

Milik UPT Perpustakaan
UNIVERSITAS JEMBER

**PENGARUH KONTRAS RESISTIVITAS PADA CITRA SEBARAN
KUAT MEDAN LISTRIK BAWAH PERMUKAAN TANAH
DENGAN SISTEM TOMOGRAFI LISTRIK**

SKRIPSI

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Meraib
Gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember**



Oleh :

Herni Kurniawati
NIM. 991810201072

Hadiah
Pembelian
Terima : Tgl. 4 AUG 2003

Klass

616.075
KUR
P

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2003**

MOTFO

“The Success is not the position where you stand,
but the direction in which you look”

(Anonim)

“Orang berilmu lebih utama daripada orang yang selalu berpuasa, bersholat dan berjihad. Apabila mati orang yang berilmu, maka terdapatlah suatu kekosongan dalam islam yang tidak dapat ditutup selain oleh penggantinya (orang yang berilmu juga)”

(Ali Bin Abi Thalib)

PERSEMBAHAN

Karya kecil ini kupersembahkan untuk

Ayahku, ***Drs. Burhanuddin*** dan ibuku, ***Sri Miharti*** atas untaian doa,
kasih sayang, bimbingan dan segalanya.....
yang selalu menuntunku kemanapun kumelangkah

Adikku, ***Ari Kurniawan*** atas dukungan yang selalu diberikan
dalam setiap langkah yang kupilih

Nenekku, ***Santi*** atas semua doa dan dukungan
yang tak pernah henti diberikannya untukku

Almamaterku Physics yang memberiku kebanggaan

DEKLARASI

Skripsi ini berisi hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium penelitian (fisika material, geofisika dan biofisika) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember, pada bulan Maret sampai dengan Juni 2003. Bersama ini saya menyatakan bahwa isi skripsi ini adalah hasil penelitian saya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya. Skripsi ini belum pernah diajukan pada institusi lain.

Jember, Juli 2003
Herni Kurniawati

ABSTRAK

Pengaruh Kontras Resistivitas Pada Citra Sebaran Kuat Medan Listrik Bawah Permukaan Tanah Dengan Sistem Tomografi Listrik, Herni Kurniawati, (991810201072, Skripsi, Juli 2003, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember).

Tomografi listrik merupakan suatu penggambaran penampang lintang suatu obyek di dalam suatu area tertutup dari data proyeksi yang memanfaatkan sifat-sifat dielektrik bahan obyek. Eksplorasi geofisika untuk menggambarkan sebaran kuat medan listrik merupakan salah satu aplikasi sistem tomografi listrik. Lapisan-lapisan yang terdapat di bawah permukaan tanah dapat diidentifikasi dengan sistem tomografi listrik berdasarkan sebaran kuat medan listriknya. Penelitian untuk mengetahui pengaruh kontras resistivitas pada citra sebaran kuat medan listrik di bawah permukaan tanah dengan sistem tomografi listrik telah dilakukan pada bak kardus dengan tiga variasi obyek yaitu obyek homogen isotropis (pasir), obyek homogen anisotropis dengan dua variasi yakni pasir-tanah liat dan pasir-tanah liat-pasir. Data yang diambil untuk mendiskripsikan sebaran kuat medan listrik yakni data beda potensial. Selanjutnya data beda potensial diolah menjadi data kuat medan listrik dan kemudian *diinterpolasi*. Data *interpolasi* dinormalisasi dan diinterpretasikan dalam bentuk kontur sebaran kuat medan listrik. Adanya perbedaan resistivitas berpengaruh pada citra sebaran kuat medan listrik yakni terjadi perbedaan kuat medan listrik yang sangat kontras pada perbatasan kedua lapisan yang berbeda resistivitasnya, sehingga bentuk geometri lapisan-lapisan penyusun tanah di bawah permukaan dapat diidentifikasi.

Kata Kunci : Citra Bawah Tanah, Kontras Resistivitas, Tomografi listrik.

HALAMAN PENGESAHAN

Karya tulis (skripsi) telah dipertahankan di depan tim penguji dan diterima oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada :

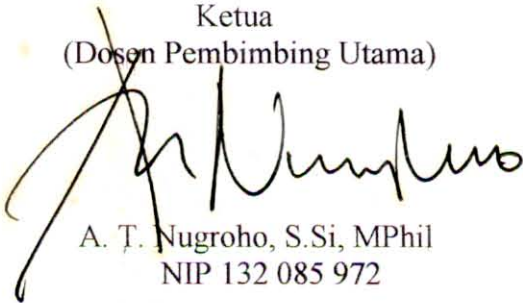
Hari : KAMIS

Tanggal : 14 AUG 2003

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

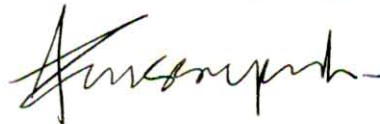
Tim Penguji,

Ketua
(Dosen Pembimbing Utama)



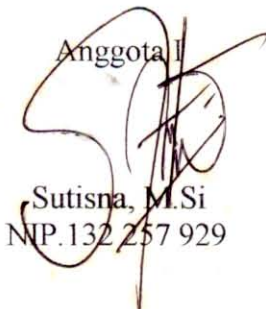
A. T. Nugroho, S.Si, MPhil
NIP 132 085 972

Sekretaris
(Dosen Pembimbing Anggota)



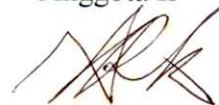
Agus Suprianto, S.Si, MT
NIP 132 162 507

Anggota I



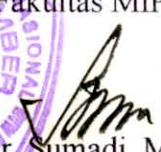
Sutisna, M.Si
NIP.132 257 929

Anggota II



Artoto Arkundato, M.Si
NIP. 132 236 059

Mengesahkan,
Dekan Fakultas MIPA UNEJ



Ir. Sumadi, MS
NIP. 130 368 784

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan keHadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penulisan karya tulis ilmiah ini.

Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Kontras Resistivitas Pada Citra Sebaran Kuat Medan Listrik Bawah Permukaan Tanah Dengan Sistem Tomografi Listrik” disusun untuk memenuhi syarat untuk menyelesaikan pendidikan Strata I. Dalam penyusunan karya tulis ilmiah ini tidak lepas dari dukungan dan bimbingan semua pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis tidaklah berlebihan jika menghaturkan ucapan terima kasih, terutama kepada :

1. Ir. Sumadi, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
2. Sujito, Phd selaku Kepala Jurusan Fisika Fakultas MIPA
3. A. T. Nugroho, S.Si, MPhil, selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU) atas kesabarannya membimbing dan mengarahkan hingga terselesainya karya tulis ini
4. Agus Suprianto, S.Si, MT, selaku Dosen Pembimbing Anggota (DPA) atas kesabaran dalam membimbing hingga terselesainya karya tulis ini
5. Sutisna, Spd, M.Si, Artoto Arkundato, M.Si dan dosen-dosen pengajar Jurusan Fisika yang telah memberikan bimbingannya hingga terselesaikannya karya tulis ini
6. Sahabat-sahabat terbaikku, Wiwit, Nery, Endhah, Mbak Wulan, Dyah, Rina dan Elok yang selalu bersamaku dan memberiku semangat dalam menyelesaikan karya tulis ini
7. Keluarga besar mastrip 1-57 Anna DePe, ‘Tante’ Anna , Tutik, Firdi, Lina, Rika, Rahma, Fitri, Irma, Ari, De Dwi, Anik atas semangat dan dukungan yang selalu dilimpahkannya
8. Sahabatku Chervia dan Mbak Iyoem atas doa dan motivasi yang selalu diberikan hingga terselesainya karya tulis ini
9. Teman-teman seperjuangan ’99 yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu

10. Kakak-kakaku, Lilik, Yulita dan Febi kebersamaan kita selama penelitian takkan pernah terlupakan
11. Mas Hadi, Mas Agus, Pak Budi dan Mas Edi atas bantuan yang diberikan selama pembuatan karya tulis ini

Semoga segala bantuan yang diberikan hingga terselesainya Tugas Akhir ini dapat dibalas oleh Allah SWT. Harapan penulis semoga karya tulis ini dapat memberikan manfaat yang lebih bagi pembaca dan ilmu pengetahuan.

Jember, Juli 2003

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN MOTTO	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
DEKLARASI	iv
ABSTRAK	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Resistansi Dan Resistivitas	6
2.2 Medan Listrik	7
2.3 Potensial Listrik Dan Beda Potensial	10
2.4 Pola Medan Listrik Di Bawah Permukaan Bumi	13
2.5 Rangkaian Sensor Elektroda	15
2.6 Interpolasi	15
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1 Waktu Dan Tempat Pelaksanaan	18
3.2 Pengukuran	18
3.2.1 Obyek Yang Diteliti	18
3.2.2 Rangkaian Tranduser	19
3.2.3 Konfigurasi <i>Borehole</i>	20

3.3 Pengolahan Data	21
3.4 Analisa Data	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Implementasi Penelitian	24
4.1.1 Obyek Yang Digunakan	24
4.1.2 Konfigurasi Rangkaian Tranduser Dan <i>Borehole</i>	26
4.1.3 Data Pengamatan	26
4.2 Kenampakan Pengaruh Kontras Resistivitas Pada Sebaran Kuat Medan Listrik Dengan Arah Tegak Lurus Permukaan.....	27
4.3 Pengaruh Kontras Resistivitas Pada Sebaran Kuat Medan Listrik Dengan Arah Tegak Lurus Permukaan.....	31
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	34
5.1 Kesimpulan.....	34
5.2 Saran	34
DAFTAR PUSTAKA.....	35
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Representasi garis-garis gaya listrik.....	8
Gambar 2	Permukaan ekipotensial dan medan listrik dari dua muatan	11
Gambar 3	Representasi pergeseran sebuah muatan dari suatu permukaan ke permukaan ekipotensial yang lain.....	12
Gambar 4	Medan listrik dan bidang ekipotensial di bawah permukaan bumi.....	14
Gambar 5	Skematik rangkaian sensor elektroda.....	15
Gambar 6	Representasi skematis dari rangkaian transduser.....	20
Gambar 7	Pengambilan data pada elektroda <i>borehole</i>	21
Gambar 8	Rangkaian transduser dan distribusi kontras resistivitas obyek yang tersusun atas pasir	24
Gambar 9	Rangkaian transduser dan distribusi kontras resistivitas obyek yang tersusun atas pasir-tanah liat	25
Gambar 10	Rangkaian transduser dan distribusi kontras resistivitas obyek yang tersusun atas pasir-tanah liat-pasir	25
Gambar 11	Gelombang data <i>noise</i>	26
Gambar 12	Gelombang superposisi antara <i>noise</i> dan arus yang diinjeksikan	27
Gambar 13	Sebaran medan listrik obyek pasir (a) <i>noise</i> (b) data yang sebenarnya (c) <i>noise</i> + data yang sebenarnya	28
Gambar 14	Sebaran medan listrik obyek pasir-tanah liat.....	29
Gambar 15	Sebaran medan listrik obyek pasir-tanah liat-pasir	30

DAFTAR LAMPIRAN

No. Lamp	Judul Lampiran	Hal
1	Tabel data pengamatan obyek pasir	36
2	Tabel data pengamatan obyek pasir-tanah liat	41
3	Tabel data pengamatan obyek pasir-tanah liat-pasir	46
4	Listing program pengolahan data	51
5	Daftar istilah	53

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan keHadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penulisan karya tulis ilmiah ini.

Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Kontras Resistivitas Pada Citra Sebaran Kuat Medan Listrik Bawah Permukaan Tanah Dengan Sistem Tomografi Listrik” disusun untuk memenuhi syarat untuk menyelesaikan pendidikan Strata I. Dalam penyusunan karya tulis ilmiah ini tidak lepas dari dukungan dan bimbingan semua pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis tidaklah berlebihan jika menghaturkan ucapan terima kasih, terutama kepada :

1. Ir. Sumadi, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
2. Sujito, Phd selaku Kepala Jurusan Fisika Fakultas MIPA
3. A. T. Nugroho, S.Si, MPhil, selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU) atas kesabarannya membimbing dan mengarahkan hingga terselesainya karya tulis ini
4. Agus Suprianto, S.Si, MT, selaku Dosen Pembimbing Anggota (DPA) atas kesabaran dalam membimbing hingga terselesainya karya tulis ini
5. Sutisna, Spd, M.Si, Artoto Arkundato, M.Si dan dosen-dosen pengajar Jurusan Fisika yang telah memberikan bimbingannya hingga terselesaikannya karya tulis ini
6. Sahabat-sahabat terbaikku, Wiwit, Nery, Endhah, Mbak Wulan, Dyah, Rina dan Elok yang selalu bersamaku dan memberiku semangat dalam menyelesaikan karya tulis ini
7. Keluarga besar mastrip 1-57 Anna DePe, ‘Tante’ Anna , Tutik, Firdi, Lina, Rika, Rahma, Fitri, Irma, Ari, De Dwi, Anik atas semangat dan dukungan yang selalu dilimpahkannya
8. Sahabatku Chervia dan Mbak Iyoem atas doa dan motivasi yang selalu diberikan hingga terselesainya karya tulis ini
9. Teman-teman seperjuangan ’99 yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu

10. Kakak-kakaku, Lilik, Yulita dan Febi kebersamaan kita selama penelitian takkan pernah terlupakan
11. Mas Hadi, Mas Agus, Pak Budi dan Mas Edi atas bantuan yang diberikan selama pembuatan karya tulis ini

Semoga segala bantuan yang diberikan hingga terselesainya Tugas Akhir ini dapat dibalas oleh Allah SWT. Harapan penulis semoga karya tulis ini dapat memberikan manfaat yang lebih bagi pembaca dan ilmu pengetahuan.

Jember, Juli 2003

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN MOTTO	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
DEKLARASI	iv
ABSTRAK	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Resistansi Dan Resistivitas	6
2.2 Medan Listrik	7
2.3 Potensial Listrik Dan Beda Potensial	10
2.4 Pola Medan Listrik Di Bawah Permukaan Bumi	13
2.5 Rangkaian Sensor Elektroda	15
2.6 Interpolasi	15
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1 Waktu Dan Tempat Pelaksanaan	18
3.2 Pengukuran	18
3.2.1 Obyek Yang Diteliti	18
3.2.2 Rangkaian Tranduser	19
3.2.3 Konfigurasi <i>Borehole</i>	20

3.3 Pengolahan Data.....	21
3.4 Analisa Data	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Implementasi Penelitian	24
4.1.1 Obyek Yang Digunakan	24
4.1.2 Konfigurasi Rangkaian Transduser Dan <i>Borehole</i>	26
4.1.3 Data Pengamatan.....	26
4.2 Kenampakan Pengaruh Kontras Resistivitas Pada Sebaran Kuat Medan Listrik Dengan Arah Tegak Lurus Permukaan.....	27
4.3 Pengaruh Kontras Resistivitas Pada Sebaran Kuat Medan Listrik Dengan Arah Tegak Lurus Permukaan.....	31
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	34
5.1 Kesimpulan.....	34
5.2 Saran.....	34
DAFTAR PUSTAKA.....	35
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	36

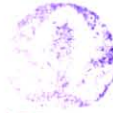
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Representasi garis-garis gaya listrik.....	8
Gambar 2	Permukaan ekipotensial dan medan listrik dari dua muatan	11
Gambar 3	Representasi pergeseran sebuah muatan dari suatu permukaan ke permukaan ekipotensial yang lain.....	12
Gambar 4	Medan listrik dan bidang ekipotensial di bawah permukaan bumi.....	14
Gambar 5	Skematik rangkaian sensor elektroda.....	15
Gambar 6	Representasi skematis dari rangkaian transduser.....	20
Gambar 7	Pengambilan data pada elektroda <i>borehole</i>	21
Gambar 8	Rangkaian transduser dan distribusi kontras resistivitas obyek yang tersusun atas pasir	24
Gambar 9	Rangkaian transduser dan distribusi kontras resistivitas obyek yang tersusun atas pasir-tanah liat.....	25
Gambar 10	Rangkaian transduser dan distribusi kontras resistivitas obyek yang tersusun atas pasir-tanah liat-pasir.....	25
Gambar 11	Gelombang data <i>noise</i>	26
Gambar 12	Gelombang superposisi antara <i>noise</i> dan arus yang diinjeksikan	27
Gambar 13	Sebaran medan listrik obyek pasir (a) <i>noise</i> (b) data yang sebenarnya (c) <i>noise</i> + data yang sebenarnya	28
Gambar 14	Sebaran medan listrik obyek pasir-tanah liat.....	29
Gambar 15	Sebaran medan listrik obyek pasir-tanah liat-pasir	30

DAFTAR LAMPIRAN

No. Lamp	Judul Lampiran	Hal
1	Tabel data pengamatan obyek pasir	36
2	Tabel data pengamatan obyek pasir-tanah liat	41
3	Tabel data pengamatan obyek pasir-tanah liat-pasir	46
4	Listing program pengolahan data	51
5	Daftar istilah	53

BAB I PENDAHULUAN



MAK UPT Perpustakaan
UNIVERSITAS JEMBER

1.1 Latar Belakang

Area tertutup di bawah suatu lapisan tertentu terkadang menyimpan berbagai informasi. Cara sederhana yang dulu kerap digunakan yakni dengan membelah lapisan terluar untuk menganalisa suatu area tertutup. Dalam kenyataannya, tidak semua lapisan tersebut dapat kita rusak, sebagai misal pada daerah vulkanis. Untuk itu diperlukan suatu solusi yang tepat, yakni dengan menggunakan sistem tomografi. Penampang lintang suatu obyek di dalam suatu area tertutup dari data proyeksi dapat digambarkan dengan menggunakan sistem tomografi.

Pada awalnya tomografi dikembangkan untuk dunia medis dan industri dengan menggunakan sinar X. Namun efek dari sinar X ini sangat membahayakan manusia, yakni penumpukan dosis pada manusia yang bergelut dengan sinar X. Untuk mengatasinya para ilmuwan telah menemukan cara yang lebih aman yakni dengan menggunakan sistem *Magnetic Resonance Imaging (MRI)*. Akan tetapi karena sistem MRI membutuhkan biaya yang relatif mahal maka solusi pilihan untuk menggantikan kedua sistem tersebut menggunakan sistem *Electrical Tomography (ET)*. Selain aman digunakan, biaya untuk sistem tomografi listrik relatif murah.

Tomografi listrik ini merupakan suatu proses pencitraan suatu obyek dengan memanfaatkan sifat-sifat dielektrik dari obyek. Terdapat berbagai macam *Electrical Tomography* yang telah dikembangkan saat ini, yakni tomografi impedansi listrik, tomografi kapasitansi listrik, tomografi induktansi listrik dan tomografi resistansi listrik. Dari keempat sistem tomografi tersebut, sistem tomografi resistansi listrik yang dikenal dengan *Elektrical Resistance Tomography (ERT)* merupakan sistem yang membutuhkan biaya relatif murah dan rangkaian yang digunakan juga lebih sederhana.

ERT telah banyak digunakan dalam bidang perindustrian. Salah satu contohnya untuk mengkararakteristik dan mengukur proses pengadukan gas-liquid (Wang et all, 1999). Penelitian ini menggunakan 8 x 16 susunan sensor resistansi

tomografi. Hasil ERT kemudian diproses sehingga dapat memberikan kurva pengadukan. Pengadukan gas-liquid dilakukan dalam pengaduk *vessel* dengan diameter 1,5 m yang dilengkapi dengan 8 bidang lingkaran 16 elektroda. Pada sepertiga bagian diameter pengaduk *vessel* terdapat turbin pengaduk. Dengan proses pengadukan perbedaan kelakuan cairan yang diaduk dapat diamati. Adapun cairan tersebut adalah antara cairan berviskositas rendah yakni air dan cairan berviskositas relatif yakni 0,25% *carbopol*. Kecepatan dan pola fase pengadukan cairan dapat dipisahkan dari pengadukan gas-liquid oleh perekonstruksian perubahan resistivitas sebagai pulsa pelacak berkonduktivitas tinggi yang melalui cairan. Hal ini dapat dilakukan bila tidak ada kenaikan pengaruh jarak variabel gas di masing-masing bidang untuk memberikan pengaturan dasar.

Metode resistivitas listrik telah dikembangkan sejak tahun 1900 dan lebih meluas tahun 1970 dengan adanya komputer untuk memproses dan mengolah data. Metode resistivitas listrik dalam bidang geofisika digunakan untuk mengeksplorasi bawah tanah, misalnya memonitor sumber air bawah tanah, patahan dan keretakan tanah dll. Metode eksplorasi geofisika yang digunakan adalah dengan memanfaatkan resistivitas media dalam mempelajari keadaan di bawah permukaan bumi. Eksplorasi bawah tanah dengan menggunakan sistem tomografi dapat menggambarkan penampang suatu obyek di bawah permukaan bumi yang merupakan area tertutup dari data proyeksi obyek dan penganalisaan proyeksi dapat lebih mudah dilakukan.

Berdasarkan hal diatas maka sistem tomografi resistansi listrik merupakan solusi yang tepat untuk mengetahui proyeksi di bawah permukaan bumi. Eksplorasi bawah tanah yang menggunakan sistem ERT yaitu penelitian untuk mempelajari aliran yang melalui media penyerap yang mengikuti perubahan distribusi resistivitas dalam tanah (Binley et all, 1995). Sistem ERT yang dilakukan menggunakan obyek tabung berdiameter 35 cm dan 44 cm dengan bagian luar dilapisi *fibre glass*. Di dalam tabung terdapat tanah dan bagian dasarnya diberi suatu plat untuk pemberian bahan penyekat yang berupa KCl dan *methylene blue*. Tabung dibagi menjadi 4 bidang dengan jarak 9, 18, 27, 34 cm dari dasar tabung dengan masing-masing tabung memerlukan 16 elektroda. Hasil

rekonstruksi gambar menunjukkan perubahan rasio resistivitas listrik terhadap resistivitas sebelum pelacak diinjeksikan dan menunjukkan pemberian pelacak di seluruh tabung yang selanjutnya surut mengikuti penghentian pelacak yang berkonsentrasi tinggi.

Tomografi resistansi listrik selain untuk mempelajari aliran yang melalui media penyerap yang mengikuti perubahan distribusi resistivitas dalam tanah juga dapat digunakan untuk memonitor proses perbaikan lingkungan di dalam tanah (LaBrecque et al., 1995). Metode yang dilakukan menggunakan *borehole* dengan jarak antara 0,5-60 m dan di dalam masing-masing *borehole* terdapat 10-20 elektroda. Hasil penggambaran menunjukkan adanya perubahan tingkat kejenuhan udara pada beberapa bagian tanah terhadap waktu.

Geolistrik dikarakteristikan oleh dua parameter dasar yaitu resistivitas dan ketebalan obyek (Reynold, 1997). Namun metode ERT yang digunakan pada penelitian sebelumnya, proyeksi yang dihasilkan tidak mempertimbangkan adanya pengaruh kontras resistivitas yang mungkin terdapat dalam obyek yang digunakan karena kontras resistivitas dapat mempengaruhi hasil pencitraan. Oleh karena itu dalam penelitian ini tomografi resistansi listrik akan diaplikasikan dalam sebuah media tanah dengan perbedaan resistivitas yang kontras. Melalui proses tomografi yang akan dilakukan, diharapkan mampu menghasilkan informasi berupa proyeksi citra bawah tanah akibat kontras resistivitas di bawah permukaan bumi.

Pada sistem ERT hasil yang didapat hanya berupa resistivitas dari obyek dan sulit untuk mengetahui sebarannya. Berdasarkan hal di atas maka dibuatlah sebuah terobosan baru yang dapat membantu untuk mengetahui sebaran resistivitas obyek yakni dengan mencari sebaran kuat medan listrik di dalam obyek. Penelitian ini mencoba untuk menginterpretasikan sebaran kuat medan listrik pada lapisan yang berada di bawah permukaan tanah.

Pada dasarnya sistem ERT memiliki kesamaan dengan penelitian ini yakni dilakukannya pengukuran arus dan beda potensial. Namun, dalam penelitian ini tidak menentukan resistansinya melainkan sebaran kuat medan listrik sehingga lebih tepat jika disebut dengan sistem tomografi listrik. Untuk mengetahui

besarnya kuat medan listrik diperlukan adanya data beda potensial di semua titik, karena medan listrik tegak lurus dengan permukaan ekipotensial.

