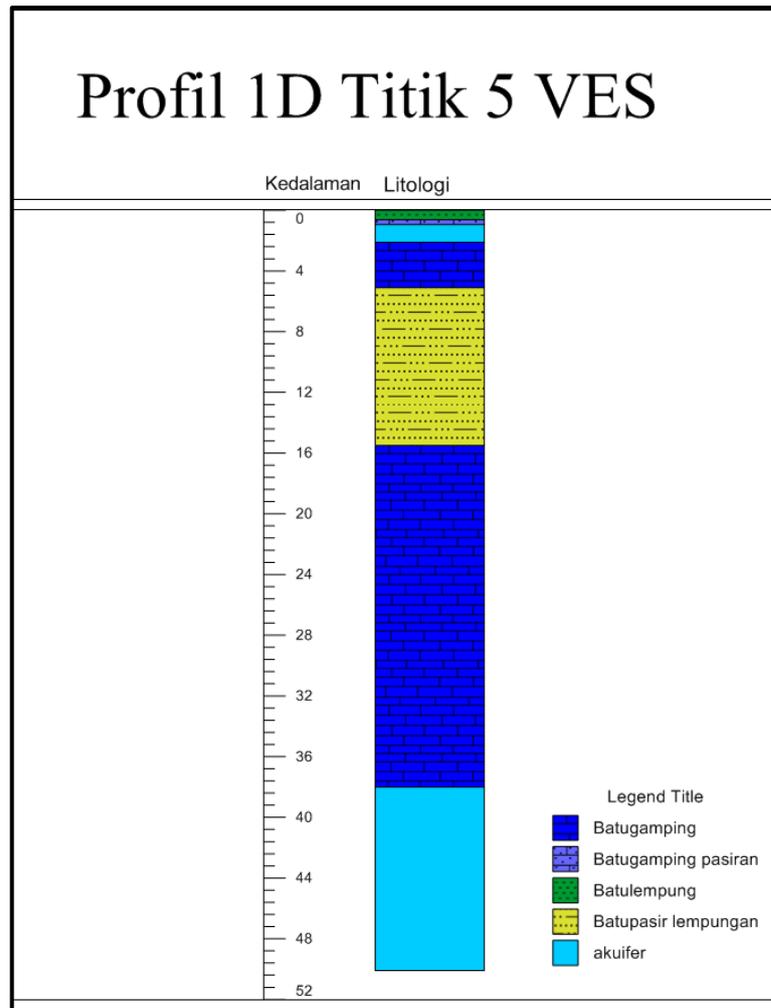
**Gambar 5.13** Hasil pencocokan kurva titik VES 5

**Tabel 5.5** Interpretasi titik VES 5

Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Interpretasi litologi
0-0.629	0.629	8.43	Batulempung
0.629-0.945	0.316	71.1	Batugamping pasiran
0.945-2.11	1.17	3.49	Akuifer
2.11-5.1	2.99	300	Batugamping
5.1-15.5	10.4	12.8	Batupasir lempungan
15.5-38	22.6	349	Batugamping
38-50.1	12	11	Akuifer

Dari hasil pencocokan kurva tersebut kemudian dimodelkan menjadi profil 1D yang tergambar pada **Gambar 5.14**. Pada titik VES 5 ini diidentifikasi terdapat 2 akuifer, akuifer dangkal dengan kedalaman 0,945 hingga 2,11 m dan akuifer dalam dengan kedalaman 38 hingga 50,1 m. Akuifer dangkal pada titik ini berada di antara lapisan batugamping pasiran dan batugamping. Batugamping pada titik ini berdasarkan peta geologi lokal merupakan bagian dari Formasi

Sentolo. Akuifer dangkal ini diduga merupakan akuifer air payau dikarenakan memiliki nilai resistivitas yang sangat rendah yaitu  $3,49\Omega m$ . Sedangkan akuifer dalam, berada dibawah batugamping. Pada titik ini, ditemukan sisipan batupasir lempungan yang tidak ditemukan pada titik VES 1 namun ditemukan pada titik VES 2, VES 3 dan VES 4 diduga batupasir lempungan ini terendapkan secara melensa.

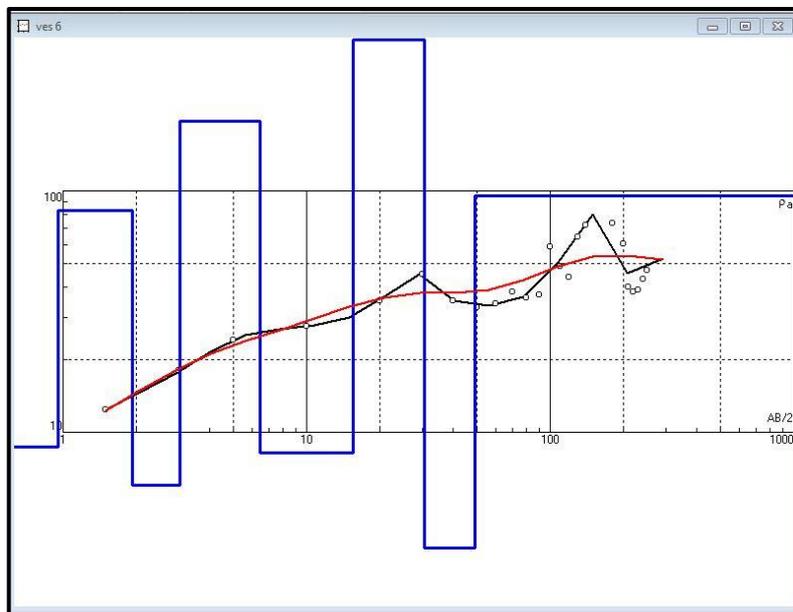


**Gambar 5.14** Profil 1D titik VES 5

#### 5.2.1.6 Titik VES 6

Hasil pencocokan kurva dari data lapangan pada titik 6 (**Gambar 5.15**) ini didapatkan batuan yang berada didaerah penelitian memiliki rentang nilai resistivitas 3,31 hingga  $517 \Omega m$ . Nilai resistivitas tersebut diinterpretasikan menjadi 7 lapisan batuan dengan kedalaman hingga 49,1m dari permukaan ditunjukkan pada **Tabel 5.6**. Lapisan pertama yaitu batulempung yang memiliki

nilai resistivitas 8,65  $\Omega\text{m}$  dan ketebalan 0,954 m. Lapisan kedua yaitu batugamping pasiran dengan nilai resistivitas 82,9  $\Omega\text{m}$  dan memiliki ketebalan 0,977m. Lapisan ketiga yaitu lapisan akuifer dengan nilai resistivitas yaitu 6,01  $\Omega\text{m}$  dengan ketebalan 1,09 m. Lapisan keempat diinterpretasikan sebagai batugamping yang memiliki nilai resistivitas 194  $\Omega\text{m}$  dan ketebalan 3,41m. Lapisan kelima diinterpretasikan sebagai lapisan batulempung dengan nilai resistivitas 8,22  $\Omega\text{m}$  dan memiliki ketebalan 9,15 m. Lapisan keenam diinterpretasikan sebagai batugamping dengan nilai resistivitas 517  $\Omega\text{m}$  dan ketebalan 14,9m. Lapisan ketujuh diinterpretasikan sebagai akuifer dengan nilai resistivitas 3,31  $\Omega\text{m}$  dan ketebalan 18,6m.



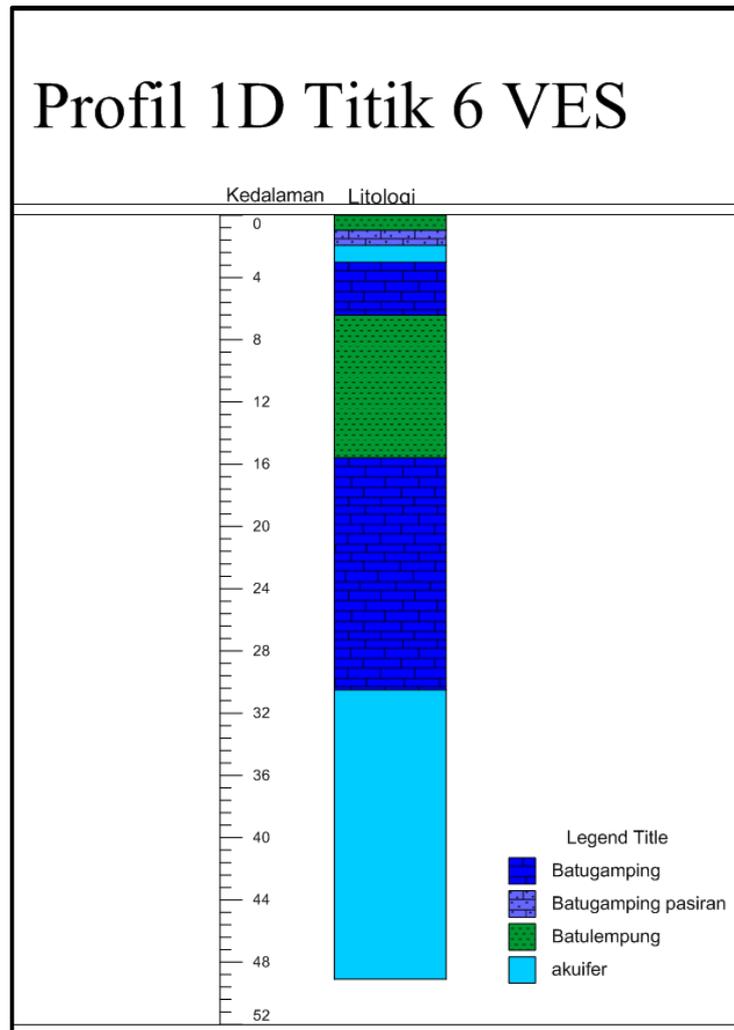
**Gambar 5.15** Hasil pencocokan kurva titik VES 6

**Tabel 5.5** Interpretasi titik VES 6

Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Interpretasi litologi
0-0.954	0.954	8.65	Batulempung
0.954-1.93	0.977	82.9	Batugamping pasiran
1.93-3.02	1.09	6.01	Akuifer
3.02-6.43	3.41	194	Batugamping
6.43-15.6	9.15	8.22	Batulempung
15.6-30.5	14.9	517	Batugamping
30.5-49.1	18.6	3.31	Akuifer

Dari hasil pencocokan kurva tersebut kemudian dimodelkan menjadi profil 1D yang tergambar pada **Gambar 5.16**. Pada titik VES 6 ini diidentifikasi terdapat 2 akuifer, akuifer dangkal dengan kedalaman 1,93 hingga 3,02 m dan

akuifer dalam dengan kedalaman 30,5 hingga 49,1 m. Akuifer dangkal pada titik ini berada di antara lapisan batugamping pasiran dan batugamping. Batugamping pada titik ini berdasarkan peta geologi lokal merupakan bagian dari Formasi Sentolo. Sedangkan akuifer dalam, berada dibawah batugamping. Akuifer dalam ini diduga merupakan akuifer air payau dikarenakan memiliki nilai resistivitas yang sangat rendah yaitu 3,31  $\Omega$ m.



**Gambar 5.16** Profil 1D titik VES 6

### 5.2.2 Analisis Kedalaman dan Ketebalan Akuifer

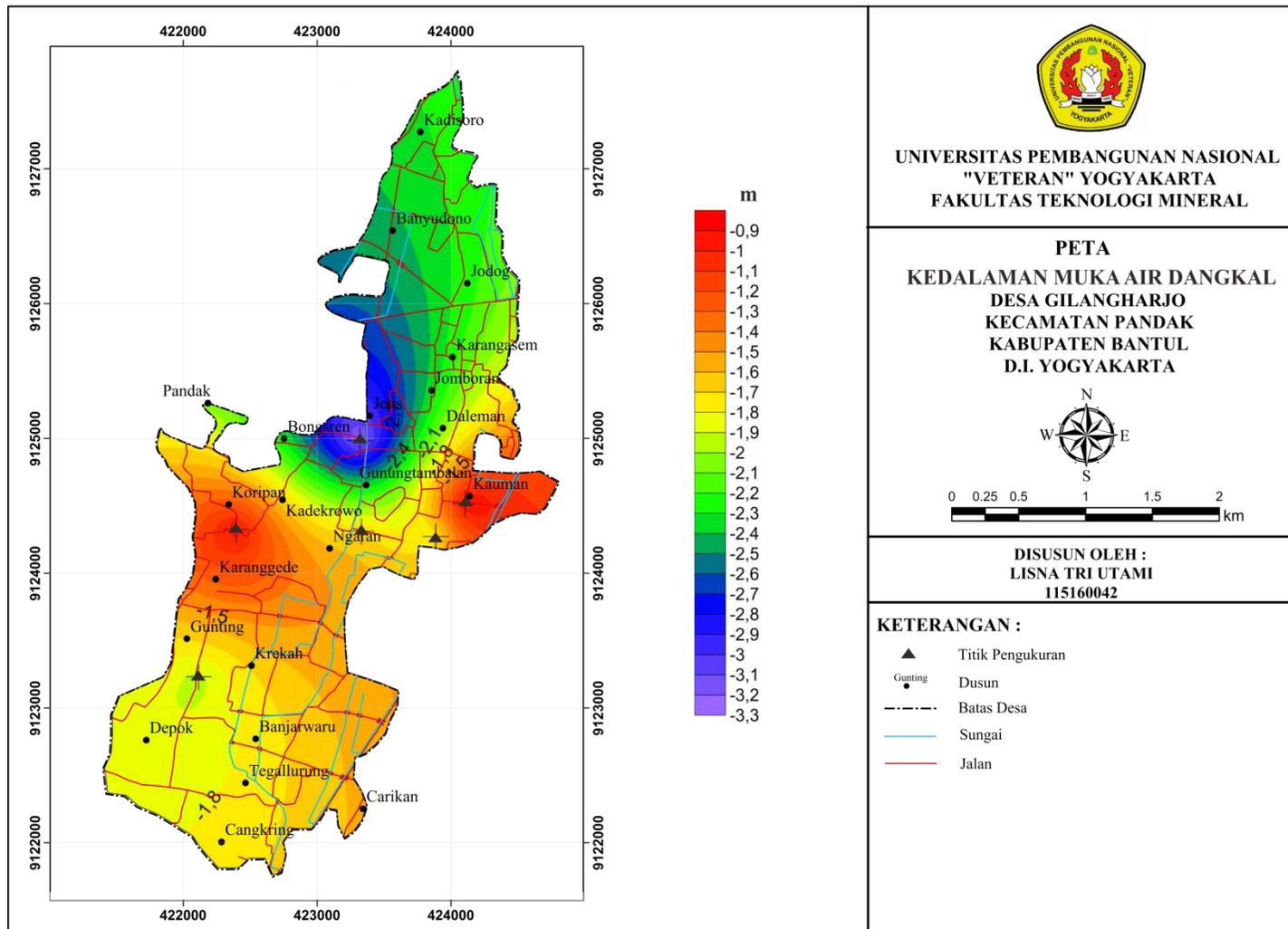
Dari interpretasi kurva dan profil 1D 6 titik geolistrik diketahui bahwa semua titik terdapat akuifer, baik itu akuifer dangkal dan akuifer dalam. Data keberadaan akuifer tersebut, kemudian dilakukan analisa mengenai kedalaman dan ketebalan akuifer.

