



**APLIKASI METODE GEOLISTRIK UNTUK  
MENDETEKSI KEBOCORAN PIPA PDAM TIRTA  
MOEDAL SEMARANG**

skripsi  
disajikan sebagai salah satu syarat  
Untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
Program Studi Fisika

oleh  
Rizki Amelia Hidayati  
4250407006

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2011**

## PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul Aplikasi Metode Geolistrik Untuk Mendeteksi Kebocoran Pipa PDAM Tirta Moedal Semarang ini bebas plagiat, dan apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan.

Semarang, Agustus 2011

Rizki Amelia H  
4250407006



## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Aplikasi Metode Geolistrik untuk Mendeteksi Kebocoran Pipa PDAM Tirta  
Moedal Semarang

disusun oleh

Rizki Amelia Hidayati  
4250407006

Telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES  
pada tanggal 24 Agustus 2011

Panitia Ujian:

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Kasmadi Imam S., M.S  
NIP. 195111151979031001

Dr. Putut Marwoto, M.S  
NIP. 196308211988031004

Penguji I

Dr. Suharto Linuwih, M.Si  
NIP. 196807141996031005

Penguji II

Dr. Supriyadi, M.Si  
NIP. 196505181991021001

Penguji III

Dr. Khumaedi, M.Si  
NIP. 196306101989011002

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### Motto

“Allah tidak memikulkan beban (kewajiban) kepada jiwa (seseorang) kecuali sesuai kesanggupannya.....” (QS Al Baqarah 286)

“..... sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri....” (QS Ar-Ra’d 11)

“Satu-satunya alasan mengapa ada waktu, karena segala sesuatu tidak terjadi sekaligus” (Albert Einstein).

### Persembahan

Sesuatu yang sederhana ini saya persembahkan untuk:

- Bapak dan mamah
- Adik-adikku
- almamaterku

## PRAKATA

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan hidayahNya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat dan orang-orang yang mengikuti risalah beliau hingga akhir zaman.

Alhamdulillah, setelah melalui perjuangan dengan berbagai kendala, akhirnya penulis diijinkanNya untuk menikmati sedikit keberhasilan yang bagi penulis adalah karunia yang besar. Skripsi yang berjudul **“Aplikasi Metode Geolistrik Untuk Mendeteksi Kebocoran Pipa PDAM Tirta Moedal Semarang”** ini telah terselesaikan. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk melengkapi kurikulum dan menyelesaikan pendidikan Sarjana Strata Satu pada Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.

Terselesainya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. H. Sudjiono Sastroatmodjo, M.Si., selaku Rektor Universitas Negeri Semarang
2. Dr. Kasmadi I S, M.S., selaku Dekan FMIPA Universitas Negeri Semarang
3. Dr. Putut Marwoto, M.S., selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang
4. Dr. Agus Yulianto, M.Si., selaku dosen wali penulis

5. Dr. Supriyadi, M.Si. sebagai dosen pembimbing I yang telah memberikan banyak ilmu dan mendampingi penulis dalam setiap bimbingan
6. Dr. Khumaedi, M.Si. sebagai dosen pembimbing II yang selalu memberi waktu dan bantuannya dalam penyelesaian skripsi ini
7. Dr. Suharto Linuwih, M.Si sebagai penguji skripsi yang telah meluangkan waktunya
8. Keluargaku yang selalu membantu dan memberikan kepercayaan untukku dalam menggapai semua asa
9. Ir Gunawan sebagai Kasub bidang teknik PDAM Tirta Moedal Semarang yang telah memberikan ilmu dan membantu penulis dalam penelitian ini
10. Segenap staf dan karyawan PDAM Tirta Moedal Semarang yang telah banyak membantu dalam penelitian ini
11. Bapak Nur Qudus selaku Kepala Lab. Hidro Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang yang telah meminjamkan alat G-Sound kepada penulis
12. öKru Geofisikaö : Bayu, Yuda, Mini, Santi, Susi dan Ulin yang telah memberikan bantuan tenaga dalam penelitian ini
13. Teman-teman angkatan 07 terima kasih atas kerja sama dan kebersamaanya, semoga kita tetap saling mengingat saat-saat kita bersama.
14. Teman-temen kost Wulandari yang selalu memberi motivasi dan keceriaan.
15. Terima kasih untuk suara-suara yang mengatakan ökamu bisaö
16. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang membantu menyelesaikan skripsi ini

Semoga amal dan budi baiknya mendapat balasan yang setimpal dari Allah SWT.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna, oleh karena itu dengan besar hati penulis sangat berterima kasih terhadap saran dan kritik yang akan dijadikan masukan guna perbaikan. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Semarang, Agustus 2011

Penulis



## ABSTRAK

Hidayati, Rizki.A. 2011. *Aplikasi Metode Geolistrik Untuk Mendeteksi Kebocoran Pipa PDAM Tirta Moedal Semarang*. Skripsi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Dr. Supriyadi, M.Si. dan Pembimbing Pendamping Dr. Khumaedi, M.Si.

**Kata kunci : Geolistrik, resistivitas, konfigurasi wenner, pipa**

Geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang dapat mendeteksi aliran listrik di bawah permukaan bumi. Prinsip kerja metode geolistrik adalah mempelajari aliran listrik di dalam bumi dan cara mendeteksinya di permukaan bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil pendeteksian kebocoran pipa PDAM Tirta Moedal Semarang dengan metode tahanan jenis (*Resistivity*).

Penelitian ini menggunakan metode geolistrik tahanan jenis dengan konfigurasi Wenner. Metode Wenner adalah metode dengan sistem aturan spasi yang konstan dengan jarak antara elektroda  $C_1-P_1$  dan  $C_2-P_2$  adalah sama. Instrumen yang digunakan adalah resistivimeter yang dilengkapi dengan empat buah elektroda yang memiliki kemampuan dalam pembacaan output respon tegangan akibat arus yang diinjeksikan ke dalam permukaan tanah melalui dua buah elektroda arus dan dua buah elektroda potensial.

Data hasil pengukuran di lapangan berupa beda potensial dan arus dapat digunakan untuk menghitung harga resistivitas semu. Dalam penelitian ini digunakan software Res2Dinv untuk memetakan hasil inversi 2D di bawah permukaan yang telah diukur. Hasil penelitian menunjukkan tidak terdapat kebocoran pipa, karena pada hasil inversi tidak terdapat nilai resistivitas pipa yang disertai dengan nilai resistivitas air PDAM. Di jalan Fatmawati pipa berada pada kedalaman 1.5-2 meter dengan nilai resistivitas 5.08  $\Omega$  m, untuk daerah kedua yaitu kawasan SMA 15 pipa terletak pada kedalaman 2 meter dan nilai resistivitasnya 4.2  $\Omega$  m. Pada titik sounding ke III yaitu kawasan Plamongan Indah resistivitas pipa sebesar 5.25  $\Omega$  m dengan kedalaman 2.7 meter dan untuk titik sounding VI nilai resistivitas pipa 5.96  $\Omega$  m dengan kedalaman 2.3 meter dan penelitian dilakukan di Jalan Ketileng Raya Semarang.



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>PRAKATA .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB</b>	
<b>1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Penegasan Istilah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Penulisan Skripsi.....	6
<b>2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Profil Tirta Moedal.....	9
2.2 Sifat Listrik Dalam batuan.....	12
2.3 Potensial Pada Medium Homogen .....	14
2.4 Resistivitas Batuan .....	18

2.5 Geolistrik Metode Tahanan Jenis .....	20
2.6 Konfigurasi Elektroda.....	22
2.7 Kondisi Geologi .....	25
2.8 Res2Dinv.....	30
<b>3 METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	32
3.2 Bahan dan Desain Alat .....	33
3.3 Langkah Penelitian .....	36
3.4 Pengolahan Data.....	37
3.5 Analisis dan Interpretasi .....	37
3.6 Metode Pengumpulan Data.....	39
3.7 Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian.....	40
<b>4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Perhitungan nilai R, K dan .....	41
4.2 Hasil Penelitian .....	41
4.3 Analisa dan Interpretasi Data.....	42
4.4 Pembahasan.....	50
<b>5 PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	55
5.2 Saran .....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>56</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>58</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Sumber produksi PDAM Tirta Moedal Semarang.....	9
2.2 Variasi resistivitas material batuan.....	19
2.3 Jenis tanah dan sebarannya di Kota Semarang.....	29



## DAFTAR GAMBAR

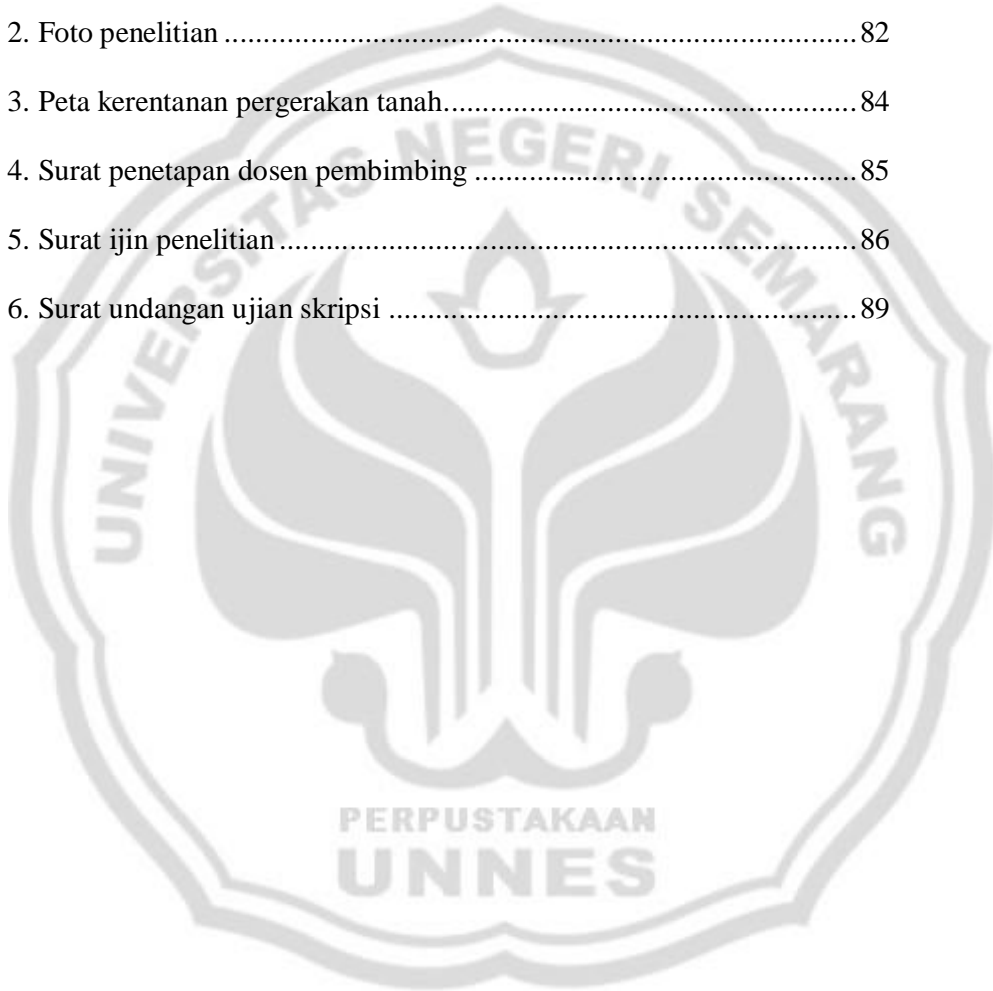
Gambar	Halaman
2.1 Ilustrasi kebocoran pipa yang sering terjadi di lapangan .....	11
2.2 Silinder Konduktor.....	12
2.3 Titik sumber arus di dalam tanah media homogen .....	15
2.4 Titik sumber arus di permukaan tanah media homogen .....	16
2.5 Pola aliran arus dan bidang ekuipotensial antara dua elektroda arus dengan polaritas berlawanan.....	17
2.6 Skema resistivitas semu lapisan tanah .....	22
2.7 Peta geologi kota Semarang .....	26
3.1 Peta Kota Semarang .....	32
3.2 G-sound .....	34
3.3 Susunan konfigurasi wenner.....	34
3.4 Diagram alur proses penelitian .....	40
4.1 Penampang sounding di Jalan Fatmawati 23 April.....	43
4.2 Penampang sounding di Jalan Fatmawati 9 Juli.....	43
4.3 Penampang sounding kawasan SMA 15 Semarang 8 Mei.....	45
4.4 Penampang sounding kawasan SMA 15 Semarang 10 Juli.....	45
4.5 Penampang hasil Inversi 2-D di Plamongan Indah 17 Mei 2011 .....	47
4.6 Penampang hasil Inversi 2-D di Plamongan Indah 9 Juli .....	48
4.7 Penampang sounding Jalan Ketileng Raya 27 Mei.....	49

4.8 Penampang sounding Jalan Ketileng Raya 8 Juli .....	50
4.9 Penampang resistivitas pipa yang mengalami kebocoran .....	52



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Data penelitian .....	58
2. Foto penelitian .....	82
3. Peta kerentanan pergerakan tanah.....	84
4. Surat penetapan dosen pembimbing .....	85
5. Surat ijin penelitian .....	86
6. Surat undangan ujian skripsi .....	89



## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Alasan Pemilihan Judul

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) merupakan salah satu badan usaha milik daerah yang dapat menyokong pendapatan daerah sekaligus sebagai pelayan masyarakat. Tuntutan akan pendapatan dan pelayanan inilah yang menjadikan PDAM harus bekerja secara professional.

Pada beberapa PDAM di Indonesia kebocoran air merupakan salah satu permasalahan yang sering dijumpai. Menurut Kandisa (2008) kebocoran air biasanya disebabkan oleh beberapa faktor yaitu faktor teknis dan faktor non teknis. Kebocoran yang disebabkan faktor teknis adalah : (1) pecahnya pipa karena gangguan alam maupun gangguan manusia, (2) rusaknya pipa karena korosi, (3) masa pakai pipa sudah habis, (4) pemasangan pipa yang kurang sempurna terutama pada sambungan, (5) rendahnya akurasi *water meter* serta (6) *water meter* dalam kondisi rusak atau sama sekali tidak terpasang (pencatatan berdasarkan perkiraan). Kemudian kebocoran yang disebabkan oleh faktor non teknis diantaranya disebabkan oleh (1) adanya sambungan liar, (2) kesalahan pembacaan meter, (3) kesalahan pencatatan angka meter dan (4) pemakaian yang tidak tercatat, misalnya untuk pengurusan dan pemadam kebakaran.

Kebocoran pipa ledeng ternyata bukan hanya terjadi pada perusahaan daerah air minum (PDAM) di Indonesia. Rata-rata kebocoran air pipa pada

PDAM di Indonesia terbilang masih tinggi, sekitar 33%. Data Kementerian Pekerjaan Umum menyebutkan sejumlah PDAM bahkan memiliki tingkat kebocoran lebih dari 50%. Adapun tingkat kebocoran pada PDAM di Jakarta mencapai 49%. Kota-kota besar lain yang mempunyai tingkat kebocoran tinggi adalah London 26%, Ho Chi Minh 39%, dan Bangkok 33%. Jepang mempunyai tingkat kebocoran paling rendah di dunia. Rata-rata kebocoran pada pipa air minum di negara itu hanya 3,6% (Muhanda, 2010 : 7).

Menurut Naimah & Agus (2008) tingkat kebocoran pipa PDAM dapat diturunkan dengan beberapa cara diantaranya membuat peta jaringan perpipaan yang akurat sesuai kenyataan di lapangan, melakukan penzoningan perpipaan agar mudah dalam mendeteksi kebocoran pipa dan pengadaan meter air. Pengembangan metode pendeteksian kebocoran pipa air pada jaringan pipa yang kontinu menjadi salah satu penelitian yang aktif untuk saat ini di beberapa pihak perusahaan air minum dunia. Hal ini dibutuhkan karena banyak kerugian yang dialami perusahaan jika terjadi kebocoran di aliran pipa. Salah satu cara untuk mengetahui kebocoran pipa adalah dengan menggunakan *software* Scada (Pasila *et al.*, 2002 : 100). Dengan adanya teknologi Scada, PDAM akan mendapat berbagai kemudahan antara lain pengontrolan perangkat distribusi air otomatis. Katana & Zubaidah (2008) telah melakukan pemodelan berskala laboratorium untuk mengukur resistivitas pipa bawah permukaan dengan metode geolistrik.

Menurut Khesin (2004) ada beberapa metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui gambaran bawah permukaan yaitu metode geolistrik, metode magnetik, metode gravitasi dan seismik. Metoda geolistrik tahanan jenis



merupakan salah satu metoda geofisika untuk menyelidiki kondisi bawah permukaan, yaitu dengan mempelajari sifat aliran listrik pada batuan di bawah permukaan bumi. Metode ini mempunyai prinsip dasar yaitu mengirimkan arus ke bawah permukaan melalui dua elektroda arus ( $C_1$  dan  $C_2$ ), dan mengukur kembali besar tegangan di antara dua elektroda potensial ( $P_1$  dan  $P_2$ ) yang diterima di permukaan. Metode ini dapat dipakai untuk mendeteksi intrusi air laut, pencemaran air tanah dan mendeteksi kebocoran waduk serta pipa, hal ini didasarkan pada harga resistivitas yang diperoleh pada saat pengukuran.

Resistivitas batuan sangat dipengaruhi oleh adanya pori-pori dalam batuan dan karakteristik fluida pengisi pori-pori tersebut. Jika pori-pori batuan berisi udara, gas atau uap air yang tidak dapat mengalirkan listrik maka resistivitas batuan tersebut akan sangat tinggi (resistif). Kawasan yang mengalami kebocoran pipa kandungan air dalam tanah akan lebih banyak bila dibandingkan dengan kawasan yang tidak mengalami kebocoran, nilai konduktivitas yang dimiliki oleh air PDAM Tirta Moedal berkisar antara 100 sampai 300 yang berarti memiliki nilai resistivitas 0.01-0.03  $\Omega$  m. Zubaidah & Katana (2008) dalam penelitiannya yang berjudul *Pemodelan Fisika Aplikasi Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger Untuk Investigasi Keberadaan Air Tanah* menyebutkan nilai resistivitas material dipengaruhi oleh banyaknya air yang terdapat dalam material, semakin banyak air yang terkandung dalam material tersebut maka resistivitasnya semakin kecil karena air bersifat konduktif.

PDAM Tirta Moedal merupakan merupakan salah satu badan usaha milik daerah yang dapat menyokong pendapatan daerah sekaligus sebagai pelayan

masyarakat yang terletak di kota Semarang. Beberapa kasus seperti kebocoran pipa dan distribusi air yang tidak lancar sering terjadi di berbagai tempat. Pengaruh kebocoran ini memang sangat besar terhadap kesehatan keuangan PDAM karena kebocoran pipa berarti kehilangan potensi pendapatan. Ini tentunya merupakan kerugian besar.

Berdasarkan permasalahan di atas, penulis tertarik untuk meneliti lebih lanjut dengan penelitian yang berjudul **Aplikasi Metode Geolistrik Untuk Mendeteksi Kebocoran Pipa PDAM Tirta Moedal Semarang.**

## 1.2 Permasalahan

Berdasarkan alasan pemilihan judul di atas, maka permasalahan yang muncul adalah bagaimanakah hasil metode geolistrik dalam pendeteksian kebocoran pipa PDAM Tirta Moedal Semarang?

## 1.3 Penegasan Istilah

Untuk menghindari penafsiran yang berbeda terhadap beberapa istilah yang digunakan, maka diperlukan penegasan sebagai berikut.

1. Geolistrik adalah alat yang digunakan dalam survei metode geofisika yang bekerja atas prinsip aliran listrik di dalam bumi dan bagaimana cara mendeteksinya di permukaan bumi.
2. Metode resistivitas/tahanan jenis adalah salah satu dari jenis metode yang digunakan untuk mempelajari keadaan bawah permukaan dengan cara

mempelajari sifat aliran listrik di dalam batuan di bawah permukaan bumi (Adhi *et al.*, 2011).

3. Elektroda konfigurasi wenner adalah salah satu konfigurasi dari metode geolistrik tahanan jenis dengan jarak keempat elektroda ( $C_1$ ,  $P_1$ ,  $C_2$  dan  $P_2$ ) adalah sama.
4. Resistivitas menyatakan sifat khas dari suatu bahan yaitu besarnya hambatan tertentu dengan satuan  $\Omega \cdot m$ . Resistivitas menunjukkan kemampuan bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil pendeteksian kebocoran pipa pada PDAM Tirta Moedal Semarang dengan menggunakan metode geolistrik.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Memberikan informasi bagi instansi terkait tentang metode geolistrik tahanan jenis sebagai salah satu metode untuk mendeteksi kebocoran pipa PDAM Tirta Moedal.
2. Memberikan informasi letak kebocoran pipa yang terjadi pada PDAM Tirta Moedal Semarang apabila ditemukan kebocoran.

## 1.6 Sistematika Skripsi

Adapun sistematika yang akan digunakan oleh penulis dalam penyusunan skripsi untuk mempermudah dalam menelaahnya adalah sebagai berikut.

### 1. Bagian awal skripsi

Bagian ini berisi halaman judul, pengesahan kelulusan, pernyataan, motto dan persembahan, kata pengantar, abstrak, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar, dan daftar lampiran.

### 2. Bagian isi skripsi

Bagian ini terdiri dari lima bab yang meliputi.

#### a. Bab 1 Pendahuluan

Bab ini memuat alasan pemilihan judul yang melatar-belakangi masalah, permasalahan, penegasan istilah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika skripsi.

#### b. Bab 2 Landasan Teori

Bab ini terdiri dari kajian mengenai landasan teori yang mendasari penelitian.