Permukaan ekipotensial dalam suatu dipol mempunyai bentuk kulit bola dalam tiga dimensinya. Menggambarkan hal tersebut sangat sulit sehingga untuk memudahkan penggambarannya maka permukaan ekipotensial yang ditinjau hanya dengan arah tunggal. Dengan demikian kuat medan listrik yang ditinjau hanya satu arah juga.

Dalam penelitian ini arus akan diinjeksikan pada permukaan tanah dengan dua sumber arus berpasangan. Elektroda-elektroda dipasang pada *borehole* dengan jarak yang telah ditentukan yang diletakkan secara vertikal di dalam tanah. *Borehole* dengan elektroda tersebut digunakan sebagai sensor tomografi listrik untuk mendapatkan data beda potensial di sepanjang *borehole*. Data beda potensial yang didapat digunakan untuk mengetahui kuat medan listrik yang searah dengan *borehole*. Dengan diketahuinya kuat medan listrik maka dapat diinterpretasikan sebaran kuat medan listrik dalam bentuk citra berupa kontur medan listrik. Pengaruh kontras resistivitas pada citra sebaran kuat medan listrik bawah permukaan tanah diharapkan mampu untuk menganalisa keadaan di bawah permukaan tanah berdasarkan pada kenampakan citra.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan menjadi bahasan dalam penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana mengukur beda potensial dalam satu arah di bawah permukaan tanah?
- b. Bagaimana mendapatkan kuat medan listrik dari data beda potensial dalam satu arah, di bawah permukaan tanah?
- c. Bagaimana menggambarkan sebaran kuat medan listrik dalam satu arah, di bawah permukaan tanah dengan menggunakan sistem tomografi listrik?
- d. Apa pengaruh kontras resistivitas pada citra sebaran kuat medan listrik dalam satu arah, di bawah permukaan tanah di dalam media homogen isotropis dan media homogen anisotropis dengan sistem tomografi listrik?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya meninjau bagian bawah tanah untuk satu arah saja yakni arah tegak lurus permukaan (sumbu z). Bawah tanah dalam penelitian ini adalah lapisan model yang digunakan yakni pasir kering dan tanah liat. Sedangkan yang dimaksud dengan kontras resistivitas yakni perbedaan medium (obyek) yang sangat besar berdasarkan pada kekontrasan resistivitas yang dimiliki kedua medium tersebut.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengukur beda potensial dalam satu arah di bawah permukaan tanah,
- b. Mendapatkan kuat medan listrik dari data beda potensial dalam satu arah, di bawah permukaan tanah,
- c. Menggambarkan sebaran kuat medan listrik dalam satu arah, di bawah permukaan tanah dengan menggunakan sistem tomografi listrik,
- d. Mengetahui pengaruh kontras resistivitas pada citra sebaran kuat medan listrik dalam satu arah, di bawah permukaan tanah, di dalam medium homogen isotropis dan medium homogen anisotropis dengan sistem tomografi listrik.

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu:

- a. Dapat mengukur beda potensial dalam satu arah di bawah permukaan tanah,
- b. Dapat mengetahui kuat medan listrik dari data beda potensial dalam satu arah, di bawah permukaan tanah,
- c. Dapat menggambarkan sebaran kuat medan listrik dalam satu arah, di bawah permukaan tanah, dengan menggunakan sistem tomografi listrik
- d. Dapat mengetahui pengaruh kontras resistivitas pada citra sebaran kuat medan listrik dalam satu arah, di bawah permukaan tanah, di dalam medium homogen isotropis dan medium homogen anisotropis dengan sistem tomografi listrik

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Resistansi dan Resistivitas

Resistansi dan resistivitas merupakan suatu ukuran yang saling berhubungan satu sama lain. Resistansi merupakan ukuran perlawanan suatu komponen terhadap aliran muatan listrik sedangkan ukuran kemampuan bahan untuk melawan aliran arus listrik adalah resistivitas.

Hukum Ohm menyatakan bahwa perbandingan antara beda potensial ΔV antara dua titik konduktor dengan arus listrik yang melalui konduktor tersebut adalah konstan dan disebut sebagai resistansi. Resistansi dapat dituliskan sebagai

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

Persamaan (1) hanya untuk bahan konduktor saja. Bahan selain konduktor kelinieran hubungan antara ΔV dan I nya menurun, sehingga Hukum Ohm tidak berlaku.

Resistivitas yang dimiliki oleh suatu bahan berbeda-beda bergantung pada luas penampang dan panjang bahan serta seberapa besar kekuatan bahan tersebut dapat melawan aliran muatan listrik, maka resistivitasnya menjadi

$$\rho = R \frac{A}{l} \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan (2) di atas, maka jelaslah bahwa resistansi dan resistivitas saling berhubungan satu sama lain. Dengan mensubstitusikan persamaan (1) ke dalam persamaan (2) maka resistivitasnya menjadi

$$\rho = \frac{V A}{l I} \quad (3)$$

Perbedaan potensial pada jarak l dapat menyebabkan suatu medan listrik. Sedangkan banyaknya arus tiap satuan luas penampang merupakan rapat arus

yang dimiliki suatu benda saat dialiri arus. Berdasarkan hal di atas maka persamaan (3) dapat dituliskan sebagai

$$\vec{J} = \frac{I}{\rho} \vec{E}. \quad (4)$$

Kuantitas-kuantitas dalam persamaan (4) merupakan kuantitas mikroskopik, yang berarti kuantitas tersebut mempunyai nilai di setiap titik di dalam suatu benda.

2.2 Medan Listrik

Medan listrik merupakan daerah tempat sebuah muatan listrik mengalami gaya yang pada umumnya akibat dari distribusi muatan-muatan lain. Kuat medan listrik merupakan gaya elektrostatika yang bekerja pada satu satuan muatan, maka nilai medan listrik menjadi

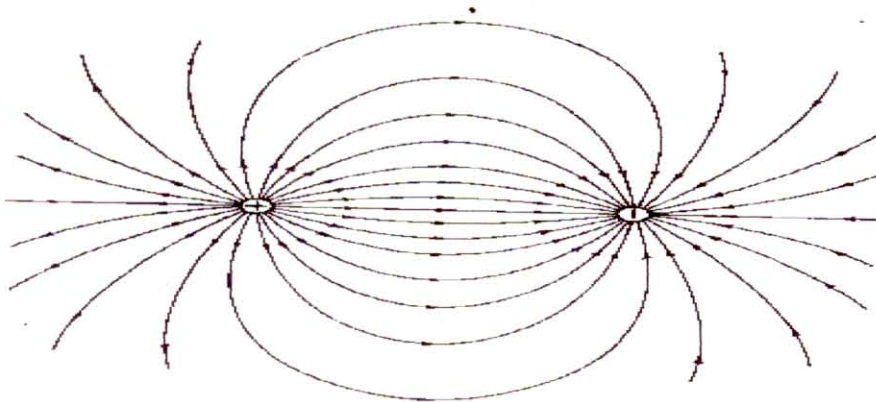
$$\vec{E} = \frac{I}{q} \vec{F}. \quad (5)$$

Medan listrik merupakan sebuah vektor, oleh karena itu jika terdapat sekumpulan muatan listrik, maka vektor-vektor medan listrik yang dihitung terpisah dijumlahkan untuk mendapatkan resultannya, dalam hal ini menggunakan prinsip superposisi. Jadi nilai medan listriknya menjadi

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n, \quad \text{dengan } n = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

$$\vec{E} = \sum \vec{E}_n.$$

Untuk memudahkan dalam mengilustrasikan medan listrik maka medan listrik dapat digambarkan dengan garis-garis gaya listrik. Secara radial garis-garis gaya untuk muatan positif ke arah luar dan muatan negatif menuju ke arah dalam. Untuk dua muatan yang berbeda garis-garis gaya listrik yang terjadi dapat diberikan oleh gambar 1.



Gambar 1. Representasi garis-garis gaya listrik (Halliday, 1990)

Berdasarkan gambar 1, perubahan medan listrik terhadap sebuah ruang daerah dapat terlihat nyata. Sehingga dapat diketahui bahwa besarnya medan listrik E tidaklah konstan, melainkan berkurang dengan semakin besarnya jarak dari muatan.

Jumlah garis gaya listrik yang menembus tegak lurus suatu permukaan disebut sebagai fluks listrik. Fluks listrik berbanding lurus dengan garis-garis gaya listrik yang melalui suatu luasan. Fluks listrik dari suatu medan seringkali melewati suatu permukaan tertutup, sehingga fluks totalnya ϕ_E dapat dituliskan

$$\phi_E = \oint E \cdot dA \quad (7)$$

Medan listrik yang ditimbulkan oleh distribusi-distribusi muatan yang mempunyai simetris geometri dapat ditentukan dengan menggunakan Hukum Gauss. Hukum Gauss menyatakan bahwa fluks listrik yang menembus permukaan tertutup sebanding dengan muatan total yang dilingkupi oleh permukaan tersebut.

$$\epsilon_0 \phi_E = q \quad (8)$$

dengan ϵ_0 merupakan permitivitas ruang bebas.

Apabila persamaan (7) disubstitusikan ke dalam persamaan (8) maka

$$\epsilon_0 \oint E \cdot dA = q \quad (9)$$

Persamaan (9) mengantarkan kita pada suatu kemungkinan untuk menghitung muatan yang ada di dalam suatu permukaan tertutup. Dalam menghitung kuat medan listrik menggunakan Hukum Gauss maka diperlukan suatu permukaan bayangan yang disebut sebagai permukaan gauss agar kita dapat menelaah fluks listriknya.

Medan listrik di dalam dielektrik dapat menyebabkan muatan bergeser, tetapi masih ada di dalam atom. Pergeseran mikroskopik ini menunjukkan sifat tertentu pada bahan dielektrik. Pergeseran muatan ini disebut sebagai polarisasi dengan momen dipol \vec{p} . Dalam dielektrik linier dan isotropik polarisasi sebanding dengan medan listrik dan suseptibilitas listrik dari material sebagai media dielektrik serta permitivitas ruang hampa.

$$\vec{p} = X_c \epsilon_o \vec{E}. \quad (10)$$

Pergeseran listrik dapat didefinisikan sebagai

$$\vec{D} = \epsilon_o \vec{E} + \vec{p}, \quad (11)$$

dengan mensubstitusikan persamaan (10) ke dalam persamaan (11) maka

$$\begin{aligned} \vec{D} &= \epsilon_o \vec{E} + X_c \epsilon_o \vec{E} \\ \vec{D} &= (1 + X_c) \epsilon_o \vec{E} \end{aligned} \quad (12)$$

$1 + X_c$ disebut sebagai konstanta dielektrik. Bahan dielektrik memiliki permitivitas tersendiri yang besarnya dinyatakan oleh

$$\epsilon = (1 + X_c) \epsilon_o. \quad (13)$$

Fluks dari vektor $(\epsilon_o \vec{E} + \vec{p})$ yang melalui suatu permukaan tertutup sama dengan muatan bebas dalam volum yang dilingkupi oleh permukaan tersebut.

$$\oint_A \vec{D} \cdot d\vec{A} = q_{bebas}. \quad (14)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (12) ke dalam persamaan (14), maka

$$\oint_A \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{bebas}}{\epsilon} \quad (15)$$

Sehingga kuat medan listrik di dalam dielektrik dapat dituliskan sebagai

$$E = \frac{E_0}{K} \quad (16)$$

Berdasarkan persamaan (16) maka kuat medan listrik juga bergantung pada sifat bahannya.