### 5.2.2.1 Akuifer Dangkal

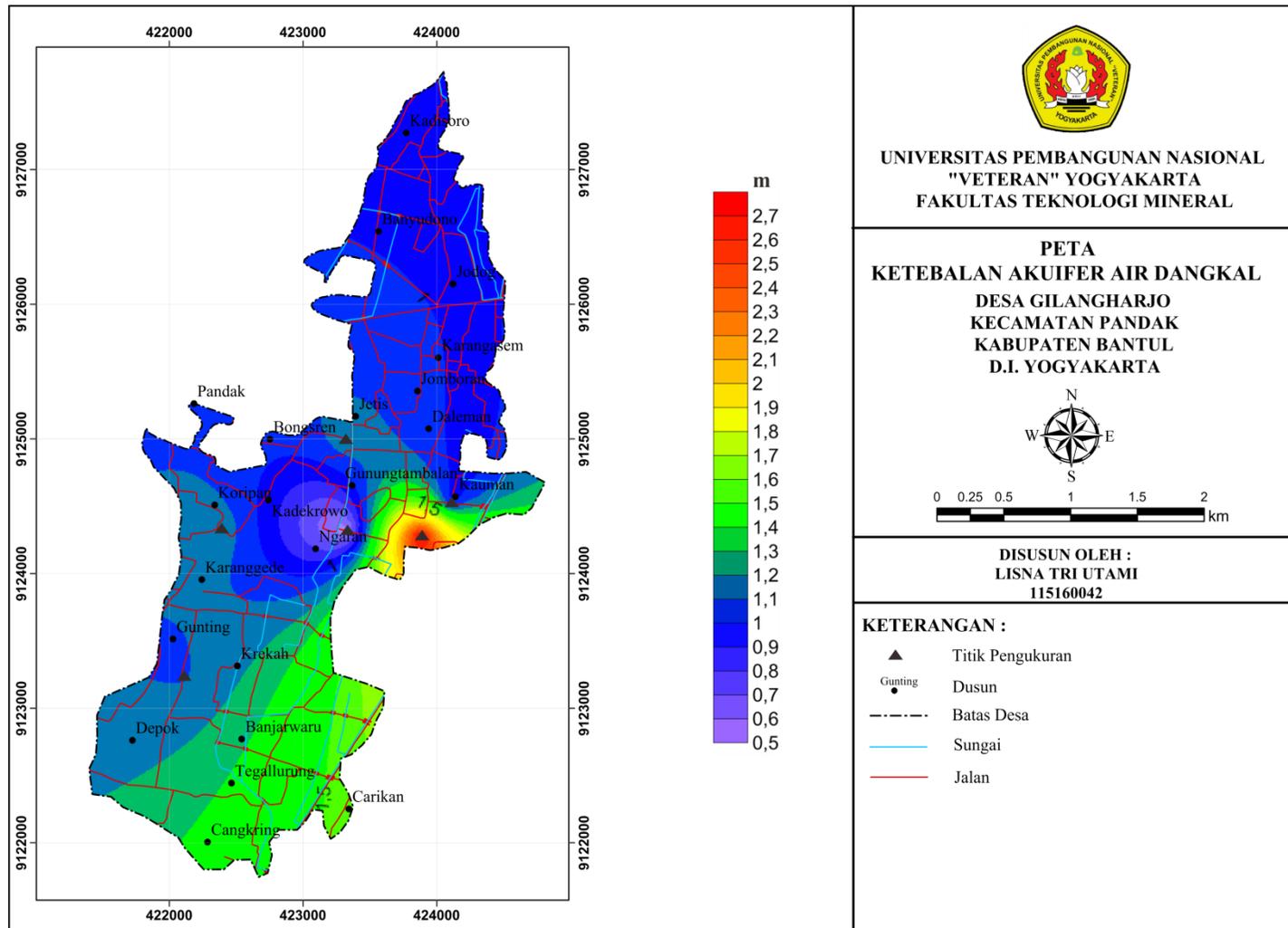
**Gambar 5.17** merupakan gambar persebaran kedalaman muka air akuifer dangkal. Akuifer dangkal memiliki kedalaman yang berkisar dari 0,9 hingga 3,3 m dari permukaan. Dari peta tersebut, terlihat bahwa kedalaman maksimum dari akuifer dangkal nampak pada daerah yang berwarna biru yaitu daerah Dusun Brongsen dan Jetis dengan kedalaman 3,3m dari permukaan. Sedangkan kedalaman minimum akuifer dangkal nampak pada daerah berwarna merah dengan kedalaman 0,9m dari permukaan dan berada di daerah Timur dan Barat dari Desa Gilangharjo yaitu Dusun Kauman, Koripan dan Karanggede. Dari peta diatas dapat disimpulkan bahwa daerah Gilangharjo memiliki akuifer dangkal dengan kedalaman yang beragam dan relatif lebih dangkal di Dusun Kauman, Koripan dan Karanggede.

**Gambar 5.18** merupakan gambar persebaran ketebalan akuifer dangkal. Akuifer dangkal memiliki ketebalan yang berkisar dari 0,5 hingga 2,7 m. Dari peta diatas, terlihat bahwa ketebalan maksimum dari akuifer dangkal nampak pada daerah yang berwarna merah yaitu dusun Kauman ketebalan 2,7 m. Sedangkan ketebalan minimum akuifer dangkal nampak pada daerah berwarna biru keunguan dengan ketebalan 0,5m dan berada di dusun Ngaran.

Dari peta kedalaman dan ketebalan akuifer dangkal didapatkan data bahwa daerah Kauman memiliki akuifer yang dangkal dan tebal, sehingga dianggap merupakan akuifer yang potensial untuk dimanfaatkan oleh penduduk.



Gambar 5.17 Peta kedalaman muka air dangkal

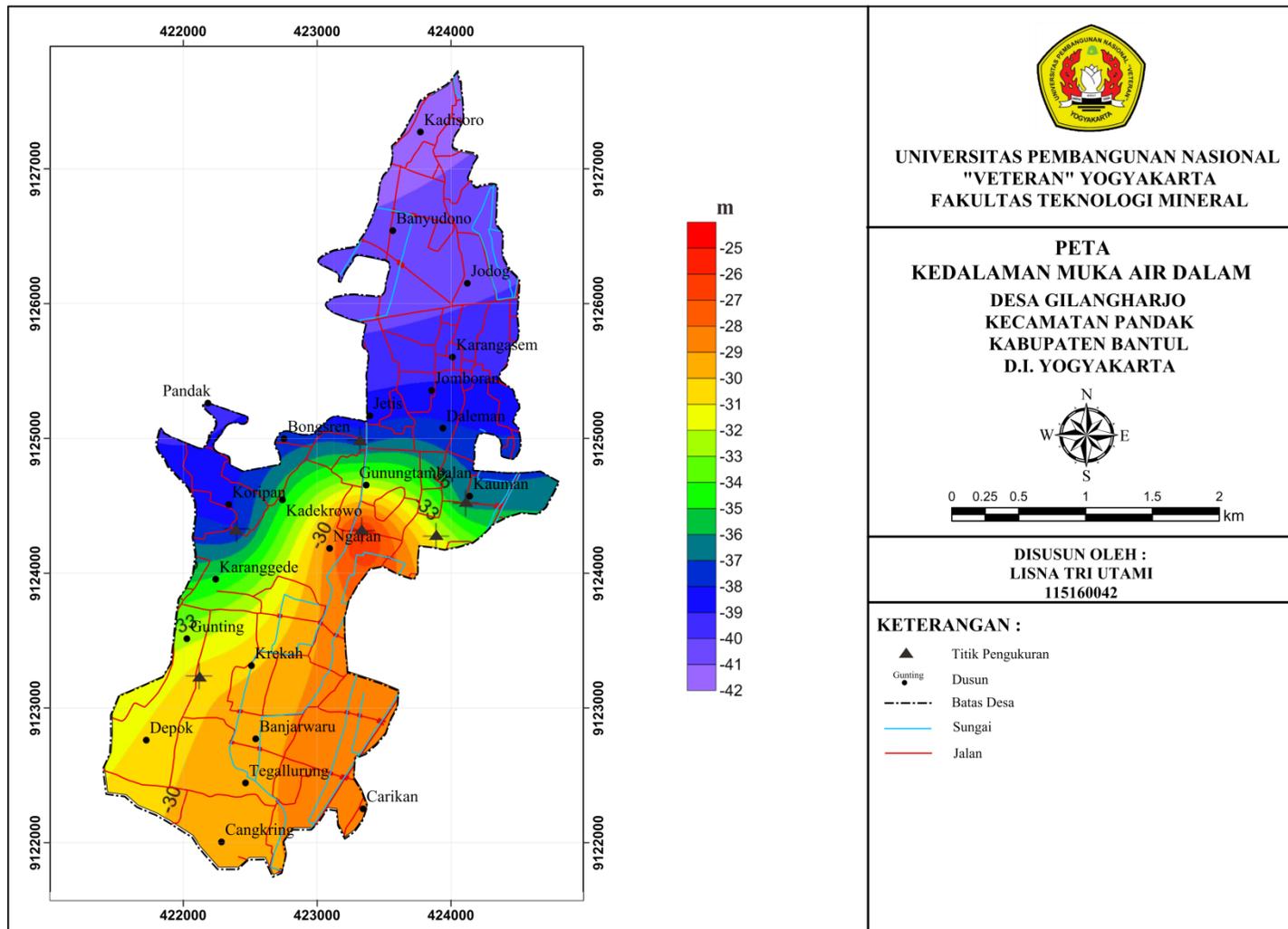


Gambar 5.18 Peta ketebalan akuifer dangkal

#### 5.2.2.2 Akuifer Dalam

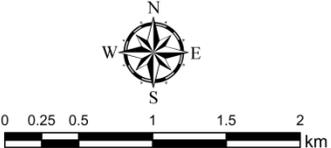
**Gambar 5.19** merupakan gambar persebaran kedalaman muka air akuifer dalam. Akuifer dalam memiliki kedalaman yang berkisar dari 25 hingga 42 m dari permukaan. Dari peta diatas, terlihat bahwa kedalaman maksimum dari akuifer dangkal nampak pada daerah yang berwarna biru yaitu bagian Utara dari daerah penelitian dengan kedalaman 37 hingga 42 m dari permukaan. Sedangkan kedalaman minimum akuifer dalam nampak pada daerah berwarna merah dengan kedalaman 25m dari permukaan dan berada di dusun Ngaran. Dari peta diatas dapat disimpulkan bahwa daerah Gilangharjo memiliki akuifer dalam dengan kedalaman yang beragam. Desa Gilangharjo memiliki akuifer dalam yang semakin ke arah Utara memiliki kedalaman yang semakin dalam.

**Gambar 5.20** merupakan gambar persebaran ketebalan akuifer dalam. Akuifer dalam memiliki ketebalan yang berkisar dari 9,5 hingga 23,5 m. Dari peta diatas, terlihat bahwa ketebalan maksimum dari akuifer dalam nampak pada daerah yang berwarna merah yaitu dusun Ngaran ketebalan 23,5 m. Sedangkan ketebalan minimum akuifer dangkal nampak pada daerah berwarna biru keunguan dengan ketebalan 9,5m dan berada di bagian Utara dari daerah penelitian. Dari peta diatas dapat disimpulkan bahwa daerah Gilangharjo memiliki akuifer dangkal dengan ketebalan yang beragam dan semakin tebal di bagian tengah penelitian dan semakin menipis ke arah Utara dari daerah penelitian.



  
**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL  
 "VETERAN" YOGYAKARTA  
 FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL**