#### c. Bab 3 Metode Penelitian

Bab ini menguraikan metode penelitian yang digunakan dalam penyusunan skripsi. Metode penelitian ini meliputi; metode pengumpulan data, desain penelitian, dan metode analisis serta interpretasi data.

d. Bab 4 Hasil Penelitian dan Pembahasan

Bab ini berisi hasil-hasil penelitian dan pembahasannya.

e. Bab 5 Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan hasil penelitian dan saran-saran sebagai implikasi dari hasil penelitian.

3 Bagian akhir skripsi

Bagian ini berisi daftar pustaka dan lampiran-lampiran.



## BAB 2

### LANDASAN TEORI

Air bersih merupakan kebutuhan dasar manusia yang berdampak langsung pada kesehatan, kesejahteraan fisik, sosial dan ekonomi masyarakat. Menurut PBB, akses atas air bersih dinyatakan sebagai hak asasi manusia. Saat ini dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk maupun kegiatan perkotaan selain membutuhkan tempat atau lahan untuk beraktivitas juga membutuhkan dukungan penyediaan air bersih yang layak karena manusia tidak mungkin dapat hidup tanpa adanya air bersih. Pemerintah selaku abdi masyarakat berkewajiban untuk menjamin kelayakan dan keberlanjutan akses masyarakat terhadap air bersih tersebut pada tingkat daerah baik provinsi maupun kota atau kabupaten penyediaan air bersih ditangani oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM).

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) merupakan salah satu perangkat daerah yang berkewajiban memberikan pelayanan dasar (*basic services*) bagi masyarakat berupa penyediaan air bersih, hal ini sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2007 tentang Pembagian Urusan Pemerintahan Antara Pemerintah, Pemerintahan Daerah Provinsi, dan Pemerintahan Daerah Kabupaten maupun Kota. Menurut Wisnu (2008: 1-2) PDAM sebagai salah satu Badan Usaha Milik Daerah (BUMD), merupakan perangkat daerah yang ditunjuk untuk menjalankan penyelenggaraan urusan Pemerintah Daerah dalam hal penyediaan air bersih kepada masyarakat. Ketentuan tersebut berarti mengukuhkan kedudukan hukum PDAM sebagai institusi (organisasi pelayanan

publik) yang sah dalam melaksanakan urusan pemerintahan yang wajib diselenggarakan oleh Pemerintah Daerah khususnya di tingkat kabupaten maupun kota.

## 2.1 Profil Tirta Moedal

Perusahaan Daerah Penyedia Air Minum ini adalah instansi yang melayani kebutuhan air minum di seantero kota Semarang, berasal dari kata Tirta yang berarti air dan Moedal yang merupakan akronim dari MO (*modern system and management*), ED (*educated and dedicated staff*) dan AL (*all stake holder satisfy*).

### 2.1.1 Sumber Air

PDAM Tirta Moedal dapat mengolah sekitar 2272.53 liter/detik air bersih. Sumber air yang diambil oleh PDAM Tirta Moedal berasal dari Kali Garang Semarang yang selanjutnya akan diproses. Dibawah ini merupakan tabel sumber produksi PDAM Tirta Moedal :

Tabel 2.1 Sumber produksi PDAM Tirta Moedal Semarang

No	Sumber	Kontribusi	Kontribusi terpasang	Debit
1	Mata air	15.55%	522	353.37
2	Air tanah dalam	1.47%	49.75	33.38
	a. Sumur kota			
	b. Sumur Pegunungan	15.3%	786	343.81
3	Air permukaan	67.85%	2430	1541.97
		100%	3770.75	2272.53

### 2.1.2 Proses Produksi

Berdasarkan data statistik PDAM Tirta Moedal, dari tahun ke tahun kebutuhan air di kota Semarang akan terus meningkat secara spesifik. Perbandingan jumlah konsumsi air dengan jumlah yang tersedia (dalam Liter/detik) pada tahun 2003 = 6500 : 2018; tahun 2009 = 9000 : 3300 ; dan diperkirakan pada tahun 2015 = 12500 : 4800. Data diatas menunjukkan bahwa PDAM Tirta Moedal masih belum dapat memenuhi kebutuhan air masyarakat Kota Semarang.

### 2.1.3 Proses pengolahan

Proses pengolahan secara lengkap diberlakukan pada air yang berasal dari sungai, karena sumber produksi utama PDAM Tirta Moedal berasal dari Kaligarang. Secara umum, proses pengolahan air secara lengkap meliputi : (1) penyaringan awal, (2) pengadukan cepat, (3) pengadukan lambat, (4) pengendapan, (5) penyaringan dan (6) sterilisasi.

#### 1. Penyaringan awal

Aliran sungai yang sebagian diarahkan ke intake yang merupakan unit bangunan pertama dari instalasi pengolahan air. Pada unit bangunan ini terjadi proses penyaringan terhadap kotoran yang melayang dengan menggunakan screen jeruji besi.

#### 2. Proses pengadukan cepat (koagulasi)

Proses pencampuran dan pemerataan bahan kimia alumunium sulfat (tawas) dan polyalumunium chloride (PAC) dengan air baku.

#### 3. Proses pengadukan lambat (flokulasi)



Merupakan proses pengadukan yang bertujuan untuk menggabungkan flok-flok yang terbentuk pada proses koagulasi sehingga mudah untuk diendapkan.

4. Pengendapan (sedimentasi)
5. Proses penyaringan

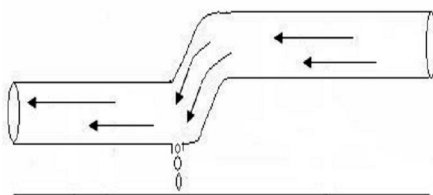
Media yang dilakukan pada penyaringan adalah pasir kuarsa.

6. Proses sterilisasi

Proses pemberian zat disinfektan dalam hal ini adalah chlor yang bertujuan untuk membunuh bakteri/kuman yang mungkin masih ada pada air.

Pengembangan metode pendeteksian kebocoran pipa menjadi salah satu penelitian yang aktif untuk saat ini di beberapa pihak perusahaan air minum dunia. Hal ini dibutuhkan karena banyak hal kerugian bagi perusahaan dalam menangani pengaliran air untuk skala yang besar jika terjadi kebocoran di aliran pipa tersebut. Adapun kerugiannya adalah memerlukan waktu yang cukup lama dan membutuhkan dana yang besar serta tenaga yang tidak sedikit untuk mendeteksi letak kebocoran pipa.

Berikut ini adalah contoh gambar kebocoran pipa.



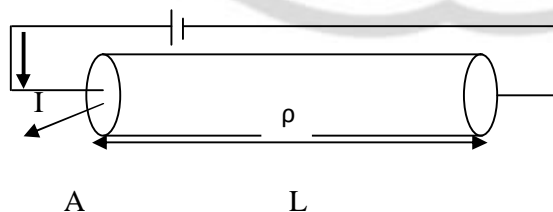
Gambar 2.1 Ilustrasi kebocoran pipa yang sering terjadi di lapangan.

## 2.2 Sifat Listrik Dalam Batuan

Aliran arus listrik di dalam batuan dan mineral dapat di golongan menjadi tiga macam, yaitu konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolitik, dan konduksi secara dielektrik.

### 2.2.1 Konduksi secara elektronik

Konduksi ini terjadi jika batuan atau mineral mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik di alirkan dalam batuan atau mineral oleh elektron-elektron bebas tersebut. Aliran listrik ini juga di pengaruhi oleh sifat atau karakteristik masing-masing batuan yang di lewatinya. Salah satu sifat atau karakteristik batuan tersebut adalah resistivitas (tahanan jenis) yang menunjukkan kemampuan bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik, begitu pula sebaliknya. Resistivitas memiliki pengertian yang berbeda dengan resistansi (hambatan), dimana resistansi tidak hanya bergantung pada bahan tetapi juga bergantung pada faktor geometri atau bentuk bahan tersebut, sedangkan resistivitas tidak bergantung pada faktor geometri. Jika di tinjau suatu silinder dengan panjang  $L$ , luas penampang  $A$ , dan resistansi  $R$ , maka dapat di rumuskan:



$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.1)$$

Gambar 2.2 Silinder konduktor

Di mana secara fisis rumus tersebut dapat di artikan jika panjang silinder konduktor ( $L$ ) dinaikkan, maka resistansi akan meningkat, dan apabila diameter silinder konduktor diturunkan yang berarti luas penampang ( $A$ ) berkurang maka resistansi juga meningkat. Di mana  $\rho$  adalah resistivitas (tahanan jenis) dalam  $\Omega \cdot m$ .

Sedangkan menurut hukum Ohm, resistansi  $R$  dirumuskan :

$$R = \frac{V}{I} \tag{2.2}$$

Sehingga didapatkan nilai resistivitas ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{VA}{IL} \tag{2.3}$$

namun banyak orang lebih sering menggunakan sifat konduktivitas ( $\sigma$ ) batuan yang merupakan kebalikan dari resistivitas ( $\rho$ ) dengan satuan mhos/m.

$$\sigma = 1/\rho = \frac{IL}{VA} = \left(\frac{I}{A}\right) \left(\frac{L}{V}\right) = \frac{J}{E} \tag{2.4}$$

Di mana  $J$  adalah rapat arus (ampere/m<sup>2</sup>) dan  $E$  adalah medan listrik (volt/m)

### 2.2.2 Konduksi secara elektrolitik

Sebagian besar batuan merupakan konduktor yang buruk dan memiliki resistivitas yang sangat tinggi. Namun pada kenyataannya batuan biasanya bersifat porus dan memiliki pori-pori yang terisi oleh fluida, terutama air. Akibatnya batuan-batuan tersebut menjadi konduktor elektrolitik, di mana konduksi arus listrik dibawa oleh ion-ion elektrolitik dalam air. Konduktivitas dan resistivitas batuan porus bergantung pada volume dan susunan pori-porinya. Konduktivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan bertambah

banyak, dan sebaliknya resistivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan berkurang.

### 2.2.3 Konduksi secara dielektrik

Konduksi ini terjadi jika batuan atau mineral bersifat dielektrik terhadap aliran arus listrik, artinya batuan atau mineral tersebut mempunyai elektron bebas sedikit, bahkan tidak sama sekali. Elektron dalam batuan berpindah dan berkumpul terpisah dalam inti karena adanya pengaruh medan listrik di luar, sehingga terjadi poliarisasi.

## 2.3 Potensial Pada Medium Homogen

Tahanan listrik dari suatu material didefinisikan sebagai tahanan listrik dari suatu penampang konduktor (gambar 2.2) dengan luas penampang tertentu dan panjang tertentu. Jika tahanan jenis dari penampang konduktor yang mempunyai panjang  $L$  dan luas penampang  $A$  adalah  $\rho$ , maka tahanan  $R$  diekspresikan oleh persamaan :

$$R = \frac{L}{A} \quad (2.5)$$

keterangan :

$R$  = tahanan ( )

$\rho$  = tahanan jenis ( m)

$L$  = panjang penampang (m)

$A$  = luas penampang ( $m^2$ )

Hubungan antara rapat arus (densitas)  $J$  dengan medan listrik  $E$  dan tahanan jenis (  $\rho$  ) dalam hukum Ohm adalah :

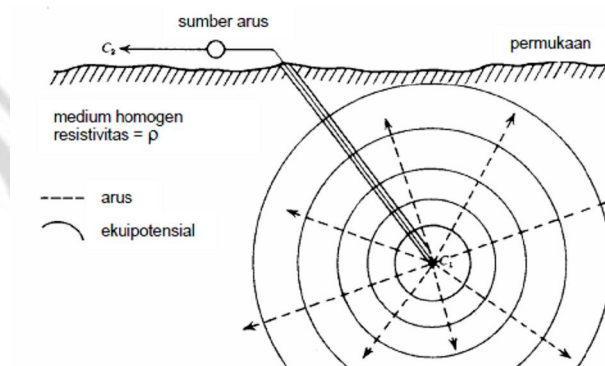
$$J = \frac{1}{\rho} \text{ atau } J = \sigma E \quad (2.6)$$

Konduktivitas material,  $\sigma$  didefinisikan sebagai  $1/\rho$  , berbanding terbalik dengan tahanan jenisnya. Satuan konduktivitas dalam SI (Standar Internasional) adalah mho/m atau siemens/m.

### 2.3.1 Potensial Elektroda Arus Tunggal di Dalam Bumi

Bila arus diinjeksikan pada suatu titik di kedalaman bumi, maka arus akan memancar ke segala arah membentuk permukaan *equipotensial* yang berbentuk bola (gambar 2.3). Arus tersebut akan keluar secara radial dari titik arus sehingga jumlah arus yang keluar melalui permukaan bola  $A$  dengan jari-jari  $r$  adalah :

$$\rho = 4 \pi r^2 \frac{V}{I} \quad (2.7)$$



Gambar 2.3 Titik sumber arus di dalam tanah media homogen

### 2.3.2 Potensial Elektroda Arus Tunggal di Permukaan Bumi

Jika arus diinjeksikan pada permukaan bumi, maka arus akan memancar secara radial, tetapi permukaannya berbentuk setengah bola (gambar 2.4). Besarnya arus yang keluar dari elektroda tersebut adalah :

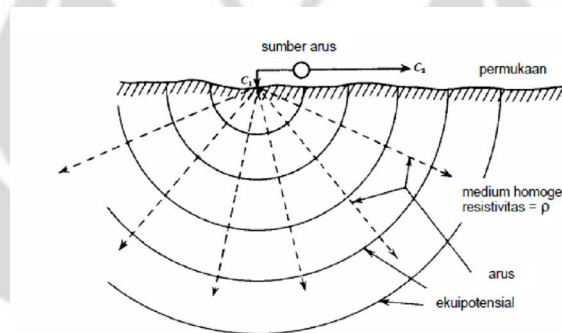
$$\rho = 2 r \frac{V}{I} \tag{2.8}$$

keterangan :  $\rho$  = tahanan jenis ( $\Omega$  m)

$r$  = jari-jari bola (m)

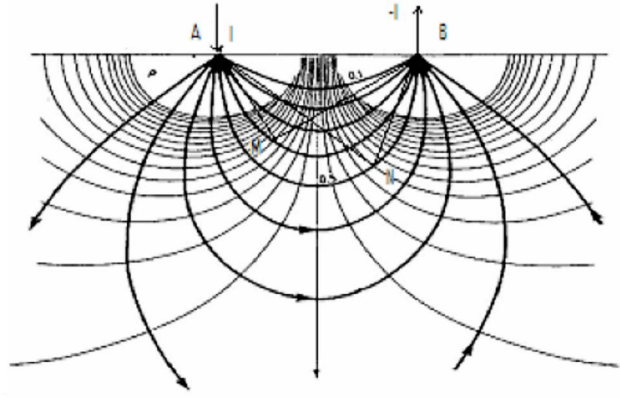
$v$  = potensial (volt)

$I$  = arus listrik (ampere)



Gambar 2.4 Titik sumber arus di permukaan tanah media homogen

### 2.3.3 Potensial Dua Elektroda Arus di Permukaan Bumi



Gambar 2.5 Pola aliran arus dan bidang ekuipotensial antara dua elektroda arus dengan polaritas berlawanan

Beda potensial yang terjadi antara MN yang disebabkan oleh injeksi arus pada AB adalah :

$$\Delta V = V_M - V_N \tag{2.9}$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[ \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right] \tag{2.10}$$

$$\rho = 2\pi \left[ \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]^{-1} \tag{2.11}$$

Sehingga

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \tag{2.12}$$

dengan I arus dalam Ampere, V beda potensial dalam Volt, tahanan jenis dalam Ohm meter dan k faktor geometri elektroda dalam meter, maka :

$$k = 2\pi \left[ \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]^{-1} \quad (2.13)$$

$k$  merupakan faktor koreksi geometri dari konfigurasi elektroda potensial dan elektroda arus.

## 2.4 Resistivitas Batuan

Dari semua sifat fisika batuan dan mineral, resistivitas memperlihatkan variasi harga yang sangat banyak. Pada mineral-mineral logam, harganya berkisar pada  $10^8 \text{ m}$  hingga  $10^7 \text{ m}$ . Begitu juga pada batuan-batuan lain, dengan komposisi yang bermacam-macam akan menghasilkan range resistivitas yang bervariasi pula. Sehingga range resistivitas maksimum yang mungkin adalah dari  $1,6 \times 10^8$  (perak asli) hingga  $10^{16} \text{ m}$  (belerang murni).

Konduktor biasanya didefinisikan sebagai bahan yang memiliki resistivitas kurang dari  $10^8 \text{ m}$ , sedangkan isolator memiliki resistivitas lebih dari  $10^7 \text{ m}$ . Dan di antara keduanya adalah bahan semikonduktor. Di dalam konduktor berisi banyak elektron bebas dengan mobilitas yang sangat tinggi. Sedangkan pada semikonduktor, jumlah elektron bebasnya lebih sedikit. Isolator dicirikan oleh ikatan ionik sehingga elektron-elektron valensi tidak bebas bergerak.

Secara umum, berdasarkan harga resistivitas listriknya, batuan dan mineral dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu:

ÉKonduktor baik :  $10^8 < <1 \text{ m}$



ÉKonduktor pertengahan :  $1 < < 10^7 \text{ m}$

ÉIsolator :  $> 10^7 \text{ m}$

Kebanyakan mineral membentuk batuan penghantar listrik yang tidak baik walaupun beberapa logam asli dan grafit dapat menghantarkan listrik. Resistivitas yang terukur pada material bumi utamanya ditentukan oleh pergerakan ion-ion bermuatan dalam pori-pori fluida.

Berikut adalah variasi resistivitas material bumi :

Tabel 2.2. Variasi Resistivitas Material Bumi (Telford, 1990)

Material	Resistivity (ohm meter)
Air (udara)	~ (tak terhingga)
Pyrite (pirit)	0,01 - 100
Quartz (kuarsa)	500 - 800.000
Calcite (kalsit)	$1 \times 10^{12} \text{ ó } 1 \times 10^{13}$
Rock salt (garam batu)	$30 \text{ ó } 1 \times 10^{13}$
Granite (granit)	200 - 100.000
Andesite (andesit)	$1,7 \times 10^2 - 45 \times 10^4$
Basalt (basal)	200 - 100.000
Limestone (gamping)	5000 - 10.000
Sandstones (batu pasir)	200 - 8.000
Shales (batu tulis)	20 - 2000
Sand (pasir)	1 - 1.000
Clay (lempung)	1 - 100
Ground water (air tanah)	$0,5 \text{ ó } 300$
Sea water (air laut)	0,2
Dry gravol (kerikil kering)	600 - 10.000
Alluvium (aluvium)	$10 \text{ ó } 800$

Harga tahanan jenis batuan tergantung macam-macam materialnya, densitas, porositas, ukuran dan bentuk pori-pori batuan, kandungan air, kualitas dan suhu, dengan demikian tidak ada kepastian harga tahanan. Resistivitas untuk setiap macam batuan pada akuifer yang terdiri atas material lepas mempunyai harga tahanan jenis yang lebih kecil karena besar kandungan air tanahnya atau makin besar kandungan garamnya (misal air asin). Mineral lempung bersifat menghantarkan arus listrik sehingga harga tahanan jenis akan kecil.

## 2.5 Geolistrik Metode Tahanan Jenis

Metoda geolistrik tahanan jenis merupakan salah satu metoda geofisika untuk menyelidiki kondisi bawah permukaan, yaitu dengan mempelajari sifat aliran listrik pada batuan di bawah permukaan bumi. Metode ini pada prinsipnya bekerja dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi melalui dua elektroda arus sehingga menimbulkan beda potensial. Dan beda potensial yang terjadi diukur melalui dua elektroda potensial. Hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk setiap jarak elektroda yang berbeda dapat digunakan untuk menurunkan variasi harga tahanan jenis (Mc Dowell *et al.*, 2002 : 61).

Metode ini lebih efektif dan cocok di gunakan untuk eksplorasi yang sifatnya dangkal dan jarang memberikan informasi lapisan di kedalaman lebih dari 1000 kaki atau 1500 kaki. Menurut Khesin (2002) metode geolistrik tahanan jenis lebih cepat untuk dilakukan daripada metode seismik, biaya yang diperlukan juga relatif lebih murah. Metode ini berguna untuk mendeteksi kebocoran air dari reservoir dan pipa akibat korosi.

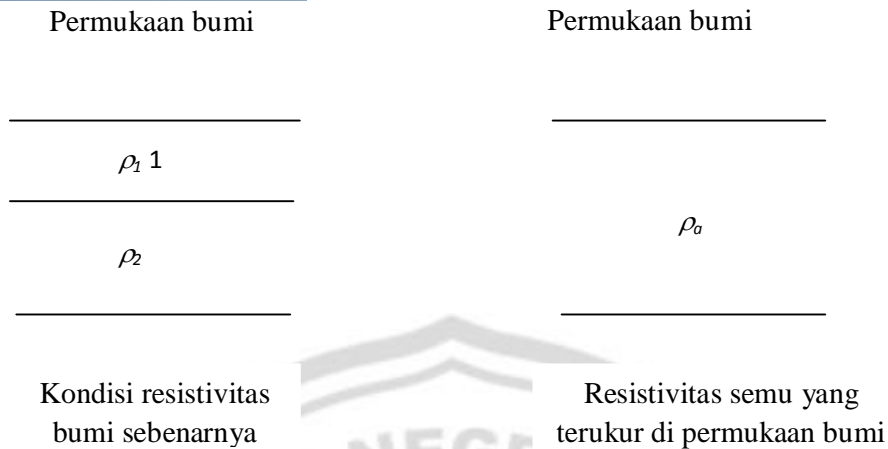
Berdasarkan letak (konfigurasi) elektroda-elektroda arus dan potensialnya, dikenal beberapa jenis metode geolistrik tahanan jenis, antara lain metode Schlumberger, metode wenner, metode pole-pole, metode pole-dipole dan metode dipoele-dipole .

