



TUGAS AKHIR SF 184801

**APLIKASI METODE GEOLISTRIK TAHANAN
JENIS KONFIGURASI DIPOLE-DIPOLE
UNTUK IDENTIFIKASI INTRUSI AIR LAUT DI
KOTA SEMARANG**

**AMANDA RIZKY UTAMI
NRP 0111154000011**

**Dosen Pembimbing
Dr. rer. nat. Eko Minarto
Dr. Lina Handayani**

**Departemen Fisika
Fakultas Sains
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**



TUGAS AKHIR SF 184801

**APLIKASI METODE GEOLISTRIK TAHANAN
JENIS KONFIGURASI DIPOLE-DIPOLE
UNTUK IDENTIFIKASI INTRUSI AIR LAUT DI
KOTA SEMARANG**

**AMANDA RIZKY UTAMI
NRP 0111154000011**

**Dosen Pembimbing
Dr. rer. nat. Eko Minarto
Dr. Lina Handayani**

**Departemen Fisika
Fakultas Sains
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - SF 184801

**APPLICATION OF GEOELECTRICAL RESISTIVITY METHODS
WITH DIPOLE-DIPOLE CONFIGURATION TO IDENTIFY
SEAWATER INTRUSION IN SEMARANG**

**AMANDARIZKY UTAMI
NRP 0111134000011**

**Advisor Lecturer
Dr. rer. nat. Eko Minarto
Dr. Lina Handayani**

**Department Of Physics
Faculty Of Sciences
Surabaya
2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**APLIKASI METODE GEOLISTRIK TAHANAN JENIS
KONFIGURASI DIPOLE-DIPOLE UNTUK IDENTIFIKASI
INTRUSI AIR LAUT DI KOTA SEMARANG**

Dajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan
Program Program S-1
Pada
Bidang Studi Geofisika
Program Studi S-1 Departemen Fisika
Fakultas Sains
Oleh :

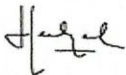
AMANDA RIZKY UTAMI
0111154000011

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. rer. nat. Eko Minarto
NIP. 19750205199903.1.004


(.....)

Dr. Lina Handayani
NIP. 196902061994032004


(.....)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

APLIKASI METODE GEOLISTRIK TAHANAN JENIS KONFIGURASI DIPOLE-DIPOLE UNTUK IDENTIFIKASI INTRUSI AIR LAUT DI KOTA SEMARANG

Nama : Amanda Rizky Utami
NRP : 0111154000011
Departemen : Fisika FS ITS
Dosen Pembimbing : Dr. rer. nat. Eko Minarto
Dr. Lina Handayani

ABSTRAK

Kawasan pesisir utara Kota Semarang mengalami berbagai permasalahan lingkungan seperti penurunan muka tanah, banjir rob, peningkatan kandungan chlorida pada beberapa sumur pantau, dan sumur gali penduduk yang terasa asin. Permasalahan tersebut mengindikasikan terjadinya penurunan kualitas air tanah akibat intrusi air laut. Intrusi air laut merupakan permasalahan lingkungan yang berdampak pada banyak aspek kehidupan seperti gangguan kesehatan, penurunan kesuburan tanah, dan kerusakan bangunan. Masalah dugaan intrusi air laut ini dapat diidentifikasi dengan metode geolistrik tahanan jenis dengan konfigurasi dipole-dipole multielectrode. Penelitian bertujuan untuk mengidentifikasi adanya zona intrusi air laut pada air tanah dan memperkirakan jauhnya sebaran intrusi air laut ke daratan. Pengambilan data dilakukan di sepanjang banjir kanal barat. Data yang didapatkan berupa sebaran nilai resistivitas semu bawah permukaan lintasan pengukuran. Pengolahan data dilakukan dengan software EarthImager 2D. Berdasarkan hasil interpretasi model penampang 2D, zona yang teridentifikasi sebagai zona intrusi air laut diduga mempunyai harga resistivitas rendah, kurang dari 3

Ohm.m ($\rho < 30\text{Ohm.m}$) berada pada bentangan 0-2600 meter. Intrusi air laut tebal dibagian utara pada kedalaman 70 meter menipis dibagian selatan pada meter ke 2600. Pada bentangan 2600-7000 meter masih dijumpai tahanan jenis rendah dalam bentuk stempat-setempat tidak menerus. Perkiraan jauhnya sebaran intrusi air laut lebih detail ke daratan perlu diteliti lebih lanjut dengan menggunakan metode geofisika lainnya dan pengujian pada sumur pantau atau sumur penduduk disekitar lokasi penelitian untuk hasil yang lebih akurat.

Kata Kunci: EarthImager 2D, Geolistrik Dipole-Dipole, Intrusi Air Laut, Semarang, Tahanan Jenis.

APPLICATION OF GEOELECTRICAL RESISTIVITY METHODS WITH DIPOLE-DIPOLE CONFIGURATION TO IDENTIFY SEAWATER INTRUSION IN SEMARANG

Name : AMANDA RIZKY UTAMI
NRP : 0111154000011
Department : Physics, FS-ITS
Advisor Lecturer : Dr. rer. nat. Eko Minarto
Dr. Lina Handayani

ABSTRACT

The northern coastal area of Semarang City has various environmental problems such as land subsidence, tidal floods, increased chloride content in several monitoring wells, and population's dug wells that felt brackish to salty. These problems indicate a decrease in the quality of ground water due to seawater intrusion. Seawater intrusion is an environmental problem that affects many aspects of life such as health problems, decreased soil fertility, and damage to buildings. Seawater intrusion can be identified by geoelectric resistivity method with dipole-dipole multielectrode configuration. The research aims to identify the presence of seawater intrusion zones in groundwater and estimate the spread of seawater intrusion to the land. Data collection was carried out along the western canal flood. The data obtained is in the form of the distribution of the apparent pseudo-resistivity value of the measurement path. Data is processed using EarthImager 2D software. Based on the results of the 2D cross section model, the zone identified as a seawater intrusion's zone is thought to have a low resistivity price, less than 3 Ohm.m ($\rho < 3 \text{ Ohm.m}$) in a range of 0-2600 meters.

Seawater intrusion has 70 meters depth and thinning at the south at 2600 meters. From range 2600-7000 meters, there is still low resistivity in the form of a uncontinuous local-quarters. Estimates of the distribution of more detailed seawater intrusion into the land need to be examined in more detail by using various geophysical methods and monitoring wells of residents.

Keywords: EarthImager 2D, Geoelectric Dipole-Dipole, Resistivity, Seawater Intrusion, Semarang.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang selalu memberikan petunjuk, kemudahan serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan topik *“Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Dipole-Dipole Untuk Identifikasi Intrusi Air Laut di Kota Semarang”*. Penulis menyadari dengan terselesaikannya penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. rer. Nat. Eko Minarto selaku dosen pembimbing, terima kasih atas saran-saran dan kesabarannya dalam membimbing.
2. Ibu Lina Handayani selaku pembimbing I dari Puslit Geoteknologi LIPI, terima kasih atas saran-saran dan kesabarannya dalam membimbing.
3. Bapak Yayat Sudrajat selaku pembimbing II dari Puslit Geoteknologi LIPI, terima kasih atas saran-saran, pembelajaran, dan kesabarannya dalam membimbing selama pengolahan data di Puslit Geoteknologi LIPI.
4. Bapak Dr.Sungkono dan Bapak Arief Bustomi, M.Si selaku dosen penguji, terima kasih atas saran-saran dan motivasi bagi penulis.
5. Bapak Dr. Yono Hadi P., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS.
6. Bapak Eko Soebowo dan Bapak Fajar dari Puslit Geoteknologi LIPI yang telah banyak memberikan masukan dan pembelajaran kepada penulis.
7. Kedua orang tua penulis, yang selalu mensupport dalam segala hal agar cita-cita penulis tercapai.

8. Atha, adik dan teman yang selalu mensupport dan mendoakan, terimakasih banyak.
9. Shinta Kiky, yang selalu menjadi partner diskusi dan teman dalam segala hal. Terimakasih atas segala nasehat dan motivasinya.
10. Jarul dan Irda, teman seperjuangan sejak kerja praktek, terimakasih untuk segala hal, canda tawa, saran, dan motivasi kepada penulis.
11. Mercusuar 076 yang telah banyak semberikan nasihat, saran, motivasi kepada penulis, terimakasih untuk segalanya.
12. Keluarga besar AAPG ITS SC yang telah memberi banyak pengalaman kepada penulis.
13. Teman-teman Fisika ITS 2015.
14. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih banyak.

Penulis menyadari atas keterbatasan ilmu pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki, oleh karena itu penulis berharap dan akan menerima kritik dan saran yang bersifat membangun demi kebaikan penulisan Tugas Akhir ini. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan memberikan inspirasi bagi pembaca untuk berkembang lebih lanjut.

Surabaya, Juli 2019

Penulis
Amanda Rizky Utami

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
TITLE PAGE	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Metode Geolistrik Tahanan Jenis	7
2.2 Definisi Tahanan Jenis	8
2.3 Aliran Listrik Dalam Bumi	12
2.3.1 Potensial pada Bumi Homogen	12
2.3.2 Potensial Elektroda Arus Tunggal pada Permukaan Bumi Homogen	13
2.3.3 Potensial Dua Elektroda Arus pada Permukaan Bumi Homogen	14
2.4 Konfigurasi <i>Dipole-Dipole</i>	16

2.5 Sifat Kelistrikan Batuan	18
2.6 Intrusi Air Laut.....	22
2.7 Geologi Daerah Semarang	25
2.8 Inversi Non Linear Conjugate Gradient (NLCG).....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Daerah dan Waktu Penelitian.....	31
3.2 Pengumpulan Data	34
3.3 Tahapan Pengolahan Data.....	34
3.3.1 Data GPS	34
3.3.2 Data <i>Terrain</i>	34
3.3.3 Data Geolistrik.....	35
3.4 Interpretasi.....	37
3.5 Diagram Alir Penelitian	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Analisa Data	39
4.1.1 Analisa Data Lapangan.....	39
4.1.2 Pengolahan dengan <i>EarthImager 2D</i>	40
4.2 Hasil dan Pembahasan.....	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hubungan Antara Resisitansi, Arus, dan Tegangan	9
Gambar 2.2 Silinder Konduktor	9
Gambar 2.3 Titik Arus di Permukaan Bumi.....	13
Gambar 2.4 Potensial Dua Elektroda Arus pada Permukaan Bumi	15
Gambar 2.5 Konfigurasi <i>Dipole-Dipole</i> dengan 8 <i>Channel</i> Elektroda Penerima	17
Gambar 2.6 Posisi <i>Datum Point Dipole-Dipole</i>	18
Gambar 2.7 Penampang Melintang Pertemuan Air Laut dengan Air Tanah.....	23
Gambar 2.8 Ilustrasi Kedaan Alami Kesetimbangan Air Tanah dan Intrusi Air Laut	24
Gambar 2.9 Peta Geologi Lembar Semarang dengan Modifikasi	27
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian	31
Gambar 3.2 Peta Lintasan Pengukuran.....	32
Gambar 3.3 Foto Alat Geolistriksupersting R8/IP-56 Saat Akuisisi Data di Dalam Tenda	33
Gambar 3.4 Gambar Elektroda yang Tersambung pada <i>Transmitter</i> Arus dan Atau <i>Receiver</i> Tegangan	33
Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian	38
Gambar 4.1 Grafik <i>Convergence Curve of Resistivity Inversion</i>	41
Gambar 4.2 Grafik <i>Crossplot of Measured vs Predicted</i> <i>Apparent Resistivity</i>	42
Gambar 4.3 Penampang 2D Hasil Pengolahan Lintasan A dan E	49
Gambar 4.4 Penampang 2D Hasil Pengolahan Lintasan B dan C	52
Gambar 4.5 Penampang 2D Hasil Pengolahan Lintasan D	54

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tahanan Jenis Beberapa Material Bumi.....	20
Tabel 2.2 Korelasi Nilai Tahanan Jenis Terhadap Batuan dari (Milson, 2003) dengan Modifikasi.....	21
Tabel 4.1 Litologi Daerah Madukoro Berdasarkan Data Log Bor	45
Tabel 4.2 Interpretasi Litologi pada Lintasan A Sampai D.....	46
Tabel 4.3 Interpretasi Litologi pada Lintasan E.....	50

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Pengolahan.....	61
Lampiran 2. Biodata Penulis	69

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Semarang merupakan Ibu Kota Provinsi Jawa Tengah yang terletak di pesisir utara Laut Jawa dengan luas wilayah 373,7 km² dan jumlah penduduk 1.815.729 jiwa pada bulan Juni 2018 (Dispendukcapil Kota Semarang). Wilayah Kota Semarang terdiri dari daerah pantai, dataran rendah, dan dataran tinggi dengan tingkat kemiringan hingga 40%. Wilayah dipesisir pantai merupakan kawasan pemukiman penduduk dan industri. Kota Semarang yang memiliki ketinggian 0,75 m dpl dengan kemiringan hingga 3% .

Sebagai Ibu kota Provinsi tentunya Kota Semarang memiliki laju perkembangan ekonomi dan industri yang tinggi dan jumlah penduduk yang besar. Kebutuhanair bersih juga akan semakin meningkat, baik untuk kebutuhan sehari-hari masyarakat maupun untuk industri. Hal ini mengakibatkan terjadinya eksploitasi air tanah secara besar-besaran untuk memenuhi kebutuhan air bersih. Kebutuhan air bersih mayarakat Kota Semarang mencapai 170 ribu m³/hari atau sekitar 61,7 juta m³/tahun (Kantor PDAM Kota Semarang, 2010). Sebagian besar kebutuhan air bersih ini dipenuhi dengan mengambil air tanah melalui pemompaan pada akuifer bebas dan akuifer tertekan, sisanya dipenuhi dari mata air dan PDAM. Pengambilan air tanah secara besar-besaran dapat mengakibatkan terganggunya kesimbangan hidrogeologi di Kota Semarang, terutama daerah yang berbatasan dengan pantai. Pengosongan akuifer akibat pengambilan air tanah ini dapat memicu pergerakan air laut masuk ke daratan sehingga terjadi intrusi air laut (Hendrayana, 2008).

Selama beberapa tahun terakhir, Kota Semarang memiliki berbagai permasalahan terkait lingkungan, diantaranya seperti penurunan muka tanah, kenaikan permukaan laut, banjir rob, dan air sumur gali penduduk yang terasa asin/payau (Hendrayana, 2002) dan peningkatan kandungan chlorida pada beberapa sumur pantau sejak tahun 1992-2013 (Suhartono, 2013). Permasalahan tersebut mengindikasikan potensi terjadinya penurunan kualitas air tanah Kota Semarang sebagai akibat adanya intrusi air laut. Dalam banyak hal, intrusi air laut dapat menimbulkan dampak yang sangat luas dalam berbagai aspek kehidupan seperti gangguan kesehatan, penurunan kesuburan tanah, kerusakan bangunan dan lain sebagainya (Widada, 2007)

Untuk mengetahui adanya intrusi air laut di daerah pesisir Kota Semarang maka diperlukan survey geofisika. Salah satu metode eksplorasi geofisika yang sering digunakan adalah metode geolistrik tahanan jenis. Keunggulan metode geolistrik tahanan jenis ini memiliki biaya survey yang murah dengan hasil yang akurat. Selain itu, metode ini dapat dipakai dalam berbagai survey untuk berbagai kebutuhan eksplorasi seperti Eksplorasi Panas Bumi, Eksplorasi Hidrologi, Eksplorasi Mineral, Geofisika Lingkungan, Geologi Teknik, dan lain sebagainya (Warnana, 2017). Konfigurasi yang digunakan dalam pengukuran ini adalah konfigurasi dipole-dipole dimana konfigurasi ini memiliki kemampuan yang baik secara vertical (*sounding*) dan lateral (*mapping*) sehingga dapat memberikan data pengukuran dengan cakupan yang lebih dalam dan lebar.