**PETA  
 KEDALAMAN MUKA AIR DALAM  
 DESA GILANGHARJO  
 KECAMATAN PANDAK  
 KABUPATEN BANTUL  
 D.I. YOGYAKARTA**

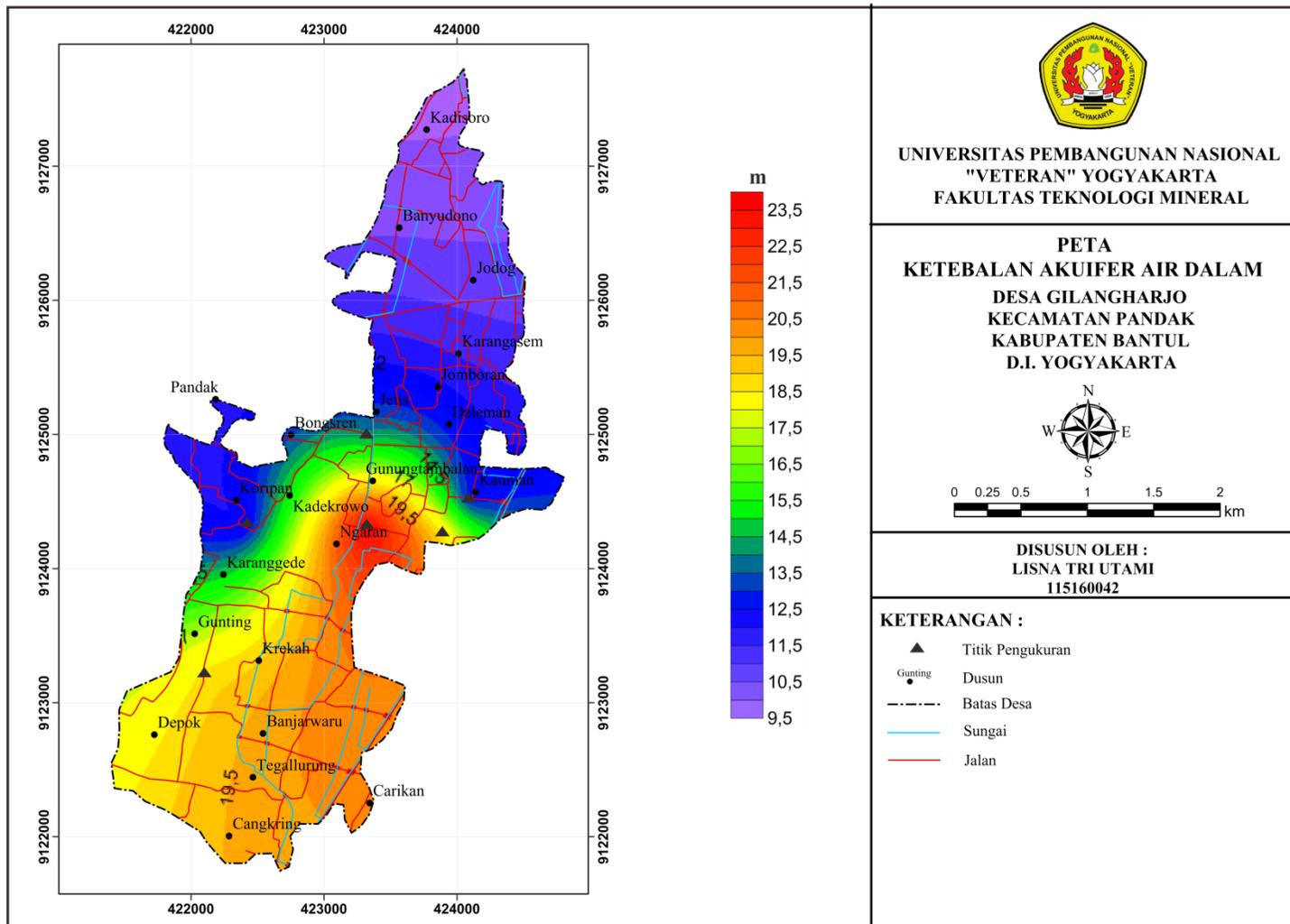
  
 0 0.25 0.5 1 1.5 2 km

**DISUSUN OLEH :  
 LISNA TRI UTAMI  
 115160042**

**KETERANGAN :**

- ▲ Titik Pengukuran
- Dusun
- Batas Desa
- Sungai
- Jalan

**Gambar 5.19** Peta kedalaman muka air dalam



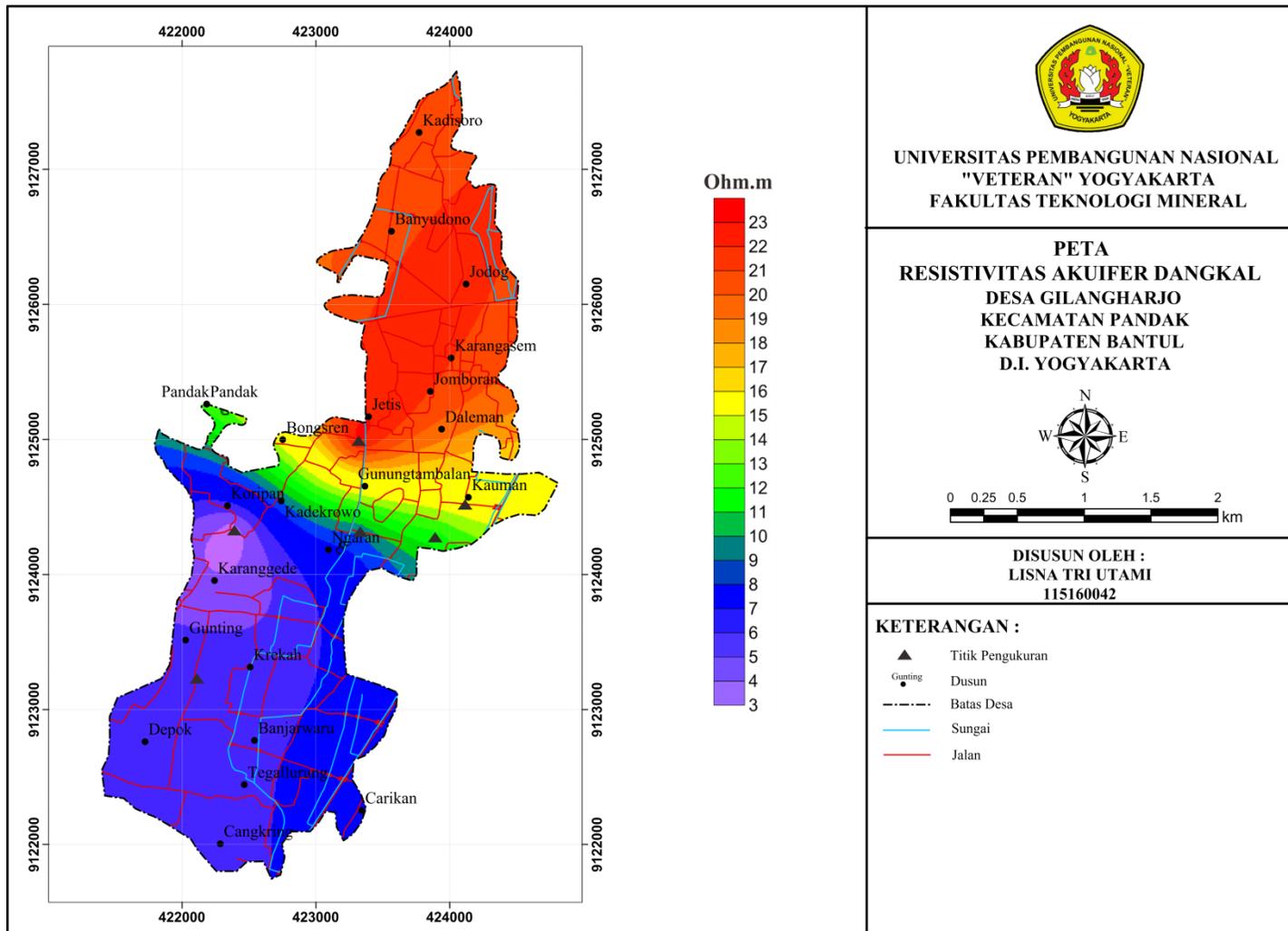
Gambar 5.20 Peta ketebalan akuifer dalam

### 5.2.3 Analisis Resistivitas Akuifer

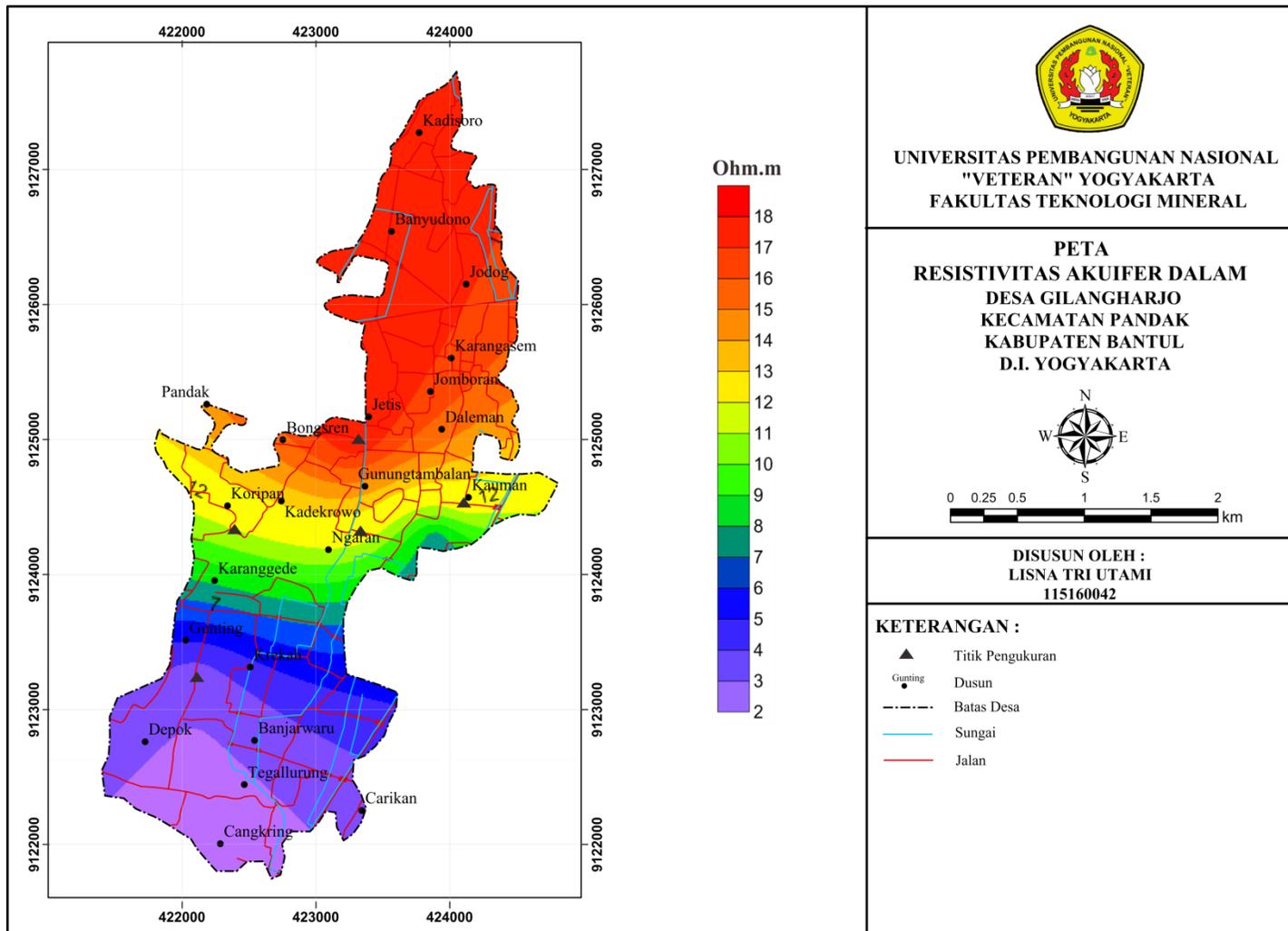
Dari interpretasi kurva dan profil 1D 6 titik geolistrik diketahui bahwa semua titik terdapat akuifer, baik itu akuifer dangkal dan akuifer dalam. Data keberadaan akuifer tersebut, kemudian dilakukan analisa mengenai nilai resistivitas akuifer. Resistivitas akuifer ini digunakan untuk menginterpretasi keadaan air pada akuifer. Semakin kecil nilai resistivitas akuifer maka air yang berada di akuifer tersebut memiliki kandungan garam yang semakin banyak. Sehingga apabila akuifer memiliki resistivitas yang kecil diduga air pada akuifer tersebut merupakan akuifer payau.

**Gambar 5.21** merupakan gambar persebaran resistivitas akuifer dangkal. Akuifer dangkal memiliki resistivitas yang berkisar dari 3 hingga 23  $\Omega$ m. Dari peta diatas, terlihat bahwa resistivitas maksimum dari akuifer dalam nampak pada daerah yang berwarna merah yaitu bagian Utara dari daerah penelitian dengan nilai resistivitas 18 hingga 23  $\Omega$ m. Sedangkan resistivitas minimum akuifer dangkal nampak pada daerah berwarna biru keunguan dengan nilai resistivitas 3  $\Omega$ m dan berada di dusun Koripan dan Karanggede. Dari peta diatas dapat disimpulkan bahwa daerah Gilangharjo memiliki akuifer dangkal dengan resistivitas yang beragam, diduga air yang berada di dusun Karanggede dan Koripan merupakan air payau, dan didaerah lain merupakan air bersih.

**Gambar 5.22** merupakan gambar persebaran resistivitas akuifer dalam. Akuifer dalam memiliki resistivitas yang berkisar dari 2 hingga 18  $\Omega$ m. Dari peta diatas, terlihat bahwa resistivitas maksimum dari akuifer dalam nampak pada daerah yang berwarna merah yaitu bagian Utara dari daerah penelitian dengan nilai resistivitas 14 hingga 18  $\Omega$ m. Sedangkan resistivitas minimum akuifer dangkal nampak pada daerah berwarna biru keunguan dengan nilai resistivitas 2  $\Omega$ m dan berada di sebelah Selatan desa Gilangharjo. Dari peta diatas dapat disimpulkan bahwa daerah Gilangharjo memiliki akuifer dalam dengan resistivitas yang beragam, diduga pada bagian Selatan Gilangharjo air pada akuifer dalam berupa air payau.



**Gambar 5.21** Peta resistivitas akuifer dangkal



Gambar 5.22 Peta resistivitas akuifer dalam

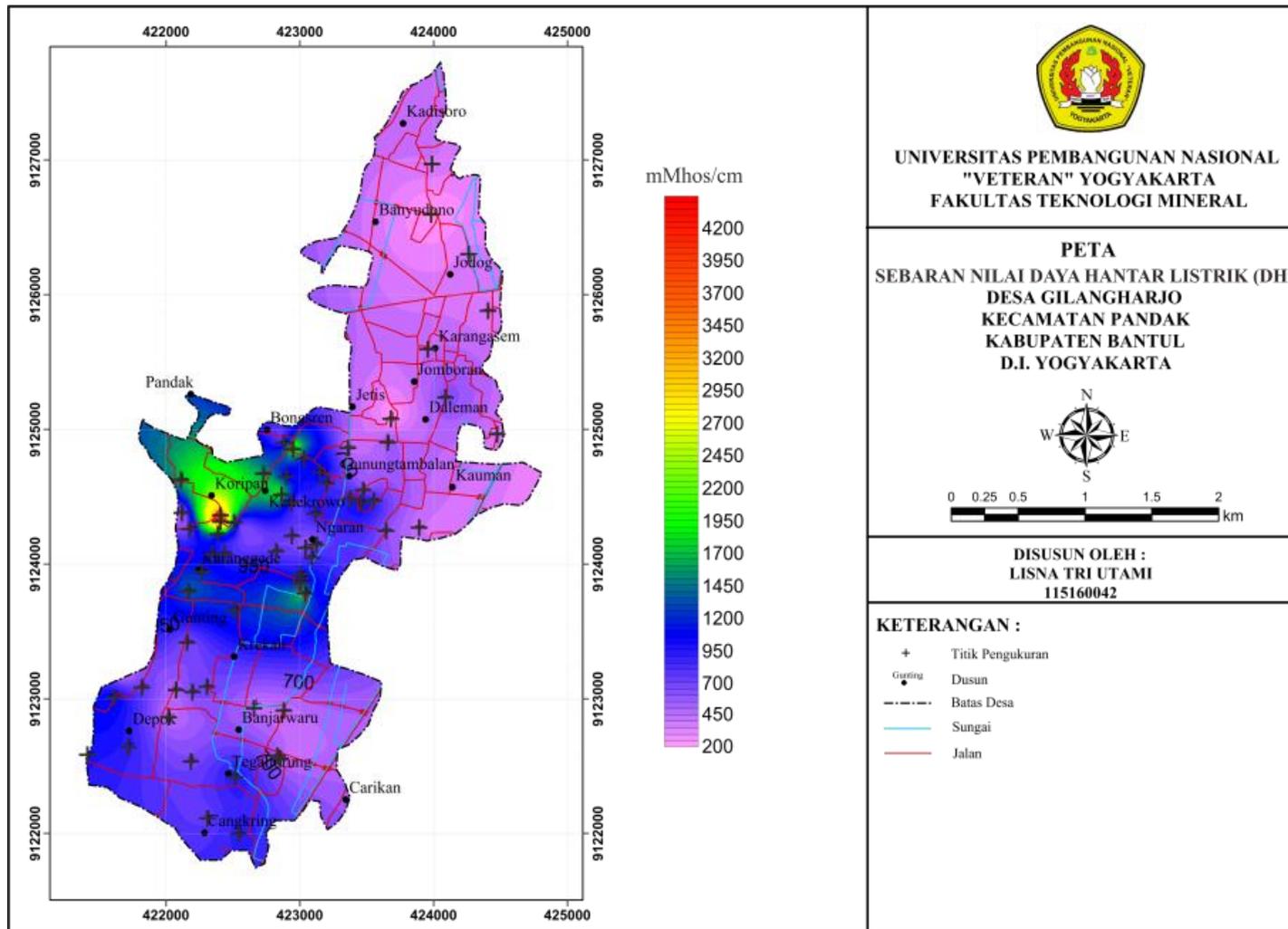
### 5.3. Kualitas Air Tanah

Selain dilakukan pengukuran geolistrik, pada penelitian ini juga dilakukan analisa kualitas air sebagai data pendukung untuk kajian hidrogeologi daerah penelitian. Analisa kualitas air tanah dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter kualitas air. Pada penelitian ini, parameter yang akan dianalisa yaitu nilai daya hantar listrik (DHL), nilai *total dissolved solid* (TDS) dan kandungan klorida ( $\text{Cl}^-$ ).