2.3 Potensial Listrik dan Beda potensial

Sesuai dengan hukum Ohm, arus akan terjadi pada suatu penghantar jika ada beda potensial. Potensial listrik mempunyai hubungan khusus dengan medan listrik yang sangat perlu untuk diperhatikan. Potensial listrik di suatu titik merupakan usaha yang diperlukan untuk membawa satu satuan muatan dari tempat jauh tak terhingga ke titik tersebut.

$$V = \frac{W}{q_0} \quad (17)$$

Diperlukan suatu gaya untuk dapat menggerakkan muatan sejauh d tertentu. Dengan memecahkan untuk ini maka persamaan (17) menjadi

$$V_B - V_A = \frac{F \cdot d}{q_0} \quad (18)$$

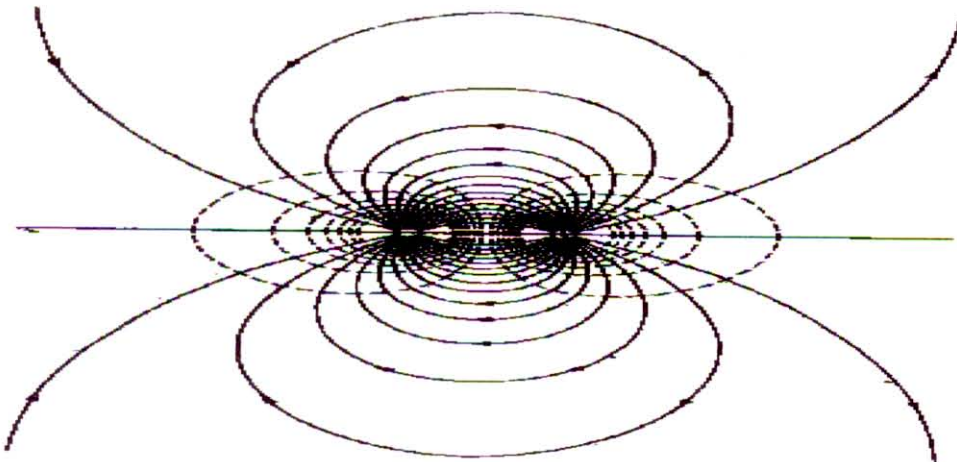
Berdasarkan hal yang dikemukakan pada sub bab 2.2 yakni gaya untuk memindahkan sebanding dengan medan listrik dan muatan sehingga persamaan (18) menjadi

$$V_B - V_A = E \cdot d \quad (19)$$

Untuk kasus khusus dimana E tidak uniform, maka beda potensial diberikan oleh

$$V_B - V_A = -\int_A^B E \cdot dl . \quad (20)$$

Di dalam potensial kita mengenal adanya permukaan ekuipotensial. Permukaan ekuipotensial merupakan suatu permukaan yang memiliki potensial sama. Permukaan ekuipotensial dapat dilukiskan dengan menggambarkan permukaan-permukaan yang tegak lurus terhadap garis-garis medan listrik. Permukaan ekuipotensial di sini menjelaskan sifat dari potensial listrik. Representasi dari permukaan ekuipotensial dan medan listrik dari dua muatan diberikan oleh gambar 2.

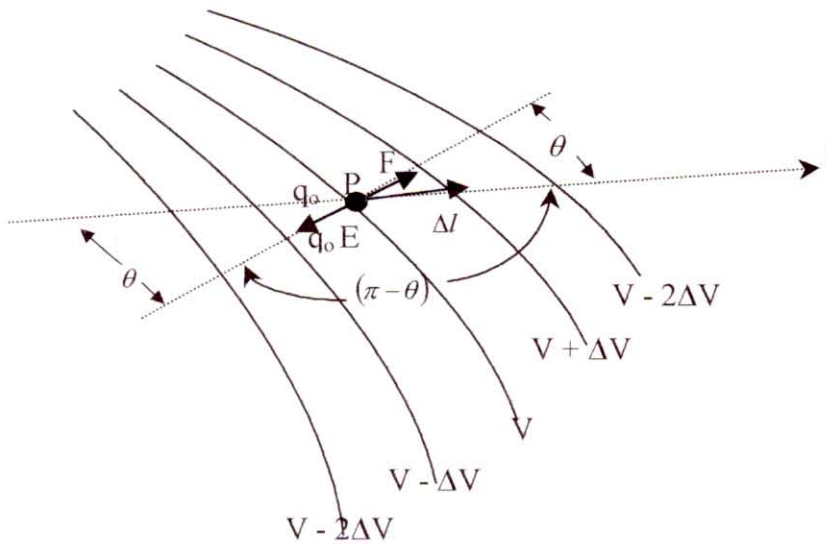


Gambar 2. Permukaan ekuipotensial dan medan listrik dari dua muatan (Halliday, 1990)

Apabila perpindahan muatan tersebut sangat dekat sehingga tiap integral dalam persamaan (20) tereduksi menjadi suatu suku tunggal, maka

$$dV = -E \, dl \quad \text{atau} \quad E = -\frac{\partial V}{\partial l} . \quad (21)$$

Persamaan (21) dapat dijelaskan oleh gambar 3.



Gambar 3. Representasi pergeseran sebuah muatan dari suatu permukaan ekipotensial ke permukaan ekipotensial yang lain (Halliday, 1990)

Tanda negatif pada persamaan (21) menunjukkan bahwa medan listrik menuju arah potensial yang semakin berkurang.

Arah l pada gambar 3 jika tegak lurus pada permukaan ekipotensial, maka dV/dl akan mempunyai nilai maksimum yang disebut sebagai gradien potensial pada suatu titik.

$$E = -\nabla V, \quad (22)$$

dengan $\nabla = i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y} + k \frac{\partial}{\partial z}$.

Arah l dari persamaan (21) sesuai dengan persamaan (22) dapat kita ambil dalam arah-arah sumbu x , y dan z . Jika beda potensial yang diukur sepanjang sumbu z maka medan listrik untuk arah x dan y berharga nol, sehingga

$$E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}, \quad E_x = 0, \quad E_y = 0. \quad (23)$$

Sebuah persamaan potensial tiga dimensi dalam media non homogen yang merupakan persamaan Fourier yang ditransformasikan ke dalam arah sumbu y diperkenalkan dengan persamaan diferensial (LaBrecque, 1994) sebagai berikut

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\sigma \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\sigma \frac{\partial V}{\partial z} \right) - \lambda^2 \sigma V = -I \delta(x) \delta(z) \quad (24)$$

dengan V = potensial domain transformasi Fourier

λ = variabel transformasi Fourier

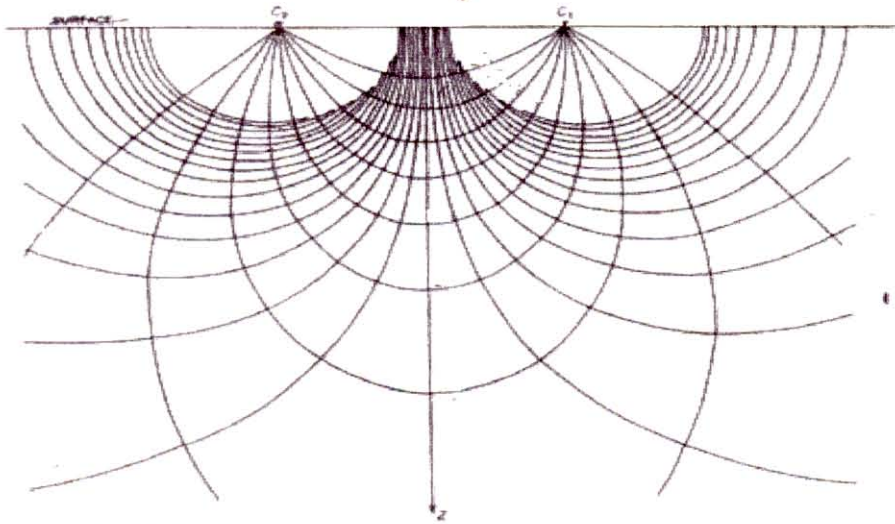
σ = konduktivitas

$\delta(x)$ = fungsi delta

2.4 Pola Medan Listrik Di Bawah Permukaan Bumi

Di bawah permukaan tanah terdapat berbagai komponen penyusun lapisan bumi. Komponen tersebut dapat diketahui tanpa membelah permukaan dan lapisan bumi dengan sistem tomografi listrik (*Electrical Tomography*). Dengan sistem ini, sebaran kuat medan listrik di dalam suatu media dapat menunjukkan sifat dari media tersebut dengan menganalisa data beda potensial yang diambil.

Pengukuran dengan tomografi listrik pada dasarnya sama dengan pengukuran menggunakan sistem ERT. Metode yang digunakan terdiri dari dua metode yakni menggunakan elektroda sumber arus tunggal dan elektroda dua sumber arus berpasangan. Penelitian yang akan dilakukan menggunakan metode dua sumber arus berpasangan. Arus yang direfleksikan ke tanah dengan dua sumber arus berpasangan terdiri dari *source* sebagai sumber arus positif C^+ dan *sink* sebagai sumber arus negatif C^- (Taib, 1999). Jika terdapat dua muatan yang berbeda tanda maka akan terbentuk medan listrik dan bidang ekipotensial seperti ditunjukkan gambar 2. Dalam pengukuran yang menggunakan arus listrik yang diinjeksikan ke dalam tanah maka arus listrik akan menyebar ke bagian dalam tanah saja sehingga medan listrik dan bidang ekipotensial yang ditinjau hanya bidang yang berada di bawah permukaan seperti ditunjukkan gambar 4.



Gambar 4. Medan listrik dan bidang ekuipotensial di bawah permukaan bumi (Taib, 1999)

Gambar 4 menunjukkan kehilangan potensial yang sangat besar terjadi di daerah yang berdekatan dengan sumber arus (Taib, 1999).

Permukaan ekuipotensial dan medan listrik selalu berubah secara kontinu ke segala arah, sehingga secara teknis dalam menentukan beda potensial untuk semua arah sangatlah sulit sedangkan garis medan listrik merupakan garis yang tegak lurus dengan permukaan ekuipotensial. Solusi yang dipilih untuk permasalahan ini yaitu menggambarkan sebaran kuat medan listrik yang terjadi dalam satu arah saja, sebagai misal dalam penelitian ini diambil arah yang tegak lurus dengan permukaan yakni arah sumbu z . Hal ini ditunjukkan oleh gambar 4.

Keadaan di bawah permukaan tidak selalu homogen, sedangkan homogen dalam arti yang luas belum tentu isotropik. Yang dimaksud homogen anisotropik adalah suatu keadaan bawah permukaan tersebut jika digambarkan dengan 3D maka dalam arah sumbu x dan y keadaannya homogen tapi dalam arah z tidak homogen. Media dikatakan homogen anisotropis berdasarkan media tersebut homogen untuk masing-masing unit lapisan tetapi sifat kelistrikannya berubah untuk unit lapisan yang lain. Pada media homogen anisotropis permukaan dan garis medan listrik akan terganggu. Jika keadaan bawah permukaan terdapat kontras resistivitas maka garis medan listrik akan direfraksikan pada bagian perbatasan kontras resistivitas di antara dua media (Reynold, 1997). Dengan

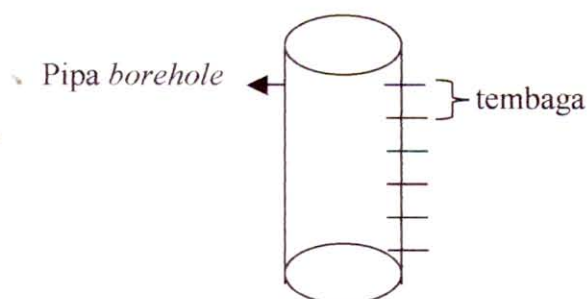
demikian citra pengaruh kekontrasan resistivitas terhadap sebaran medan listrik di bawah permukaan tanah akan diketahui dengan melihat kenampakan citra sebaran medan listrik dan besar kecilnya kuat medan listrik yang terbentuk pada citra kontur.

2.5 Rangkaian Sensor Elektroda

Rangkaian sensor elektroda dalam penelitian ini menggunakan elektroda yang terbuat dari tembaga karena tahan lama dan mudah didapatkan di pasaran. Secara skematis elektroda tembaga ini ditunjukkan oleh gambar 5.

Sistem tomografi listrik yang digunakan pada dasarnya sama dengan sistem ERT yaitu didasarkan pada pengukuran arus dan pengukuran beda potensial. Pengukuran arus dilakukan di sisi luar *borehole-borehole* yang menjadi tempat peletakkan elektroda dan pengukuran beda potensial dilakukan di antara dua elektroda dalam satu *borehole*.

Dua elektroda yang dihubungkan ke osiloskop dapat memberikan informasi beda potensial yang terjadi dalam arah *borehole* yakni tegak lurus permukaan (sumbu z). Dengan diketahuinya beda potensial maka medan listrik yang tegak lurus dengan ekipotensial dapat ditentukan.