Selain menggunakan data metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi dipole-dipole, digunakan pula data pendukung berupa data geologi daerah pengukuran. Data geologi daerah pengukuran ini dapat digunakan sebagai informasi awal sebelum dilakukan pengambilan data pengukuran, serta sebagai informasi

pembandingan data geofisika hasil *processing* pada tahap interpretasi data.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mengidentifikasi adanya zona intrusi air laut pada air tanah dengan metode geolistrik dipole-dipole?
2. Bagaimana cara memperkirakan jauhnya sebaran intrusi air laut ke daratan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengidentifikasi adanya zona intrusi air laut pada air tanah dengan metode geolistrik dipole-dipole.
2. Untuk memperkirakan jauhnya sebaran intrusi air laut ke daratan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini untuk memberikan informasi kepada masyarakat dan pemerintah Kota Semarang mengenai adanya intrusi air laut dan sejauh mana jangkauan intrusi air laut ke daratan sehingga dapat memberikan gambaran untuk penanganan masalah yang terkait intrusi air laut.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Data yang diolah merupakan data sekunder.
2. Pemetaan ini hanya berada di sepanjang banjir kanal barat Kota Semarang sejauh 7 km.
3. Hanya dilakukan proses pengolahan data (*processing*) dan interpretasi untuk 11 lintasan pengukuran.

4. Pengolahan data geolistrik menggunakan software berlisensi yaitu *EarthImager 2D versi 2.2.2*.
5. Data diperoleh dalam bentuk citra 2 Dimensi (2D) penampang resistivitas bawah permukaan lintasan pengukuran
6. Tahapan interpretasi data digunakan data pendukung berupa informasi geologi daerah pengukuran.

1.6 Sistematika Laporan

Laporan Tugas Akhir ini tersusun secara sistematis dan urut. Adapun sistematika penulisan laporan ini adalah sebagai berikut :

1. Bab I Pendahuluan

Bagian ini terdiri dari latar belakang, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah dan sistematika penulisan laporan.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Meliputi teori – teori dasar yang dijadikan sebagai landasan pelaksanaan penelitian yang diambil dari berbagai sumber pustaka.

3. Bab III Metodologi Penelitian

Bagian ini menjelaskan mengenai langkah – langkah penelitian hingga diperoleh data dari pelaksanaan pengambilan data di lapangan. Bagian ini terdiri dari prosedur pengambilan data lapangan yang disertai diagram alur, perangkat penelitian baik perangkat *hardware* maupun perangkat *software* serta interpretasi data.

4. Bab IV Analisa dan Pembahasan

Berisikan analisa data yang telah didapatkan, kemudian dilakukan pembahasan terhadap hasil interpretasi sebagai langkah untuk menarik kesimpulan.

5. Bab V Kesimpulan dan Saran

Bagian ini berisikan kesimpulan yang diambil dari hasil penelitian setelah dilakukan pembahasan serta saran yang ditunjukkan untuk penelitian berikutnya yang lebih lanjut.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Geolistrik Tahanan Jenis

Geolistrik merupakan salah satu metode eksplorasi geofisika yang banyak digunakan untuk berbagai kebutuhan eksplorasi geofisika. Salah satu metode geolistrik yaitu metode geolistrik tahanan jenis. Metode geolistrik tahanan jenis merupakan metode dengan biaya yang murah namun memiliki hasil yang akurat, sehingga metode ini banyak digunakan untuk berbagai kebutuhan survey geofisika. Cara kerja metode ini didasarkan pada sifat kelistrikan yang dimiliki oleh batuan penyusun kerak bumi.

Survey geolistrik bertujuan untuk menentukan distribusi tahanan jenis bawah permukaan dengan melakukan pengukuran pada permukaan tanah. Prinsip kerjanya adalah dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi, kemudian mengukur beda potensial menggunakan dua buah elektroda potensial yang ditempatkan di tempat lain. Dari nilai beda potensial dan arus ini nantinya didapatkan nilai tahanan jenis semu bawah permukaan daerah pengukuran. Perbedaan nilai tahanan jenis yang terukur dapat merefleksikan keadaan bawah permukaan bumi (Warnana, 2017). Nilai tahanan jenis batuan terkait dengan berbagai parameter geologi seperti kandungan mineral dan cairan, porositas dan tingkat kejenuhan (saturasi) air pada batuan (Loke, 1999).

Metode geolistrik dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

1. *Resistivity sounding*

Metoda tahanan jenis *Sounding* juga biasa dikenal sebagai tahanan jenis drilling/tahanan jenis probing Hal ini dikarenakan metode ini bertujuan untuk mempelajari variasi tahanan jenis batuan di bawah permukaan bumi

secara vertikal. Pada metode ini, pengukuran dilakukan dengan cara megubah-ubah jarak elektroda. Pengubahan jarak elektroda ini dilakukan mulai dari jarak elektroda terkecil kemudian membesar secara gradual (Hendrajaya, 1990).

2. *Resistivity mapping*

Metoda tahanan jenis *Mapping* merupakan metoda resistivitas yang bertujuan untuk mempelajari variasi tahanan jenis lapisan bawah permukaan secara horisontal. Oleh karena itu, pada metoda ini dipergunakan konfigurasi elektroda yang sama untuk semua titik pengamatan di permukaan bumi. Setelah itu baru dibuat kontur isoeresistivitasnya (Hendrajaya, 1990).

2.2 Definisi Tahanan Jenis

Tahanan jenis atau disebut juga sebagai resisitivitas merupakan kemampuan yang dimiliki suatu bahan dalam mengalirkan arus listrik. Semakin besar nilai tahanan jenis suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut dalam mengalirkan listrik. Konsep dasar metode tahanan jenis adalah Hukum Ohm. Hukum Ohm menjelaskan hubungan antara tegangan V pada penghantar dan arus I yang mengalir pada penghantar melalui suatu karakteristik parameter penghantar. Parameter ini disebut dengan resisitansi atau tahanan jenis R , yang didefinisikan sebagai hasil bagi antara tegangan V dan arus I . Secara matematis hukum ohm dapat dituliskan :

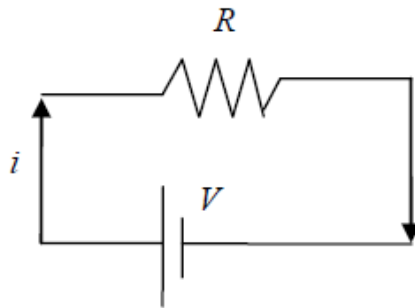
$$R = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$

Atau

$$V = IR \quad (2.2)$$

Dengan R adalah tahanan jenis bahan (Ohm), V adalah besar tegangan (volt), dan I adalah besar kuat arus (ampere).

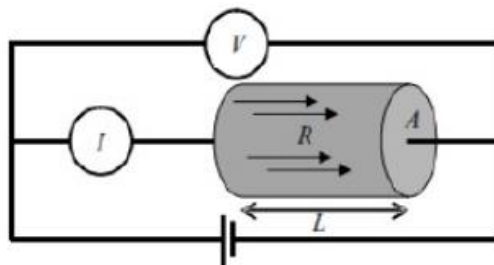
Hukum ohm menyatakan bahwa potensial pada kedua ujung penghantar sama dengan hasil kali antara tahanan jenis bahan dan kuat arus yang mengalir pada penghantar. Dengan asumsi bila nilai R tidak tergantung pada I dan nilai R konstan. Hubungan tahanan jenis, kuat arus dan tegangan dapat dijelaskan melalui gambar berikut :



Gambar 2.1 Hubungan Antara Resistansi, Arus, dan Tegangan

Arus listrik I didefinisikan sebagai jumlah muatan positif (dq) yang mengalir pada penampang penghantar dalam arah tegak lurus per satuan waktu (dt), sehingga dapat dituliskan :

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (2.3)$$



Gambar 2.2 Silinder Konduktor (Herman, 2001)

Ditinjau sebuah kawat dengan panjang l terhubung potensial di setiap ujungnya sebesar $V_1(+)$ dan $V_2(-)$ sehingga memberikan beda potensial ΔV , dengan aliran muatan positif I bergerak dari potensial tinggi $V_1(+)$ ke potensial rendah $V_2(-)$. Beda potensial ini menyebabkan adanya kuat medan listrik E . Kuat medan listrik E sebanding dengan beda potensial ΔV dan berbanding terbalik dengan panjang kawat penghantar l .

$$E = \frac{\Delta V}{l} = \frac{V_1 - V_2}{l} \quad (2.4)$$

Semakin besar nilai ΔV dan luas penghantar A , maka semakin besar jumlah muatan dan kelajuan muatan yang berpindah. Sehingga kuat arus listrik dapat dinyatakan dengan :

$$I \approx AE = A \frac{\Delta V}{l} \quad (2.5)$$

Besaran rapat arus listrik J merupakan besaran vektor arus listrik per satuan luas penampang penghantar, yaitu

$$J = \frac{I}{A} \quad (2.6)$$

Dengan J merupakan rapat arus listrik (ampere/m²), I adalah kuat arus listrik (ampere) dan A adalah luas penampang penghantar (m²). Bila medium homogen isotropis dialiri arus listrik searah I dengan kuat medan listrik E (volt/meter), maka elemen arus (dI) yang melalui suatu elemen luasan (dA) dengan rapat arus J akan berlaku hubungan :

$$J = \frac{dI}{dA} = \frac{\Delta V}{\rho l} \quad (2.7)$$

Merujuk pada persamaan 4, persamaan 7 dapat dinyatakan menjadi :

$$J = \frac{E}{\rho} = \sigma E \quad (2.8)$$

Dengan σ adalah konduktivitas penghantar dan ρ adalah resistivitas penghantar. Kuat medan listrik adalah gradien dari potensial skalar,

$$E = -\nabla V \quad (2.9)$$

Merujuk pada persamaan 9, maka persamaan 8 dapat dinyatakan :

$$J = -\sigma \nabla V \quad (2.10)$$

Kuat arus listrik pada penampang bergantung pada jenis penghantar yang dinyatakan oleh nilai resistivitas penghantar ρ (Ωm) atau nilai konduktivitas penghantar σ yang memenuhi hubungan :

$$I = \frac{1}{\rho} \quad (2.11)$$

Dalam satuan (Ωm)⁻¹. Hubungan antara kuat arus listrik dan tahanan jenis penghantar secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$I = \sigma A \frac{\Delta V}{l} \quad (2.12)$$

Atau

$$I = \frac{A}{\rho l} \Delta V \quad (2.13)$$

Dari persamaan 12 dan 13 didapatkan bahwa nilai tahanan penghantar adalah :

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2.14)$$

Dengan R adalah tahanan atau resistansi penghantar (Ω), ρ adalah tahanan jenis penghantar (Ωm)⁻¹, l adalah panjang penghantar (m), dan A adalah luas penampang penghantar (m²) (Jati, 2010). Besaran tahanan jenis ρ dan konduktivitas σ menyatakan baik buruknya suatu bahan dalam menghantarkan arus listrik (Suyoso, 2003). Besarnya tahanan jenis suatu bahan dapat dinyatakan dengan :

$$\rho = \frac{RA}{l} \quad (2.15)$$

2.3 Aliran Listrik Dalam Bumi

2.3.1. Potensial pada Bumi Homogen Isotropis

Pendekatan paling sederhana dalam menentukan tahanan jenis lapisan bumi adalah dengan mengasumsikan bahwa bumi bersifat homogen isotropis, sehingga resistivitas ρ dianggap tidak bergantung pada sumbu koordinat. Dalam asumsi bumi homogen isotropis, aliran arus dalam bumi didasarkan pada hukum kekekalan muatan yang secara matematis dapat dinyatakan dalam persamaan berikut (Syamsudin, 2007):

$$\nabla \cdot \vec{j} = -\frac{\partial q}{\partial t} \quad (2.16)$$

Dengan J adalah rapat arus (ampere/m²) dan q adalah rapat muatan (coulomb/m³). Persamaan 2.16 disebut juga sebagai persamaan kontinuitas. Bila nilai arus tetap, maka persamaan ini menjadi :

$$\nabla \cdot \vec{j} = 0 \quad (2.17)$$

Hukum Ohm menyatakan bahwa nilai rapat arus J sebanding dengan nilai kuat medan listrik E (persamaan 2.8 dan 2.10). dari persamaan (2.8),(2.10) dan (2.17), untuk medium homogen isotropis ρ konstan, maka σ juga konstan atau

$$\nabla \cdot \sigma = 0 \quad (2.18)$$

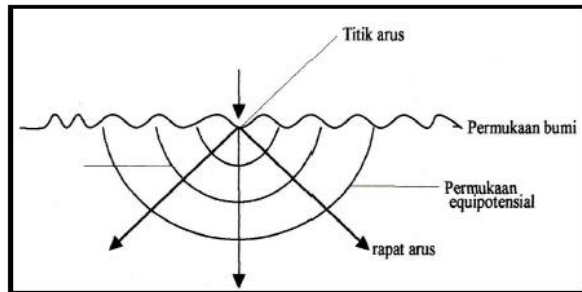
Sehingga dapat diperoleh persamaan Laplace sebagai berikut :

$$\nabla^2 V = 0 \quad (2.19)$$

Persamaan Laplace ini merupakan salah satu persamaan dasar dalam teori geolistrik tahanan jenis, sehingga distribusi potensial listrik untuk arus searah dalam medium homogen memenuhi persamaan Laplace (Syamsudin, 2007).

2.3.2. Potensial Elektroda Arus Tunggal pada Permukaan Bumi Homogen Isotropis

Model homogen isotropis yang berbentuk setengah bola memiliki konduktivitas udara sama dengan nol. Dengan demikian arus listrik yang dialirkan melalui sebuah elektroda pada titik P di permukaan akan tersebar ke semua arah dengan besar yang sama. Potensial pada suatu jarak r dari titik P hanya merupakan fungsi r saja. Dalam kondisi ini persamaan laplace yang berlaku untuk koordinat bola adalah (Syamsudin, 2007) :



Gambar 2.3 Titik Arus di Permukaan Bumi (Hendrajaya dan Arif, 1988)

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} = 0 \quad (2.20)$$

Karena arus yang mengalir simetris terhadap arah θ dan ϕ merupakan arus tunggal, maka persamaan diatas menjadi :

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) = 0 \quad (2.21)$$

Sehingga

$$\left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) = B(\text{tetapan}) \quad (2.22)$$

Dari persamaan 2.22 kemudian diperoleh :

$$V = -\frac{B}{r} + C \quad (2.23)$$

Dari persamaan 2.11 arus total yang melewati permukaan bola adalah

$$I = -\sigma \frac{\partial V}{\partial r} A \quad (2.24)$$

Jika luasan bola $A = 4\pi r^2$ maka persamaan 2.24 menjadi

$$I = -4\pi r^2 \sigma \frac{\partial V}{\partial r} \quad (2.25)$$

Merujuk pada persamaan 2.22 maka kuat arus di permukaan bola didapatkan

$$I = -4\pi \sigma B \quad (2.26)$$

Karena permukaan bumi berbentuk setengah bola, maka kuat arus listrik yang melewati permukaannya adalah :

$$I = -2\pi \sigma B \quad (2.27)$$

Dengan demikian besarnya tetapan B dapat dinyatakan :

$$B = -\frac{I}{2\pi \sigma} = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.28)$$

Dengan merujuk pada persamaan 2.25, maka potensial disetiap titik yang berhubungan dengan sumber arus pada permukaan bumi yang homogen isotropis adalah :

$$V = \frac{1}{r} \frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.29)$$

Atau

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (2.30)$$

2.3.3. Potensial Dua Elektroda Arus pada Permukaan Bumi Homogen Isotropis

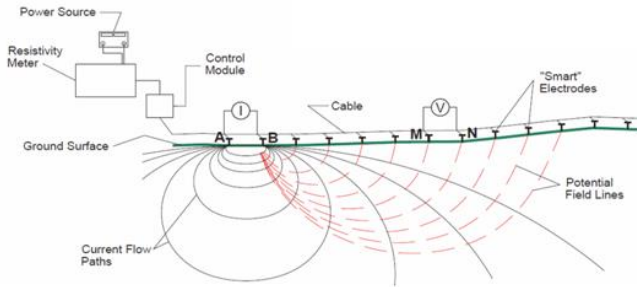
Umumnya metode resistivitas menggunakan empat buah elektroda yang mana terdiri atas masing-masing dua buah elektroda arus dan potensial. pada metode ini, arus listrik diineksikan melalui elektroda arus, sedangkan tegangan diukur melalui elektroda potensial. Arus pada kedua elektroda (C1 dan C2) memiliki besar yang sama, namun arahnya berlawanan.