#### 5.3.1 Analisis Daya Hantar Listrik (DHL)

Nilai daya hantar listrik dari air sering disebut juga konduktivitas atau kemampuan untuk menghantarkan listrik. Nilai DHL menunjukkan total konsentrasi ion dalam air tanah. Semakin tinggi nilai DHL maka semakin tinggi konsentrasi ion yang terlarut dalam air dan semakin buruk kualitas air tersebut.

**Gambar 5.23** menunjukkan persebaran nilai DHL daerah penelitian. Daerah penelitian memiliki nilai DHL yang berkisar dari 200 hingga 4200 mMhos/cm. Dari tabel klasifikasi nilai DHL menurut Kodoatie (2005), daerah penelitian dapat dibagi menjadi 2 jenis air berdasarkan nilai DHL. Daerah yang memiliki nilai DHL 200 hingga 1000 mMhos/cm merupakan air tawar/ air bersih. Sedangkan nilai DHL 1000 hingga 4200 mMhos/cm merupakan air payau. Dari **Gambar 5.23** daerah yang berwarna biru dan ungu merupakan daerah air tawar, dan daerah yang berwarna hijau hingga merah merupakan daerah yang terdapat air payau yaitu pada dusun Koripan dan sekitarnya. Air payau yang berada didaerah penelitian diduga merupakan air berubah kualitasnya dikarenakan adanya struktur geologi pada daerah penelitian. Struktur tersebut diduga menimbulkan zona hancuran yang kemudian hancuran dari batuan tersebut larut kedalam air dan menyebabkan air menjadi berkualitas kurang baik.

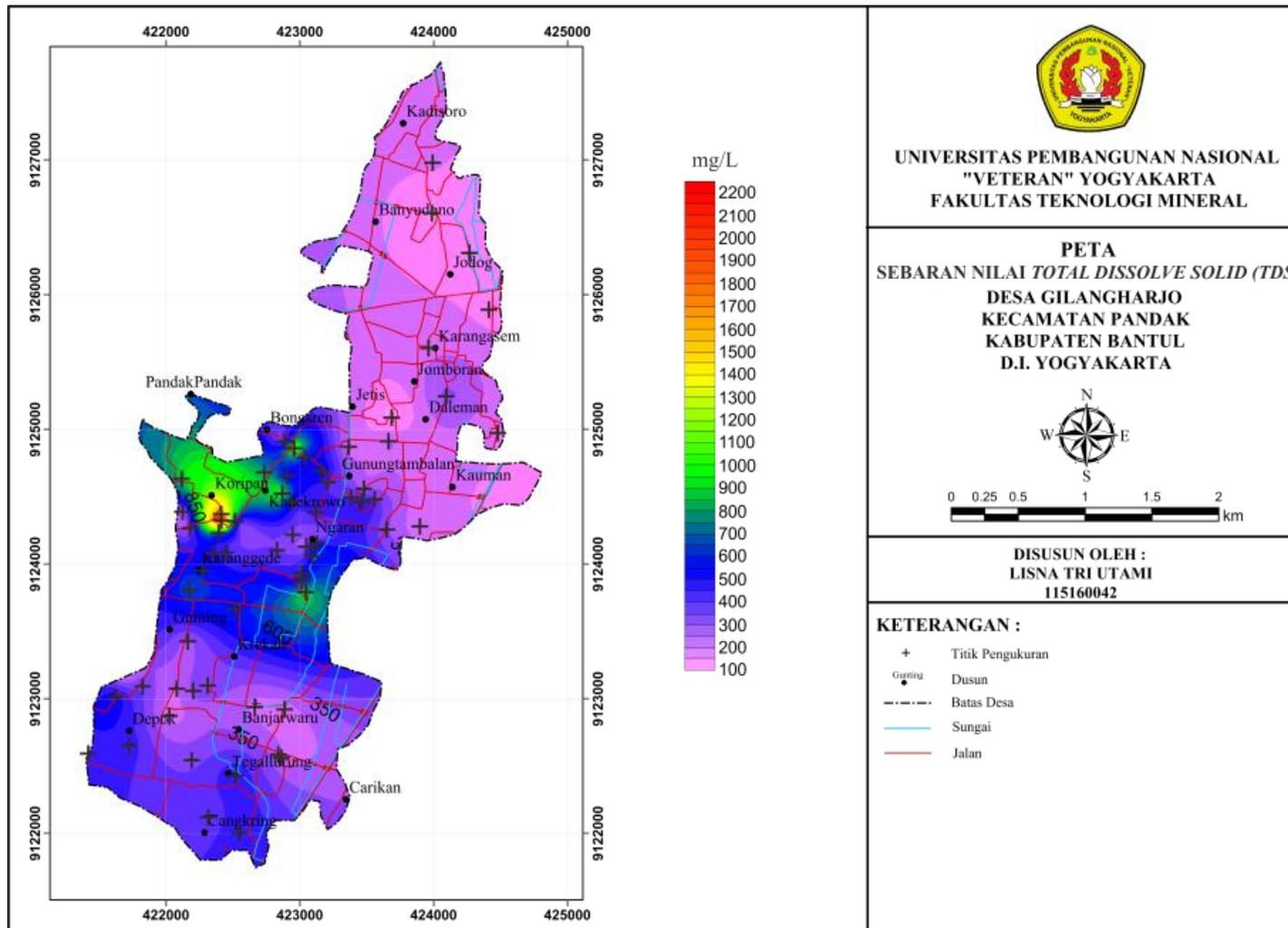


Gambar 5.23 Peta sebaran nilai daya hantar listrik (DHL)

### 5.3.2 Analisis *Total Dissolved Solid*

Nilai *total dissolved solid* (TDS) merupakan nilai banyaknya suatu padatan yang terlarut dalam suatu larutan. Semakin tinggi nilai TDS maka semakin tinggi konsentrasi padatan yang terlarut dalam air dan semakin buruk kualitas air tersebut. Nilai TDS ini berbanding lurus dengan nilai DHL. Semakin banyak padatan yang terlarut maka akan semakin banyak konsentrasi ion dalam air sehingga meningkatkan nilai DHL.

**Gambar 5.24** menunjukkan persebaran nilai TDS daerah penelitian. Daerah penelitian memiliki nilai TDS yang berkisar dari 100 hingga 2200 mg/L. Dari tabel klasifikasi nilai TDS menurut Todd (1980), daerah penelitian dapat dibagi menjadi 2 jenis air berdasarkan nilai TDS. Daerah yang memiliki nilai TDS <1000 mg/L merupakan air tawar/ air bersih. Sedangkan nilai TDS 1000 hingga 10000 mg/L merupakan air payau. Dari **Gambar 5.24** daerah yang berwarna biru dan ungu merupakan daerah air tawar, dan daerah yang berwarna hijau hingga merah merupakan daerah yang terdapat air payau yaitu pada dusun Koripan dan sekitarnya. Air payau yang berada didaerah penelitian diduga merupakan air yang berubah kualitasnya dikarenakan adanya struktur geologi pada daerah penelitian. Struktur tersebut diduga menimbulkan zona hancuran yang kemudian hancuran dari batuan tersebut larut kedalam air dan menyebabkan air menjadi berkualitas kurang baik.

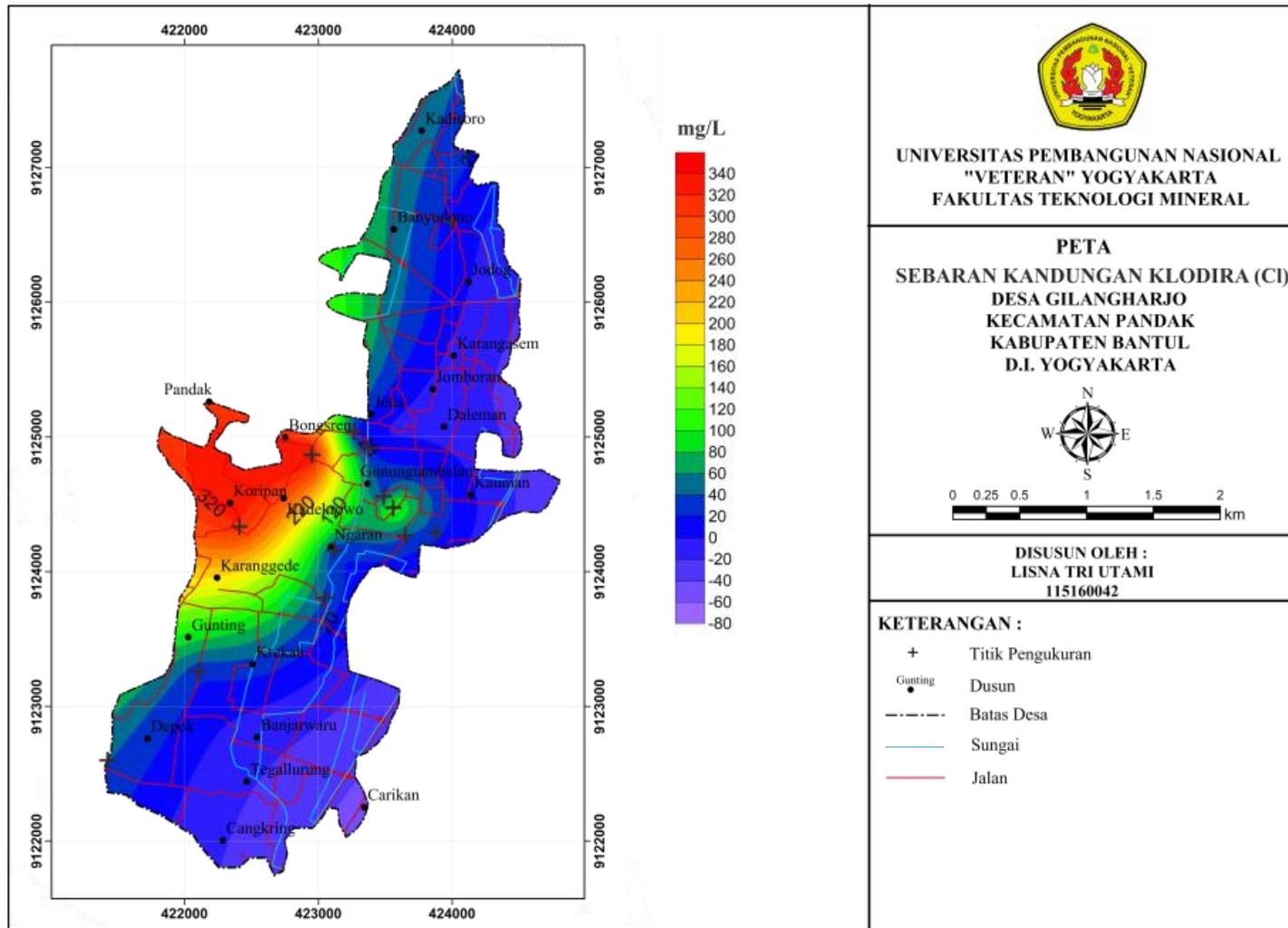


Gambar 5.24 Peta sebaran nilai total dissolved solid (TDS)

### 5.3.3 Analisis Sebaran Klorida

Nilai kandungan klorida merupakan nilai banyaknya klorida dalam larutan. Kandungan klorida dapat mempengaruhi kualitas air dan menentukan sistem klasifikasi air. Kadar klorida umumnya meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan mineral. Keberadaan ion klorida dalam air diakibatkan oleh beberapa hal yaitu lingkungan laut, intrusi air asin, kegiatan vulkanik, hasil pelapukan alami dari batuan dasar, material permukaan dan tanah, serta pertemuan tubuh air dengan endapan geologi yang mengandung halit.

**Gambar 5.25** menunjukkan persebaran nilai Cl daerah penelitian. Daerah penelitian memiliki nilai Cl yang berkisar dari 0 hingga 340 mg/L. Dari tabel klasifikasi nilai Cl menurut Kodoatie (1996), daerah penelitian dapat dibagi menjadi 2 jenis air berdasarkan nilai Cl. Daerah yang memiliki nilai Cl <200 mg/L merupakan air tawar/ air bersih yang dapat dikonsumsi. Sedangkan nilai Cl 200 hingga 500 mg/L merupakan air bersih - payau. Dari **Gambar 5.25** daerah yang berwarna biru, hijau dan kuning merupakan daerah air bersih yang dapat dikonsumsi, dan daerah yang berwarna jingga hingga merah merupakan daerah yang terdapat air bersih - payau. Air bersih - payau terdapat pada dusun Kadekrowo, Koripan, Brongseng dan Pandak. Air payau yang berada di daerah penelitian diduga merupakan air yang berubah kualitasnya dikarenakan adanya struktur geologi pada daerah penelitian. Struktur tersebut diduga menimbulkan zona hancuran yang kemudian hancuran dari batuan tersebut larut ke dalam air dan menyebabkan air menjadi berkualitas kurang baik.



**Gambar 5.25** Peta sebaran kandungan klorida (Cl)

### 5.3.4 Zonasi Persebaran Kualitas Air Tanah

Zonasi persebaran kualitas air tanah dibuat untuk mengetahui persebaran perbedaan kualitas air di daerah penelitian. Zonasi ini dibuat dengan menggabungkan data kualitas air yang berupa data DHL, TDS dan klorida serta data nilai resistivitas. Dari data tersebut dilakukan klasifikasi jenis air untuk mengetahui kualitas air.