Pada metode tahanan jenis, bumi diasumsikan sebagai bola padat yang mempunyai sifat homogen isotropis. Dengan asumsi ini, maka seharusnya resistivits yang terukur merupakan resistivitas sebenarnya dan tidak bergantung atas spasi elektroda,  $\rho = K V/I$ . Namun pada kenyataannya bumi terdiri atas lapisan-lapisan dengan  $\rho$  yang berbeda-beda sehingga potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut. Maka harga resistivitas yang terukur bukan merupakan harga resistivitas untuk satu lapisan saja, tetapi beberapa lapisan. Hal ini terutama untuk spasi elektroda yang lebar.

$$a = K \frac{\Delta v}{I} \quad (2.14)$$

Dengan  $a$  adalah *apparent resistivity* (resistivitas semu) yang bergantung pada spasi elektroda. Untuk kasus tak homogen, bumi diasumsikan berlapis-lapis dengan masing-masing lapisan mempunyai harga resisitivitas yang berbeda. Resistivitas semu merupakan resisitivitas dari suatu medium fiktif homogen yang ekuivalen dengan medium berlapis yng ditinjau. Sebagai contoh adalah sebagai berikut:

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features



Gambar 2.6 Skema Resistivitas semu lapisan tanah

Medium berlapis yang terdiri dari dua lapis yang berbeda resistivitasnya ( $\rho_1$  dan  $\rho_2$ ) dianggap sebagai medium satu lapis homogen yang mempunyai satu harga resistivitas, yaitu resistivitas semu  $\rho_a$ , dengan konduktansi lapisan fiktif sama dengan jumlah konduktansi masing-masing lapisan  $\sigma_f = \sigma_1 + \sigma_2$ .

## 2.6 Konfigurasi Elektroda

Konsep pengukuran geolistrik adalah pengiriman/penginjeksian arus dilakukan dengan menggunakan dua elektroda yang masing-masing dihubungkan ke kutub positif dan kutub negatif sumber arus. Demikian pula dengan pengukuran potensial yang pada dasarnya adalah pengukuran beda potensial, yaitu potensial pada suatu titik relatif terhadap titik yang lain. Dengan demikian geolistrik selalu

menggunakan dua elektroda arus ( $C_1$  dan  $C_2$ ) dan dua elektroda potensial ( $P_1$  dan  $P_2$ ).

Perhitungan teoritis untuk menafsirkan (interpretasi) hasil pengukuran akan lebih sederhana dan mudah jika posisi elektroda arus dan elektroda potensial ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ) berada pada suatu garis lurus dan simetri terhadap suatu titik tengah/titik pengukuran dimana hasil pengukuran akan direpresentasikan. Dalam hal ini terdapat beberapa susunan atau konfigurasi elektroda standar yang cukup dikenal, diantaranya adalah sebagai berikut :

### 2.6.1 Pole-pole

Konfigurasi pole-pole merupakan konfigurasi elektroda elementer dimana terdapat satu titik sumber arus dan satu titik potensial. Untuk itu salah satu elektroda arus ( $C_1$ ) dan elektroda potensial ( $P_2$ ) ditempatkan di tempat yang cukup jauh relatif terhadap  $C_1$  dan  $P_1$  sehingga pengaruhnya dapat diabaikan. Untuk konfigurasi elektroda pole-pole faktor geometrinya adalah :

$$K = 2 \quad a \quad (2.15)$$

dimana  $a$  adalah jarak jarak anatar  $C_1$  dan  $P_1$ . Untuk memperoleh informasi mengenai resistivitas pada kedalaman yang berbeda maka pengukuran dilakukan dengan memvariasikan  $a$ . Keuntungan konfigurasi pole-pole adalah operasi lapangan yang lebih mudah, yaitu hanya memindahkan elektroda  $C_1$  dan  $P_1$  saja. Namun konfigurasi ini sangat sensitif terhadap *noise* karena pengukuran melibatkan elektroda yang saling berjauhan ( $C_2$  dan  $P_2$ ).

### 2.6.2 Pole-dipole

Konfigurasi ini mirip dengan konfigurasi pole-pole, yaitu sumber arus tunggal tetapi pengukuran beda potensial dilakukan pada elektroda  $P_1$  dan  $P_2$  yang membentuk dipole (saling berdekatan) dengan jarak  $a$ . Jarak antara  $C_1$  dan  $P_1$  divariasikan sebagai kelipatan bilangan bulat ( $n$ ) dari  $a$ . Faktor geometri konfigurasi elektroda pole-dipole dinyatakan oleh :

$$K = 2 \quad n(n + 1) a \quad (2.16)$$

Konfigurasi pole-dipole tidak simetris karena posisi sumber arus  $C_1$  dapat berada disebelah kiri atau kanan dari dipole  $P_1P_2$  dengan hasil yang berbeda. Oleh karena itu konfigurasi pole-dipole umumnya digunakan untuk mengetahui adanya kontras resistivitas secara lateral.

### 2.6.3 Dipole-dipole

Pada konfigurasi ini elektroda arus dan elektroda potensial masing-masing membentuk dipol yang disebut sebagai dipol arus  $C_1C_2$  dan dipol potensial  $P_1P_2$  dengan jarak  $a$ . Jarak antar kedua dipol divariasikan dan merupakan bilangan bulat dari  $a$ . Faktor geometri konfigurasi elektroda dipole-dipole adalah :

$$K = \quad n(n + 1)(n + 2) a \quad (2.17)$$

### 2.6.4 Wenner

Konfigurasi ini diambil dari nama Frank Wenner yang memelopori penggunaannya di Amerika Serikat. Pada konfigurasi Wenner jarak antar keempat elektroda sama, yaitu  $a$  dengan dipol potensial  $P_1P_2$  berada ditengah-tengah antara

$C_1C_2$ . Faktor geometri konfigurasi elektroda wenner sama dengan faktor geometri elektroda pole-pole yaitu :  $K = 2$  a. Kelemahan konfigurasi wenner adalah dalam operasi dilapangan keempaat elektroda harus dipindahkan secara serentak untuk memperoleh hasil pengukuran dengan a yang berbeda.

### 2.6.5 Schlumberger

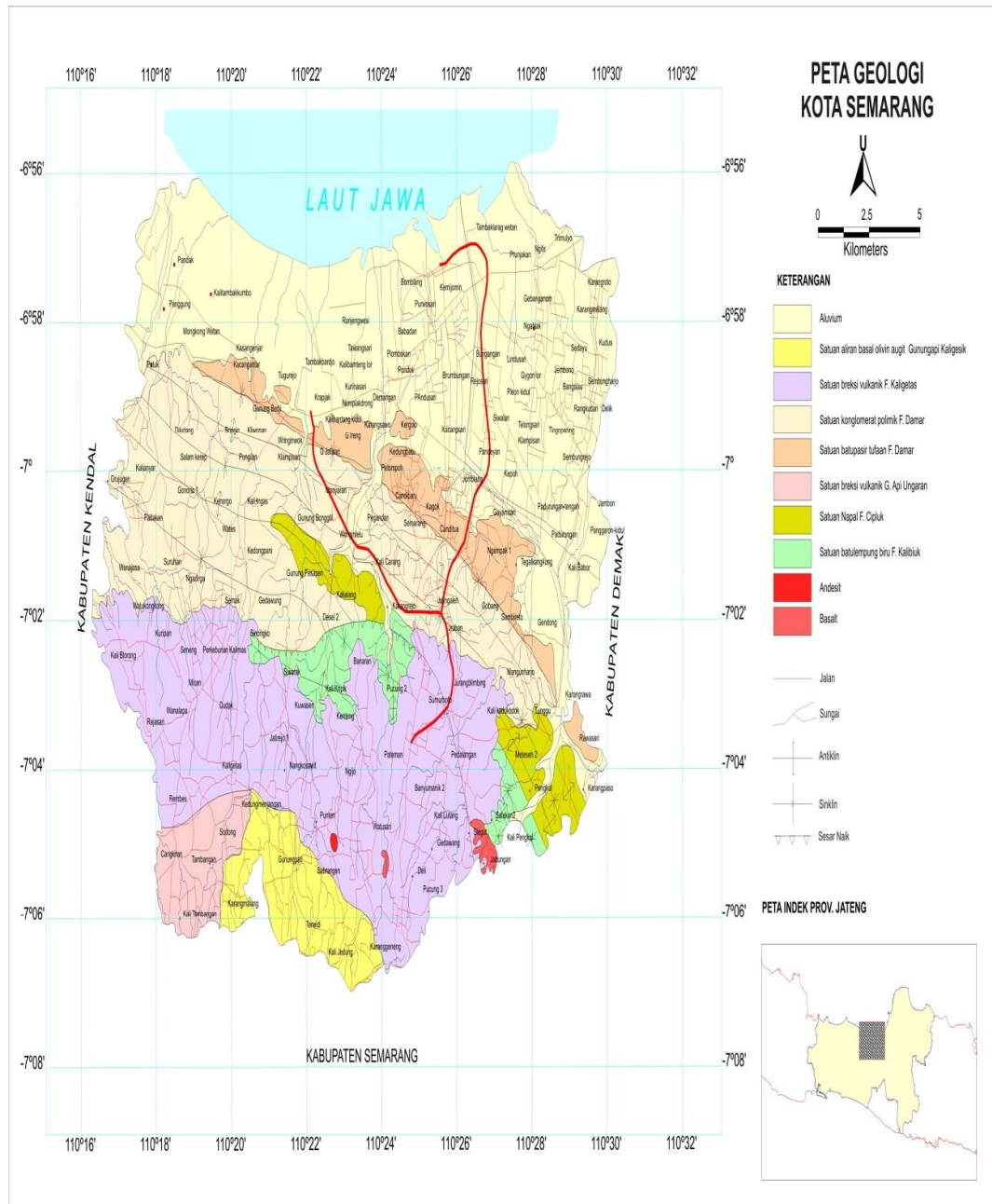
Konfigurasi ini diambil dari nama Conrad Schlumberger yang merintis metode geolistrik pada tahun 1920an. Pada konfigurasi schlumberger sering digunakan penamaan elektroda yang berbeda yaitu A dan B sebagai  $C_1$  dan  $C_2$ . M dan N sebagai  $P_1$  dan  $P_2$ . Konfigurasi schlumberger dimaksudkan untuk mengukur gradien potensial sehingga jarak antar elektroda yang membentuk dipol MN dibuat kecil dan berada ditengah-tengah A dan B. Faktor geometri konfigurasi elektroda schlumberger adalah :

$$K = \pi \frac{a^2 - b^2}{2b} = \pi \frac{a^2}{2b} \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right) \quad (2.18)$$

Dimana  $a = AB/2$  dan  $b = MN/2$ . Pengukuran dilakukan dengan AB berbeda-beda dengan MN tetap. Agar asumsi pengukuran gradien potensial berlaku dengan jarak MN berhingga maka  $MN/2$  harus dibuat lebi kecil dari  $0.2 AB/2$ .

### 2.7 Kondisi Geologi

Kota Semarang memiliki posisi astronomi di antara garis  $6^{\circ}50' \text{ ó } 7^{\circ}10'$  Lintang Selatan dan garis  $109^{\circ}35' \text{ ó } 110^{\circ}50'$  Bujur Timur. Berikut ini adalah gambar peta geologi Kota Semarang.



Gambar 2.7 Peta geologi Kota Semarang



Kondisi Geologi Kota Semarang berdasarkan Peta Geologi Lembar Magelang-Semarang, susunan stratigrafinya adalah sebagai berikut :

### **2.7.1 Aluvium (Qa)**

Merupakan endapan aluvium pantai, sungai dan danau. Endapan pantai litologinya terdiri dari lempung, lanau dan pasir dan campuran diantaranya mencapai ketebalan 50 m atau lebih. Endapan sungai dan danau terdiri dari kerikil, kerakal, pasir dan lanau dengan tebal 163 m. Bongkah tersusun dari andesit, batu lempung dan sedikit batu pasir.

### **2.7.2 Batuan Gunungapi Gajahmungkur (Qhg)**

Batuannya berupa lava andesit, berwarna abu-abu kehitaman, berbutir halus, holokristalin, bersifat keras dan kompak.

### **2.7.3 Batuan Gunungapi Kaligesik (Qpk)**

Batuannya berupa lava basalt, berwarna abu-abu kehitaman, halus, komposisi mineral terdiri dari felspar, olivin dan augit yang sangat keras.

### **2.7.4 Formasi Damar (QTd)**

Batuannya terdiri dari batu pasir tufaan, konglomerat, dan breksi vulkanik. Batu pasir tufaan berwarna kuning kecoklatan berbutir halusókasar, komposisi terdiri dari mineral mafik, felspar, dan kuarsa dengan masa dasar tufaan, porositas sedang bersifat keras. Konglomerat berwarna kuning kecoklatan hingga kehitaman, komponen terdiri dari andesit, basalt, batu apung, berukuran 0,565 cm, membundar tanggung hingga membundar baik, agak rapuh. Breksi vulkanik mungkin diendapkan sebagai lahar, berwarna abu-abu kehitaman,

komponen terdiri dari andesit dan basalt, berukuran 1620 cm, menyudutó membundar tanggung dan agak keras.

### **2.7.5 Formasi Kaligetas (Qpkg)**

Batuannya terdiri dari breksi dan lahar dengan sisipan lava dan tuf halus sampai kasar, di bagian bawahnya ditemukan batu lempung mengandung moluska dan batu pasir tufaan. Breksi dan lahar berwarna coklat kehitaman, dengan komponen berupa andesit, basalt, batuapung dengan masa dasar tufa, komponen umumnya menyudutómenyudut tanggung, porositas sedang hingga tinggi, breksi bersifat keras dan kompak, sedangkan lahar agak rapuh. Lava berwarna hitam kelabu, keras dan kompak. Tufa berwarna kuning keputihan, halus ó kasar, porositas tinggi, getas. Batu lempung, berwarna hijau, porositas rendah, agak keras dalam keadaan kering dan mudah hancur dalam keadaan basah. Batu pasir tufaan, coklat kekuningan, halusósedang, porositas sedang dan agak keras.

### **2.7.7 Formasi Kalibeng (Tmkl)**

Batuannya terdiri dari napal, batupasir tufaan dan batu gamping. Napal berwarna abu-abu kehijauan hingga kehitaman, komposisi terdiri dari mineral lempung dan semen karbonat, porositas rendah hingga kedap air, agak keras dalam keadaan kering dan mudah hancur dalam keadaan basah. Pada napal ini setempat mengandung karbon (bahan organik). Batu pasir tufaan kuning kehitaman, halus ó kasar, porositas sedang, agak keras, Batu gamping merupakan lensa dalam napal, berwarna putih kelabu, keras dan kompak.

Wilayah Kota Semarang yang berupa dataran rendah memiliki jenis tanah berupa struktur pelapukan, endapan, dan lanau yang dalam. Jenis tanah di Kota Semarang meliputi kelompok mediteran coklat tua, latosol coklat tua kemerahan, asosiasi alluvial kelabu, alluvial hidromorf, grumosol kelabu tua, latosol coklat dan kompleks regosol kelabu tua dan grumosol kelabu ua. Kurang lebih sebesar 25 % wilayah Kota Semarang memiliki jenis tanah mediteranian coklat tua. Sedangkan kurang lebih 30 % lainnya memiliki jenis tanah latosol coklat tua. Jenis tanah lain yang ada di wilayah Kota Semarang memiliki geologi jenis tanah asosiasi kelabu dan aluvial coklat kelabu dengan luas keseluruhan kurang lebih 22 % dari seluruh luas Kota Semarang. Sisanya alluvial hidromorf dan grumosol kelabu tua. Berikut ini adalah tabel jenis tanah dan persebarannya.

Tabel 2.2 Jenis Tanah dan Sebarannya di Kota Semarang

Jenis Tanah / Kelompok	Sebaran	Persentase
Mediteran coklat tua	Tugu, Ngaliyan, Banyumanik, Gunungpati, Gajah Mungkur, Gayamsari, Candisari dan Semarang Selatan.	30 %
Latosol coklat tua kemerahan,	Mijen dan Gunungpati	26 %
Aluvial Hidrosat, Grumosol kelabu tua, Latosol coklat tua, Regosol kelabu tua	Tugu, Genuk, Mijen, Gunung pati dan Semarang Timur	22 %
Aluvial kelabu dan Coklat tua	Genuk, Pedurungan, Semarang Timur, Semarang Barat (dataran rendah)	22%

## 2.8 Res2Dinv

Menurut Griffiths & Barker, sebagaimana dikutip oleh Haryadi (2006: 47) Res2Dinv adalah program komputer yang secara otomatis menentukan model dua-dimensi (2-D) untuk bawah permukaan dari hasil survei geolistrik. Hasil pengukuran geolistrik tahanan jenis diproses menggunakan *software* Res2Dinv. Karena berbasis windows maka kompatibel dengan kartu grafik dan pinter secara otomatis. Adapun langkah-langkah untuk menggunakan perangkat lunak ini adalah sebagai berikut.

a. Sebelum kita menjalankan program Res2Dinv terlebih dahulu data yang akan kita interpretasiakan ditulis dalam notepad dengan susunan penulisan sebagai berikut :

- line 1 adalah nama survei,
- line 2 adalah jarak spasi terkecil antara kedua elektroda potensial.
- line 3 adalah jenis susunan konfigurasi yang digunakan.  
(Werner = 1, pole-pole = 2, dipole-dipole = 3, pole-dipole = 6 dan schlumberger = 7).
- line 4 adalah jumlah total data pengukuran (dantum points).
- line 5 adalah lokasi data untuk data pengukuran (dantum points).
- line 6 ketik 0.
- line 7 adalah menentukan data pengukuran dan perhitungan yaitu jarak antara titik pusat dengan elektroda arus, jarak antara dua elektroda potensial (M dan N), lintasan pengukuran (n1, n2, n3 dan n-n) dan nilai resistivitas

semu yang diperoleh dari perhitungan ditulis berurutan degitu pula untuk data berikutnya.

- line 8 ketik 0 yang terdiri dari 4 *line*.
  - jila sudah maka simpan dalam bentuk \*.DAT *file*.
- b. Jalankan perangkat lunak Res2Dinv.
  - c. Pilih *File* kemudian pilih *Read Data File* dan klik, kemudian ketika muncul pernyataan klik OK.
  - d. Pilih *Display* kemudian pilih *Least Square Inversion*.
  - e. Selesai.



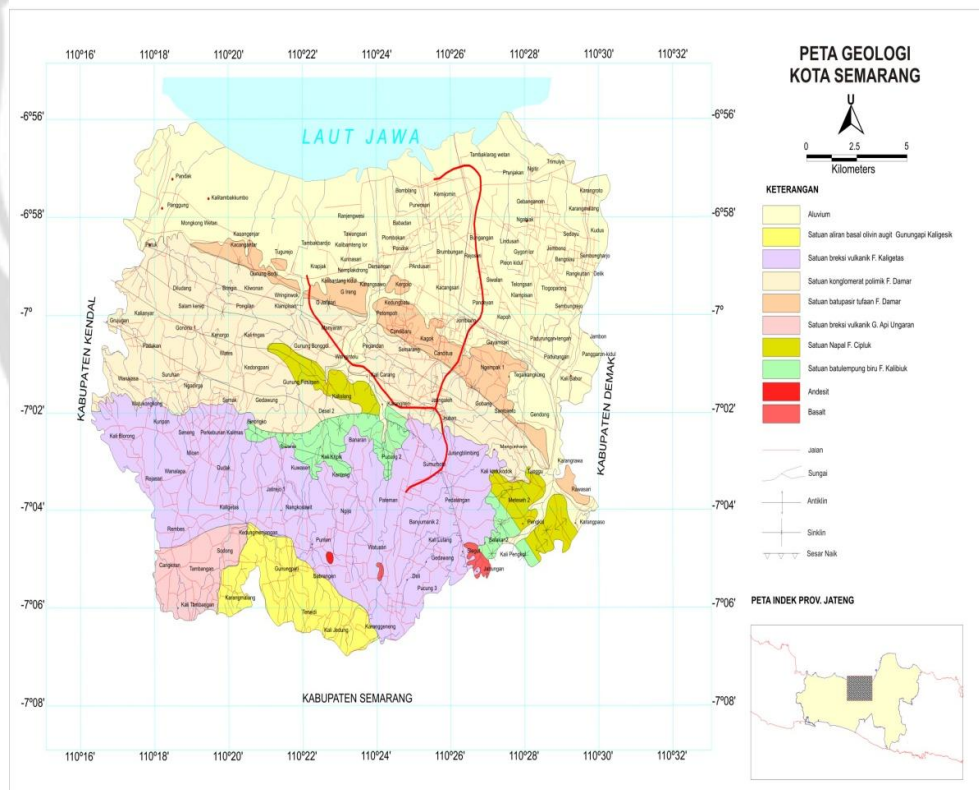
## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

##### 3.1.1 Lokasi penelitian

Penelitian dengan geolistrik untuk mencari letak kebocoran pipa PDAM Tirta Moedal dilakukan di kawasan Semarang Timur PDAM Tirta Moedal Jawa Tengah. Di bawah ini adalah peta kota Semarang :



Gambar 3.1 Peta Kota Semarang

### 3.1.2 Waktu penelitian

Penelitian dilakukan secara langsung dengan mengambil data di kawasan PDAM Tirta Moedal Semarang yang dilaksanakan selama 4 bulan yaitu pada awal Maret 2011 sampai Juli 2011.