Sehingga, besar nilai potensial pada elektroda P1 akibat C1 adalah :

$$V_1 = -\frac{B_1}{r_1}; \text{ dengan } B_1 = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.31)$$

Sedangkan potensial pada P1 akibat C2 adalah :

$$V_2 = -\frac{B_2}{r_2}; \text{ dengan } B_2 = +\frac{I\rho}{2\pi} = -B_1 \quad (2.32)$$



Gambar 2.4 Potensial Dua Elektroda Arus pada Permukaan Bumi (EAGE - HAGI)

Karena arus pada kedua elektroda sama namun berlawanan arah, maka besarnya potensial dititik P1 adalah

$$V_{p1} = V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.33)$$

Sedangkan pada P2 berlaku

$$V_{p2} = V_3 + V_4 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.34)$$

Dengan demikian, besarnya beda potensial antara titik P1 dan P2 adalah :

$$\Delta V = V_{p1} - V_{p2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (2.34)$$

Dalam metode geolistrik, nilai tahanan jenis yang diperoleh akan sangat bergantung pada cara peangangan elektroda arus dan potensial, dimana dalam metode ini terdapat beberapa macam konfigurasi elektroda. Merujuk pada persamaan 2.34

maka hubungan antara beda potensial dan tahanan jenis dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\rho = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right]} \frac{\Delta V}{I} \quad (2.36)$$

Dengan

$$k = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right]} \text{ (faktor geometri)} \quad (2.37)$$

Dengan ρ nilai tahanan jenis (ohm.m), k adalah faktor geometri yang bergantung pada konfigurasi elektroda, r_1 menunjukkan jarak elektroda arus C_1 ke elektroda potensial P_1 , r_2 menunjukkan jarak elektroda arus C_2 ke elektroda potensial P_1 , r_3 menunjukkan jarak elektroda arus C_1 ke elektroda potensial P_2 , dan r_4 menunjukkan jarak elektroda arus C_2 ke elektroda potensial P_2 . Sehingga nilai tahanan jenis dapat dinyatakan sebagai berikut :

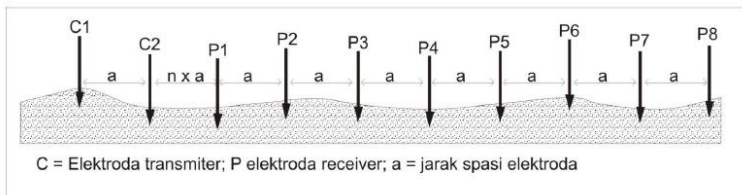
$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad (2.38)$$

2.4 Konfigurasi Dipole-Dipole

Konfigurasi dipole-dipole merupakan salah satu metode eksplorasi geofisika yang umum digunakan karena metode ini merupakan gabungan dari teknik *profiling* dan *depth sounding*, sehingga konfigurasi ini memiliki sensitivitas yang baik untuk vertikal (*sounding*) dan horisontal (*mapping*) (Suyanto, 2013). Konfigurasi ini secara *mapping* dan *sounding* lebih baik daripada metode lainnya seperti konfigurasi wenner dan schlumberger. Metode ini juga sering digunakan karena efek elektromagnetik yang ditimbulkan antara sirkuit arus dan potensialnya rendah (Loke, 1999)

Susunan elektroda pada konfigurasi *dipole-dipole* ini dapat dilihat pada gambar 2.4. pada konfigurasi *dipole-dipole*,

jarak antar elektroda arus dan potensial besarnya sama yaitu “a”, sedangkan jarak antara elektroda arus dan potensial adalah sebesar “na” dimana n merupakan rasio jarak antara elektroda arus dan potensial terhadap jarak antara kedua pasang elektroda arus-potensial. Besar “a” dibuat tetap, sedangkan faktor “n” meningkat mulai dari 1, 2, 3 hingga sekitar 6 untuk meningkatkan *depth of investigation* (Loke,1999).



Gambar 2.5 Konfigurasi *Dipole-Dipole* dengan 8 *Chanel* Elektroda Penerima (Sudrajat dkk., 2016)

Setiap susunan elektroda memiliki harga sensitivitas yang menunjukkan keakuratan data yang terukur terkait dengan besarnya faktor “n” yang digunakan. Umumnya nilai sensitivitas terbesar terletak diantara pasangan elektroda arus dan pasangan elektroda potensial. Hal ini menunjukkan bahwa susunan ini sangat sensitif terhadap perubahan resistivitas dibawah elektroda pada setiap pasang. Semakin besar nilai “n” maka sensitivitas tinggi semakin terkonsentrasi dibawah pasangan elektroda arus-potensial dan sensitivitas pasangan elektroda arus-potensial terdalam semakin mengecil. Dengan demikian, susunan konfigurasi dipole-dipole ini sangat sensitif terhadap perubahan resistivitas secara horisontal, namun kurang sensitif terhadap perubahan resistivitas secara vertikal (Loke, 1999).

Untuk menambah kedalaman penetrasi, maka jarak antara elektroda arus dan potensial harus diperbesar, sedangkan

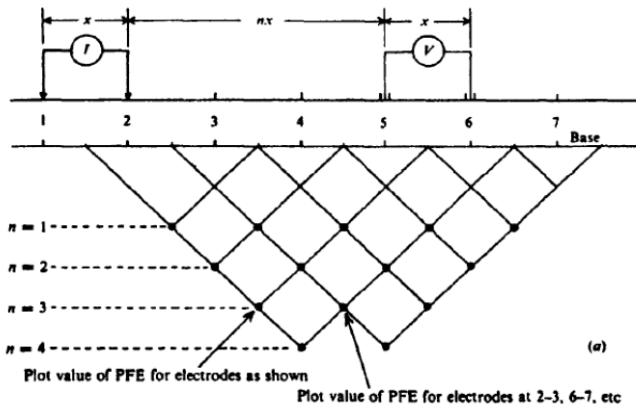
jarak antar elektroda arus dan potensial dibuat tetap. Dibandingkan dengan konfigurasi wenner dan schlumberger, hal ini merupakan keunggulan konfigurasi dipole-dipole, karena dapat mendeteksi batuan yang lebih dalam tanpa harus memperpanjang kabel yang digunakan. Hasil akhir konfigurasi dipole-dipole ini berupa penampang vertikal dan horisontal (Saputro, 2010).

Setiap konfigurasi memiliki faktor geometri yang berbeda. Merujuk pada persamaan 2.36 maka faktor konfigurasi dipole-dipole adalah :

$$k = 2\pi \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \quad (2.39)$$

dengan melakukan penurunan rumus, maka didapatkan faktor geometri dipole-dipole :

$$k_d = \pi a n (n + 2)(n + 1) \quad (2.40)$$



Gambar 2.6 Posisi *Datum Point Dipole-Dipole* (Telford et al, 1990)

2.5 Sifat Kelistrikan Batuan

Sifat kelistrikan batuan adalah karakteristik batuan bila batuan tersebut dilalui oleh arus listrik. Aliran arus listrik ini dapat berupa aliran listrik alami dari batuan atau arus listrik yang diinjeksikan ke batuan tersebut. Seperti kita ketahui, didalam tanah terdapat aliran listrik alami yang disebabkan oleh proses-proses alam. Sifat aliran listrik dalam batuan dipengaruhi oleh porositas, jumlah air yang terperangkap dalam pori-pori batuan, dan kandungan mineral. Aliran arus listrik didalam batuan atau mineral dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu konduksi secara elektronik, elektrolitik dan dielektrik (Telford, 1990).

1. Konduksi secara elektronik terjadi jika batuan atau mineral mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik dialirkan dalam batuan atau mineral tersebut oleh elektron-elektron bebas.
2. Konduksi elektrolitik terjadi jika batuan atau mineral bersifat porus dan pori-pori tersebut terisi oleh cairan-cairan elektrolitik, sehingga arus listrik dibawa oleh ion-ion elektrolit. Batuan yang porous, memiliki pori-pori yang terisi oleh fluida, utamanya air. Sehingga batuan menjadi penghantar elektrolitik, dimana konduksi arus listrik dialirkan oleh ion-ion elektrolit dalam air. Konduktivitas dan resistivitas batuan porous bergantung pada volume dan susunan pori-porinya. Konduktivitas akan bertambah seiring bertambahnya kandungan fluida elektrolitik dalam batuan.
3. Konduksi dielektrik terjadi jika batuan atau mineral bersifat dielektrik terhadap aliran arus listrik yaitu terjadi polarisasi saat bahan dilalui listrik. dengan adanya pengaruh medan listrik dari luar, maka elektron dalam bahan akan berpindah dan berkumpul terpisah dari inti sehingga terjadi polarisasi.

Tujuan survey geolistrik tahanan jenis adalah untuk mengetahui keadaan geologi bawah permukaan yang berhubungan dengan komposisi fluida dan porositas batuan. Sehingga dapat memperkirakan sebaran nilai tahanan jenis dibawah permukaan melalui pengukuran pada permukaan tanah (Broto dan Rohima, 2008).

Penafsiran data lapangan metode tahanan jenis dilakukan dengan menghubungkan kondisi sifat fisik batuan. Dasar penafsiran ini adalah hubungan antara besaran nilai tahanan jenis dengan jenis batuan. Air asin atau air laut memiliki nilai tahanan jenis yang lebih rendah jika dibandingkan dengan batuan yang mengandung air tawar. Harga tahanan jenis batuan ditentukan oleh nilai tahanan jenis unsur penyusun batuan tersebut. Faktor lain yang mempengaruhi nilai tahanan jenis adalah kandungan mineral, susunan litologi, dan struktur geologi (Purnama dkk., 2013).

Berikut ini merupakan variasi nilai tahanan jenis beberapa material bumi (Telford, 1990).

Tabel 2.1 Tahanan Jenis Beberapa Material Bumi
(Telford, 1990)

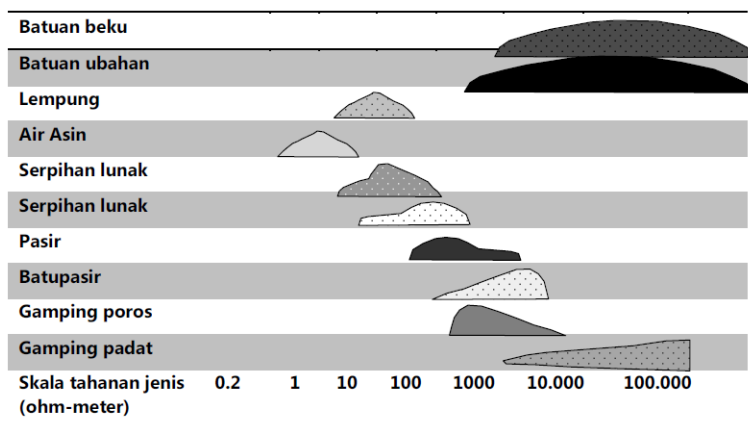
Material	Tahanan Jenis (Ωm)
Lempung	1-100
Airtanah	0,5-300
Lava	100-5x10 ⁴
Air asin	0,2
Air payau	0,3-1
Brekksi	75-200
Tufa	20-100
Pasir	1-1.000
Batupasir	1-6,4x10 ⁸

Berdasarkan nilai resistivitasnya, batuan dapat

diklasifikasikan menjadi tiga bagian (Telford, 1990) yaitu:

1. Konduktor baik dengan nilai resistivitas $10^{-6} < \rho < 1 \Omega\text{m}$
2. Konduktor buruk dengan nilai resistivitas $1 < \rho < 10^7 \Omega\text{m}$
3. Isolator dengan nilai resistivitas $\rho > 10^7 \Omega\text{m}$

Tabel 2.2 Korelasi Nilai Tahanan Jenis Terhadap Batuan (Milson, 2003)



Secara teknis, hubungan antara besarnya nilai tahanan jenis dan jenis batuan dapat disimpulkan sebagai berikut (Asmaranto, 2012) :

1. Nilai tahanan jenis batuan yang lepas lebih rendah dari batuan yang kompak.
2. Nilai tahanan jenis batuan akan lebih rendah jika air tanah memiliki kadar garam tinggi.
3. Tidak terdapat batas nilai yang jelas untuk tahanan jenis tiap batuan.
4. Dapat terjadi perbeaan nilai tahanan jenis batuan secara mencolok, tidak hanya antar lapisan batuan satu dengan yang lain, namun juga dalam satu lapisan batuan.

5. Batuan yang pori-porinya terisi air akan memiliki nilai tahanan jenis yang lebih rendah daripada yang kering. Kandungan air dalam batuan dapat menurunkan nilai tahanan jenis dari batuan tersebut.

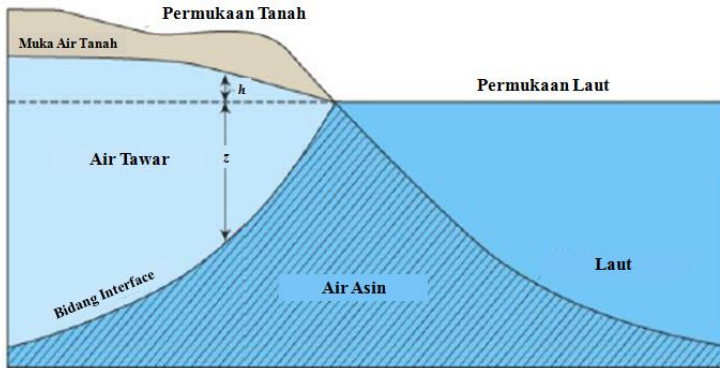
2.6 Intrusi Air Laut

Intrusi atau penyusupan air laut merupakan proses masuknya air laut dibawah permukaan tanah melalui akuifer di daratan atau daerah pantai, atau dengan kata lain yaitu terdesaknya air tawar bawah tanah oleh air laut didalam akuifer daerah pantai. Hal ini dapat terjadi apabila keseimbangan hidrostatik antara air bawah tanah tawar dan air bawah tanah asin di daerah pantai terganggu, sehingga memicu terjadinya pergerakan air bawah tanah asin (air laut) ke arah daratan (Hendrayana, 2002).

Secara umum, geologi daerah pantai tersusun atas endapan aluvial yang terdiri dari lempung, pasir, dan kerikil. Endapan ini hasil dari pengangkutan erosi batuan di bagian hulu sungai. Umumnya, batuan endapan ini ini bersifat kurang kompak sehingga memiliki potensi air tanah yang cukup baik. Akuifer di dataran pantai yang baik umumnya berupa akuifer tertekan, namun akuifer bebas juga dapat menjadi sumber air tanah, utamanya di daerah pematang pantai (Purnama, 2000).