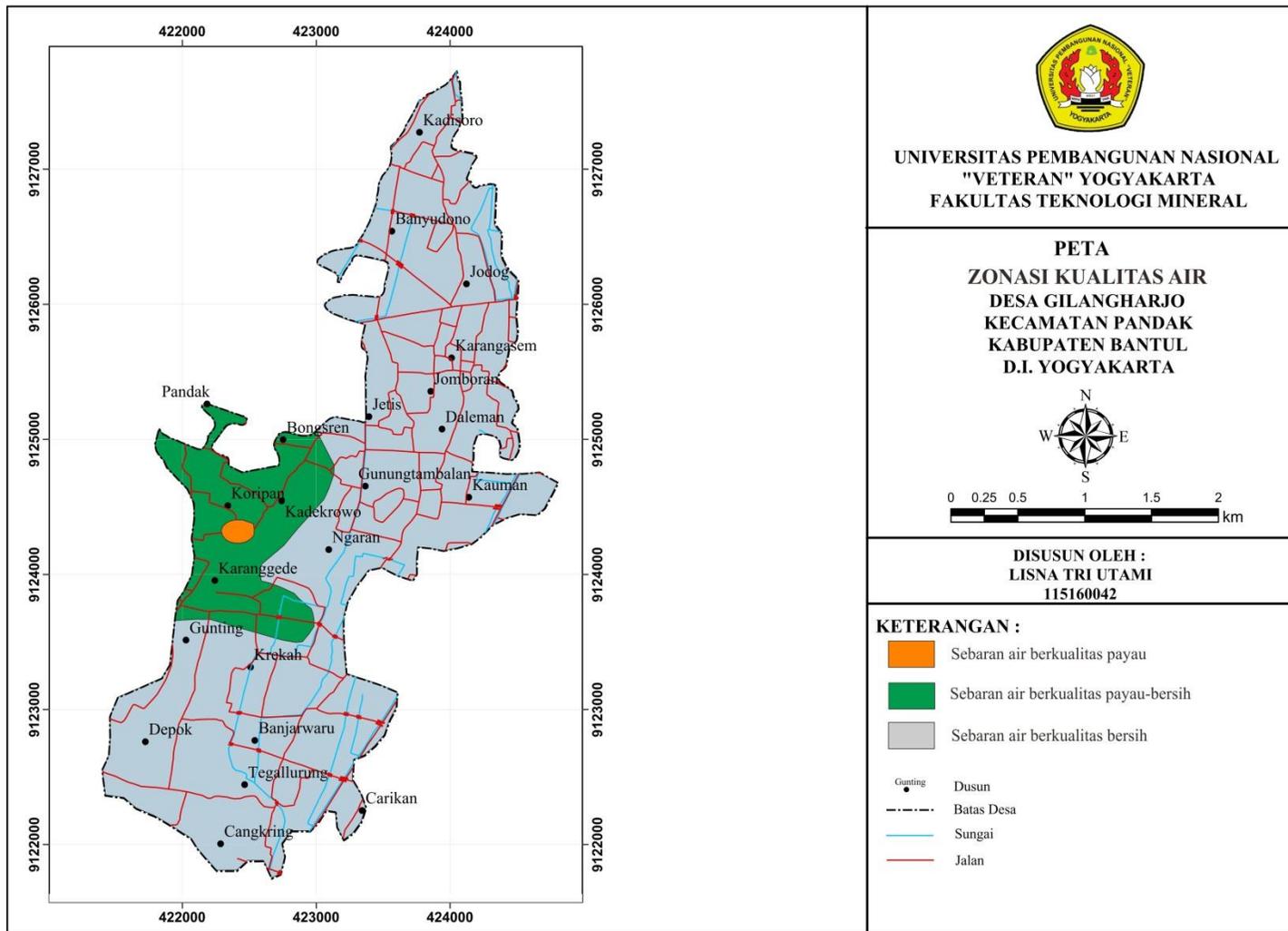
Peta zonasi kualitas air tanah tergambar pada **Gambar 5.26**. Dari tersebut, terdapat 3 jenis zona kualitas air, yaitu zona kualitas bersih, air payau-bersih dan air payau. Zona air bersih tergambar dengan warna abu-abu yang menempati lebih dari 50% daerah Gilangharjo. Zona tersebut memiliki nilai DHL, TDS, kandungan Klorida serta nilai resistivitas yang tergolong kedalam jenis air bersih. Pada zona ini air aman dimanfaatkan baik untuk konsumsi maupun keperluan sehari-hari.

Zona dengan warna hijau merupakan daerah dengan air bersih-payau. Daerah ini memiliki nilai DHL yang melebihi standar baku mutu air minum yaitu lebih dari 1000 Mmhos/cm. Namun untuk nilai TDS dan kandungan klorida masih dibawah standar baku mutu air minum. Air pada zona ini masih dapat dimanfaatkan untuk keperluan sehari-hari.

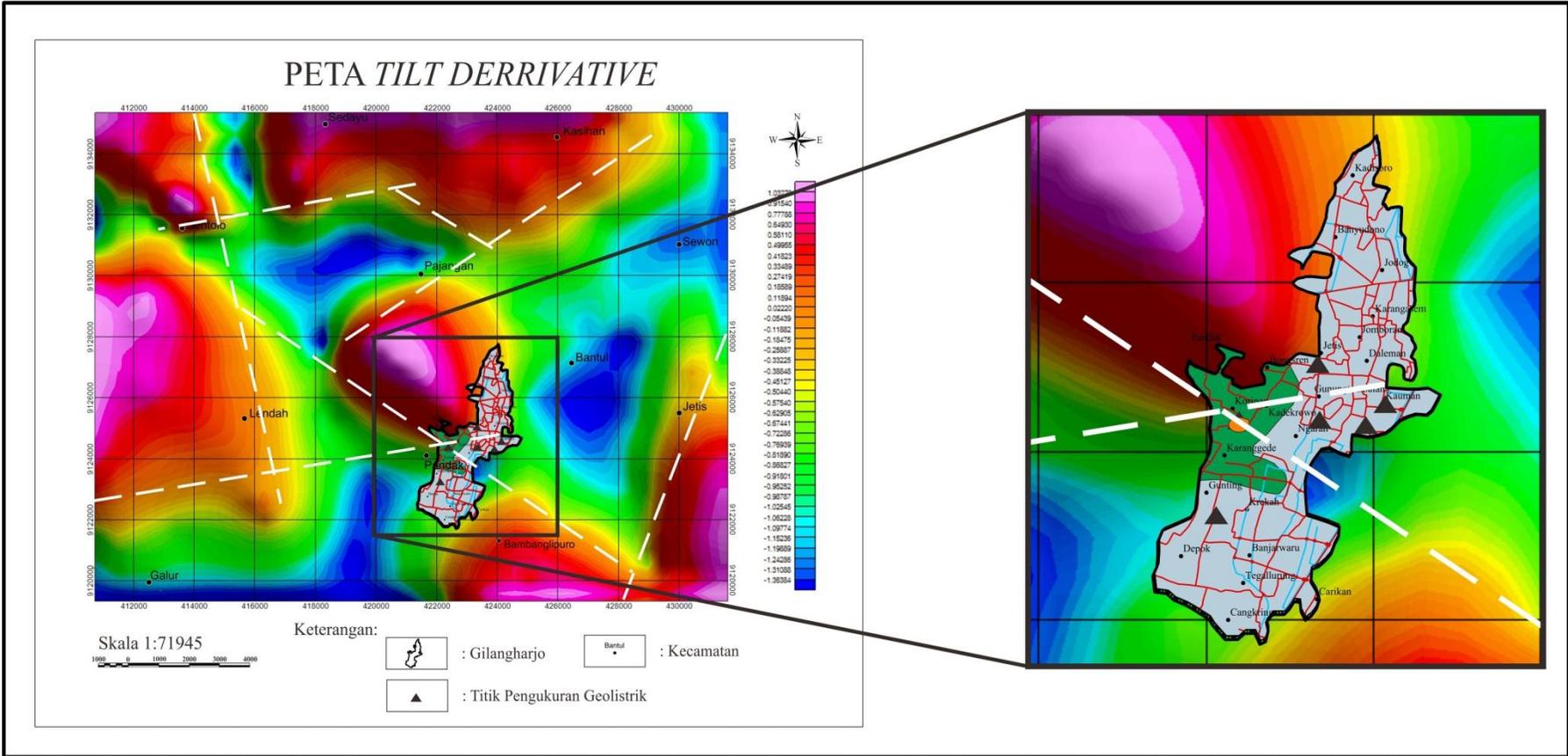
Zona dengan warna jingga merupakan daerah air berkualitas payau. Pada wilayah ini, nilai DHL, TDS dan kandungan klorida terklasifikasikan sebagai jenis air payau. Selain itu, berdasarkan data hasil geolistrik, wilayah ini memiliki nilai resistivitas yang rendah, yang merupakan resistivitas air payau. Pada daerah ini, sebaiknya air tidak digunakan baik untuk konsumsi ataupun kebutuhan sehari-hari.

Adanya beberapa perbedaan kualitas air tanah ini diduga akibat dari adanya sesar pada bawah permukaan yang telah dianalisis dari **Gambar 5.4**. Zona dengan air berkualitas payau, merupakan wilayah yang diidentifikasi terdapat perpotongan 2 sesar (**Gambar 5.27**). Air payau pada daerah ini diduga berasal dari air payau purba yang muncul ke akuifer dangkal dikarenakan terdapat jalur keluarnya air akibat dari adanya zona hancuran. Zona hancuran ini terbentuk akibat adanya perpotongan 2 sesar. Air payau hanya berada pada spot-spot dan tidak tersebar ke seluruh daerah penelitian dikarenakan pada titik tersebut diidentifikasi terdapat batulempung yang merupakan lapisan kedap sehingga

dapat menahan air. Batulempung tersebut diidentifikasi dari titik pengukuran VES 5 (**Gambar 5.14**). Batulempung hanya teridentifikasi berada pada titik VES 5 dan VES 6. Zona berkualitas air payau ini memiliki kandungan Klorida yang tinggi diduga akibat dari air purba yang dulunya merupakan wilayah laut sehingga air asin dari laut terjebak di bawah permukaan. Kandungan Klorida yang tinggi tersebut menyebabkan nilai TDS tinggi. Nilai TDS dipengaruhi oleh banyaknya zat terlarut. Salah satu zat terlarut yang mempengaruhi TDS adalah garam mineral yang dapat berupa klorida. Selain mempengaruhi nilai TDS, banyaknya klorida juga berpengaruh pada nilai DHL. Nilai DHL meningkat seiring dengan meningkatnya nilai TDS dikarenakan nilai TDS meningkat akan mempermudah listrik mengalir. Apabila listrik mudah mengalir maka nilai hambatan akan semakin kecil sehingga menyebabkan nilai resistivitas dari air akan semakin kecil.



**Gambar 5.26** Peta zonasi kualitas air



**Gambar 5.27** Overlay Peta TDR dan Peta zonasi kualitas air

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisis dari data gravitasi, data geolistrik dan data kualitas air daerah Gilangharjo, dapat disimpulkan beberapa hal yaitu:

1. Dari analisis anomali gaya berat, Kabupaten Bantul merupakan sebuah cekungan air tanah yang berarah Timur laut- Barat daya dengan nilai anomali rendah dengan nilai -6,5 hingga - 3,8 mGal. Cekungan air tanah tersebut berdasar peta geologi, tersusun oleh material dari Endapan Merapi Muda. Cekungan tersebut dibatasi oleh tinggian pada sisi Barat yaitu tinggian Kulonprogo dan sebelah Timur yaitu tinggian Pegunungan Selatan, tinggian tersebut memiliki nilai anomali tinggi dengan nilai -1,4 hingga 6,4 mGal.
2. Dari interpretasi geolistrik dan peta geologi lokal, dapat disimpulkan batuan pada daerah penelitian akuifer berada di antara lapisan batugamping dari Formasi Sentolo. Dari analisis 6 titik geolistrik, masing-masing titik geolistrik memiliki 2 akuifer, yaitu akuifer dangkal dan akuifer dalam. Akuifer dangkal memiliki kedalaman dari 0,9 hingga 3,3m dengan ketebalan 0,5 hingga 2,7m dan memiliki nilai resistivitas 3 hingga 23  $\Omega$ m. Sedangkan akuifer dalam memiliki kedalaman dari 25 hingga 42m dengan ketebalan 9,5 hingga 23,5m dan memiliki nilai resistivitas 2 hingga 18  $\Omega$ m. Nilai resistivitas yang berada di bawah 3  $\Omega$ m merupakan air payau yang diduga dikarenakan merupakan air yang terjebak. Jebakan air payau tersebut ada karena keadaan geologi daerah penelitian merupakan daerah laut yang mengalami pengangkatan dan pendangkalan.
3. Dari parameter kualitas air baik itu nilai DHL, TDS dan juga kandungan Klorida teridentifikasi daerah yang memiliki kualitas air kurang baik yaitu daerah Koripan. Daerah Koripan memiliki nilai DHL berkisar dari 1000-5300 mMhos/cm dan memiliki nilai TDS berkisar dari 1000-2600 mg/l yang merupakan nilai dari air payau. Sedangkan berdasarkan kandungan Klorida wilayah yang diidentifikasi memiliki kualitas air yang kurang baik

yaitu wilayah Koripan, Kadekrowo, Brongseng dan Pandak. Wilayah tersebut terdapat kandungan Klorida sebanyak 250-350 mg/l yang merupakan air payau-bersih. Berdasarkan nilai resistivitas akuifer, daerah Koripan memiliki nilai 3  $\Omega$ m, sehingga nilai resistivitas tersebut diinterpretasikan sebagai resistivitas air payau daerah penelitian.

4. Daerah penelitian terbagi menjadi 3 zona kualitas air, yaitu zona kualitas air bersih, zona kualitas air bersih-payau dan zona kualitas air payau. Zona kualitas air bersih-payau masih dapat dimanfaatkan namun perlu hati-hati agar tidak menimbulkan penyakit. Zona kualitas air payau sebaiknya tidak dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari.