Gambar 5. Skematik rangkaian sensor elektroda

2.6 Interpolasi

Penelitian ini menggunakan *borehole* dengan sensor elektroda yang jumlahnya terbatas, sehingga data yang dihasilkan terbatas pula, sedangkan untuk menggambarkan sebaran kuat medan listrik diperlukan data yang sangat rapat.

Untuk menaksir harga-harga tengahan dari titik-titik data beda potensial yang diketahui dibutuhkan suatu cara tertentu, yaitu dengan menggunakan *interpolasi*.

Interpolasi yang akan digunakan di sini adalah *interpolasi* polinomial orde ke-n. Persamaan polinomial orde ke-n diberikan oleh

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n. \quad (25)$$

Untuk $n + 1$ titik-titik data, terdapat satu dan hanya satu polinomial orde ke-n yang melewati semua titik. Hal ini berarti hanya terdapat satu garis saja yang menghubungkan titik-titik data. Dengan meng*interpolasi* polinomial tersebut maka dapat ditentukan harga-harga di antara titik-titik data yang ada.

Interpolasi digunakan jika titik-titik data yang didapatkan dianggap benar, sehingga kurva dapat dicocokkan dengan titik-titik data dan dengan menggunakan kurva tersebut harga tengahan titik-titik data dapat diprediksi. Di sini dibuat suatu kurva data umum tanpa mencocokkan terlebih dahulu dengan masing-masing titik data.

Persamaan polinomial orde ke-n untuk $n + 1$ titik data diberikan oleh (Chapra, 1991)

$$f_n(x) = a_0 + a_1(x-x_0) + \dots + a_n(x-x_0)(x-x_1) \dots (x-x_{n-1}). \quad (26)$$

Dalam *interpolasi* polinomial koefisien-koefisien yang terdapat pada persamaan (26) dapat dievaluasi dengan diferensiasi terbagi hingga. Sehingga dengan memecahkan persamaan (26) maka

$$F_n(x) = f(x_0) + (x-x_0)f[x_1, x_0] + (x-x_0)(x-x_1)f[x_2, x_1, x_0] + \dots + (x-x_0)(x-x_1) \dots (x-x_{n-1})f[x_n, x_{n-1}, \dots, x_0]. \quad (27)$$

deferensiasi terbagi hingga bersifat rekursif yang berarti diferensiasi orde tinggi merupakan gabungan dari deferensiasi orde rendah.

Metode numerik seperti halnya *interpolasi* dapat membantu dalam pemecahan suatu permasalahan yang rumit. Metode numerik dapat diselesaikan dengan komputer, sehingga dapat diperoleh suatu solusi langsung tanpa pertolongan adanya penyederhanaan anggapan maupun teknik yang kurang

efisien. Salah satu alat komputasi utama yang dapat menghimpun algoritma matematis dalam bentuk yang mudah diterapkan, sebagai misal metode numerik, adalah MATLAB.

Pendekatan permasalahan seperti dalam *interpolasi* dapat diselesaikan dengan memanfaatkan fungsi-fungsi yang terdapat di dalam program MATLAB. Sebagai contoh jika kita mencari data yang lebih halus di antara titik-titik data. Persamaan polinomial dapat disusun berdasarkan titik-titik data yang didapat dan digunakan untuk menginterpolasi titik-titik data sehingga didapatkan nilai-nilai tengahan data. *Interpolasi* dua dimensi ditunjukkan oleh

$$\gg y_i = \text{interp2}(x,y,x_i)$$

atau

$$\gg y_i = \text{interp2}(x,y,x_i, \text{'metode'}),$$

dimana y_i = nilai tengahan data,

x = variabel independent,

y = variabel dependent,

x_i = titik data yang akan ditentukan (Hanselman dan Bruce, 1997).

Metode yang dimaksud di atas terdiri dari *linear interpolation*, *spline* dan *cubic*. Jika tidak disebutkan metode yang digunakan maka metode yang digunakan adalah metode *linear interpolation*. Dengan metode ini MATLAB secara linier menginterpolasi titik-titik data.

Berdasarkan hal-hal di atas maka *interpolasi* cocok dan dapat membantu dalam pengolahan data. Hal ini karena data yang akan diambil bukanlah data yang lengkap sehingga *interpolasi* dapat memprediksi nilai tengahan titik-titik data sehingga pola sebaran kuat medan listrik dalam bentuk kontur dapat dibuat.



BAB-III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian dilaksanakan pada periode bulan Maret 2003 sampai dengan Juni 2003 bertempat di Laboratorium Penelitian (Lab. Fisika Material, Biofisika dan Geofisika) Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember.

3.2 Pengukuran

Pengukuran dalam penelitian ini dimulai dengan mendesain sensor *borehole* dan elektroda yang diletakkan di dalam lapisan tanah. Selanjutnya, dua kabel elektroda beda potensial dalam satu *borehole* dihubungkan ke osiloskop, dan arus mulai diinjeksikan ke dalam tanah, sehingga data beda potensial antara dua elektroda tersebut dapat ditampilkan dalam osiloskop. Hasil data beda potensial dari pengukuran dipecahkan untuk mendapatkan kuat medan listrik di setiap titik dalam lapisan. Pengukuran meliputi obyek yang diteliti, rangkaian transduser, dan konfigurasi *borehole* yang digunakan.

3.2.1 Obyek yang Diteliti

Obyek yang akan diteliti berupa lapisan pasir dan tanah liat yang menyerupai lapisan yang ada di bawah permukaan bumi. Obyek ini terletak di dalam sebuah bak kardus dengan ukuran 76x54x58 cm. Penelitian sebelumnya hanya pada obyek yang homogen (Binley et al, 1995). Berdasarkan hal tersebut maka dalam penelitian yang dilakukan diharapkan mampu memberikan manfaat yang lebih.

Obyek lapisan yang diteliti yakni tanah liat basah yang disusun secara vertikal dengan lapisan pasir kering. Lapisan obyek dibuat tiga variasi yakni lapisan pasir, lapisan pasir-tanah liat dan lapisan pasir-tanah liat-pasir. Lapisan yang terdiri dari satu lapisan pasir dalam penelitian ini merupakan lapisan yang disebut sebagai lapisan homogen isotropis, sedangkan lapisan yang tersusun atas lebih dari satu lapisan disebut sebagai lapisan homogen anisotropis.

Lapisan homogen isotropis (pasir) diletakkan dalam bak hingga pada ketinggian 45 cm dari dasar bak, sedangkan lapisan pasir-tanah liat disusun dalam bak dengan ketebalan pasir 25 cm dari permukaan dan tanah liat 20 cm dari dasar

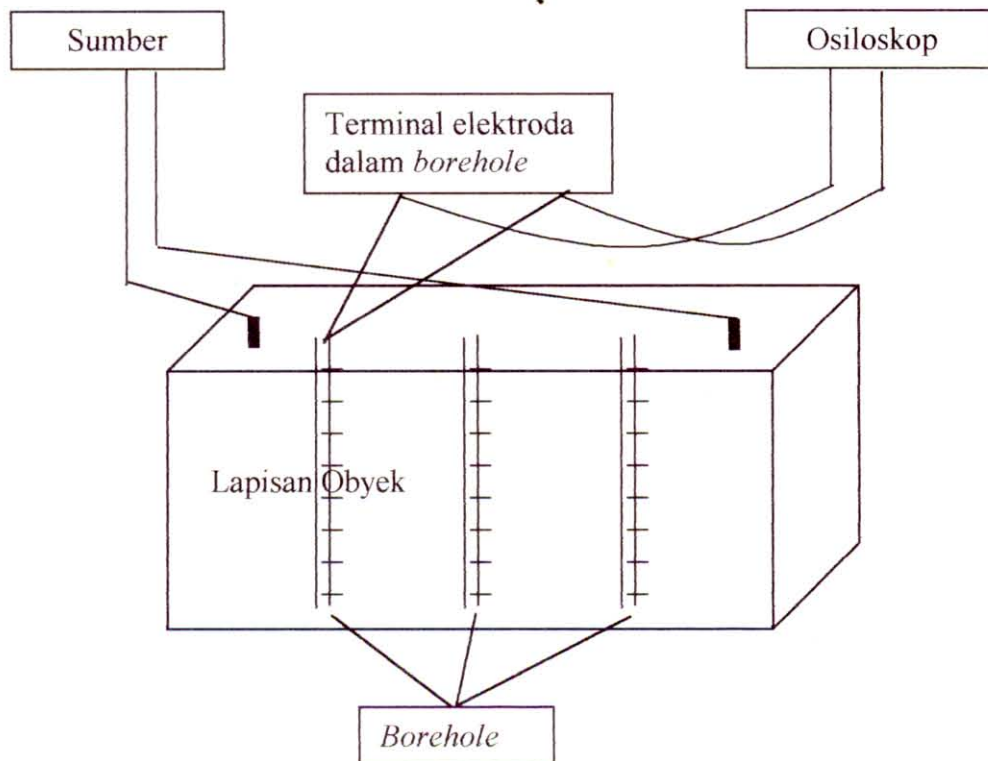
bak. Untuk obyek pasir-tanah liat-pasir, ketebalan dibuat kurang lebih sama yakni 15 cm dengan susunan lapisan pasir mengapit lapisan tanah liat secara vertikal. Pengukuran beda potensial hanya sampai dengan ketebalan obyek 40 cm dari permukaan.

Sebelum pengukuran dilakukan, maka perlu diketahui harga resistivitas kedua media yang diteliti. Perbedaan resistivitas yang besar dari kedua media tersebut diharapkan mampu memberikan ilustrasi penggambaran sebaran kuat medan listrik kedua media tersebut.

3.2.2 Rangkaian Transduser

Rangkaian transduser yang digunakan dalam penelitian ini menyerupai rangkaian resistivitymeter, dimana peralatannya menggunakan sistem sensor elektroda ERT. Sistem ini digunakan karena pada dasarnya pengukuran pada sistem tomografi listrik adalah sama dengan pengukuran ERT, yaitu pengukuran arus dan beda potensial. Rangkaian transduser ini terdiri dari penginjeksi arus dan osiloskop. Skematis dari rangkaian transduser beserta *boreholenya* diberikan oleh gambar 6 .

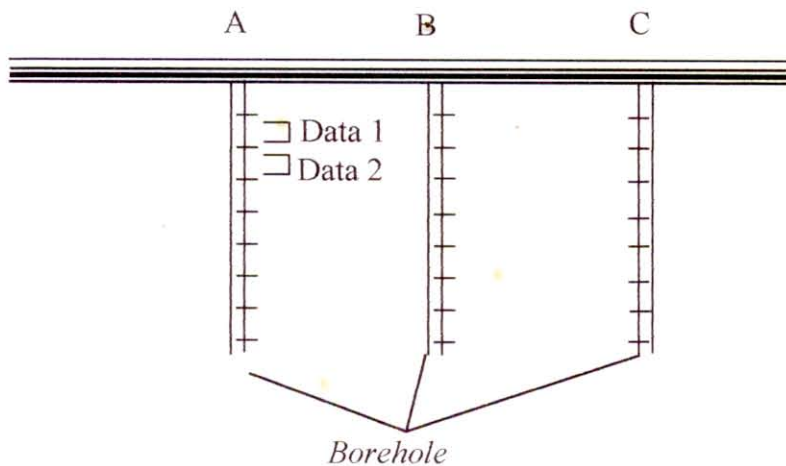
Penginjeksi arus diletakkan dengan jarak 2 cm dari sisi bak kardus. elektroda arus yang digunakan terbuat dari kawat tembaga dengan diameter 2,5 mm dan panjang 6 cm. Arus disuntikkan melalui *Generator Function* dengan beda potensial sebesar 10 V. *Borehole* ditancapkan ke dalam obyek sampai dengan kedalaman 45 cm (dasar bak), dimana elektroda pertama yang merupakan elektroda terdekat dengan permukaan telah tertanam.



Gambar 6. Representasi skematis dari rangkaian transduser

3.2.3 Konfigurasi *Borehole*

Borehole terbuat dari pipa PVC dengan diameter 2,5 cm dan panjang 50 cm sesuai dengan ketebalan lapisan obyek yang diteliti. Secara umum elektroda yang digunakan sebanyak 8-16 elektroda (Wang, 1999). Di dalam pipa *borehole* dipasangkan elektroda tembaga yang menembus pipa sebanyak 9 elektroda dengan jarak antar elektroda 5 cm. Elektroda langsung dihubungkan dengan kabel-kabel dan dibuatkan terminal-terminal untuk kabel-kabel tersebut yang diletakkan pada papan kayu sehingga memudahkan dalam pengambilan data. *Borehole* dibuat tiga buah di antara penyuntik arus dengan jarak antar *borehole* 20 cm untuk memudahkan dalam menganalisa datanya.