Air laut merupakan campuran dari 96,5% air murni dan 3,5% material lainnya seperti garam-garam, gas-gas terlarut, bahan-bahan organik dan partikel-partikel tak terlarut. Air laut berasa asin karena memiliki kadar garam rata-rata 3,5%. Setiap laut memiliki kandungan garam yang berbeda. Kandungan garam pada air laut berasal dari tanah dan batuan di bumi. Selain itu, garam juga dibawa oleh aliran sungai dan pemecahan mineral batuan oleh ombak (Yuningsih, 2011). Air laut memiliki nilai

tahanan jenis yang lebih rendah daripada air tawar karena air laut mengandung senyawa NaCl yang merupakan konduktor elektrolit (Prastuti, 2017).



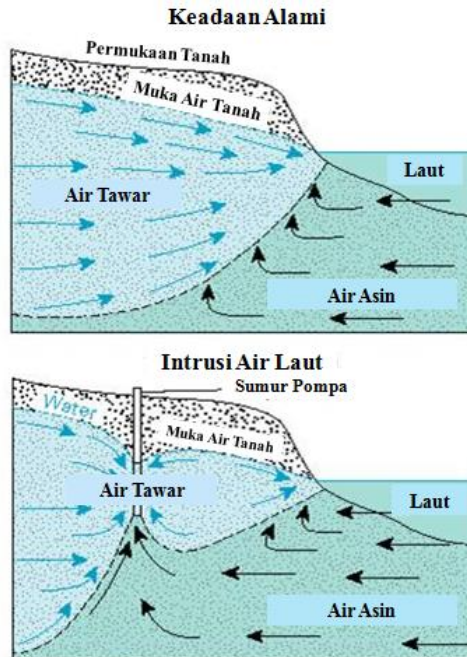
Gambar 2.7 Penampang Melintang Pertemuan Air Laut dengan Air Tanah (Ambarsari, 2013).

Air laut memiliki berat jenis yang lebih besar dibandingkan air tawar, sehingga air laut mudah mendesak air tawar semakin masuk ke daratan. Secara alami, air laut tidak dapat masuk jauh ke daratan karena air tanah memiliki bidang piezometric yang menekan lebih kuat dari air laut sehingga terbentuk bidang batas antara air laut dan air tanah. Keadaan ini merupakan keadaan setimbang antara air laut dan air tanah. Namun ketika keseimbangan hidrogeologi ini terganggu maka akan terjadi intrusi air laut pada air tanah (Purnama, 2000).

Ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya intrusi air laut yaitu (Warnana, 2017) :

1. Penurunan muka air bawah tanah atau bidang piezometric di daerah pantai.

2. Pemompaan air bawah tanah didaerah pantai secara berlebihan.
3. Masuknya air laut ke daratan melalui sungai, kanal, saluran, rawa, dan cekungan lainnya.



Gambar 2.8 Ilustrasi Keadaan Alami Keseimbangan Air Tanah dan Intrusi Air Laut (*Unknown*).

Intrusi air laut umumnya terjadi pada akuifer pesisir, utamanya di daerah perkotaan. Hal ini disebabkan oleh eksploitasi air tanah secara berlebihan untuk memenuhi kebutuhan air bersih masyarakat dan industri. Secara umum, fenomena ini dapat terjadi ketika muka air tanah lebih rendah daripada permukaan air laut rata-rata. Terjadinya intrusi air laut diawali dengan adanya

pergerakan zona transisi seara dinamis yang di sebabkan oleh perubahan akuifer tertekan dan di pengaruhi oleh satuan batas garis pantai sehingga terjadi desakan antara air laut dan air tawar (Rahmawati dkk., 2013). Adanya intrusi air laut ini merupakan masalah bagi pemanfaatan air tanah utamanya di daerah pantai, karena akan mengakibatkan turunnya mutu air tanah sehingga air tanah menjadi tidak layak untuk dikonsumsi (Hendrayana, 2002).

Panjang intrusi air laut pada akufier pantai bergantung pada (Hendrayana, 2002) :

1. Tebal akuifer
2. Koefisien kelulusan air
3. Debit aliran air tanah per satuan luas akuifer.

2.7 Geologi Daerah Semarang

Kota Semarang merupakan Ibu Kota Provinsi Jawa Tengah yang terletak di pesisir utara Laut Jawa tepatnya pada koordinat 6°55'34"-7°07'04" Lintang Selatan dan 110° 16'20"-110°30'29" Bujur Timur dengan luas wilayah 373,7 km² dan jumlah penduduk 1.815.729 jiwa pada bulan Juni 2018 (Dispendukcapil Kota Semarang).

Kota Semarang sangat dipengaruhi oleh keadaan alam yang berciri khas yaitu terdiri dari daerah pantai, dataran rendah, dan perbukitan dengan kemiringan tanah 0 sampai dengan 40% dan ketinggian 0.75-348 mdpl (Wardhana, 2014).

Geologi Kota Semarang, di daerah utara di dominasi oleh endapan alluival berumur kuarter. Sedangkan di bagian selatan yang berupa perbukitan di dominasi oleh batuan vulkanik dan terdapat beberapa patahan. Secara singkat, stratigrafi Kota Semarang dapat dijelaskan sebagai berikut (Thanden et.al,1996) :

1. Aluvial

Merupakan endapan aluvial pantai, sungai, dan danau. Litologi endapan pantai terdiri atas lempung, lanau dan pasir, dan campuran diantaranya yang mencapai ketebalan 50 meter atau lebih. Endapan ini berumur Holocene.

2. Seri Batuan Gunungapi Gajah Mungkur dan Kaligesik

Batuan Gunungapi Gajah Mungkur berupa Lava andesit, sedangkan batuan Gunungapi Kaligesik berupa lava basalt yang berwarna abu-abu kehitaman. Formasi ini berumur Plietocene-Holocene.

3. Formasi Jongkong

Formasi ini terdiri atas batuan breksi andesit homblende augit dan aliran lava, yang sebelumnya disebut sebagai batuan gunung api Ungaran Lama. Batuan breksi andesit berwarna coklat kehitaman dan berumur Plietocene.

4. Formasi Damar

Terdiri atas batu pasir tufaan, konglomerat dan breksivulkanik. Batu pasir tufaan berwarna kuning kecokelatan dan berbutir halus-kasar. Formasi ini berumur Plio-Plietocene.

5. Formasi Kaligetas

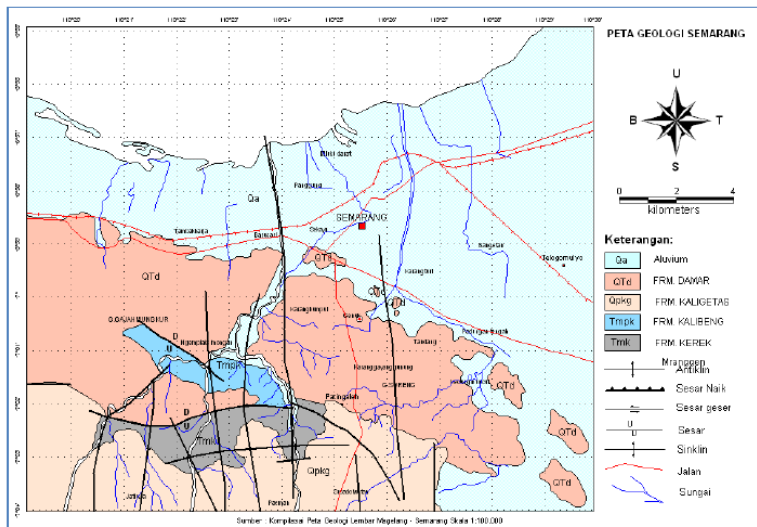
Terdiri dari batuan breksi dan lahar dengan sisipan lafa dan tuf halus sampai kasar. Dibagian bawahnya ditemukan batu lempung yang mengandung molusca dan batu pasir tufaan yang memiliki butiran halus-sedang, dan porositas sedang. Formasi ini berumur Plio-Plietocene.

6. Formasi Kalibeng

Batuan pada formasi ini terdiri dari napal, batu pasir tufaan, dan batu gamping, dan berumur Miocene-Pliocene.

7. Formasi Kerek

Formasi berumur Miocene ini terdiri atas perselingan batu lempung, napal, batu pasir tufaan, konglomerat, breksi vulkanik, dan batu gamping.



Gambar 2.9 Peta Geologi Lembar Semarang dengan Modifikasi (Wardhana, 2014; Thanden et.al, 1996).

Berdasarkan peta geologi regional lembar Magelang Semarang (Thanden et.al, 1975) endapan aluvium di pesisir Semarang merupakan endapan aluvium pantai, sungai, dan danau. Endapan aluvium pantai ini tersusun oleh lempung, lanau dan pasir, dan campuran. Endapan sungai dan danau tersusun oleh kerikil, kerakal, pasir, dan lanau. Wilayah pesisir kota Semarang merupakan endapan Holosen yang memiliki ciri endapan pasang surut, endapan sungai, endapan pematang pantai, *swamp*, dan

aluvium yang terletak pada dataran kuarter (Thanden et.al,1975). Geologi daerah paparan Semarang dicirikan oleh perulangan satuan lempung-lanau yang cukup dominan dengan sisipan pasir halus hingga kasar (Soebowo dkk., 2014).

Daerah aluvium pantai merupakan daerah yang letaknya cukup rendah atau berupa cekungan dan terdapat banyak muara sungai dengan anak-anak sungai sehingga jika terjadi pasang dari laut maka air akan naik (Suhelmi dan Prihatno, 2014). Selain itu, litologi endapan aluvium yang bervariasi dari kerikil hingga lempung juga kan memudahkan air laut untuk mengalir ke daratan (Rochaddi dan Pratikto, 2006)

2.8 Inversi *Non Linear Conjugate Gradient* (NLCG)

Proses inversi merupakan suatu proses pengolahan data lapangan yang memanfaatkan penyelesaian matematis dan statistika untuk mendapatkan informasi mengenai distribusi sifat fisis bawah permukaan. Dalam proses inversi, analisa data lapangan dapat dilakukan dengan pencocokan kurva (*curve fitting*) antara model matematis dan data lapangan. Tujuan proses inversi adalah untuk mengestimasi parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya (*unknown parameter*)(Grandis, 2009).

Secara umum, permasalahan inversi dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan

$$\mathbf{d} = \mathbf{F}(\mathbf{m}) + \mathbf{e} \quad (2.41)$$

Dengan \mathbf{d} adalah vektor data, \mathbf{m} adalah vektor model, \mathbf{e} adalah vektor error, dan \mathbf{F} adalah fungsi *forward modelling*.

Pemodelan inversi pada perangkat lunak *EarthImager 2D* menggunakan metode *Non Linear Conjugate Gradient* (NLCG) (Sudrajat, 2016). Metode NLCG digunakan untuk

meminimalisasi fungsi objektif yang didefinisikan sebagai berikut (Rodi dan Mackie, 2001) :

$$\Psi(m) = (d - F(m))^T V^{-1} (d - F(m)) + \lambda m^T L^T L m. \quad (2.42)$$

Dengan λ adalah parameter regulasi berupa bilangan positif, V adalah matriks yang mengatur variasi error e dan merupakan pembobot, dan L adalah matriks operator berupa matriks *smoothness*. Algoritma NLCG menggunakan variasi Polak-Ribiere NLCG untuk mengeliminasi persamaan fungsi objektif.

Metode NLCG bekerja dengan meminimalkan fungsi objektif yang memberikan data residual dan turunan spasial kedua resistivitas. Rangkaian model untuk NLCG ditentukan oleh penentuan variabel minimalisasi fungsi objektif dimana diberikan model awal m_0 , sehingga persamaan model berubah menjadi (Rodi dan Mackie, 2001) :

$$m_{l+1} = m_l + \alpha_l p_l \quad (2.41)$$

Dengan m_{l+1} merupakan model baru hasil pemodelan awal yang telah ditambah dengan sistem yang dapat mempercepat proses inversi atau disebut sebagai preconditioner (Amriyah, 2012).

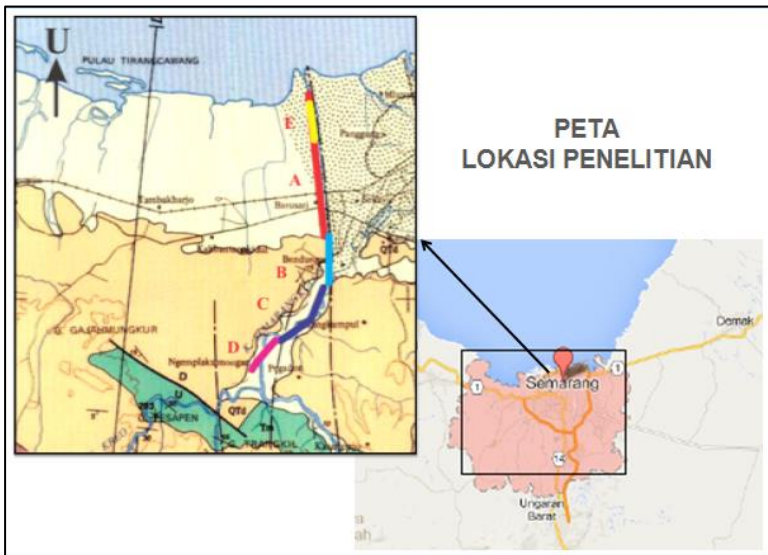
Algoritma NLCG lebih efisien bila dibandingkan dengan algoritma Gauss-Newton baik dalam hal kebutuhan memori komputer dan waktu pemrosesan yang dibutuhkan CPU dalam mencari solusi yang akurat (Rodi dan Mackie, 2001).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Daerah dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian berada di pesisir pantai utara Kota Semarang. Akuisisi data geolistrik dilakukan menggunakan alat Geolistrik SuperSting model R8/IP-56. Konfigurasi yang digunakan adalah dipole-dipole.

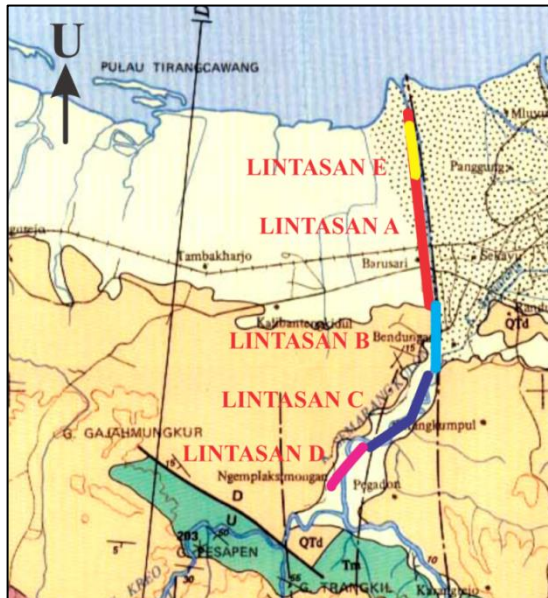


Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian (Wardhana, 2014)

Akuisisi data dilakukan pada tanggal 5-12 Mei 2011 disepanjang bajir kanal barat oleh Tim Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI. Akuisisi data terdiri atas 11 lintasan pengukuran dengan rincian 8 lintasan dengan spasi elektroda 25 meter dan 3 lintasan dengan spasi elektroda 10 meter. Lintasan pertama hingga ke- 4 masing-masing memiliki panjang 1350 meter dan jumlah elektroda 56. lintasan pertama sampai 3

saling bersambung, sedangkan lintasan 4 berada pada sisi berlain. Lintasan ke-5 samapi 8 masing-masing memiliki panjang lintasan 675 meter dan jumlah elektroda 28. Lintasan ke-5 hingga ke-7 saling bersambung, sedangkan lintasan ke-8 berada pada sisi berlainan. Lintasan ke-9 sampai 11 posisinya berhimpit dengan lintasan 1,2, dan 3 namun memiliki spasi elektroda yang lebih kecil yaitu 10 meter dengan panjang masing-masing lintasan 270 meter dengan jumlah 28 elektroda.