## 3.2 Alat dan Desain Penelitian

### 3.2.1 Alat

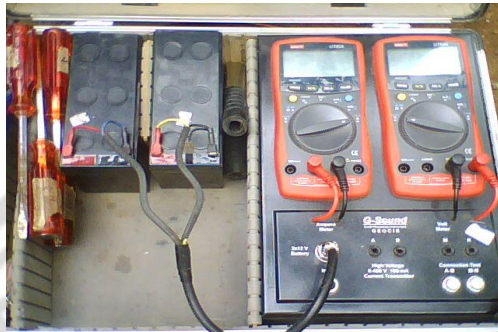
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah geolistrik (*resistivity meter*) G-Sound (GL64100) dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. *Controlled AB Voltage* : 0 ó 400 V
2. *AB current max* : 100 mA
3. *Injective time* : 4 ó 5 s
4. *Volt meter range* : 0 ó 1000 V
5. *Ampere meter range* : 0 ó 400 mA

Dan dilengkapi dengan :

- a. dua buah elektroda arus,
- b. dua buah elektroda potensial.
- c. dua gulung kabel (elektroda arus) sepanjang  $\pm$  400 meter,
- d. dua gulung kabel (elektroda potensial) sepanjang  $\pm$  30 meter,
- e. baterai kering 24 volt,
- f. dua buah palu untuk menanam elektroda.

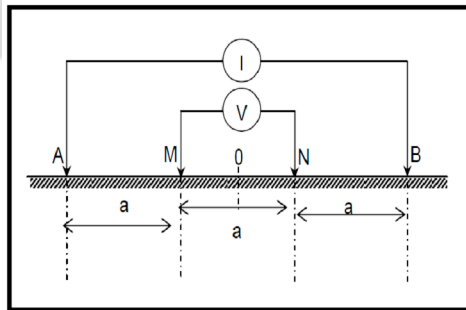
Alat geolistrik geolistrik (*resistivity meter*) G-Sound (GL-4100) dengan spesifikasi yang telah disebutkan di atas seperti ditunjukkan oleh gambar di bawah ini :



Gambar 3.2 G-Sound

### 3.2.2 Desain penelitian

Skema susunan elektroda konfigurasi wenner ditunjukkan seperti pada gambar 3.3 :



Gambar 3.3 Susunan elektroda konfigurasi Wenner.

Konfigurasi wenner dapat digunakan untuk dua teknik pengukuran yaitu mapping dan sounding. Dalam konfigurasi ini  $AM = MN = NB = a$  (Massinai *et al.*, 2010 : 151). Faktor geometri Konfigurasi Wenner adalah sebagai berikut :



$$\begin{aligned}
 K &= \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM}\right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN}\right)} \\
 &= \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a}\right) - \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a}\right)} = \frac{2\pi}{\left[\frac{1}{a} + \frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a}\right]} \\
 &= \frac{2\pi}{\frac{2}{a} - \frac{2}{2a}} \\
 &= \frac{2\pi}{\frac{4a - 2a}{2a}} = \frac{2\pi}{\frac{2a}{2a^2}} = \frac{2\pi}{\frac{1}{a}}
 \end{aligned}$$

$$K = 2\pi a$$

Sedangkan tahanan jenis pada konfigurasi Wenner adalah :

$$\rho_w = K \frac{\Delta V}{I}$$

dimana  $K = 2\pi a$

Adapun keunggulan dari konfigurasi wenner adalah baik digunakan untuk sebaran horizontal kurva lapangan yang dihasilkan lebih mencerminkan resistivitas sebenarnya dibanding dengan konfigurasi schlumberger, konfigurasi wenner dapat mendeteksi keidakhomogenan lokal. Sedangkan kelemahan dari konfigurasi wenner ini adalah diperlukan banyak pekerja karena elektroda harus dipindah-pindah setiap saat (Hendrajaya & Arif, 1990 : 54).

### 3.3 Langkah Penelitian

Prosedur penelitian yang telah dilakukan sebagai berikut :

#### 3.3.1 Persiapan

- a. Studi Literatur, yaitu mempelajari literatur-literatur atau teori-teori yang berhubungan dengan air tanah dan jurnal-jurnal penelitian tentang geolistrik khususnya yang berhubungan dengan interpretasi serta teknik akuisisi data.
- b. Mengurus surat ijin penelitian dan melakukan survei pendahuluan untuk mengetahui gambaran umum lokasi penelitian.
- c. Menyiapkan alat dan bahan.
- d. Melakukan uji test pada alat yang akan di gunakan di lapangan.
- e. Mempersiapkan stacking chart yang sesuai dengan luas daerah dan kedalaman yang di inginkan pada daerah yang sudah di observasi sebelumnya.

#### 3.3.2 Pengukuran lapangan (pelaksanaan)

- a. Memasang patok pada lintasan pengukuran
- b. Mengatur bentangan elektroda arus dan elektroda potensial
- c. Melakukan pengambilan data untuk datum point pertama sesuai dengan cara kerja alat, data arus (I) dan potensial (V)
- d. Menggeser setiap elektroda sejauh sekian meter mengikuti arah *line* (elektroda A dipindahkan ke M, M pindah ke N, dan N ke B), lalu mengukur kembali kuat arus (I) dan potensial (V) untuk datum point kedua, dan seterusnya.

### 3.4 Pengolahan Data

Setelah dilakukan akuisi data di lapangan maka didapatkan hasil data tentang resistivitas dari tiap-tiap titik, kemudian data tersebut dikalikan dengan faktor geometri (konfigurasi Wenner) untuk mendapatkan harga resistivitas semu ( $\rho_w$ ) yang akan digunakan dalam membuat kontur dengan menghubungkan tiap-tiap nilai  $\rho_w$  tersebut. Dalam tahap pengolahan data ini dilakukan dengan komputer dengan menggunakan perangkat lunak Res2DInv. Perangkat lunak ini mengolah data yang didapatkan dari akuisi lapangan. Pemodelan 2-D dilakukan dengan menggunakan program inversi. Program inversi ini menggambarkan dan membagi keadaan bawah permukaan dalam bentuk penampang 2-D.

### 3.5 Analisis Data Penelitian

Pada penelitian ini telah dilakukan pengambilan data geolistrik dengan konfigurasi Wenner. Data-data geolistrik tersebut kemudian diolah dengan menggunakan perangkat lunak Res2dinv untuk mendapatkan tampilan 2 dimensi kontur resistivitas dari struktur lapisan tanah bawah permukaan. Tampilan 2-D yang dihasilkan dari perangkat lunak Res2dinv tersebut terdiri dari tiga kontur isoresistivitas pada penampang kedalaman semu (*pseudodepth section*). Penampang yang pertama menunjukkan kontur resistivitas semu pengukuran (*measured apparent resistivity*), yaitu data resistivitas semu yang diperoleh dari pengukuran di lapangan (akuisi data). Penampang yang kedua menunjukkan kontur resistivitas semu dari hasil perhitungan (*calculated apparent resistivity*). Dan penampang yang ketiga adalah kontur resistivitas sebenarnya yang diperoleh

setelah melalui proses pemodelan inversi (*inverse model resistivity section*) (Telford, 1990). Untuk mendapatkan kesesuaian jenis tanah/batuan yang berada dilapangan dengan hasil pengolahan, dibutuhkan data pembanding berupa peta geologi struktur tanah.

Menurut Siregar (2006: 27), setiap material memiliki karakteristik daya hantar listrik yang berbeda, batuan adalah material yang juga mempunyai daya hantar listrik dan tahanan jenis tertentu. Batuan yang sama belum tentu mempunyai tahanan jenis yang sama, sebaliknya harga tahanan jenis yang sama bisa dimiliki oleh batuan-batuan yang berbeda, hal ini terjadi karena nilai resistivitas batuan memiliki rentan nilai yang bisa saling tumpang tindih

Cara menginterpretasikan adalah dengan mengkorelasikan hasil pengolahan data *software* yang berupa informasi (nilai resistivitas, kedalaman dan panjang lintasan) dan pengetahuan dasar aspek-aspek tahanan jenis seperti informasi geologi serta letak pipa PDAM sehingga diperoleh gambaran informasi sebenarnya.

### **3.6 Metode Pengumpulan Data**

Metode pengumpul data yang penulis gunakan untuk memperoleh dan mengumpulkan data yang dipakai penulis dalam penulisan skripsi adalah :

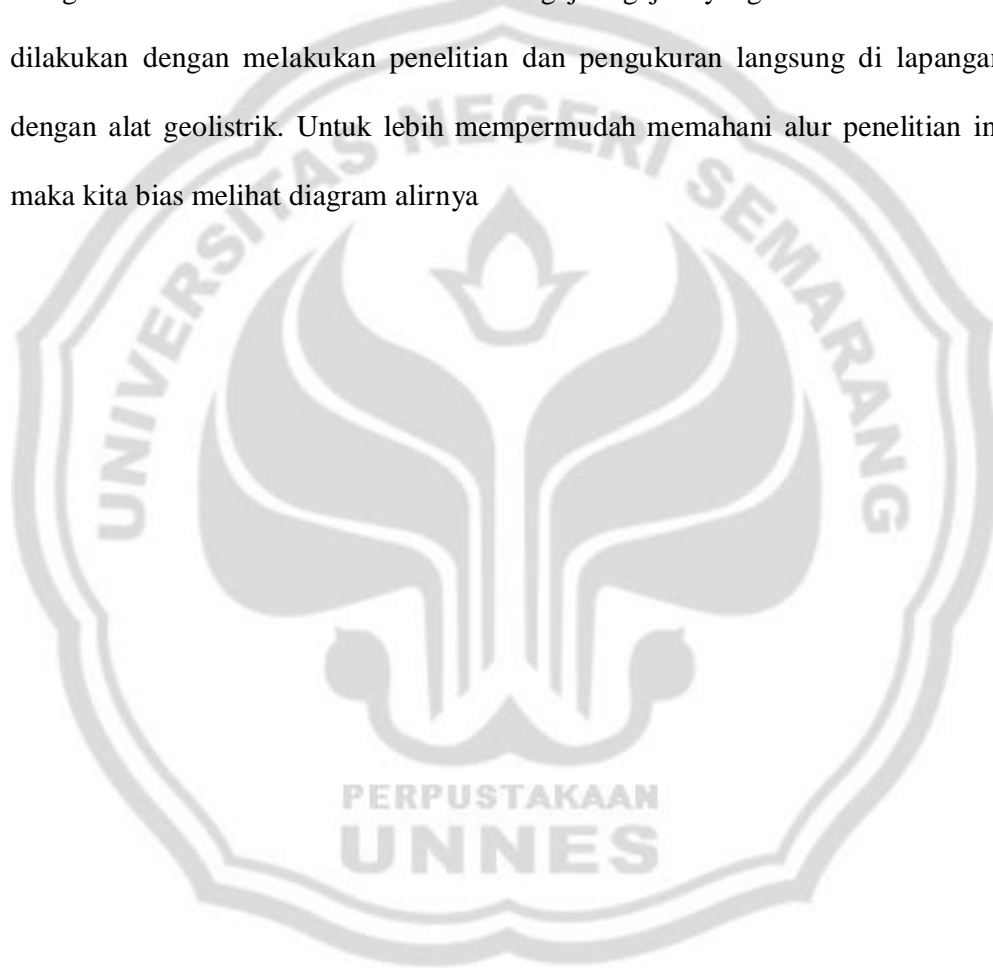
#### **3.6.1 Metode study pustaka**

Study pustaka adalah pengumpulan data dengan cara membaca buku-buku, literature dan majalah yang berhubungan atau berkaitan dengan pembuatan skripsi. Metode ini menggunakan bahan pustaka sebagai referensi penunjang

untuk memperoleh data tentang range resistivitas batuan, petadan informasi geologi daerah survei.

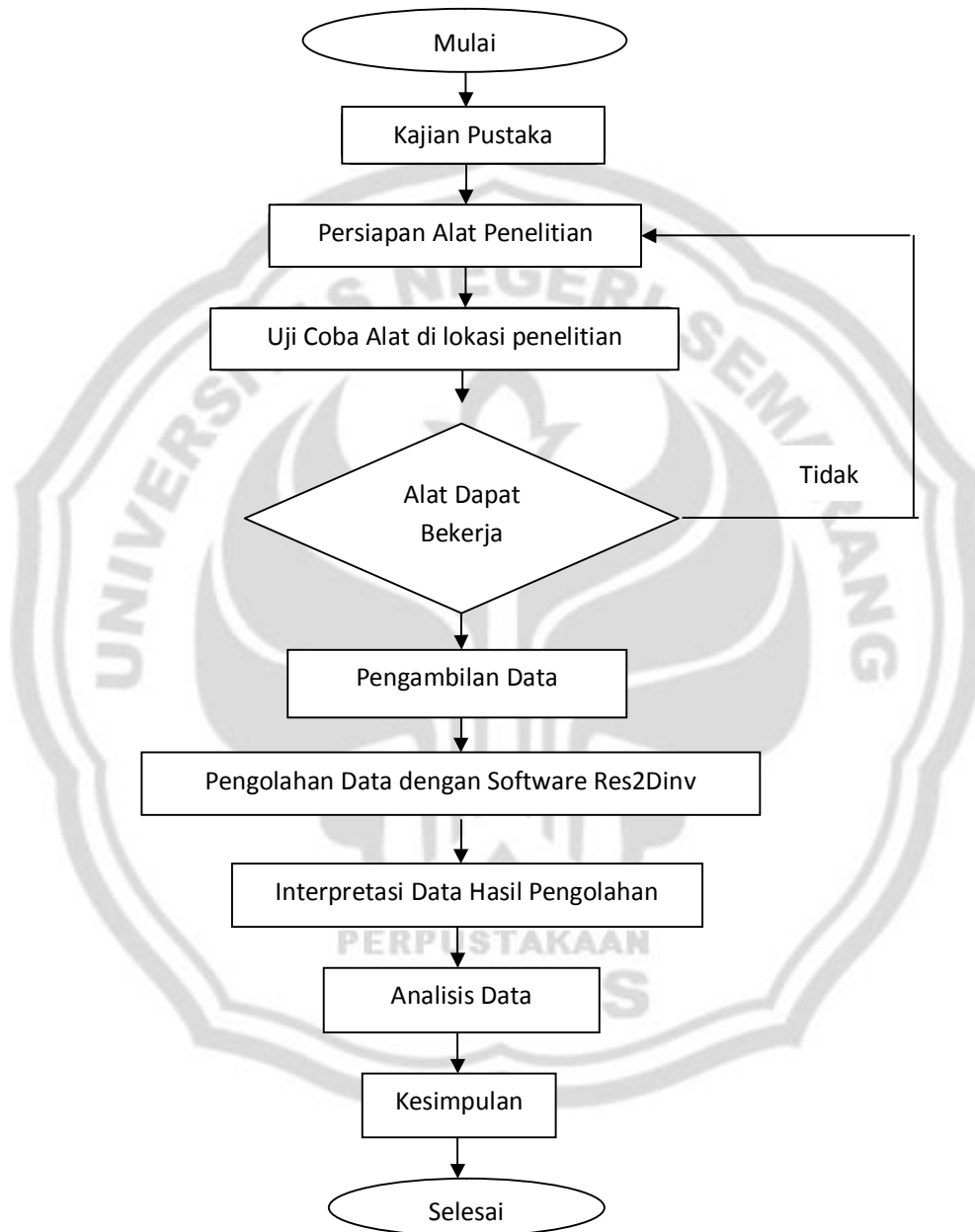
### 3.6.2 Metode Observasi

Pengamatan adalah alat pengumpulan data yang dilakukan dengan cara mengamati dan mencatat secara sistematis gejala-gejala yang dimiliki. Observasi dilakukan dengan melakukan penelitian dan pengukuran langsung di lapangan dengan alat geolistrik. Untuk lebih mempermudah memahani alur penelitian ini maka kita bias melihat diagram alirnya



### 3.7 Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian

Tahapan penelitian dapat dilihat dari diagram alir berikut ini :



Gambar 3.4 Diagram alir proses penelitian

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Perhitungan Nilai R, K dan $\rho$

Konstanta geometri K untuk elektroda konfigurasi wenner menggunakan persamaan  $K = 2a$ , a adalah jarak elektroda  $C_1$  dengan  $P_1$  dimana  $C_1 = P_1 = P_2 = C_2$ , sedangkan nilai R diperoleh dengan membagi nilai tegangan dengan nilai arus yang terukur selanjutnya menghitung nilai dengan persamaan  $R = \frac{V}{I}$ . Dan hasil perhitungan diinversi dengan menggunakan software Res2dinv untuk mengetahui formasi bawah permukaan yang diukur.

#### 4.2 Hasil Penelitian

Data keseluruhan hasil pengukuran resistivitas batuan untuk mencari kebocoran pipa PDAM dilaksanakan di daerah Semarang timur dengan mengambil empat tempat. Pelaksanaan penelitian menggunakan metode geolistik tahanan jenis dengan konfigurasi Wenner yang terdiri dari empat titik pengukuran yang bertempat di Jalan Fatmawati, Jalan Raya Kedungmundu, Jalan Ketileng Raya dan kawasan perumahan Plamongan Indah.

Adapun data hasil pengukuran geolistrik terlampir pada lampiran 1.

### 4.3 Analisis dan Interpretasi Data

Penelitian yang dilakukan di kawasan Semarang timur dengan mengambil empat titik sounding dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi wenner. Setelah dilakukan pengolahan data lapangan maka didapatkan hasil data tentang resistivitas dari tiap-tiap titik, kemudian data tersebut dikalikan dengan faktor geometri (konfigurasi Wenner) untuk mendapatkan harga resistivitas semu yang akan digunakan dalam membuat kontur dengan menghubungkan tiap-tiap nilai tersebut. Dalam tahap pengolahan data ini dilakukan dengan komputer dengan menggunakan perangkat lunak Res2Dinv. Perangkat lunak ini mengolah data yang didapatkan dari akuisisi lapangan. Pemodelan 2-D dilakukan dengan menggunakan program inversi. Program inversi ini menggambarkan dan membagi keadaan bawah permukaan dalam bentuk penampang 2-D.

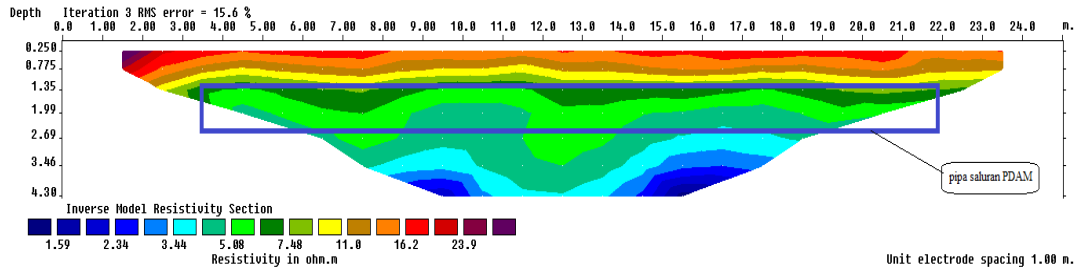
Untuk mendapatkan kesesuaian jenis tanah/batuan yang berada dilapangan dengan hasil pengolahan, dibutuhkan data pembanding yaitu peta geologi. Pada tahap interpretasi kebocoran pipa PDAM harus terdapat nilai resistivitas pipa dan kandungan air PDAM dalam tanah.

Berikut ini adalah hasil analisis dan interpretasi datanya:

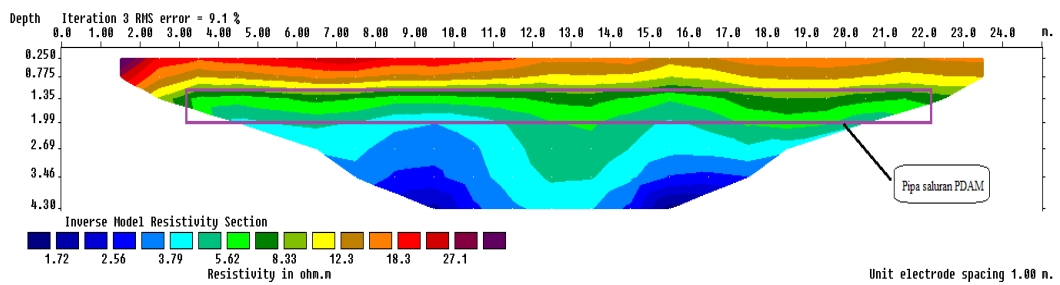
#### 4.3.1 Titik Sounding I (Jalan Fatmawati)

Pengukuran titik sounding I dilakukan di Jalan Fatmawati, Semarang dengan koordinat S  $07^{\circ} 01'05.2''$  dan E  $110^{\circ} 28'14.6''$ , dengan panjang lintasan 25 meter. Hasil dari pengolahan data titik sounding 1 tampak seperti gambar 4.1 dan gambar 4.2





Gambar 4.1 Penampang sounding Jalan Fatmawati 23 April 2011



Gambar 4.2 Penampang sounding Jalan Fatmawati 9 Juli 2011

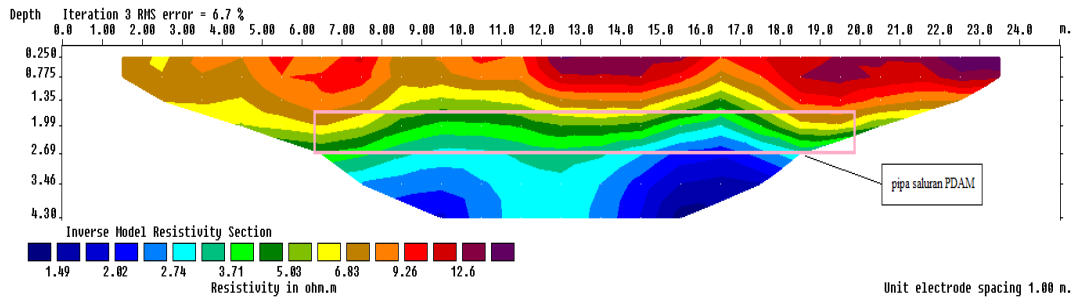
Gambar 4.1 merupakan hasil inversi pengukuran geolistrik dengan konfigurasi wenner, pengukuran dilakukan pada tanggal 23 April 2011. Dari penampang model inversi terlihat bahwa tahanan jenis yang terukur adalah 1.59-23.9  $\Omega$  m dengan RMS error 15.6%. Pada gambar 4.2 tahanan jenis yang terukur adalah 1.72-27.1  $\Omega$  m dan RMS error nya 9.1%. Pengukuran dilakukan sebanyak dua kali dengan alasan untuk membandingkan data awal dengan data kedua, jika terjadi kebocoran pipa maka pada gambar hasil inversi akan ada nilai resistivitas pipa dan air PDAM. Di Jalan Fatmawati PDAM Tirta Moedal menggunakan pipa besi sebagai sarana distribusi air dari PDAM kepada para pelanggan. Nilai resistivitas dari pipa besi itu sendiri adalah 3.5-7.5  $\Omega$  m (Horn, 2006 : 3). Dari gambar 4.1 daerah yang mempunyai resistivitas 5.08-6.28  $\Omega$  m (warna hijau

muda) adalah pipa besi yang terletak pada kedalaman berkisar antara 1,25 meter sampai 1.5 meter. Daerah dengan nilai resistivitas 11-25  $\Omega$  diduga merupakan aluvium dan pasir sedangkan untuk kedalaman lebih dari 2 meter dengan nilai resistivitas antara 1.5  $\Omega$  m sampai 5  $\Omega$  m di duga berupa lempung, air permukaan dan pasir. Pada titik sounding yang pertama ini tidak ditemukan kebocoran pipa PDAM yang dicari, karena tidak ada nilai resistivitas dari air PDAM.