Gambar 7. Pengambilan data pada elektroda *borehole*

Data beda potensial diambil setelah penginjeksian arus, didapat dari dua elektroda yang berdekatan dalam satu *borehole*, dimulai dari permukaan tanah ke arah dalam tanah tegak lurus permukaan (searah sumbu z) seperti yang ditunjukkan gambar 7. Dua elektroda dalam satu *borehole* tersebut dihubungkan ke osiloskop yang berarti salah satu elektroda berfungsi sebagai anoda dan elektroda yang lain berfungsi sebagai katoda. Data diambil untuk ketiga *borehole* A, B dan C dan jarak antar dua elektroda dalam satu *borehole* merupakan dz .

3.3 Pengolahan Data

Data-data yang diperoleh dari penelitian ini adalah data beda potensial dari titik-titik yang ada di dalam lapisan tanah tiap jarak tertentu. Data beda potensial dan jarak dz yang didapat dipecahkan untuk medan listrik dengan persamaan

$$E_z = -\frac{\partial V}{\partial z},$$

menghasilkan kuat medan listrik di tiap-tiap titik yang diukur beda potensialnya. Jarak dua elektroda dz dalam penelitian ini dibuat diskrit dengan nilai 0,05 m yang diambil dari jarak antar dua elektroda searah *borehole* (sumbu z), sehingga

$$E_z = -20 dV.$$

Data kuat medan listrik E_z di setiap titik-titik yang diukur beda potensialnya merupakan data yang kurang lengkap. Untuk dapat menggambarkan pola sebaran kuat medan listrik yang tegak lurus dengan equipotensial dalam arah sumbu z yang terjadi diperlukan suatu data yang rapat. Harga-harga tengahan di antara titik-titik data yang diperoleh dapat ditaksir dengan menggunakan *interpolasi* polynomial.

Data kuat medan listrik pada tiap *borehole* diinterpolasikan sesuai dengan jaraknya dari permukaan tanah. *Interpolasi* yang digunakan merupakan *interpolasi* dua dimensi. Data sebaran kuat medan listrik kemudian diolah dengan menggunakan metode normalisasi. Data dari penginterpolasian kuat medan listrik dikurangi dengan data minimum data tersebut kemudian data hasil pengurangan dibagi dengan data maksimum dari data kuat medan listrik hasil *interpolasi*. Proses pengolahan ini yang disebut dengan metode normalisasi.

Data kuat medan listrik yang telah didapat selanjutnya diinterpretasikan dalam bentuk kontur yang dapat menggambarkan sebaran kuat medan listrik dalam media. Penginterpretasian sebaran kuat medan listrik dalam bentuk kontur ini dapat menggambarkan bentuk geometri lapisan yang ada di bawah permukaan tanah.

3.4 Analisa Data

Data yang didapat dari hasil pengolahan data dikonturkan untuk mendapatkan suatu pola sebaran kuat medan listrik pada arah tegak lurus permukaan (sumbu z) di bawah permukaan tanah yang merupakan interpretasi dari keadaan bawah tanah yang diteliti. Data dalam penelitian ini akan didiskripsikan secara kualitatif, dimana hanya ditinjau dari kenampakan gambar yang terbentuk tanpa memperhitungkan kuantitas medan listriknya. Terdapat dua kondisi kontur pada citra untuk menganalisanya yaitu tampak jelas pengaruh resistivitas pada citra yang ditunjukkan oleh keteraturan perubahan warna, kehomogenan atau ketidakhomogenan warna pada kontur yang terbentuk dan tidak tampak jelas pengaruh resistivitas pada citra.

Hasil penginterpretasian dalam bentuk kontur diharapkan menunjukkan pengaruh kontras resistivitas suatu obyek pada sebaran kuat medan listrik yang

terjadi dengan suatu pola sebaran kuat medan listrik dimana tidak terjadi perbedaan warna yang sangat kontras atau terjadi keteraturan perubahan warna untuk media yang homogen isotropis. Sedangkan untuk media homogen anisotropis sebaran medan listriknya terdapat tingkat perbedaan warna yang sangat kontras yang dapat mengindikasikan terdapatnya perbedaan resistivitas. Dalam kontur, tingkatan warna menunjukkan perubahan besar kecilnya medan listrik dalam obyek sehingga dengan adanya perbedaan warna yang kontras memperlihatkan adanya suatu jenis lapisan yang mempunyai resistivitas yang lebih besar atau lebih kecil.

Setiap pengukuran dilakukan pengulangan 5 kali, karena diperlukan suatu data pengukuran yang tepat. Dari pengulangan tersebut data kuat medan listrik yang didapat kemudian dirata-rata untuk mengurangi *error*(kesalahan) yang terjadi. *Error* dapat diturunkan hingga $\frac{1}{\sqrt{n}}$ kali *error* semula jika data yang diambil dengan pengulangan dan dirata-rata, dimana n merupakan jumlah data yang diambil (Skoog,1998).

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN



Unit K OPI Perpustakaan
UNIVERSITAS JEMBER

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian mengenai penginterpretasian pengaruh kontras resistivitas pada lapisan di bawah permukaan tanah dengan sistem tomografi listrik ini adalah :

1. Telah diukur beda potensial pada arah tegak lurus permukaan di bawah tanah yang diperoleh dari tegangan diantara dua titik yang diwakili oleh dua sensor elektroda dalam satu bore hole,
2. Kuat medan listrik didapatkan dari data beda potensial di setiap jarak dua sensor elektroda yang arahnya tegak lurus permukaan (E_z) yang terjadi di bawah tanah,
3. Dengan menggunakan sistem tomografi listrik berdasarkan pada kontur kuat medan listrik dihasilkan gambaran sebaran kuat medan listrik bawah tanah dalam arah tegak lurus permukaan,
4. Dengan memperhatikan citra sebaran kuat medan listrik, adanya kontras resistivitas bentuk geometri lapisan-lapisan yang ada di bawah permukaan tanah dapat diidentifikasi. Penyimpangan medan listrik yang ditunjukkan oleh terlewatnya batas hingga jarak tertentu pada kedua lapisan disebabkan oleh adanya arus listrik yang tertarik ke arah obyek yang beresistivitas rendah.

5.2 Saran

Saran yang dapat penulis kemukakan adalah :

1. Perlu penelitian lebih lanjut menggunakan sensor dan peralatan yang dapat mengurangi bahkan menghilangkan *noise* yang terjadi saat pengambilan data,
2. Mengembangkan penelitian lebih lanjut dengan bak obyek yang lebih besar/luas,
3. Perlu penelitian lebih lanjut dengan memperhitungkan ralat untuk metode numerik yang digunakan sehingga dihasilkan kontur yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Binley, Andrew, Ben Shaw and Siobhan Henry Puolter. 1995. *Flow Pathways In Porous Media : Electrical Resistance Tomography And Dye Staining Image Verification*. Lancaster: Lancaster University.
- Chapra Steven C. 1991. *Metode Numerik Untuk Teknik Dengan Penerapan Pada Komputer Pribadi*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Hanselman, Duane dan Bruce Littlefield. 1997. *The Student Edition of MATLAB: Version 4*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Halliday, David. 1990. *Fisika*. Jakarta: Erlangga.
- LaBrecque, D.J, A.L Reminez, W.D Daily, A.M Binley And S.A Schima. 1995. *ERT Monitoring of Environment Remediation Processes*. Tucson, USA: University of Anzona.
- Reynold, John. M. 1997. *An Introduction to Applied And Environmental Geophysics*. Inggris: John Wiley And Sons ltd.
- Skoog, Douglass, F. James Hortler, Timothy. A.Nieman. 1998. *Principles of Instrumental Analysis*. Thomson Learning, Inc. USA.
- Taib, Tachyudin M.C. 1999. *Explorasi Geolistrik*. Bandung: ITB Bandung.
- Thomas, M Boyd. 1998. <http://www.earthsci.unimelb.edu.au/ES304/MODULES/RES/NOTES/layered1.html>. Head, School of Earth Sciences.
- Tipler. 1998. *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Wang M, A. Doward, D. Vlaev And R. Mann. 1999. *Measurements of Gas-Liquid Mixing In a Stirred Vessel Using Electrical Resistance Tomography (ERT)*. 1st World Congress On Industrial Tomography, Buxton Manchester, April 14-17.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1

TABEL DATA PENGAMATAN OBYEK PASIR

a. Saat Arus diinjeksikan 2 cm dari sisi bak

Pengulangan 1

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)								
	A			B			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0.45	1.15	1.65	0.42	1	1.32	0.42	0.76	1.12
2 – 3	0.55	1.5	2.25	0.4	0.74	1.16	0.48	0.86	1.56
3 – 4	0.45	1.5	2.05	0.55	2.1	2.75	0.45	1.5	2.1
4 – 5	0.5	1.6	2.25	0.4	1.15	1.5	0.4	1	1.5
5 – 6	0.45	1.35	1.9	0.45	1.6	2.3	0.42	0.62	1.26
6 – 7	0.48	1.14	1.68	0.46	0.82	1.28	0.6	1.7	2.35
7 – 8	0.55	1.35	2	0.55	1.9	2.6	0.55	1.7	2.25
8- 9	0.6	1.65	2.4	0.5	1.4	2	0.5	1.25	1.8

Pengulangan 2

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)								
	A			B			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0.5	1.15	1.6	0.48	0.88	1.24	0.52	0.84	1.12
2 – 3	0.55	1.5	2	0.48	0.8	1.16	0.54	1.1	1.36
3 – 4	0.46	1.1	1.54	0.5	2	2.4	0.54	1.52	1.64
4 – 5	0.44	1.2	1.64	0.36	1	1.36	0.48	1.06	1.6
5 – 6	0.5	1.5	2	0.6	1.65	2.1	0.4	0.64	1.08
6 – 7	0.55	1.4	1.95	0.45	0.8	1.15	0.55	1.6	2.05
7 – 8	0.44	1.14	1.58	0.55	1.95	2.4	0.6	1.5	2
8- 9	0.48	1.4	1.54	0.5	1.35	1.85	0.5	1.25	1.7

Lampiran 1 dilanjutkan

Lampiran 1 lanjutan

Pengulangan 3

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)								
	A			B			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0.48	1.12	1.5	0.42	0.92	1.16	0.4	0.8	1.12
2 – 3	0.55	1.5	2	0.44	0.76	1.1	0.48	1.12	1.56
3 – 4	0.6	1.15	1.7	0.55	1.95	2.5	0.5	1.5	2
4 – 5	0.44	1.16	1.64	0.4	1.1	1.4	0.5	1.1	1.5
5 – 6	0.5	1.5	2	0.6	1.65	2.25	0.46	0.8	1.28
6 – 7	0.55	1.55	2	0.42	0.78	1.2	0.45	1.65	2.2
7 – 8	0.5	1.25	1.75	0.55	2	2.6	0.55	1.7	2.15
8- 9	0.46	1.14	1.6	0.5	1.4	1.9	0.5	1.2	1.7

Pengulangan 4

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)								
	A			B			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0.38	1.38	1.24	0.4	1.2	1.08	0.38	1.06	0.98
2 – 3	0.5	1.9	1.44	0.42	1	0.92	0.44	1.3	1.14
3 – 4	0.5	1.4	1.24	0.5	2.4	1.8	0.48	1.9	1.5
4 – 5	0.46	1.68	1.38	0.36	1.44	1.08	0.45	1.9	1.
5 – 6	0.5	1.9	1.5	0.55	2.25	1.6	0.46	1.1	1.06
6 – 7	0.4	2	1.48	0.45	1.1	1.05	0.5	2.05	1.75
7 – 8	0.44	1.56	1.3	0.5	2.5	2	0.45	2.2	1.8
8- 9	0.42	1.42	1.24	0.45	1.9	1.5	0.5	1.6	1.4