11 lintasan ini saling berkesinambungan seolah membentuk 1 lintasan lurus. Selanjutnya, untuk memudahkan proses pengolahan dan interpretasi, beberapa lintasan digabungkan menjadi 1 lintasan besar. Sehingga didapatkan hasil 5 lintasan gabungan.



Gambar 3.2 Peta Lintasan Pengukuran



Gambar 3.3. Foto Alat Geolistrik Supersting R8/IP-56 Saat Akuisisi Data di Dalam Tenda (Dokumentasi GEOTEK LIPI, 2011)



Gambar 3.4. Gambar Elektroda yang Tersambung pada Kabel, *Transmitter* Arus dan Atau *Receiver* Tegangan (Dokumentasi GEOTEK LIPI)

3.2 Pengumpulan data

Dalam penelitian data yang di gunakan adalah :

1. Data supersting setiap lintasan penelitian dengan format (.stg)
2. Data topografi setiap lintasan penelitian dengan format (.trn)
3. Data GPS
4. Data geologi lembar semarang (*image*)
5. Data rupa bumi (topografi) daerah semarang (*image*)

Data tersebut diolah menggunakan beberapa software untuk mendapatkan citra dua dimensi (2D) penampang resistivitas bawah permukaan daerah pengukuran. Berikut merupakan software yang digunakan dalam penelitian ini.

1. *AGI Earth Imager 2D versi 2.2.2*
2. *MapSource Garmin*
3. *NavNet Garmin*
4. *Microsoft office 2007*
5. *Surfer11*
6. *Google Earth*
7. *Notepad++*
8. *Corel draw X7*

3.3 Tahapan Pengolahan Data

3.3.1. Data GPS

Data GPS memuat data koordianat tiap titik elektroda pengukuran. Data GPS dapat dibuka dengan *software NavNet* dan *MapSource Garmin*. Data GPS ini berfungsi untuk mengetahui letak lintaan pengukuran. Data ini juga berfungsi untuk memudahkan analisa lintasan pengukuran dan menentukan lintasan yang dapat digabung menjadi 1 lintasan.

3.3.2. Data Terrain

Data *terrain* merupakan data topografi atau ketinggian dari tiap elektroda pengukuran. Data topografi dibuat dalam format (.trn). Langkah pembuatan data topografi ini sebagai berikut :

- a. Menentukan spasi dan letak elektroda pengukuran.
- b. Menghitung ketinggian elektroda berdasarkan posisi pengukurannya.
- c. Membuat lembar kerja baru pada *Notepad ++*.
- d. Menggabungkan data spasi elektroda dan ketinggian tiap elektroda pada lembar kerja.
- e. Menyimpan data dalam format (.trn)

3.3.3. Data geolistrik

Data geolistrik hasil akuisis dalam bentuk data supersting dalam format (.stg). Pengolahan data geolistrik dilakukan dengan *software Earth Imager 2D*. Tahapan pengolahan data geolistrik adalah sebagai berikut :

- a. Menggabungkan data lintasan yang saling berkesinambungan

Beberapa lintasan pengukuran yang letaknya saling berkesinambungan digabungkan menjadi satu lintasan pengukuran. dalam satu lintasan besar, terdiri dari 3 lintasan pengukuran. lintasan yang digabung harus memiliki jarak spasi elektroda yang sama.

- b. Melakukan *setting* parameter

Setting parameter terdiri dari dua *setting*, yaitu *inital settings* dan *resistivity inversion settings*. Nilai parameter yang dimasukkan dalam kedua *setting* ini menyesuaikan dengan data yang diolah. Tujuannya adalah menjadi filter data yang diolah dengan meminimalkan data yang terhapus saat

pertama kali data dibuka pada *software Earth Imager 2D*.

- c. Memanggil data resistivitas (*.stg*)

Data resistivitas dalam format (*.stg*) harus dipanggil terlebih dahulu sebelum diinversi. Dapat dilihat penampang persebaran data resistivitas dibawah lintasan pengukuran.
- d. Memanggil data *terrain* (*.trn*)

Data *terrain* dalam format (*.trn*) dipanggil untuk memberikan faktor topografi pada data lintasan yang diolah.
- e. Run Inversi
Proses inversi dilakukan untuk mendapatkan pemodelan sebaran resistivitas lapisan bawah permukaan lintasan pengukuran.
- f. Menghapus data *misfit* (*picking bad datum point*)

Bila nilai *error* masih besar, sebaran data pada kurva *crossplot* belum mengikuti kurva regresi linier, dan kurva *inverted resistivity* belum konvergen, perlu dilakukan seleksi data *misfit*. Data resistivitas disajikan dalam blok-blok warna. Bila ada perubahan warna yang mencolok, data perlu dibuang.
- g. Run inversi
Lakukan lagi proses inversi untuk mendapatkan pemodelan 2D yang baru.
- h. Mengulangi langkah hingga diperoleh nilai *error* yang dikehendaki (idealnya $\leq 5\%$) dan model telah sesuai parameter, yaitu sebaran data telah mengikuti kurva regresi linier pada kurva *cross*

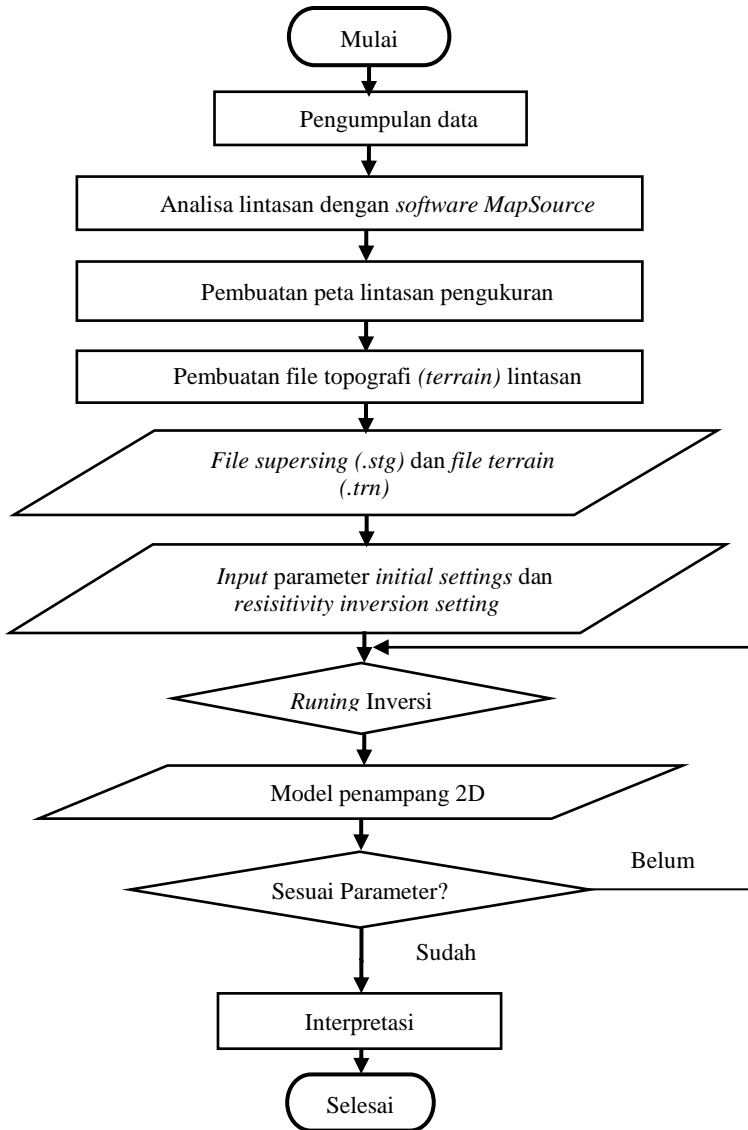
plot dan kurva *resistivity inversion* telah konvergen.

3.4 Interpretasi

Hasil pemodelan resistivitas 2D adalah penampang bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas. Dari model 2D ini dilakukan analisis untuk menentukan sejauh mana sebaran intrusi air laut yang terjadi. Kemudian model tersebut dicocokkan dengan data geologi daerah penelitian untuk mengetahui jenis batuanannya. Bila ada, model dapat dicocokkan dengan data log bor dari daerah pengukuran, sehingga didapatkan hasil penelitian yang lebih akurat.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Untuk lebih mempermudah dalam memahami langkah kerja dalam penelitian ini, maka dapat dibuat diagram alir seperti yang dapat disajikan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1. Analisa Data Lapangan

Data geolistrik yang diolah merupakan data sekunder hasil pengukuran oleh Tim Riset Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI pada bulan Mei 2011. Data pengukuran yang didapatkan berupa data V/I, arus, tahanan jenis Ohm.m, error % dan koordinat tiap elektroda. File tersebut dalam bentuk file supersting dengan format (.stg). Data tiap lintasan tidak kurang dari 1600 data. Data supersting tiap lintasan kemudian diolah dengan *software Earth Imager 2D*. Hasil yang diperoleh dari pengolahan ini berupa penampang 2D tahanan jenis bawah permukaan lintasan pengukuran. Penampang 2D ini kemudian diinterpretasikan dengan membandingkan nilai tahanan jenis sebenarnya berdasarkan kondisi geologis daerah pengukuran.

Pengukuran terdiri atas 11 lintasan. Lintasan pengukuran ini saling berkesinambungan dari lintasan 1 hingga 11 dimana lintasan 8-10 berhimpit dengan lintasan 1-3 mulai dari elektroda 26 pada lintasan 1. Panjang setiap lintasan berbeda, dimana lintasan 1-4 panjangnya masing-masing 1350 meter. Lintasan 5-7 panjangnya 675 meter, dan lintasan 8-10 panjangnya 270 meter. Seluruh lintasan pengukuran memiliki panjang total lebih kurang 7 km ke arah selatan.

Beberapa lintasan pengukuran dalam penelitian ini digabungkan menjadi 1 lintasan untuk memudahkan proses pengolahan dan interpretasi. Lintasan yang digabung yaitu Lintasan 123 (Lintasan A), Lintasan 5C5D6 (Lintasan C), dan Lintasan 8910 (Lintasan E). Sedangkan Lintasan 4 (Lintasan B)

dan 7 (Lintasan D) tidak dapat digabung karena masing-masing lintasan *overlay* dengan lintasan sebelumnya.

Pada penelitian ini pengukuran didesain dengan arah lintasan tegak lurus terhadap garis pantai. Lintasan dipilih tegak lurus terhadap garis pantai karena tujuan penelitaian ini adalah untuk menentukan sejauh mana sebaran intrusi air laut ke daratan. Selain itu, lintasan di desain dengan dua variasi spasi elektroda yaitu 25 meter dan 10 meter. Spasi 25 meter digunakan untuk mendapatkan pendugaan yang lebih dalam, diperkirakan sampai kedalaman 300 meter, namun akurasi di permukaan agak kasar (kurang detail). Untuk mendetaikan dipermukaan dilakukan pengukuran dengan spasi 10 meter. Selain itu data yang dihasilkan dapat digunakan untuk kepentingan survey geofisika yang lain seperti analisa penurunan muka tanah. Untuk lintasan dengan spasi elektroda 10 meter ini memang secara spesifik didesaian untuk survey intrusi air laut.

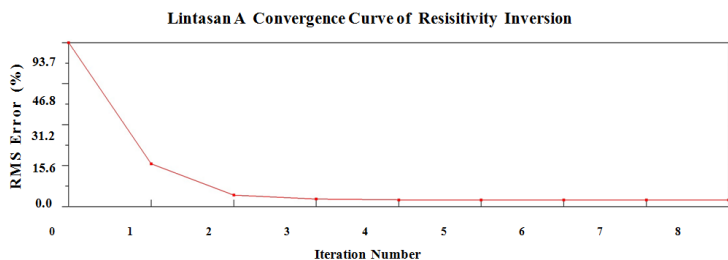
4.1.2. Pengolahan dengan *EarthImager 2D*

Penelitian ini menggunakan metode geolistrik tahanan jenis dengan konfigurasi *dipole-dipole multielectrode*. Data yang diolah merupakan data sekunder dalam bentuk file supersting dengan format file (.*stg*). Selanjutnya data ini diolah dengan software *EarthImager 2D*.

Dalam pengolahannya, file data dalam format (.*stg*) dan juga data ketinggian elektroda (topografi) dalam format (.*trn*) dibaca bersamaan sehingga dihasilkan penampang 2D sebaran nilai tahanan jenis bawah permukaan setelah melalui proses inversi. Hasil pengolahan berupa penampang 2D tahanan jenis bawah permukaan. Gambar penampang ini terdiri atas tiga bagian, yaitu *Measured Apparent Resistivity Pseudosection* yang merupakan model awal tahanan jenis semu pengukuran data

lapangan, *Calculated Apparent Resistivity Pseudosection* merupakan distribusi tahanan jenis semu hasil perhitungan data lapangan, dan *Inverted Resistivity Section* yang merupakan tampilan model hasil inversi dari data pengukuran dan menunjukkan nilai tahanan jenis sebenarnya di bawah permukaan lintasan pengukuran.

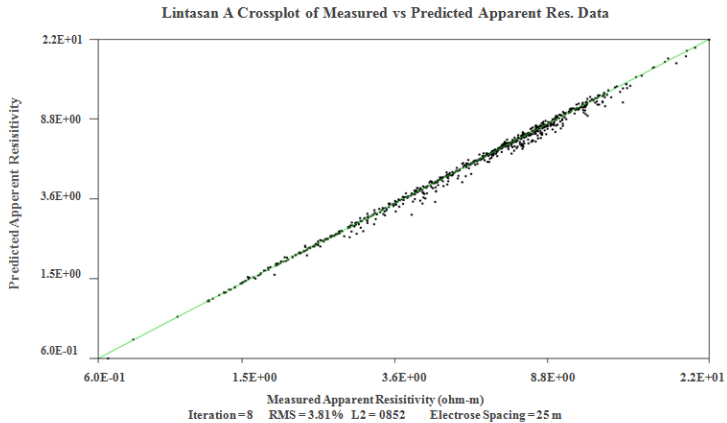
Pada pengolahan dengan software *EarthImager 2D* ini, digunakan jumlah iterasi maksimum yang sama untuk tiap lintasan yaitu 10 iterasi. Terdapat beberapa kriteria pemilihan model penampang 2D dari tiap lintasan yang diolah, yaitu nilai RMS errornya $\leq 5\%$, grafik *Convergence Curve of Resistivity Inversion* telah konvergen, dan sebaran data pada grafik *Crossplot of Measured vs Predicted Apparent Resistivity* data telah linear.



Gambar 4.1 Grafik *Convergence Curve of Resistivity Inversion*.

Grafik 4.1 menunjukkan hubungan antara presentase RMS error dan banyaknya iterasi. Semakin banyak jumlah iterasi, maka nilai RMS error juga akan semakin kecil. Hubungan ini ditunjukkan dengan kurva linear ke bawah pada gambar 4.1 yang merupakan hasil pengolahan dari lintasan A. Ketika kurva ini mendekati horisontal maka kurva dianggap telah konvergen. Ketika kurva telah konvergen, maka nilai RMS error dan hasil pemodelan tidak akan mengalami banyak perubahan. Pada lintasan A ini pengolahan berhenti pada iterasi ke-8 dengan nilai

error 3,81%. Hal yang sama juga ditunjukkan pada hasil pengolahan lintasan yang lain, dimana semakin banyak iterasi maka nilai RMS errornya akan semakin kecil.



Gambar 4.2 Grafik *Crossplot of Measured vs Predicted Apparent Resistivity*.