Pada gambar 4.1 dan 4.2 tampak adanya sedikit perbedaan nilai resistivitas, hal ini dikarenakan nilai resistivitas sangat dipengaruhi oleh kandungan air baik dalam bentuk uap air atau cairan dalam tanah. Tanah dapat dibedakan berdasarkan nilai resistivitasnya yaitu tanah kering, tanah basah dan tanah tandus. Tanah basah memiliki nilai resistivitas yang rendah. Nilai resistivitas yang rendah dari tanah basah dikarenakan kandungan air yang ada pada tanah tersebut. Faktor itulah yang menyebabkan terdapat perbedaan nilai resistivitas pada kedua gambar tersebut.

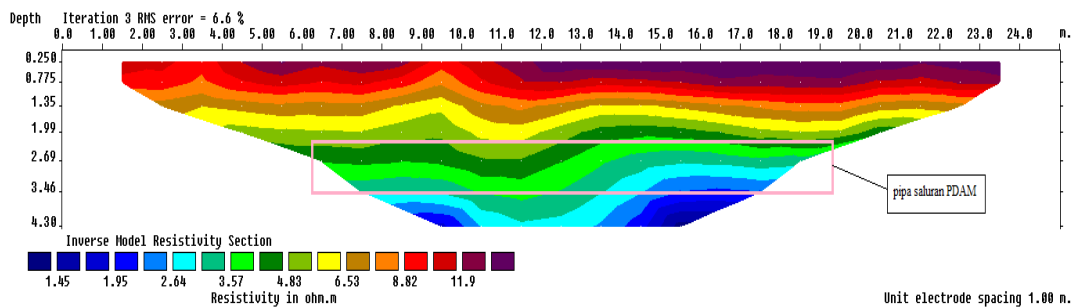
#### 4.3.2 Titik Sounding II (Kawasan SMA 15)

Akuisi data pada lintasan 2 dilakukan di kawasan SMA 15 Semarang dengan panjang lintasan 25 meter dengan titik awal (titik 0 meter) berada pada koordinat S  $07^{\circ} 01' 23.9''$  dan E  $110^{\circ} 27' 45.0''$  dengan variasi jarak antar elektroda berturut-turut 0 meter, 1 meter, 2 meter dan sampai 25 meter dengan spasi 1 meter, selanjutnya kembali ke titik 0 meter, 2 meter, 4 meter dan seterusnya sampai selesai dengan spasi 2 meter dan seterusnya. Di bawah ini adalah hasil inversi titik sounding 2 :



Gambar 4.3 Penampang sounding kawasan SMA 15 Semarang 8 Mei 2011

Pengukuran pertama dilakukan pada tanggal 8 Mei 2011. Dari hasil pengukuran diperoleh harga resistivitasnya berkisar antara 1.49-12.6 m dan RMS error nya 6.75. Pipa besi pada titik sounding II mulai terdeteksi pada kedalaman 2-2.5 meter dengan warna hijau muda. Lapisan tanah atas yang terdiri dari pasir, lempung dan aluvium berada pada kedalaman 0.25-2 meter, sedangkan air permukaan dan lempung berada pada kedalaman > 2 meter.



Gambar 4.4 Penampang sounding kawasan SMA 15 Semarang 10 Juli 2011

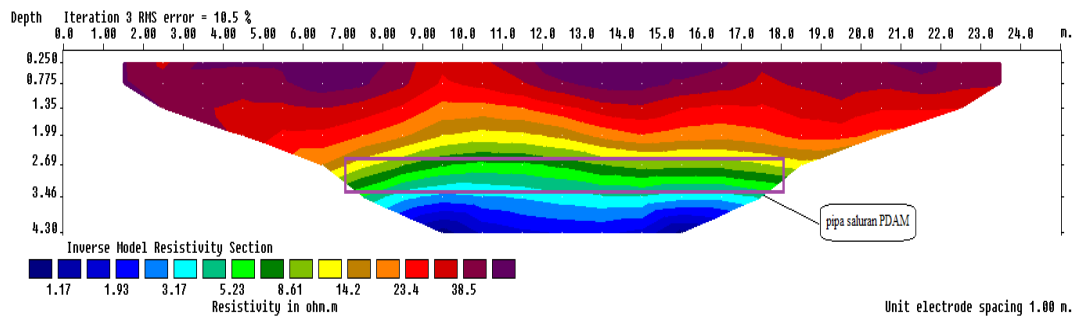
Hasil pengukuran yang kedua dilaksanakan pada tanggal 10 Juli 2011 dan diperoleh hasil yang tidak jauh berbeda dengan pengukuran yang pertama dengan

hasil pengukuran berkisar 1.45-11.9  $\Omega$  m. Pipa saluran air terletak pada kedalaman 2-2.5 meter ditandai dengan warna hijau muda. Pada gambar hasil inversi ini tidak ditemukan nilai resistivitas dari air PDAM yang nilainya 0.2  $\Omega$  m sehingga disimpulkan pada kawasan ini tidak terjadi kebocoran pipa.

Perbedaan nilai resistivitas dipengaruhi oleh beberapa faktor, akan tetapi faktor yang paling berpengaruh adalah kandungan uap air dan kelembaban. Daerah dengan kelembaban tinggi dapat menyebabkan nilai resistivitas tanah suatu daerah akan kecil karena nilai kandungan air pada daerah tersebut cukup besar. Perbedaan hasil yang ada dimungkinkan pada pengukuran awal dan pengukuran kedua terjadi perbedaan kelembaban tanah sehingga menghasilkan nilai resistivitas yang berbeda.

#### 4.3.3 Titik Sounding III (Plamongan Indah)

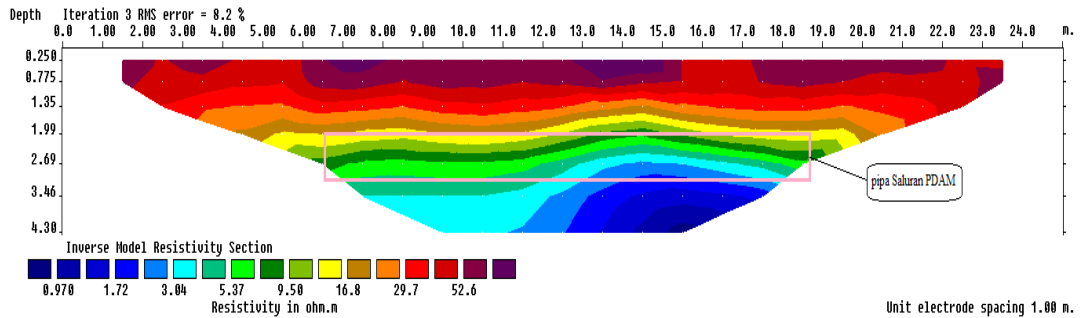
Penampang hasil pengolahan data di Plamongan Indah Semarang yang diperlihatkan pada gambar 4.5 dan gambar 4.6 untuk penampang 2-D yang terdiri dari tiga bagian yaitu *pseudosection* tahanan jenis yang terukur (*measurement apparent resistivity pseudosection*), *pseudosection* tahanan jenis terhitung (*calculated apparent resistivity pseudosection*) dan model tahanan jenis hasil inversi.



Gambar 4.5 Penampang hasil Inversi 2-D di Plamongan Indah 17 Mei 2011

Lintasan *sounding* III berada pada koordinat Lintang Selatan S 070<sup>0</sup> 1019,70 dan koordinat Bujur Timur E 110<sup>0</sup> 290 50,00 terletak di perumahan Plamongan Indah Semarang, panjang lintasan 25 meter. Hasil dari pengolahan data *sounding* 1 di tunjukkan pada gambar 4.5. Pada gambar 4.5 terlihat bahwa di daerah ini terdapat beberapa lapisan tanah atau batuan yang memberikan nilai tahanan jenis berbeda untuk setiap lapisan yaitu antara 1.17 m sampai 38.5 m dengan kesalahan iterasi 10.5 %. Adapun kedalaman yang dapat dicapai pada lintasan ini adalah 4.30 meter. Berdasarkan hasil pengukuran geolistrik di perumahan Plamongan Indah menunjukkan bahwa di daerah ini terdapat beberapa lapisan tanah atau batuan yang memberikan nilai tahanan jenis berbeda untuk setiap lapisan. Lapisan warna merah sampai orange dengan nilai resistivitas 18.5-38.5 á m menunjukkan adanya alluvium, pasir dan juga lempung. Dibawah lapisan alluvium, pasir dan lempung terdapat pipa besi milik PDAM TirtA Moedal berada pada kedalaman 2.7-3 meter dengan nilai resistivitas berkisar 5.25-7 á m. Dalam hasil interpretasi tidak nampak nilai resistivitas air PDAM, hal ini berarti tidak ada kebocoran yang terjadi pada pipa PDAM TirtA Moedal.

Setelah beberapa bulan dilakukan pengukuran lagi pada tempat yang sama dan didapatkan hasil seperti gambar 4.6.



Gambar 4.6 Penampang hasil Inversi 2-D di Plamongan Indah 9 Juli 2011

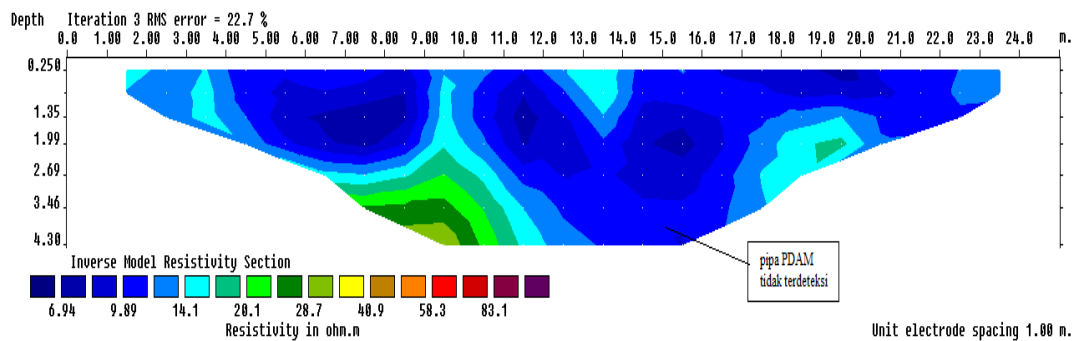
Hasil pengukuran yang kedua dilaksanakan pada tanggal 9 Juli 2011 dan diperoleh hasil yang hampir sama dengan pengukuran yang pertama. Didapatkan hasil pengukuran sebesar 0.97-52.6 á m. Pipa saluran air terletak pada kedalaman 2.7-3 meter ditandai dengan warna hijau muda.

Perbedaan waktu pengukuran dapat menyebabkan perbedaan hasil interpretasi, seperti yang terjadi pada pengukuran di daerah Plamongan Indah. Hal ini dapat dipengaruhi oleh temperatur lingkungan. Jika temperatur lingkungan tanah tinggi maka nilai resistivitas tanah tersebut rendah, sebaliknya jika temperatur lingkungan tanah rendah maka nilai resistiivitas tanah tinggi. Saat temperatur naik, air akan menguap. Jika temperatur lingkungan terus meneru meningkat maka semua air akan menjadi uap sehingga kandungan air dalam tanah akan berkurang dan mengakibatkan nilai resistivitas meningkat.

**4.3.4 Titik Sounding IV (Jalan Ketileng Raya)**

Akuisi data pada lintasan IV dilakukan di Jalan Ketileng Raya Semarang dengan panjang lintasan 25 meter dengan titik awal (titik 0 meter) berada pada koordinat S 07°14'3,76" E 110°28'01,06" dengan variasi jarak antar elektroda berturut-turut 0 meter, 1 meter, 2 meter dan bertambah kelipatan 1 meter dan terakhir 25 meter. Dari hasil pengukuran diperoleh harga resistivitasnya berkisar antara 6.94683.1 m.

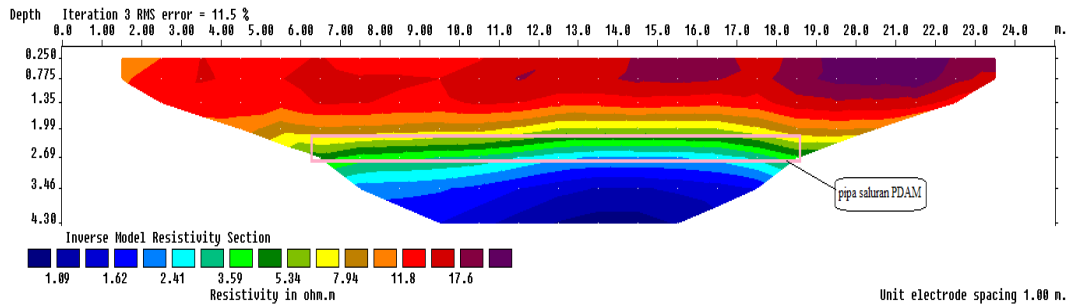
Pengolahan data dengan menggunakan Res2Dinv untuk lintasan IV diperoleh penampang harga resistivitas semu seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Penampang sounding Jalan Ketileng Raya 27 Mei 2011

Berdasarkan gambar pencitraan bawah permukaan diketahui kedalaman pipa PDAM pada masing-masing lintasan pengukuran. Pada gambar 4.7 terlihat didominasi oleh warna biru tua yang mempunyai nilai resistivitas 6017 á m yang di duga sebagai air hujan yang telah meresap ke dalam tanah. Hal ini dikarenakan pada malam hari sebelum penelitian hujan turun pada kawasan ini.

Pengukuran yang kedua dilaksanakan pada tanggal 8 Juli 2011 dan didapatkan hasil seperti gambar 4.8.



Gambar 4.8 Penampang sounding Jalan Ketileng Raya 8 Juli 2011

Hasil inversi memperlihatkan nilai resistivitas yang didapat adalah 2.016 17.6 á m dengan iterasi 3 dan RMS error 14%. Dalam gambar 4.8 terlihat bahwa di daerah ini terdapat beberapa lapisan tanah atau batuan yang memberikan nilai tahanan jenis berbeda untuk setiap lapisan. Pipa berada pada kedalaman kurang lebih 2.3 meter ditandai dengan warna hijau muda. Nilai resistivitas 11.8-17.6 á m menunjukkan lapisan tanah berupa tanah aluvium, hal ini sesuai dengan keadaan geologi daerah Semarang Timur yang berupa aluvium.

#### 4.4 Pembahasan

Pada penelitian geolistrik ini data yang diperoleh yaitu nilai kuat arus dan beda potensial digunakan untuk menghitung nilai tahanan jenis semu dengan menggunakan persamaan (2.14). Harga resistivitas semu yang didapatkan, kemudian diolah dengan *software* Res2Dinv. Dari pengolahan data dengan *software* tersebut didapatkan model tahanan jenis bawah permukaan di sepanjang lintasan, kedalaman lapisan, dan nilai RMS error. Nilai tahanan jenis bawah permukaan dapat mencerminkan kondisi bawah permukaan di sepanjang lintasan

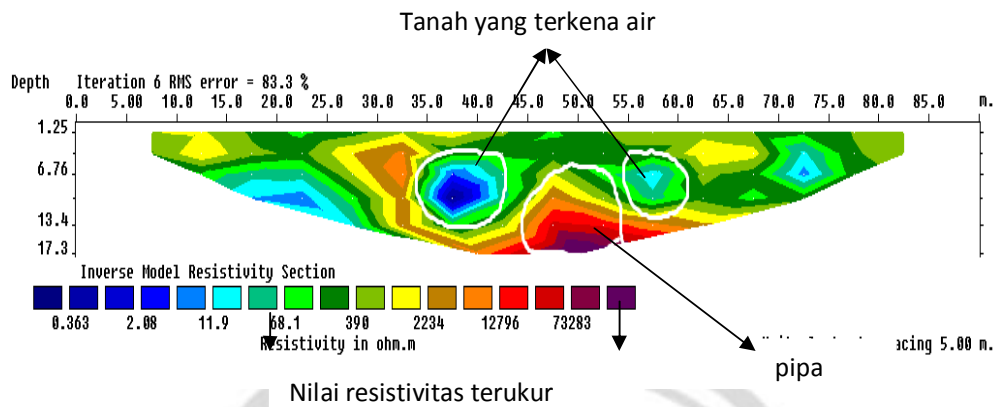


pengukuran, sehingga dapat dilakukan interpretasi kondisi litologi bawah permukaannya.

Penelitian dilakukan di 4 titik yaitu Jalan Fatmawati dengan koordinat S  $07^{\circ} 01'05.2''$  dan E  $110^{\circ} 28'14.6''$ , Jalan Ketileng Raya dengan koordinat S  $07^{\circ} 01'43.7''$  dan E  $110^{\circ} 28'01.0''$  kemudian perumahan Plamongan Indah yang berada pada koordinat S  $07^{\circ} 01'19.7''$  dan koordinat Bujur Timur E  $110^{\circ} 29'50.0''$  serta yang terakhir pada kawasan SMA 15 Semarang dengan koordinat S  $07^{\circ} 01'23.9''$  dan E  $110^{\circ} 27'45.0''$ .

Dari analisis data yang telah dilakukan secara umum hasil data yang diperoleh didapat nilai resistivitas yang rendah yang berarti kondisi bawah permukaan di daerah Semarang Timur memiliki nilai konduktivitas yang cukup tinggi/batuan dan material penyusunnya merupakan konduktor pertengahan yaitu  $1 < < 10^7$ .

Pengukuran resistivitas menggunakan metode geolistrik dengan konfigurasi wenner pada setiap tempatnya dilakukan dua kali pengukuran dengan selisih waktu dua sampai tiga bulan. Hal ini dikarenakan untuk mengetahui kondisi pipa pada saat awal dan akhir. Hasil yang diperoleh yaitu dari keempat tempat tidak ditemukan kebocoran pipa. Tidak adanya kebocoran pipa dapat diketahui dengan tidak adanya nilai resistivitas air PDAM pada setiap gambar hasil inversi. Untuk dapat mengetahui perbedaan daerah yang mengalami kebocoran pipa dan yang tidak mengalami kebocoran berikut ini adalah contoh penampang yang mengalami kebocoran pipa :



Gambar 4.9 Penampang resistivitas pipa yang mengalami kebocoran

Nilai resistivitas pipa ditunjukkan pada warna ungu, sedangkan pada gambar tertera nilai resistivitas sebesar 73283  $\Omega$  m yang berada pada warna merah sedangkan untuk air memiliki nilai resistivitas 0.363-2.08  $\Omega$  m. Pada gambar 4.9 terdapat nilai resistivitas pipa dan air, berarti pada tempat tersebut terjadi kebocoran pipa. Dalam penelitian ini pipa yang digunakan adalah pipa jenis PVC yang memiliki nilai resistivitas  $10^5$ - $10^8$   $\Omega$  m.

Pada hasil inversi terjadi perbedaan antara hasil pengukuran yang pertama dengan yang kedua. Hal ini dapat disebabkan oleh kandungan air, kelembaban, dan temperatur. Jika temperatur lingkungan tanah tinggi maka nilai resistivitas tanah tersebut rendah, sebaliknya jika temperatur lingkungan tanah rendah maka nilai resistivitas tanah tinggi. Saat temperatur naik, air akan menguap. Jika temperatur lingkungan terus menerus meningkat maka semua air akan menjadi uap sehingga kandungan air dalam tanah akan berkurang dan mengakibatkan nilai resistivitas meningkat.

Ada beberapa jenis pipa yang digunakan PDAM untuk menyalurkan air kepada para pelanggan, diantaranya pipa besi dan pipa PVC. Hasil analisis yang didapatkan pada keempat tempat penelitian ini pendistribusian air menggunakan pipa besi dengan nilai resistivitas berkisar antara 3.567.5  $\Omega$  m, sedangkan resistivitas untuk pipa PVC yaitu  $10^5$   $\Omega$  m (Kanata & Zubaidah, 2005). Secara umum pipa berada pada kedalaman 1.563 meter. Pada titik sounding I (Jalan Fatmawati) pipa berada pada kedalaman 1.2561.5 meter, titik sounding II (kawasan SMA 15) pada kedalaman 262.5 meter dan untuk titik sounding ke III (Plamongan Indah) dan IV (Jalan Ketileng Raya) berada pada kedalaman 2.3 meter.