## **6.2 Saran**

Pada penelitian ini, terdapat beberapa saran untuk meningkatkan keakuratan data serta analisis pada permasalahan di penelitian ini, yaitu:

1. Disarankan untuk dilakukan penelitian lanjutan dengan ditambahkan titik pengukuran VES untuk mengetahui keberadaan serta persebaran air payau secara lebih detail. Selain itu, dapat juga dilakukan akuisisi dengan metode geolistrik resistivitas yang lain agar terlihat respon secara horizontal keberadaan air payau pada daerah penelitian.
2. Alangkah lebih baiknya, air yang diambil dan digunakan untuk konsumsi masyarakat yaitu air yang diluar daerah Pandak, Brongseng, Koripan, Kadekrowo dan Karanggede. Karena pada wilayah tersebut memiliki air yang mengandung air payau sehingga dimungkinkan kurang baik untuk dikonsumsi.
3. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengolahan air payau menjadi air bersih agar aman untuk digunakan masyarakat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arisoy, M.O., Dikmen, U., 2013. *Edge Detection of Magnetic Sources Using Enhanced Total Horizontal Derivative of the Tilt Angel*. Turki. Earth Science Application and Research Center of Hacettepe University.
- Asdak, C. 2002. *Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Bemmelen, Van, R. W. 1949. *The Geology of Indonesia*. Nederland: Martinus Nyhoff, The Haque.
- Blakely, R. J. 1996. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Chandra, B. 2006. *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. EGC. Jakarta.
- Fetter, C.W. 1994. *Applied Hydrogeology*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Grandis, H. 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Penerbit HAGI. Jakarta
- Haryono.S, R. Otong H.G, S.Oyon. 1995. *Peta Anomali Bouguer Jawa, Lembar Yogyakarta Skala 1:100.000*. Bandung: P3G.
- Hendrayana, H dan Victor A de S V. 2013. *Cadangan Air Tanah Berdasarkan Geometri dan Konfigurasi Sistem Akuifer Cekungan Air Tanah Yogyakarta-Sleman*. Prosiding Seminar Nasional Kebumihan ke-6 Teknik Geologi UGM.
- Herlambang, A., 1996. *Kualitas Air Tanah Dangkal di Kabupaten Bekasi*. Program Pascasarjana, IPB. Bogor.
- Husein, S dan Sriyono. 2010. *Peta Geomorfologi Daerah Istimewa Yogyakarta*. Simposium Geologi Yogyakarta 23 Maret 2010.
- Kodoatie, R.J. 1996. *Pengantar Hidrogeologi*. Penerbit Andi. Yogyakarta
- Kodoatie, R.J. 2003. *Manajemen dan Rekayasa Infrastruktur*. Penerbit Pustaka Pelajar. Yogyakarta
- Kodoatie, R.J. 2005. *Kajian UU Sumber Daya Air*. Penerbit Andi. Yogyakarta
- Kodoatie, R.J. 2012. *Tata Ruang Air Tanah*. Penerbit Andi. Yogyakarta
- Krussman, G.P. and Ridder, N.A., 1970. *Analysis and Evaluation of Pumping Test*

- Data*. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen.
- Kusumayudha, S.B. 2008. *Mount Merapi Activity 2006 : Its Impact on Groundwater Environment*. The 14<sup>th</sup> International Conference of Woman Engineers and Scientists. France.
- Kusumayudha, S.B dan Puji Pratikyo. 2009. *Hidrogeologi Lereng Selatan Merap Pasca Erupsi 2006*. Proceeding PIT IAGI SEMARANG 2009.
- Loke, M.H., 1996. *Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys*.
- Loke, M.H., 1999. *RES2DINV ver.3.54 for Windows Me/XP. and NT 2000; Rapid 2-D Resistivity and IP Inversion Using the Least-Squares Method (wenner, pole-pole, Schlumberger) and Non- Conventional Array*. Geotomo Software, Penang Malaysia.
- Loke, M.H., 2004. *Res2Dinv ver. 3.54, Rapid 2D Resistivitas and IP Inversion Using the Least-Squares method*, Geotomo Software, Malaysia : 11-36.
- Miller, H.G dan Singh, V. 1994. *Potential Field Tilt—A New Concept For Location Of Potential Field Sources*. Journal of Applied Geophysics 32, 213–217.
- Musset, A.E, and Khan, M.A. 2000. *Looking Into The Earth*. Cambridge. Cambridge University Press.
- Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/ MENKES/ PER/ IV/ 2010 tentang persyaratan kualitas air minum.
- Prasetyadi. C., Sudarno. VB Indranadi, Suroho. 2011. *Pola dan Genesa Struktur Geologi Pegunungan Selatan, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Provinsi Jawa Tengah*. Jurnal Sumber Daya Geologi Vol. 21 No. 2 April 2011. hlm 91-107.
- Prastistho, B, dan Tim,. 2018, *Hubungan Struktur Geologi dengan Sistem Air Tanah*, UPN “Veteran” Yogyakarta
- Pratiknyo, P dan Wrego S G. 2019. *Analysis of Groundwater Characteristics Using Vertical Electrical Sounding (VES) Methods, Cases Study Gilangharjo, Bantul Regency, Yogyakarta*. Jurnal Techno Vol 5 No 1 hlm 39. Institute for Research and Comunity Services UPN “Veteran” Yogyakarta.

- Rahardjo. W, Sukandarrumidi, H.M.D Rosidi.1995. *Peta Geologi, Lembar Yogyakarta, Skala 1:100.000*. Bandung: P3G.
- Reynolds, J.M,1998. *An Introduction to Applied and Enviromental Geophysics*, John Wiley & Sons, New York, 418p.
- Safari, Ilham H, Djauhari Noor, Iit Anditia P.2018. *Geologi dan Sifat Kimia Akuifer Air Tanah Berdasarkan Kandungan Ion-Ion Mayor Penentu Kualitas Bahan Baku Air Minum Daerah Gempol Dan Sekitarnya Kecamatan Jati Kabupaten Blora Jawa Tengah*. Jurnal Online Mahasiswa Bidang Teknik Geologi Vol 1 No 1.
- Santoso, A. 2017. Penentuan Pusat Erupsi Gunung Api Purba Berdasarkan Metode Gravitasi , Geomagnetik Dan Geolistrik DI Daerah Gunungkidul dan Sekitarnya, Daerah Istimewa Yogyakarta. Disertasi S3. UGM
- Santosa, L.W dan Adji T.N. 2018. *Karakteristik Akuifer dan Potensi Air Tanah Graben Bantul*. Yogyakarta: UGM Press.
- Shiddiqy, M. H. 2014. *Pemetaan Keberadaan Akuifer menggunakan Metode Resistivitas Konfigurasi Schlumberger di Daerah Nanggulan, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta*. Skripsi. Yogyakarta: UGM.
- Sulistijo, Budi, Sumardi, Darmawan, Heriawan Nur, Riyanto, Yana Rahmat. 2002. *Geofisika Cebakan Mineral II*. Bandung: Penerbit ITB.
- Suripin. 2002. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Telford, W.M., Goldrat, L.P., dan Sheriff, R.P., 1976, *Applied Geophysics 1st ed*, Cambridge University Pres, Cambridge.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., Keys, D.A. (1982). *Applied Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Telford, W.M., Goldrat, L.P., dan Sheriff, R.P., 1990, *Applied Geophysics 2nd ed*, Cambridge University Pres, Cambridge.
- Todd, D. K., 1955. *Groundwater Flow in Relation to a Flooding Stream*. Am. Soc. Civil Eng. Proc., 81 Separate No. 628.
- Todd, D. K., 1980. *Groundwater Hydrogeology*. New York : Willey
- Widjiono, B.S dan Budi S. 2007. *Anomali Gaya Berat, Kegempaan, Serta*

*Kelurusan Struktur Geologi Daerah Jogjakarta dan Sekitarnya. JGSD Vol XVII No.2.*

Whitehead, N dan C. Musselman, 2007. *Tutorial: Montaj Magmap Filtering (2D Frequency Domain Processing of Potential Field Data Extention for Oasis Montaj 6.4)*, Geosoft Inc.

## LAMPIRAN

### A. DATA LAPANGAN GEOLISTRIK

<b>DATA PENDUGAAN GEOLISTRIK (METODE RESISTIVITY SCHLUMBERGER )</b>							
NO.STA : 1		Azimut : N 103° E					
Lokasi : Bebean		Cuaca : Cerah					
Tanggal : 17 Juni 2019		Koordinat : S= 07°54'55,5" E= 110°18'15,5"					
Alat : OYO McOHM		Elevasi : 55 m					
No	AB/2	MN/2	I (mA)	V (mV)	R (ohm)	K	Rho (ohm*m)
1	1.5	0.5	2	15.8	7.91	6.28	45
2	3	0.5	2	2.46	1.23	27.48	33
3	5	0.5	2	0.78	0.39	77.72	30
4	5	3	2	7.6	3.80	8.37	30
5	10	3	2	1.14	0.57	47.62	27
6	10	5	2	2.62	1.31	23.55	30
7	20	5	1.99	0.45	0.23	117.75	26
8	30	5	2	0.2	0.10	274.75	27
9	30	10	1.99	0.41	0.21	125.60	25
10	40	10	1.99	0.21	0.11	235.50	24
11	50	10	1.99	0.15	0.08	376.80	28
12	50	20	1.99	1.22	0.62	164.85	54
13	60	20	4.99	0.38	0.08	251.20	20
14	70	20	4.99	0.27	0.05	353.25	20
15	80	20	4.99	0.21	0.04	471.00	20
16	90	20	4.99	0.12	0.02	604.45	20
17	100	20	4.99	0.15	0.03	753.60	23
18	100	30	4.99	0.48	0.10	476.23	32
19	110	30	4.99	0.12	0.02	586.13	20
20	120	30	4.99	1.13	0.23	706.50	63
21	130	30	4.99	0.64	0.13	837.33	52
22	140	30	4.99	0.1	0.02	978.63	22
23	140	50	4.99	0.2	0.04	536.94	24
24	160	50	4.99	0.05	0.01	725.34	10
25	180	50	9.99	0.1	0.01	938.86	10
26	200	50	9.99	0.11	0.01	1177.50	13
27	210	50	9.99	0.14	0.01	1306.24	15
28	220	50	9.99	0.1	0.01	1441.26	15
29	220	80	9.99	1.04	0.12	824.25	51
30	230	80	9.99	1.12	0.13	912.56	56
31	240	80	9.99	1.13	0.11	1004.80	56
32	250	80	9.99	2.74	0.27	1100.96	95







**DATA PENDUGAAN GEOLISTRIK  
(METODE RESISTIVITY SCHLUMBERGER )**

No.STA : 5

Azimut : N 250° E

Lokasi : SMK 1 Pandak

Cuaca : Cerah

Tanggal : 18 Juni 2019

Koordinat : X= 422392, Y= 9124326

Alat : OYO McOHM

Elevasi : 49m

No	AB/2	MN/2	I (mA)	V (mV)	R (ohm)	K	Rho (ohm*m)
1	1.5	0.5	5	0.04	0.01	6.28	26
2	3	0.5	5	0.08	0.02	27.48	34
3	5	0.5	5	0.03	0.01	77.72	32
4	5	3	5	0.04	0.01	8.37	27
5	10	3	5	0.03	0.01	47.62	34
6	10	5	5	0.01	0.00	23.55	25
7	20	5	9.99	0.08	0.01	117.75	65
8	30	5	10	0.03	0.00	274.75	62
9	30	10	9.99	0.04	0.00	125.60	45
10	40	10	9.99	0.05	0.01	235.50	80
11	50	10	9.99	0.03	0.00	376.80	82
12	50	20	9.99	0.01	0.00	164.85	59
13	60	20	19.9	0.03	0.00	251.20	48
14	70	20	99.99	0.02	0.00	353.25	63
15	80	20	99.99	0.34	0.00	471.00	78
16	90	20	99.99	0.16	0.00	604.45	57
17	100	20	99.99	0.14	0.00	753.60	62
18	100	30	99.99	0.21	0.00	476.23	65
19	110	30	99.99	0.1	0.00	586.13	59
20	120	30	99.99	0.14	0.00	706.50	62
21	130	30	99.99	0.08	0.00	837.33	76
22	140	30	99.99	0.35	0.00	978.63	80
23	140	50	99.99	0.32	0.00	536.94	73
24	160	50	99.99	0.22	0.02	725.34	86
25	180	50	99.99	0.5	0.01	938.86	82
26	200	50	99.99	0.5	0.00	1177.50	87
27	210	50	99.99	0.23	0.02	1306.24	95
28	220	50	99.99	0.07	0.00	1441.26	87
29	220	80	99.99	0.09	0.00	824.25	70
30	230	80	99.99	0.3	0.00	912.56	64
31	240	80	99.99	0.18	0.00	1004.80	63
32	250	80	99.99	0.11	0.00	1100.96	63