Grafik 4.2 merupakan hasil pengolahan lintasan A dan menunjukkan kesesuaian antara data nilai tahanan jenis yang terukur dengan tahanan jenis prediksi *apparent resistivity*. Sumbu horisontal menunjukkan logaritma tahanan jenis terukur dan sumbu vertikal menunjukkan logaritma tahanan jenis yang dimodelkan. Ketika data lapangan dan data pemodelan bersesuaian, maka titik-titik data akan tersebar secara linear berhimpit dengan garis diagonal berwarna hijau. Dari hasil pengolahan yang dilakukan, terdapat beberapa data yang tidak berhimpit dengan garis, namun letaknya tersebar tidak jauh dari garis tersebut. Hal ini menunjukkan ketidaksesuaian antara data terukur dengan data pemodelan. Besarnya ketidaksesuaian ini dapat dilihat pada nilai RMS error dari pemodelan.

Software EarthImager ini menggunakan *Inversi Non Linear Conjugate Gradient* (NLCG). Metode iniversi NLCG ini digunakan untuk menstabilkan proses inversi dan mengurangi solusi ketidakmungkinan dengan model *smoothing* pada data tahanan jenis yang terukur. Inversi 2D ini menghasilkan penampang struktur bawah permukaan lintasan pengukuran berdasarkan sebaran nilai tahanan jenis batuan penyusunnya.

4.2 Hasil dan Pembahasan

Intrusi air laut merupakan fenomena masuknya air laut ke akuifer air tawar sebagai akibat tidak seimbangnya hidrogeologi pada daerah dekat pantai. Intrusi air laut umumnya terjadi di daerah perkotaan yang berada di pesisir pantai, salah satunya yaitu Kota Semarang. Faktor yang menyebabkan terjadinya intrusi air laut diantaranya yaitu eksploitasi air tanah secara berlebihan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dan industri serta tingginya laju pembangunan yang mengakibatkan penurunan muka tanah.

Indikasi potensi terjadinya intrusi air laut di Kota Semarang dapat dilihat dari beberapa permasalahan lingkungan yang timbul selama beberapa tahun terakhir seperti banjir rob, penurunan muka tanah, kenaikan permukaan laut, sumur gali penduduk dan sumur pantau yang menjadi payau/asin, dan peningkatan kandungan chlorida pada beberapa sumur pantau.

Salah satu cara mendeteksi intrusi air laut adalah dengan melakukan survey geofisika. Metode geolistrik tahanan jenis merupakan metode geofisika yang mudah, murah, dan akurat. Untuk mendapatkan hasil survey dengan target berupa intrusi air laut, maka digunakan konfigurasi *dipole-dipole multielectrode*. Kelebihan konfigurasi *dipole-dipole multielectrode* ini adalah efisiensi waktu pengukuran, data yang dihasilkan lebih banyak,

dan hasil pengukurannya secara *mapping* maupun *sounding* lebih baik daripada konfigurasi lain (lebih sensitive, baik secara lateral maupun vertikal). Metode geolistrik juga dipilih karena intrusi air laut memiliki nilai resistivitas yang sangat kecil sehingga kita dapat melakukan analisa berdasarkan hasil sebaran nilai resistivitasnya. Selain itu, intrusi air laut tidak berada terlalu dalam di bawah permukaan, dimana metode geolistrik ini akurat untuk eksplorasi yang dangkal.

Berdasarkan gambar penampang 2D hasil pengolahan data dan beberapa referensi berupa jurnal ilmiah untuk permasalahan serupa, intrusi air laut tidak akan menyebar terlalu jauh ke daratan. Hal ini dikarenakan air tanah memiliki *piezometric* yang menekan lebih kuat air laut, sehingga terbentuk bidang *interface* sebagai batas antara air laut dan air tanah dalam keadaan setimbang (Ardhaneswari, 2016).

Untuk dapat melihat sejauh mana penyusupan air laut ke daratan, dapat dilihat melalui sebaran nilai tahanan jenis yang sangat kecil. Sesuai dengan sifat fisiknya, air laut memiliki nilai tahanan jenis yang sangat kecil. Begitu juga dengan lapisan tanah dan batuan yang mengandung air laut akan memiliki nilai tahanan jenis yang relatif sangat kecil.

Biasanya ketebalan lapisan yang terintrusi air laut akan semakin menipis dari arah pantai ke arah daratan, sampai tidak terlihat pada penampang lintasan. Untuk dapat melihat sejauh mana sebaran lapisan ini, beberapa lintasan pengukuran geolistik yang berurutan dan saling menyambung digabungkan menjadi satu lintasan. Ada 5 lintasan gabungan dalam penelitian ini, yaitu lintasan A sampai E (Gambar 3.2).

Untuk lintasan yang overlay (Gambar 3.2), dapat dijadikan sebagai pembanding. Lintasan E dengan spasi elektroda kecil 10 meter memiliki pendugaan yang lebih dangkal, namun lebih

detail sehingga hasil yang didapatkan lebih akurat. Oleh karena itu, diperkirakan potensi intrusi air laut hanya akan terlihat pada lintasan A dan E (Gambar 3.2) yang berada disebelah utara, paling dekat dengan pantai. Dimana lintasan E ini memperjelas hasil pengukuran dibagian permukaan dari lintasan A (Gambar 3.2).

Secara umum, nilai tahanan jenis batuan hasil pengukuran dapat menggambarkan jenis dan kondisi batuan. Batuan kering dan keras memiliki nilai tahanan jenis yang tinggi, biasanya lebih dari 1000 Ohm.m. Batuan berporositas dengan elektrolit berupa air tawar memiliki nilai tahanan jenis menengah yaitu antara 10-300 Ohm.m. Sedangkan batuan dengan elektrolit berupa air asin akan memiliki nilai tahanan jenis yang rendah, biasanya kurang dari 3 Ohm.m (Kusumah, 2015). Untuk batuan lunak dengan butir yang sangat halus dan bersifat impermeabel mempunyai nilai tahanan yang kecil, umumnya berkisar antara 3-10 ohm.m (Sudrajat dkk., 2014).

Menurut peta geologi lembar Semarang-Magelang, secara geologis kota semarang dibagian utara didominasi oleh endapan aluvium pantai, sungai, dan danau. Litologi endapan aluvium pantai yaitu lempung, lanau, pasir, dan campuran diantaranya.

Tabel 4.1 Litologi Daerah Madukoro Berdasarkan Data Log Bor (Yulianti dkk., 2013).






Lapisan	Kedalaman
Tanah Aluvial	0-2 m
lempung	2-30 m
Pasir-Lanau	30-45 m
Lempung	45-65 m
Lanau	65-80 m
Pasir	80-110 m

Berdasarkan data log bor di daerah Madukoro yang berada dekat dengan banjir kanal barat, litologinya sesuai dengan litologi dari peta geologi. Litologi di sekitar Madukoro berupa tanah aluvial dibagian permukaan, lapisan lempung, lapisan pasir-lanau, lapisan lanau, dan lapisan pasir (Yulianti dkk., 2013) litologi daerah madukoro berdasarkan data log bor dapat dilihat pada tabel 4.1.

Lokasi lintasan A terletak paling utara dan paling dekat dengan pantai. Memiliki spasi lektroda 25 meter dan panjang lintasan total 3500 meter. Lokasi pengukuran lintasan A dapat dilihat pada gambar 3.2. Hasil pengolahan data lintasan lintasan A dapat dilihat pada gambar 4.3a.

Berdasarkan data log bor (Yulianti dkk., 2013) dan penelitian intrusi air laut di Kota Semarang oleh (Ardaneswari, 2016) serta beberapa penelitian yang serupa, litologi hasil pengolahan Gambar 4.3a dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Interpretasi Litologi pada Lintasan A Sampai D

Lintasan	Warna	Tahanan Jenis	Litologi	Interpretasi
A		$\rho \leq 3$	Aluvial, Lempung lunak	Intrusi air laut
		$3 < \rho \leq 8,5$	Lempung, Lanau	Intrusi air laut/ Payau
		$8,5 < \rho \leq 50$	Lempung pasiran	Payau
		$50 < \rho \leq 100$	Pasir halus	Payau- Tawar
		$100 < \rho \leq 300$	Pasir/ terumbu karang	Payau- Tawar

Hasil pengolahan lintasan A (Gambar 4.3a) memiliki nilai error sebesar 3,81%. Pada Gambar 4.3a, tampak pelapisan batuan berwarna biru tua dengan nilai tahanan jenis sangat rendah yaitu $\rho \leq 3 \text{ Ohm.m}$ yang merata pada bagian atas dari titik 0 hingga bentangan 2600 meter dengan kedalaman 78 meter, diduga sebagai lapisan tanah aluvial dan campuran lempung lunak. Pada daerah pantai dan sungai, biasanya tanah lempung bercampur dengan material-material organik dan anorganik yang menyebabkan tanah liat mengalami perubahan sifat fisika dan kimia. Pada daerah endapan sungai dan laut, tanah liat cenderung bersifat tidak murni. Litologi berupa tanah aluvial dan campuran lempung lunak ini membuat air laut dapat mengalir pada lapisan ini, sehingga nilai tahanan jenisnya menjadi sangat rendah.

Beberapa blok pada meter ke 2450 di kedalaman 156 meter juga terdapat lapisan lempung yang berwarna biru agak terang, dengan nilai tahanan jenis $3 < \rho \leq 8,5 \text{ Ohm.m}$ dan diduga sebagai lapisan lanau.

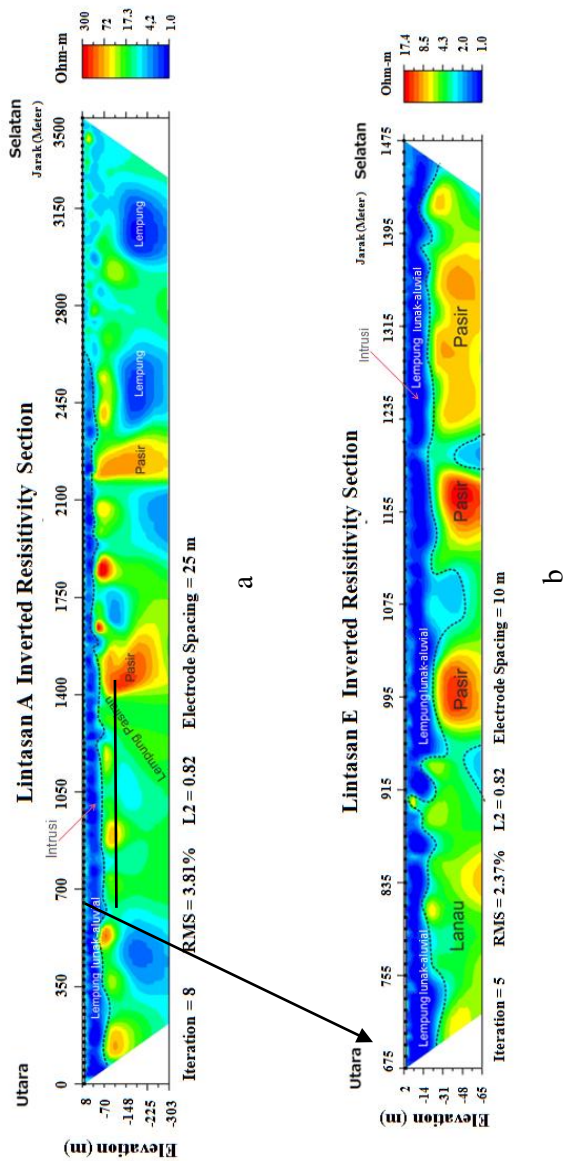
Daerah berwarna hijau yang memiliki tahanan jenis $8,5 < \rho \leq 50 \text{ Ohm.m}$ diduga sebagai lempung pasir. Campuran antara lempung dan pasir ini memiliki nilai tahanan jenis yang lebih tinggi. Lapisan ini berada cukup dalam sehingga tidak memungkinkan adanya intrusi air laut, meskipun secara litologi lapisan ini dapat mengalirkan fluida. Pada lapisan ini diperkirakan airnya bersifat payau. Untuk nilai tahanan jenis tinggi dengan rentang $50 < \rho \leq 100 \text{ Ohm.m}$ berwarna kuning hingga merah, diduga sebagai lapisan pasir halus. Sedangkan untuk rentang nilai tahanan jenis $100 < \rho \leq 300 \text{ Ohm.m}$ diduga sebagai lapisan pasir dengan butiran yang lebih kasar atau kemungkinan terumbu karang. Lapisan pasir merupakan salah satu lapisan pembawa air (aquifer).

Pada Gambar 4.3a ini terdapat dua kenampakan, dimana terdapat dua blok dengan nilai tahanan jenis tinggi $100 < \rho \leq 300$ pada meter ke-1400 dan ke-2175. Kedua blok ini diduga sebagai punggung pantai yang berupa endapan pasir. Daerah inilah yang biasanya menjadi akuifer air tawar. Posisi kedua endapan pasir ini juga menunjukkan proses sedimentasi yang terjadi di daerah tersebut, dimana lapisan yang berada lebih dekat dengan pantai adalah endapan yang lebih muda.

Lintasan E terletak berhimpit dengan lintasan A, dimulai dari meter ke-675. Pengukuran mengambil lintasan tegak lurus garis pantai. Memiliki spasi lektroda 10 meter dan panjang lintasan total 810 meter. Lokasi pengukuran lintasan E dapat dilihat pada gambar 3.2. Hasil pengolahan data lintasan lintasan E dapat dilihat pada gambar 4.3b.


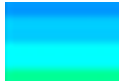



Hasil pengolahan lintasan E memiliki nilai error sebesar 2,37%. Gambar 4.3b memiliki spasi elektroda yang lebih kecil dari Gambar 4.3a. Perbedaan spasi elektroda yang digunakan ini berpengaruh terhadap kedalaman pengukuran yang didapatkan. Dengan spasi elektroda lebih kecil, hasil pengukurannya akan lebih dangkal. Sehingga hasil pengolahan data yang didapatkan akan lebih detail dan akurat.

Dari hasil pengolahan data, Gambar 4.3b memiliki kedalaman duga sampai 67 meter dan rentang nilai tahanan jenis $0 \leq \rho \leq 17,4$ Ohm.m. Berdasarkan Gambar 4.3b didominasi oleh lapisan berwarna biru dengan nilai tahanan jenis sangat rendah yaitu $\rho \leq 2$ Ohm.m. Lapisan ini terletak disepanjang bentangan lintasan, dan memiliki kedalaman 0-33 meter. Lapisan ini diduga sebagai lapisan campuran tana aluvial- lempung lunak dan lanau yang berpotensi terintrusi oleh air laut. Pada lapisan ini, fluida yang terperangkap diduga sebagai air laut, karena nilai tahanan jenisnya yang sangat rendah.



Gambar 4.3 Penampang 2D Hasil Pengolahan Lintasan A (a) dan E (b)

Tabel 4.3 Interpretasi litologi pada lintasan E (Gambar 4.3b)

Lintasan	Warna	Tahanan Jenis	Litologi	Interpretasi
E		$\rho < 2$	Aluvial, Lempung lunak	Intrusi air laut/Payau
		$2 \leq \rho \leq 3$	Lempung- Lanau	Intrusi air laut/Payau
		$3 \leq \rho < 6$	Lanau	Payau
		$6 \leq \rho < 10$	Lempung pasiran	Payau
		$10 \leq \rho \leq 17,4$	Pasir halus	Tawar

Lapisan dengan warna biru muda dengan kisaran $2 < \rho \leq 3$ Ohm.m diduga sebagai lapisan lempung lanau. Sedangkan lapisan berwarna hijau dengan kisaran nilai tahanan jenis $3 < \rho \leq 6$ Ohm.m dan tersebar mulai pada kedalaman 16-67 meter, diduga sebagai lapisan lanau. Lapisan lanau merupakan lapisan lempung yang memiliki ukuran butir yang lebih besar, sehingga nilai tahanan jenisnya sedikit lebih besar daripada nilai tahanan jenis lempung. Pada lapisan ini, diperkirakan airnya berupa air payau.