Tidak terdapatnya kebocoran pipa dimungkinkan karena penggunaan sistem katodik anoda karbon yang baik pada pipa. Sistem proteksi katodik anoda karbon adalah salah satu metode untuk mencegah serangan korosi dengan mengkorosikan logam anoda pada sel galvanik. Selain itu pada daerah Semarang timur tingkat kerentanan pergerakan tanah masih tergolong rendah. Pada zona kerentanan gerakan tanah rendah merupakan daerah yang secara umum mempunyai kerentanan rendah untuk terjadi gerakan tanah, pada zona ini gerakan tanah jarang terjadi kecuali jika mengalami gangguan pada lerengnya. Apabila suatu daerah memiliki kerentanan gerakan tanah yang tinggi kemungkinan kebocoran pipa sering terjadi karena ditinjau dari faktor penyebabnya, kebocoran dapat dibagi menjadi 2, yaitu : kebocoran karena faktor teknis dan kebocoran karena faktor non teknis. Kebocoran karena faktor teknis diantaranya disebabkan oleh (1) pecahnya pipa karena gangguan alam maupun gangguan manusia, (2)

rusaknya pipa karena korosi, (3) masa pakai pipa sudah habis, (4) pemasangan pipa yang kurang sempurna terutama pada sambungan, (5) rendahnya akurasi *water meter* atau *water meter* dalam kondisi rusak atau sama sekali tidak terpasang (pencatatan berdasarkan perkiraan). Sedangkan kebocoran yang disebabkan oleh faktor non teknis diantaranya disebabkan oleh (1) adanya sambungan liar, (2) kesalahan pembacaan meter, (3) kesalahan pencatatan angka meter dan (4) pemakaian yang tidak tercatat, misalnya untuk pengurusan dan pemadam kebakaran.

Menurut kondisi geologinya daerah Semarang Timur merupakan satuan batuan aluvium (Qa) yang merupakan satuan batuan termuda yang pembentukannya masih berlangsung terus menerus hingga saat ini, dan berasal dari rombakan batuan yang lebih tua. Satuan batuan ini terdiri atas kerikil, pasir, lanau, dan lempung yang merupakan endapan sungai. Berarti hal ini sesuai dengan hasil inversi dari Res2Dinv daerah Semarang timur merupakan satuan batuan aluvium.

## BAB 5

### PENUTUP

#### 5.1 Simpulan

Dari hasil penelitian dengan menggunakan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi wenner di daerah Semarang Timur, dapat disimpulkan bahwa berdasarkan hasil penelitian dari keempat tempat tidak ditemukan kebocoran pipa, ini dapat diketahui karena tidak ada nilai resistvitas air PDAM.

#### 5.2 Saran

1. Dilakukan pengukuran pada tempat lain sehingga pipa-pipa yang bocor dapat terdeteksi dan segera diperbaiki.
2. Dilakukan survei dengan menggunakan konfigurasi elektroda lain seperti schlumberger dan pole-dipole pada daerah tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhi, M., Muhtadi, H. & Achmari P. 2011. Metode Tahanan Jenis Konffigurasi Wenner. *Journal MIPA*
- Haryadi. 2006. *Penentuan Kedalaman Aquifer Air Asin Di Daerah Ngaglik Boyolali Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Dipoe-dipole*. Skripsi. Surakarta : USM
- Hendrajaya, L & Arif I. 1990. *Geolistrik Tahanan Jenis*. Bandung : ITB
- Horn, L.G. 2006. *The Design Decision Model TM For Korrosion Control Of Ductile Iron Pipelines*. Brimingham
- Kanata, B & Zubaidah T. 2008. Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi Wenner-Schlumberger Untuk Survai Pipa Bawah Permukaan. *Journal Teknologi Elektro* Vol. 7 No. 2
- Kandisa, A. 2008. *Reformasi Pelayanan Publik Studi Kasus Perbaikan Pelayanan PDAM Dalam Penyediaan Air Bersih Pada Masyarakat di Kantor PDAM Kota Selong Lombok*. Skripsi. Malang : UMM
- Khesin, B. 2004. Use Of Geophysical Methods For The Solution Of Environmental Problems In Israel. *Journal of Science and Engineering B*, Volume 2, Issues 1-2, pp. 95-124
- Massinai. M. A., Syamsudin, & Makharani. 2010. Model of Vertical Resistivity Distribution of Rock Layers in Jeneberang watershed. *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS* Vol: 10 No: 06
- Mc Dowell, P.L., R.D. Barker, & Butcher A.P. 2002. *Geophysics In Engineering Investigations*. London : Ciria

- Muhanda, A. 2010. Perang Melawan Kebocoran Air PDAM. *Bisnis Indonesia*, 1 Desember. Hlm 7.
- Naimah, H., Agus, M. 2008. Strategi Penyehatan PDAM Kota Palangkaraya. *Journal Teknik Lingkungan*.
- Pasila, F., Hannawati, A. & Wintareja, A. 2002. *Sistem Kebocoran PDAM Surabaya Berbasis Teknologi Scada*. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Komputer dan Sistem Intelejen (KOMMIT). Jakarta, 21-22 Agustus
- Siregar, J. 2006. *Pendugaan Geolistrik Resistivitas Sounding Dalam Penyelidikan Akuifer Air Tanah di Kabupaten Sragen*. Skripsi. Surakarta : USM
- Telford, W.M., 1990. *Applied Geophysics Second Edition*, Cambridge University.
- Wisnu, D. 2008. *Penilaian Tingkat Kepuasan Masyarakat Dalam Rangka Perumusan Usulan Peningkatan Kualitas Pelayanan Air Bersih Perpipaan PDAM*. Skripsi. Bandung : ITB
- Zubaidah, T & Katana, B. 2008. *Pemodelan Fisika Aplikasi Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger Untuk Investigasi Keberadaa Air Tanah*. *Journal Teknologi Elektro* Vol. 7 No. 1

## Lampiran 1

### TABEL PENELITIAN KEBOCORAN PIPA PDAM TIRTA MOEDAL

#### Titik Sounding I

Hari/tanggal : Sabtu, 23 April 2011

Lokasi : Jalan Fatmawati, Semarang

A	M	N	B	Spasi	V (V)	I (A)	K	Rho
0	1	2	3	1	0,2892	0,0667	6,28	27,22902549
1	2	3	4	1	0,2859	0,111	6,28	16,17524324
2	3	4	5	1	0,3059	0,1121	6,28	17,13694915
3	4	5	6	1	0,24	0,111	6,28	13,57837838
4	5	6	7	1	0,2529	0,1133	6,28	14,01775816
5	6	7	8	1	0,2698	0,1124	6,28	15,07423488
6	7	8	9	1	0,2628	0,1055	6,28	15,64345024
7	8	9	10	1	0,2566	0,1126	6,28	14,3112611
8	9	10	11	1	0,2545	0,1126	6,28	14,19413854
9	10	11	12	1	0,2379	0,1091	6,28	13,69396884
10	11	12	13	1	0,211	0,1141	6,28	11,61332165
11	12	13	14	1	0,2161	0,1139	6,28	11,91490781
12	13	14	15	1	0,2163	0,1142	6,28	11,89460595
13	14	15	16	1	0,3295	0,1144	6,28	18,08793706
14	15	16	17	1	0,2862	0,1144	6,28	15,71097902
15	16	17	18	1	0,3022	0,1154	6,28	16,44554593
16	17	18	19	1	0,2717	0,1153	6,28	14,79857762
17	18	19	20	1	0,2437	0,115	6,28	13,30813913
18	19	20	21	1	0,121	0,0531	6,28	14,31035782
19	20	21	22	1	0,156	0,0531	6,28	18,44971751
20	21	22	23	1	0,228	0,1184	6,28	12,09324324
21	22	23	24	1	0,232	0,1182	6,28	12,32622673
22	23	24	25	1	0,252	0,1183	6,28	13,37751479
0	2	4	6	2	0,063	0,1164	12,56	6,797938144
1	3	5	7	2	0,062	0,1166	12,56	6,678559177
2	4	6	8	2	0,061	0,1181	12,56	6,487383573
3	5	7	9	2	0,061	0,1183	12,56	6,476415892
4	6	8	10	2	0,065	0,118	12,56	6,918644068
5	7	9	11	2	0,059	0,1165	12,56	6,360858369



[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

6	8	10	12	2	0,059	0,1179	12,56	6,285326548
7	9	11	13	2	0,064	0,1178	12,56	6,8237691
8	10	12	14	2	0,065	0,117	12,56	6,977777778
9	11	13	15	2	0,064	0,1184	12,56	6,789189189
10	12	14	16	2	0,068	0,1185	12,56	7,20742616
11	13	15	17	2	0,065	0,1181	12,56	6,912785775
12	14	16	18	2	0,063	0,1185	12,56	6,677468354
13	15	17	19	2	0,066	0,1184	12,56	7,001351351
14	16	18	20	2	0,068	0,1186	12,56	7,201349073
15	17	19	21	2	0,061	0,1168	12,56	6,559589041
16	18	20	22	2	0,061	0,1185	12,56	6,465485232
17	19	21	23	2	0,0612	0,1187	12,56	6,475754002
18	20	22	24	2	0,062	0,1184	12,56	6,577027027
19	21	23	25	2	0,061	0,1182	12,56	6,481895093
0	3	6	9	3	0,039	0,1175	18,84	6,253276596
1	4	7	10	3	0,038	0,1168	18,84	6,129452055
2	5	8	11	3	0,038	0,1174	18,84	6,098126065
3	6	9	12	3	0,036	0,1181	18,84	5,742929721
4	7	10	13	3	0,035	0,1185	18,84	5,564556962
5	8	11	14	3	0,037	0,1185	18,84	5,882531646
6	9	12	15	3	0,036	0,1168	18,84	5,806849315
7	10	13	16	3	0,037	0,1186	18,84	5,877571669
8	11	14	17	3	0,037	0,1181	18,84	5,902455546
9	12	15	18	3	0,036	0,1187	18,84	5,71390059
10	13	16	19	3	0,035	0,1186	18,84	5,559865093
11	14	17	20	3	0,034	0,1188	18,84	5,391919192
12	15	18	21	3	0,035	0,1187	18,84	5,555181129
13	16	19	22	3	0,035	0,1192	18,84	5,531879195
14	17	20	23	3	0,034	0,119	18,84	5,382857143
15	18	21	24	3	0,035	0,1187	18,84	5,555181129
16	19	22	25	3	0,034	0,1191	18,84	5,378337531
0	4	8	12	4	0,023	0,1183	25,12	4,883854607
1	5	9	13	4	0,024	0,1181	25,12	5,104826418
2	6	10	14	4	0,023	0,1185	25,12	4,875611814
3	7	11	15	4	0,024	0,1195	25,12	5,045020921
4	8	12	16	4	0,022	0,1198	25,12	4,613021703
5	9	13	17	4	0,022	0,1197	25,12	4,616875522
6	10	14	18	4	0,022	0,118	25,12	4,683389831
7	11	15	19	4	0,023	0,1192	25,12	4,846979866

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

8	12	16	20	4	0,023	0,1187	25,12	4,867396799
9	13	17	21	4	0,023	0,1194	25,12	4,838860972
10	14	18	22	4	0,022	0,1194	25,12	4,628475712
11	15	19	23	4	0,022	0,1193	25,12	4,632355407
12	16	20	24	4	0,022	0,1185	25,12	4,663628692
13	17	21	25	4	0,022	0,1191	25,12	4,640134341
0	5	10	15	5	0,017	0,1188	31,4	4,493265993
1	6	11	16	5	0,018	0,1178	31,4	4,797962649
2	7	12	17	5	0,016	0,1188	31,4	4,228956229
3	8	13	18	5	0,018	0,1196	31,4	4,725752508
4	9	14	19	5	0,018	0,1197	31,4	4,721804511
5	10	15	20	5	0,018	0,1197	31,4	4,721804511
6	11	16	21	5	0,017	0,1183	31,4	4,512256974
7	12	17	22	5	0,018	0,1196	31,4	4,725752508
8	13	18	23	5	0,017	0,119	31,4	4,485714286
9	14	19	24	5	0,015	0,119	31,4	3,957983193
10	15	20	25	5	0,015	0,1193	31,4	3,948030176
0	6	12	18	6	0,011	0,1189	37,68	3,485954584
1	7	13	19	6	0,013	0,1175	37,68	4,168851064
2	8	14	20	6	0,012	0,1187	37,68	3,80926706
3	9	15	21	6	0,012	0,1196	37,68	3,780602007
4	10	16	22	6	0,011	0,1199	37,68	3,456880734
5	11	17	23	6	0,012	0,1198	37,68	3,774290484
6	12	18	24	6	0,011	0,1177	37,68	3,521495327
7	13	19	25	6	0,011	0,1192	37,68	3,477181208
0	7	14	21	7	0,008	0,1189	43,96	2,957779647
1	8	15	22	7	0,006	0,1188	43,96	2,22020202
2	9	16	23	7	0,007	0,1189	43,96	2,588057191
3	10	17	24	7	0,007	0,1182	43,96	2,603384095
4	11	18	25	7	0,006	0,1195	43,96	2,207196653
0	8	16	24	8	0,005	0,1173	50,24	2,141517477
1	9	17	25	8	0,004	0,1182	50,24	1,700169205

**TABEL PENELITIAN KEBOCORAN PIPA PDAM TIRTA MOEDAL**

Hari/tanggal : Sabtu, 9 Juli 2011

Lokasi : Jalan Fatmawati, Semarang

Koordinat : S 07<sup>0</sup> 01'05.2" dan E110<sup>0</sup> 28'14.6"

A	M	N	B	Spasi	V (V)	I (A)	K	Rho
0	1	2	3	1	0,2845	0,0667	6,28	26,78650675
1	2	3	4	1	0,2832	0,111	6,28	16,02248649
2	3	4	5	1	0,2859	0,1121	6,28	16,01652096
3	4	5	6	1	0,2535	0,1	6,28	15,9198
4	5	6	7	1	0,2869	0,1133	6,28	15,90231244
5	6	7	8	1	0,2702	0,1124	6,28	15,09658363
6	7	8	9	1	0,2823	0,1055	6,28	16,80420853
7	8	9	10	1	0,2716	0,1133	6,28	15,05426302
8	9	10	11	1	0,2833	0,1126	6,28	15,80039076
9	10	11	12	1	0,2393	0,1009	6,28	14,89399405
10	11	12	13	1	0,2611	0,1141	6,28	14,37079755
11	12	13	14	1	0,2161	0,1139	6,28	11,91490781
12	13	14	15	1	0,2163	0,1142	6,28	11,89460595
13	14	15	16	1	0,2395	0,1144	6,28	13,14737762
14	15	16	17	1	0,2162	0,1144	6,28	11,86832168
15	16	17	18	1	0,2322	0,1154	6,28	12,63618718
16	17	18	19	1	0,2207	0,1163	6,28	11,91742046
17	18	19	20	1	0,2317	0,1159	6,28	12,55458154
18	19	20	21	1	0,1121	0,0531	6,28	13,25777778
19	20	21	22	1	0,1056	0,0531	6,28	12,48903955
20	21	22	23	1	0,218	0,1184	6,28	11,56283784
21	22	23	24	1	0,236	0,1182	6,28	12,53874788
22	23	24	25	1	0,237	0,1183	6,28	12,58123415
0	2	4	6	2	0,073	0,1169	12,56	7,843284859
1	3	5	7	2	0,072	0,1156	12,56	7,82283737
2	4	6	8	2	0,074	0,1189	12,56	7,816989066
3	5	7	9	2	0,071	0,1183	12,56	7,538123415
4	6	8	10	2	0,069	0,118	12,56	7,34440678
5	7	9	11	2	0,069	0,1165	12,56	7,438969957
6	8	10	12	2	0,071	0,1179	12,56	7,563698049
7	9	11	13	2	0,074	0,1178	12,56	7,889983022

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

8	10	12	14	2	0,073	0,117	12,56	7,836581197
9	11	13	15	2	0,074	0,1184	12,56	7,85
10	12	14	16	2	0,068	0,1185	12,56	7,20742616
11	13	15	17	2	0,073	0,1181	12,56	7,763590178
12	14	16	18	2	0,073	0,1185	12,56	7,737383966
13	15	17	19	2	0,066	0,1184	12,56	7,001351351
14	16	18	20	2	0,068	0,1186	12,56	7,201349073
15	17	19	21	2	0,071	0,1168	12,56	7,634931507
16	18	20	22	2	0,071	0,1185	12,56	7,525400844
17	19	21	23	2	0,0712	0,1187	12,56	7,533883741
18	20	22	24	2	0,073	0,1184	12,56	7,743918919
19	21	23	25	2	0,0715	0,1182	12,56	7,597631134
0	3	6	9	3	0,035	0,1175	18,84	5,611914894
1	4	7	10	3	0,036	0,1188	18,84	5,709090909
2	5	8	11	3	0,035	0,1174	18,84	5,61669506
3	6	9	12	3	0,035	0,1181	18,84	5,583403895
4	7	10	13	3	0,034	0,1185	18,84	5,40556962
5	8	11	14	3	0,035	0,1185	18,84	5,564556962
6	9	12	15	3	0,034	0,1168	18,84	5,484246575
7	10	13	16	3	0,034	0,1186	18,84	5,401011804
8	11	14	17	3	0,035	0,1181	18,84	5,583403895
9	12	15	18	3	0,034	0,1187	18,84	5,396461668
10	13	16	19	3	0,035	0,1186	18,84	5,559865093
11	14	17	20	3	0,034	0,1188	18,84	5,391919192
12	15	18	21	3	0,033	0,1187	18,84	5,237742207
13	16	19	22	3	0,034	0,1192	18,84	5,373825503
14	17	20	23	3	0,036	0,119	18,84	5,699495798
15	18	21	24	3	0,035	0,1187	18,84	5,555181129
16	19	22	25	3	0,035	0,1191	18,84	5,536523929
0	4	8	12	4	0,023	0,1182	25,12	4,887986464
1	5	9	13	4	0,022	0,1184	25,12	4,667567568
2	6	10	14	4	0,027	0,1183	25,12	5,733220626
3	7	11	15	4	0,026	0,1195	25,12	5,465439331
4	8	12	16	4	0,022	0,1198	25,12	4,613021703
5	9	13	17	4	0,023	0,1197	25,12	4,8267335
6	10	14	18	4	0,023	0,118	25,12	4,896271186
7	11	15	19	4	0,025	0,1192	25,12	5,268456376
8	12	16	20	4	0,024	0,1187	25,12	5,079022746
9	13	17	21	4	0,023	0,1194	25,12	4,838860972

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

10	14	18	22	4	0,2	0,1184	25,12	4,667567568
11	15	19	23	4	0,022	0,1183	25,12	4,671513102
12	16	20	24	4	0,023	0,1185	25,12	4,875611814
13	17	21	25	4	0,023	0,1191	25,12	4,851049538
0	5	10	15	5	0,016	0,1188	31,4	4,228956229
1	6	11	16	5	0,017	0,1189	31,4	4,489486964
2	7	12	17	5	0,016	0,1188	31,4	4,228956229
3	8	13	18	5	0,015	0,1196	31,4	3,93812709
4	9	14	19	5	0,016	0,1197	31,4	4,197159566
5	10	15	20	5	0,014	0,1197	31,4	3,67251462
6	11	16	21	5	0,013	0,1183	31,4	3,450549451
7	12	17	22	5	0,012	0,1196	31,4	3,150501672
8	13	18	23	5	0,014	0,119	31,4	3,694117647
9	14	19	24	5	0,014	0,1198	31,4	3,669449082
10	15	20	25	5	0,013	0,1193	31,4	3,421626153
0	6	12	18	6	0,01	0,1189	37,68	3,169049622
1	7	13	19	6	0,011	0,1175	37,68	3,527489362
2	8	14	20	6	0,011	0,1197	37,68	3,462656642
3	9	15	21	6	0,011	0,1196	37,68	3,465551839
4	10	16	22	6	0,011	0,1189	37,68	3,485954584
5	11	17	23	6	0,011	0,1188	37,68	3,488888889
6	12	18	24	6	0,011	0,1187	37,68	3,491828138
7	13	19	25	6	0,012	0,1192	37,68	3,793288591
0	7	14	21	7	0,007	0,1189	43,96	2,588057191
1	8	15	22	7	0,007	0,1188	43,96	2,59023569
2	9	16	23	7	0,006	0,1185	43,96	2,225822785
3	10	17	24	7	0,007	0,1186	43,96	2,59460371
4	11	18	25	7	0,007	0,1189	43,96	2,588057191
0	8	16	24	8	0,005	0,1173	50,24	2,141517477
1	9	17	25	8	0,005	0,1182	50,24	2,125211506

**TABEL PENELITIAN KEBOCORAN PIPA PDAM TIRTA MOEDAL**

**Titik Sounding II**

Hari/tanggal : minggu, 8 Mei 2011

Lokasi : SMA 15 jalan kedungmundu raya, Semarang

Koordinat : S 07<sup>0</sup> 01"23.9" dan E 110<sup>0</sup> 27'45.0"

A	M	N	B	Spasi	V	I	K	Rho
0	1	2	3	1	0,1437	0,117	6,28	7,713128205
1	2	3	4	1	0,1135	0,1175	6,28	6,066212766
2	3	4	5	1	0,1439	0,1172	6,28	7,710682594
3	4	5	6	1	0,1294	0,1172	6,28	6,933720137
4	5	6	7	1	0,1668	0,1185	6,28	8,839696203
5	6	7	8	1	0,1219	0,1183	6,28	6,471107354
6	7	8	9	1	0,2097	0,1185	6,28	11,11321519
7	8	9	10	1	0,1299	0,1184	6,28	6,889966216
8	9	10	11	1	0,1353	0,1184	6,28	7,176385135
9	10	11	12	1	0,1632	0,1181	6,28	8,678204911
10	11	12	13	1	0,1504	0,1183	6,28	7,984040575
11	12	13	14	1	0,1967	0,1177	6,28	10,49512319
12	13	14	15	1	0,2008	0,1178	6,28	10,70478778
13	14	15	16	1	0,1951	0,118	6,28	10,38328814
14	15	16	17	1	0,1844	0,1178	6,28	9,83049236
15	16	17	18	1	0,1402	0,1182	6,28	7,448866328
16	17	18	19	1	0,174	0,1172	6,28	9,323549488
17	18	19	20	1	0,2058	0,1183	6,28	10,92497041
18	19	20	21	1	0,2232	0,1163	6,28	12,05241617
19	20	21	22	1	0,2137	0,1171	6,28	11,46059778
20	21	22	23	1	0,2033	0,1174	6,28	10,87499148
21	22	23	24	1	0,224	0,1134	6,28	12,40493827
22	23	24	25	1	0,242	0,1179	6,28	12,89024597
0	2	4	6	2	0,0643	0,1186	12,56	6,809510961
1	3	5	7	2	0,0649	0,1186	12,56	6,873052277
2	4	6	8	2	0,0646	0,1189	12,56	6,824020185
3	5	7	9	2	0,0661	0,1186	12,56	7,000134907
4	6	8	10	2	0,0695	0,1189	12,56	7,341631623
5	7	9	11	2	0,0628	0,1186	12,56	6,650657673