## B. DATA KULITAS AIR

TABEL PARAMETER FISIKA SAMPEL AIR

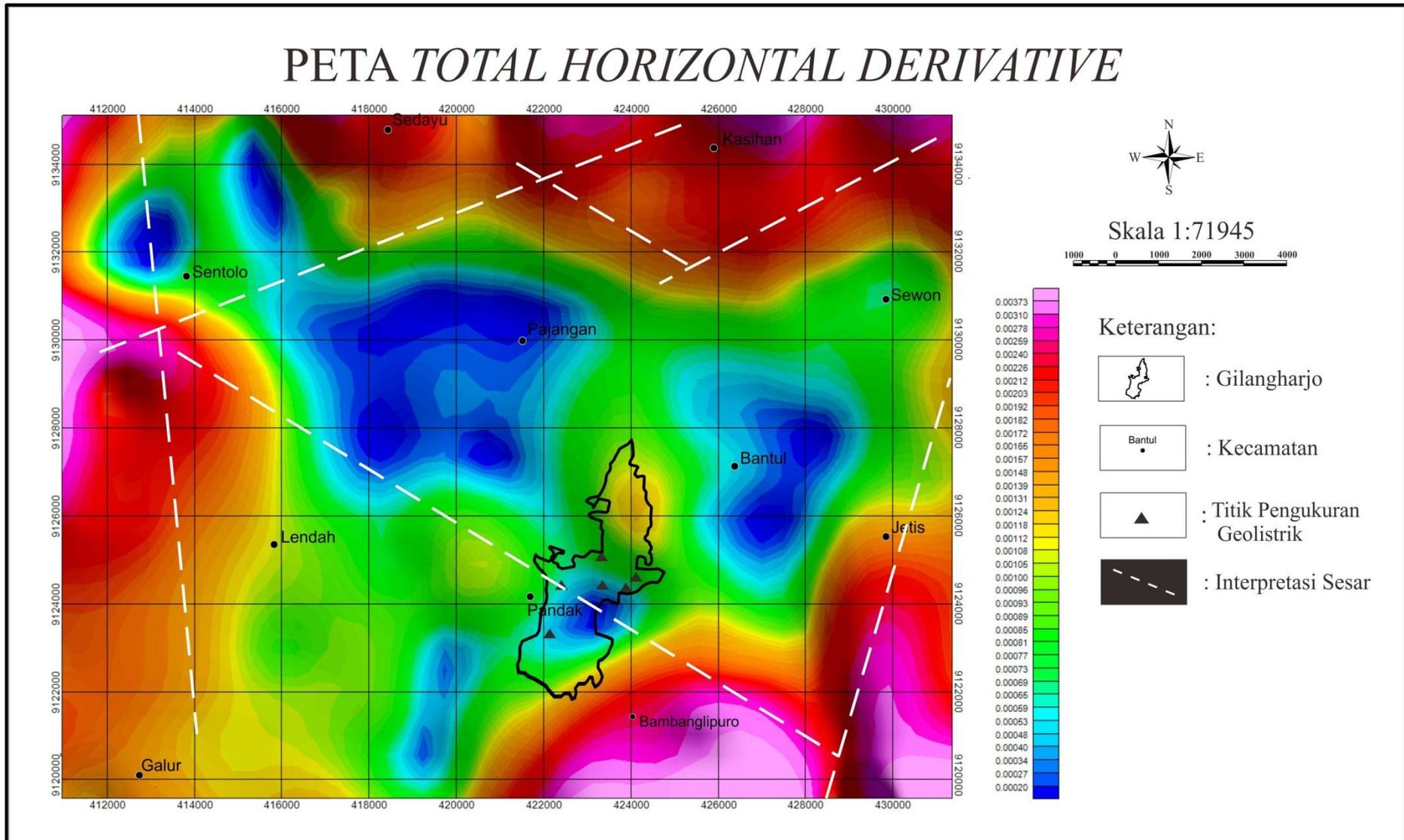
No. LP	Koordinat			Sifat Fisik						
	X	Y	Z	Warna	Bau	Rasa	pH	TDS	DHL	Suhu
1	421425	9122602	63.2653	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7	<b>470</b>	<b>960</b>	28.5
2	421728	9122666	63.298	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.2	<b>480</b>	<b>930</b>	27.6
3	422027	9122884	65.4958	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.4	<b>260</b>	<b>500</b>	28
4	422195	9122555	38.2417	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.47	<b>380</b>	<b>710</b>	28.4
5	422528	9122441	31.8044	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.38	<b>500</b>	<b>970</b>	27.2
6	422557	9122008	25.2146	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.14	<b>490</b>	<b>940</b>	28.3
7	422320	9122133	33.0442	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.45	<b>410</b>	<b>770</b>	28.2
8	422672	9122967	27.7768	Agak Keruh	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.64	<b>280</b>	<b>530</b>	28.9
9	422890	9122924	28.7449	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.6	<b>270</b>	<b>520</b>	30
10	422843	9122592	30.0054	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.2	<b>330</b>	<b>630</b>	29.1
11	422859	9122584	29.2346	Agak Keruh	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.7	<b>270</b>	<b>520</b>	28.2
12	423897	9124286	35.1383	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.34	<b>260</b>	<b>500</b>	30.2
13	423650	9124262	32.971	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.14	<b>350</b>	<b>660</b>	29
14	423049	9124136	37.6321	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.59	<b>320</b>	<b>630</b>	28.4
15	423011	9123943	40.1316	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.72	<b>530</b>	<b>990</b>	28.2
16	422832	9124108	42.7163	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.7	<b>400</b>	<b>750</b>	28
17	422446	9124090	39.1468	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.51	<b>460</b>	<b>880</b>	29.3
18	422940	9124469	45.5404	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.9	<b>470</b>	<b>790</b>	28.5
19	422867	9124526	44.5282	Agak Keruh	Tidak Berbau	Asin	7.47	<b>1030</b>	<b>1960</b>	26.4
20	422128	9124394	35.0499	Tidak Berwarna		Tidak Berasa	7.75	<b>290</b>	<b>550</b>	28.4
21	423695	9125092	34.772	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.7	<b>170</b>	<b>320</b>	26.3
22	423960	9125604	39.8387	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.53	<b>290</b>	<b>550</b>	27
23	423993	9126976	39.9797	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.41	<b>260</b>	<b>500</b>	28.7
24	423986	9126603	39.3571	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.8	<b>190</b>	<b>320</b>	29.2
25	424268	9126305	38.3474	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.73	<b>240</b>	<b>470</b>	28.4
26	424093	9125247	36.0819	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.32	<b>370</b>	<b>700</b>	28.9
27	424476	9124974	35.0002	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.76	<b>250</b>	<b>480</b>	30
28	424412	9125891	35.0894	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.65	<b>230</b>	<b>450</b>	29.4
29	422123	9124637	29.1008	Agak Keruh	Tidak Berbau	Agak Sepet	7.46	<b>890</b>	<b>1690</b>	27.9
30	422956	9124864	40.076	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Asin	6.91	<b>1210</b>	<b>2300</b>	27.8
31	423371	9124874	30.3872	Ada Kuning - kuning	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.48	<b>260</b>	<b>500</b>	28
32	423468	9124469	35.484	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.56	<b>530</b>	<b>1070</b>	28.1
33	423559	9124485	40.9426	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.65	<b>430</b>	<b>890</b>	28.8
34	423485	9124560	38.7984	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.85	<b>310</b>	<b>620</b>	27.7
35	423383	9124502	28.8302	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.7	<b>450</b>	<b>900</b>	27.9
36	421887	9123406	57.8962	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.2	<b>450</b>	<b>910</b>	28.2
37	421830	9123100	70.8249	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.6	<b>400</b>	<b>790</b>	29.1
38	421626	9123026	70.5843	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.6	<b>540</b>	<b>1080</b>	28.4
39	421682	9123201	63.8739	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.49	<b>200</b>	<b>400</b>	29
40	421666	9123423	44.9492	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.75	<b>420</b>	<b>850</b>	29.1
41	421536	9123614	39.9022	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.5	<b>510</b>	<b>1020</b>	28.2
42	421795	9123870	35.0242	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.8	<b>580</b>	<b>1170</b>	28.6
43	421946	9123817	40.2891	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.7	<b>500</b>	<b>1010</b>	28.8
44	421711	9123953	33.5247	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Asin	6.8	<b>700</b>	<b>1400</b>	27.9
45	422175	9123812	50.4665	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.8	<b>680</b>	<b>1360</b>	27.7

No. LP	Koordinat			Sifat Fisik						
	X	Y	Z	Warna	Bau	Rasa	pH	TDS	DHL	Suhu
46	422279	9123959	42.6809	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.7	570	1150	28.9
47	422521	9123675	34.6985	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.75	600	1210	28.8
48	422504	9123336	26.5649	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa				
49	422315	9123103	34.6004	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.7	370	740	29.1
50	422205	9123065	55.4469	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.25	380	760	29.1
51	422082	9123082	69.066	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.8	290	590	29.7
52	422165	9123431	57.3892	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.34	330	700	28.2
53	422518	9124317	42.466	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.8	400	790	29.5
54	422187	9124271	40.2814	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7	360	720	29.4
55	422062	9124174	49.8949	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.57	470	940	29.3
56	422417	9124372	36.0564	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Asin	6.72	1700	3400	27.6
57	422411	9124330	35.3237	Keruh	Berbau	Asin	6.71	2670	5300	27.3
58	422359	9124082	40.5515	Keruh	Berbau	Agak Sepet	7.15	510	1020	28.2
59	422736	9124683	38.4463	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.8	790	1530	28.8
60	422902	9124662	46.5865	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.6	460	920	28.2
61	423034	9124794	40.1404	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.95	490	990	28.5
62	423162	9124695	36.6748	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.55	600	1200	29.1
63	422887	9124913	36.7256	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.7	340	680	28.7
64	422947	9124221	47.1376	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.8	380	770	25.5
65	423016	9123906	39.9944	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.6	510	1030	27.6
66	423008	9123880	38.9314	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.25	400	800	27.1
67	423045	9123798	35.1997	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Asin	6.7	1030	2080	29.3
68	423053	9123795	32.4807	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	7.63	850	1200	26.7
69	422712	9123993	35.9111	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.7	480	970	29.1
70	422396	9124236	32.9159	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Sepet	7.2	620	1230	25.9
71	423101	9124062	34.4867	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.8	530	870	28.4
72	423131	9124162	34.1233	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.87	320	650	27.8
74	423125	9124153	34.1233	Tidak Berwarna	Bau Besi	Tidak Berasa	6.75	830	760	27.5
75	423665	9124918	33.4695	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.9	310	630	29.5
76	423573	9124909	31.0542	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa				
77	423119	9124391	34.7667	Tidak Berwarna	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.88	500	1000	28.4
78	423213	9124612	34.65	Keruh	Tidak Berbau	Tidak Berasa	6.8	430	840	28.4

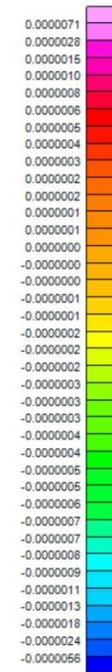
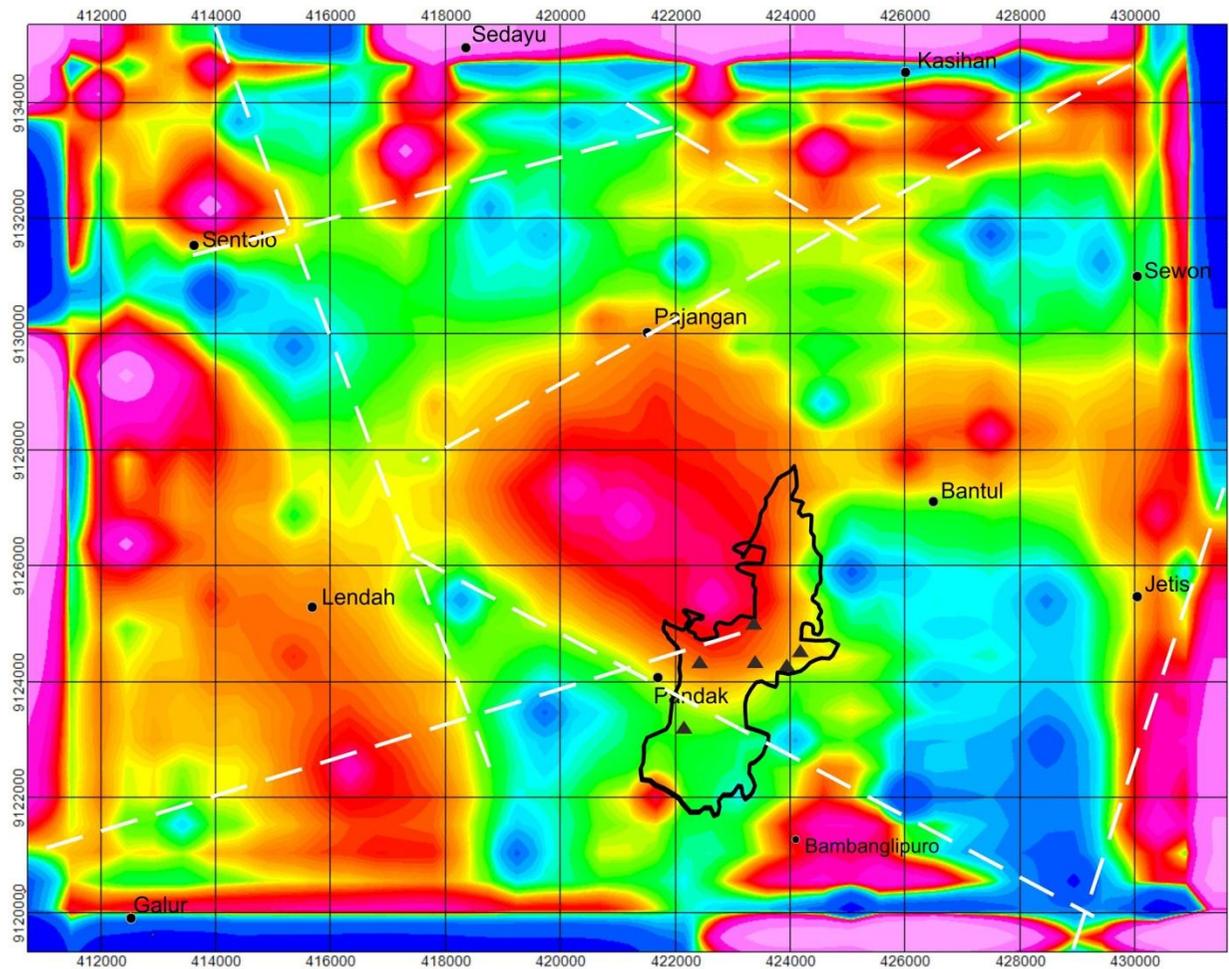
TABEL PARAMETER KIMIA SAMPEL AIR (KANDUNGAN KLORIDA)

No. LP	Mata Air/Sumur	Daerah	Kode	Koordinat		Klorida (Cl)
				X	Y	mg/L
79	Mata Air	Sendang Plempoh	12765	422110	9123256	25
57		SMK Pertanian	12766	422411	9124330	<b>317.4</b>
30		Bebekan	12767	422956	9124864	<b>344.9</b>
74		Bongsren	12768	423125	9124153	24
12		Watu Gilang	12984	423877	9124286	25.5
24		Kadisolo	12985	423986	9126603	12.5
31		Kadekrowo	12986	423359	9124910	22
80	Mata Air	Bebekan	12987	423267	9125034	19.5
34		Tambalan Lor	12988	423485	9124560	31.5
33		Tambalan Kidul	12989	423559	9124485	125
13		Kauman	12990	423650	9124262	37.5
67		Bongsren	12991	423045	9123798	37.2
2		Gunting	12992	421425	9122602	41.5

C. HASIL PENGOLAHAN METODE GRAVITASI DENGAN BEBERAPA FILTER



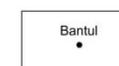
# PETA *SECOND VERTICAL DERIVATIVE*



Keterangan:



: Gilangharjo



: Kecamatan



: Titik Pengukuran  
Geolistrik



: Interpretasi Sesar

## D. TEORI DASAR

### 1. GRAVITASI

#### a. Hukum Dasar

Hukum newton menyatakan bahwa '*gaya tarik-menarik antar benda berbanding lurus dengan kedua massa benda tersebut dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antar keduanya*' yang dirumuskan sebagai berikut:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Apabila suatu benda bermassa  $m$  mengalami gaya sebesar  $F$ . Maka benda tersebut mengalami percepatan sebesar  $a$  seperti yang dinyatakan oleh hukum newton yaitu :

$$F = m \times a$$

Dimana percepatan sebagai  $a$  ini merupakan percepatan gravitasi bumi ( $g$ ).