Lampiran 1 dilanjutkan

Lampiran 1 lanjutan

Pengulangan 5

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)								
	A			B			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0.32	1.56	1.04	0.34	1.42	1.12	0.4	1.2	1
2 – 3	0.4	1.9	1.2	0.32	2.94	0.88	0.3	1.4	1.15
3 – 4	0.36	1.44	1.06	0.4	2.45	1.9	0.4	1.9	1.5
4 – 5	0.35	1.7	1.2	0.3	1.5	1.05	0.45	1.3	1.1
5 – 6	0.36	1.9	1.4	0.4	2.15	1.6	0.4	1.05	1
6 – 7	0.4	2	1.95	0.35	1.2	1.05	0.35	2.1	1.8
7 – 8	0.36	1.48	1.14	0.4	2.6	2.1	0.4	2.15	1.85
8- 9	0.4	1.44	1.16	0.35	2	1.5	0.45	1.65	1.4

b. Saat Arus diinjeksikan 16 cm dari sisi bak

Pengulangan 1

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)					
	A			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,35	1,6	1,35	0,45	1,45	1,5
2 – 3	0,4	2,75	1,6	0,5	1,5	1,4
3 – 4	0,45	1,5	1,25	0,4	2,15	1,8
4 – 5	0,4	2	1,5	0,45	1,4	1,3
5 – 6	0,45	1,95	1,65	0,42	1,04	1,18
6 – 7	0,4	2	1,7	0,4	2,1	1,95
7 – 8	0,42	1,6	1,32	0,5	2	2,2
8- 9	0,44	1,48	1,36	0,46	1,64	1,6

Lampiran 1 dilanjutkan

Lampiran 1 lanjutan

Pengulangan 2

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)					
	A			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,4	1,38	1,48	0,46	1,28	1,24
2 – 3	0,45	2	1,9	0,48	1,42	1,5
3 – 4	0,5	1,55	1,5	0,45	1,95	1,65
4 – 5	0,4	1,75	1,7	0,44	1,34	1,3
5 – 6	0,35	1,95	1,9	0,46	1,06	1,14
6 – 7	0,45	1,9	2	0,5	2,1	2
7 – 8	0,38	1,68	1,56	0,45	2,25	1,95
8- 9	0,4	1,5	1,54	0,42	1,7	1,65

Pengulangan 3

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)					
	A			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,36	1,6	1,5	0,45	1,2	1,4
2 – 3	0,45	2	1,95	0,5	1,5	1,7
3 – 4	0,46	1,4	1,46	0,4	2,25	2,05
4 – 5	0,35	1,75	1,7	0,45	1,5	1,55
5 – 6	0,45	1,85	1,9	0,4	1	1,2
6 – 7	0,4	1,95	1,85	0,35	2,3	2,4
7 – 8	0,5	1,25	1,7	0,4	2,2	2,25
8- 9	0,4	1,5	1,85	0,45	1,6	1,85

Lampiran 1 dilanjutkan

Lampiran 1 lanjutan

Pengulangan 4

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)					
	A			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,35	1,55	1,75	0,45	1,3	1,4
2 – 3	0,3	2,1	2,2	0,5	1,55	1,75
3 – 4	0,4	1,5	1,65	0,4	2,3	2,25
4 – 5	0,3	1,8	1,9	0,45	1,4	1,5
5 – 6	0,4	1,85	2	0,4	1	1,3
6 – 7	0,35	1,9	2	0,35	2,15	2,25
7 – 8	0,4	1,5	1,7	0,4	2,1	2,35
8- 9	0,35	1,55	1,65	0,45	1,65	1,95

Pengulangan 5

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)					
	A			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,38	1,42	1,54	0,45	1,2	1,4
2 – 3	0,45	1,85	1,9	0,5	1,45	1,65
3 – 4	0,42	1,46	1,6	0,45	2,15	2,05
4 – 5	0,45	1,9	1,85	0,4	1,25	1,4
5 – 6	0,4	1,9	1,95	0,4	1	1,3
6 – 7	0,5	2	2,05	0,45	2	2,2
7 – 8	0,35	1,5	1,65	0,4	2,2	2,3
8- 9	0,4	1,5	1,7	0,45	1,6	1,8

Lampiran 2

TABEL DATA PENGAMATAN OBYEK PASIR-TANAH LIAT

a. Saat Arus diinjeksikan 2 cm dari sisi bak

Pengulangan 1

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)								
	A			B			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,28	1,95	1,14	0,3	2,15	1,125	0,275	2,55	1,4
2 – 3	0,4	2,6	1,6	0,325	1,4	0,9	0,325	2,8	1,45
3 – 4	0,3	1,8	1,2	0,275	2,35	1,35	0,35	1,1	0,85
4 – 5	0,5	3,15	2,05	0,012	0,08	0,084	0,016	0,09	0,093
5 – 6	0,012	0,042	0,053	0,004	0,018	0,001	0,004	0,02	0,014
6 – 7	0,0035	0,016	0,011	0,007	0,03	0,02	0,003	0,02	0,01
7 – 8	0,0025	0,01	0,008	0,002	0,01	0,007	0,003	0,01	0,007
8- 9	0,005	0,023	0,015	0,003	0,011	0,008	0,002	0,01	0,006

Pengulangan 2

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)								
	A			B			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,35	2	1,1	0,3	2,2	1,15	0,325	2,35	1,3
2 – 3	0,3	2,5	1,4	0,35	1,45	0,95	0,3	3	1,5
3 – 4	0,4	1,7	1,5	0,3	2,45	1,4	0,25	1,15	0,85
4 – 5	0,45	4,2	2,2	0,01	0,084	0,092	0,016	0,09	0,09
5 – 6	0,04	0,048	0,055	0,004	0,02	0,013	0,005	0,02	0,014
6 – 7	0,004	0,016	0,01	0,006	0,03	0,02	0,003	0,02	0,01
7 – 8	0,003	0,012	0,007	0,003	0,011	0,007	0,003	0,01	0,007
8- 9	0,005	0,024	0,016	0,003	0,012	0,006	0,003	0,01	0,006

Lampiran 2 dilanjutkan

Lampiran 2 lanjutan

Pengulangan 3

Pasangan	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)								
	A			B			C		
Elektroda	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,325	1,85	1,025	0,25	2,1	1,05	0,3	2,3	2,25
2 – 3	0,35	2,5	1,35	0,3	1,5	0,95	0,3	2,9	1,35
3 – 4	0,375	1,85	1,2	0,28	2,65	1,5	0,35	1,4	0,9
4 – 5	0,026	0,1	0,112	0,01	0,09	0,1	0,02	0,1	0,09
5 – 6	0,03	0,048	0,08	0,003	0,018	0,012	0,003	0,02	0,014
6 – 7	0,003	0,016	0,011	0,005	0,032	0,02	0,003	0,02	0,01
7 – 8	0,003	0,012	0,008	0,001	0,01	0,007	0,003	0,01	0,008
8- 9	0,004	0,024	0,018	0,002	0,011	0,008	0,003	0,01	0,005

Pengulangan 4

Pasangan	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)								
	A			B			C		
Elektroda	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,25	1,9	0,9	0,3	2,3	1,15	0,325	2,5	1,35
2 – 3	0,35	2,6	1,3	0,35	1,5	1,4	0,3	2,55	1,5
3 – 4	0,25	2	1,15	0,25	2,9	1,5	0,3	1,25	0,85
4 – 5	0,05	0,095	0,12	0,01	0,08	0,085	0,013	0,09	0,1
5 – 6	0,048	0,04	0,1	0,004	0,018	0,012	0,004	0,1	0,016
6 – 7	0,003	0,016	0,012	0,005	0,003	0,002	0,004	0,02	0,012
7 – 8	0,004	0,013	0,008	0,002	0,01	0,008	0,002	0,01	0,008
8- 9	0,006	0,025	0,018	0,003	0,012	0,007	0,001	0,01	0,007

Lampiran 2 dilanjutkan

Lampiran 2 lanjutan

Pengulangan 5

Pasangan	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)								
	A			B			C		
Elektroda	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,4	1,2	1,05	0,35	1,65	1,1	0,35	1,7	1,3
2 – 3	0,45	1,7	1,4	0,45	1,05	1,05	0,4	2,1	1,45
3 – 4	0,35	1,2	1	0,425	1,95	1,7	0,325	0,7	0,85
4 – 5	0,015	0,085	0,08	0,026	0,072	0,082	0,018	0,07	0,075
5 – 6	0,0035	0,008	0,008	0,004	0,011	0,01	0,013	0,01	0,012
6 – 7	0,0035	0,01	0,009	0,007	0,018	0,016	0,005	0,01	0,009
7 – 8	0,003	0,008	0,006	0,002	0,006	0,006	0,002	0,01	0,006
8- 9	0,006	0,015	0,012	0,003	0,007	0,006	0,003	0,01	0,005

b. Saat Arus diinjeksikan 16 cm dari sisi bak

Pengulangan 1

Pasangan	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)					
	A			C		
Elektroda	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,4	1,1	0,95	0,45	1,7	1,3
2 – 3	0,425	1,75	1,3	0,5	2,15	1,65
3 – 4	0,5	1,4	1,1	0,45	0,72	0,85
4 – 5	0,03	0,09	0,11	0,035	0,09	0,1
5 – 6	0,004	0,009	0,009	0,006	0,055	0,015
6 – 7	0,0035	0,012	0,01	0,004	0,005	0,003
7 – 8	0,003	0,008	0,008	0,003	0,006	0,007
8- 9	0,009	0,015	0,017	0,004	0,006	0,006

Lampiran 2 dilanjutkan

Lampiran 2 lanjutan

Pengulangan 2

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)					
	A			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,45	1,05	0,925	0,4	1,7	1,4
2 – 3	0,525	1,7	1,4	0,5	2,3	1,9
3 – 4	0,5	1,45	1,3	0,45	0,9	1
4 – 5	0,024	0,086	0,09	0,028	0,074	0,08
5 – 6	0,004	0,008	0,01	0,006	0,013	0,014
6 – 7	0,004	0,01	0,01	0,003	0,01	0,006
7 – 8	0,0035	0,008	0,007	0,003	0,007	0,008
8- 9	0,007	0,016	0,016	0,003	0,006	0,007

Pengulangan 3

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)					
	A			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,5	1,25	1,15	1,5	1,5	1,4
2 – 3	0,525	1,7	1,5	0,55	2,4	2,2
3 – 4	0,5	1,6	1,45	0,45	0,9	1,05
4 – 5	0,012	0,088	0,09	0,035	0,07	0,1
5 – 6	0,008	0,01	0,01	0,005	0,012	0,014
6 – 7	0,005	0,01	0,012	0,004	0,01	0,012
7 – 8	0,002	0,008	0,008	0,003	0,008	0,008
8- 9	0,008	0,016	0,018	0,004	0,007	0,007

Lampiran 2 dilanjutkan

Lampiran 2 lanjutan

Pengulangan 4

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)					
	A			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,4	1	1	0,5	1,4	1,35
2 – 3	0,55	1,6	1,55	0,45	2	1,9
3 – 4	0,45	1,65	1,1	0,34	0,68	0,84
4 – 5	0,02	0,09	0,105	0,03	0,06	0,08
5 – 6	0,0035	0,01	0,01	0,003	0,006	0,014
6 – 7	0,0045	0,01	0,012	0,004	0,009	0,011
7 – 8	0,003	0,008	0,008	0,003	0,006	0,006
8- 9	0,006	0,015	0,016	0,002	0,005	0,005

Pengulangan 5

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)					
	A			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,35	1	0,95	0,4	1,3	1,4
2 – 3	0,4	1,5	1,5	0,42	1,8	1,5
3 – 4	0,45	1,5	1,4	0,35	0,8	1
4 – 5	0,005	0,08	0,07	0,025	0,075	0,09
5 – 6	0,003	0,008	0,009	0,006	0,014	0,014
6 – 7	0,004	0,01	0,01	0,004	0,011	0,012
7 – 8	0,0035	0,007	0,008	0,003	0,006	0,007
8- 9	0,006	0,012	0,016	0,003	0,006	0,006