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

6	8	10	12	2	0,0693	0,1183	12,56	7,357633136
7	9	11	13	2	0,0614	0,1184	12,56	6,513378378
8	10	12	14	2	0,0638	0,1183	12,56	6,773693998
9	11	13	15	2	0,0645	0,1187	12,56	6,824936816
10	12	14	16	2	0,0672	0,1185	12,56	7,122632911
11	13	15	17	2	0,062	0,1186	12,56	6,565935919
12	14	16	18	2	0,0638	0,1181	12,56	6,785165114
13	15	17	19	2	0,0685	0,118	12,56	7,291186441
14	16	18	20	2	0,0672	0,1177	12,56	7,17104503
15	17	19	21	2	0,0765	0,1178	12,56	8,156536503
16	18	20	22	2	0,0757	0,118	12,56	8,057559322
17	19	21	23	2	0,0799	0,1184	12,56	8,475878378
18	20	22	24	2	0,0668	0,1183	12,56	7,092206255
19	21	23	25	2	0,0741	0,1174	12,56	7,927563884
0	3	6	9	3	0,0336	0,1187	18,84	5,332973884
1	4	7	10	3	0,0343	0,1188	18,84	5,439494949
2	5	8	11	3	0,0308	0,1187	18,84	4,888559393
3	6	9	12	3	0,0309	0,1181	18,84	4,92934801
4	7	10	13	3	0,0278	0,1186	18,84	4,416121417
5	8	11	14	3	0,0279	0,1182	18,84	4,447005076
6	9	12	15	3	0,027	0,1186	18,84	4,289038786
7	10	13	16	3	0,0295	0,1186	18,84	4,686172007
8	11	14	17	3	0,0301	0,1184	18,84	4,789560811
9	12	15	18	3	0,0341	0,1189	18,84	5,403229605
10	13	16	19	3	0,033	0,1188	18,84	5,233333333
11	14	17	20	3	0,0321	0,1185	18,84	5,103493671
12	15	18	21	3	0,0286	0,1175	18,84	4,58573617
13	16	19	22	3	0,0319	0,1181	18,84	5,088873836
14	17	20	23	3	0,029	0,1176	18,84	4,645918367
15	18	21	24	3	0,0323	0,1186	18,84	5,130961214
16	19	22	25	3	0,0302	0,1182	18,84	4,813604061
0	4	8	12	4	0,0229	0,1183	25,12	4,862620456
1	5	9	13	4	0,0207	0,1185	25,12	4,388050633
2	6	10	14	4	0,0206	0,1183	25,12	4,374234996
3	7	11	15	4	0,0205	0,1182	25,12	4,356683587
4	8	12	16	4	0,0164	0,1186	25,12	3,473591906
5	9	13	17	4	0,0186	0,1187	25,12	3,936242628
6	10	14	18	4	0,0208	0,1187	25,12	4,401819714
7	11	15	19	4	0,022	0,1185	25,12	4,663628692

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

8	12	16	20	4	0,0221	0,1187	25,12	4,676933446
9	13	17	21	4	0,0174	0,1183	25,12	3,694742181
10	14	18	22	4	0,0186	0,1185	25,12	3,942886076
11	15	19	23	4	0,0174	0,1184	25,12	3,691621622
12	16	20	24	4	0,0154	0,1185	25,12	3,264540084
13	17	21	25	4	0,0155	0,1182	25,12	3,294077834
0	5	10	15	5	0,0115	0,1185	31,4	3,047257384
1	6	11	16	5	0,0125	0,1184	31,4	3,315033784
2	7	12	17	5	0,0126	0,1189	31,4	3,327502103
3	8	13	18	5	0,0116	0,1185	31,4	3,073755274
4	9	14	19	5	0,0128	0,1186	31,4	3,388870152
5	10	15	20	5	0,0123	0,1185	31,4	3,259240506
6	11	16	21	5	0,0135	0,1179	31,4	3,595419847
7	12	17	22	5	0,0125	0,1184	31,4	3,315033784
8	13	18	23	5	0,0129	0,1186	31,4	3,4153457
9	14	19	24	5	0,0119	0,119	31,4	3,14
10	15	20	25	5	0,0114	0,1186	31,4	3,018212479
0	6	12	18	6	0,0093	0,1182	37,68	2,964670051
1	7	13	19	6	0,0092	0,1186	37,68	2,922900506
2	8	14	20	6	0,0093	0,1186	37,68	2,954671164
3	9	15	21	6	0,0092	0,1176	37,68	2,947755102
4	10	16	22	6	0,0092	0,1185	37,68	2,925367089
5	11	17	23	6	0,0092	0,1183	37,68	2,930312764
6	12	18	24	6	0,0094	0,1187	37,68	2,983925864
7	13	19	25	6	0,0093	0,1185	37,68	2,957164557
0	7	14	21	7	0,0074	0,1179	43,96	2,759151824
1	8	15	22	7	0,0071	0,1183	43,96	2,638343195
2	9	16	23	7	0,0077	0,1187	43,96	2,851659646
3	10	17	24	7	0,0062	0,1185	43,96	2,300016878
4	11	18	25	7	0,0071	0,1187	43,96	2,629452401
0	8	16	24	8	0,0048	0,1187	50,24	2,031609099
1	9	17	25	8	0,0045	0,1185	50,24	1,907848101



**TABEL PENELITIAN KEBOCORAN PIPA PDAM  
TIRTA MOEDAL**

Hari/tanggal : Minggu, 10 Juli 2011

Lokasi : SMA 15 Semarang

Koordinat : S 07° 01' 23.9" dan E 110° 27' 45.0"

A	M	N	B	Spasi	V	I	K	Rho
0	1	2	3	1	0,172	0,1175	6,28	9,192851064
1	2	3	4	1	0,175	0,1126	6,28	9,760213144
2	3	4	5	1	0,171	0,1161	6,28	9,249612403
3	4	5	6	1	0,191	0,1186	6,28	10,11365936
4	5	6	7	1	0,161	0,093	6,28	10,87182796
5	6	7	8	1	0,183	0,1187	6,28	9,68188711
6	7	8	9	1	0,185	0,1189	6,28	9,771236333
7	8	9	10	1	0,191	0,1187	6,28	10,10513901
8	9	10	11	1	0,174	0,1188	6,28	9,197979798
9	10	11	12	1	0,215	0,1187	6,28	11,37489469
10	11	12	13	1	0,212	0,1187	6,28	11,21617523
11	12	13	14	1	0,223	0,1128	6,28	12,41524823
12	13	14	15	1	0,211	0,1187	6,28	11,16326874
13	14	15	16	1	0,218	0,1189	6,28	11,51421362
14	15	16	17	1	0,212	0,119	6,28	11,18789916
15	16	17	18	1	0,277	0,1184	6,28	14,69222973
16	17	18	19	1	0,255	0,1176	6,28	13,61734694
17	18	19	20	1	0,241	0,1174	6,28	12,89165247
18	19	20	21	1	0,217	0,1178	6,28	11,56842105
19	20	21	22	1	0,222	0,1123	6,28	12,41460374
20	21	22	23	1	0,15	0,081	6,28	11,62962963
21	22	23	24	1	0,218	0,1137	6,28	12,04080915
22	23	24	25	1	0,146	0,0712	6,28	12,87752809
0	2	4	6	2	0,06	0,1181	12,56	6,381033023
1	3	5	7	2	0,06	0,1169	12,56	6,4465355
2	4	6	8	2	0,075	0,115	12,56	8,191304348
3	5	7	9	2	0,063	0,1189	12,56	6,655004205
4	6	8	10	2	0,062	0,116	12,56	6,713103448
5	7	9	11	2	0,068	0,1189	12,56	7,183179142
6	8	10	12	2	0,063	0,1176	12,56	6,728571429

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

7	9	11	13	2	0,059	0,1189	12,56	6,232464256
8	10	12	14	2	0,063	0,1185	12,56	6,677468354
9	11	13	15	2	0,068	0,1183	12,56	7,219611158
10	12	14	16	2	0,071	0,1185	12,56	7,525400844
11	13	15	17	2	0,068	0,1186	12,56	7,201349073
12	14	16	18	2	0,066	0,1148	12,56	7,220905923
13	15	17	19	2	0,072	0,1173	12,56	7,709462916
14	16	18	20	2	0,067	0,1167	12,56	7,210968295
15	17	19	21	2	0,068	0,1166	12,56	7,324871355
16	18	20	22	2	0,072	0,1154	12,56	7,836395147
17	19	21	23	2	0,057	0,0948	12,56	7,551898734
18	20	22	24	2	0,065	0,1165	12,56	7,007725322
19	21	23	25	2	0,043	0,0794	12,56	6,802015113
0	3	6	9	3	0,029	0,1182	18,84	4,622335025
1	4	7	10	3	0,029	0,0967	18,84	5,650051706
2	5	8	11	3	0,037	0,1146	18,84	6,082722513
3	6	9	12	3	0,036	0,1177	18,84	5,762446899
4	7	10	13	3	0,031	0,1163	18,84	5,021840069
5	8	11	14	3	0,029	0,1188	18,84	4,598989899
6	9	12	15	3	0,033	0,1184	18,84	5,251013514
7	10	13	16	3	0,033	0,1189	18,84	5,228931876
8	11	14	17	3	0,036	0,1188	18,84	5,709090909
9	12	15	18	3	0,039	0,119	18,84	6,174453782
10	13	16	19	3	0,033	0,1177	18,84	5,282242991
11	14	17	20	3	0,033	0,1182	18,84	5,259898477
12	15	18	21	3	0,03	0,1125	18,84	5,024
13	16	19	22	3	0,031	0,1159	18,84	5,0391717
14	17	20	23	3	0,025	0,0915	18,84	5,147540984
15	18	21	24	3	0,025	0,1142	18,84	4,124343257
16	19	22	25	3	0,02	0,0695	18,84	5,421582734
0	4	8	12	4	0,023	0,1161	25,12	4,976399655
1	5	9	13	4	0,019	0,107	25,12	4,460560748
2	6	10	14	4	0,021	0,1163	25,12	4,535855546
3	7	11	15	4	0,02	0,1184	25,12	4,243243243
4	8	12	16	4	0,019	0,1185	25,12	4,027679325
5	9	13	17	4	0,019	0,119	25,12	4,010756303
6	10	14	18	4	0,022	0,1192	25,12	4,636241611
7	11	15	19	4	0,023	0,1179	25,12	4,900424088
8	12	16	20	4	0,023	0,1183	25,12	4,883854607

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

9	13	17	21	4	0,021	0,1181	25,12	4,466723116
10	14	18	22	4	0,019	0,1162	25,12	4,107401033
11	15	19	23	4	0,015	0,0904	25,12	4,168141593
12	16	20	24	4	0,017	0,1051	25,12	4,063177926
13	17	21	25	4	0,012	0,072	25,12	4,186666667
0	5	10	15	5	0,014	0,1172	31,4	3,750853242
1	6	11	16	5	0,012	0,099	31,4	3,806060606
2	7	12	17	5	0,013	0,1165	31,4	3,503862661
3	8	13	18	5	0,013	0,1191	31,4	3,427371956
4	9	14	19	5	0,013	0,1172	31,4	3,482935154
5	10	15	20	5	0,014	0,1183	31,4	3,715976331
6	11	16	21	5	0,014	0,1179	31,4	3,728583545
7	12	17	22	5	0,013	0,1165	31,4	3,503862661
8	13	18	23	5	0,013	0,1087	31,4	3,755289788
9	14	19	24	5	0,013	0,1158	31,4	3,525043178
10	15	20	25	5	0,01	0,0928	31,4	3,38362069
0	6	12	18	6	0,01	0,1182	37,68	3,187817259
1	7	13	19	6	0,005	0,0598	37,68	3,150501672
2	8	14	20	6	0,007	0,0878	37,68	3,004100228
3	9	15	21	6	0,008	0,1006	37,68	2,996421471
4	10	16	22	6	0,009	0,1163	37,68	2,915907137
5	11	17	23	6	0,008	0,105	37,68	2,870857143
6	12	18	24	6	0,008	0,1156	37,68	2,607612457
7	13	19	25	6	0,007	0,0963	37,68	2,73894081
0	7	14	21	7	0,007	0,1167	43,96	2,636846615
1	8	15	22	7	0,003	0,0559	43,96	2,35921288
2	9	16	23	7	0,005	0,0763	43,96	2,880733945
3	10	17	24	7	0,007	0,1175	43,96	2,618893617
4	11	18	25	7	0,003	0,053	43,96	2,488301887
0	8	16	24	8	0,0048	0,1121	50,24	2,151222123
1	9	17	25	8	0,002	0,0547	50,24	1,836928702

**TABEL PENELITIAN KEBOCORAN PIPA PDAM TIRTA MOEDAL**

**Titik Sounding III**

Hari/tanggal : Selasa, 17 Mei 2011

Lokasi : Plamongan indah, Semarang

Koordinat : S 07<sup>0</sup> 01'19,7" E 110<sup>0</sup> 29'50,0"

A	M	N	B	Spasi	V (V)	I (A)	K	Rho
0	1	2	3	1	0,9	0,117	6,28	48,30769231
1	2	3	4	1	0,682	0,1175	6,28	36,4507234
2	3	4	5	1	0,908	0,1175	6,28	48,52970213
3	4	5	6	1	0,798	0,1161	6,28	43,16485788
4	5	6	7	1	0,819	0,1172	6,28	43,88498294
5	6	7	8	1	0,947	0,1171	6,28	50,78701964
6	7	8	9	1	0,779	0,1169	6,28	41,84875962
7	8	9	10	1	0,773	0,117	6,28	41,49094017
8	9	10	11	1	0,638	0,1172	6,28	34,18634812
9	10	11	12	1	0,589	0,1167	6,28	31,69597258
10	11	12	13	1	0,58	0,1165	6,28	31,26523605
11	12	13	14	1	0,846	0,1171	6,28	45,3704526
12	13	14	15	1	0,859	0,117	6,28	46,10700855
13	14	15	16	1	0,841	0,1174	6,28	44,98705281
14	15	16	17	1	0,906	0,1175	6,28	48,42280851
15	16	17	18	1	0,88	0,1175	6,28	47,03319149
16	17	18	19	1	0,724	0,1177	6,28	38,62973662
17	18	19	20	1	0,742	0,1177	6,28	39,59014444
18	19	20	21	1	0,714	0,1171	6,28	38,29137489
19	20	21	22	1	0,702	0,1103	6,28	39,96881233
20	21	22	23	1	0,901	0,1176	6,28	48,11462585
21	22	23	24	1	0,682	0,1171	6,28	36,57523484
22	23	24	25	1	0,747	0,1177	6,28	39,85692438
0	2	4	6	2	0,342	0,1177	12,56	36,49549703
1	3	5	7	2	0,345	0,1187	12,56	36,50547599
2	4	6	8	2	0,283	0,1186	12,56	29,9703204
3	5	7	9	2	0,276	0,1189	12,56	29,15525652
4	6	8	10	2	0,317	0,1161	12,56	34,29388458

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

5	7	9	11	2	0,301	0,1187	12,56	31,84970514
6	8	10	12	2	0,226	0,1185	12,56	23,95409283
7	9	11	13	2	0,24	0,118	12,56	25,54576271
8	10	12	14	2	0,283	0,1182	12,56	30,07174281
9	11	13	15	2	0,276	0,1185	12,56	29,25367089
10	12	14	16	2	0,273	0,1178	12,56	29,10764007
11	13	15	17	2	0,296	0,118	12,56	31,50644068
12	14	16	18	2	0,263	0,1177	12,56	28,06525064
13	15	17	19	2	0,247	0,1175	12,56	26,4027234
14	16	18	20	2	0,245	0,1178	12,56	26,12224109
15	17	19	21	2	0,221	0,118	12,56	23,52338983
16	18	20	22	2	0,249	0,118	12,56	26,50372881
17	19	21	23	2	0,303	0,1181	12,56	32,22421677
18	20	22	24	2	0,26	0,1172	12,56	27,86348123
19	21	23	25	2	0,268	0,1179	12,56	28,55029686
0	3	6	9	3	0,153	0,1175	18,84	24,53208511
1	4	7	10	3	0,134	0,119	18,84	21,21478992
2	5	8	11	3	0,143	0,119	18,84	22,63966387
3	6	9	12	3	0,126	0,1191	18,84	19,93148615
4	7	10	13	3	0,079	0,119	18,84	12,50722689
5	8	11	14	3	0,078	0,1192	18,84	12,32818792
6	9	12	15	3	0,078	0,1192	18,84	12,32818792
7	10	13	16	3	0,093	0,1185	18,84	14,78582278
8	11	14	17	3	0,113	0,1188	18,84	17,92020202
9	12	15	18	3	0,11	0,1185	18,84	17,48860759
10	13	16	19	3	0,108	0,119	18,84	17,09848739
11	14	17	20	3	0,105	0,1183	18,84	16,72189349
12	15	18	21	3	0,106	0,1186	18,84	16,83844857
13	16	19	22	3	0,106	0,1189	18,84	16,79596299
14	17	20	23	3	0,1054	0,1182	18,84	16,79979695
15	18	21	24	3	0,101	0,1189	18,84	16,00370059
16	19	22	25	3	0,123	0,1185	18,84	19,55544304
0	4	8	12	4	0,074	0,1173	25,12	15,84722933
1	5	9	13	4	0,069	0,1191	25,12	14,55314861
2	6	10	14	4	0,07	0,1189	25,12	14,78889823
3	7	11	15	4	0,061	0,1192	25,12	12,85503356
4	8	12	16	4	0,025	0,0603	25,12	10,4145937
5	9	13	17	4	0,051	0,1193	25,12	10,73864208
6	10	14	18	4	0,055	0,1189	25,12	11,61984861

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

7	11	15	19	4	0,056	0,1188	25,12	11,84107744
8	12	16	20	4	0,052	0,1188	25,12	10,9952862
9	13	17	21	4	0,053	0,1187	25,12	11,21617523
10	14	18	22	4	0,05	0,1184	25,12	10,60810811
11	15	19	23	4	0,053	0,118	25,12	11,28271186
12	16	20	24	4	0,048	0,1186	25,12	10,16661046
13	17	21	25	4	0,048	0,1187	25,12	10,15804549
0	5	10	15	5	0,034	0,1174	31,4	9,093696763
1	6	11	16	5	0,033	0,119	31,4	8,707563025
2	7	12	17	5	0,034	0,1192	31,4	8,956375839
3	8	13	18	5	0,033	0,119	31,4	8,707563025
4	9	14	19	5	0,016	0,0581	31,4	8,647160069
5	10	15	20	5	0,032	0,1193	31,4	8,422464376
6	11	16	21	5	0,033	0,1189	31,4	8,714886459
7	12	17	22	5	0,034	0,1187	31,4	8,99410278
8	13	18	23	5	0,029	0,1187	31,4	7,671440607
9	14	19	24	5	0,03	0,1189	31,4	7,922624054
10	15	20	25	5	0,03	0,1183	31,4	7,962806424
0	6	12	18	6	0,019	0,1171	37,68	6,113748933
1	7	13	19	6	0,022	0,1195	37,68	6,936903766
2	8	14	20	6	0,022	0,1194	37,68	6,942713568
3	9	15	21	6	0,018	0,1193	37,68	5,685163453
4	10	16	22	6	0,015	0,115	37,68	4,914782609
5	11	17	23	6	0,019	0,1194	37,68	5,995979899
6	12	18	24	6	0,017	0,1192	37,68	5,373825503
7	13	19	25	6	0,017	0,1186	37,68	5,401011804
0	7	14	21	7	0,009	0,1173	43,96	3,372890026
1	8	15	22	7	0,008	0,1173	43,96	2,998124467
2	9	16	23	7	0,008	0,1194	43,96	2,945393635
3	10	17	24	7	0,009	0,1192	43,96	3,319127517
4	11	18	25	7	0,008	0,1194	43,96	2,945393635
0	8	16	24	8	0,007	0,1169	50,24	3,008383234
1	9	17	25	8	0,006	0,1194	50,24	2,524623116

**TABEL PENELITIAN KEBOCORAN PIPA PDAM TIRTA MOEDAL**

Hari/tanggal : Jumat, 9 Juli 2011

Lokasi : Plamongan indah, Semarang

Koordinat : S 07<sup>0</sup> 01'19,7" E 110<sup>0</sup> 29'50,0"