Lapisan berwarna kuning-merah memiliki rentang nilai tahanan jenis $6 < \rho \leq 10$ Ohm.m diduga sebagai lapisan lempung pasiran dan. diperkirakan airnya berupa air payau. Lapisan berwarna merah dengan rentang resistivitas $10 < \rho \leq 17,4$ Ohm.m diduga sebagai lapisan pasir halus. Lapisan pasir memiliki nilai tahanan jenis yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan

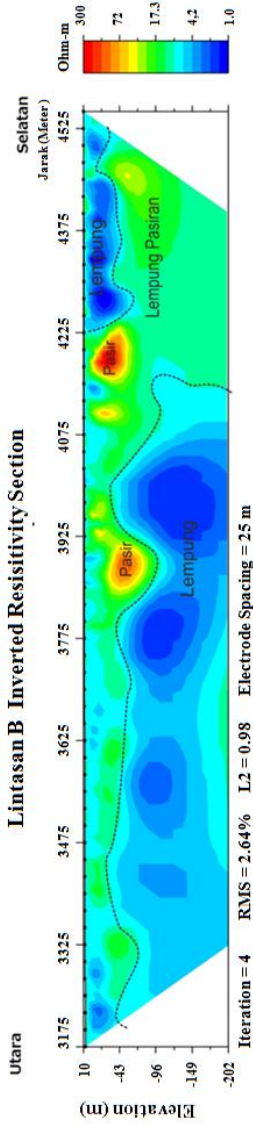
lempung dan lanau. Lapisan pasir ini biasanya berperan sebagai lapisan pembawa air tanah atau akuifer, sehingga airnya berupa air tawar.

Lintasan B merupakan terusan dari lintasan A, overlay beberapa elektroda, hanya saja lokasi pada tanggul berbeda dengan lintasan A (Gambar 3.2). Memiliki spasi lektroda 25 meter dan panjang lintasan total 1350 meter. Lokasi pengukuran lintasan B dapat dilihat pada gambar 3.2. Hasil pengolahan data lintasan lintasan B dapat dilihat pada gambar 4.4a.

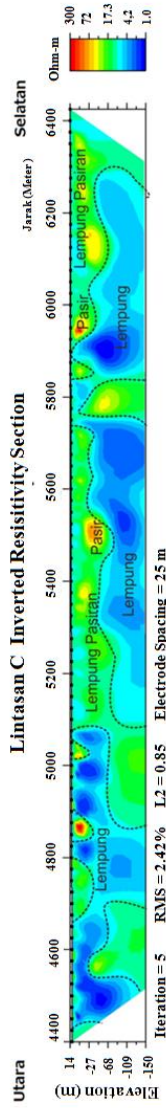
Hasil pengolahan lintasan B memiliki nilai error sebesar 2,64%. Gambar 4.4a didominasi oleh lapisan berwarna biru dengan nilai tahanan jenis rendah $\rho \leq 8,5$ Ohm.m, diduga sebagai lapisan lempung. Sedangkan sisanya adalah lapisan dengan nilai tahanan jenis sedang berkisar $8,5 < \rho \leq 50$ Ohm.m yang diduga sebagai lapisan lempung pasir. Terdapat dua blok dengan nilai tahanan jenis tinggi ≥ 100 Ohm.m yang diduga sebagai lapisan pasir.

Lintasan C terletak berada disebelah selatan lintasan B segaris dengan lintasan A (Gambar 3.2). Memiliki spasi lektroda 25 meter dan panjang lintasan total 2000 meter. Lokasi pengukuran lintasan C dapat dilihat pada gambar 3.2. Hasil pengolahan data lintasan lintasan C dapat dilihat pada gambar 4.4b.

Hasil pengolahan Gambar 4.4b memiliki nilai error sebesar 2,42%. Ada beberapa blok lapisan berwarna biru dengan nilai tahanan jenis rendah $\rho \leq 8,5$ Ohm.m, diduga sebagai lapisan lempung. Sedangkan lapisan dengan nilai tahanan jenis sedang dengan kisaran $8,5 < \rho \leq 50$ Ohm.m diduga sebagai lapisan lempung pasir. Terdapat beberapa blok bertahanan jenis tinggi $50 < \rho \leq 100$ yang diduga sebagai lapisan pasir halus.



a



b

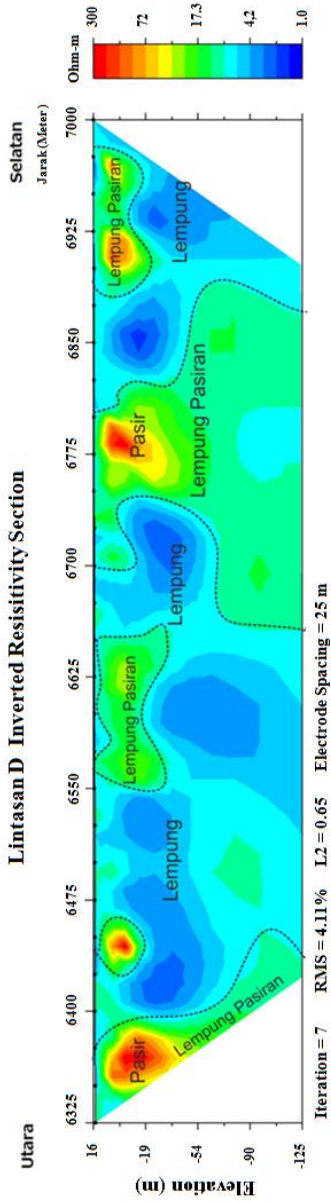
Gambar 4.4 Penampang 2D Hasil Pengolahan Lintasan B (a) dan C (b).

Lintasan D terletak paling selatan dan paling jauh dengan pantai. Lintasan D ini *overlay* terhadap lintasan C. Memiliki spasi elektroda 25 meter dan panjang lintasan total 675 meter. Lokasi pengukuran lintasan D dapat dilihat pada gambar 3.2. Hasil pengolahan data lintasan lintasan D dapat dilihat pada gambar 4.5.

Hasil pengolahan Gambar 4.5 memiliki nilai error sebesar 4,11%. Pada Gambar 4.5, lapisan dengan nilai tahanan jenis rendah $\rho \leq 8,5$ Ohm.m diduga sebagai lapisan lempung. Lapisan dengan nilai tahanan jenis sedang dengan kisaran $8,5 < \rho \leq 50$ Ohm.m diduga sebagai lapisan lempung pasir. Tahanan jenis sedang ini tersebar pada kedalaman bervariasi dari permukaan hingga kedalaman 141 meter di bawah permukaan tanah. Terdapat beberapa blok lapisan dengan tahanan jenis tinggi pada kedalaman 16-40 meter yang diduga sebagai lapisan pasir.

Berdasarkan analisa hasil pengolahan tiap lintasan, potensi intrusi hanya terlihat pada Gambar 4.3a dan 4.3b yang berada di sebelah utara, paling dekat dengan pantai. Lapisan ini memiliki nilai tahanan jenis rendah, kurang dari 3 Ohm.m ($\rho < 3\text{Ohm.m}$) berada pada bentangan 0 pengukuran hingga bentangan 2600 meter ke arah selatan. Lapisan ini memiliki kedalaman duga 70 meter dan meipis di bagian selatan pada meter ke-2600. Lapisan ini diduga sebagai lapisan aluvial dan lempung lunak, dan airnya berupa air asin. Lapisan ini belum pasti mengalami intrusi air laut, namun berpotensi terintrusi air laut karena nilai rrsistivitasnya yang sangat rendah.

Pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 ke arah selatan dijumpai kenampakan dengan nilai tahanan jenis rendah dalam bentuk blok setempat-setempat dan tidak menerus. Lapisan ini diduga sebagai lapisan lempung. Lapisan ini juga memiliki kedalaman yang bervariasi pada tiap lintasan pengukuran.



Gambar 4.5 Penampang 2D Hasil Pengolahan Lintasan D.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

Zona yang teridentifikasi sebagai zona intrusi air laut diduga mempunyai harga resistivitas rendah, kurang dari 3 Ohm.m ($\rho < 3\text{Ohm.m}$) berada pada bentangan 0-2600 meter (Gambar 4.3a). Intrusi air laut tebal dibagian utara pada kedalaman 70 meter menipis dibagian selatan pada meter ke 2600. Pada bentangan 2600-7000 meter ke arah selatan masih dijumpai resistivitas rendah dalam bentuk stempat-setempat tidak menerus.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan dari laporan tugas akhir ini, untuk membuktikan terjadinya intrusi air laut secara pasti perlu dilakukan penelitian lain dengan pengujian pada sumur pantau atau sumur penduduk disekitar lokasi penelitian untuk hasil yang lebih akurat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- A. Yuningsih, dan A. Masduki. 2011. "Potensi Energi Arus Laut untuk Pembangkit Tenaga Listrik di Kawasan Pesisir Flores Timur". *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, Vol. 3, hal. 13-25.
- Ambarsari, E.S., 2013. *Aplikasi Metode Geolistrik untuk Identifikasi Intrusi Air Laut Studi Kasus Semarang Utara*. Jurusan fisika FMIPA UNS.
- Ardhaneswari, Tabitha Adib, Yulianto, Tony, dan Putranto, Thomas Triadi. 2016. "Analisis Intrusi Air Laut Menggunakan Data Resistivitas dan Geokimia Airtanah di Dataran Aluvial Kota Semarang". *Youngster Physics Journal Vol.5, No.4, Oktober 2016, Hal.335-350*.
- Asmaranto, Runi. 2012. "Identifikasi Air Tanah (*Groundwater*) menggunakan Metode Resistivity (*Geolistrik with IP2WIN Software*)". Jurusan Teknik Pengairan FT-Universitas Brawijaya.
- Broto, S., dan Rohima, S.A. 2008. "Pengolahan Data Geolistrik dengan Metode Geolistrik Schlumberger". *Jurnal Teknik, Volume 29 Nomor 2*. Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Hendrajaya, Lilik dan Idham, Arif. 1988. *Geolistrik Tahanan Jenis*. Bandung: Laboratorium Fisika Bumi, ITB.
- Hendrajaya, Lilik dan Idham, Arif. 1990. *Geolistrik Tahanan Jenis, Monografi: Metoda Eksplorasi*. Bandung: Laboratorium Fisika Bumi, ITB.
- Hendrayana, H. 2002. *Intrusi Air Asin Ke Dalam Akuifer Di Daratan*. Yogyakarta : UGM.

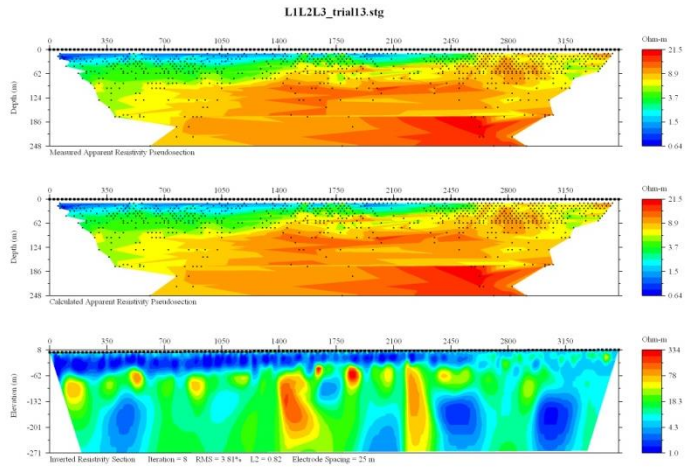
- Hendrayana, H., Hatori, C.A., dan Putra, Doni P.E. 2008. *Studi Kerentanan Airtanah Terhadap Intrusi Air Laut di Kota Semarang, Jawa Tengah*. Yogyakarta : UGM
<http://dispendukcapil.semarangkota.go.id/statistik/jumlah-penduduk-kota-semarang/2018-06-04> di akses pada 30 Januari 2019 pukul 11.00.
- <http://eagescuh.blogspot.com/2015/09/explorasi-geolistrik.html> di akses pada 21 Mei 2019 pukul 02.29.
- Kantor PDAM Kota Semarang. 2010. *Analisis pelayanan Perusahaan Daerah Air Minum Kota Semarang*. Semarang: PDAM Tirta Moedal Kota Semarang.
- Loke, M.H. 1999. *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies, A Practical Guide to 2D And 3D Surveys*.
- Loke, M.H. 2004. *2D and 3D Electrical Imaging Surveys*. England: Birmingham University.
- Purnama, Setyawan., Ahmad Cahyadi, Erik Febriarta, Nurul Khakim, dan Hari Prihatno. 2013. "Identifikasi Airtanah Asin Berdasarkan Pendugaan Geolistrik di Pesisir Kota Cilacap Jawa Tengah". *Geomedia Volume 11 Nomor 2 November 2013*.
- Rahmawati, N., Vuillaume, J. F., and Purnama, I. L. S. 2013. "Salt Intrusion in Coastal and Lowland areas of Semarang City". *Journal of Hydrology*. Master in Planning and Management of Coastal Area and Watershed, Faculty of Geography, Gajah Mada University, Bulaksumur, Yogyakarta.
- Reynolds, J. M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley dan Sons, P. 798.

- Rochaddi, Baskoro dan Ibnu Pratikto. 2006. “Delinasi Batas Biogeofisik Wilayah Daratan Pesisir”. *Ilmu Kelautan. Maret 2006*. Vol. 11(1) : 23-30, ISSN 0853-7291
- Rodi, William dan Mackie, Randall L. “Nonlinear Conjugate Gradients Algorithm For 2-D Magnetotelluric Inversion”. *Geophysics*, Vol.66, No.1 (January-February 2001); P.174-187
- Saputro, Bayu, dkk. 2010. *Panduan Praktikum Geolistrik*. Yogyakarta : UPN
- Soebowo, E., Sarah, D., dan Murdohardono, D. 2014. “Geologi Teknik Amblesan Tanah di Kota Semarang”. *Proceeding PIT IAGI ke-3*, 16-18 September 2014. Jakarta, Indonesia.
- Sudrajat, Yayat, Handayani, Lina, Hananto, Nugroho D., Lavigne, Franck, Nyanjang, dan Sutarman. 2016. *Pengukuran Geolistrik untuk Memetakan Cekungan Airtanah di Kota Mataram*. *Prosiding Geotek Expo Puslit Geoteknologi LIPI*, Desember 2016.
- Suharton, Edy., Purwanto, dan Suripin. 2013. *Kondisi Intrusi Air Laut Terhadap Air Tanah pada Akuifer di Kota Semarang*. *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan 2013*.
- Suhelmi, Ifan R. dan Hari Pihatno. 2014. “Model Spasial Dinamik Genangan Akibat Kenaikan Muka Air Laut di Pesisir Semarang”. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, Vol. 21, No.1, Maret 2014 : 15-20.
- Suyoso. 2003. *Listrik Magnet*. Yogyakarta : UNY
- Syamsudin. 2007. *Penentuan Struktur Bawah Permukaan Bumi Dangkal Dengan Menggunakan Metoda Geolistrik Tahanan Jenis 2D (Studi Kasus Potensi Tanah Longsor Di Panawangan, Ciamis)*. Thesis. Bandung: ITB