Dari kedua hukum Newton tersebut persamaan berlaku persamaan baru yaitu:

$$g = G \frac{M}{r^2}$$

Dapat dikatakan bahwa percepatan gravitasi merupakan gaya gravitasi persatuan massa benda. Percepatan gravitasi sering disebut juga dengan medan gravitasi. dengan:

F	= gaya gravitasi
G	= konstanta gravitasi ( $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ )
M ( $m_1$ )	= massa bumi
$m_2$	= massa benda
r	= jari-jari bumi

Medan gravitasi merupakan medan yang menyebar dari benda bermassa dan memenuhi ruang inilah yang disebut sebagai. Medan gravitasi dapat didefinisikan sebagai ruang di sekitar suatu benda bermassa dimana benda bermassa lainnya dalam ruang itu akan mengalami gaya gravitasi. Dengan  $M$  merupakan massa bumi dan  $R$  adalah jari-jari bumi yang dianggap homogen dan tidak berotasi, maka medan gravitasi dapat dinyatakan dengan gradien dari fungsi skalar  $U$ .

$$g = -\nabla U$$

Dari persamaan tersebut, percepatan dari titik massa manapun ke suatu titik berjarak  $R$  dari pusat massa  $M$  dapat ditulis sebagai berikut:

$$U = \int_{\infty}^R g \, dr$$
$$U = GM \int_{\infty}^R \frac{dr}{r}$$

$$U = \frac{GM}{R}$$

#### b. Pemodelan Data Gravitasi

Dalam pemodelan gravitasi secara umum dibagi mejadi dua cara, yaitu pemodelan ke depan (*forward modelling*) dan inversi (*inverse modelling*). Pemodelan merupakan suatu proses estimasi model dan parameter model berdasarkan data yang diamati. Model tidak hanya merepresentasikan kondisi geologi oleh besaran fisis tetapi juga mencakup hubungan matematik atau teoritik antara parameter model dengan respon model.

*Forward modelling* adalah suatu metode interpretasi yang yang digunakan untuk memperkirakan densitas bawah permukaan berdasarkan pencocokan kurva. Pemodelan kedepan ini menggunakan proses *trial and error* untuk memperoleh kesesuaian antara data lapangan dengan model (Grandis, 2009). Menurut Talwani (1959), *forward modelling* untuk menghitung efek gayaberat model benda bawah permukaan dengan penampang berbentuk sembarang yang dapat diwakili oleh suatu poligon bersisi n dinyatakan sebagai integral garis sepanjang sisi-sisi poligon.

*Inverse modelling* merupakan pemodelan iteratif otomatis; ini akan dilakukan oleh algoritma komputer sehingga dari sudut pandang *interpreter*, parameter model tampak seolah-olah diperoleh langsung dari serangkaian pengamatan lapangan, dengan atau tanpa campur tangan pengguna pada tingkat tertentu. Pemodelan inversi adalah proposisi yang sederhana bagi *interpreter*, dalam beberapa kasus tampaknya mengurangi prosedur interpretasi. Namun, keterbatasan matematis dari logaritma inversi dan fenomena geofisika yang non-unik bergabung untuk menghasilkan banyak model yang mungkin sesuai dengan data. Hasil dari inversi adalah salah satu dari jumlah kemungkinan yang terbatas, dan memilih yang terbaik sering menjadi tantangan bagi *interpreter*. Pemodelan maju mungkin lebih lambat dan membutuhkan keterampilan, namun proses tersebut memberikan pemahaman yang lebih baik bagi *intepreter* mengenai data dan bawah permukaan.

### c. Anomali Bouguer

Anomali bouguer adalah anomali yang disebabkan oleh variasi densitas secara lateral pada batuan di kerak bumi yang telah berada pada bidang referensi yaitu bidang geoid. Dalam eksplorasi gravitasi yang diperhitungkan hanya faktor densitas bawah permukaannya, namun pembacaan nilai gravitasi secara umum dipengaruhi oleh 5 faktor yaitu posisi lintang, perbedaan ketinggian, topografi sekitar pengukuran, pasang surut bumi serta variasi densitas bawah permukaan. Untuk mendapatkan nilai anomali bouguer, maka perlu dilakukan koreksi untuk menghilangkan pengaruh dari faktor yang mempengaruhi pembacaan gravitasi.

#### 1) Koreksi penyimpangan alat (*instrumental drift correction*)

Koreksi penyimpangan alat merupakan koreksi pada data gravitasi akibat perbedaan pembacaan nilai gravitasi di stasiun yang sama pada waktu yang berbeda oleh gravimeter, perbedaan tersebut disebabkan karena terjadi guncangan pegas dan perubahan temperatur pada alat gravimeter selama proses perjalanan dari satu stasiun ke stasiun berikutnya. Komponen gravimeter dirancang dengan sistem keseimbangan pegas yang dilengkapi dengan massa beban yang tergantung diujungnya. Karena pegas yang tidak elastis sempurna, maka sistem pegas mengembang dan menyusut perlahan sebagai fungsi waktu. Untuk menghilangkan efek tersebut, proses akuisisi data atau pengukuran dirancang dalam suatu lintasan tertutup sehingga besar penyimpangan tersebut dapat diketahui.

#### 2) Koreksi Pasang Surut

Koreksi pasang surut ini disebabkan karena pengaruh gaya tarik yang dialami bumi akibat massa bulan dan matahari. Koreksi pasang surut harus diberikan kepada bumi untuk menyeimbangkan posisi normal nilai  $g$  akibat adanya pengaruh pasang surut. Posisi matahari dan bulan akan menghasilkan tarikan terhadap bumi dan menyebabkan adanya pasang surut muka air laut.

#### 3) Koreksi udara bebas (*free air correction*)

Koreksi udara bebas bertujuan untuk mereduksi pengaruh elevasi dan kedalaman titik pengukuran atau perbedaan nilai gravitasi yang terletak di *mean sea level* (geoid) dengan gravitasi yang terukur dengan elevasi  $h$ .

#### 4) Koreksi bouguer (*bouguer correction*)

Koreksi bouguer memperhitungkan massa batuan yang terdapat di antara stasiun pengukuran dengan bidang geoid. Koreksi ini dilakukan dengan menghitung tarikan gravitasi yang disebabkan oleh batuan berupa slab dengan ketebalan (H) dan densitas rata-rata ( $\rho$ ).

Pada koreksi bouguer jika titik pengukuran berada diatas bidang geoid maka koreksi akan dikurang. Hal ini dikarenakan kandungan massa diatas bidang geoid membuat nilai gravitasi titik pengukuran lebih besar dari nilai gravitasi dibidang geoid, sehingga untuk menarik titik pengukuran ke bidang geoid koreksi harus dikurang dan juga sebaliknya jika titik pengukuran berada dibawah bidang geoid maka koreksi harus ditambah.

#### 5) Koreksi medan (*terrain correction*)

Koreksi medan atau topografi dilakukan untuk mengoreksi adanya pengaruh penyebaran massa yang tidak teratur di sekitar titik pengukuran. Dalam koreksi bouguer diasumsikan bahwa titik pengukuran di lapangan berada pada suatu bidang datar yang sangat luas. Sedangkan seringkali kenyataan di lapangan memiliki topografi yang tak merata seperti adanya lembah dan bukit. Maka jika hanya dilakukan koreksi bouguer saja hasilnya akan kurang lengkap.

## 2. GEOLISTRIK

### a. Hukum Dasar

Prinsip dasar metode geolistrik tahanan jenis adalah Hukum *Ohm*. Dimana hambatan diperoleh dengan mengukur beda potensial dan arus yang di lewatkan dalam suatu penghantar.

$$V = I R$$

dengan:

V = tegangan

I = arus

R = resistansi

Resistansi merupakan daya hambat listrik suatu material yang dialiri arus listrik, yang merupakan sifat dan ukuran dari material tersebut. Resistansi akan berbanding lurus dengan panjang (L) dan berbanding terbalik dengan luas penampang (A) suatu material. Perlu dilakukan “normalisasi” resistansi agar

menghilangkan kebergantungan harga resistansi dengan ukuran material. “Normalisasi” dilakukan dengan membagi R dengan panjang (L) dan 1/A sehingga diperoleh besaran resistivitas ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{RA}{L}$$

Gaya Coulomb memiliki beberapa pengertian, yaitu : gaya antar elektron dan proton yang membentuk atom ; gaya antar atom yang membentuk molekul; gaya antar molekul yang membentuk material besar, atau gaya antar atom-atom membentuk yang kristal-kristal besar. Gaya Coulomb menyebabkan elektron-elektron mengalir dalam konduktor sehingga muncul arus atau listrik. Gaya Coulomb dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}$$

dengan:

- $F_{12}$  = gaya coulomb
- $q_1$  = muatan partikel 1
- $q_2$  = muatan partikel 2
- $r_{12}^2$  = jarak antar dua muatan

Gaya Coulomb yang muncul karena muatan  $q_1$  menghasilkan medan listrik pada posisi muatan  $q_2$ . Muatan  $q_2$  berinteraksi dengan medan yang dihasilkan muatan  $q_1$  dan interaksi tersebut menghasilkan gaya pada muatan  $q_2$ . Jika medan listrik yang dihasilkan muatan  $q_1$  pada posisi muatan  $q_2$  dinyatakan sebagai  $\vec{E}_{12}$  maka gaya yang dilakukan oleh muatan  $q_1$  pada muatan  $q_2$  dapat dirumuskan sebagai

$$\vec{F}_{12} = q_2 \vec{E}_{21}$$

Dengan memasukkan persamaan Hukum Coulomb maka persamaan diatas menjadi

$$\vec{E}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{|\vec{r}_{21}|^3} \vec{r}_{21}$$

Jika dinyatakan dalam notasi skalar maka medan listrik yang dihasilkan muatan sembarang pada muatan berjarak r dari muatan tersebut adalah

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

b. Konfigurasi dalam Metode Geolistrik

- Wenner Alpha

Konfigurasi elektroda Wenner Alpha memiliki susunan C1-P1-P2-C2. Konfigurasi ini sensitif terhadap perubahan lateral local dan dangkal. Dengan jarak C-P yang relative pendek, maka penetrasi lebih besar sehingga berlaku untuk eksplorasi resistivitas dalam. Pada bidang homogen data lebih mudah di proses dan di mengerti dengan *error* yang kecil. Di karenakan setiap pengukurannya ada pemindahan elektroda maka di perlukan tenaga yang lebih banyak. Faktor geometri yang di gunakan  $k = 2\pi a$

- Wenner Beta

Konfigurasi Wenner Beta memiliki susunan C2-C1-P1-P2 dengan posisi elektroda yang berdekatan. Kelebihan dan kekurangan pada konfigurasi Wenner Beta ini kurang lebih serupa dengan konfigurasi Wenner Alpha dengan sedikit perbedaaan sensitifitas yang terlebih pada arah *horizontal* sehingga penetrasi pada konfigurasi ini tidak sedalam Wenner Alpha. Faktor geometri yang di gunakan  $k = 6\pi a$ .

- Wenner Gamma

Konfigurasi Wenner Gamma memiliki susunan C1-P1-C2-P2. Tidak beda jauh dengan konfigurasi Wenner lainnya tetapi empuyai susunan elektroda yang berseling-seling. Konfigurasi ini dapat memetakan bagian elektroda terluar dan bukan bagian bawah dari pusat konfigurasi. Faktor geometri yang di gunakan adalah  $k = 3\pi a$ .

- Wenner Schlumberger

Konfigurasi Wenner Schlumberger memiliki susunan C1-P1-C2-P2. Idealnya jarak teoritis MN di buat sekecil-kecilnya dengan jarak yang jarang di ubah-ubah. Konfigurasi ini dapat mendeteksi lapisan batuan yang tidak homogn dengan membandingkan resistvitas semu dangan perubaha jarak katoda. Kelemahanya pembacaan elektoda MN lebih kecil kita jaraknya relative jauh sehingga factor geoetri sudah terdeviasi. Faktor geometri yang di gunakan  $k = \pi n(n+1)a$ .

- Pole-Pole

Konfigurasi Pole-Pole memiliki susunan C2-C1-P1-P2. Idealnya hanya menggunakan satu elektroda arus dan satu elektroda potensial atau pada susunan C2-P2 terletak relative jauh terhadap C1-P2. Hasil pada konfigurasi ini dapat menghasilkan profil yang baik secara horizontal maupun secara vertical. Jika jarak elektroda P2-P1 terlalu jauh akan meningkatkan *noise telluric* yang menurunkan kualitas data. Bisa di gunakan dalam keperluan arkeologi. Faktor geometri yang di gunakan  $k = \pi n(n + 1)(n+2)$

- Dipole-Dipole

Konfigurasi Dipole-Dipole memiliki susunan C2-C1-P1-P2. Dalam menambahkan penetrasi pada jara maka '*current dipole*' dan '*potential dipole*' di perpanjang jaraknya, sedangkan elektroda arus dan potensialnya dibuat tetap. Keuntunganya tanpa menggunakan uluran kabel yang lebih panjang tetapi dapat menjangkau penetrasi yang lebih dalam. Batuan yang di ukur di anggap sebagai homogen. Di gunakan secara baik dalam eksplorasi mineral sulfide dan bahan tambang yang relative dangkal. Faktor geometri yang di gunakan adalah  $k = \pi n(n + 1)(n + 2)$ .

- Pole-Dipole

Konfigurasi Pole-Dipole memiliki susunn C1-P1-P2. Penggabunan dari kongurasi pole-pole dan dipole-dipole. Pada elektroda arus di tanam pada jarak tak terhingga dimana jarakna di gunakan pada 5-10x dalam target pengukuran. Faktor geometri yang di gunakan adalah  $k = 2\pi n(n + 1)a$ .

- **Konfigurasi Schlumberger**

Pada konfigurasi Schlumberger idealnya jarak MN dibuat sekecil-kecilnya, sehingga jarak MN secara teoritis tidak berubah. Tetapi karena keterbatasan kepekaan alat ukur, maka ketika jarak AB sudah relatif besar maka jarak MN hendaknya dirubah. Perubahan jarak MN hendaknya tidak lebih besar dari 1/5 jarak AB.

Kelemahan dari konfigurasi Schlumberger ini adalah pembacaan tegangan pada elektroda MN adalah lebih kecil terutama ketika jarak AB yang relatif jauh, sehingga diperlukan alat ukur multimeter yang mempunyai karakteristik 'high impedance' dengan akurasi tinggi yaitu yang bisa mendisplay tegangan minimal 4

digit atau 2 digit di belakang koma. Atau dengan cara lain diperlukan peralatan pengirim arus yang mempunyai tegangan listrik DC yang sangat tinggi.

Sedangkan keunggulan konfigurasi Schlumberger ini adalah kemampuan untuk mendeteksi adanya non-homogenitas lapisan batuan pada permukaan, yaitu dengan membandingkan nilai resistivitas semu ketika terjadi perubahan jarak elektroda MN/2.

Agar pembacaan tegangan pada elektroda MN bisa dipercaya, maka ketika jarak AB relatif besar hendaknya jarak elektroda MN juga diperbesar. Pertimbangan perubahan jarak elektroda MN terhadap jarak elektroda AB yaitu ketika pembacaan tegangan listrik pada multimeter sudah demikian kecil, misalnya 1.0 milliVolt.

Umumnya perubahan jarak MN bisa dilakukan bila telah tercapai perbandingan antara jarak MN berbanding jarak AB = 1 : 20. Perbandingan yang lebih kecil misalnya 1 : 50 bisa dilakukan bila mempunyai alat utama pengirim arus yang mempunyai keluaran tegangan listrik DC sangat besar, katakanlah 1000 Volt atau lebih, sehingga beda tegangan yang terukur pada elektroda MN tidak lebih kecil dari 1.0 milliVolt.