A	M	N	B	Spasi	V (V)	I (A)	K	Rho
0	1	2	3	1	1,021	0,1174	6,28	54,61567291
1	2	3	4	1	0,832	0,1175	6,28	44,46774468
2	3	4	5	1	0,748	0,1173	6,28	40,04637681
3	4	5	6	1	0,787	0,1174	6,28	42,09846678
4	5	6	7	1	0,747	0,1174	6,28	39,95877342
5	6	7	8	1	0,908	0,1173	6,28	48,61244672
6	7	8	9	1	0,945	0,1173	6,28	50,59335038
7	8	9	10	1	0,917	0,1174	6,28	49,05247019
8	9	10	11	1	0,921	0,1175	6,28	49,22451064
9	10	11	12	1	0,915	0,1173	6,28	48,98721228
10	11	12	13	1	0,906	0,1174	6,28	48,46405451
11	12	13	14	1	0,916	0,1176	6,28	48,91564626
12	13	14	15	1	0,948	0,1177	6,28	50,58147833
13	14	15	16	1	0,954	0,1177	6,28	50,90161427
14	15	16	17	1	0,737	0,1173	6,28	39,45745951
15	16	17	18	1	0,88	0,1173	6,28	47,11338448
16	17	18	19	1	0,795	0,1174	6,28	42,52640545
17	18	19	20	1	0,918	0,1172	6,28	49,18976109
18	19	20	21	1	0,91	0,1173	6,28	48,71952259
19	20	21	22	1	0,834	0,117	6,28	44,76512821
20	21	22	23	1	0,708	0,1177	6,28	37,77604078
21	22	23	24	1	0,875	0,1174	6,28	46,80579216
22	23	24	25	1	0,916	0,1177	6,28	48,87408666
0	2	4	6	2	0,321	0,1188	12,56	33,93737374
1	3	5	7	2	0,326	0,1188	12,56	34,46599327
2	4	6	8	2	0,268	0,1189	12,56	28,31017662
3	5	7	9	2	0,246	0,1184	12,56	26,09594595
4	6	8	10	2	0,43	0,1186	12,56	45,53794266
5	7	9	11	2	0,32	0,1186	12,56	33,88870152

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

6	8	10	12	2	0,262	0,1187	12,56	27,72299916
7	9	11	13	2	0,347	0,1186	12,56	36,74806071
8	10	12	14	2	0,26	0,1184	12,56	27,58108108
9	11	13	15	2	0,252	0,1183	12,56	26,75502959
10	12	14	16	2	0,3	0,1183	12,56	31,8512257
11	13	15	17	2	0,414	0,1184	12,56	43,91756757
12	14	16	18	2	0,278	0,1183	12,56	29,51546915
13	15	17	19	2	0,218	0,1182	12,56	23,16480541
14	16	18	20	2	0,238	0,1174	12,56	25,46235094
15	17	19	21	2	0,335	0,1177	12,56	35,74851317
16	18	20	22	2	0,301	0,1179	12,56	32,06581849
17	19	21	23	2	0,289	0,1183	12,56	30,68334742
18	20	22	24	2	0,377	0,1178	12,56	40,19626486
19	21	23	25	2	0,322	0,1177	12,56	34,36125743
0	3	6	9	3	0,11	0,1187	18,84	17,45914069
1	4	7	10	3	0,105	0,1188	18,84	16,65151515
2	5	8	11	3	0,112	0,1189	18,84	17,74667788
3	6	9	12	3	0,108	0,1186	18,84	17,15615514
4	7	10	13	3	0,134	0,119	18,84	21,21478992
5	8	11	14	3	0,091	0,1187	18,84	14,44347094
6	9	12	15	3	0,094	0,1184	18,84	14,95743243
7	10	13	16	3	0,095	0,1179	18,84	15,18066158
8	11	14	17	3	0,095	0,1185	18,84	15,10379747
9	12	15	18	3	0,115	0,1181	18,84	18,34546994
10	13	16	19	3	0,132	0,1179	18,84	21,09312977
11	14	17	20	3	0,086	0,1171	18,84	13,83637916
12	15	18	21	3	0,079	0,1178	18,84	12,63463497
13	16	19	22	3	0,078	0,1185	18,84	12,40101266
14	17	20	23	3	0,11	0,1184	18,84	17,50337838
15	18	21	24	3	0,12	0,1179	18,84	19,17557252
16	19	22	25	3	0,121	0,117	18,84	19,48410256
0	4	8	12	4	0,059	0,1184	25,12	12,51756757
1	5	9	13	4	0,059	0,1185	25,12	12,50700422
2	6	10	14	4	0,058	0,1185	25,12	12,2950211
3	7	11	15	4	0,044	0,1179	25,12	9,374724343
4	8	12	16	4	0,043	0,1182	25,12	9,138409475
5	9	13	17	4	0,04	0,1184	25,12	8,486486486
6	10	14	18	4	0,043	0,1181	25,12	9,146147333
7	11	15	19	4	0,047	0,1181	25,12	9,996951736



[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

8	12	16	20	4	0,047	0,1177	25,12	10,03092608
9	13	17	21	4	0,048	0,1181	25,12	10,20965284
10	14	18	22	4	0,042	0,1177	25,12	8,963806287
11	15	19	23	4	0,044	0,1181	25,12	9,358848434
12	16	20	24	4	0,047	0,1185	25,12	9,963206751
13	17	21	25	4	0,043	0,1183	25,12	9,1306847
0	5	10	15	5	0,026	0,1181	31,4	6,912785775
1	6	11	16	5	0,027	0,1181	31,4	7,178662151
2	7	12	17	5	0,025	0,1186	31,4	6,618887015
3	8	13	18	5	0,024	0,1177	31,4	6,402718777
4	9	14	19	5	0,022	0,1182	31,4	5,844331641
5	10	15	20	5	0,023	0,1175	31,4	6,146382979
6	11	16	21	5	0,023	0,1179	31,4	6,12553011
7	12	17	22	5	0,024	0,1182	31,4	6,375634518
8	13	18	23	5	0,024	0,1183	31,4	6,370245139
9	14	19	24	5	0,022	0,1181	31,4	5,849280271
10	15	20	25	5	0,022	0,1172	31,4	5,894197952
0	6	12	18	6	0,016	0,1181	37,68	5,104826418
1	7	13	19	6	0,015	0,1181	37,68	4,785774767
2	8	14	20	6	0,014	0,1174	37,68	4,493356048
3	9	15	21	6	0,014	0,1177	37,68	4,481903144
4	10	16	22	6	0,013	0,1173	37,68	4,175959079
5	11	17	23	6	0,013	0,1172	37,68	4,179522184
6	12	18	24	6	0,013	0,1182	37,68	4,144162437
7	13	19	25	6	0,013	0,1178	37,68	4,158234295
0	7	14	21	7	0,01	0,1181	43,96	3,722269263
1	8	15	22	7	0,009	0,1183	43,96	3,344378698
2	9	16	23	7	0,009	0,1186	43,96	3,335919056
3	10	17	24	7	0,009	0,1178	43,96	3,358573854
4	11	18	25	7	0,01	0,1183	43,96	3,715976331
0	8	16	24	8	0,008	0,1185	50,24	3,391729958
1	9	17	25	8	0,007	0,1182	50,24	2,975296108

**TABEL PENELITIAN KEBOCORAN PIPA PDAM TIRTA MOEDAL**

**Titik Sounding IV**

Hari/tanggal : Jumat, 27 Mei 2011

Lokasi : ketileng raya, Semarang

Koordinat : S 07<sup>0</sup>143,7ö E 110<sup>0</sup> 28ø01,0ö

A	M	N	B	Spasi	V (V)	I (A)	K	Rho
0	1	2	3	1	0,2862	0,1172	6,28	15,3356314
1	2	3	4	1	0,2264	0,1169	6,28	12,16246364
2	3	4	5	1	0,2383	0,1176	6,28	12,72554422
3	4	5	6	1	0,2091	0,1174	6,28	11,18524702
4	5	6	7	1	0,2135	0,1174	6,28	11,42061329
5	6	7	8	1	0,2007	0,1178	6,28	10,69945671
6	7	8	9	1	0,2073	0,1177	6,28	11,06069669
7	8	9	10	1	0,2003	0,1178	6,28	10,67813243
8	9	10	11	1	0,2044	0,1177	6,28	10,90596432
9	10	11	12	1	0,204	0,1178	6,28	10,875382
10	11	12	13	1	0,192	0,1177	6,28	10,24435004
11	12	13	14	1	0,2072	0,1171	6,28	11,11200683
12	13	14	15	1	0,2197	0,1179	6,28	11,70242578
13	14	15	16	1	0,214	0,1177	6,28	11,41818182
14	15	16	17	1	0,2346	0,1176	6,28	12,52795918
15	16	17	18	1	0,1999	0,1178	6,28	10,65680815
16	17	18	19	1	0,208	0,1176	6,28	11,10748299
17	18	19	20	1	0,1887	0,1172	6,28	10,11122867
18	19	20	21	1	0,1921	0,1179	6,28	10,23229856
19	20	21	22	1	0,1907	0,1167	6,28	10,26217652
20	21	22	23	1	0,2101	0,1167	6,28	11,30615253
21	22	23	24	1	0,2219	0,1178	6,28	11,82964346
22	23	24	25	1	0,2246	0,1169	6,28	12,06576561
0	2	4	6	2	0,1146	0,1181	12,56	12,18777307
1	3	5	7	2	0,1178	0,1187	12,56	12,46476832
2	4	6	8	2	0,1133	0,118	12,56	12,05972881
3	5	7	9	2	0,1054	0,1177	12,56	11,24744265
4	6	8	10	2	0,1008	0,1175	12,56	10,7748766
5	7	9	11	2	0,1004	0,118	12,56	10,68664407

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

6	8	10	12	2	0,1028	0,1181	12,56	10,93283658
7	9	11	13	2	0,1059	0,118	12,56	11,2720678
8	10	12	14	2	0,0955	0,118	12,56	10,16508475
9	11	13	15	2	0,1024	0,118	12,56	10,89952542
10	12	14	16	2	0,1077	0,118	12,56	11,46366102
11	13	15	17	2	0,1118	0,1178	12,56	11,92027165
12	14	16	18	2	0,108	0,118	12,56	11,49559322
13	15	17	19	2	0,1023	0,1175	12,56	10,93521702
14	16	18	20	2	0,1068	0,1178	12,56	11,38716469
15	17	19	21	2	0,108	0,118	12,56	11,49559322
16	18	20	22	2	0,1091	0,1175	12,56	11,66209362
17	19	21	23	2	0,1034	0,117	12,56	11,10003419
18	20	22	24	2	0,1016	0,1177	12,56	10,84193713
19	21	23	25	2	0,1093	0,1168	12,56	11,75349315
0	3	6	9	3	0,0715	0,1185	18,84	11,36759494
1	4	7	10	3	0,0715	0,1182	18,84	11,3964467
2	5	8	11	3	0,0715	0,1184	18,84	11,37719595
3	6	9	12	3	0,0695	0,1184	18,84	11,0589527
4	7	10	13	3	0,0645	0,1179	18,84	10,30687023
5	8	11	14	3	0,0665	0,1183	18,84	10,59053254
6	9	12	15	3	0,0675	0,1184	18,84	10,74070946
7	10	13	16	3	0,0635	0,1166	18,84	10,26020583
8	11	14	17	3	0,0635	0,118	18,84	10,13847458
9	12	15	18	3	0,0665	0,1185	18,84	10,57265823
10	13	16	19	3	0,0705	0,1185	18,84	11,20860759
11	14	17	20	3	0,0705	0,119	18,84	11,16151261
12	15	18	21	3	0,0715	0,1187	18,84	11,34844145
13	16	19	22	3	0,0675	0,1184	18,84	10,74070946
14	17	20	23	3	0,0645	0,1178	18,84	10,31561969
15	18	21	24	3	0,0695	0,1189	18,84	11,01244743
16	19	22	25	3	0,0685	0,1176	18,84	10,97397959
0	4	8	12	4	0,0513	0,1183	25,12	10,89311919
1	5	9	13	4	0,0511	0,1181	25,12	10,86902625
2	6	10	14	4	0,0547	0,1183	25,12	11,6150803
3	7	11	15	4	0,0486	0,118	25,12	10,3460339
4	8	12	16	4	0,0552	0,1182	25,12	11,73116751
5	9	13	17	4	0,0574	0,1182	25,12	12,19871404
6	10	14	18	4	0,0531	0,1181	25,12	11,29442845
7	11	15	19	4	0,0552	0,1178	25,12	11,7710017

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

8	12	16	20	4	0,0556	0,1179	25,12	11,84624258
9	13	17	21	4	0,0525	0,1182	25,12	11,15736041
10	14	18	22	4	0,0556	0,1177	25,12	11,86637213
11	15	19	23	4	0,0522	0,1174	25,12	11,16919932
12	16	20	24	4	0,0529	0,118	25,12	11,26142373
13	17	21	25	4	0,0513	0,1177	25,12	10,94864911
0	5	10	15	5	0,0404	0,1183	31,4	10,72324598
1	6	11	16	5	0,0426	0,1182	31,4	11,31675127
2	7	12	17	5	0,0431	0,118	31,4	11,46898305
3	8	13	18	5	0,0457	0,1179	31,4	12,171162
4	9	14	19	5	0,0466	0,1179	31,4	12,41085666
5	10	15	20	5	0,0454	0,118	31,4	12,08101695
6	11	16	21	5	0,0477	0,1184	31,4	12,65016892
7	12	17	22	5	0,0466	0,1178	31,4	12,42139219
8	13	18	23	5	0,044	0,1178	31,4	11,72835314
9	14	19	24	5	0,0413	0,1181	31,4	10,98069433
10	15	20	25	5	0,0458	0,1179	31,4	12,19779474
0	6	12	18	6	0,031	0,1179	37,68	9,907379135
1	7	13	19	6	0,026	0,118	37,68	8,302372881
2	8	14	20	6	0,028	0,1184	37,68	8,910810811
3	9	15	21	6	0,029	0,1182	37,68	9,244670051
4	10	16	22	6	0,03	0,118	37,68	9,579661017
5	11	17	23	6	0,029	0,1179	37,68	9,268193384
6	12	18	24	6	0,029	0,118	37,68	9,260338983
7	13	19	25	6	0,028	0,1184	37,68	8,910810811
0	7	14	21	7	0,017	0,1182	43,96	6,32250423
1	8	15	22	7	0,013	0,1177	43,96	4,855395072
2	9	16	23	7	0,015	0,1174	43,96	5,61669506
3	10	17	24	7	0,017	0,118	43,96	6,333220339
4	11	18	25	7	0,013	0,1177	43,96	4,855395072
0	8	16	24	8	0,009	0,1187	50,24	4,033541481
1	9	17	25	8	0,007	0,1188	50,24	1,836928702

**TABEL PENELITIAN KEBOCORAN PIPA PDAM TIRTA MOEDAL**

Hari/tanggal : Kamis, 8 Juli 2011

Lokasi : Jalan Ketileng raya, Semarang

Koordinat : S 07<sup>0</sup>143,7ö E 110<sup>0</sup> 28ø01,0ö

A	M	N	B	Spasi	V (V)	I (A)	K	Rho
0	1	2	3	1	0,2003	0,1179	6,28	10,66907549
1	2	3	4	1	0,2073	0,1179	6,28	11,04193384
2	3	4	5	1	0,2211	0,1179	6,28	11,77699746
3	4	5	6	1	0,2273	0,1179	6,28	12,10724343
4	5	6	7	1	0,225	0,1175	6,28	12,02553191
5	6	7	8	1	0,2421	0,1177	6,28	12,91748513
6	7	8	9	1	0,1991	0,1179	6,28	10,60515691
7	8	9	10	1	0,2403	0,1174	6,28	12,85420784
8	9	10	11	1	0,2337	0,1177	6,28	12,46929482
9	10	11	12	1	0,2413	0,1178	6,28	12,86387097
10	11	12	13	1	0,2438	0,1174	6,28	13,04143101
11	12	13	14	1	0,2669	0,1178	6,28	14,22862479
12	13	14	15	1	0,2474	0,1177	6,28	13,20027188
13	14	15	16	1	0,2634	0,1167	6,28	14,17439589
14	15	16	17	1	0,2543	0,1178	6,28	13,55691002
15	16	17	18	1	0,3152	0,1178	6,28	16,80353141
16	17	18	19	1	0,2666	0,117	6,28	14,30981197
17	18	19	20	1	0,3287	0,118	6,28	17,49352542
18	19	20	21	1	0,377	0,1179	6,28	20,08108567
19	20	21	22	1	0,369	0,118	6,28	19,63830508
20	21	22	23	1	0,461	0,1177	6,28	24,5971113
21	22	23	24	1	0,3077	0,1178	6,28	16,40370119
22	23	24	25	1	0,3331	0,1188	6,28	17,6083165
0	2	4	6	2	0,12	0,12	12,56	12,56
1	3	5	7	2	0,118	0,1196	12,56	12,39197324
2	4	6	8	2	0,116	0,1193	12,56	12,21257334
3	5	7	9	2	0,121	0,1196	12,56	12,70702341
4	6	8	10	2	0,121	0,1195	12,56	12,7176569
5	7	9	11	2	0,125	0,1196	12,56	13,1270903
6	8	10	12	2	0,12	0,1195	12,56	12,6125523

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

7	9	11	13	2	0,118	0,1184	12,56	12,51756757
8	10	12	14	2	0,12	0,1188	12,56	12,68686869
9	11	13	15	2	0,126	0,1192	12,56	13,27651007
10	12	14	16	2	0,115	0,1185	12,56	12,18902954
11	13	15	17	2	0,107	0,1194	12,56	11,25561139
12	14	16	18	2	0,127	0,1192	12,56	13,38187919
13	15	17	19	2	0,151	0,1185	12,56	16,00472574
14	16	18	20	2	0,123	0,1188	12,56	13,0040404
15	17	19	21	2	0,118	0,1186	12,56	12,49645868
16	18	20	22	2	0,119	0,1177	12,56	12,69872557
17	19	21	23	2	0,118	0,1182	12,56	12,53874788
18	20	22	24	2	0,117	0,1188	12,56	12,36969697
19	21	23	25	2	0,118	0,1187	12,56	12,48593092
0	3	6	9	3	0,059	0,12	18,84	9,263
1	4	7	10	3	0,059	0,1197	18,84	9,286215539
2	5	8	11	3	0,059	0,1199	18,84	9,270725605
3	6	9	12	3	0,057	0,1199	18,84	8,95646372
4	7	10	13	3	0,052	0,1194	18,84	8,205025126
5	8	11	14	3	0,054	0,1198	18,84	8,492153589
6	9	12	15	3	0,055	0,1199	18,84	8,642201835
7	10	13	16	3	0,051	0,1181	18,84	8,135817104
8	11	14	17	3	0,051	0,1195	18,84	8,040502092
9	12	15	18	3	0,054	0,12	18,84	8,478
10	13	16	19	3	0,058	0,12	18,84	9,106
11	14	17	20	3	0,058	0,1205	18,84	9,068215768
12	15	18	21	3	0,059	0,1202	18,84	9,247587354
13	16	19	22	3	0,055	0,1199	18,84	8,642201835
14	17	20	23	3	0,052	0,1193	18,84	8,211902766
15	18	21	24	3	0,057	0,1204	18,84	8,919269103
16	19	22	25	3	0,056	0,1191	18,84	8,858438287
0	4	8	12	4	0,023	0,1161	25,12	4,976399655
1	5	9	13	4	0,019	0,107	25,12	4,460560748
2	6	10	14	4	0,021	0,1163	25,12	4,535855546
3	7	11	15	4	0,02	0,1184	25,12	4,243243243
4	8	12	16	4	0,019	0,1185	25,12	4,027679325
5	9	13	17	4	0,019	0,119	25,12	4,010756303
6	10	14	18	4	0,022	0,1192	25,12	4,636241611
7	11	15	19	4	0,023	0,1179	25,12	4,900424088
8	12	16	20	4	0,023	0,1183	25,12	4,883854607

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

9	13	17	21	4	0,021	0,1181	25,12	4,466723116
10	14	18	22	4	0,019	0,1162	25,12	4,107401033
11	15	19	23	4	0,015	0,0904	25,12	4,168141593
12	16	20	24	4	0,017	0,1051	25,12	4,063177926
13	17	21	25	4	0,012	0,072	25,12	4,186666667
0	5	10	15	5	0,014	0,1172	31,4	3,750853242
1	6	11	16	5	0,012	0,099	31,4	3,806060606
2	7	12	17	5	0,013	0,1165	31,4	3,503862661
3	8	13	18	5	0,013	0,1191	31,4	3,427371956
4	9	14	19	5	0,013	0,1172	31,4	3,482935154
5	10	15	20	5	0,014	0,1183	31,4	3,715976331
6	11	16	21	5	0,014	0,1179	31,4	3,728583545
7	12	17	22	5	0,013	0,1165	31,4	3,503862661
8	13	18	23	5	0,013	0,1087	31,4	3,755289788
9	14	19	24	5	0,013	0,1158	31,4	3,525043178
10	15	20	25	5	0,01	0,0928	31,4	3,38362069
0	6	12	18	6	0,01	0,1182	37,68	3,187817259
1	7	13	19	6	0,005	0,0598	37,68	3,150501672
2	8	14	20	6	0,007	0,0878	37,68	3,004100228
3	9	15	21	6	0,008	0,1006	37,68	2,996421471
4	10	16	22	6	0,009	0,1163	37,68	2,915907137
5	11	17	23	6	0,008	0,105	37,68	2,870857143
6	12	18	24	6	0,008	0,1156	37,68	2,607612457
7	13	19	25	6	0,007	0,0963	37,68	2,73894081
0	7	14	21	7	0,007	0,1167	43,96	2,636846615
1	8	15	22	7	0,003	0,0559	43,96	2,35921288
2	9	16	23	7	0,005	0,0763	43,96	2,880733945
3	10	17	24	7	0,007	0,1175	43,96	2,618893617
4	11	18	25	7	0,003	0,053	43,96	2,488301887
0	8	16	24	8	0,0048	0,1121	50,24	2,151222123
1	9	17	25	8	0,002	0,0547	50,24	1,836928702

## Lampiran 2

### Foto Penelitian



Gambar 1. G-sound



Gambar 2. Pemindahan Elektoda





Gambar 3. Pemasangan kabel



Gambar 4. Pengecekan Elektroda

### Lampiran 3

## Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah Propinsi Jawa Tengah