Lampiran 3

TABEL DATA PENGAMATAN PASIR – TANAH LIAT – PASIR

a. Saat Arus diinjeksikan 2 cm dari sisi bak

Pengulangan 1

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)								
	A			B			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,4	1,1	0,925	0,4	1,6	1,1	0,45	1,85	1,2
2 – 3	0,45	1,8	1,27	0,45	1,15	1	0,4	1,2	0,9
3 – 4	0,12	0,24	0,28	0,13	0,21	0,27	0,02	0,05	0,047
4 – 5	0,008	0,042	0,034	0,011	0,023	0,027	0,009	0,03	0,038
5 – 6	0,005	0,014	0,012	0,006	0,025	0,012	0,005	0,02	0,014
6 – 7	0,8	0,9	1,1	0,95	1,8	1,8	0,12	0,22	0,28
7 – 8	1	2,9	2,35	0,9	2,9	2,3	1,05	3,1	2,5
8- 9	0,55	2,2	1,7	0,55	1,9	1,5	0,55	1,65	1,3

Pengulangan 2

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)								
	A			B			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,45	1	0,85	0,45	1,5	1	0,45	1,65	1,05
2 – 3	0,55	2,2	1,42	0,4	1,2	0,95	0,4	1,2	0,95
3 – 4	0,12	0,26	0,17	0,2	0,24	0,28	0,34	0,44	0,58
4 – 5	0,012	0,048	0,042	0,01	0,023	0,025	0,012	0,03	0,038
5 – 6	0,004	0,016	0,016	0,005	0,013	0,012	0,007	0,02	0,015
6 – 7	0,44	0,88	0,76	0,9	1,85	1,8	0,09	0,22	0,2
7 – 8	0,9	3,15	2,35	0,95	3	2,25	1	3,15	2,5
8- 9	0,65	2,45	1,75	0,55	2	1,42	0,55	1,7	1,8

Lampiran 3 dilanjutkan

Lampiran 3 lanjutan

Pengulangan 3

Pasangan	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)								
	A			B			C		
Elektroda	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,4	0,9	0,9	0,45	1,5	1	0,45	1,65	1,05
2 – 3	0,5	2,2	1,4	0,4	1,2	1,05	0,4	1,2	0,85
3 – 4	0,15	0,27	0,3	0,15	0,24	0,26	0,32	0,44	0,56
4 – 5	0,014	0,48	0,043	0,01	0,024	0,028	0,006	0,03	0,033
5 – 6	0,006	0,017	0,016	0,006	0,015	0,013	0,006	0,02	0,015
6 – 7	0,65	0,9	1	0,9	1,9	1,8	0,08	0,24	0,28
7 – 8	1	3,1	2,4	0,9	3,1	2,25	1,1	3,75	2,4
8- 9	0,65	2,5	1,7	0,55	2,1	1,45	0,55	1,8	1,3

Pengulangan 4

Pasangan	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)								
	A			B			C		
Elektroda	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,45	0,9	0,8	0,45	1,45	1	0,45	1,75	1,05
2 – 3	0,5	2,2	1,42	0,5	1,2	0,95	0,5	1,3	0,9
3 – 4	0,16	0,28	0,27	0,15	0,22	0,26	0,32	0,48	0,54
4 – 5	0,012	0,048	0,039	0,013	0,024	0,028	0,009	0,03	0,038
5 – 6	0,005	0,017	0,016	0,006	0,016	0,014	0,007	0,02	0,015
6 – 7	0,45	0,9	1,1	0,9	1,85	1,65	0,09	0,23	0,21
7 – 8	1,05	3,25	2,4	0,95	3,25	2,25	1,1	3,45	2,5
8- 9	0,65	2,65	1,6	0,6	2,2	1,45	0,55	1,85	1,3

Lampiran 3 dilanjutkan

Lampiran 3 lanjutan

Pengulangan 5

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)								
	A			B			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,45	1	0,8	0,42	1,35	0,9	0,45	1,8	1,025
2 – 3	0,47	2,4	1,45	0,45	1,4	1	0,45	1,15	0,85
3 – 4	0,15	0,27	0,28	0,14	0,24	0,25	0,3	0,48	0,52
4 – 5	0,014	0,048	0,038	0,006	0,024	0,025	0,006	0,03	0,034
5 – 6	0,006	0,018	0,016	0,007	0,016	0,014	0,006	0,02	0,015
6 – 7	0,4	0,9	1,05	0,9	1,9	1,8	0,09	0,24	0,24
7 – 8	0,95	3,4	2,5	0,95	3,35	2,4	1	3,4	2,6
8- 9	0,65	2,6	1,8	0,55	2,2	1,5	0,6	1,8	1,3

b. Saat Arus diinjeksikan 16 cm dari sisi bak

Pengulangan 1

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)					
	A			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,4	0,9	0,8	0,4	1,2	0,9
2 – 3	0,45	2,5	1,4	0,4	1,25	0,95
3 – 4	0,16	0,26	0,26	0,32	0,5	0,56
4 – 5	0,015	0,05	0,039	0,012	0,03	0,35
5 – 6	0,006	0,018	0,014	0,005	0,017	0,013
6 – 7	0,35	0,9	1	0,012	0,24	0,22
7 – 8	0,95	3,4	2,5	0,9	3,4	2,55
8- 9	0,6	2,7	1,8	0,55	1,85	1,35

Lampiran 3 dilanjutkan

Lampiran 3 lanjutan

Pengulangan 2

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)					
	A			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,45	0,9	0,8	0,4	1,4	1
2 – 3	0,5	2,4	1,4	0,45	1,25	0,9
3 – 4	0,26	0,3	0,4	0,28	0,48	0,54
4 – 5	0,016	0,048	0,042	0,009	0,03	0,032
5 – 6	0,007	0,019	0,017	0,006	0,018	0,015
6 – 7	0,5	0,85	1	0,01	0,24	0,2
7 – 8	0,95	3,4	2,5	1,05	3,4	2,65
8- 9	0,4	1,25	0,9	0,5	1,8	1,4

Pengulangan 3

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)					
	A			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,45	0,85	0,85	0,4	1,5	1
2 – 3	0,47	2,4	1,5	0,45	1,3	0,9
3 – 4	0,15	0,26	0,24	0,22	0,44	0,42
4 – 5	0,021	0,048	0,04	0,014	0,03	0,033
5 – 6	0,005	0,018	0,014	0,006	0,018	0,016
6 – 7	0,6	0,85	1,05	0,009	0,23	0,22
7 – 8	0,95	3,5	2,8	1,05	3,4	2,7
8- 9	0,6	2,7	1,95	0,55	1,8	1,45

Lampiran 3 dilanjutkan

Lampiran 3 lanjutan

Pengulangan 4

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)					
	A			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,4	0,8	0,75	0,4	1,25	0,9
2 – 3	0,5	2,5	1,6	0,45	1,1	0,95
3 – 4	0,16	0,27	0,26	0,19	0,44	0,38
4 – 5	0,013	0,048	0,036	0,008	0,029	0,032
5 – 6	0,006	0,018	0,017	0,006	0,018	0,016
6 – 7	0,6	0,65	1	0,14	0,23	0,24
7 – 8	0,95	3,3	2,65	1,15	3,4	2,8
8- 9	0,6	2,6	1,9	0,52	1,8	1,5

Pengulangan 5

Pasangan Elektroda	Beda Potensial <i>Borehole</i> – (Volt)					
	A			C		
	Kotak	Noise	Kotak+	Kotak	Noise	Kotak+
1 – 2	0,45	0,8	0,75	0,42	1,05	0,7
2 – 3	0,5	2,5	1,5	0,45	1,25	1
3 – 4	0,19	0,38	0,33	0,19	0,42	0,38
4 – 5	0,019	0,05	0,044	0,01	0,027	0,029
5 – 6	0,006	0,019	0,016	0,005	0,018	0,015
6 – 7	0,6	0,85	1	0,11	0,23	0,22
7 – 8	0,95	3,3	2,65	1	3,3	2,75
8- 9	0,7	2,65	1,9	0,55	1,8	1,4

Lampiran 4

LISTING PROGRAM PENGOLAHAN DATA

```

NOISE1=[.....];KOTAK1=[.....];KOTAKP1=[.....];
NOISE2=[.....];KOTAK2=[.....];KOTAKP2=[.....];
NOISE3=[.....];KOTAK3=[.....];KOTAKP3=[.....];
NOISE4=[.....];KOTAK4=[.....];KOTAKP4=[.....];
NOISE5=[.....];KOTAK5=[.....];KOTAKP5=[.....];

NOISE=(NOISE1+NOISE2+NOISE3+NOISE4+NOISE5)/5
KOTAK=(KOTAK1+KOTAK2+KOTAK3+KOTAK4+KOTAK5)/5
KOTAKP=(KOTAKP1+KOTAKP2+KOTAKP3+KOTAKP4+KOTAKP5)/5

x=[0 16 36 56 72];
y=linspace(0,40,8);
[X,Y]=meshgrid(x,y);
xi=linspace(0,72,100);
yi=linspace(0,40,100);
[XI,YI]=meshgrid(xi,yi);
ZIN=interp2(X,Y,NOISE,XI,YI,'spline');
ZIK=interp2(X,Y,KOTAK,XI,YI,'spline');
ZIKP=interp2(X,Y,KOTAKP,XI,YI,'spline');

[M,N]=size(ZIN);
pn1=min(min(ZIN));
tg1=max(max(ZIN));
hermin1=ZIN-pn1;
tg1=1/tg1;
hermin1=hermin1./tg1;

[M,N]=size(ZIK);
pn2=min(min(ZIK));
tg2=max(max(ZIK));
hermin2=ZIK-pn2;
tg2=1/tg2;
hermin2=hermin2./tg2;

[M,N]=size(ZIKP);
pn3=min(min(ZIKP));
tg3=max(max(ZIKP));
hermin3=ZIKP-pn3;
tg3=1/tg3;
hermin3=hermin3./tg3;

```

```
subplot(2,2,1);contourf(XI,YI,hermin1,5);colorbar;title  
( '(a)' );xlabel('Jarak Dari Sisi Kiri (cm)')  
ylabel('Kedalaman (cm)')  
subplot(2,2,2);contourf(XI,YI,hermin2,5);colorbar;title  
( '(b)' );xlabel('Jarak Dari Sisi Kiri (cm)')  
ylabel('Kedalaman (cm)')  
subplot(2,2,3);contourf(XI,YI,hermin3,5);colorbar;title  
( '(c)' );  
xlabel('Jarak Dari Sisi Kiri (cm)')  
ylabel('Kedalaman (cm)')
```

Lampiran 5

DAFTAR ISTILAH

Bore Hole	: Lubang sumuran.
Dielektrik	: Bahan yang tidak memiliki muatan bebas.
Dielektrik Linier	: Material yang parameter constitutivenya bukan merupakan fungsi dari medan yang diberikan.
Sifat-sifat Dielektrik	: Parameter constitutive (ϵ , μ dan σ).
Electrical Resistance Tomography	: Proses tomografi dengan memanfaatkan sifat kelistrikan obyek.
Electrical Tomography	: Metode yang digunakan untuk menggambarkan seperti pada tomografi dengan memanfaatkan sifat kelistrikan obyek.
Fibre Glass	: Serat optik.
Homogen Anisotropik	: Suatu keadaan bawah permukaan yang jika digambarkan dalam 3D maka dalam arah sumbu x dan yang keadaannya homogen tapi dalam arah z tidak homogen.
Homogen isotropik	: Lapisan tanah yang hanya terdiri dari satu lapis, homogen.
Interpolasi	: Suatu metode untuk menaksir data diantara titik-titik data yang kurang lengkap.
Kontras resistivitas	: Perbedaan resistivitas dua media yang sangat besar.
Magnetic Resonance Imaging	: Suatu teknik penggambaran/tomografi dengan menggunakan resonansi medan magnet.
Permitivitas Listrik	: Perbandingan pergeseran listrik di dalam suatu medium terhadap intensitas medan listrik yang menyebabkan pergeseran itu.
Resistansi	: Ukuran perlawanan suatu komponen terhadap aliran muatan listrik.

- Resistivitas : Ukuran kemampuan bahan untuk melawan aliran arus listrik .
- Sink : Sumber arus negatif.
- Source : Sumber arus positif.
- Susebtibilitas Listrik : Besaran tak berdimensi yang mengacu pada suatu bahan dielektrik yang menyatakan suatu bahan yang berada dalam pengaruh suatu medan listrik terhadap seluruh rapat arus yang ada.
- Tomografi : Penggambaran penampang lintang suatu obyek di dalam suatu area tertutup dari data proyeksi tanpa merusak/membelah obyek yang diamati (non destructive testing).