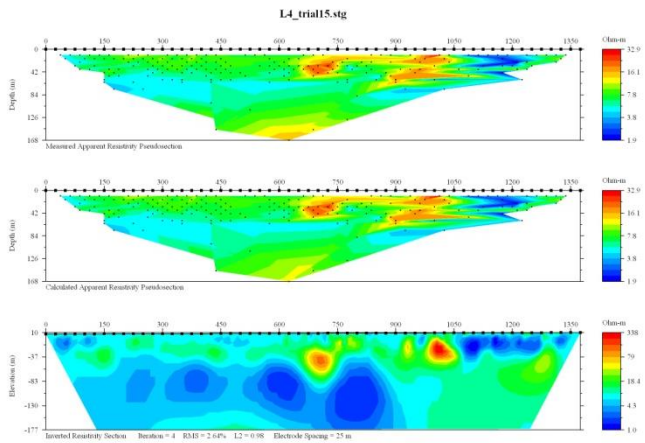
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Thaden, R. E., Sumadirja, H., and Richards P. W., 1975. *Peta Geologi lembar Magelang dan Semarang. Jawa Skala 1 : 100.000*. Direktorat Geologi, Bandung.
- Thanden, RE., H. Sumadirdja, PW. Richards, K. Sutisna. 1996. *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa skala 1:100.000*. Bandung : Pusat Survey Geologi
- Wardhana, Dadan D., Harjono, Hery, dan Sudaryanto. 2014. “Struktur Bawah Permukaan Kota Semarang Berdasarkan Data Gaya Berat”. *Jurnal Riset, Geologi, dan Pertambangan Vol. 24, No.1, Juni 2014 (53-64)*.
- Warnana, D.D., Wardhana, R.R., dan Widodo, Amien. 2017. “Identifikasi Intrusi Air Laut pada Air Tanah Menggunakan Metode Resistivitas 2D Studi Kasus Surabaya Timur”. *Jurnal Geosaintek 03/01*.
- Widada, Sugeng, Nisa, Khoirun, dan Yulianto Tony. 2012. “Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis Untuk Menentukan Zona Intrusi Air Laut di Kecamatan Genuk Semarang”. *Berkala Fisika Vol. 15 No.1, Januari 2012, hal 7-14*
- Widada, Sugeng. 2007. “Gejala Intrusi Air Laut di Daerah Pantai Kota Pekalongan”. *Jurnal Ilmu Kelautan Vol. 12(1), Maret 2007, hal 45-52*
- Yulianti, Anita., Sarah D., dan Eko Soebowo. “Pengaruh Lempung Ekspansif Terhadap Potensi Amblesan di Kota Semarang”. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan Vol.22 No.2 (2013), Hal 93-104*

LAMPIRAN

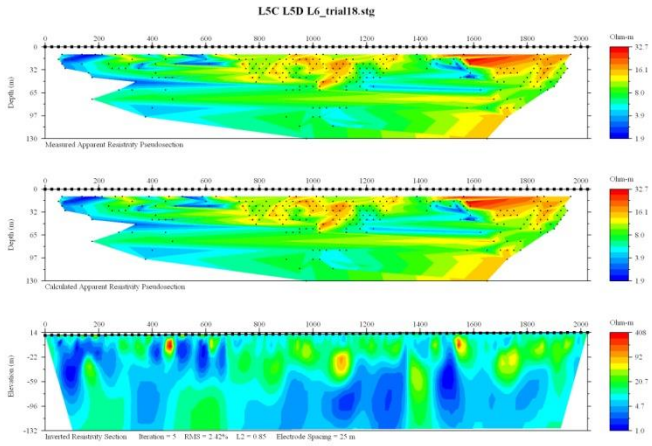
1. Data hasil pengolahan



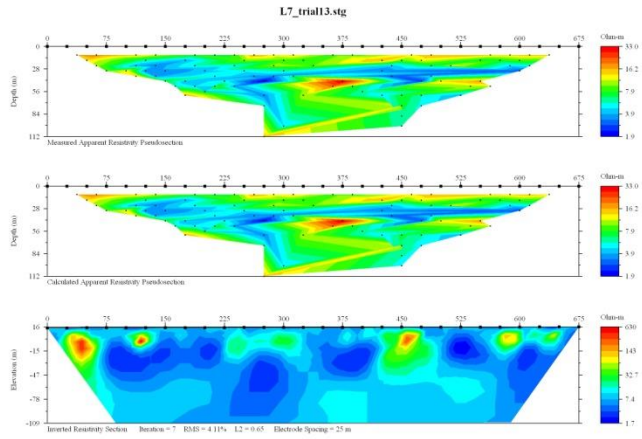
Gambar 1. Penampang pseudosection lintasan A



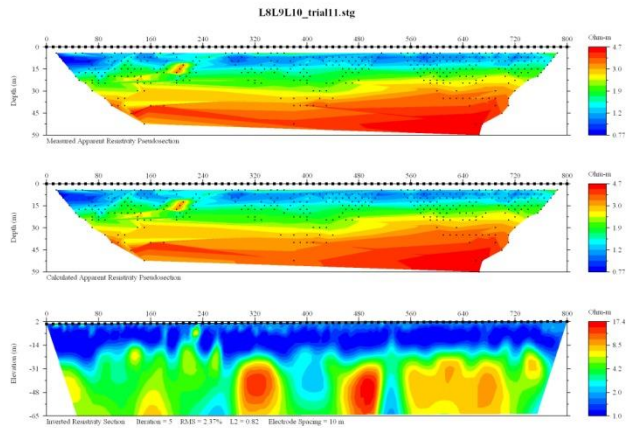
Gambar 2. Penampang pseudosection lintasan B



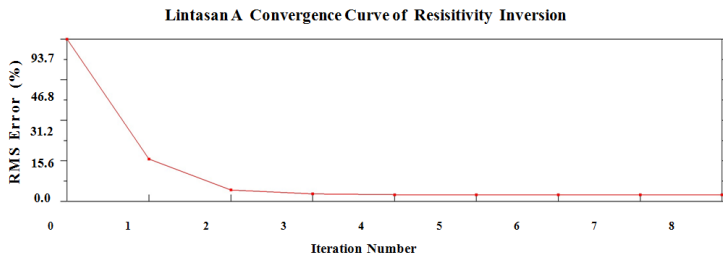
Gambar 3. Penampang pseudosection lintasan C



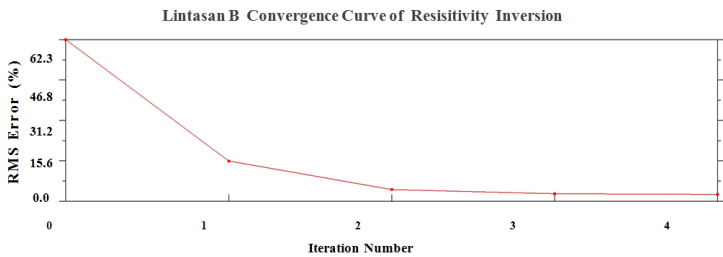
Gambar 4. Penampang pseudosection lintasan D



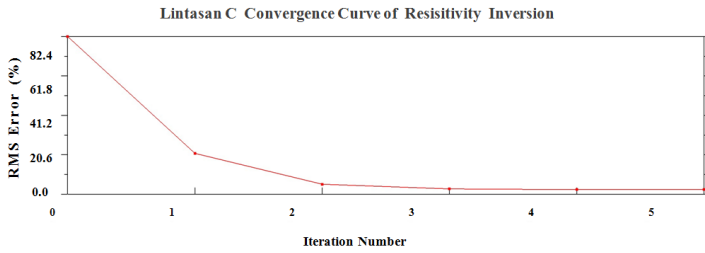
Gambar 5. Penampang pseudosection lintasan E



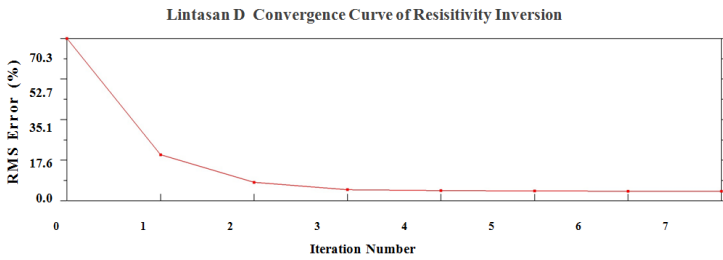
Gambar 6. Convergence Curve lintasan A



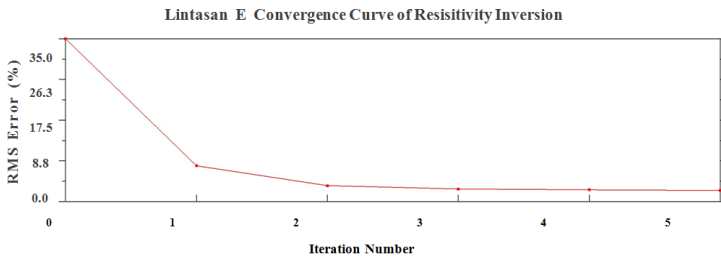
Gambar 7. Convergence Curve lintasan B



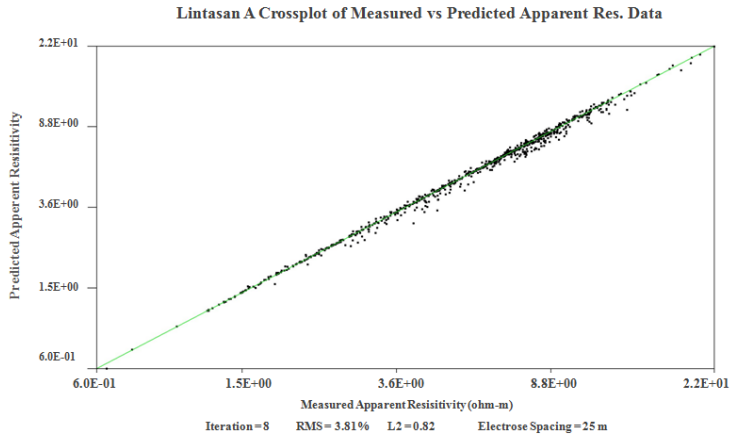
Gambar 8. *Convergence Curve* lintasan C



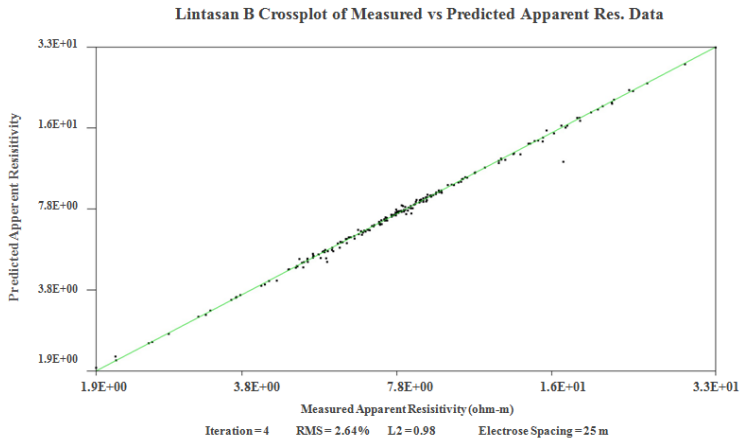
Gambar 9. *Convergence Curve* lintasan D



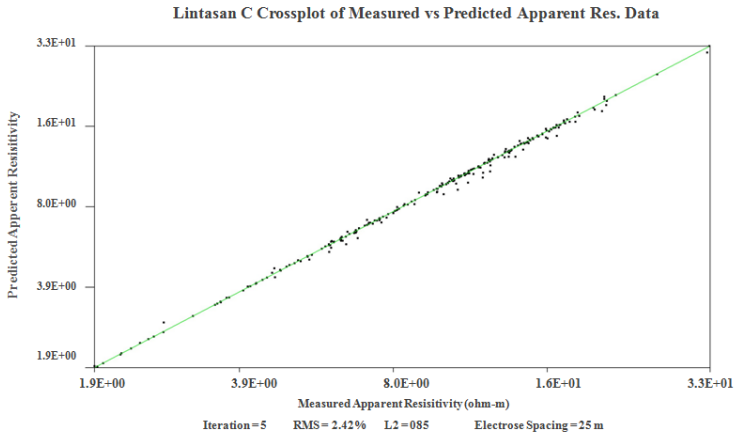
Gambar 10. *Convergence Curve* lintasan E



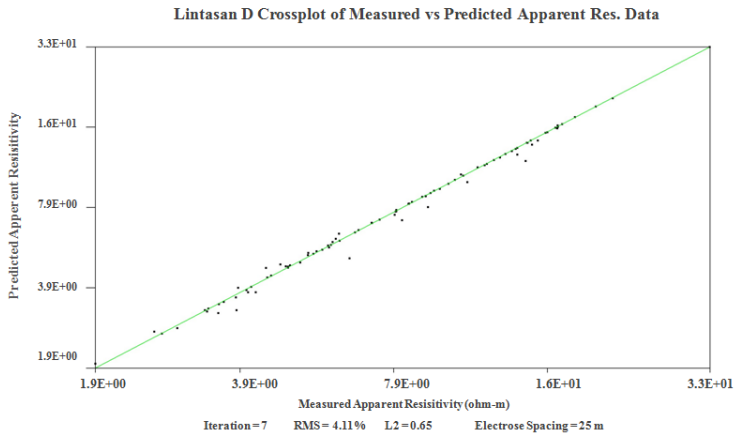
Gambar 11. *Crossplot of Measured vs Predicted Resistivity Data curve lintasan A*



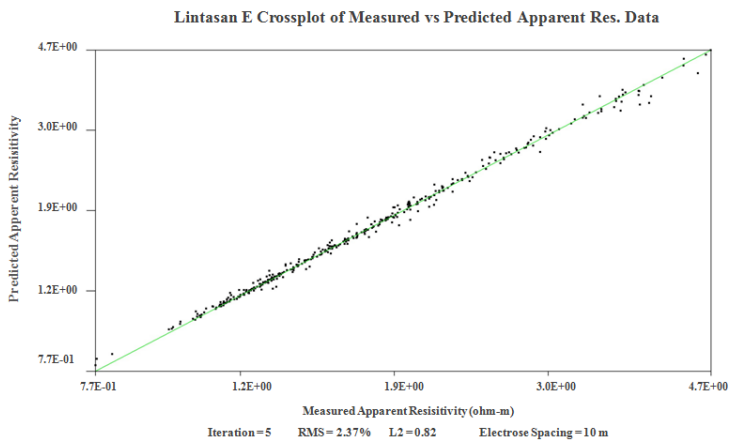
Gambar 12. *Crossplot of Measured vs Predicted Resistivity Data curve lintasan B*



Gambar 13. *Crossplot of Measured vs Predicted Resistivity Data curve lintasan C*



Gambar 14. *Crossplot of Measured vs Predicted Resistivity Data curve lintasan D*



Gambar 15. *Crossplot of Measured vs Predicted Resistivity Data curve lintasan E*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Amanda Rizky Utami, biasa dipanggil Amanda. Penulis lahir di Pacitan, 29 Mei 1997 dan merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Ayah penulis bernama Abdurrahman dan Ibu Effi Sukesi. Penulis memiliki seorang adik bernama Atha Farhana. Penulis tinggal di Desa Gembong, Kecamatan Arjosari, Kabupaten Pacitan. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Gembong 1 pada tahun 2003-2009, SMP Negeri 1 Arjosari pada tahun 2009-2012, SMA Negeri 1 Pacitan pada tahun 2012-2015, dan melanjutkan belajar di Departemen Fisika, Fakultas Sains Institut Teknologi Sepuluh Noember melalui jalur SNMPTN. Selama perkuliahan penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi sebagai staff Departemen Public Relation AAPG ITS SC periode 2016-2017, staff Departemen Perekonomian Himasika ITS periode 2016-2017, Sekertaris Departemen Student and Research Development AAPG ITS SC periode 2017, dan staff Internal Development HMGI wilayah IV periode 2017. Penulis pernah mengikuti kerja praktek di Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI pada bulan Agustus 2018. Pada bulan Januari 2019 penulis melaksanakan tugas akhir di Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI. Penulis memiliki motto hidup “*Be Yourself and Do Your Best*”. Apabila ada kritik, saran, dan masukan kepada penulis, silakan disampaikan melalui email amandarizky557@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”